



Proceeding

การประชุมวิชาการวิจัย
และนวัตกรรมสร้างสรรค์
Circi 2021 Online **ครั้งที่ 7**

“...สู่วิจัยรับใช้สังคม
สืบสานล้านนา
สร้างมูลค่าด้วย
เทคโนโลยีและนวัตกรรม”

1 กลุ่มวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี



รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 7 รูปแบบออนไลน์
(The 7th Conference on Research and Creative Innovations: CRCI 2021 Online)

“...วิจัยรับใช้สังคม สืบสานล้านนา สร้างมูลค่าด้วยเทคโนโลยีและนวัตกรรม”

ระหว่างวันที่ 12-14 พฤษภาคม 2564

ผ่านระบบออนไลน์ Microsoft Teams

เล่ม 1 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ชื่อหนังสือ	รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 7 เล่ม 1 วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ประจำปี	2564
เจ้าของลิขสิทธิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เผยแพร่ออนไลน์	มิถุนายน 2564
จัดทำโดย	สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

สารจากอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ในนามผู้บริหาร คณาจารย์ บุคลากร ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา รู้สึกยินดี และเป็นเกียรติอย่างยิ่งที่ได้รับเกียรติเป็นเจ้าภาพ ร่วมกับเครือข่ายพันธมิตร จัดการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 7 ในรูปแบบออนไลน์ (The 7th Conference on Research and Creative Innovations: CRCI 2021 Online) ระหว่างวันที่ 12-14 พฤษภาคม 2564 ในสถานการณ์ที่มีการระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 (COVID-19) ซึ่งได้ปรับรูปแบบ วิธีการทำงาน โดยนำเอาเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการติดต่อสื่อสาร เพื่อหลีกเลี่ยงการพบปะ และการรวมตัวของคนเป็นจำนวนมาก ซึ่งการจัดประชุมในครั้งนี้ได้รับความสนใจจากคณาจารย์ นักศึกษา จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และสถาบันอุดมศึกษาต่างๆ

ในนามมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขอขอบคุณนักวิจัยทุกท่านที่ให้ความสนใจนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าทุกท่านจะเป็นกำลังหลักในสร้างและพัฒนางานวิจัยที่มีคุณภาพ ผลักดันสู่ความเป็นเลิศทางด้านวิจัย และเป็นแนวทางในการสร้างองค์ความรู้ นวัตกรรม เทคโนโลยีใหม่ๆ ในการพัฒนาประเทศชาติให้เจริญก้าวหน้าต่อไป



(รองศาสตราจารย์ศีลศิริ สง่าจิตร)

ผู้ปฏิบัติหน้าที่อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

สารจากรองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

ประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 7 รูปแบบออนไลน์ ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นเจ้าภาพหลักครั้งนี้ กระผมขอชื่นชมผู้นำเสนอผลงานวิจัยทุกท่าน ที่ทุ่มเทความสามารถในการจัดทำบทความเพื่อส่งเข้าพิจารณาคัดเลือกให้เป็นผู้นำเสนอผลงาน รวมถึงขอชื่นชมคณาจารย์ที่ร่วมเป็นคณะกรรมการวิชาการ และจัดทำรายงานสืบเนื่องการประชุม ทำหน้าที่กองบรรณาธิการ ทำการคัดเลือก และเสนอชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินบทความ ซึ่งเป็นการตรวจสอบคุณภาพบทความ และตรวจสอบความถูกต้องก่อนจะนำมารวบรวมในรายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการเล่มนี้

ในนามของผู้รับผิดชอบงานวิจัยของมหาวิทยาลัย ขอขอบคุณอาจารย์ และผู้ทรงคุณวุฒิภายใน และภายนอกมหาวิทยาลัยทุกท่าน ที่ช่วยทำหน้าที่ประเมินบทความ ขอขอบคุณผู้นำเสนอผลงานทุกท่าน ที่ให้ความสนใจ และจัดทำบทความที่มีคุณภาพ และขอบคุณเครือข่ายเจ้าภาพร่วม ที่ทำให้การจัดประชุมครั้งนี้ ประสบความสำเร็จ



(นายสุรพล ใจวงศ์ษา)

รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

สถาบันเครือข่ายเจ้าภาพร่วม



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
(เจ้าภาพหลัก)



มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย
วิทยาเขตเชียงใหม่



มหาวิทยาลัยพายัพ



มหาวิทยาลัยพาร์อีสเทอร์น



มหาวิทยาลัยแม่โจ้



มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่



มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่



มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร



มหาวิทยาลัยพิษณุโลก



สมาคมส่งเสริมนวัตกรรมและการประดิษฐ์ไทย

รายชื่อคณะกรรมการพิจารณาอ่านบทความ

- | | |
|---|--|
| 1) ศาสตราจารย์ ดร. มนัส สุวรรณ | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| 2) รองศาสตราจารย์ ดร. อภิชาติ กาญจนทัต | จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย |
| 3) รองศาสตราจารย์ ดร. บุษบา อาเรีย | มหาวิทยาลัยพายัพ |
| 4) รองศาสตราจารย์ ดร. รัตน์ชนก พราหมณ์ศิริ | มหาวิทยาลัยพิษณุโลก |
| 5) รองศาสตราจารย์ ดร. ชูชีพ พุทธรประเสริฐ | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| 6) รองศาสตราจารย์ ดร. ธีระ ชีโวรินทร์ | มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 7) รองศาสตราจารย์ ดร. ชิติ ศรีต้นทิพย์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 8) รองศาสตราจารย์ ดร. ตระกูลพันธ์ พัทธเมธา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 9) รองศาสตราจารย์ ดร. ลิปิกร มาแก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 10) รองศาสตราจารย์ ดร. เดช เหมือนขาว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| 11) รองศาสตราจารย์ ดร. สุรสิทธิ์ ระวังวงศ์ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย |
| 12) รองศาสตราจารย์ ดร. สนธิ สัตโยภาส | มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ |
| 13) รองศาสตราจารย์ ดร. วิจิตรา แดงปรก | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 14) รองศาสตราจารย์ ดร. เกศสุดา สิทธิสันติกุล | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 15) รองศาสตราจารย์ ดร. จตุรภัทร วาฤทธิ์ | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 16) รองศาสตราจารย์ ดร. จำเนียร บุญมาก | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 17) รองศาสตราจารย์ ดร. ประเสริฐ จรรยาสุภาพ | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 18) รองศาสตราจารย์ ดร. ยงยุทธ ขำมสี | มหาวิทยาลัยแม่โจ้ |
| 19) รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกตุ อุทธโยธา | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| 20) รองศาสตราจารย์ ดร. สัญญา สะสอง | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| 21) รองศาสตราจารย์ ดร. วิไลพร ลักขมีวณิชย์ | มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ |
| 22) รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริกร อินคำ | มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง |
| 23) รองศาสตราจารย์ ดร. บุญทวรรณ วิงวอน | มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง |
| 24) รองศาสตราจารย์ ดร. พรชนก ทองลาด | มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง |
| 25) รองศาสตราจารย์ ดร. ไพฑูรย์ อินตะขัน | มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง |
| 26) รองศาสตราจารย์ ดร. วิไลลักษณ์ พรหมเสน | มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง |
| 27) รองศาสตราจารย์ ดร. ธรรมกิตต์ ธรรมโม | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| 28) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐปภัภภัก กิตติสุนทรพิศาล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| 29) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุวีรัตน์ เขี่ยมตระกูล | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ |
| 30) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกรียงศักดิ์ วัฒนวิฑูร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 31) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไกรลาศ ดอนชัย | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 32) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิรพัฒน์พงษ์ เสนาบุตร | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 33) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัชฎาพร ปุกแก้ว | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 34) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชัยวัฒน์ กิตติเดชา | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 35) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชินานาฏ วิทยาประการ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 36) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิฑูรย์ พันธุ์ท่าช้าง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 37) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฌภัทร ทิพย์ศรี | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 38) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ว่าที่ร้อยตรี ดร. ทนงศักดิ์ สัสดีแพง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 39) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นพพร พัทธประภิติ | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |
| 40) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประทีป พิษทองกลาง | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา |

- 41) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เกษตร แก้วภักดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 42) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิณิจ เนื่องภิรมย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 43) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัตนาพร นรรัตน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 44) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่ง หมูล้อม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 45) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรจักร์ เมืองใจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 46) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วรณพร ทีเก๋ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 47) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์สายันต์ ไยสามเสน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 48) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สีนุพล ทิมพวก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 49) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สืบพงศ์ จรรย์สืบศิริ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 50) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขภักข โดไพบูลย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 51) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. หลุทัย อาษากิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 52) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนนท น้าอิน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 53) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรไท ครุชเวช มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 54) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรรถนพ ทศนอุดม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 55) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัจฉรา ตลวิทยาคูม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
- 56) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีระเดช สุวิทยารักษ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
- 57) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศรีชญา เจริญเนตร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
- 58) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บัญชา คังตระกูล มหาวิทยาลัยนอร์ทเชียงใหม่
- 59) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชุตินันท์ อุ๋ยามโสม มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
- 60) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศุภฤกษ์ ธาราพิทักษ์วงศ์ มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
- 61) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุชาติดา เมฆพัฒน์ มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
- 62) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรกิจ คำวงศ์ปิ่น มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่
- 63) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พชรดนัย วัชรธนพัฒน์ธาดา มหาวิทยาลัยพิษณุโลก
- 64) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวัฒน์ พระงาม มหาวิทยาลัยพิษณุโลก
- 65) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทร์จิตร เขียรศิริ มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
- 66) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐติญา บุญวิรัตน์ มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
- 67) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พงศ์กร จันทราช มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
- 68) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วีระพันธ์ อนันชัยธวัช มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น
- 69) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรีย์วัลย์ เมฆกมล มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 70) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นิกราน หอมดวง มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 71) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พัชรินทร์ สุภาพันธ์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 72) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ไพโรจน์ วงศ์พุทธิสิน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 73) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิยะดา ชัยเวช มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 74) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชยพล คำยอด มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง
- 75) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธัญญา ทะพิงค์แก มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
- 76) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รัชฎาภรณ์ ทองแป้น มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
- 77) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิรภพ จันทรแสนต่อ มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
- 78) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อัญธิชา รุ่งแสง มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง
- 79) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กนิษฐา เรื่องวรรณศักดิ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี
- 80) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประมวล ชูรัตน์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
- 81) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธเนศ ภิมย์การ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- 82) ดร. กิตติศักดิ์ อริยะเครือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

83) ดร. จุราพรรณ พิมูลชาติ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
84) ดร. ตะวัน วาทกิจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
85) ดร. ชีระศักดิ์ สมศักดิ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
86) ดร. นวรัตน์ พรหมอุบลัมภ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
87) ดร. ไพโรจน์ ธนเลิศโสภิต	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
88) ดร. ภาคภูมิ ภัควิภาส	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
89) ดร. ศกุนตลา สายใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
90) ดร. ศิรดา ปินใจ	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
91) ดร. สุวรรณ จันทร์อินทร์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
92) ดร. อิศรา กันแดง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
93) ดร. ณิชานันท์ วงศ์มูลธิกร	มหาวิทยาลัยนอร์ทเชียงใหม่
94) ดร. พงศ์ศิริ คำขันแก้ว	มหาวิทยาลัยนอร์ทเชียงใหม่
95) ดร. วารุณี โพธาสินธุ์	มหาวิทยาลัยนอร์ทเชียงใหม่
96) ดร. ศุภกร ศิลาเกษ	มหาวิทยาลัยนอร์ทเชียงใหม่
97) ดร. ภัทรภณ ศิลารักษ์	มหาวิทยาลัยนอร์ทเชียงใหม่
98) ดร. สุขาดา สายทิ	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
99) ดร. ปานแพร เขาวนประยูร อุดมรักษาทรัพย์	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
100) ดร. วราภรณ์ ดวงแสง	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
101) ว่าที่ร้อยเอก ดร. จิระชัย ยมเกิด	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
102) ดร. ธิติพร ประมวน	มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

สรุปจำนวนบทความ

1) งานวิจัยสาขาวิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี	34 บทความ
2) งานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์ กายภาพ สุขภาพ และชีวภาพ	22 บทความ
3) งานวิจัยสาขาเทคโนโลยีเกษตร และอาหาร	15 บทความ
4) งานวิจัยสาขาบริหารธุรกิจ และศิลปศาสตร์	43 บทความ
5) งานวิจัยสาขาศิลปกรรม และสถาปัตยกรรมศาสตร์	14 บทความ
6) งานวิจัยรับใช้สังคม, งานวิจัยนวัตกรรมชุมชน	20 บทความ
7) งานประจำสู่งานวิจัย	8 บทความ

รวมทั้งสิ้น 156 บทความ

หน่วยงานที่เข้าร่วม

1) ธนาคารแห่งประเทศไทย	21) มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
2) มหาวิทยาลัยกรุงเทพ	22) มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
3) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์	23) มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์
4) มหาวิทยาลัยขอนแก่น	24) มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์
5) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี	25) มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
6) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ	26) มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
7) มหาวิทยาลัยนอร์ทกรุงเทพ	27) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมราชา
8) มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่	28) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
9) มหาวิทยาลัยบูรพา	29) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
10) มหาวิทยาลัยพะเยา	30) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
11) มหาวิทยาลัยพายัพ	31) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
12) มหาวิทยาลัยพิษณุโลก	32) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
13) มหาวิทยาลัยฟาร์อีสเทอร์น	33) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
14) มหาวิทยาลัยมหาจุฬาลงกรณราชวิทยาลัย	34) วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ
15) มหาวิทยาลัยมหิดล	35) วิทยาลัยสงฆ์พุทธชินราช
16) มหาวิทยาลัยแม่โจ้	36) วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย
17) มหาวิทยาลัยรังสิต	37) สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา
18) มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์	38) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
19) มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรดิตต์	39) องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น
20) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่	

CRCI 2021 Proceeding

เล่ม 1 ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

สารบัญ : 01 งานวิจัยสาขาวิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี

01 งานวิจัยสาขาวิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี			
ลำดับ	ชื่อบทความ	เจ้าของบทความ	หน้า
1	การลดความสูญเสียเปลืองภายในโรงงานผลไม้อบแห้ง	ศุภลักษณ์ สุวรรณ	02-10
2	การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำงานในแผนกงานซ่อม	ภัทรภรณ์ เหนือศรี	12-18
3	การปรับปรุงกระบวนการผลิตสำหรับผลิตแคบหมู	เจนณรงค์ ชุมภู	19-27
4	การศึกษาแนวทางการพัฒนาการให้บริการท่องเที่ยวในระดับเมืองท่องเที่ยว กรณีศึกษาวัดร่องขุน	ฐปนนทร์ คำขาว	28-37
5	การศึกษาความต้องการของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงาน ด้านคลังสินค้าตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ กรณีศึกษา สถานประกอบการ ในจังหวัดเชียงราย	ณัฐชา พิงเพลิน	38-48
6	การปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อโดยใช้เทคนิค ECRS	พงศกร สุรินทร์	49-57
7	การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง	พงศกร สุรินทร์	58-64
8	นวัตกรรมการสร้างมูลค่าเพิ่มจากเศษวัสดุเหลือใช้ของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมผ้า กรณีศึกษากลุ่มผ้าทอได้อีสานลวงเหนือ ตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่	ภาคภูมิ จารุภูมิ	65-70
9	การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้า	สิทธิภูมิ ตาคำรุ่ง	71-82
10	การออกแบบ และสร้างโรงเรือนชนิดใช้แสงเทียมสำหรับเพาะปลูกมันต์ญี่ปุ่น ในระบบปิด	นิติพงษ์ สมไชยวงศ์	83-87
11	การออกแบบและสร้างระบบควบคุมน้ำหยดให้ต้นแตงญี่ปุ่นด้วยความแม่นยำสูง	นิติพงษ์ สมไชยวงศ์	88-93
12	การออกแบบและสร้างระบบปลูกผักสลัดแบบรากแขวน	ปกรณ์ เสรีเผ่าวงศ์	94-98
13	การออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชกรีนไฮโดรคอกับการเลี้ยงปลา โดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้า	ปกรณ์ เสรีเผ่าวงศ์	99-105
14	การพัฒนาระบบบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาคราฟด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบ แบตเตอรี่สำรอง	ปาริชาติ วงศ์ฉายา	106-111
15	การพัฒนาเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย กรณีกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร บ้านสันกอเกิด	จิรศักดิ์ ปัญญา	112-121
16	การตรวจสอบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ของเครื่องตรวจจับควัน ชนิดไฟได้อิเล็กทรอนิกส์โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก	พงศ์สรร เทพคุ้มกัน	122-130
17	ผลของอุณหภูมิ ความเร็ว และความชื้นสัมพัทธ์ โดยชุดควบคุมสถานะที่มีต่อสมรรถนะ การอบแห้งกล้วยน้ำว้า	ไพโรจน์ จันทร์แก้ว	131-137
18	การทดสอบและเปรียบเทียบผลของสารทำงานภายในท่อความร้อน สำหรับระบายความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์	ยุธนา ศรีอุดม	138-146
19	การพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูง สำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม	ธีระพล ฤทธิศาสตร์	147-154
20	ออกแบบการระบายความร้อนได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการวิเคราะห์ความร้อน ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	เดือนแรม แพ่งเกี่ยว	155-161

01 งานวิจัยสาขาวิศวกรรม พลังงาน และเทคโนโลยี			
ลำดับ	ชื่อบทความ	เจ้าของบทความ	หน้า
21	ระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กและต้นทุนต่ำโดยแสดงผลและแจ้งเตือนทางเว็บไซต์	บัณฑิต จิตต์สุภาพ	162-167
22	ปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์พร้อมข้อมูลสภาพแวดล้อม	ยุพธนา มุลกลาง	168-177
23	การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยพีซีลจอก	ยุพธนา มุลกลาง	178-184
24	ระบบป้ายรถโดยสารประจำทางอัจฉริยะสายอำเภอพานถึงอำเภอเมืองเชียงราย	พิเชษฐ กันทะวัง	185-189
25	เครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน	สุทธิพันธ์ สายทองอินทร์	190-198
26	การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล	อัญชลี พานิชเจริญ	199-204
27	เครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง	เอกลักษณ์ สุนพันธุ์	205-212
28	ระบบระบุสัญญาณมือเพื่อควบคุมการทำงานของบ้านอัจฉริยะด้วยคุณสมบัติรหัสลูกโซ่	ชยันต์ คงทองวัฒนา	213-222
29	การศึกษาผลกระทบของการอุดตันทางน้ำเข้าต่อระบบระบายน้ำฝน	พงศ์พันธุ์ กาญจนการณ	223-229
30	การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบบำบัดน้ำเสีย: กรณีศึกษาโรงงานซูโหลหะสังกะสี	ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร	230-239
31	การวิเคราะห์สมรรถนะ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐานของบ่อปลา	เสฏฐวุฒิ แผลงศรี	240-250
32	การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่และการประยุกต์ใช้กับการสอนอาชีวศึกษา	ณัฐวุฒิ พานิชเจริญ	251-256
33	การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บ้านผาด่าน อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน	เบญจมาภรณ์ เทพวิญญากิจ	257-262

สารบัญ : 02 งานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์ กายภาพ สุขภาพ และชีวภาพ

02 งานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์ กายภาพ สุขภาพ และชีวภาพ			
ลำดับ	ชื่อบทความ	เจ้าของบทความ	หน้า
1	การผลิตและทดสอบเส้นใยและกระดาษจากส่วนต่างๆของต้นกล้วยหอม	ณัฐชัย เทียงบูรณธรรม	264-269
2	ความหลากหลายทางชีวภาพ นิเวศวิทยา และข้อมูลพันธุกรรมของสาหร่ายขนาดใหญ่ที่กินได้ ในจังหวัดเชียงใหม่	ทัตพร คุณประดิษฐ์	270-277
3	การทดสอบเบื้องต้นฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในเห็ดป่ากินได้	พรรณพร กุลมา	278-282
4	ความหลากหลายและการกระจายตัวของแมลงน้ำในที่อยู่อาศัยต่างกัน กรณีศึกษาแม่น้ำปิง แม่น้ำแดง และแม่น้ำสา จังหวัดเชียงใหม่	รุ่งนภา ทากัน	283-290
5	ผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ที่มีต่อความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาหญิงสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน	กฤศณัญญ์ พุฒิธรสมบัติ	291-298
6	การศึกษาปริมาณก๊าซไอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019	วาสนา กระจายสี	299-307
7	การศึกษาสมบัติเบื้องต้นขิงถ่านไบโอชาร์ที่ผลิตด้วยแก๊สซิฟิเคชันไพล์ขึ้น	สุริยงค์ ประชาเขียว	308-315
8	ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากของเสียในชุมชนที่มีต่อการเจริญเติบโตและออกดอกของมะลิลา	สุวรรณี ยุคันธร	316-321
9	ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพเพื่อปลูกต้นทุต	สุวรรณี ยุคันธร	322-330
10	การพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติด : กรณีศึกษา สถานีตำรวจภูธรแม่ใจ จังหวัดเชียงใหม่	จิรวรรณ แซ่เล่า	331-336
11	การคาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย	จิรวรรณ แซ่เล่า	337-341
12	พิษเฉียบพลันและพิษกึ่งเรื้อรังของโลหะหนัก (ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี) ที่มีผลต่อหนอนแดง (Chironomuskiensis)	หทัยรัตน์ สุดตา	342-349
13	การประเมินและคัดเลือกสายพันธุ์ฟักทองที่ต้านทานต่อโรคเหี่ยวจากเชื้อรา Fusarium oxysporum	กิตติพันธ์ เพ็ญศรี	350-357
14	ผลของระยะเวลาเตรียมน้ำไมโครนาโน-บับเบิลสำหรับใช้เตรียมอาหารเพาะเลี้ยงในชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจมชั่วคราวต่อการเจริญและพัฒนาของวุ้นนางคุ้ม	นุชศิว ลุนศรีทอง	358-367
15	การศึกษาความหลากหลายของเชื้อราเอนโดไฟต์รากข้าวจากแปลงนาที่มีการใช้สารเคมีและการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค	พงศยุทธ์ นวลบุญเรือง	368-376
16	ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตและการเกิดโรคมะลัด่างของข้าว	ศิริพร อำทอง	377-387
17	ผลของระยะเวลาเตรียมน้ำไมโครนาโน-บับเบิลต่อการฆ่าเชื้อชิ้นส่วนกุหลาบสำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ	อรทัย แสงมณีจรัส	388-397
18	การพัฒนาระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	นรินทร์ จิวิตัน	398-406
19	ผลกระทบของสารเคลือบโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยสำหรับกระดาษคราฟท์	นันทญา อ่อนบุญ	407-415
20	การสกัดเพคตินจากเปลือกสับปะรดสำหรับเคลือบผิวส้มเขียวหวานเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา	กมลวรรณ มีทอง	416-426

สารบัญ : 03 งานวิจัยสาขาเทคโนโลยีเกษตร และอาหาร

03 งานวิจัยสาขาเทคโนโลยีเกษตร และอาหาร			
ลำดับ	ชื่อบทความ	เจ้าของบทความ	หน้า
1	การเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากมะเขือขี้เฒ่าโดยการทำให้แห้งแบบแช่เยือกแข็ง	นริศรา วิจิต	428-436
2	การศึกษาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ใช้น้ำผ่านอบกรอบปรุงรส	ธนัชฐา เกษมณี	437-443
3	เครื่องคัดแยกพริกสดด้วยการประมวลผลภาพ	อนุสรณ์ ยอดใจเพชร	444-451
4	การเตรียม สารประกอบพีนอลิกและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง	สุทธิดา สุทธิเลิศ	452-467
5	การพัฒนาผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลออกเพื่อสุขภาพ	ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ	468-483
6	ชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับแป้งกล้วยหอม	วัชรีย์ เทพโยธิน	484-494
7	ผลของการนวดและการหมักต่อคุณภาพของชาสมุนไพรดอกกล้วยเถาอินทรีย์	กฤษดา กาวังค์	495-500
8	ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรกรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรกรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร	น้ำทิพย์ วงเงิน	501-509
9	ผลของแคลเซียมต่อการร่วงของผลชาไม้ดอกขาว	อมรพงศ์ อรุณรุ่ง	510-520
10	ผลตอบสนองต่อการตัดพันธุ์ปลานิลอินทรีย์รุ่นที่ 2 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค	กนกวรรณ นาคข้า	521-530
11	การกระตุ้นความงอกของเมล็ดข้าวโพดและเมล่อนด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลส์	สุชาดา ธิชูโต	531-539
12	การพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนแบบปิดสำหรับปลูกมะเขือเทศราชินี	สุวรรณ จันทร์อินทร์	540-458
13	การพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันหอมระเหยขนาดเล็กสำหรับวิสาหกิจชุมชน	ก้องเกียรติ ธนะมิตร	459-559





ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กลุ่ม 1 : งานวิจัยสาขาวิศวกรรม
พลังงาน และเทคโนโลยี

การลดความสูญเปล่าภายในโรงงานผลไม้อบแห้ง Waste Reduction in Dried-Fruit Factory

ศุภลักษณ์ สุวรรณ* และ อัมพล กองเขียว
Supaluck Suwan* and Amphol Kongkeaw

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนอร์ท-เชียงใหม่ 169 หมู่ 3 ต.หนองแก้ว อ.หางดง จ.เชียงใหม่ 50230

^{1,2}Faculty of Engineering and Technology North-Chiang Mai University 169 M.3 Nongkeaw Hangdong Chiang Mai 50230

*supaluck@northcm.ac.th 0866578475

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับการลดระยะทางในกระบวนการผลิต ของโรงงานผลิตผลไม้อบแห้ง โดยการนำเอาทฤษฎีและหลักการ การลดความสูญเปล่าด้านการเดินทาง หลักการ ECRS และการออกแบบและปรับปรุงแผนผังโรงงานมาแก้ไขปรับปรุงปัญหา โดยเริ่มจาก การเก็บข้อมูลวิเคราะห์ปัญหา และเลือกปรับปรุงห้องคัดแยกวัตถุดิบ ห้องจัดเรียงวัตถุดิบ ห้องบรรจุภัณฑ์ และห้องซักล้าง ทำการแก้ไข ปรับปรุงโดยการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการทำงาน วัดระยะทางในกระบวนการผลิต และบันทึกผล หลังการศึกษาพบว่าระยะ ทางการทำงานในกระบวนการผลิตห้องคัดแยกวัตถุดิบลดลงจาก 732.82 เมตร เหลือ 170.46 เมตร คิดเป็น 76.73% ของระยะทางเดิม ห้องจัดเรียงวัตถุดิบลดลงจาก 1,483.56 เมตร เหลือ 735.8 เมตร คิดเป็น 50.40% ของระยะทางเดิม ห้องบรรจุภัณฑ์ลดลงจาก 120.4 เมตร เหลือ 87.3 เมตร คิดเป็น 27.49% ของระยะทางเดิม และห้องซักล้างลดลงจาก 514.83 เมตร เหลือ 380.25 เมตร คิดเป็น 26.14% ของระยะทางเดิม

คำสำคัญ: ECRS, การลดความสูญเปล่า

Abstract

The objective of this study was to reduce the distance in the production process of the dried fruit production plants by using the theories and principles of waste transportation, principles of ECRS (Eliminating, Combine, Rearrange, and Simplify), and plant layout design and improvement to solve problems. The data were collected and analyzed, then used to improve the sorting room, the arranging room, the packing room, and the washing room. Considerations for improvement included appropriate working process, the distance of process measurement, and data recording. As a result, the production process distance in the sorting room was reduced from 732.82 meters to 170.46 meters or 76.73% of the original distance. Also, the distance in the arranging room was reduced from 1,483.56 meters to 735.8 meters or 50.40% of the original distance. In addition, the distance in the packing room was reduced from 120.4 meters to 87.3 meters or 27.49% of the original distance. Besides, the distance in the washing room was reduced from 514.83 meters to 380.25 meters or 26.14% of the original distance.

Keywords: ECRS, Waste reduction.

1. บทนำ

ธุรกิจผลไม้อบแห้งเป็นธุรกิจสำคัญของประเทศไทยในแถบภาคเหนือตอนบนและเป็นที่ยอมรับในและต่างประเทศ ทำให้เกษตรกรหันมาปลูกผลไม้มากขึ้นทำให้ผลไม้ออกสู่ตลาดมากเกินไปจนผู้บริโภคต้องเลือกรับประทานผลไม้สดจากเกษตรกรในพื้นที่และระแวกชุมชนมาแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้กับสินค้าในรูปแบบต่าง ๆ เช่น การเพิ่มบรรจุภัณฑ์ที่สวยงามการควบคุมคุณภาพมาตรฐาน การตรวจสอบคุณภาพของผลไม้ให้ได้ มาตรฐานเพื่อให้ถูกต้องตามสุขลักษณะและความปลอดภัยก่อนถึงผู้บริโภค

ซึ่งปัญหาที่พบภายในโรงงานนั้นจะเกี่ยวกับพื้นที่ภายในโรงงานบางจุดมีการจัดวางสินค้าเครื่องมือและอุปกรณ์ไม่เข้าที่ ทำให้เกิดขวางไม่สะดวกต่อการทำงานและกระบวนการผลิตในบางขั้นตอนพนักงานมีการเคลื่อนไหวท่าทางในการทำงานที่มากเกินไปจนเกิดความจำเป็น ทำให้ส่งผลให้ร่างกายเกิดความเมื่อยล้าและส่งผลเสียต่อร่างกาย^[1] ผู้ศึกษาได้สังเกตเห็นปัญหาและมีแนวคิดที่จะนำหลักการในการลดความสูญเปล่ามาใช้ในการแก้ไขปัญหา เช่น การลดความสูญเปล่าการเดินทาง (Waste of Transportation) การเคลื่อนไหวมากเกินไป (Waste of Motion) คลังสินค้ามากเกินไป (Waste of Inventory) เพื่อลดความสูญเปล่าในการทำงานบางจุด อีกทั้งยังส่งผลให้ลดเวลาในการทำงานบางจุด และขั้นตอนงานที่ไม่จำเป็น^[2]

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การกำจัดความสูญเสียน (7 Waste) เป็นกฎเกณฑ์หนึ่งในระบบ Lean Manufacturing เป็นระบบกำจัดความสูญเสียน^[3] และปรับปรุงคุณภาพอย่างต่อเนื่องในกระบวนการผลิต เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกิจกรรมหรืองานที่ดำเนินการ ข้อเสนอจากการมี 7 Waste คือ ใช้นเวลาการผลิตนาน สินค้ามีคุณภาพต่ำ และต้นทุนสูงกระบวนการผลิตมักจะพบว่ามีปัญหาความสูญเสียนต่าง ๆ แฝงอยู่ไม่มากนัก^[4] ซึ่งเป็นเหตุให้ประสิทธิภาพและประสิทธิผลของกระบวนการต่ำกว่าที่ควรจะเป็น จึงมีแนวคิดเพื่อพยายามจะลดความสูญเสียนเหล่านี้เกิดขึ้นมากมาย ความสูญเสียน 7 ประการประกอบด้วย^[5]

1. การผลิตที่มากเกินไป (Waste of overproduction) เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายในเรื่องการเก็บวัตถุดิบและสินค้าสำเร็จรูปในคลังสินค้า

2. การรอคอย (Waste of Waiting) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุดิบไม่ถูกใช้ในกระบวนการผลิตและถูกเก็บไว้นานก่อนจะถูกนำมาใช้ต่อไป อาจเกิดเนื่องจากการไหลของวัตถุดิบในกระบวนการผลิตที่ไม่ดีพอ ซึ่งเกิดขึ้นได้จากความไม่สมดุลของความเร็วการผลิตหรือเกิดความล่าช้าเกินไปในการผลิต

3. การเดินทาง (Waste of Transportation) ไม่ว่าจะเป็นการเคลื่อนย้ายของวัตถุดิบทั้งก่อนและระหว่างกระบวนการที่นานเกินไปก็ตาม ซึ่งอาจเกิดจากคลังสินค้าและโรงงานไม่ได้อยู่ใกล้กัน หรือแม้แต่ที่ตั้งของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตที่อยู่ไกลกันมากเกินไปหรือไม่เป็นเส้นตรงที่สั้นที่สุดก็ตาม การจัดวางผังโรงงานที่ดี (Plant layout) เป็นหนทางหนึ่งที่ช่วยได้

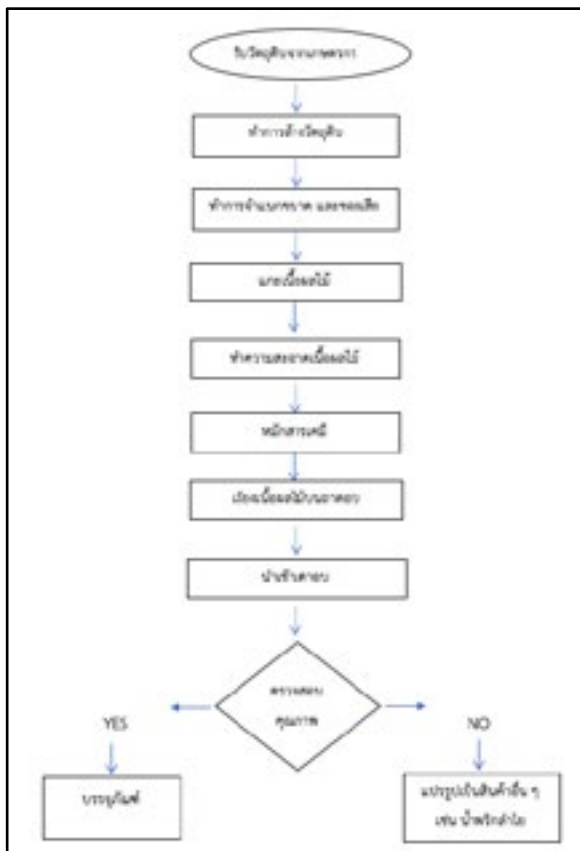
4. กระบวนการมากเกินไป (Waste of Processing) การมีกระบวนการมากเกินไปจนจำเป็นเป็นสิ่งที่ไม่หลีกเลี่ยงได้ เช่น การจัดการกระบวนการใหม่ให้อยู่ใกล้กันมากขึ้นจนเป็นกระบวนการเดียวกันเพื่อประโยชน์ในการใช้เครื่องมือร่วมกัน และสามารถช่วยเหลือกันได้เมื่อต้องการ หรือการใช้เครื่องมือที่เหมาะสมกับการทำงานแทนการทำงานที่ผิดวิธีและใช้เวลานานขึ้น

5. คลังสินค้ามากเกินไป (Waste of Inventory) รวมถึงวัตถุดิบในการผลิต วัตถุดิบระหว่างการผลิต และสินค้าสำเร็จรูปนั้นไม่ควรให้มีมากเกินไปจนจำเป็นหรือมีวัตถุดิบที่ไม่ได้ใช้ในกระบวนการเก็บอยู่ ทำให้พื้นที่การทำงานลดลงโดยไม่เกิดคุณค่าขึ้นโดยเฉพาะวัตถุดิบระหว่างการผลิต

6. การเคลื่อนไหวมากเกินไป (Waste of Motion) พบเห็นได้ทั่วไปภายในโรงงาน เช่นการเคลื่อนย้ายสิ่งของโดยไม่ใช้เครื่องมือที่เหมาะสมช่วย และการทำงานที่ขาดมาตรฐานการทำงาน ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ไม่เหมือนกันตลอดระยะเวลาการผลิต

7. ของเสียมากเกินไป (Waste of Defect) เกิดจากการผลิตที่ผิดพลาด หรือของที่เกิดหลังจากการนำของเสียมาผลิตใหม่ (Rework) ก็เป็นค่าใช้จ่ายที่สูงมากสำหรับผู้ผลิตเนื่องจากของเสียเหล่านั้นอาจถูกเพิ่มมูลค่าให้กับตัวมันไปหลายขั้นตอนแล้วแต่ไม่สามารถนำมาจำหน่ายได้ ทำให้เกิดความสูญเปล่าและของเสียจำนวนมาก^[6]

4.2 กระบวนการผลิตผลไม้อบแห้งเป็นดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตผลไม้อบแห้ง

กระบวนการผลิตผลไม้อบแห้งแบ่งห้องต่างๆ ได้ดังนี้

1. ห้องรับวัตถุดิบ มีพื้นที่ทั้งหมด 30 ตารางเมตร
2. ห้องคัดแยกวัตถุดิบ มีพื้นที่ทั้งหมด 56 ตารางเมตร
3. ห้องจัดเรียงวัตถุดิบ มีพื้นที่ ทั้งหมด 18 ตารางเมตร
4. ห้องอบผลไม้ มีพื้นที่ทั้งหมด 77 ตารางเมตร
5. ห้องแกะ มีพื้นที่ ทั้งหมด 21 ตารางเมตร

6. ห้องบรรจุภัณฑ์ มีพื้นที่ทั้งหมด 40 ตารางเมตร
7. ห้องซีก้าง มีพื้นที่ทั้งหมด 25 ตารางเมตร
8. ห้องเปลี่ยนชุดล้างผลไม้ มีพื้นที่ ทั้งหมด 6 ตารางเมตร
9. ห้องเก็บรถเข็นอบวัตถุดิบ มีพื้นที่ทั้งหมด 30 ตารางเมตร

กระบวนการผลิตเริ่มจากการ รับวัตถุดิบจากเกษตรกรเข้าทางด้านหน้าของโรงงาน เมื่อนำวัตถุดิบเข้ามาแล้ว จะทำการล้างทำความสะอาดเปลือกผลไม้และจำแนกของเสีย เมื่อทำความสะอาดเสร็จ จะนำไปแกะเปลือกที่ห้องคัดแยกผลไม้ ภายในห้องคัดแยกจะปอกเปลือกและล้างหลังจากปอกเสร็จ และทำการหมักสารเคมี หลังจากเรียงเนื้อผลไม้บนถาดก่อนเข้าตู้อบแล้ว ทำการอบผลไม้เป็นเวลา 8 ชั่วโมง และนำมาแกะออกจากถาดอบจากนั้นทำการคัดแยกเกรดเพื่อนำไปบรรจุภัณฑ์ ส่วนที่ไม่ผ่านเกณฑ์จะนำไปแปรรูปเพื่อเพิ่มมูลค่าให้แก่สินค้า

4.3 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่พบภายในโรงงาน และการปรับปรุงแก้ไขปัญหา แสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาที่พบภายในโรงงาน และการปรับปรุงแก้ไขปัญหา

สาเหตุของปัญหา	การปรับปรุงแก้ไข
1. ห้องรับวัตถุดิบ	<p>วิธีการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน</p> <ul style="list-style-type: none"> - เสนอวิธีแก้ปัญหาดังกล่าวโดยใช้ทฤษฎี 5 ส เพื่อความสะอาดในการทำงาน และหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำงาน - ไม่พบความสูญเปล่าด้านระยะทาง



การจัดสิ่งของภายในห้องไม่เป็นระเบียบ กีดขวางทางเดิน และพื้นที่ใช้งานภายในห้องน้อยลง เช่น การวางกระจายของ ลังทำให้พื้นที่ในการใช้งานลดลง และ สายยางที่จัดเก็บไม่เป็น ระเบียบ เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุในการทำงาน และความ สะดวกในการใช้งานครั้งต่อไป



2. ห้องคัดแยกวัตถุดิบ

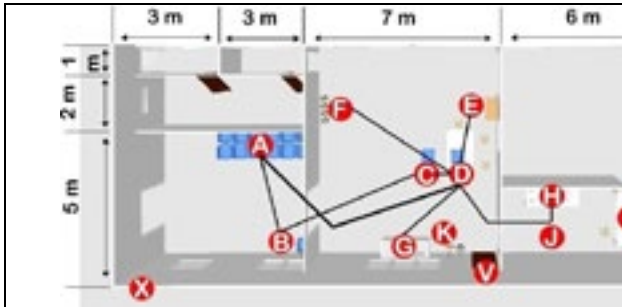


การจัดวางอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการใช้งานในตำแหน่งที่ไม่ เหมาะสม เช่น อุปกรณ์ที่จำเป็นอยู่ในระยะไกล ส่งผลต่อเวลา การผลิต เสนอวิธีแก้ปัญหาโดยวิธีการ จัดเครื่องมือและ อุปกรณ์ภายในห้อง ตามความสำคัญในการทำงาน เพื่อลด ความสูญเสียในการเดินทางของกระบวนการผลิต การจัดเรียงอุปกรณ์ภายในห้องไม่เป็นระเบียบ เช่น ถัง เคมีภัณฑ์วางกับพื้นซึ่งไม่ถูกต้องตามหลัก GMP และควรมี ป้ายบอกตำแหน่งที่จัดเก็บ ซึ่งผู้ศึกษาเสนอวิธีแก้ปัญหา 5 ส เพื่อไม่ให้นำสิ่งของอย่างอื่นมาวางปะปน ถูกสุขลักษณะ และ สะดวกต่อการใช้งาน

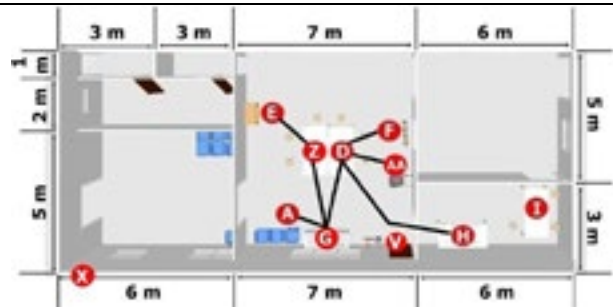
วิธีการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน

- หลักการ Plant layout โดยการปรับปรุงตำแหน่ง อุปกรณ์ ในกระบวนการทำงานให้เหมาะสม^[8]
- หลักการ ECRS ด้าน Simplify (การทำให้ง่าย) โดยการใช้ รถเข็นในการขนย้ายวัตถุดิบไปยังห้องจัดเรียง ทำให้ง่ายต่อ การขนถ่าย ลดระยะทางการขนถ่ายไปยังห้องจัดเรียง วัตถุดิบจาก 26 รอบเหลือ 1 รอบและลดความเมื่อยล้าของ พนักงาน





ระยะทางเดิมรวมทั้งหมด 721.16 เมตร ต่อรอบการผลิต
ผลไม้อบแห้งที่ 50 กิโลกรัม

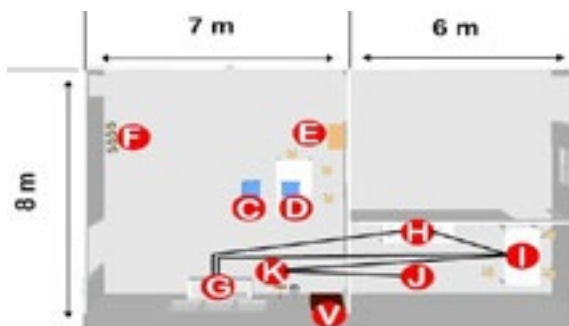


- ระยะทางหลังปรับปรุงรวมทั้งหมด 140.46 เมตร ต่อรอบ
การผลิตผลไม้อบแห้งที่ 50 กิโลกรัม

3. ห้องจัดเรียงวัตถุดิบ



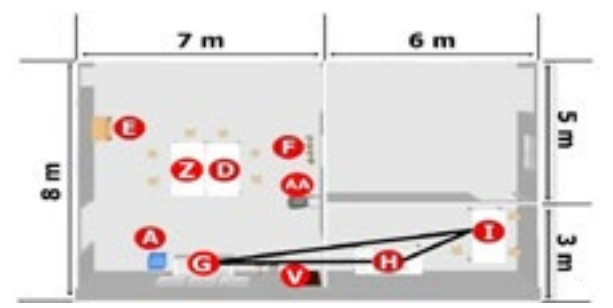
การจัดวางอุปกรณ์ในตำแหน่งที่ไม่เหมาะสมในการทำงาน เช่น โต๊ะในการวางวัตถุดิบที่รับมาจากห้องคัดแยก จะมีน้ำที่ไหลหยดบนพื้นห้องทำงาน เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุ และมีการทำความสะอาดพื้นในระหว่างการทำงาน ทำให้เกิดงานที่ไม่จำเป็น ซึ่งผู้ศึกษาเสนอวิธีแก้ปัญหาโดยการจัดวางโต๊ะให้ถูกต้อง และเสนอวิธีแก้ปัญหาโดยการต่อท่อจากรูระบายจากโต๊ะไปยังรางระบายน้ำ เพื่อลดปัญหาในการทำงานที่มากเกินไปในการทำความสะอาดพื้นระหว่างการทำงาน และหลีกเลี่ยงอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทำงาน



วิธีการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน



- หลักการ Plant layout โดยการปรับปรุงตำแหน่ง อุปกรณ์ ในกระบวนการทำงานให้เหมาะสม
- หลักการ ECRS ด้าน Eliminate (การกำจัด) โดยกำจัดกระบวนการทำงานที่ไม่จำเป็นของกระบวนการทำความสะอาดระหว่างการทำงาน และ Simplify (การทำให้ง่าย) โดยการออกแบบท่อต่อที่เป็นตัวช่วยในการระบายน้ำลงสู่ท่อระบาย จึงทำให้ไม่มีน้ำหยดลงบนพื้น ส่งผลให้กระบวนการทำความสะอาดหายไปทั้งกระบวนการจากเดิม ต้องทำความสะอาด 26 รอบต่อรอบการผลิตผลไม้อบแห้งที่ 50 กิโลกรัม



<p>ระยะทางเดิมรวมทั้งหมด 1483.56 เมตร ต่อบรรจุการผลิตผลไม้บดแห้งที่ 50 กิโลกรัม</p>	<p>- ระยะทางหลังปรับปรุงรวมทั้งหมด 735.8 เมตร ต่อบรรจุการผลิตผลไม้บดแห้งที่ 50 กิโลกรัม</p>
<p>4. <u>ห้องแกะ</u></p>  <p>การวางอุปกรณ์ และสิ่งของปะปนบนโต๊ะแกะวัตถุดิบ เช่น ถุงพลาสติก และหนังยาง ในการบรรจุเพื่อส่งต่อไปยังห้องบรรจุภัณฑ์ อาจส่งผลให้ สิ่งของเหล่านั้นปะปนไปในวัตถุดิบได้</p>	<p><u>วิธีการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - แนะนำในการแก้ไขโดย 5 ส โดยการทำความสะอาดเก็บอุปกรณ์ และสิ่งของ - ไม่พบความสูญเปล่าด้านระยะทาง
<p>5. <u>ห้องบรรจุภัณฑ์</u></p>  <p>การจัดเรียงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน ในการขนถ่ายวัตถุดิบจากห้องแกะจะขนถ่ายผ่านช่องรับวัตถุดิบ เนื่องจากห้องแกะเป็นห้องที่รักษาอุณหภูมิ จะไม่สามารถเปิดประตูขนถ่าย จะทำให้อากาศภายในห้องเปลี่ยนแปลง ส่งผลต่อวัตถุดิบทำให้วัตถุดิบหดตัวลง โดยจะมีพนักงานคอยรับระหว่างช่องขนถ่าย และนำมาคัดแยกเกรดเพื่อบรรจุภัณฑ์</p>	<p><u>วิธีการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน</u></p>  <ul style="list-style-type: none"> - การวางผัง Plant layout โดยการจัดวางตำแหน่งเครื่องมือและอุปกรณ์ในการทำงานให้เหมาะสม - หลักการ Eliminate (การกำจัด) โดยกำจัดการรอคอยของพนักงานห้องบรรจุภัณฑ์ในการส่งต่อของกระบวนการที่จะส่งไปคัดแยกเกลอซึ่งน้ำหนักซึ่งจากเดิมต้องรอ 5 รอบเมื่อวางผังจัดใหม่จึงไม่เกิดการรอคอยของพนักงานห้องบรรจุภัณฑ์



6. ห้องซักล้าง





ระบบกรองกากทิ้งของเสีย ไม่มีประสิทธิภาพทำให้ตะกอนที่ตกค้างไหลผ่านไปติดที่ตาข่ายท่อน้ำทิ้ง ส่งผลให้เกิดการทำ
ความสะอาดบริเวณตาข่ายท่อน้ำทิ้งบ่อยครั้ง ซึ่งผู้ศึกษาเสนอ
วิธีแก้ปัญหาโดยการทำถังดักตะกอน เพื่อลดจำนวนของเสียที่
ติดค้างบริเวณตาข่ายท่อน้ำทิ้ง และยังลดการทำงานในการทำ
ความสะอาดตาข่ายท่อน้ำทิ้งลง




ระยะทางเดิมรวมทั้งหมด 514.83 เมตร ต่อรอบการผลิต
ผลไม้อบแห้งที่ 50 กิโลกรัม

วิธีการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน

- หลักการ ECRS ด้าน Simplify (การทำให้ง่าย) โดยการใ้
ตะกร้าที่มีกรงละเอียดขึ้น และกรงออกแบบกรงภายใน
อาคารก่อนจะไหลไปสู่ปลายตาข่าย ทำให้ง่ายต่อการทำความสะอาด
สะอาดขึ้นสามารถลดระยะทางในการทำความสะอาดภายใน
อาคารแทนการทำความสะอาดภายนอกอาคาร และจำนวน
รอบในการทำความสะอาดตะแกรง จากเดิม 3 รอบต่อ
สัปดาห์ลดลงเหลือ 1 รอบต่อสัปดาห์เนื่องจากตะกร้ามีกรง
ละเอียดขึ้น



- ระยะทางหลังปรับปรุงรวมทั้งหมด 380.25 เมตร ต่อรอบ
การผลิตผลไม้อบแห้งที่ 50 กิโลกรัม

<p>7. <u>ห้องเปลี่ยนชุดล้างอง</u></p>  <p>การจัดสิ่งของภายในห้องไม่เป็นระเบียบ และป้ายคำเตือนบอกลักษณะการใช้งาน เช่น ป้ายบอกตำแหน่งตู้และชั้นวางรองเท้า ป้ายวิธีการล้างมือที่ถูกต้องตามสุขลักษณะ อุปกรณ์เครื่องใช้ที่ไม่เหมาะสม เช่น ถังขยะที่ไม่มีฝาปิดซึ่งเสี่ยงต่อการกระจายเชื้อ</p>	<p><u>วิธีการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - แนะนำในการแก้ไขโดย 5 ส เพื่อให้ถูกสุขลักษณะในการทำงาน และสะดวกต่อการใช้งาน - ไม่พบความสูญเสียทางด้านระยะทาง
<p>8. <u>ห้องเก็บรถเข็นเก็บวัสดุดิบ</u></p>  <p>การจัดเรียงรถเข็นไม่เป็นระเบียบ และผ้าที่ใช้รองตะแกรงในการอบไม่เป็นระเบียบ ทำให้พื้นที่ในการทำงานลดลง</p>	<p><u>วิธีการปรับปรุงแก้ไขการทำงาน</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - แนะนำในการแก้ไขโดย 5 ส เพื่อให้สะดวกต่อการทำงานและใช้งาน - ไม่พบความสูญเสียทางด้านระยะทาง

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานได้บรรลุเป้าหมายวัตถุประสงค์ โดยสามารถลดระยะทางของห้องที่เลือกทำการปรับปรุงได้ ลดลงห้องคัดแยกวัสดุดิบ 76.73% ห้องจัดเรียงวัสดุดิบ 50.40% ห้องบรรจุภัณฑ์ 27.49% และห้องซักรีด 26.14%

แสดงดังตารางที่ 2 การที่นำทฤษฎีการลดความสูญเสียทางด้านการเดินทาง หลักการ ECRS และแผนผังโรงงานสามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขการทำงานในกระบวนการผลิต โรงงานผลไม้อบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบระยะทางก่อนและหลังการปรับปรุง

ห้องที่ดำเนินการ	ระยะทางก่อน เมตร/รอบการผลิต	ระยะทางหลัง เมตร/รอบการผลิต	ระยะทางที่เปลี่ยนไป	เปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
ห้องคัดแยกวัตถุดิบ	732.82	170.46	- 562.36 เมตร	76.73%
ห้องจัดเรียงวัตถุดิบ	1483.56	735.8	- 747.76 เมตร	50.40%
ห้องบรรจุภัณฑ์	120.4	87.3	- 33.1 เมตร	27.49%
ห้องซักล้าง	514.83	380.25	- 134.58 เมตร	26.14%

6. เอกสารอ้างอิง

^[1] คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2550). *การจัดการคลังสินค้า*. กรุงเทพฯ : ดวงกมลสมัย.

^[2] ฐิติพร มุสิกะนันท์. (2558). *การประยุกต์ใช้หลักการผลิตแบบลีนในการเพิ่มกำลังการผลิตของกระบวนการผลิตปลาเส้น*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

^[3] ธีรศักดิ์ มงคลสวัสดิ์. (2551). *การประยุกต์ใช้ระบบลีนในกระบวนการจัดส่งชิ้นส่วนเข้าสู่กระบวนการผลิต*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการ การขนส่งและโลจิสติกส์. มหาวิทยาลัยบูรพา

^[4] ปณัฐ ธรรมชัยโสภิต. (2559). *การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตโดยใช้หลักการแบบลีนในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.

^[5] ประเสริฐ อัครประภพพงศ์. (2552). *การลดความสูญเปล่า*. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2562, แหล่งที่มา <https://cpico.wordpress.com/2009/11/29/>

^[6] สถาบันเพิ่มผลผลิตแห่งชาติ. (2562). *7 Waste Reduction*. สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน 2562, แหล่งที่มา <http://www.rmuti.ac.th/faculty/production/ie/html/WASTES.htm>

^[7] การลดความสูญเปล่าด้วยหลักการECRS/ มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี. (2562). *ระบบการขนถ่ายวัสดุ*. (ระบบออนไลน์), สืบค้นเมื่อ 20 กันยายน.2562, แหล่งที่มา https://sci.dru.ac.th/sci.dru/mis/teacher/profile/32_351/learn388.pdf

^[8] วันชัย ริจิรวนิช. (2541). *การออกแบบผังโรงงาน*. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย

การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำงานในแผนกงานซ่อม

Efficiency Improvement of Work Process in the Rework Department

ภัทรภรณ์ เหนือศรี*, ภาคภูมิ รามัญ และธีรเชษฐ์ หาญเกียรติกล้า

Pattaraporn Nueasri*, Pakpoom Raman and Teerachet Harnkertkla

สาขาวิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

เลขที่ 1 หมู่ 20 ถนนพหลโยธิน ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 13180

*E-mail: nueasri.pattaraporn@gmail.com, 0898031544

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการทำงานในแผนกงานซ่อม มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานในแผนกงานซ่อม โดยผู้วิจัยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลของกระบวนการทำงานแผนกซ่อม ประกอบด้วย 5 สถานีงานโดยใช้พนักงานทั้งหมด 5 คน จากการศึกษพบว่าปัญหาของกระบวนการทำงานของแผนกซ่อมในแต่ละสถานีการทำงานมีรอบเวลาในการทำงานที่ต่างกัน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานแผนกซ่อมปัจจุบันเท่ากับ 43.88 % หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลและหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำงาน โดยได้นำหลักการจัดสมดุลสายงานการผลิตมาทำการหาจำนวนของสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อเสนอเป็นแนวทางการปรับปรุงกระบวนการทำงานใหม่ หลังการปรับปรุงกระบวนการทำงานพบว่าจำนวนของสถานีงานเหลือ 3 สถานีงาน และพนักงานลดลงเหลือ 3 คน ทำให้ประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานแผนกซ่อมหลังการปรับปรุงมีเท่ากับ 85.05 %

คำสำคัญ: การจัดสมดุลสายการผลิต, การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ, เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม

Abstract

This research aimed to improve process efficiency in the rework department. The data regarding the work process in the rework department were collected from five workers in five workstations. Based on the preliminary study, the workflow problems in each workstation were different cycles time, and the efficiency of the rework process was 43.88%. Thus, the researcher applied industrial engineering tools to analyze data and seek to improve the work process, using the principles of line balancing to calculate the minimum number of workstations as a guideline for the improvement of the new work process. After the process improvement, it was found that the rework process required only three workstations and three workers. The efficiency of the rework process after improvement was 85.05%.

Keywords: Line Balancing, Improvement Process, IE Tools

1. บทนำ

บริษัท ทรนศึกษา เป็นบริษัทที่ดำเนินธุรกิจเป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายเครื่องใช้ไฟฟ้า เครื่องทำน้ำอุ่น เครื่องทำน้ำร้อน เครื่องกรองน้ำ ฮีลปั๊ม และหม้อต้มน้ำ โดยบริษัท ทรนศึกษา นั้นมีลูกค้าทั้งในประเทศและต่างประเทศ ทำให้ต้องเพิ่มความสำคัญในส่วนของการผลิต ซึ่งในปัจจุบันความต้องการในการใช้เครื่องทำน้ำอุ่น มีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นทั้งในประเทศไทยและในภูมิภาคเอเชีย ปัจจุบันพบว่าทางบริษัท ทรนศึกษา มีสินค้าที่ถูกส่งไปถึงลูกค้าได้ถูกส่งกลับคืนมายังบริษัท เนื่องจากพบข้อบกพร่องของตัวสินค้าที่จะต้องทำการปรับปรุงตัวผลิตภัณฑ์ใหม่ จึงต้องหาปัญหาของผลิตภัณฑ์ตัวนั้น ๆ โดยการกระบวนการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของทางบริษัทจะมีขั้นตอนและกระบวนการที่เป็นการทำงานโดยใช้พนักงานที่มีประสบการณ์รวมถึงพนักงานใหม่เข้ามาทำการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ซึ่งในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของทางบริษัทนั้นจะถูกส่งมาที่แผนกงานซ่อม (Rework) ผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาระบบการทำงานของแผนกงานซ่อม พบว่าแผนกงานซ่อมเป็นแผนกที่ไม่เกิดขึ้นเป็นประจำ และขั้นตอนการทำงานของแผนกงานซ่อมในแต่ละสถานีนานนั้นยังขาดขั้นตอนการทำงานมาตรฐาน ส่งผลให้ในแต่ละสถานีนานมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) ต่างกันจากขั้นตอนการทำงานในแต่ละสถานีนานที่ต่างกันมากเกินไป จึงทำให้เกิดการสูญเสียเปล่าในการทำงาน ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหการเข้ามาช่วยวิเคราะห์หาปัญหาและหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำงานแผนกซ่อม รวมถึงจะใช้หลักการการจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) ในการลดความสูญเสียเปล่าในการทำงาน [1] และจะทำการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการทำงาน [2] แผนกงานซ่อม ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อม

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การศึกษาการทำงาน (Work Study) [3]

การศึกษากิจการงานจากการบันทึกและวิเคราะห์วิธีการทำงานขององค์การที่กำลังทำอยู่เพื่อเสนอ

วิธีการทำงานแบบใหม่อย่างมีระบบและประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการทำงานให้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผลการศึกษาวิธีการทำงาน [4] จะช่วยให้เกิดการปรับปรุงกระบวนการในการทำงานให้มีความเหมาะสมกับการปฏิบัติงาน

2.2 การจัดสมดุลสายการผลิต [5,6]

การทำสมดุลของสายงานผลิต เป็นการทำให้เวลาที่ใช้หรือกำลังการผลิตในแต่ละสถานีนานในสายการผลิตมีความสมดุลกันเพื่อให้สายงานผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด ไม่เกิดกระบวนการคอขวด (Bottleneck Process) และการทำสมดุลของสายงานผลิตเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องทำในสายการผลิตที่มีลักษณะกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง เช่น สายการผลิตในลักษณะการประกอบชิ้นส่วน โดยจะแบ่งให้เวลาในการทำงาน (Cycle Time) ให้มีเวลาใกล้เคียงหรือเท่ากับเวลาความต้องการของลูกค้าและนอกจากนี้การจัดสมดุลสายการผลิตจะต้องทำให้พนักงานในสายการผลิตมีเวลาดำเนินการน้อยที่สุดเพื่อลดเวลาว่างงาน

2.3 เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง (7 QC Tools)

การควบคุมคุณภาพเป็นการควบคุมกระบวนการผลิตที่ต้องอาศัยวิธีการทางด้านเทคนิควิศวกรรมอุตสาหการโดยใช้กลวิธีทางสถิติ เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการแก้ไขปัญหาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้กระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพและสมรรถภาพสูงขึ้น เครื่องมือคุณภาพ 7 อย่าง ประกอบไปด้วยดังนี้

2.3.1 ใบตรวจสอบ (Check Sheet) เป็นตารางที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและรวบรวมข้อมูลในกรรมวิธีการผลิต เพื่อประโยชน์ในการทำฮิสโตแกรม แผนภูมิพาเรโต และใช้วิเคราะห์ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ

2.3.2 แผนภาพพาเรโต (Pareto Diagram) ใช้ในการวิเคราะห์ว่าอะไรคือสาเหตุหลัก หรือปัญหาหลักที่ส่งผลให้เกิดของเสียหรือจุดบกพร่อง

2.3.3 แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้สำหรับพิสูจน์หาสาเหตุของสาเหตุหลัก โดยจะนำสาเหตุหลักหรือปัญหาหลักไว้ที่หัวปลา และจะหาสาเหตุย่อยที่ทำให้เกิดปัญหาหลักนี้ไว้ที่ก้างปลา

2.3.4 กราฟ (Graph) เป็นแผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติที่ใช้เมื่อต้องการนำเสนอข้อมูลและวิเคราะห์ผลของข้อมูล

2.3.5 แผนภาพกระจาย (Scatter Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้หาความสัมพันธ์ที่เป็นเหตุและผลกันของปัญหาที่เกิดขึ้นว่าเป็นไปในทิศทางเดียวกันหรือไม่ โดยให้แกนนอนเป็นสาเหตุ และแกนตั้งเป็นผล

2.3.6 ฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นแผนภาพการกระจายข้อมูลซึ่งจะแสดงค่ากลางของปัญหาและค่าความแปรปรวนของข้อมูลฮิสโตแกรมในรูปแบบกราฟแท่งแบบเฉพาะ

2.3.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) เป็นแผนภูมิที่ใช้วิเคราะห์ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นในกระบวนการการผลิต โดยจะวิเคราะห์หาสาเหตุที่มีความแปรปรวนผิดปกติ หรือสาเหตุที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงกระบวนการทำงาน [7] ของแผนกงานซ่อม โดยผู้วิจัยเริ่มจากศึกษากระบวนการทำงานปัจจุบันของแผนกซ่อมกรณีศึกษา สํารวจและเก็บข้อมูลขั้นตอนการทำงานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา และทำการปรับปรุงขั้นตอนการทำงาน กระบวนการทำงานแผนกซ่อมใหม่

3.1 ศึกษากระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อม

ผู้วิจัยได้ศึกษากระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อมของบริษัทกรณีศึกษา สามารถแบ่งออกเป็น 5 สถานีงาน ได้แก่ สถานีงานที่ 1 (Semi - 1) คือ ขั้นตอนแรกของกระบวนการผลิตจะทำหน้าที่ถอดทุกชิ้นที่จะซ่อมและประกอบ ชิ้นงานบางส่วนที่สามารถประกอบได้ ใช้พนักงาน 1 คน สถานีงานที่ 2 (Semi - 2) คือ ประกอบชิ้นงานทุกชิ้นที่จะซ่อมกับคืนสภาพเดิม ใช้พนักงาน 1 คน สถานีงานที่ 3 (Test) คือ ทำหน้าที่เช็คระบบและการทำงานของชิ้นงานว่าสามารถทำงานได้ปกติหรือไม่ ใช้พนักงาน 1 คน สถานีงานที่ 4 (Pack 1) คือ ทำหน้าที่ทำ

ความสะอาดชิ้นงานและนำถุงพลาสติกมาห่อชิ้นงานจัดเรียงชิ้นงานให้เรียบร้อย ใช้พนักงาน 1 คน และสถานีงานที่ 5 (Pack 2) คือ ทำหน้าที่นำชิ้นงานที่ห่อเรียบร้อยแล้วมายิงบาร์โค้ด เช็คล่องบรรจุภัณฑ์ นำชิ้นงานลงกล่องและส่งคืนลูกค้า ใช้พนักงาน 1 คน แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการทำงานของแผนกซ่อม

3.2 สํารวจและเก็บข้อมูลกระบวนการทำงาน

จากการศึกษากระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อมเบื้องต้นแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการบันทึกข้อมูลการทำงานและจับเวลาในแต่ละสถานีงานจำนวน 10 ครั้ง โดยใช้แผนภูมิการไหล (Flow process chart) และใช้การคำนวณหาค่าเวลาปกติ โดยใช้วิธีของ Westinghouse of Rating มาทำการปรับค่าอัตราความเร็วของการทำงานแต่ละสถานี และในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนดเวลาค่าเผื่อเกี่ยวกับความเฉื่อยล่าเท่ากับ 5% และเวลาค่าเผื่อเกี่ยวกับความล่าช้าเท่ากับ 5% ดังนั้นค่าเผื่อรวมในการทำงานของแผนกงานซ่อมจะเท่ากับ 10% ซึ่งผู้วิจัยได้คำนวณหาเวลามาตรฐานในกระบวนการทำงานแผนกงานซ่อมจากการนำเอาเวลาปกติมาคำนวณร่วมกับเวลาค่าเผื่อทั้งหมด 10% แสดงดังตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 แสดงข้อมูลเวลาของกระบวนการทำงานของแผนกซ่อมจะได้เวลาในกระบวนการทำงานแผนกซ่อมทั้งหมด 1,109.92 วินาที ต่อ 1 ชิ้นงาน (หรือคิดเป็น 18.30 นาที ต่อ 1 ชิ้นงาน) ซึ่งใช้พนักงานในการทำงานทั้งหมด 5 คน

ตารางที่ 1 ข้อมูลเวลาของกระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อม (ก่อนการปรับปรุง)

สถานีงาน	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ค่าปรับความเร็ว	เวลาปกติ (วินาที)	เวลามาตรฐาน (วินาที)
Semi -1	445	1.05	467	513.70
Semi -2	169	1.20	202	222.22
Test	127	1.00	127	139.70
Pack 1	117	1.00	117	128.70
Pack 2	96	1.00	96	105.60

จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ทางบริษัทได้ตั้งข้อกำหนดความต้องการของลูกค้าเท่ากับ 70 ชิ้นต่อวัน และเวลาในการทำงานของกระบวนการทำงานต่อหนึ่งวันเท่ากับ 6 ชั่วโมง 30 นาที หรือคิดเป็น 390 นาที จากข้อมูลข้างต้น ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลมาคำนวณหารอบเวลาการทำงาน (Cycle Time) เพื่อที่จะคำนวณหาประสิทธิภาพสมดุลของกระบวนการทำงาน ดังสมการที่ (1)

$$CT = \frac{T}{P} \quad (1)$$

เมื่อ CT = เวลาวงจรอบ
 T = เวลาในการทำงานในหนึ่งวัน
 P = อัตราความต้องการในหนึ่งวัน

แทนค่า $CT = \frac{390}{70}$
 $CT = 5.57$ นาทีต่อชิ้น

การคำนวณประสิทธิภาพสายงานการผลิต(Efficiency) ก่อนการปรับปรุง ดังสมการที่ (2)

$$Efficiency = \frac{TotalTime}{n(CT)} \times 100 \quad (2)$$

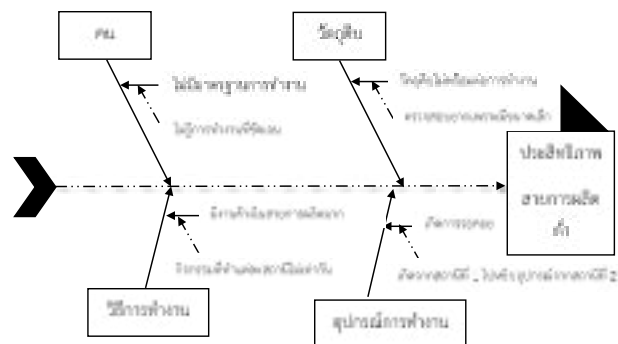
เมื่อ n = จำนวนสถานีงาน

แทนค่า $Efficiency = \frac{18.30}{5 \times 8.34} \times 100$
 $= 43.88\%$

จากการคำนวณพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานแผนกซ่อมก่อนการปรับปรุงพบว่าประสิทธิภาพสายการผลิตเท่ากับ 43.88 %

3.3 การวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

ผู้วิจัยใช้แผนภูมิแก๊งปลาวิเคราะห์สาเหตุและผล ซึ่งทำให้ทราบถึงสาเหตุของปัญหาตามที่แสดงดังรูปที่ 2 พบว่าปัญหาคือประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานที่ต่ำ ผู้วิจัยจึงได้ทำการหาแนวทางการปรับปรุงกระบวนการทำงานได้แสดงดังตารางที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังแสดงสาเหตุและผลของปัญหา

ตารางที่ 2 แสดงปัญหา สาเหตุ และแนวทางการปรับปรุงของกระบวนการทำงานแผนกงานซ่อม

ปัญหา	สาเหตุ	แนวทางการแก้ไข
คน	ขาดขั้นตอนการทำงานที่ถูกต้อง	จัดสร้างแผนขั้นตอนการทำงานที่เหมาะสม
วัตถุดิบ	เกิดจากการวัตถุดิบขนาดเล็ก	ตรวจสอบวัตถุดิบให้ละเอียดมากขึ้น
วิธีการทำงาน	พนักงานมีรอบเวลาการทำงานที่ต่างกันมาก ส่งผลให้เกิดความสูญเสียเปล่าของเวลา	แบ่งสายงานการผลิตให้มีรอบเวลาที่สมดุลกัน โดยจะใช้การคำนวณหาจำนวนของสถานีงานที่น้อยที่สุด
อุปกรณ์	เกิดจากสถานีที่ 1 ไปหยิบอุปกรณ์จากสถานีที่ 2	เพิ่มอุปกรณ์การทำงานให้เพียงพอต่อการทำงาน

3.4 การปรับปรุงกระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อม

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของปัญหาแล้วพบว่า วิธีการทำงานของกระบวนการทำงานแผนกงานซ่อมมีรูปแบบการทำงานที่ไม่สมดุลกัน และมีรอบเวลาการทำงานที่ต่างกัน ผู้วิจัยใช้การปรับปรุงหลักการการจัดสมดุลของสายงานผลิต (Line Balancing) ในการปรับปรุง [8] โดยจะคำนวณให้เห็นโดยจะทำการคำนวณหาจำนวนของสถานีงานที่น้อยที่สุด ดังสมการที่ (3)

$$N = \frac{Total\ Time \times P}{T} \quad (3)$$

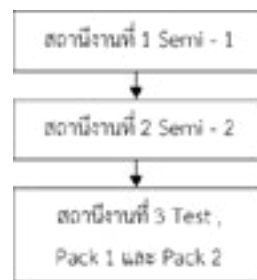
โดย N = จำนวนของสถานีงานที่น้อยสุด
 P = อัตราความต้องการในหนึ่งวัน
 T = เวลาในการทำงานในหนึ่ง

และจากการเก็บข้อมูลผู้วิจัยเห็นว่าในกระบวนการทำงานของแผนกซ่อมมีเวลาที่ต่างกันทำให้เกิดงานเป็นคอขวดและยังใช้พนักงานที่มากเกินไป ผู้วิจัยได้นำเสนอแนวคิดของกระบวนการทำงานแผนกงานซ่อมใหม่ เพื่อให้เวลาในการทำงานนั้นมีความใกล้เคียงกัน และมีการทำงานที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น [9] ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้คำนวณหาจำนวนของสถานีงานที่น้อยสุด แทนค่าในสมการที่ (3)

$$N = \frac{18.30 \times 70}{390} = 3.28 \text{ สถานี}$$

จากสมการข้างต้นพบว่าแนวทางของจำนวนสถานีงานที่ต่ำที่สุดของกระบวนการทำงานแผนกซ่อมที่ต้องการในการจัดสายการทำงานกระบวนการทำงานใหม่ให้สถานีงานการผลิตเท่ากับ 3 สถานี ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงกระบวนการทำงานของแผนกซ่อมใหม่ ซึ่งจะประกอบด้วยสถานีงานที่ 1 (Semi - 1) ทำหน้าที่ถอดชิ้นส่วนทุกชิ้นที่ Rework ออกจากชิ้นงานแล้วส่งให้แผนก Semi - 2 ใช้พนักงาน 1 คน สถานีงานที่ 2 (Semi - 2) ทำหน้าที่ประกอบชิ้นส่วนทุกชิ้นที่ซ่อม แล้วประกอบชิ้นงานให้คืนสภาพเดิมใช้พนักงาน 1 คน และสถานีงานที่ 3 (Test, Pack 1, Pack 2) ทำความสะอาดชิ้นงานแล้วทดสอบชิ้นงานว่าทำงานได้ปกติหรือไม่ จากนั้นนำชิ้นงาน

มาห่อพลาสติกแล้วยิงบาร์โค้ดจึงบรรจุลงกล่องผลิตภัณฑ์ ส่งคืนลูกค้าใช้พนักงาน 1 คน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กระบวนการทำงานของแผนกซ่อม (หลังการปรับปรุง)

4. ผลการวิจัย

หลังจากผู้วิจัยได้ทำการปรับปรุงกระบวนการทำงานใหม่ จากการใช้หลักการจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) โดยการหาจำนวนจำนวนสถานีงานที่ต่ำที่สุด และผู้วิจัยเก็บบันทึกข้อมูลการทำงานโดยใช้เครื่องมือแผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) บันทึกเวลาในกระบวนการทำงานหลังการปรับปรุง เพื่อที่จะเปรียบเทียบผลการดำเนินงานแผนกซ่อมก่อนการปรับปรุง ซึ่งจากการศึกษากระบวนการทำงานแผนกซ่อมหลังการปรับปรุงจะประกอบด้วย 3 สถานีงาน ซึ่งผู้วิจัยได้จับเวลาของการทำงานหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตในแต่ละสถานีงานแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ข้อมูลเวลาของกระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อม (หลังการปรับปรุง)

สถานีงาน	เวลาเฉลี่ย (วินาที)	ค่าปรับความเร็ว	เวลาปกติ (วินาที)	เวลามาตรฐาน (วินาที)
Semi-1	269	1.16	312	343.20
Semi-2	345	1.16	400	440
Test, Pack 1 และ Pack 2	303	1.00	303	333.30

จากตารางที่ 3 แสดงข้อมูลเวลาของกระบวนการทำงานของแผนกซ่อม ซึ่งพบว่าเวลาในกระบวนการทำงานแผนกซ่อมทั้งหมดเท่ากับ 1,116.50 วินาทีต่อ 1 ชิ้นงาน (หรือ 18.37 นาทีต่อ 1 ชิ้นงาน) ซึ่งใช้พนักงานในการทำงานทั้งหมด 3 คน ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลมาการคำนวณหาประสิทธิภาพสายงานการผลิต (Efficiency) หลังการปรับปรุงดังสมการที่ (5)

$$Efficiency = \frac{TotalTime}{n(CT)} \times 100 \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า } Efficiency &= \frac{18.37}{3 \times 7.20} \times 100 \\ &= 85.05\% \end{aligned}$$

จากการคำนวณพบว่าประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานแผนกซ่อมหลังการปรับปรุงพบว่าประสิทธิภาพสายการผลิตเท่ากับ 85.05% ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบผลการดำเนินงาน แสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลการดำเนินงาน

การดำเนินงาน	เวลา (นาที)	พนักงาน	Efficiency กระบวนการ
ก่อนปรับปรุง	18.30	5	43.88%
หลังปรับปรุง	18.37	3	85.05%

จากตารางที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบจากการปรับปรุงกระบวนการทำงาน พบว่ามีประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานแผนกซ่อมเพิ่มขึ้น 41.17% และจำนวนพนักงานลดลง 2 คนจากเดิม

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยการปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการทำงานในแผนกงานซ่อม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการทำงานและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อม ผลการวิจัยพบว่าการปรับปรุงกระบวนการทำงานโดยจากการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม เข้ามาช่วยวิเคราะห์

หาปัญหาและหาแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการทำงานแผนกซ่อม รวมถึงใช้หลักการการจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing) ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการทำงานคือ การหาจำนวนสถานีงานที่ต่ำที่สุดของกระบวนการผลิตแผนกซ่อมที่ต้องการเข้ามาปรับปรุงกระบวนการทำงานแผนกงานซ่อมใหม่ หลังจากที่ได้หาจำนวนสถานีงานที่ต่ำที่สุดแล้วนั้นพบว่า กระบวนการทำงานใหม่เหลือเพียง 3 สถานีงาน และใช้พนักงาน 3 คน ส่งผลให้ประสิทธิภาพของกระบวนการทำงานแผนกซ่อมหลังการปรับปรุงเท่ากับ 85.05% หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 41.17% จากเดิม และในแต่ละสถานีงานมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) ขั้นตอนในการทำงานในแต่ละสถานีที่มีเวลาการทำงานที่ใกล้เคียงกัน ส่งผลให้เกิดความสมดุลของกระบวนการทำงานแผนกงานซ่อมจากเดิมซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

5.1 ข้อเสนอแนะ

ควรนำปัจจัยอื่นๆ มาวิเคราะห์ประกอบการปรับปรุงกระบวนการทำงาน เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอเพื่อรองรับยอดผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลง และลดต้นทุนในการผลิตเพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขัน ดังนั้นกระบวนการทำงานของแผนกงานซ่อมควรที่จะมีการปรับปรุงอย่างสม่ำเสมอโดยใช้เทคนิคที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ฐานิตย์ ประจักษ์วินัยบดี และนนทิ สุทธิการณนัย. (2561). *การเพิ่มประสิทธิภาพกระบวนการผลิตด้วยระบบลีนกรณีสักษาบริษัท AEC จำกัด* (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.
- [2] ยอดนภา เกษเมือง และสมจินต์ อักษรธรรม. (2556). *การปรับปรุงสายการผลิตผลิตภัณฑ์ของพลาสติกของ บริษัทนิปปอนแพ็ค (ประเทศไทย) จำกัด มหาชน* (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยธนบุรี.
- [3] รัตช์วรรณ กาญจนปัญญาคม. (2552). *การศึกษางานอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: ท้อป.

- [4] วัชรินทร์ ลิทธิเจริญ. (2547). *การศึกษางาน*. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- [5] ชุมพล ศฤงคารศิริ. (2545). *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [6] พิภพ ลลิตาภรณ์. (2556). *การวางแผนและควบคุมการผลิต*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด.
- [7] พิเชฐ พุ่มเกษร และสุกานดา ศรีอร่าม. (2555). *การเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตเฟอร์นิเจอร์ไม้ กรณีศึกษาบริษัท อินเด็กซ์อินเตอร์เฟิร์น จำกัด สาขา มหาวิทยาลัย (วิทยาลัยนานาชาติปริญาบาลนานาชาติ). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.*
- [8] สุวัจชัย ช่วยอวยพร. (2556) *การเพิ่มประสิทธิภาพโดยวิธีการจัดสมดุลกรณีศึกษาสายการผลิตรางเลื่อนเบาะรถยนต์ (รายงานการวิจัย)*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [9] ฉลาด กุดเปง. (2551). *การเพิ่มผลผลิตด้วยการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงาน กรณีศึกษาการผลิตชิ้นส่วนตัวยึดชุดระบบเบรกมีอรรถจักรยานยนต์ (สารนิพนธ์ปริญาบาลนานาชาติ)*. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

การปรับปรุงกระบวนการผลิตสำหรับผลิตแคบหมู

Process improvement for pork cabbage production

เจนณรงค์ ชมภู¹ วรพจน์ แซงบุญเรือง^{2*} พีรวัตร ลือสัก¹ อำนวย คำบุญ¹ ชัชชัย สีตา¹ และวรพจน์ ศิริรักษ์¹
Chennarong Chumphu¹ Woraphod Saengbunrueang^{2*} Peerawat Luesak¹ Amnouy Kumboon¹
Chatchai Seeta¹ and Worapot Sirirak¹

¹ หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

² สาขาเทคนิคพื้นฐาน วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมศรีสงคราม มหาวิทยาลัยนครพนม

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai

² Department of Basic Technique, Srisongkram Industrial Technology College, Nakhon Phanom University

E-mail: noom153333@hotmail.com *

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อลดเวลาของกระบวนการผลิตแคบหมูและลดขั้นตอนกระบวนการผลิตแคบหมู จากข้อมูลจากกลุ่มแม่บ้านปารวก ศาลาชุมชน หมู่ 4 บ้านปารวกใต้ ตำบลธารทอง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย จากเดิมมีกระบวนการผลิตอยู่ 20 ขั้นตอน ด้วยปริมาณการผลิต 50 กิโลกรัมต่อรอบการผลิต จึงปรับปรุงกระบวนการผลิตแคบหมู ด้วยการออกแบบอุปกรณ์เพื่อลดระยะเวลาในกระบวนการผลิต ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์โดยใช้ผังก้างปลา, แผนภูมิการวิเคราะห์ Why Why Analysis, หลักการ ECRS และแผนภูมิการไหล (Flow Process Chart) มาทำการวิเคราะห์ จากการปรับปรุงการผลิตแคบหมูพบว่า จากเดิมก่อนปรับปรุงเวลาที่ใช้ในการผลิต แบบธรรมดา 280.92 นาที และแบบไ้รมันเวลาในกระบวนการ 257.38 นาที ทั้ง 2 แบบมีระยะทางที่เท่ากับ 31 เมตร หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตการแคบหมู สามารถลดขั้นตอนกระบวนการผลิตของแคบหมูทั้ง 2 แบบ ซึ่งลดการเคลื่อนย้าย 3 ขั้นตอน การรอคอย 1 ขั้นตอน ลดเวลาในกระบวนการผลิตแบบธรรมดาลง 125.40 นาที คิดเป็น 55.36 % และแบบไ้รมันสามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตลง 114.70 นาทีคิดเป็น 55.41% ลดระยะทางการผลิตได้ถึง 21 เมตร คิดเป็น 67.74% ทำให้การผลิตสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นตามความต้องการของลูกค้า

คำสำคัญ : การลดขั้นตอน , การศึกษางาน , แผนภูมิความสัมพันธ์ของกิจกรรม , ผลิตภัณฑ์แคบหมู

Abstract

The objective of this research was to reduce the time and procedures of pork skin production. The data were collected from Pa Ruak housewives group, community pavilion, Moo 4, Ban Pa Ruak Tai, Than Thong Subdistrict, Phan District, Chiang Rai Province. The original process comprised 20 steps for producing 50 kilograms of pork skin per cycle. The equipment was designed to reduce the time in the production, employing a fishbone chart for product analysis, Why-Why Analysis chart, ECRS technique, and Flow Process Chart for analysis. Previously, producing both pork skin with fat and free fat pork skin took 280.92 minutes and 257.38 minutes in 31 meters of process distance. After improving the process, producing two types of pork skin was reduced to three moving steps and one delay step. The processing time was reduced to 125.40 minutes of pork skin with fat (55.36 %) and 114.70 minutes of free fat pork skin (55.41%). The distance was reduced to 21 meters (67.74 %). Therefore, the production increased to meet the customer's demands.

Keyword: Step Reducing, Relationship chart, pork skin product

1. บทนำ

แคบหมู คือ หนังหมูติดมันทอดให้พองและกรอบเป็นอาหารสำเร็จรูปชนิดหนึ่งแคบหมูสามารถบริโภคในรูปแบบของอาหารคาวและอาหารว่างได้ เช่นใช้เป็นเครื่องสำหรับน้ำพริกและอาหารว่างต่าง ๆ แคบหมูสามารถแบ่งได้หลายประเภท ได้แก่แคบหมูติดมัน แคบหมูไร้มันและแคบหมูล้วน ซึ่งทางภาคเหนือมีความต้องการบริโภคค่อนข้างมาก แต่ในการผลิตมักเกิดปัญหาการผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้า โดยเฉพาะกลุ่มวิสาหกิจชุมชนอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย ที่ประสบปัญหายอดการผลิตได้น้อยไม่เป็นไปตามเป้าหมายด้วยยอดความต้องการผลิตเฉลี่ยที่ 200 กิโลกรัมต่อวัน แต่ผลิตได้เฉลี่ยเพียง 120 กิโลกรัมต่อวัน ทำให้เกิดความสูญเสียโอกาสทางการขายถึง 80 กิโลกรัม คิดเป็นเงิน 12,000 บาทต่อวัน ซึ่งจากการสำรวจเบื้องต้นพบว่าการผลิตแคบหมูใช้แรงงานคนในการผลิตทั้งหมดจึงส่งผลทำให้เกิดความล่าช้า ความเมื่อล่า จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะปรับปรุงเพื่อลดในเวลางานทำงานของกระบวนการผลิตแคบหมูด้วยวิธีการศึกษางาน (Work study) ทำการออกแบบอุปกรณ์ช่วยหั่นหนังหมูขึ้นรูปและวิธีการทำงานตามหลักการ ECRS ให้พนักงานทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะส่งผลให้สามารถเพิ่มโอกาสในการผลิตแคบหมูที่เพิ่มขึ้นได้ตามความต้องการของผู้ผลิต ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะหาวิธีการปรับปรุงการทำงานด้วยออกแบบเครื่องหั่นหนังหมู เพื่อลดเวลาในการทำงานของกระบวนการหั่นหนังหมู ลดกระบวนการผลิตแคบหมู เพิ่มผลผลิตจากกระบวนการผลิตแคบหมู

2. ทฤษฎีและงานวิจัยเกี่ยวข้อง

การวิจัยนี้ใช้หลักการทางวิศวกรรมอุตสาหการในการศึกษางานมาใช้สำหรับการปรับปรุงการทำงานโดยอาศัยทฤษฎีที่ใช้งานวิจัยประกอบด้วยทฤษฎีการวิเคราะห์โดยการตั้งคำถามจะนำไปสู่การปรับปรุงงาน โดยอาศัย

หลักการศึกษางานด้วยเทคนิค ECRS ในการลดความสูญเสียเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตประกอบด้วย

- 1 ขจัดงานที่ไม่จำเป็นออก (Eliminate)
- 2 รวมขั้นตอนปฏิบัติงานเข้าด้วยกัน (Combine)
- 3 การสลับสับเปลี่ยนลำดับการปฏิบัติงาน (Change)

- 4 ทำงานให้ง่ายขึ้น (Simplify)

ทั้ง 4 หลักนี้จะถูกนำไปใช้สำหรับการปรับปรุงกระบวนการสำหรับงานวิจัยนี้ และการวิเคราะห์หาสาเหตุด้วยแผนผังก้างปลา เพื่อหาสาเหตุและผลที่แสดงถึงความสัมพันธ์ ระหว่างปัญหากับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น ด้วยขั้นตอนดังนี้ 1. กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา 2. กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้น ๆ 3. ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละประเด็น จากนั้นใช้การวิเคราะห์หาสาเหตุด้วย Why-Why Analysis เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้กันมากโดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์ หรือปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อให้ได้พบต้นตอ หรือรากเหง้าที่แท้จริง และที่สำคัญคือเพื่อนำไปสู่การแก้ไข และป้องกันการเกิดซ้ำต่อไป ปัจจัยอยู่หลังสุด จะต้องเป็นปัจจัยที่สามารถพลิกกลับกลายเป็นมาตรการที่มี ประสิทธิภาพ

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยนี้เป็นการพัฒนาเครื่องหั่นย่อยหอมแดง มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่อง หั่นย่อยหอมแดง เนื่องจากในขั้นตอนการหั่นหอมแดงจะเกิดการระคายเคืองตาและกำลังการผลิตด้วย แรงงานคนก็ไม่สูงมากนัก จึงทำให้เป็นที่มาของการพัฒนาเครื่องหั่นหอมแดงในครั้งนี้ โดยเครื่องหั่นหอมแดงโดยทำการทดลอง 3 ครั้ง พบว่าเครื่องหั่น หอมแดงสามารถหั่นหอมแดงจำนวน 1 กิโลกรัมที่มีจำนวนหัวเฉลี่ยเท่ากับ 34 หัว ในเวลา 95.7 วินาที (37.6 กิโลกรัม/ชั่วโมง) ส่วนแรงงานคนจะหั่นหอมแดงจำนวน 1 กิโลกรัมที่มีจำนวนหัวเฉลี่ย เท่ากับ 34 หัว ในเวลา 486 วินาที (7.4 กิโลกรัม/ชั่วโมง) คิดเป็นเวลาที่เราเร็วกว่ากันอยู่ 5 เท่า [1] และการพัฒนาเครื่องเครื่องผ่านกล้วยทำกล้วยฉาบที่

พัฒนาขึ้นสามารถ ลดเวลาในการผ่านกลัวยทำกลัวยฉาบให้กับกลุ่มเกษตรกรผู้ผลิตกลัวยฉาบมีอัตราการกำลังการผลิต สูงขึ้นพบว่า การทดลองใช้คนจำนวน 1 คน ทำการผ่าน กลัวย 20 ครั้ง ใช้กลัวยจำนวน 180 ลูก ใช้เวลาในการทำงาน 125.49 นาที ส่วนเครื่องผ่านกลัวยทำ กลัวยฉาบใช้เวลาในการทำงาน 67.04 นาที ซึ่งเครื่องผ่านกลัวยทำกลัวยฉาบสามารถลดเวลาในการ ผ่านกลัวยได้58.45 นาที คิดเป็นร้อยละ 47 โดยประมาณ [2] อีกทั้งการลดของเสียในกระบวนการผลิตใบพาย กรณีศึกษาบริษัท Prime Manufacturing Thailand Co.,Ltd. จากการศึกษาพบข้อบกพร่อง ของกระบวนการผลิตใบพายของเสียจากการผลิตใบพาย ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยต่อเดือน คือ ตรวจสอบไม่ผ่าน 2.39%, คอใบพายเสีย 0.21%, ฟองอากาศบนผิวชิ้นงาน 1.46%, ผ่าคาร์บอนยับ 0.41%, ขอบดำ 0.21%, โลโก้ละลาย 0% [3] และ การใช้เทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรมในการลดของเสียในกระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษาของเสีย ประเภทจุดดำเพื่อลดของเสียประเภทจุดดำที่เกิดขึ้นในกระบวนการฉีดพลาสติกผลการดำเนินการปรับปรุงสามารถลดการเกิดของเสียประเภทจุดดำจากเดิม 0.23% ลดลงเป็น 0.07% ลดลงจากเดิม 69.56% และคิดเป็นมูลค่าที่ลดได้ 1,175,906.16 บาทต่อปี [4] จากการทบทวนวรรณกรรมเห็นได้ว่าการปรับปรุงกระบวนการมีความสำคัญที่จะทำให้การผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยวิธีการที่ทำได้ง่าย

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานในการศึกษาวิจัยนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เข้าใจถึงหลักการ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของการหั่นหนังหมูได้แก่ 1.การศึกษางาน (Work Study) 2.การศึกษาเวลา

มาตรฐาน (Time Study) 3.แผนภูมิกระบวนการ (Process Charts) 4.การวิเคราะห์สาเหตุ (ก้างปลา) 5. แผนภาพวิเคราะห์คำถาม Why-Why Analysis 6. แผนภาพความสัมพันธ์(The Relationship Chart) 7.การลดความสูญเสียด้วยหลักการ ECRS

3.2 เก็บข้อมูลการทำงานของกระบวนการผลิต

ทำการศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลจำนวน 10 ครั้ง เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา พบว่ากระบวนการผลิตแคบหมูแบบธรรมดาและแบบไร้มันอย่างละ 50 กิโลกรัม มีขั้นตอนดังตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 เวลาในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตแคบหมู(แบบธรรมดา)

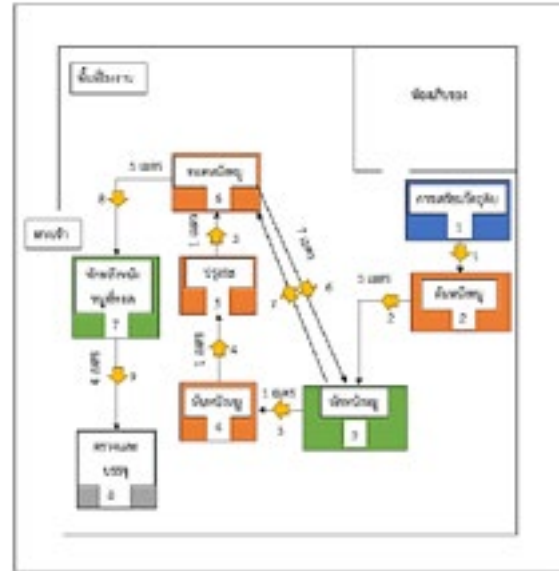
ลำดับ	รายละเอียดกิจกรรมย่อย	สัญลักษณ์	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	เตรียมหนังหมู	● → D □ ▽	9.14	
2	นำมายังที่ต้ม	○ → D □ ▽	0.10	1
3	ต้มหนังหมู	● → D □ ▽	20.11	
4	นำหนังหมูมาตาก	○ → D □ ▽	0.13	4
5	พักหนังหมูให้เย็น	○ → D □ ▽	10	
6	นำมาจุดหั่น	○ → D □ ▽	0.14	1
7	หั่นหนังหมู	● → D □ ▽	174.49	
8	นำมายังปรุงรส	○ → D □ ▽	0.6	1
9	ปรุงรส	● → D □ ▽	2	
10	นำหนังหมูมาทอด	○ → D □ ▽	0.2	1
11	ทอดหนังหมู	● → D □ ▽	29.46	
12	นำมาจุดทอด	○ → D □ ▽	0.5	7
13	พักหนังหมูที่ทอดไว้	○ → D □ ▽	10.6	
14	นำหนังหมูมาทอด	○ → D □ ▽	0.9	7
15	ทอดหนังหมูซ้ำ	● → D □ ▽	10.22	
16	นำมายังที่พัก	○ → D □ ▽	0.5	5
17	พักไว้ให้เย็นตัว	○ → D □ ▽	9.45	
18	นำมายังที่บรรจุ	○ → D □ ▽	0.5	4
19	บรรจุ	● → D □ ▽	5.35	
20	เก็บรองลูกค้า	○ → D □ ▽	-	
รวม		7 9 3 0 1	280.92	31

ตารางที่ 2 เวลาในการทำงานของแต่ละขั้นตอนในกระบวนการผลิตแคบหมู(แบบไร้มัน)

ลำดับ	รายละเอียดกิจกรรมย่อย	สัญลักษณ์	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	เตรียมหนังหมู	● ⇔ D □ ▽	10.22	
2	นำมายังที่ต้ม	○ → D □ ▽	0.14	1
3	ต้มหนังหมู	● ⇔ D □ ▽	20.23	
4	นำหนังหมูมาตาก	○ → D □ ▽	0.5	4
5	พักหนังหมูให้เย็น	○ → D □ ▽	10.2	
6	นำมาจุดหั่น	○ → D □ ▽	0.4	1
7	หั่นหนังหมู	● ⇔ D □ ▽	160.16	
8	นำมายังปรุงรส	○ → D □ ▽	0.8	1
9	ปรุงรส	● ⇔ D □ ▽	2.6	
10	นำหนังหมูมาทอด	○ → D □ ▽	0.2	1
11	ทอดหนังหมู	● ⇔ D □ ▽	20.35	
12	นำมาจุดทอด	○ → D □ ▽	0.5	7
13	พักหนังหมูที่ทอดไว้	○ → D □ ▽	10.13	
14	นำหนังหมูมาทอด	○ → D □ ▽	0.5	7
15	ทอดหนังหมูซ้ำ	● ⇔ D □ ▽	8.30	
16	นำมายังที่พัก	○ → D □ ▽	0.5	5
17	พักไว้ให้เย็นตัว	○ → D □ ▽	10.14	
18	นำมายังที่บรรจุ	○ → D □ ▽	0.5	4
19	บรรจุ	● ⇔ D □ ▽	5.19	
20	เก็บบรอสักลูกค้า	○ → D □ ▽		
รวม		7 9 3 0 1	257.38	31

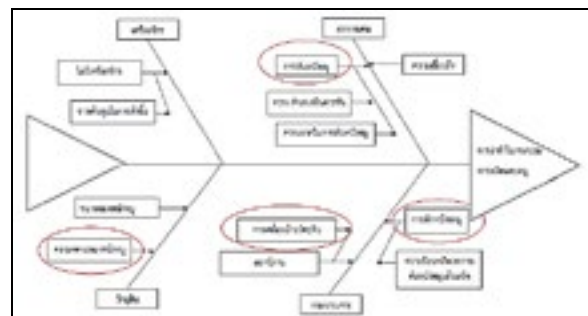
เห็นได้จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเวลาในการหั่นหนังหมูใช้เวลาที่นานเนื่องจากใช้คนในการหั่นจึงทำให้เกิดความล่าช้าในการผลิต ของกระบวนการผลิตแคบหมูแบบธรรมดา และแบบไร้มัน จำนวนอย่างละ 50 กิโลกรัม (1 รอบการผลิต) ก่อนการปรับปรุงพบว่ากิจกรรมย่อยในกระบวนการผลิตแคบหมูแบบธรรมดามีทั้งหมด 10 กิจกรรม ซึ่งกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดมูลค่าเป็นกิจกรรมที่ 3 คือ พักหนังหมูให้เย็น และกิจกรรมที่เกิดปัญหาคอคอดกิจกรรมที่ 7 คือ หั่นหนังหมู เป็นการทำงานที่มีเกิดความสูญเปล่าจากการทำงานที่ซ้ำซ้อน นอกจากนี้เมื่อศึกษาผังการไหลของกระบวนการแล้วพบว่าการเคลื่อนย้ายที่ซ้ำซ้อนกันอยู่ทำให้มีระยะทางในการทำงานที่มากดังรูปที่ 2 ซึ่งมีการวางผังสถานีงานปฏิบัติงานในขั้นตอนที่ 3 ไปยังขั้นตอนที่ 6 เป็นเส้นทางการไหลที่ย้อนกลับไปกลับมา

เป็นระยะทาง 7 เมตร และมีจุดตัดของสถานีงานเกิดขึ้น โดยมีระยะทางการไหลของงานตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดกระบวนการผลิตแคบหมู รวมระยะทาง 31 เมตร ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการไหลก่อนปรับปรุง

3.3 วิเคราะห์หาสาเหตุและที่มาของปัญหา สามารถวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาได้จากกระบวนการหั่นหนังหมูจากกระบวนการหั่นหนังหมูสามารถวิเคราะห์หาสาเหตุและที่มาของปัญหาโดยใช้แผนภูมิแกงปลา วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาดังรูปที่ 3 และใช้เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยการตั้งคำถาม Why-Why Analysis ตารางที่ 3 เพื่อหาแนวทางในการแก้ปัญหาการลดเวลาในการหั่นหนังหมูจากการวิเคราะห์ปัญหา



รูปที่ 3 แผนภูมิแกงปลาวิเคราะห์หาสาเหตุ

ตารางที่ 3 วิเคราะห์คำถาม Why-Why ในปัญหาการ
ผลิต

ปัญหา	Why1	Why2	Why3	ผล	มาตรการแก้ไข
การแก้ไขปัญหากระบวนการผลิตแบบถุง	การหั่นชิ้นเล็ก	เวลาในการหั่นยาวเกินไป	เป็นเวลามากในการหั่นชิ้นเล็กวัสดุ	-เป็นเวลามากในการหั่นชิ้นเล็กวัสดุถึงไม่สะดวกในการหั่น	ลดขนาดของชิ้นงานที่ทำงานเพื่อไม่ให้เวลาในการหั่นยาวเกินไป
	การนำพริกจากถุงมาหั่น	ความถี่ในการนำพริกมาหั่น	ไม่สะดวกในการนำพริกมาหั่น	-การนำพริกมาหั่นไม่สะดวก	ลดขนาดของชิ้นงานในการนำพริกมาหั่น
	หั่นพริก	การนำพริกมาหั่น	การนำพริกมาหั่น	-เป็นเวลามากในการนำพริกมาหั่น -เป็นการนำพริกมาหั่นที่ช้าเกินไป	ลดขนาดของชิ้นงานที่ทำงานเพื่อลดเวลาในการนำพริกมาหั่น
	ขนาดของพริก	ความถี่ในการนำพริกมาหั่น	ขนาดของพริก	-ขนาดของพริกใหญ่เกินไป -ความถี่ในการนำพริกมาหั่น	ลดขนาดของชิ้นงานที่ทำงานเพื่อลดขนาดของพริก

พบปัญหาดังนี้ 1. ด้านพนักงานพบปัญหาที่เกิดจากพนักงาน คือ มีไม่เพียงพอต่อการหั่นพริก มีการล่าช้าจากการหั่นพริกในจำนวนมากต่อการผลิต 1 ครั้งไม่มีอุปกรณ์ช่วยในการหั่นพริก

2. ด้านกระบวนการ ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการ คือ เกิดการรอคอยในกระบวนการหั่นพริกทำให้ล่าช้าในการผลิตแคบหมูต่อ 1 ครั้ง 3. วัตถุดิบปัญหาที่พบ คือ เวลารับเอาพริกขึ้นมาจากการต้ม มีการคั่งรอ ทำให้ยากต่อการหั่นพริก 4. เครื่องจักรปัญหาที่จากวัตถุดิบ คือ ไม่มีเครื่องจักร เพราะไม่มีทุนในการสั่งซื้อเครื่อง จากการวิเคราะห์สาเหตุที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตแคบหมูในขั้นตอนกระบวนการหั่นพริก พบว่า ในขั้นตอนหั่นพริกมีเวลาในการทำงานค่อนข้างล่าช้าในกระบวนการผลิต โดยใช้หลักการECRS ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต โดยใช้ 3 ตัวคือ ECS ในการปรับปรุง

Eliminate ขจัดขั้นตอนการทำงานมีดังนี้ เคลื่อนย้ายพริก, พักพริกให้เย็น, เคลื่อนย้ายมายังที่หั่น

พริกและเคลื่อนย้ายมายังปรุงรส เพื่อขจัดเวลาที่ไม่ว่าเป็นนอกและลระยะทางในการเดิน

Combine โดยรวมขั้นตอนเข้าด้วยกัน รวมขั้นตอน เคลื่อนย้ายพริก, พักพริกให้เย็น, เคลื่อนย้ายมายังที่หั่น, หั่นพริกและเคลื่อนย้ายมายังปรุงรสเพื่อลดขั้นตอนการทำงานและเวลาในการเคลื่อนที่

Simplify โดยสร้างเครื่องหั่นพริกช่วยในกระบวนการหั่นพริก เพื่อช่วยลดขั้นตอนของการนำพริกมาหั่นและการปรุงรส ทำให้ง่ายขึ้น ลดเวลา ลดขั้นตอนจึงหาแนวทางการปรับปรุงวิธีการทำงานเพื่อลดความสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นโดยการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ช่วยในการหั่นพริก ดังรูปที่ 4 ซึ่งมีหลักการทำงานโดยใช้มอเตอร์เป็นแรงในการขับเคลื่อนใบมีดในการหั่นพริกโดยใบมีดของพริกจะแบ่งเป็นสองขนาดขนาดที่1 3.5 มิลลิเมตร ขนาดที่2 1.5 มิลลิเมตร สามารถหั่นพริกได้ 2 ขนาดพร้อมกัน

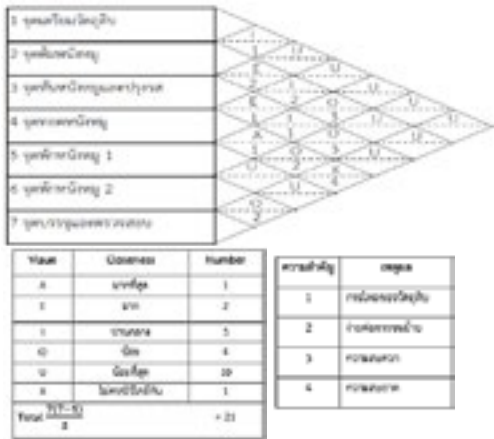


รูปที่ 4 เครื่องหั่นพริก

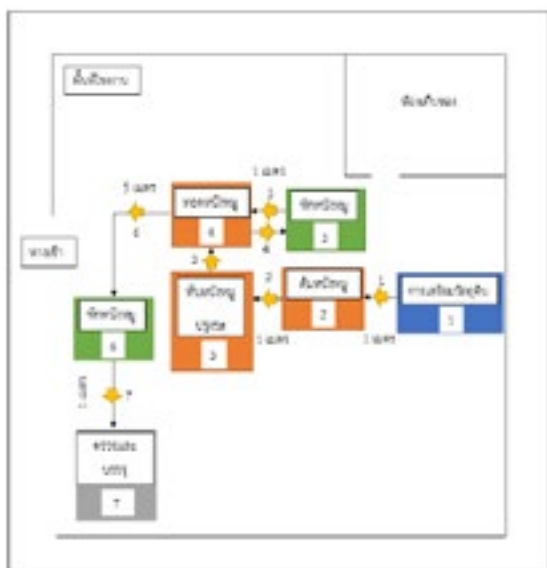
4. ผลการดำเนินงาน

ผลการทดลองหั่นพริกโดยใช้พนักงานและเครื่องหั่นพริก โดยทำการหั่นพริกที่ ปริมาณ 50 กิโลกรัม พบว่าเวลาในการหั่นพริก โดยใช้พนักงานหั่น

หนังหมูแบบธรรมดาในการหันโดยเฉลี่ย 174.49 นาที และใช้พนักงานหันหนังหมูแบบไร้มันในการหันโดยเฉลี่ย 160.16 นาที จากนั้นทดลองใช้เครื่องหันหนังหมูโดยแบบธรรมดาใช้เวลาเฉลี่ย 30.04 นาที และแบบไร้มันใช้เวลาเฉลี่ย 28.99 เวลาลดลงจากเดิมโดยเฉลี่ยแบบธรรมดา 144.45 นาที แบบไร้มันลดเวลาลงได้จากเดิมโดยเฉลี่ย 131.17 นาที แบบธรรมดาคิดเป็นประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 82.78 และแบบไร้มันคิดเป็นประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้นร้อยละ 81.89 และ ทำการออกแบบสถานีการทำงานใหม่ โดยใช้แผนภูมิกภาพความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 แผนภาพความสัมพันธ์การวางผังการผลิตแคหมู



รูปที่ 6 แผนผังแสดงกระบวนการผลิตแคหมูแบบหลังการปรับปรุง

ทำให้มีลักษณะของผังการไหลรูปที่ 6 จากการจัดความสัมพันธ์ในการวางผังการผลิตใหม่มีตำแหน่งของขั้นตอน ที่มีความสำคัญและต้องอยู่ใกล้กันมากที่สุดเป็นตำแหน่งที่ 4 เป็นจุดทอดและตำแหน่งที่ 5 ซึ่งเป็นจุดพักหนังหมูที่ต้องอยู่ใกล้กันเพื่อไม่ให้เสียเวลาในการนำแคหมูไปพักและป้องกันการทอดแคหมูไหม้เกินไป จึงปรับผังการไหลใหม่ดังรูปที่รูปที่ 6 ในการปรับผังใหม่ตามความสัมพันธ์สามารถลดเส้นทางการไหลย้อนกลับจากจุดที่ 3 ไปจุดที่ 6 ซึ่งลดปัญหาการไหลของสถานีงานด้วยระยะทางการไหลของงานตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงจุดการบวนการผลิตแคหมู รวมเป็นระยะทาง 10 เมตร แสดงการไหลของขั้นตอนการผลิตของแคหมูแบบธรรมดาดังตารางที่ 4 แผนภูมิการไหลกระบวนการผลิตแคหมูแบบธรรมดาหลังการปรับปรุง

ลำดับ	รายละเอียดกิจกรรมย่อย	สัญลักษณ์	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)
1	เตรียมหนังหมู	● → D	9.14	
2	นำมายังที่ต้ม	○ → D	0.10	1
3	ต้มหนังหมู	● → D	20.01	
4	นำมาจุดหัน	○ → D	0.10	1
5	หันหนังหมู	● → D	30.04	
6	ปรุงรส	● → D	0.30	
7	ทอดหนังหมู	● → D	29.15	
8	นำมาจุดพัก	○ → D	0.3	1
9	พักหนังหมูที่ทอดไว้	○ → D	10.11	
10	นำหนังหมูมาทอด	○ → D	0.4	1
11	ทอดหนังหมูซ้ำ	● → D	10.17	
12	นำมายังที่บรรจุ	○ → D	0.5	5
13	พักไว้ให้เย็นตัว	○ → D	9.48	
14	นำมายังที่บรรจุ	○ → D	0.2	1
15	บรรจุ	● → D	5.40	
16	เก็บรอส่งลูกค้า	○ → D		
รวม		7 6 2 0 1	125.40	10

สรุปผลการบันทึก					
รายการ	กิจกรรมการทำงาน	ก่อนปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลต่าง	หมายเหตุ
สรุป	การปฏิบัติงาน	7	7	0	
	การเคลื่อนย้าย	9	6	-3	
	การรอคอย D	3	2	-1	
	การตรวจสอบ	0	0	0	
	การเก็บรักษา	1	1	0	
	เวลา (นาที/รอบการผลิต)	280.92	125.40	-155.52	
ระยะทาง(เมตร)	31	10	-21		

ตารางที่ 4 และแบบไรมันตั้งตารางที่ 5 จากตารางที่ 4 หลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตตาม แผนภูมิกระบวนการไหลสามารถลดขั้นตอนการเคลื่อนย้าย 3 ขั้นตอน และ ลดการรอคอย 1 ขั้นตอน ทำให้เวลาในการผลิตลดลงเหลือ 125.40 นาที ซึ่งลดลงจากเดิมก่อนปรับปรุงถึง 155.52 นาที และลดระยะทางได้ 21 เมตร สามารถลดเวลาในการผลิตได้ถึง 55.36 %

ตารางที่ 5 แผนภูมิกระบวนการผลิตแคบหมูแบบไรมัน หลังการปรับปรุง

ลำดับ	รายละเอียดกิจกรรมย่อย	สัญลักษณ์	เวลา (นาที)	ระยะทาง (เมตร)	
1	เตรียมหนังหมู	● ⇔ D □ ▽	10.22		
2	นำมายังที่ต้ม	○ → D □ ▽	0.14	1	
3	ต้มหนังหมู	● ⇔ D □ ▽	20.13		
4	นำมาจุดหั่น	○ → D □ ▽	0.10	1	
5	หั่นหนังหมู	● ⇔ D □ ▽	28.99		
6	ปรุงรส	● D □ ▽	0.30		
7	ทอดหนังหมู	● ⇔ D □ ▽	20.04		
8	นำมาจุดพัก	○ → D □ ▽	0.3	1	
9	พักหนังหมูที่ทอดไว้	○ ⇔ D □ ▽	10.14		
10	นำหนังหมูมาทอด	○ → D □ ▽	0.4	1	
11	ทอดหนังหมูซ้ำ	● ⇔ D □ ▽	8.30		
12	นำมายังที่พัก	○ → D □ ▽	0.5	5	
13	พักไว้ให้เย็นตัว	○ ⇔ D □ ▽	10.17		
1ก	นำมายังที่บรรจุ	○ → D □ ▽	0.2	1	
15	บรรจุ	● ⇔ D □ ▽	5.29		
16	เก็บรอส่งลูกค้า	○ ⇔ D □ ▽			
รวม		7 6 2 0 1	114.75	10	
สรุปผลการบันทึก					
รายการ	กิจกรรมการทำงาน	ก่อนปรับปรุง	หลังการปรับปรุง	ผลต่าง	หมายเหตุ
สรุป	การปฏิบัติงาน○	7	7	0	
	การเคลื่อนย้าย ⇔	9	6	-3	
	การรอคอย D	3	2	1	
	การตรวจสอบ □	0	0	0	
	การเก็บรักษา ▽	1	1	0	
	เวลา (นาที/รอบการผลิต)	257.38	114.75	-142.63	
ระยะทาง(เมตร)	31	10	-21		

จากตารางที่ 5 พบว่าหลังจากการปรับปรุงกระบวนการผลิตตาม แผนภูมิกระบวนการไหล สามารถลดขั้นตอนการเคลื่อนย้าย 3 ขั้นตอน และ การรอคอย 1 ขั้นตอน ลดขั้นตอนของการผลิตได้ 4 ขั้นตอน มีเวลาในการผลิตลดลงเหลือ 114.75 นาที ซึ่งลดลงจากเดิมก่อนปรับปรุง

ถึง 142.63 นาที และ ระยะทาง 10 เมตร สามารถลดเวลาในการผลิตได้ถึง 55.41 %

5.สรุปผล

การศึกษาการปรับปรุงกระบวนการผลิตสำหรับผลิตแคบหมู สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การปรับปรุงกระบวนการผลิตแคบหมูแบบธรรมดาและแบบไรมัน ในขั้นตอนการหั่นหนังหมูด้วยเทคนิค ECRS ที่จัดขั้นตอนที่ไม่จำเป็นออก (E : Elimination)และรวมขั้นตอนที่สามารถรวมกันได้ (C : Combination รวมทั้งการหาวิธีการทำงานให้ง่ายขึ้น (S : Simplify) ด้วยการใช้เครื่องช่วยในการหั่นหนังหมูที่มีรอบการผลิตครั้งละ 50 กิโลกรัม สามารถลดขั้นตอนกระบวนการผลิต ซึ่งลดการเคลื่อนย้าย 3 ขั้นตอน การรอคอย 1 ขั้นตอน

2. สามารถลดเวลาที่ใช้ในการผลิตแคบหมูแบบธรรมดาจาก 280.92 นาที เหลือ 125.40 นาทีคิดเป็น 55.36 % และแบบไรมันสามารถลดเวลาในกระบวนการผลิตลง 114.70 นาทีคิดเป็น 55.41%

3. สามารถลดระยะทางการเคลื่อนที่ของการผลิตจากเดิม 31 เมตร เหลือระยะทางการเคลื่อนที่ของการผลิตเพียง 10 เมตร คิดเป็น 67.74% ทำให้การผลิตสามารถผลิตได้เพิ่มขึ้นตามความต้องการของลูกค้า

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ขอขอบคุณกลุ่มแม่บ้านป้ารอกศาลาชุมชน หมู่ 4 บ้านป้ารอกใต้ ตำบลธารทอง อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย

7. เอกสารอ้างอิง

[1] บัญญัติ นิยมวาส, 2560 “การพัฒนาเครื่องหั่นย่อยหอมแดง” การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18 ระดับนานาชาติ ครั้งที่ 10ประจำปี 2560 112-116

- [2] อติศักดิ์ ฤาชา และมัติ ศรีหกล้า, 2558 “เครื่องผ่าน
กล้วยทำกล้วยฉาบ” สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
ธัญบุรี ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
- [3] จิรโรจน์ ศรินนท์ชนเวช, 2555 “การลดของเสียใน
กระบวนการผลิตไบโพลาย” ปริญญาวิทยาศาสตร
บัณฑิต สาขาการจัดการอุตสาหกรรม คณะ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี
- [4] ธนกฤษ ชุ่นเซ่ง, 2557. “การลดของเสียใน
กระบวนการฉีดพลาสติก กรณีศึกษาของเสีย
ประเภท จุดดำ” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหา
บัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทางวิศวกรรม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจ บัณฑิตย์

การศึกษาแนวทางการพัฒนาการให้บริการท่องเที่ยวในระดับเมืองท่องเที่ยวกรณีศึกษาวัดร่องขุน A study of Services Development Approach of Logistics Management System Tourism at the City Level: A Case Study of Wat Rong Khun

ฐปนนัทกร คำชาว^{1*}, บุษยา ตาบุญ^{1*}, สมควร สงวนแพง¹, หฤทัยรัตน์ จันท๊ะคาด¹,
สุจิตตา หงส์ทอง² และ ศุภसानต์ รักสกุล³

Tapanonkon komsao^{1*}, Busaya Tabun^{1*}, Somkuan Sanguanpang¹, Harutairat Jantakard¹,
sujitta hongthong² and Subhasant Raksakul³

¹สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
99 หมู่ที่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน เชียงราย 57120

²สาขาบริหารธุรกิจคณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
99 หมู่ที่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน เชียงราย 57120

³สาขาวิชาการท่องเที่ยว แผนกวิชาสามัญสัมพันธ์ วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย
670 ถนนธนาลัย ตำบลเวียง อำเภอเมืองเชียงราย เชียงราย 57000

¹Program in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Changrai,
99 Moo 10 Tambon Sai Khao, AmphoePhan, Chiang Rai 57120

²Program in Business Administration, Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of
Technology Lanna Changrai, 99 Moo 10 Tambon Sai Khao, Amphoe Phan, Chiang Rai 57120

³Program in Tourism, Department of General Relations, Chiangrai Vocational College, 670 Thanalai Road,
Tambon Wiang, Amphoe Mueang Chiang Rai, Chiang Rai 57000

*Email, Tapanonkon31140@gmail.com, 0882627436

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระบบการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยววัดร่องขุนในจังหวัดเชียงราย ตลอดจนแนวทางการพัฒนาปรับปรุงในอนาคต โดยใช้แบบสอบถามจำนวน 400 ชุด สอบถามนักท่องเที่ยว และใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกในการเก็บข้อมูลจากผู้บริการและผู้ที่เกี่ยวข้องสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ได้แก่ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำไปวิเคราะห์ SWOT Analysis จากการศึกษาพบว่า สิ่งที่ได้รับบริการปรับปรุงมากที่สุด คือ สถานที่สำหรับกิจกรรมทางศาสนา มีค่าเฉลี่ย 3.31 โดยแรงจูงใจของนักท่องเที่ยวที่สำคัญในการเดินทางมาเที่ยววัดร่องขุนได้แก่ บรรยากาศภายในวัด มีความร่มรื่นและสวยงาม มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 4.44 อย่างไรก็ตามระดับความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวต่อองค์ประกอบของโลจิสติกส์การท่องเที่ยวในภาพรวมเฉลี่ย 4.44 ซึ่งอยู่ในระดับมากและผลจากการวิเคราะห์ตามแนวคิด SWOT Analysis พบว่า วัดร่องขุนมีเอกลักษณ์ที่โดดเด่นและดึงดูดนักท่องเที่ยวพร้อมทั้งมีการให้บริการและสิ่งอำนวยความสะดวกแก่นักท่องเที่ยวเป็นอย่างดีแต่การให้บริการบางช่วง ที่มีนักท่องเที่ยวจำนวนมาก อาจมีการบริการที่ไม่ทั่วถึงเนื่องจากวัดร่องขุนมีจำนวนพนักงานที่ค่อนข้างจำกัดต่อการให้บริการ

คำสำคัญ: บริการท่องเที่ยว, เมืองท่องเที่ยว, วัดร่องขุน

Abstract

This research aimed to study the tourism logistics management system at Wat Rong Khun, Chiang Rai Province, and provide guidelines for future development. The data were collected from 400 tourists using the questionnaires and interviews and those from the executives and the stakeholders using the in-depth interview. The data were analyzed by the percentage, means, standard deviation, and SWOT Analysis. The results showed that the place for doing religious ceremonies was the most prioritized for improvement (3.31). Tourists were most likely motivated to visit Wat Rong Khun was its shady and beautiful atmosphere (4.44). Also, tourists' satisfaction with tourism logistics composition was at a high level (4.44). Based on the SWOT Analysis, Wat Rong Khun had a distinctive identity that attracted tourists and provided good service and accommodation for all tourists. However, the number of staff in Wat Rong Khun was not enough to provide service to the tourists in the high season.

Keywords: Travel service, Tourism city, Wat Rong Khun

1. บทนำ

ในปัจจุบันการท่องเที่ยวถือว่าเป็นอุตสาหกรรมที่มีบทบาทอย่างยิ่งต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศไทย ซึ่งสามารถสร้างรายได้ที่มีมูลค่าอันดับหนึ่งของการค้าบริการของประเทศ (กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาแห่งประเทศไทย, 2563) พบว่า จำนวนนักท่องเที่ยวต่างชาติขยายตัวร้อยละ 4.24 จากปีที่ผ่านมา และจำนวนนักท่องเที่ยวชาวไทยหดตัวร้อยละ 0.06 จากปีที่ผ่านมา ในขณะที่รายได้รวมจากการท่องเที่ยวทั้งหมด 3.01 ล้านล้านบาท ขยายตัวร้อยละ 2.37 จากปีที่ผ่านมา และยังเป็นอุตสาหกรรมที่ก่อให้เกิดธุรกิจอื่นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาทิ โรงแรมและที่พักภัตตาคาร ร้านอาหาร ร้านจำหน่ายของที่ระลึกการคมนาคมขนส่ง เป็นต้น อันทำให้เกิดการลงทุน การจ้างงาน และการกระจายรายได้สู่ท้องถิ่นเพิ่มขึ้นสามารถสร้างกระแสเงินทุนหมุนเวียนในประเทศเพิ่มขึ้น (กรมการท่องเที่ยว, 2561)

ภาคเหนือของประเทศไทยเป็นภาคหนึ่งที่มีลักษณะภูมิประเทศที่หลากหลาย เป็นแหล่งท่องเที่ยวทางธรรมชาติที่โดดเด่นและมีมรดกทางวัฒนธรรมที่สืบทอดกันมาอย่างยาวนาน ซึ่งจะทำให้เกิดแหล่งท่องเที่ยวหรือสถานที่ท่องเที่ยวที่มีความหลากหลาย อีกทั้งความหลากหลายของพื้นที่ก็จะมี

สถานที่ท่องเที่ยวที่เป็นจุดเด่นของแต่ละพื้นที่ สถานที่เหล่านั้นจะเป็นตัวดึงดูดให้นักท่องเที่ยวอยากที่จะเดินทางมาท่องเที่ยวในสถานที่ นั้น ๆ ทั้งภูเขา ถ้ำ ป่า หุบเขาทั้งเล็กและใหญ่น้ำตก และทะเลสาบ ภาคเหนือมีจังหวัดอยู่ทั้งหมด 9 จังหวัด ประกอบด้วย เชียงราย เชียงใหม่ น่าน พะเยา แพร่ แม่ฮ่องสอน ลำปาง ลำพูน อุตรดิตถ์ มีอาณาเขตประมาณ 170,000 ตารางกิโลเมตร ภาคเหนืออุดมภูมิบริเวณภูเขานั้นค่อนข้างเย็น และเหมาะสำหรับการเพาะปลูกพืช เมืองหนาว นอกจากนั้นยังเป็นจุดหนึ่งที่ตั้งจุดนักท่องเที่ยวที่ต้องการหลบร้อนจากเมืองใหญ่ อีกทั้งภาคเหนือยังเป็นประตูสู่ประเทศเพื่อนบ้าน ลาวและพม่า และเป็นถิ่นที่อยู่อาศัยของชาวเขาเผ่าต่าง ๆ เช่น มูเซอ เย้า ม้ง อาข่า และ กะเหรี่ยง ซึ่งพวกเขาได้รักษาวัฒนธรรม การดำรงชีวิตที่มาตั้งแต่บรรพบุรุษได้เป็นอย่างดี เดิมภาคเหนือเป็นที่ตั้งของเมืองหลวงของไทย และประชาชนได้สืบสานมรดกตกทอดด้านวัฒนธรรม ประเพณี สถาปัตยกรรม สถานที่สำคัญทางประวัติศาสตร์ อนุสาวรีย์ และวัดต่าง ๆ

ปัจจุบันจังหวัดเชียงรายถือเป็นเมืองท่องเที่ยวที่สำคัญแห่งหนึ่งของภาคเหนือ เป็นจังหวัดเหนือสุดของประเทศไทย เมืองแห่งขุนเขาธรรมชาติ และสายลมหนาว

อดีตเมืองหลวงของอาณาจักรล้านนา ที่ยังคงกลิ่นอายประวัติศาสตร์อันยาวนานไว้อย่างกลมกลืนจังหวัดเชียงราย มีรายได้จากการท่องเที่ยว ในปี พ.ศ.2562 อยู่อันดับที่ 12 ของประเทศ มีรายได้เท่ากับ 13,776.89 ล้านบาท มีการเติบโตร้อยละ 3.81 จากปีที่ผ่านมาเป็นอันดับที่ 19 ของประเทศ มีการเติบโตร้อยละ 1.36 จากปีที่ผ่านมา สถานที่ท่องเที่ยว ที่นักท่องเที่ยวนิยมเดินทางมาเที่ยวเป็นเป้าหมายแรกคือ “วัดร่องขุน”(สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดเชียงราย, 2560) วัดร่องขุนนั้นมีความโดดเด่นด้านงานสถาปัตยกรรม ประติมากรรม และจิตรกรรม ซึ่งทำให้วัดร่องขุนเป็นสถานที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติจำนวนมาก ซึ่งในช่วงฤดูฝน หรือ Low season มีนักท่องเที่ยวมาเที่ยวมากถึง 2,200 ถึง 2,600 คนต่อวัน และในช่วงฤดูหนาว หรือ High season จะมีนักท่องเที่ยวเข้ามาเที่ยวชมวัดร่องขุนสูงถึง 3,000 ถึง 4,500 คนต่อวันขึ้นไป จำนวนนักท่องเที่ยวที่เพิ่มมากขึ้นส่งผลในเรื่องการให้บริการที่ไม่ทั่วถึงของพนักงานและเจ้าหน้าที่เมื่อต้องให้บริการกับจำนวนนักท่องเที่ยวที่มีจำนวนมากและมีความต้องการที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจส่งผลต่อความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มาเยี่ยมชมวัดร่องขุนในอนาคตจะต้องมีการดำเนินการวางแผน เพื่อที่สามารถรองรับนักท่องเที่ยวที่มากขึ้นทั้งในด้านสิ่งให้บริการการเดินทาง ข้อมูลข่าวสาร ความสะดวกสบาย การเอาใจใส่นักท่องเที่ยว หรือแม้กระทั่งความปลอดภัยของนักท่องเที่ยวที่จะเดินทางมาเที่ยววัดร่องขุน

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญในการศึกษาระบบการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของวัดร่องขุน ตลอดจนเสนอแนะแนวทางสำหรับการพัฒนาปรับปรุงในอนาคต โดยมีเป้าหมายสูงสุดเพื่อเพิ่มความพึงพอใจแก่นักท่องเที่ยวที่มาเยี่ยมชมภายในวัดร่องขุน เพื่อช่วยเสริมสร้างความเจริญทางด้านเศรษฐกิจ และด้านสังคมให้มีศักยภาพสำหรับการพัฒนาธุรกิจการท่องเที่ยวให้มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน (Logistics Management & Supply Chain Management)

การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คือ วิธีการจัดการโลจิสติกส์รวมถึงการวิเคราะห์ การวางแผน การพัฒนา ประสิทธิภาพ ของขั้นตอนต่างๆ ในการจัดการโลจิสติกส์ และการจัดการโลจิสติกส์เป็นส่วนหนึ่งของการบริหารห่วงโซ่อุปทาน ส่วนการบริหารห่วงโซ่อุปทานก็คือการวางแผน การจัดการ และการควบคุมการเคลื่อนไหวของสินค้าคงคลัง ผลิตภัณฑ์ การบริการ กับข้อมูลที่ต้องการใช้งานการส่งมอบสินค้าให้ผู้ใช้งานได้อย่างเรียบร้อยและรวดเร็วที่สุด

2.2 โลจิสติกส์การท่องเที่ยว(Tourism Logistics)

การจัดการโลจิสติกส์ทางการท่องเที่ยวเป็นการบูรณาการแนวคิดด้านการจัดการโลจิสติกส์กับแนวคิดการจัดการท่องเที่ยวเข้าด้วยกันซึ่งในการพิจารณารูปแบบการจัดการโลจิสติกส์ทางการท่องเที่ยว ถึงห่วงโซ่อุปทานของการท่องเที่ยว เนื่องจากแนวคิดและรูปแบบการจัดการโลจิสติกส์เป็นการบริหารจัดการการไหลเวียนภายในห่วงโซ่อุปทาน

2.3 การระดมสมอง (Brainstorming)

การระดมสมอง เป็นกระบวนการที่ใช้เพื่อรวบรวมความคิดเห็น ปัญหา หรือข้อเสนอแนะจำนวนมากในเวลาอย่างรวดเร็ว อย่างเป็นแบบแผน และเป็นวิธีการที่ดีในการกระตุ้นความคิดสร้างสรรค์ ก่อให้เกิดการมีส่วนร่วมแนวคิดการระดมสมอง มาจากคำในภาษาอังกฤษ คือ Brain Storming

2.4 คำนวน ขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม (Taro Yamane)

Taro Yamane คือ หนึ่งในสูตรคำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยเพื่อแจกแบบสอบถาม โดยการใช้ สูตรTaro Yamane ในการ คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง จะทำให้รู้ว่าควรแจกแบบสอบถามให้กับกลุ่มตัวอย่างกี่คน แทนที่จะต้องแจกให้กับกลุ่มตัวอย่างทุกคน (Yamane Taro, 1967)

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล ด้วย 5W1H

5W1H คือเทคนิคการวิเคราะห์ปัญหาที่ใช้มากที่สุดในระดับสากล โดยเป็นการคิดวิเคราะห์ที่ใช้ความสามารถในการจำแนก แยกแยะ องค์ประกอบต่าง ๆ ของปัญหา เพื่อนำมาหาความสัมพันธ์เชิงเหตุผลระหว่างองค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านั้นเพื่อค้นหาคำตอบ หรือเป็นสิ่งที่สำคัญ จากนั้นจึงรวบรวมข้อมูลทั้งหมดมาเรียบเรียงใหม่ให้ง่ายแก่การทำความเข้าใจ

2.6 การวิเคราะห์ SWOT (SWOT Analysis)

SWOT Analysis คือการประเมินสถานการณ์ปัจจุบันของบริษัท โดยดูจากปัจจัยภายใน (จุดแข็ง/จุดอ่อน) และปัจจัยภายนอก (โอกาส/อุปสรรค) TOWS Matrix ก็คือการนำสิ่งนั้นมาต่อยอดเพื่อใช้ในการปรับแผนกลยุทธ์ปัจจุบันหรือวางแผนกลยุทธ์ใหม่คำว่า TOWS ถ้าสังเกตดูจะเห็นว่าวนมาจากคำว่า SWOT เป็นการบอกโดยนัยว่าสองอย่างนี้เกี่ยวข้องกัน หรือ TOWS Matrix เป็นการนำปัจจัยที่ถูกวิเคราะห์แล้วจากตอนทำ SWOT มาจับคู่เพื่อใช้ในการสร้างกลยุทธ์ปัจจัยภายนอกและภายในถูกนำมาจับคู่เพื่อสร้างกลยุทธ์

2.7 ทฤษฎีความพึงพอใจ (Satisfaction Theory)

แนวคิดเกี่ยวกับความพึงพอใจ สรุปได้ว่าเป็นความรู้สึกสองแบบของมนุษย์ คือ ความรู้สึกในทางบวกและความรู้สึกในทางลบ ความรู้สึกในทางบวกเป็นความรู้สึกที่เมื่อเกิดขึ้นแล้วทำให้มีความสุขมีความสัมพันธ์กันอย่างสลับซับซ้อนและระบบความสัมพันธ์ของความรู้สึกทั้งสามนี้เรียกว่าระบบความพึงพอใจ โดยความพึงพอใจจะเกิดขึ้นเมื่อระบบความพึงพอใจมีความรู้สึกทางบวกมากกว่าความรู้สึกทางลบ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับงานวิจัยการศึกษาการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของวัดร่องขุ่นจังหวัดเชียงรายมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

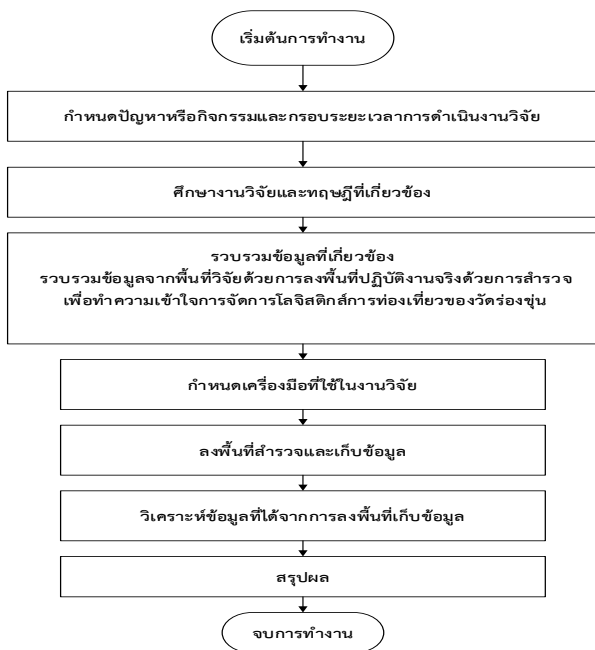
3.1 กรอบแนวคิด



รูปที่ 1 กรอบแนวคิดกระบวนการทำงาน

การศึกษาระบบการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของวัดร่องขุ่น ตามหลัก 13 องค์ประกอบ โลจิสติกส์การท่องเที่ยว โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลจากนักท่องเที่ยวและ บุคลากรและเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุ่น ผ่านแบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์เชิงลึก ด้วยหลักการ Likert Scale (Likert Rensis A, 1961) จากนั้นใช้เครื่องมือทางสถิติวิเคราะห์ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยว และนำข้อมูลจากการวิเคราะห์และสังเคราะห์ที่ได้จากนักท่องเที่ยว และบุคลากรเจ้าหน้าที่วัดร่องขุ่น มาวิเคราะห์โดยใช้หลักการ (SWOT Analysis) ตลอดจนแนวทางพัฒนาปรับปรุงในอนาคต

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3 ขั้นตอนที่1 การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลทั่วไปของวัดร่องขุนสภาพปัจจุบันข้อมูลนักท่องเที่ยวและ ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลและ หาแนวทางการพัฒนา ด้านการจัดการโลจิสติกส์สำหรับการท่องเที่ยววัดร่องขุน (โดยประยุกต์จากแนวคิด 8 ประการจากหนังสือเรื่อง Tourism and Transport) เพิ่มเติมประการที่ 9 ถึง 12 โดย (คมสัน สุริยะ, 2548) ซึ่งท่านได้เพิ่มเติมเข้าไปจาก ประสบการณ์การเดินทางในหลายประเทศ และ (วารินา ปาทาน, 2557) เพิ่มข้อ 13เทคโนโลยี ผู้วิจัยจึงสามารถสรุปความต้องการหลักของนักท่องเที่ยวไว้ดังนี้ความพร้อมในการให้บริการ, การเข้าถึง, ข้อมูลข่าวสาร, การเอาใจใส่นักท่องเที่ยว, ความสะอาดสวยงาม, ความปลอดภัย, เวลา, ความเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม, แม่เหล็กดึงดูดนักท่องเที่ยว, ถนนคนเดิน, จุดทำเงิน, การสร้างความเพลิดเพลินระหว่างการเดินทาง, เทคโนโลยี

3.4 ขั้นตอนที่2 กำหนดเครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.4.1 การออกแบบแบบสอบถามการศึกษา ในครั้งนี้ผู้ศึกษาได้ใช้แบบสอบถามที่จัดทำขึ้นเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งผู้ศึกษาได้สร้างแบบสอบถามให้

สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาและขอบเขตของการศึกษา ลักษณะคำถามเป็นแบบให้เลือกตอบตามวิธีของลิเคิร์ท (Likert Scale) โดยแบ่งแบบสอบถามออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะประชากรศาสตร์

ตอนที่ 2 พฤติกรรมของนักท่องเที่ยว

ตอนที่ 3 แรงจูงใจของนักท่องเที่ยวที่มีผลต่อการมาท่องเที่ยววัดร่องขุน

ตอนที่ 4 ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อองค์ประกอบโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของวัดร่องขุน จังหวัดเชียงราย การวิเคราะห์ระดับความพึงพอใจนักท่องเที่ยว กำหนดให้คะแนนแบบสอบถามเป็นรายข้อและรายด้าน ตามเกณฑ์ คะแนน 5 ระดับ 5=มากที่สุด ถึง 1=น้อยที่สุด

3.4.2 ขนาดกลุ่มตัวอย่างการศึกษาในครั้งนี้

ประกอบด้วยกลุ่มตัวอย่างจำนวน 2 กลุ่ม คือ

1) นักท่องเที่ยว โดยการนำข้อมูลสถิตินักท่องเที่ยว

ที่เดินทางมาวัดร่องขุนตั้งแต่ปี 2560 ถึง 2562 มาวิเคราะห์หาจำนวนนักท่องเที่ยวเฉลี่ยเป็นแบบไตรมาส ซึ่งจากการหาค่าเฉลี่ยคณะผู้จัดทำได้เลือกข้อมูลสถิติของจำนวนนักท่องเที่ยวในช่วงไตรมาสที่ 3 ตั้งแต่เดือนกันยายนถึงเดือนพฤศจิกายน มีจำนวนเฉลี่ยอยู่ที่ 91,870 คน เพื่อกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมในการลงพื้นที่สำรวจและเก็บข้อมูล จึงทำการกำหนดกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสมจากตารางสำเร็จของ Taro Yamane มีขนาดกลุ่มตัวอย่างของนักท่องเที่ยวในการสำรวจข้อมูลครั้งนี้อยู่ที่ 400 คน ความเชื่อมั่น 95% ทางคณะผู้จัดทำจึงจัดเตรียมแบบสอบถามจำนวน 400 ชุด ในการลงพื้นที่สำรวจโดยแบ่งคะแนนแบบสอบถามในการลงพื้นที่สำรวจให้ครบตามช่วงเวลา 1 ไตรมาสที่ได้กำหนดไว้สามารถวิเคราะห์ผลได้ ดังนี้

$$n = \frac{N}{1 + N \cdot e^2} \quad (1)$$

เมื่อ n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่เหมาะสม

N คือ จำนวนหน่วยประชากรทั้งหมด

e คือ ความคลาดเคลื่อนของการเลือกตัวอย่างที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

$$n = \frac{91,870}{1 + 91,870(0.05)^2}$$

$$n = 358.24$$

$$n = 400(2)$$

2) บุคลากรและเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุ่น สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ใช้การสุ่มแบบเจาะจง โดยการจับประชุมบุคลากรและเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุ่น มีจำนวนผู้เข้าร่วมประชุมแสดงความเห็น จำนวน 11 คน

3.4.3 การวิเคราะห์ข้อมูลการศึกษาในครั้งนี้ ใช้ค่าสถิติร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ในการวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของ ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อองค์ประกอบของ โลจิสติกส์การท่องเที่ยวของวัดร่องขุ่น ผ่านโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ

3.5 ขั้นตอนที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ข้อมูล

3.5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล การดำเนินเก็บรวบรวมข้อมูลได้ขออนุเคราะห์จากวัดร่องขุ่นเพื่อสำรวจความพึงพอใจนักท่องเที่ยวจำนวน 400 คน ซึ่งแบบสอบถามที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้ผ่านการประเมินดัชนีความสอดคล้องของแบบสอบถามกับวัตถุประสงค์ของการศึกษาจากผู้คุณวุฒิ จำนวน 3 ท่านมีคะแนน IOC ที่ 0.90 กล่าวคือแบบสอบถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการศึกษา



รูปที่ 3 การเก็บรวบรวมข้อมูลกับนักท่องเที่ยว

การดำเนินเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อการสัมภาษณ์เชิงลึกกับบุคลากรและเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุ่น ตาม

13 เป้าประสงค์ความต้องการหลักของนักท่องเที่ยว
ดังแสดงในข้อ 3.3



รูปที่ 4 การเก็บรวบรวมข้อมูลกับบุคลากรวัดร่องขุ่น

3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณที่ได้จากการลงพื้นที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยนำแบบสอบถามที่ทำการตอบแล้วมาวิเคราะห์ประมวลผลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางสถิติ และนำมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ เพื่อวิเคราะห์ จุดเด่น จุดด้อย และปัญหาอุปสรรค (SWOT Analysis)

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการลงพื้นที่เก็บรวบรวมข้อมูลขนาดกลุ่มตัวอย่าง 400 คน ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ตลอดจนการสัมภาษณ์บุคลากรและเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุ่น สามารถวิเคราะห์ผลการศึกษาได้ ดังนี้

4.1 การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสอบถามความพึงพอใจนักท่องเที่ยวจำนวน 400 คน

จากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบของโลจิสติกส์การท่องเที่ยวและระดับความพึงพอใจ ภาพรวม มีค่าเฉลี่ย 4.44 ซึ่งอยู่ในระดับมากสามารถแสดงรายละเอียด ดังตาราง ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อองค์ประกอบของโลจิสติกส์การท่องเที่ยวของวัดร่องขุ่น

องค์ประกอบในการเดินทางมา ท่องเที่ยววัดร่องขุน	\bar{x}	S.D.	แปล ผล
1. ทราบการประชาสัมพันธ์ผ่านช่องทาง ต่าง ๆ เช่น ป้ายไวเนล อินเทอร์เน็ต และ เว็บไซต์	3.74	1.014	มาก
2. การสืบค้นข้อมูลหรือเส้นทางไปวัดร่อง ขุนทางอินเทอร์เน็ตมีความสะดวก เช่น การค้นหาค้นหาผ่าน Google Map	3.89	0.984	มาก
3. การเดินทางมายังวัดร่องขุน มีความ สะดวก/ ปลอดภัย/ มีป้ายสัญลักษณ์บอก ทางชัดเจน	4.10	0.768	มาก
4. สถานที่จอดรถเหมาะสมและเพียงพอ และมีการดูแลเรื่องจราจรของเจ้าหน้าที่ ของวัดร่องขุน	3.80	1.012	มาก
5. จุดบริการข้อมูลเพื่ออำนวยความสะดวก แก่นักท่องเที่ยว ชัดเจน สามารถมองเห็น ง่าย	3.80	0.979	มาก
6. มีการให้ข้อมูลของสถานที่ภายในวัดร่อง ขุนผ่านแผ่นพับ/สื่อมัลติมีเดีย	3.68	0.977	มาก
7. เส้นทางสำหรับเดินเท้า มีความสะอาด สะดวก ปลอดภัย	4.40	0.642	มาก
8. ป้ายหรือสัญลักษณ์บอกสถานที่ภายใน วัดที่ชัดเจน เช่น ห้องน้ำ, โบนส์	3.95	0.979	มาก
9. บรรยากาศภายในวัดมีความร่มรื่นและ สวยงาม	4.44	0.695	มาก
10. จุดสำหรับถ่ายรูปที่หลากหลาย และ เป็นเอกลักษณ์ของสถานที่ท่องเที่ยว	4.27	0.742	มาก
11. ทางวัดร่องขุนมีการบริหารเวลา ในการเข้าชมสถานที่แต่ละจุดแก่ นักท่องเที่ยว	3.95	0.947	มาก
12. จุดแวะนั่งพักระหว่างท่องเที่ยวเพียงพอ	3.86	0.989	มาก
13. ห้องน้ำสะอาด สะดวก เพียงพอต่อการ ให้บริการ	4.37	0.720	มาก
14. มีสถานที่เฉพาะสำหรับสูบบุหรี่ เหมาะสม	3.72	1.019	มาก
15. มีสถานที่สำหรับกิจกรรมทางศาสนา เช่น การละหมาด ที่ชัดเจนเหมาะสม	3.31	1.038	มาก
16. จุดที่ขยะที่ชัดเจนและมีการ คัดแยก ขยะที่เหมาะสม	3.83	0.988	มาก
17. ร้านค้าอาหารและเครื่องดื่มเพียงพอ ต่อนักท่องเที่ยว	4.20	0.731	มาก

18. จุดจำหน่ายของฝากที่เป็นเอกลักษณ์ ของวัดร่องขุนและจังหวัดเชียงราย เพียงพอ ต่อนักท่องเที่ยว	4.28	0.686	มาก
19. ระบบจัดการรักษาความปลอดภัยที่ดี ทั่วถึง ครอบคลุมวัดร่องขุนและทำนุผู้สีก ปลอดภัยในระหว่างท่องเที่ยวภายในวัดร่อง ขุน	4.33	0.733	มาก
20. บริเวณวัดและพื้นที่ใกล้เคียงมี Internet และ Wifi ให้บริการแก่นัก ท่องเที่ยวเพียงพอ	3.64	1.008	มาก
21. มีการนำเทคโนโลยีเข้ามาให้บริการใน สถานที่ท่องเที่ยว เช่น ระบบคิวอาร์โค้ด สแกนออกข้อมูลรายละเอียดต่างๆ	3.74	0.991	มาก
22. การดำเนินงานของวัดร่องขุนมีความ เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เช่น มีการดูแล เรื่องระบบน้ำเสียภายในวัด	4.24	0.751	มาก
23. บุคลากรและเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุน ให้บริการอย่างสุภาพและเป็นมิตร	3.84	0.985	มาก
24. เวลาในการเปิด-ปิดให้บริการมีความ เหมาะสม	4.13	0.792	มาก
ค่าเฉลี่ย	4.44	0.882	มาก

4.2 การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสัมภาษณ์บุคลากร และเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุน

ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์เชิงลึก
ด้านการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยวรวมทั้งความคิดเห็น
ของนักท่องเที่ยวที่มีต่อองค์ประกอบโลจิสติกส์โดย
การจัดประชุมเพื่อเก็บข้อมูลจากบุคลากรและเจ้าหน้าที่ของวัด
ร่องขุนแล้วนำมาวิเคราะห์ SWOT Analysis เพื่อหาจุดแข็ง
จุดอ่อน โอกาส อุปสรรค ดังนี้

จุดแข็ง

- S1 พนักงานสามารถสื่อสารกับนักท่องเที่ยวได้หลากหลาย
ภาษาและเข้าใจพฤติกรรมของนักท่องเที่ยวแต่ละเชื้อชาติ
- S2 การสร้างเรื่องราวในผลงานของอาจารย์เฉลิมชัยที่ดึงดูด
นักท่องเที่ยว
- S3 มีการบริการและสิ่งอำนวยความสะดวกให้กับ
นักท่องเที่ยว เช่น รถเข็นคนพิการ มีสถานที่นั่งพักผ่อน
มีห้องสุขา และพนักงานมีความเอาใจใส่นักท่องเที่ยว
- S4 แผนการบริหารจัดการภายในวัด เน้นการปรับตาม
สถานการณ์ปัจจุบัน เช่น ทางวัดร่องขุนมีความใส่ใจปัญหา

ด้านโควิดมาเป็นระดับแรกๆ คือการป้องกันและตรวจสอบ
นักท่องเที่ยวที่เข้ามาเยี่ยมชม

-S5 การจัดจำหน่ายสินค้า และที่ตั้งของศูนย์ข้อมูลท่องเที่ยว
สามารถทำได้ง่ายและสินค้ามีเพียงพอต่อความต้องการของ
ลูกค้า

-S6 นักท่องเที่ยวเข้าถึงวัดร่องขุนได้ง่าย

-S7 มีบริการด้านข้อมูลทั่วถึงมีการเชิญชวนให้นักท่องเที่ยว
มาเที่ยวชมในหลายรูปแบบ เช่น มีสื่อออนไลน์ส่วนตัวของทาง
วัดในการให้ข้อมูลแก่นักท่องเที่ยว และมีการโปรโมทใน
รูปแบบอื่นอย่างครบถ้วน

-S8 เมื่อเกิดสถานการณ์ฉุกเฉินขึ้น พนักงานสามารถ
รับมือสถานการณ์ฉุกเฉินพื้นฐานได้

-S9 วัดร่องขุนมีการดูแลเรื่องระบบของเสียเองทั้งหมด เช่น
ระบบของเสียด้านขยะทางวัดมีการดูแลตั้งแต่การคัดแยกขยะ
จนถึงการทำลายทิ้งขั้นสุดท้าย และระบบของเสียด้านน้ำทาง
วัดมีเครื่องกรองน้ำเสียเพื่อเวียนน้ำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้ง

-S10 วันร่องขุนสามารถบริหารตนเองภายในองค์กรได้

-S11 บุคคลที่มีส่วนเกี่ยวกับวัดร่องขุนมีสิทธิ์ในการเสนอ
แผนงานหรือแนวคิดแก่อาจารย์เฉลิมชัยในที่ประชุม
เพื่อพัฒนาแผนการดำเนินงานให้เกิดความเหมาะสม
โดยมีการประชุมเล็กๆ ของแต่ละแผนกทุกๆ ครั้งเดือน
เพื่อสรุปปัญหาของแต่ละแผนก เพื่อนำเรื่องไปเสนอ
หาแนวทางในการประชุมใหญ่ทุกๆ เดือน

จุดอ่อน

-W1 จุดยุทธศาสตร์ของวัดร่องขุนไม่ได้มีความโดดเด่น
ถ้าเทียบกับจุดยุทธศาสตร์อื่นในจังหวัดเชียงราย

-W2 การบริการของพนักงานที่ไม่ทั่วถึงเมื่อมีจำนวน
นักท่องเที่ยวจำนวนมาก

-W3 การซ่อมแซมสิ่งก่อสร้างในวัดร่องขุนต้องใช้ความปรานี
และทักษะเป็นอย่างมากซึ่งส่งผลให้ใช้เวลานาน หรือก่อให้เกิด
อุบัติเหตุได้

-W4 เวลาในการให้บริการของวัดร่องขุนมีช่วงเวลาที่สั้นโดย
เริ่มให้บริการตั้งแต่ 8.00 – 17.00 ซึ่งไม่เพียงพอต่อความ
ต้องการของนักท่องเที่ยว

โอกาส

-O1 มีพื้นที่ 78 ไร่เพียงพอต่อการพัฒนาในอนาคต

-O2 มีการจัดอบรมบุคลากรในด้านภาษา และอบรมให้ความรู้
เรื่องความต้องการของนักท่องเที่ยวชาวต่างชาติอย่างต่อเนื่อง

-O3 มีแผนการปรับโครงสร้างของตัววัดให้มีความสมบูรณ์อยู่
ตลอดเวลา และเมื่อกลับเข้าสู่สภาวะปกติทางวัดมีการวาง
แผนการก่อสร้างเพิ่มเติมตัววัด และจัดเตรียมกิจกรรมดึงดูด
นักท่องเที่ยวมากขึ้น เพื่อมุ่งสู่การเป็นสถานที่ท่องเที่ยว
ต้นแบบ

-O4 วัดร่องขุนมีความใส่ใจเรื่องขยะเป็นปัจจัยหลักๆ
เพื่อเป็นต้นแบบของวัดสะอาดปลอดภัย ตัวอย่าง
เช่น การที่วัดร่องขุนมีการรณรงค์เกี่ยวกับการลดใช้
ถุงพลาสติก และการรณรงค์ชุมชนบริเวณวัดให้มีความสะอาด
ปลอดภัย

-O5 มีเจ้าหน้าที่ตำรวจคอยตรวจทั้งบริเวณในวัดและรอบนอก
ของวัดร่องขุนในเรื่องของความปลอดภัย

-O6 เอกอัครราชทูตที่ชัดเจนและโดดเด่นทุกคนรู้จักและ
ตัวอาจารย์เฉลิมชัยเองที่เป็นจุดขายของวัดร่องขุน

-O7 ทางวัดร่องขุนสามารถพัฒนากิจกรรมทางการท่องเที่ยว
เช่น งานศิลปะระดับโลก กิจกรรม Right fest

อุปสรรค

-T1 พนักงานมีจำนวนจำกัดในการให้บริการนักท่องเที่ยว
ในช่วง High season และช่วงเทศกาลต่างๆ

-T2 ปัญหานักท่องเที่ยวที่มีจำนวนน้อยลงในช่วงปัญหาไวรัส
โคโรนา

-T3 การลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นออกไปในช่วงปัญหาไวรัส
โคโรนา เช่น ลดการก่อสร้างในช่วงนี้ออกไปเพื่อลด
ค่าใช้จ่าย แต่ถ้าโคโรนาเป็นระยะที่นานเกินไปทางวัดอาจ
มีนโยบายในการลดพนักงานลง

-T4 พัฒนาด้านการเข้าถึงสถานที่ท่องเที่ยวให้ดีขึ้น เช่น
การเพิ่มรถบัสให้เข้าถึงวัดร่องขุน ในช่วงเวลา 18.00 น. เพื่อ
ลดการตกหล่นของนักท่องเที่ยว เป็นการเก็บตักนักท่องเที่ยวที่
ตกค้างในรอบเวลาสุดท้ายก่อนวัดปิดทำการ

-T5 ความล่าช้าของการช่วยเหลือจากหน่วยงาน
ที่เกี่ยวข้อง

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาค้นคว้าความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อ
องค์ประกอบของโลจิสติกส์การท่องเที่ยวและระดับความพึง
พอใจ ภาพรวมมีค่าเฉลี่ย 4.44 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.882
ซึ่งอยู่ในระดับมาก และสิ่งที่นักท่องเที่ยวให้ความสนใจมาก

ที่สุดคือ บรรยากาศภายในวัดมีความร่มรื่นและสวยงาม มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 4.44 รองลงมา คือ เส้นทางสำหรับเดินเท้า มีความสะอาด สะดวก ปลอดภัย มีค่าเฉลี่ย 4.40 ตามลำดับ และสิ่งที่ควรได้รับการปรับปรุงของวัดร่องขุน คือ การมีสถานที่สำหรับกิจกรรมทางศาสนา มีค่าเฉลี่ย 3.31 รองลงมา คือ บริเวณวัดและพื้นที่ใกล้เคียงมี Internet และ Wifi ให้บริการแก่นักท่องเที่ยวเพียงพอ มีค่าเฉลี่ย 3.64 และจากการนำข้อมูลความพึงพอใจนักท่องเที่ยวมาวิเคราะห์ร่วมกับ ข้อมูลในส่วนของคุณภาพและเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุน เพื่อหาจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส อุปสรรค ของวัดร่องขุนพบว่า วัดร่องขุนเป็นแหล่งท่องเที่ยวที่ดึงดูดนักท่องเที่ยวได้จำนวนมากเนื่องจากวัดร่องขุนมีเอกลักษณ์ที่โดดเด่นและผลงานของ อาจารย์เฉลิมชัยที่เป็นจุดขายของวัด ส่งผลดีในแง่ของการสร้างรายได้ให้กับชุมชนในพื้นที่จำนวนมากแต่การเพิ่มขึ้นของนักท่องเที่ยวที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ ทุกปีทั้งนักท่องเที่ยวชาวไทยและชาวต่างชาติ จนอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านการให้บริการนักท่องเที่ยวที่ไม่ทั่วถึงของคุณภาพและเจ้าหน้าที่ของวัดร่องขุนที่มีค่อนข้างจำกัดในการให้บริการ แต่ในปัจจุบัน ปัญหาไวรัสโควิดเป็นอุปสรรคต่อวัดร่องขุนในเรื่องของปัญหานักท่องเที่ยวที่มีจำนวนลดน้อยลงส่งผลให้ ทางวัดร่องขุนจึงจำเป็นต้องลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำเป็นในช่วงปัญหาไวรัสโควิด ระบาดเช่น ลดการก่อสร้างในช่วงนี้ออกไปเพื่อลดค่าใช้จ่าย แต่ในอนาคตเมื่อปัญหาไวรัสโควิดเริ่มมีสถานการณ์ที่ดีขึ้น ทางวัดร่องขุนมีโอกาสนในการพัฒนากิจกรรมทางการท่องเที่ยว เช่น งานศิลปะระดับโลก หรือกิจกรรม Right fest เพื่อสร้างความแปลกใหม่ให้กับนักท่องเที่ยวที่มีความสนใจเข้ามาเยี่ยมชมวัดร่องขุนในอนาคตต่อไป

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า องค์ประกอบของโลจิสติกส์ การท่องเที่ยวและระดับความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวใน ภาพรวม มีค่าเฉลี่ย 4.44 ซึ่งอยู่ในระดับ มาก ซึ่งสอดคล้องกับ งานวิจัยของ (วรารักษ์ สารอินมุล,2560) ได้ศึกษาประเมิน ศักยภาพระบบโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัด นครปฐม ผลพบว่า นักท่องเที่ยวมีความพึงพอใจอยู่ในระดับ ปานกลาง ต่อองค์ประกอบโลจิสติกส์การท่องเที่ยวในภาพรวม วัดร่องขุนอยู่ในระดับที่ดีกว่า กับปณีสยา สิริรุ่งโรจน์กนก. (2559). พฤติกรรมและความพึงพอใจของนักท่องเที่ยว ชาวไทยต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยว กรณีศึกษา ตลาดน้ำอัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม และ (เถกิงศักดิ์

ชัยชาญ,2555) ศึกษาพฤติกรรมกรรมการท่องเที่ยวของ นักท่องเที่ยวในอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัด นครราชสีมา พบว่า ความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวโดยภาพรวมอยู่ในระดับ ปานกลาง แสดงให้เห็นว่าภาพรวมองค์ประกอบของโลจิสติกส์ การท่องเที่ยวและระดับความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่มีต่อ วัดร่องขุนมีภาพรวมอยู่ในระดับมาก ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด 8 ประการจากหนังสือเรื่อง Tourism and Transport) เพิ่มเติมประการที่ 9 ถึง 12 โดย(คมสัน สุริยะ,2548) และ(วา รีกา ปาทาน, 2557) เพิ่มข้อ13 เทคโนโลยี ทำให้เห็นว่าวัด ร่องขุนมีองค์ประกอบของโลจิสติกส์การท่องเที่ยวครบถ้วน ยกเว้นข้อที่ 11 ถนนคนเดิน สำหรับประเด็นนี้ไม่ผ่าน กระบวนการตัดสินใจหลักเกณฑ์ของการท่องเที่ยววัดร่องขุน เนื่องจากวัดร่องขุนไม่มีปิดการจราจรไม่ให้มียานพาหนะผ่าน สัญจร เพื่ออำนวยความสะดวกให้คนเดินเท้าได้ท่องเที่ยว

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ทางด้านเทคโนโลยี ควรมีการร่วมมือกับทาง ภาคเอกชนให้เข้ามามีส่วนร่วม เช่น การให้สัญญาณโทรศัพท์ สัญญาณ Wifi ภายในบริเวณวัดร่องขุนและพื้นที่ใกล้เคียง รวมถึงการนำ QR code มาใช้เพื่อให้ความรู้กับนักท่องเที่ยว ทั้งภาษาไทยและภาษาต่างประเทศ

5.3.2 ควรมีการจัดกิจกรรม / โครงการต่าง ๆ ร่วมกับหน่วยงานภาครัฐและเอกชน เพื่อหารายได้เข้ามาเป็น งบประมาณในการดำเนินงานให้กับวัดร่องขุน

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

5.3.3 การวิจัยครั้งต่อไปควรเก็บข้อมูลในส่วนของ นักท่องเที่ยวชาวต่างชาติ เพื่อ การเก็บ ข้อมูล ความ พึงพอใจของนักท่องเที่ยวที่สมบูรณ์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วัดร่องขุน และ บุคลากรเจ้าหน้าที่ ที่ได้ สละเวลาในการให้คำปรึกษา ให้คำแนะนำความรู้หรือข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงานและรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนถึงบิดา มารดาผู้ช่วยให้กำลังใจและคำปรึกษาที่ดี เสมอมา ขอขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ ด้วย.

7.เอกสารอ้างอิง

- กรมการท่องเที่ยว. (2561). แผนยุทธศาสตร์พัฒนาการท่องเที่ยว พ.ศ. 2561 – 2564 วันที่ค้นข้อมูล 10 มกราคม 2563, จากกรมการท่องเที่ยว เว็บไซต์: [www.dot.go.th/storage / ก ลุ่ม แ ผ น / 5V7jtvCF7hvNiPXPU7MOdT7giHiF1ZbRokN8nBVx.pdf](http://www.dot.go.th/storage/gkqumxpn/5V7jtvCF7hvNiPXPU7MOdT7giHiF1ZbRokN8nBVx.pdf).
- กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬาแห่งประเทศไทย. (2563). รายงานสถานการณ์ท่องเที่ยวปี พ.ศ.2562 วันที่ค้นข้อมูล 10 มกราคม 2563, จากกรมการท่องเที่ยว เว็บไซต์ : https://www.mots.go.th/images/InfographicStatistic/INFO_Dec62.jpg
- สำนักงานการท่องเที่ยวและกีฬาจังหวัดเชียงราย. (2560). สถานการณ์ท่องเที่ยวจังหวัดเชียงราย 2560วันที่ค้นข้อมูล 12 มกราคม 2563, จากกรมการท่องเที่ยว เว็บไซต์: <http://www.cots.go.th/travelview/?groups=0>.
- คมสัน สุริยะ. (2548). อุตสาหกรรมการขนส่งผู้โดยสารในจังหวัดเชียงใหม่.เอกสารภายใต้ชุดโครงการมูลค่าเพิ่มในประเทศไทยของอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวรายสาขา. สถาบันวิจัยสังคม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- คมสัน สุริยะ. (2552). โลจิสติกส์ด้านการท่องเที่ยวในเยอรมนี. (ระ บ บ อ น ล ไ น .) แ ห ล่ ง ขั อ มู ล : http://www.tourismlogistics.com/images/stories/Tourism_Logistics_Germany.pdf.
- เถกิงศักดิ์ ชัยชาญ. (2555). ศึกษาพฤติกรรมการท่องเที่ยวของนักท่องเที่ยวในอำเภอวังน้ำเขียว จังหวัดนครราชสีมา.
- ปณัสยา สิริรุ่งโรจน์กนก. (2559). พฤติกรรมและความพึงพอใจของนักท่องเที่ยวชาวไทยต่อการจัดการโลจิสติกส์การท่องเที่ยว กรณีศึกษา ตลาดน้ำอัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม. สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา.
- วรารมณ์ สารอินมูล. (2560). การศึกษาประเมินศักยภาพระบบโลจิสติกส์การท่องเที่ยวเชิงนิเวศ จังหวัดนครปฐม.
- วาริณา ปาทาน. (2557). การจัดการโลจิสติกส์สำหรับการท่องเที่ยว สวนรุกขชาติชัยชมภู.สาขาเทคโนโลยี

โลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร.

- Likert, Rensis A. (1961). *New Patterns of Management*. New York: McGraw-Hill Book Company Inc.
- Yamane, Taro. (1967). *Statistics, An Introductory Analysis, 2nd Ed.*, New York : Harper and Row.

การศึกษาความต้องการของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้า
ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ กรณีศึกษา สถานประกอบการในจังหวัดเชียงราย
The entrepreneurs’ needs for recruiting warehouse employees, according to
Thailand Professional Qualification Institute (Public
Organization) Standard: A case study of entrepreneurs in Chiang Rai

ณัฐชา ฟังเพลิน*, พชร ชันคำ*, กำพล จินตอมรชัย, สมควร สงวนแพง และ หฤทัยรัตน์ จันท๊ะคาด
Nattacha Fangplern*, Phachara Khankham*, Kumphol Jintaamornchai,
Somkuan Sanguanpang and Harutairat Jantakard

สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
99 หมู่ที่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120
Program in Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Rai
99 Moo 10 Sai Khaw, Phan, Chiang Rai 57120
*E-mail: Natcha15221@gmail.com, piyanat8961@gmail.com โทรศัพท์ 093-304-4058, 095-868-9932

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาความต้องการของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าว่าต้องการพนักงานที่มีความรู้และทักษะในระดับใด ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ กลุ่มเป้าหมายของการวิจัยครั้งนี้ คือ สถานประกอบการในจังหวัดเชียงราย จำนวน 86 สถานประกอบการ จากวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างอย่างง่าย โดยวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ โดยเครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล คือ แบบสอบถาม จำนวน 86 ชุด โดยใช้สถิติวิเคราะห์หาความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผลการศึกษาสรุปว่า สถานประกอบการมีความต้องการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพมากที่สุด คือ มาตรฐานระดับ 3 ซึ่งพนักงานต้องมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงานในด้านคลังสินค้า มีทักษะในการเลือกใช้วิธีการ, เครื่องมือ, วัสดุ, สารสนเทศ ได้อย่างเหมาะสมในสถานการณ์ที่แตกต่างได้ ซึ่งพนักงานต้องทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐานและตัดสินใจแก้ปัญหาหน้างานภายใต้แนวทางและการปฏิบัติงานที่กำหนดได้ โดยพนักงานต้องส่งมอบผลงานที่เกิดจากขั้นตอนการทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้ ซึ่งพนักงานจะต้องมีการรายงานผลการทำงานหรือความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง

คำสำคัญ: มาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ 8 ระดับ, พนักงาน, สถานประกอบการ

Abstract

The purpose of this research was to study the needs of entrepreneurs for recruiting warehouse staff, mainly required knowledge and skills required based on Thailand Professional Qualification Institute (Public Organization) Standard. This case study comprised 86 employers in Chiang Rai using the Simple Random Sampling and the Stratified Random

Sampling. The data were collected by questionnaires and analyzed by using Frequency, Percentile, Mean and Standard Deviation. The study results concluded that warehouse staff were required to reach level 3 of the Thailand Professional Qualification Institute (Public Organization) Standard. These requirements included knowledge and understanding of working in a warehouse and skills of choosing the suitable method, tool, material, information in different situations. Also, employees should be able to work according to the pattern or standard, solve problems on the job site under the prescribed guidelines and operations, and deliver results resulting from work procedures according to the established schemes or standards. In addition, they needed to report on their performance or progress continually.

Keywords: The Law Thailand Professional Qualification Institute (Public Organization) 8 levels, Employees, Establishment.

1. บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมโลจิสติกส์ในประเทศไทยจัดเป็น 1 ใน 5 ของอุตสาหกรรมเป้าหมาย NewS-Curve ซึ่งเป็นยุทธศาสตร์ของประเทศไทย 40 เป็นหัวใจสำคัญของภาคโลจิสติกส์ของประเทศไทย การเพิ่มความได้เปรียบในการแข่งขันด้วยการพัฒนาและยกระดับสมรรถนะกำลังคนด้านโลจิสติกส์จึงเป็นปัจจัยสำคัญในการสร้างมูลค่าเพิ่ม (Value Added) และช่วยสร้างคุณค่าใหม่ให้เกิดขึ้น (Value Creation) ที่ช่วยขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยได้อย่างมีนัยสำคัญเพราะจะมีส่วนช่วยสนับสนุนและสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ การพัฒนากำลังคนด้านโลจิสติกส์ให้มีความรู้ คุณภาพและมีมาตรฐานอาชีพจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย ดังนั้นสถานประกอบการจะต้องมีการส่งเสริม 13 กิจกรรมหลักในด้านโลจิสติกส์ ซึ่งการบริหารคลังสินค้าเป็นหนึ่งใน 13 กิจกรรมหลักด้านโลจิสติกส์ (Lopburi, 2554) และจะต้องสถาบันมีการพัฒนาศักยภาพของพนักงานด้านคลังสินค้า โดยปัจจุบันในประเทศไทยมีหน่วยงานหลักที่รับผิดชอบในการรับรองมาตรฐานด้านคลังสินค้าอยู่ 2 หน่วยงานหลัก คือ สถาบันพัฒนาฝีมือแรงงาน และสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ

คุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน) เป็นองค์การมหาชนภายใต้การกำกับดูแลของนายกรัฐมนตรีมีหน้าที่รับผิดชอบการจัดทำมาตรฐานอาชีพและการรับรองคุณวุฒิวิชาชีพ ซึ่งสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพได้กำหนดกรอบคุณวุฒิวิชาชีพไว้ 8 ระดับโดยระดับสมรรถนะตั้งแต่ขั้นพื้นฐาน จนถึงขั้นเชี่ยวชาญในแต่ละมาตรฐานอาชีพซึ่งวัดได้จากการประยุกต์ใช้ทักษะความรู้ และความสามารถในการประกอบอาชีพนั้น ๆ ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพที่สนับสนุนการจัดตั้งศูนย์ทดสอบและรับรองสมรรถนะให้กับบุคคลและสถาบัน อีกทั้งยังตอบสนองความร่วมมือของสถาบันฯ ภาคอุตสาหกรรม สถานประกอบการ และภาคการศึกษาในทุกภูมิภาคของประเทศไทย ซึ่งในประเทศไทยมีศูนย์ให้บริการทดสอบมาตรฐานด้านคลังสินค้า สินค้าคงคลังและการกระจายสินค้า 1 แห่ง คือ สมาคมธุรกิจคลังสินค้า ไซโล และห้องเย็น ซึ่งในจังหวัดเชียงใหม่เป็นจังหวัดที่มีพื้นที่ในเขตชายแดนสี่เหลี่ยมเศรษฐกิจเขตอนุภูมิภาคุ่มน้ำโขง และเส้นทางเชื่อมต่อกับภูมิภาคบนถนน R3A และ R3B (Suthep Nimsai, 2013) และมีสถานประกอบการที่มีคลังสินค้า

อยู่หลายแห่ง แต่ยังไม่มีความพร้อมให้ บริการทดสอบด้านคลังสินค้า ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ, 2562)

ดังนั้นทางผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาความต้องการของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าว่าต้องการพนักงานที่มีความรู้และทักษะในระดับใด ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ กรณีศึกษา สถานประกอบการในจังหวัดเชียงใหม่ อันก่อให้เกิดเป็นแนวทางในการจัดตั้งองค์กรรับรองมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ ในสายงานคลังสินค้า สินค้าคงคลัง และการกระจายสินค้า เพื่อรับรองมาตรฐานให้กับสถาบันฯ ภาคอุตสาหกรรม สถานประกอบการ และภาคการศึกษา ของจังหวัดเชียงใหม่และพื้นที่ใกล้เคียง

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อการศึกษาความต้องการของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าว่าต้องการพนักงานที่มีความรู้และทักษะในระดับใด ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ

2. เพื่อใช้เป็นแนวทางในการจัดตั้งองค์กรรับรองมาตรฐานอาชีพ ตามมาตรฐานคุณวุฒิวิชาชีพ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบความต้องการของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าว่าต้องการพนักงานที่มีความรู้และทักษะในระดับใด ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ

2. เพื่อเป็นแนวทางในการจัดตั้งศูนย์ให้บริการทดสอบมาตรฐานอาชีพ ตามมาตรฐานคุณวุฒิวิชาชีพ ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

3. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาศักยภาพของพนักงานด้านคลังสินค้าในสถานประกอบการ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (องค์การมหาชน)

สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ ได้กล่าวไว้ว่า “มาตรฐานอาชีพ” หมายถึง การกำหนดระดับสมรรถนะของบุคคลในการประกอบอาชีพ โครงการจัดทำมาตรฐานอาชีพ พร้อมทั้งพัฒนาระบบการรับรองคุณวุฒิวิชาชีพ “ระบบคุณวุฒิวิชาชีพ” ถูกพัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์หลัก เพื่อการรับรอง “สมรรถนะ” ของกำลังคนตามมาตรฐานอาชีพ เพื่อตอบสนองความต้องการของภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรม “ระบบคุณวุฒิวิชาชีพ” เป็นกระบวนการรับรอง

เพื่อให้บุคคลได้รับการยอมรับในความรู้ ทักษะ ตลอดจนความสามารถ และได้รับ “คุณวุฒิวิชาชีพ” ที่สอดคล้องกับสมรรถนะ ประสิทธิภาพและความรู้ และใช้ระบบคุณวุฒิวิชาชีพในการพัฒนาความเจริญก้าวหน้าในสายอาชีพของตนในอนาคต โดย “คุณวุฒิวิชาชีพ” สามารถเทียบเคียงและเชื่อมโยงกับระบบคุณวุฒิอื่น ๆ ของประเทศได้

22 มาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพโลจิสติกส์

มาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพ โลจิสติกส์ของสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ มีอยู่ 4 สาขาวิชา คือ จัดการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ จัดการส่งออกและนำเข้า จัดการขนส่ง และจัดการคลังสินค้า โดยแบ่งเป็น 9 ลักษณะงาน คือ งานจัดการกระจายสินค้าระหว่างประเทศ งานบริหารการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ งานจัดการถ่ายลำเลียงและผ่านเขตแดน งานจัดการสินค้าควบคุมการส่งออกและนำเข้า งานบริหารส่งออกและนำเข้า งานควบคุมรถบรรทุกสำหรับการขนส่งทางถนน งานจัดการคลังสินค้าอันตราย งานจัดการไซโล งานจัดการห้องเย็น โดยได้จัดระดับตามกรอบคุณวุฒิวิชาชีพแห่งชาติ 8 ระดับ เพื่อเป็นกรอบการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์รองรับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โดยสาขาวิชาชีพการจัดการคลังสินค้า เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลในการลงไปทำแบบสอบถามและเข้าใจในทฤษฎี หลักการของคลังสินค้า

23 การจัดการคลังสินค้า(Warehouse Management)

เป็นการจัดการในการรับ การจัดเก็บ หมายถึง การจัดส่งสินค้าให้ผู้รับเพื่อกิจกรรมการขาย เป้าหมายหลักในการบริหารดำเนินงานธุรกิจในส่วนที่เกี่ยวกับคลังสินค้าก็เพื่อให้เกิดการดำเนินการเป็นระบบให้คุ้มกับการลงทุน การควบคุมคุณภาพของการเก็บ การหยิบสินค้า การป้องกัน ลดการสูญเสียดังกล่าว การดำเนินงานเพื่อให้ต้นทุนการดำเนินงานต่ำที่สุด และการใช้ประโยชน์เต็มที่จากพื้นที่ (Chinokul, 2008)

24 หลักการการจัดการคลังสินค้า

การจัดการคลังสินค้าถูกออกแบบเพื่อให้สามารถรองรับการบริหารจัดการทุกกิจกรรมภายในคลังสินค้าประเภทต่าง ๆ โดยเฉพาะคลังสินค้าในศูนย์กระจายสินค้าขนาดใหญ่ของกิจการค้าส่งค้าปลีก อีกทั้งยังต้องสามารถดัดแปลงเพื่อเชื่อมโยงกับระบบการวางแผนทรัพยากรของธุรกิจ มาตราฐานของการวางระบบ WMS ที่สำคัญจะต้องประกอบด้วยส่วนประกอบทุกส่วนในองค์กร

ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินงาน โดยจะต้องประกอบด้วยปัจจัยดังต่อไปนี้ 1) ระบบเครือข่ายและการเชื่อมโยงข้อมูล(Data network flow) 2) การรับสินค้า (Receiving) 3) การเก็บสินค้า (Put-away) 4) การย้ายสินค้า(Order picking) 5) การตรวจสอบยอดสินค้า(Cycle count) 6) การควบคุมสินค้าคงคลัง(Inventory control) (สุณิสา เจริญศิริวิไล, 2562)

25 สาขาวิชาชีพโลจิสติกส์ สาขางานจัดการคลังสินค้า สินค้าคงคลัง และการกระจายสินค้า อาชีพผู้ควบคุมการกระจายสินค้า

สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพได้จัดระดับตามกรอบคุณวุฒิวิชาชีพแห่งชาติ 8 ระดับ เพื่อเป็นกรอบการพัฒนาทรัพยากรมนุษย์รองรับประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน โดยสาขางานจัดการคลังสินค้า สินค้าคงคลัง ถูกจัดไว้อยู่ที่ 8 ระดับ ดังนี้ ระดับ 1 ปฏิบัติตามกฎระเบียบ และกฎความปลอดภัยตามหลักอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม ระดับ 2 จัดเก็บและเรียงสินค้าในคลังสินค้า ระดับ 3 ตรวจรับสินค้าจากผู้ส่งมอบ ระดับ 4 วางแผนการรับสินค้า ระดับ 5 วางแผนจัดเตรียมสินค้าเพื่อการกระจายสินค้า ระดับ 6 จัดการภายในศูนย์กระจายสินค้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพ ระดับ 7 จัดการภายในคลังสินค้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพ ระดับ 8 ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการคลังสินค้า

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 กำหนดกลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ ได้แก่ สถานประกอบการในจังหวัดเชียงราย จำนวน 86 สถานประกอบการ โดยสถานประกอบการจังหวัดเชียงรายในปี 2563 มีจำนวน 615 สถานประกอบการ(สำนักงานคลังจังหวัดเชียงราย, 2563) ซึ่งผู้ดำเนินการวิจัยได้กำหนดกลุ่มเป้าหมาย ดังนี้

1. กำหนดขนาดของกลุ่มตัวอย่างในกรณีที่ประชากรมีจำนวนแน่นอน (Finite population) (Yamane, 1967) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ

$$n = \frac{N}{1 + Ke^2} \quad (1)$$

เมื่อ e คือ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้เกิดขึ้นในรูปของสัดส่วน กำหนดให้ระดับความเชื่อมั่นที่ 90% (e = 0.10)

ดังนั้น ขนาดของกลุ่มตัวอย่างที่คำนวณได้คือ 86 สถานประกอบการ

2. กำหนดกลุ่มตัวอย่าง แสดงดังรูปที่ 1 ดังนี้



รูปที่ 1 วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ

ผู้วิจัยได้กำหนดกลุ่มตัวอย่างโดยใช้วิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่าง อย่างง่าย โดยใช้วิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ชั้น ดังนี้

ชั้นแรกแสดงถึงจำนวนของสถานประกอบการทั้งหมดในจังหวัดเชียงใหม่ จำนวน 615 สถานประกอบการ

ชั้นที่สองดำเนินการจำแนกรูปแบบการดำเนินธุรกิจออกเป็น 4 ประเภท คือ บริษัทจำกัด จำนวน 351 สถานประกอบการ บริษัทจำกัดมหาชน จำนวน 1 สถานประกอบการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด จำนวน 251 สถานประกอบการ และห้างหุ้นส่วนจำกัดสามัญ จำนวน 12 สถานประกอบการ

ชั้นที่สามดำเนินการสุ่มกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการกำหนดสัดส่วนในการกำหนดกลุ่มตัวอย่าง ได้ดังนี้ บริษัทจำกัด ร้อยละ 15 ได้จำนวน 53 สถานประกอบการ บริษัทจำกัดมหาชน ร้อยละ 53 ได้จำนวน 1 สถานประกอบการ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ร้อยละ 12 ได้จำนวน 30 สถานประกอบการ และห้างหุ้นส่วนจำกัดสามัญ ร้อยละ 20 ได้จำนวน 2 สถานประกอบการ

จากวิธีการสุ่มกลุ่มตัวอย่างแบบชั้นภูมิ ได้สถานประกอบการที่ใช้ในการเก็บข้อมูลทั้งหมดคือ 86 สถานประกอบการ ซึ่งผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลโดยการแจกแบบสอบถามความต้องการของสถานประกอบการด้านความรู้และทักษะของพนักงานที่จะรับเข้าทำงานในคลังสินค้า ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ จำนวน 86 ชุด

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ดังนี้

1. สร้างแบบสอบถามโดยใช้ร่างกรอบคุณวุฒิวิชาชีพ 8 ระดับ เป็นกรอบร่างในการสร้างแบบสอบถาม (พิชญ์สินี ชมภูคำ, ม.ปป.)

2. นำแบบสอบถามที่ได้ตรวจสอบความเที่ยงตรง(IOC) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน มีค่าคะแนนความเที่ยงตรง (IOC) ที่ 0.91 กล่าวคือแบบสอบถามมีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการศึกษา ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการเป็นแบบสอบถามในการเก็บข้อมูลได้

3. นำแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญไปดำเนินการเก็บข้อมูลจากสถานประกอบการ จำนวน 86 สถานประกอบการ

3.3 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลดังต่อไปนี้

1. ผู้วิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสร้างแบบสอบถามที่ผ่านการตรวจสอบความเที่ยงตรง (IOC) จากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ใน Google form และสร้าง QR code แบบสอบถามที่ได้สร้างจาก Google form และได้ส่งแบบสอบถามไปยังสถานประกอบการเพื่อขอความอนุเคราะห์ในการตอบแบบสอบถามผ่านทางไปรษณีย์

2. เนื่องจากผลการตอบกลับการส่งแบบสอบถามไปยังสถานประกอบการผ่านทางไปรษณีย์ได้ข้อมูลยังไม่เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ ผู้วิจัยจึงดำเนินการลงพื้นที่ไปเก็บข้อมูลยังสถานประกอบการโดยการใช้ QR code แบบสอบถามที่ได้สร้างจาก Google form เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วน เพียงพอต่อการนำมาวิเคราะห์ข้อมูล

3.4 วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลโดยการวิเคราะห์เชิงพรรณนา (Descriptive Statistic) (สุทิน ชนะบุญ, 2560) ด้วยการแจกแจงความถี่ของจำนวนผู้ตอบแบบสอบถาม และการหาอัตราส่วนร้อยละของเพศ ช่วงอายุ ระดับการศึกษา และประสบการณ์ ที่ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม และใช้ค่าเฉลี่ยร่วมกับส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานในการวิเคราะห์แบบสอบถาม

2 ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์การเปรียบเทียบระหว่าง
มาตรฐานคุณวุฒิวิชาชีพ กับความต้องการของสถานประกอบการ

3.5 สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์

ผู้วิจัยได้เลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์ข้อมูล (ภัทรธิดา ผล
งม มปป.) ที่ได้จากการเก็บรวบรวมจากแบบสอบถาม ดังนี้

1. ค่าความถี่ (Frequency) เพื่อใช้อธิบายความถี่ของข้อมูล
ที่ได้จากแบบสอบถามตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

2. ร้อยละ (Percentage) เพื่อใช้อธิบายความถี่
และร้อยละของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถามตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของ
ผู้ตอบแบบสอบถาม ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ

$$P = \frac{H}{F} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ P คือ ร้อยละ

f คือ ตัวเลขที่ต้องการแปลงเป็นร้อยละ

N คือ จำนวนทั้งหมด

3. ค่าเฉลี่ย (Sample Mean) เพื่ออธิบายค่าเฉลี่ยที่ได้จาก
แบบสอบถาม ตอนที่ 2 แบบสอบถามความต้องการของสถาน
ประกอบการ 8 ระดับ ตามกรอบมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ
(TPQ) ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N} \quad (3)$$

เมื่อ \bar{x} คือ ค่าเฉลี่ย

$\sum x$ คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด

N คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

4. ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation ; S.D.)
เพื่อใช้อธิบายความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม
ตอนที่ 2 แบบสอบถามความต้องการของสถานประกอบการ 8 ระดับ
ตามกรอบมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ ซึ่งคำนวณได้ดังสมการ

$$S = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (4)$$

เมื่อ S คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

x คือ คะแนนแต่ละตัว

\bar{x} คือ ค่าเฉลี่ยของคะแนน

N คือ จำนวนคะแนนในกลุ่ม

Σ คือ ผลรวม

4. ผลการวิจัย

4.1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม
กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 86 สถานประกอบการ ได้ดังนี้

4.1.1 เพศของผู้ตอบแบบสอบถาม



รูปที่ 2 เพศของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 2 ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศชาย จำนวน 43
คน คิดเป็นร้อยละ 50 และเพศหญิง จำนวน 43 คน คิดเป็นร้อยละ
50

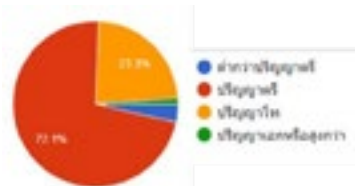
4.1.2 ระดับอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม



รูปที่ 3 ระดับอายุของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 3 ระดับอายุของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่
อายุระหว่าง 26-35 ปี คิดเป็นร้อยละ 59.3 รองลงมา คือ อายุระหว่าง
36-45 ปี คิดเป็นร้อยละ 33.7 อายุต่ำกว่า 25 ปี คิดเป็นร้อยละ 4.7
และอายุ 46 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 2.3

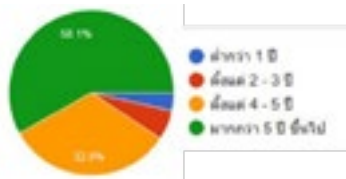
4.1.3 ระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม



รูปที่ 4 ระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 4 ระดับการศึกษาของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีระดับการศึกษาระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 72.1 รองลงมาคือ ระดับปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 23.3 ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 3.5 และระดับปริญญาเอกหรือสูงกว่า คิดเป็นร้อยละ 1.2

4.1.4 ประสบการณ์ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม



รูปที่ 5 ประสบการณ์ทำงานของผู้ตอบแบบสอบถาม

จากรูปที่ 5 ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 5 ปีขึ้นไป คิดเป็นร้อยละ 58.1 รองลงมาคือ มีประสบการณ์ 4-5 ปี คิดเป็นร้อยละ 32.6 มีประสบการณ์ทำงานตั้งแต่ 2-3 ปี คิดเป็นร้อยละ 5.8 และมีประสบการณ์ทำงานต่ำกว่า 1 ปี คิดเป็นร้อยละ 3.5

โดยข้อมูลทั้งหมดที่ผู้วิจัยเก็บรวบรวมมาได้จะนำมาเปรียบเทียบว่าในช่วงประสบการณ์การทำงาน และช่วงการศึกษาในระดับต่างๆ มีความคิดเห็นสำหรับความต้องการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าอยู่ในระดับใดของมาตรฐานคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพโลจิสติกส์ สาขางานจัดการคลังสินค้า สินค้าคงคลัง และการกระจายสินค้า

4.2 ความต้องการของสถานประกอบการ ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพทั้ง 8 ระดับ

จากการศึกษาความต้องการของสถานประกอบการตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพทั้ง 8 ระดับ โดยใช้สถิติวิเคราะห์แบบสอบถามที่รวบรวมได้จากสถานประกอบการจำนวน 86 สถานประกอบการ โดยเรียงลำดับระดับความต้องการของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ ซึ่งการแปลความหมายใช้หลักเกณฑ์การแบ่งค่าเฉลี่ยเป็น 5 ระดับได้ดังนี้

- 4.51 – 5.00 หมายถึง มีความต้องการมากที่สุด
- 3.51 – 4.50 หมายถึง มีความต้องการมาก
- 2.51 – 3.50 หมายถึง มีความต้องการปานกลาง

1.51 – 2.50 หมายถึง มีความต้องการน้อย
 1.00 – 1.50 หมายถึง มีความต้องการน้อยที่สุด
 แสดงผลได้ตามตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แบบสอบถาม

มาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (TPQI)	ระดับความต้องการ	
	ค่าเฉลี่ย	S.D.
ระดับ 1		
ด้านความรู้ • พนักงานต้องมีความรู้ในระดับพื้นฐานของการทำงานด้านคลังสินค้า	4.03	0.71
ด้านทักษะ • พนักงานต้องมีทักษะในขั้นพื้นฐานของการทำงานด้านคลังสินค้า	4.01	0.86
ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้ • พนักงานต้องทำงานตามกระบวนการตามวิธีการที่กำหนดไว้ ภายใต้การสนับสนุน ควบคุม ดูแลอย่างใกล้ชิด	4.24	0.75
ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ • พนักงานต้องส่งมอบผลงานตามแนวทางที่ได้รับมอบหมายอย่างเคร่งครัด	4.38	0.73
ค่าเฉลี่ยรวมระดับ 1	4.17	0.76
ระดับ 2		
ด้านความรู้ • พนักงานต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงานในด้านคลังสินค้า	4.06	0.71
ด้านทักษะ • พนักงานต้องมีทักษะในการทำงานตามวิธีการด้านคลังสินค้า	3.93	0.7
ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้ • พนักงานต้องทำงานตามขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติงานที่กำหนดไว้ภายใต้การสนับสนุนและชี้แนะได้	4.06	0.67
ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ • พนักงานต้องส่งมอบผลงานที่เกิดจากขั้นตอนและวิธีการปฏิบัติงานด้านคลังสินค้าที่กำหนดไว้ได้	4.22	0.74
ค่าเฉลี่ยรวมระดับ 2	4.07	0.71
ระดับ 3		
ด้านความรู้ • พนักงานต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงานในด้านคลังสินค้า	4.67	0.6
ด้านทักษะ		

• พนักงานต้องมีทักษะในการเลือกใช้วิธีการ, เครื่องมือ, วัสดุ, สารสนเทศได้อย่างเหมาะสมในสถานการณ์ที่แตกต่างได้	4.49	0.61
ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้		
• พนักงานต้องทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐาน และตัดสินใจแก้ปัญหาหน้างานภายใต้แนวทางการปฏิบัติงานที่กำหนดได้	4.55	0.61
ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ		
• พนักงานต้องส่งมอบผลงานที่เกิดจากขั้นตอนการทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้	4.55	0.63
• พนักงานต้องมีการรายงานผลการทำงานหรือความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง	4.55	0.63
ค่าเฉลี่ยรวมระดับ 3	4.56	0.62
ระดับ 4		
ด้านความรู้		
• พนักงานต้องมีความรู้ในด้านคลังสินค้า	3.74	0.65
• พนักงานจะต้องสามารถประยุกต์ใช้หลักการและแนวความคิดหลักในงานด้านคลังสินค้าได้	3.6	0.69
ด้านทักษะ		
• พนักงานต้องมีทักษะในการวิเคราะห์เพื่อปรับใช้วิธีการ, เครื่องมือ, วัสดุ, สารสนเทศได้อย่างเหมาะสมในสถานการณ์ที่แตกต่างได้	3.85	0.83
ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้		
• พนักงานต้องทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐาน และตัดสินใจแก้ปัญหาหน้างานภายใต้แนวทางการปฏิบัติงานที่กำหนดได้	3.78	0.80
• พนักงานต้องปฏิบัติงานที่แตกต่างด้วยความร่วมมือประสานงานกับผู้อื่นหรือหน่วยงานอื่นได้	3.85	0.79
ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ		
• พนักงานต้องส่งมอบผลงานที่เกิดจากขั้นตอนการทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้	3.91	0.83
• พนักงานต้องให้ความร่วมมือและประสานงานกับผู้อื่นได้	3.85	0.73
• พนักงานต้องมีการรายงานผลการทำงานหรือความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง	3.89	0.77
ค่าเฉลี่ยรวมระดับ 4	3.81	0.76
ระดับ 5		
ด้านความรู้		
• พนักงานต้องมีความรู้ในหลักการหรือทฤษฎีเกี่ยวกับงานด้านคลังสินค้าได้	3.55	0.79
• พนักงานต้องมีเทคนิควิธีการในการวิเคราะห์หรือปฏิบัติงานด้านคลังสินค้าได้	3.63	0.61
ด้านทักษะ		

• พนักงานต้องมีทักษะในการนำผลการวิเคราะห์มาปรับใช้วิธีการ, เครื่องมือ, วัสดุ, สารสนเทศได้อย่างถูกต้อง และเหมาะสมในสถานการณ์ที่แตกต่างได้	3.72	0.88
ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้		
• พนักงานสามารถตัดสินใจได้โดยอิสระในงานที่ซับซ้อน หรือในประเด็นที่ไม่ชัดเจนได้	3.65	0.68
ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ		
• พนักงานต้องสามารถกำกับ ดูแลแผนการปฏิบัติงาน หรือโครงการให้สามารถส่งมอบงานตามเป้าหมายได้	3.79	0.84
ค่าเฉลี่ยรวมระดับ 5	3.67	0.76
ระดับ 6		
ด้านความรู้		
• พนักงานต้องมีความรู้ในหลักการหรือทฤษฎีเกี่ยวกับงานด้านคลังสินค้าได้	3.59	0.79
• พนักงานต้องมีเทคนิค วิธีการเกี่ยวกับการพัฒนาการปฏิบัติงานด้านคลังสินค้าได้	3.64	0.73
ด้านทักษะ		
• พนักงานต้องมีทักษะในการนำผลการวิเคราะห์มาปรับใช้ในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อน และในสถานที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอได้	3.74	0.87
ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้		
• พนักงานต้องแก้ปัญหาที่ซับซ้อนหรือพัฒนาวิธีการปฏิบัติงานในสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาด้วยกลยุทธ์ที่หลากหลายได้	3.93	0.81
ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ		
• พนักงานต้องรับผิดชอบในการส่งมอบงานด้วยวิธีการที่สามารถเพิ่มผลผลิตภาพได้	3.71	0.82
• พนักงานต้องกระตุ้นให้คนในอาชีพมีความรับผิดชอบต่องานได้	3.63	0.78
ค่าเฉลี่ยรวมระดับ 6	3.71	0.80

ระดับ 7		
ด้านความรู้		
• พนักงานต้องมีความรู้ในหลักการหรือทฤษฎีเกี่ยวกับงานด้านคลังสินค้าได้	3.49	0.73
• พนักงานต้องมีเทคนิค วิธีการเกี่ยวกับการถ่ายโอนความรู้สู่การทำงานด้านคลังสินค้าได้	3.51	0.73
ด้านทักษะ		
• พนักงานต้องมีทักษะในการนำผลวิเคราะห์มาปรับใช้ในสถานการณ์ที่มีความซับซ้อน และในสถานที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอได้	3.60	0.83

ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้		
• พนักงานต้องแก้ปัญหาที่ซับซ้อนหรือปัญหาที่ไม่คาดคิดได้	3.62	0.90
• พนักงานต้องพัฒนาและทดสอบวิธีการปฏิบัติงานใหม่ก่อนนำไปสู่การปฏิบัติงานได้	3.64	0.77
ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ		
• พนักงานต้องรับผิดชอบในการส่งมอบงานด้วยวิธีการที่สามารถเพิ่มผลผลิตภาพ	3.69	0.83
• พนักงานต้องสร้างสำนึกให้คนในอาชีพมีความรับผิดชอบต่องานได้	3.71	0.8
ค่าเฉลี่ยรวมระดับ 7	3.61	0.80
ระดับ 8		
ด้านความรู้		
• พนักงานต้องมีความรู้ในหลักการหรือทฤษฎีเกี่ยวกับงานด้านคลังสินค้าได้	3.57	0.79
• พนักงานต้องมีเทคนิควิธีการเกี่ยวกับการประเมินค่าในการปฏิบัติงานด้านคลังสินค้าได้	3.58	0.73
ด้านทักษะ		
• พนักงานต้องมีทักษะในการคิดค้นวิธีการใหม่ ๆ ในการสร้างนวัตกรรมและองค์ความรู้ ด้านคลังสินค้าได้	3.59	0.83
ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้		
• พนักงานต้องมีความเชี่ยวชาญในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนหรือประเด็นที่ยังไม่ชัดเจนด้วยนวัตกรรมได้	3.64	0.81
ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ		
• พนักงานต้องเป็นแบบอย่างในการเป็นผู้มีความรับผิดชอบได้	3.78	0.82
ค่าเฉลี่ยรวมระดับ 8	3.63	0.80

จากตารางจะเห็นได้ว่าสถานประกอบการต้องการลำดับแรก คือระดับ 3 มีความต้องการมากที่สุด (\bar{X} = 4.56, SD = 0.62) รองลงมาคือ ระดับ 1 มีความต้องการมาก (\bar{X} = 4.17, SD = 0.76), ระดับ 2 มีความต้องการมาก (\bar{X} = 4.07, SD = 0.71), ระดับ 4 มีความต้องการมาก (\bar{X} = 3.81, SD = 0.76), ระดับ 6 มีความต้องการมาก (\bar{X} = 3.71, SD = 0.80), ระดับ 5 มีความต้องการมาก (\bar{X} = 3.67, SD = 0.76), ระดับ 8 มีความต้องการมาก (\bar{X} = 3.63, SD = 0.80), และระดับ 7 มีความต้องการมาก (\bar{X} = 3.61, SD = 0.80) ตามลำดับ

4.3 การเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานคุณวุฒิวิชาชีพ กับความต้องการของสถานประกอบการ

จากการศึกษาความต้องการของสถานประกอบการตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพทั้ง 8 ระดับ ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการเปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ

กับความต้องการของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้า ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาการจัดการคลังสินค้า สินค้าคงคลัง และการกระจายสินค้า จากการวิเคราะห์แบบสอบถามที่ผู้วิจัยได้รับรวบรวมได้ตามตารางที่ 2 ดังนี้

สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ (TPQI)	สถานประกอบการ
ระดับ 1	ระดับ 3
• ปฏิบัติตามกฎระเบียบ และกฎความปลอดภัยตามหลักอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม	• ตรวจสอบสินค้าจากผู้ส่งมอบ
ระดับ 2	ระดับ 1
• จัดเก็บและเรียงสินค้าในคลังสินค้า	• ปฏิบัติตามกฎระเบียบ และกฎความปลอดภัยตามหลักอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม
ระดับ 3	ระดับ 2
• ตรวจสอบสินค้าจากผู้ส่งมอบ	• จัดเก็บและเรียงสินค้าในคลังสินค้า
ระดับ 4	ระดับ 6
• วางแผนการรับสินค้า	• จัดการภายในศูนย์กระจายสินค้า เพื่อให้มีประสิทธิภาพ
ระดับ 5	ระดับ 8
• วางแผนจัดเตรียมสินค้าเพื่อการกระจายสินค้า	• ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการคลังสินค้า
ระดับ 6	ระดับ 4
• จัดการภายในศูนย์กระจายสินค้า เพื่อให้มีประสิทธิภาพ	• วางแผนการรับสินค้า
ระดับ 7	ระดับ 5
• จัดการภายในคลังสินค้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพ	• วางแผนจัดเตรียมสินค้าเพื่อการกระจายสินค้า
ระดับ 8	ระดับ 7
• ผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการคลังสินค้า	• จัดการภายในคลังสินค้าเพื่อให้มีประสิทธิภาพ

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่ามาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก คือ ระดับ 1 ปฏิบัติตามกฎระเบียบ และกฎความปลอดภัยตามหลักอาชีวอนามัยและสิ่งแวดล้อม และในส่วนของสถานประกอบการจะให้ความสำคัญเป็นอันดับแรก คือ ระดับ 3 ตรวจสอบรับสินค้าจากผู้ส่งมอบ รองลงมาสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพให้ความสำคัญกับ ระดับ 2 จัดเก็บและเรียงสินค้าในคลังสินค้า ในส่วนของสถานประกอบการได้ให้ความสำคัญกับ ระดับ 1 ปฏิบัติตามกฎระเบียบ และกฎความปลอดภัยตามหลักอาชีวอนามัย และสิ่งแวดล้อม และต่อมาสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพได้

ให้ความสำคัญกับ ระดับ 3 ตรวจสอบสินค้าจากผู้ส่งมอบ และในส่วน
ของสถานประกอบการได้ให้ความสำคัญกับ ระดับ 2 จัดเก็บและ
เรียงสินค้าในคลังสินค้า ตามลำดับ ซึ่งผู้วิจัยสังเกตเห็นว่าทั้งมาตรฐาน
สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพและความต้องการของสถานประกอบการ
สามารถปฏิบัติได้ควบคู่กันทั้งในการทดสอบสมรรถนะและในการ
ปฏิบัติงานในสถานประกอบการ

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาความต้องการของสถานประกอบการ ในการ
รับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าเพื่อการศึกษาความต้องการ
ของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้า
ว่าต้องการพนักงานที่มีความรู้และทักษะในระดับใด ตามมาตรฐาน
สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ กรณีศึกษา สถานประกอบการในจังหวัด
เชียงใหม่ มีความต้องการ ระดับมากที่สุด คือ มาตรฐานระดับ 3
ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิทั้ง 4 ด้าน มีรายละเอียดดังนี้

1. ด้านความรู้ พบว่าระดับ 3 พนักงานต้องมีความเข้าใจ
เกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงานในด้านคลังสินค้า โดยสถานประกอบการ
ส่วนใหญ่ได้ให้ความสำคัญ กับความเข้าใจและวิธีการปฏิบัติงาน
ในด้านคลังสินค้า ดังนั้น ความรู้ ความเข้าใจ มีความจำเป็นต่อสถาน
ประกอบการอย่างมาก

2. ด้านทักษะ พบว่าระดับ 3 พนักงานต้องมีทักษะ
ในการเลือกใช้อุปกรณ์, เครื่องมือ, วัสดุ, สารสนเทศได้อย่างเหมาะสม
ในสถานการณ์ที่แตกต่างได้สถานประกอบการได้เล็งเห็นความสำคัญ
ในด้านทักษะการเลือกใช้อุปกรณ์, เครื่องมือ, วัสดุ, สารสนเทศได้อย่าง
เหมาะสม เป็นอันดับแรก ดังนั้นการเลือกใช้อุปกรณ์, เครื่องมือ, วัสดุ,
สารสนเทศได้อย่างเหมาะสม มีความจำเป็นต่อสถานประกอบการ
อย่างมาก

3. ด้านผลลัพธ์ของการประยุกต์ใช้ พบว่าระดับ 3
พนักงานต้องทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐาน และตัดสินใจ
แก้ปัญหาหน้างานภายใต้แนวทางการปฏิบัติงานที่กำหนดได้
โดยสถานประกอบการมีความต้องการให้พนักงานทำงานตามแบบ
แผนหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้ ดังนั้นการทำงานตามแบบแผนหรือ
มาตรฐาน และตัดสินใจแก้ปัญหาหน้างานภายใต้แนวทางการ
ปฏิบัติงานที่กำหนดได้มีความจำเป็นต่อสถานประกอบการอย่างมาก

4. ด้านจริยธรรมและความรับผิดชอบ พบว่าระดับ 3
พนักงานต้องส่งมอบผลงานที่เกิดจากขั้นตอนการทำงานตามแบบ

แผนหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้และพนักงานต้องมีการรายงานผล
การทำงานหรือความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง โดยสถานประกอบ
ค ำ ร ร
ให้พนักงานส่งมอบงานที่มีมาตรฐานตามที่กำหนด และมีการส่งม
งานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการส่งมอบผลงานที่เกิดจากขั้นตอนการ
ทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ และการรายงานผล
การทำงานหรือความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่อง มีความสำคัญต่อสถาน
ประกอบการเป็นอย่างมาก

ดังนั้น ภาคอุตสาหกรรมควรจัดกรอบรวมเพื่อให้ความรู้
พนักงานในด้านคลังสินค้า และส่งเสริม เพื่อพัฒนาศักยภาพให้กับ
พนักงานโดยสนับสนุนให้มีการทดสอบมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิ
วิชาชีพในด้านคลังสินค้า ส่วนภาคการศึกษา ควรจัดการเรียนการ
สอน เกี่ยวกับมาตรฐานด้านคลังสินค้าเพื่อเพิ่มโอกาสให้นักศึกษา
มีความพร้อมเข้ารับการทดสอบด้านคลังสินค้า ตามมาตรฐานสถาบัน
คุณวุฒิวิชาชีพ

5.2 อภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาความต้องการของสถานประกอบการ ในการ
รับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้าเพื่อศึกษาความต้องการ
ของสถานประกอบการในการรับพนักงานเข้าทำงานด้านคลังสินค้า
ว่าต้องการพนักงานที่มีความรู้และทักษะในระดับใด ตามมาตรฐาน
สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ กรณีศึกษา สถานประกอบการในจังหวัด
เชียงใหม่ โดยผลจากการศึกษาพบว่าส่วนใหญ่สถานประกอบการ
มีความต้องการพนักงานในระดับ 3 ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิ
วิชาชีพ ที่มีความรู้ ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการปฏิบัติงานในด้าน
คลังสินค้า มีทักษะในการเลือกใช้อุปกรณ์, เครื่องมือ, วัสดุ, สารสนเทศ
ได้อย่างเหมาะสมในสถานการณ์ที่แตกต่างได้สถานประกอบการได้
เล็งเห็นความสำคัญในด้านทักษะการเลือกใช้อุปกรณ์, เครื่องมือ, วัสดุ,
สารสนเทศได้อย่างเหมาะสม และพนักงานต้องทำงานตามแบบแผน
หรือมาตรฐาน และตัดสินใจแก้ปัญหาหน้างานภายใต้แนวทาง
การปฏิบัติงานที่กำหนดได้ และพนักงานต้องส่งมอบผลงานที่เกิด
จากขั้นตอนการทำงานตามแบบแผนหรือมาตรฐานที่กำหนดไว้ได้
และพนักงานต้องมีการรายงานผลการการทำงานหรือความก้าวหน้าอย่าง
ต่อเนื่อง ซึ่งผู้วิจัยได้เล็งเห็นว่าในการทำงานสถานประกอบการส่วน
ใหญ่พนักงานต้องมีความรู้ในระดับ 1 และระดับ 2 เป็นพื้นฐาน
ก่อนการทำงาน ตามที่ ภาณุมาศ เนียมพลับ กล่าวไว้ว่าสิ่งที่
ผู้ประกอบการต้องการมากที่สุดจากสายงานคลังสินค้ามีดังนี้
1) ความสามารถในการแก้ปัญหา 2) ความแม่นยำรอบคอบ

3) ความอดทนในการทำงาน 4) ความมีระเบียบวินัย 5) ความไม่รู้จักเหน็ดเหนื่อย 6) ความสามารถในการทำงานเป็นทีม 7) มีคุณธรรมในใจ 8) ความกระตือรือร้น 9) ทักษะการสื่อสาร 10) มีความรู้ด้านคลังสินค้าและโลจิสติกส์ 11) ทักษะการใช้โปรแกรมสำเร็จรูปและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ภาณุมาศ เนียมพลับ, 2562)

ดังนั้น หากพนักงานที่สนใจในการเข้าทำงานด้านคลังสินค้าอย่างน้อยพนักงานต้องผ่านการรับรองมาตรฐานในระดับ 3 ตามมาตรฐานสถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ เพื่อตรงต่อความต้องการของสถานประกอบการ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย, สำนักงานคลังจังหวัดเชียงราย และสถานประกอบการในจังหวัดเชียงราย ที่อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

พิชญ์สินี ชมภูคำ. (ม.ป.ป). หลักการสร้างแบบสอบถามที่ดี (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : http://www.cmmet.tmd.go.th/KM_Cmmet/042560/Questionnaire1.pdf (วันที่สืบค้น : 1 ธันวาคม 2563)

สำนักงานคลังจังหวัดเชียงราย. (2563). รายงานประมาณการเศรษฐกิจจังหวัดเชียงราย ปี 2563 และแนวโน้มปี 2564 (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <https://www.cgd.go.th/cs/ci/> (วันที่สืบค้น : 5 มิถุนายน 2563)

สุทิน ทนบุญ. (2560). สถิติและการวิเคราะห์ข้อมูลในงานวิจัยด้านสุขภาพเบื้องต้น (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://www.kkpho.go.th/index.php/component/attachments/download/1927> (วันที่สืบค้น : 5 มกราคม 2564)

สถาบันคุณวุฒิวิชาชีพ. (2562) มาตรฐานอาชีพและคุณวุฒิวิชาชีพ สาขาวิชาชีพโลจิสติกส์ สายงานจัดการคลังสินค้า สินค้าคงคลัง และการกระจายสินค้า (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <https://shorturl.asia/6f5v> (วันที่สืบค้น : 5 มิถุนายน 2563)

สุณิสา เจริญศิริวิไล. (2562). การเลือกใช้บริการระบบบริหารจัดการคลังสินค้า. วารสารรัชต์ภาคย์ ปีที่ 13 ฉบับที่ 30

ภาณุมาศ เนียมพลับ. (2562). สมรรถนะของเจ้าหน้าที่จัดการคลังสินค้า ที่ตรงกับความต้องการของตลาดแรงงานในภาคอุตสาหกรรม ธุรกิจขนส่งสินค้าทางอากาศ. สาขาวิชาการจัดการทั่วไป คณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ภาควิชา ผลงาน (ม.ป.ป) การเลือกใช้สถิติในการวิเคราะห์

ข้อมูล (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://www.tuctacth.com/article/stat_1.pdf (วันที่สืบค้น : 5 มิถุนายน 2563)

Chinikul, C. (2008). Logistics and Supply Chain Management. 3rd edition. Bangkok: Sripatum University Press. (in Thai)

Lopburi. (2554). กิจกรรมหลักด้านโลจิสติกส์. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก : <http://www.lopburi.go.th/logistictm>.

(วันที่สืบค้น : 11 ตุลาคม 2563)

Suthep Nimsai (2013). การพัฒนาเชิงพื้นที่ในเขตชายแดนสี่เหลี่ยมเศรษฐกิจเขตอนุภูมิภาคแม่น้ำโขงและเส้นทางทางการเชื่อมต่อภูมิภาคบนถนน (ออนไลน์). เข้าถึงได้จาก : <http://1abin/bnX> (วันที่สืบค้น : 10 มิถุนายน 2563)

Yamane, Taro. (1967). Statistics, An Introductory Analysis, 2nd Ed, New York: Harper and Row.

การปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อโดยใช้เทคนิค ECRS

Process Improvement of Shirt Printing using ECRS Techniques

สรายุทธ มาลัยพันธุ์* นพชัย สุมา ลัทธพล ศรีจันทร และพิฑูร นพนาคร

Sarayut Malaipun* Noppachai Suma Ratpon Seejung and Pitoo Nopnakorn

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ที่อยู่ 200 หมู่17 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง รหัสไปรษณีย์ 5200

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

200 Moo17 Pichai Subdistrict Mueang District, Lampang Province 52000

*E-mail : sarayutmalipun@yahoo.com , เบอร์โทรศัพท์ 089-1924404

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) ศึกษากระบวนการพิมพ์เสื้อ 2) การปรับปรุงกระบวนการโดยใช้เทคนิค ECRS 3) ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการพิมพ์เสื้อ วิธีการวิจัยวิเคราะห์การทำงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการและหลังการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้เทคนิค ECRS แผนภูมิการไหล และหาเวลามาตรฐาน ผลการวิจัย 1) การวิเคราะห์การทำงานก่อนการปรับปรุงกระบวนการเวลาในการทำงาน 0.37 วินาที/ตัว 2) การปรับปรุงใช้หลักการทำให้ง่าย (Simplify) ด้วยการสร้างเครื่องมือเพื่อช่วยในกระบวนการพิมพ์เสื้อ 3) การวิเคราะห์การทำงานหลังการปรับปรุงกระบวนการเวลาในการทำงาน 0.30 วินาที/ตัว ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น 13.8 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : การกำจัด, การรวม, การทำให้ง่าย

Abstract

The objectives of this research were to: 1) to study the shirt printing process 2) to improve the process of shirt printing using ECRS (Eliminate, Combine, Rearrange, Simplify) techniques 3) to study the performance of the shirt printing process. Research methodology analyzed the work before process improvement and after process improvement using the ECRS technique and found the standard time. The study results were as follows: 1) the Analysis of work before process improvement working time 0.37 sec /unit. 2) the improvement using the principle of simplifying by creating a tool to assist in shirt printing. 3) the Analysis of work after process improvement working time 0.30 sec /unit. Efficiency increased by 13.8 percent.

Keyword: Eliminate, Combine, Simplify

1. บทนำ

จากการที่ได้เข้าไปสำรวจและหาข้อมูลที่ร้านของดีเมืองลำปาง ตำบลหัวเวียง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ได้พบเห็นเข้ากับปัญหาในขั้นตอนการทำงานของการสกรีนเสื้อคือการที่ร้าน (ร้านของดีเมืองลำปาง) ได้ทำการผลิตสกรีนเสื้อแบบใช้มือในการสกรีนทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงานและสกรีนได้น้อยและยังต้องทำหลายขั้นตอนในการทำการสกรีนลายลงเสื้อแต่ละครั้ง จึงได้คิดค้นที่จะปรับปรุงกระบวนการสกรีนเสื้อเพื่อเพิ่มการผลิตในการสกรีนเสื้อเลยมีแนวคิดที่จะสร้างเครื่องสกรีนเสื้อสี่หัวขึ้นมาใหม่ให้การสกรีนเสื้อได้เร็วขึ้นและได้ปริมาณสินค้าที่ผลิตมากขึ้นจากเดิมสกรีนได้ครั้งละ 1 ตัวเพิ่มเป็นครั้งละ 4 ตัว

จากการศึกษาปัญหาดังกล่าวจึงทำให้คณะผู้วิจัยเกิดแนวความคิดในการออกแบบและสร้างเครื่องสกรีนเสื้อเพื่อเพิ่มศักยภาพในการทำงานจากการสกรีนแบบมือ จากร้านของดีเมืองลำปาง นำมาพัฒนาเป็นเครื่องสกรีนเสื้อขึ้นมาใหม่ เพื่อใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดโดยการทำให้สกรีนเสื้อใช้เวลาเท่าเดิม แต่ได้ปริมาณจำนวนเสื้อเพิ่มขึ้นและการทำงานที่เร็วกว่าเดิมและคุณภาพของงานที่สกรีนออกมายังสามารถนำไปสร้างรายได้ให้แก่กิจการมากขึ้น การศึกษาศักยภาพทางด้านกรออกแบบเครื่องสกรีนเสื้อจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งในการใช้ประโยชน์จากการออกแบบเครื่องสกรีนเสื้อทำให้เกิดมูลค่าเพิ่ม โดยการผลิตเป็นสินค้าขายให้ทันเวลาจากการสั่งซื้อครั้งละมากๆ แก่ชุมชนเพื่อการสร้างรายได้ต่อไปได้

ดังนั้นจึงนำเอาหลักการของ ECRS เข้ามาช่วยในการสนับสนุนในการทำงานนี้ด้วย เลยยกเอาหลักของ S (simplify) หรือการทำให้ง่ายเข้ามาเพื่อที่จะนำมาใช้ในการลดระยะเวลาในการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้นของเครื่องและทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ปริมาณมากขึ้นและรวดเร็ว

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปรับปรุงความสูญเสียด้วยหลัก ECRS

ECRS เป็นหลักการที่ประกอบด้วยการทำงานกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และการทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเสีย (Waste) E ย่อมาจาก Eliminate แปลว่ากำจัดออก หมายถึงการพิจารณาการทำงานปัจจุบันและทำการกำจัดความสูญเสียที่พบในการทำงานออกไป C ย่อมาจาก Combine แปลว่ารวมเข้าด้วยกันหมายถึงความสามารถลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลงได้โดยการพิจารณาว่าสามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ เช่น เดิมเคยทำ 6 ขั้นตอน ก็รวมบางขั้นตอนเข้าด้วยกันทำให้ขั้นตอนที่ต้องทำลดลงจากการผลิตก็จะสามารถทำได้เร็วขึ้นและลดการเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนลงอีกด้วยเพราะถ้ามีการรวมขั้นตอนการเคลื่อนที่ระหว่างขั้นตอนก็ลดลง R ย่อมาจาก Rearrange แปลว่าจัดลำดับ ใหม่หมายถึงการจัดขั้นตอนการผลิตใหม่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็นหรือการรอคอยเช่น ในกระบวนการผลิตหากทำการสลับขั้น ตอนที่ 2 กับ 3 โดยทำขั้น ตอนที่ 3 ก่อน 2 จะทำให้ระยะทางการเคลื่อนที่ลดลง S ย่อมาจาก Simplify แปลว่า ทำให้ง่ายขึ้นหมายถึงการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้น

ภัทรนิษฐ์ บุญวัง (2556) กล่าวถึงแนวคิด ECRS ว่าเป็นหลักในการปรับปรุงงาน ซึ่งเป็นหลักการที่ประกอบด้วยการทำงานกำจัด (Eliminate) การรวมกัน (Combine) การจัดใหม่ (Rearrange) และ 9 การทำให้ง่าย (Simplify) ซึ่งเป็นหลักการง่าย ๆ ที่สามารถใช้ในการเริ่มต้นลดความสูญเสีย หรือ MUDA ลงได้เป็นอย่างดี E = Eliminate กำจัดออก หมายถึงการพิจารณาการทำงานปัจจุบัน และทำการกำจัดความสูญเสียไปทั้ง 7 ที่พบในการผลิตออกไป คือการผลิตมากเกินไป การรอคอยการเคลื่อนที่/เคลื่อนย้าย ที่ไม่จำเป็นการทำงานที่ไม่เกิดประโยชน์การเก็บสินค้าที่มากเกินไปการ

เคลื่อนย้ายที่ไม่จำเป็น และของเสีย C = Combine การรวมกัน หมายถึงความสามารถลดการทำงานที่ไม่จำเป็นลงได้โดยการพิจารณาว่า สามารถรวมขั้นตอนการทำงานให้ลดลงได้หรือไม่ R = Rearrange การจัดใหม่หมายถึงการจัดขั้นตอนการผลิตใหม่ เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่เพื่อให้ลดการเคลื่อนที่ที่ไม่จำเป็น หรือการรอคอย S = Simplify การทำให้ง่ายขึ้น หมายถึงการปรับปรุงการทำงานให้ง่ายและสะดวกขึ้นการดำเนินงานทุกขั้นตอนต้องให้พนักงานทุกคนระลึกถึงเทคนิค E C R S อยู่ตลอดเวลา กล่าวคือ ต้องคิดว่าสิ่งที่ทำนั้นสามารถกำจัดออกได้หรือไม่รวมกันได้หรือไม่เรียงลำดับการทำงานใหม่แล้วดีกว่าเดิมหรือไม่และมีวิธีที่ทำให้ทำงานได้ง่ายขึ้นหรือไม่แนวคิดแบบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับทุกๆ เรื่องทุกๆ องค์กร

2.2 การศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลาการทำงาน (Motion and Time study)

การศึกษาเวลาการทำงาน (Time Study) เริ่มโดยเฟรเดอริกดับบลิวเทเลอร์ในปี ค.ศ.1881 โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อใช้ในการหาเวลาในการทำงานที่เป็นมาตรฐานส่วนการศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion study) ได้เริ่มขึ้นโดยสองสามีภรรยาชื่อแฟรงค์บีกิลเบอธ และลิเลียนเอ็มบิลเบอธในปี ค.ศ.1885 โดยมีจุดประสงค์ที่จะปรับปรุง และออกแบบวิธีการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นจนกระทั่งช่วงทศวรรษที่ 1930 ได้เริ่มมีการนำเอาการศึกษาเวลา (Time study) มาใช้ ร่วมกับการศึกษาการเคลื่อนไหว (Motion study) หรือเรียกว่า Method study หรือ Method design เป็นการศึกษา และวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนไหวในขณะที่ทำงานเนื่องจากทั้งสองวิชานี้มีส่วนเสริมซึ่งกันและกันซึ่งการศึกษาการเคลื่อนไหวและเวลา (Motion and Time study) ต่างก็เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ขั้นตอนการปฏิบัติงานเพื่อขจัดงานที่ไม่จำเป็นออกและหาวิธีทำงานที่ดีที่สุดและเร็วที่สุดในการปฏิบัติงานรวมถึงการปรับปรุงมาตรฐานวิธีการทำงาน และเครื่องมือต่างๆ และการ

ฝึกอบรมคนงานให้ทำงานด้วยวิธีที่ถูกต้องโดยการจับเวลาทั้งทางตรง และทางอ้อมตลอดจนปรับอัตราความเร็ว (Rating) เวลาเผื่อ (Allowance) เพื่อหาเวลามาตรฐาน (Standard Time) ของการทำงานนั้น ๆ ทำให้การปรับปรุงงานมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าและเวลาจึงถูกจัดเป็นศาสตร์ที่ใช้ควบคู่กันจนถึงปัจจุบัน สำหรับการบันทึกข้อมูลนั้นจะทำการบันทึกก่อนการจับเวลาโดยอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลคือ นาฬิกาจับเวลาแบบฟอร์มในการบันทึกข้อมูลกล้องถ่ายภาพใช้สำหรับถ่ายภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวเพื่อบันทึกรายละเอียดในการทำงานเครื่องคิดเลขและสมุดจดบันทึกซึ่งข้อมูลต่างๆ เหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ (วิจัย ตัณฑุสทธิ์, 2537) ได้ดังนี้

1. ข้อมูลที่เกี่ยวกับการอ้างอิง
2. รายละเอียดผลิตภัณฑ์
3. ขั้นตอน หรือวิธีการผลิต
4. ผู้ปฏิบัติงาน
5. ระยะเวลาการศึกษา
6. สภาพการทำงาน
7. กรณีงานที่ควรเลือกเพื่อทำการศึกษาเวลาคือ

2.3.1 เทคนิคในการศึกษาเวลาโดยทั่วไปมีเทคนิคที่นิยมใช้ในการศึกษาเวลา 4 วิธีคือ

- 1) Direct Time Study คือการศึกษาเวลาโดยการใช้เครื่องมือจับเวลาโดยตรงจากการทำงานของคนงาน
- 2) Predetermined Motion-Time Systems คือการหาเวลาล่วงหน้าโดยใช้ตารางการคำนวณมาตรฐานต่างๆ
- 3) Work sampling คือการศึกษาเวลาโดยอาศัยหลักการสุ่มตัวอย่างเชิงสถิติในการหาสัดส่วนของการทำงานและเวลามาตรฐาน
- 4) Standard Time Data and Formula คือการศึกษาเวลาโดยอาศัยข้อมูลจากอดีตและสูตรบางสูตรช่วยในการคำนวณหาเวลาเทคนิคแต่ละเทคนิคจะมีความ

เหมาะสมกับงานแต่ละงานแตกต่างกันไป ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้เทคนิคการศึกษาเวลาโดยการใช้เครื่องมือจับเวลา โดยตรงจากการทำงานของคนงาน (Direct Time Study) เพื่อให้สามารถมองเห็นลักษณะการทำงาน อย่างละเอียดและเวลาที่ได้เป็นเวลาทำงานจริง

2.3.2 การจับเวลาทำงานแต่ละงานย่อย โดยทั่วไปมีการจับเวลาที่นิยมใช้อยู่ 2 วิธีคือการจับ เวลาแบบต่อเนื่อง (Continuous Timing) และการจับเวลาแบบเข็มติดกลับ (Snapback Timing หรือ Repetitive Timing) ซึ่งในงานวิจัยผู้วิจัยได้เลือกใช้การจับเวลาแบบเข็มติดกลับมาจับเวลางานย่อยแต่ละงานโดยเริ่มจับเวลา เมื่องานย่อยแรกเริ่มขึ้นแล้วปล่อยให้หน้าฬิกาจับเวลาเดินไปเรื่อย ๆ เมื่อสิ้นสุดงานย่อยแรกก็อ่านค่าเวลาและจดบันทึกเมื่อจะเริ่มจับเวลาการทำงานงานย่อยต่อไปให้เริ่มจับเวลาที่ค่า 0 อีกครั้ง

2.3.3 ขั้นตอนการศึกษาเวลาโดยการจับเวลาโดยตรง

1) การเลือกงานที่จะศึกษาและเลือกคนงานที่เหมาะสม

2) แบ่งงานที่จะศึกษาออกเป็นงานย่อย (Elements) พร้อมกับบันทึกรายละเอียดการทำงานอย่างสมบูรณ์

3) ทำการสังเกต และจับเวลาการทำงานแต่ละครั้งที่ต้องจับเวลา

4) คำนวณหาเวลาปกติ

5) คำนวณหาเวลาลดหย่อน

6) คำนวณหาเวลามาตรฐาน

2.3.4 การคำนวณเวลา

1) เวลาปกติ (Normal Time) เวลาที่เลือกไว้เป็นเวลาของงานย่อยที่เราเลือกมาโดยถือ เป็นตัวแทนของกลุ่มเวลานี้ อาจเป็นเวลาที่ดีที่สุดหรือเวลาพื้นฐานอันใดอันหนึ่งและให้เขียนไว้เป็น เวลาเลือกที่วัดได้หรือเวลาเลือกพื้นฐานสามารถ คำนวณหาเวลาปกติได้จาก

$$NT = Selected\ Time \times Rating\ Factor \quad (1)$$

เมื่อ

NT คือ เวลาปกติ

Selected Time คือเวลาเฉลี่ยของงานย่อย

Rating Factor คือ ค่าอัตราความสามารถการทำงานของคนงาน

2) การคำนวณเวลาเผื่อ (Allowance Time) การคำนวณขั้นพื้นฐานหาเวลาเผื่อ โดยทั่วไปอยู่ในช่วงร้อยละ 5 – 7 ของเวลามาตรฐานเป็นเวลาที่เราเพิ่มเข้าไปในเวลากปกติเพื่อให้ พนักงานมีโอกาสฟื้นตัวจากสภาพเหนื่อยล้าทางกายและจิตใจขณะทำงานภายใต้สภาวะแวดล้อม อันหนึ่งและให้คนงานมีเวลาเข้าห้องน้ำ ทำธุระส่วนตัวได้เวลานี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของแต่ละงานซึ่งเวลาเผื่อการพักผ่อนที่คิดขึ้นก็เพื่อให้พนักงานฟื้นตัวจากความเหนื่อยล้าที่ว่า เหนื่อยล้าอาจให้นิยาม ได้ว่าเป็นความวิตกกังวลเหนื่อยหน่ายทั้งสภาพร่างกายและจิตใจทั้งที่เกิดขึ้นจริงหรือเป็นภาพหลอนที่เกิดขึ้นในบุคคลและมีผลทำให้ความสามารถในการทำงานลดลงความเหนื่อยล้าอาจทำให้ ลดลงได้โดยมีการพักชั่วคราวระหว่างที่ร่างกายออกแรงหรือลดอัตราการทำงานให้ช้าลงกว่าเดิม

3) เวลามาตรฐาน (Standard Time) เวลามาตรฐานเป็นเวลาทั้งหมดที่

ชิ้นงานนั้นควรจะเสร็จโดยการทำงานอย่างมาตรฐานหลังจากทราบค่าเวลาปกติและเวลาลดหย่อนแล้วสามารถ คำนวณหาค่าเวลาของการทำงานมาตรฐานได้โดย

$$STD = NT (1 + A) \quad (2)$$

เมื่อ

STD คือ เวลามาตรฐาน (Standard Time)

NT คือ เวลาปกติ(Normal Time)

A คือ เวลาเผื่อ(Allowance Time) อยู่ในรูปร้อยละของเวลาปกติ

การกำหนดหาเวลามาตรฐานจากค่าเวลาปกติปรับค่าเวลาเผื่อทำได้ 2 วิธีดังนี้

1. เวลามาตรฐาน=เวลาปกติ + (เวลาปกติ x % เวลาเผื่อ)

2. เวลามาตรฐาน =เวลาปกติ x $\frac{100}{100 \times \text{เวลาเผื่อ}}$

3.วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาขั้นตอนการทำงานก่อนการปรับปรุง

จากการที่ได้เข้าไปสำรวจที่ร้านของดีเมืองลำปาง บ้านเลขที่ 32 ถนนบุญวาทย์ ตำบลหัวเวียง อำเภอเมือง จังหวัดลำปางได้เห็นเข้าปรับปัญหาในการทำงานก็คือการทำการสกรีนเสื้อได้ช้าและการทำงานที่ยุ่งยากจึงได้ทำการคิดค้นที่จะสร้างการปรับปรุงกระบวนการขึ้นมาเพื่อลดระยะเวลาการทำงานก่อนการปรับปรุงให้ดีกว่าเดิม โดยเครื่องก่อนการปรับปรุงมีหลายระเอียดต่างๆ ดังนี้ และเมื่อเห็นขั้นตอนการทำงานแล้วเราจึงคิดค้นการเตรียมสร้างเครื่องการปรับปรุงกระบวนการต่อไป



รูปที่ 1 เครื่องก่อนการนำมาปรับปรุงกระบวนการ

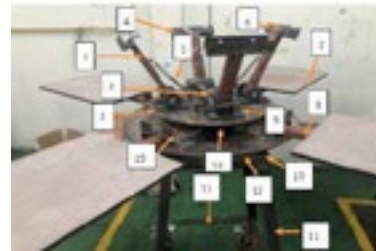
ตารางที่ 1 ชิ้นส่วนและขั้นตอนการทำงานก่อนการปรับปรุง

ลำดับที่	ชิ้นส่วนและขั้นตอนการทำงาน
1	โครงแบนสกรีนยึดให้แน่นอยู่นิ่ง
2	แท่งสวมบล็อกสกรีน
3	แบนสกรีนเอาไว้สวมเสื้อที่จะสกรีน
4	แท่งยึดบล็อกสกรีน

3.2 วางแผนหาข้อมูลและการเตรียมการสร้างเครื่องปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อ

ในการสร้างเครื่องการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อเป็นกระบวนการออกแบบชิ้นส่วนการทำงานของ การปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อ เพื่อนำไปวัดผลการทำงาน และผลผลิตจากการทำงานของเครื่อง จากการศึกษาทฤษฎี

และแนวคิดจึงทำให้คณะผู้จัดทำได้แนวทางวิธีการดำเนินการซึ่งมีรายละเอียดที่เกี่ยวกับการดำเนินงานสร้างเครื่องการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อ ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลทั้งหมดแล้วจึงจัดรายละเอียดออกเป็นขั้นตอนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 2 รายละเอียดต่างๆ ของเครื่องการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อ

ตารางที่ 2 รายละเอียดชิ้นส่วนของเครื่องการปรับปรุงประสิทธิภาพการพิมพ์เสื้อ

ลำดับที่	ชิ้นส่วนประกอบของเครื่องการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อ
1	แผ่นเหล็กกลมขนาด รัศมี 50 เซนติเมตร
2	แกนหมุน
3	แขนจับบล็อกสกรีน
4	ปากจับบล็อกสกรีน
5	สปริง
6	ตัวล็อคบล็อกสกรีน
7	แป้นสกรีน
8	แขนยึดแป้นสกรีน
9	ตลับลูกปืนตุ๊กตา
10	ฐานรองเครื่อง
11	โครงขาเครื่อง
12	แผ่นเหล็กกลมขนาด รัศมี 70 เซนติเมตร
13	โครงฐาน
14	ตัวแกนหมุนในสุด
15	บล็อกยึดแขนล่างแขนบน

3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เส้น

1) การออกแบบโครงสร้างเครื่องปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เส้น จากการออกแบบนั้นโครงสร้างจะต้องมีฐานเป็นทรงสี่เหลี่ยมคางหมู ตัวหมุนจะเป็นวงกลมและมี ความกว้าง 50 เซนติเมตร x ความยาว 70 เซนติเมตร x ความสูง 100 เซนติเมตร



รูปที่ 3 การออกแบบเครื่องปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เส้น

3.4 จัดหาซื้ออุปกรณ์เพื่อมาทำเครื่องปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เส้น

- | | |
|-------------------------|---------------------|
| 1. เหล็กกล่องสี่เหลี่ยม | 8. ลูกปืนแบริ่ง |
| 2. เหล็กแบน | 9. เหล็กรางตัวยู |
| 3. เหล็กฉาก | 10. เหล็กตัวซี |
| 4. แผ่นเหล็กวงกลม | 11. ตลับลูกปืนเพลลา |
| 5. เหล็กเพลลา | 12. สปริง |
| 6. นาฬิกาจับเวลา | 13. บล็อกสกรีน |
| 7. แปรงปาดสี | 14. แป้นสกรีน |

3.5 ขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนโครงสร้างเครื่องปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เส้น



รูปที่ 4 ประกอบโครงสร้างเครื่องและฐานรอง



รูปที่ 5 การประกอบชิ้นส่วนของฐาน



รูปที่ 6 การประกอบชิ้นส่วนย่อยต่างๆ

3.6 การหาเวลามาตรฐาน

เวลาที่จับได้ก่อนการปรับปรุง 37 วินาที ในการสกรีน 1 สี
 เวลาเพื่อสำหรับบุคคล (personal allowance)= 5 %
 เวลาเพื่อสำหรับความล่าช้า (delay or contingency)=4 %

$$\begin{aligned} \text{เวลามาตรฐาน} &= \text{เวลาปกติ NT} + \text{ค่าเผื่อต่าง (AF)} \\ &= 37 \text{ วินาที} + (37 \times 5 \%) + (37 \times 4 \%) \\ &= 37 \text{ วินาที} + 1.85 \text{ วินาที} + 1.48 \text{ วินาที} \\ &= 40.33 \text{ วินาที} \end{aligned}$$

และในเวลา 1 ชั่วโมงจะสกรีนเส้นได้ 750 ตัว/ชั่วโมง

เวลาที่จับได้หลังการปรับปรุง 30 วินาที ในการสกรีน 1 สี
 เวลาเพื่อสำหรับบุคคล (personal allowance) = 5 %
 เวลาเพื่อสำหรับความล่าช้า (delay or contingency)=4 %

$$\begin{aligned} \text{เวลามาตรฐาน} &= \text{เวลาปกติ NT} + \text{ค่าเผื่อต่าง (AF)} \\ &= 30 \text{ วินาที} + (30 \times 5 \%) + (30 \times 4 \%) \\ &= 30 \text{ วินาที} + 1.5 \text{ วินาที} + 1.2 \text{ วินาที} \\ &= 32.7 \text{ วินาที} \end{aligned}$$

และในเวลา 1 ชั่วโมงจะสกรีนเส้นได้ 937.5 ตัว/ชั่วโมง

เวลาที่จับได้ก่อนการปรับปรุง 246 วินาที ในการสกรีน 4 สี
 เวลาเพื่อสำหรับบุคคล (personal allowance) = 5 %
 เวลาเพื่อสำหรับความล่าช้า (delay or contingency)=4 %

$$\begin{aligned} \text{เวลามาตรฐาน} &= \text{เวลาปกติ NT} + \text{ค่าเผื่อต่าง (AF)} \\ &= 246 \text{ วินาที} + (246 \times 5 \%) + (246 \times 4 \%) \end{aligned}$$

$$= 246 \text{ วินาที} + 12.3 \text{ วินาที} + 9.84 \text{ วินาที}$$

$$= 268.14 \text{ วินาที}$$

และในเวลา 1 ชั่วโมงจะสกรีนเสื้อได้ 73.89 ตัว/ชั่วโมง
เวลาที่จับได้หลังการปรับปรุง 343 วินาที ในการสกรีน 4 สี
เวลาเพื่อสำหรับบุคคล (personal allowance) = 5 %
เวลาเพื่อสำหรับความล่าช้า (delay or contingency)=4 %

$$\text{เวลามาตรฐาน} = \text{เวลาปกติ NT} + \text{ค่าเผื่อต่าง (AF)}$$

$$= 343 \text{ วินาที} + (343 \times 5 \%) + (343 \times 4 \%)$$

$$= 343 \text{ วินาที} + 17.5 \text{ วินาที} + 13.72 \text{ วินาที}$$

$$= 373.87 \text{ วินาที}$$

และในเวลา 1 ชั่วโมงจะสกรีนเสื้อได้ 55.24 ตัว/ชั่วโมง

3.7 หลักการทำงานของเครื่องการปรับปรุง

กระบวนการพิมพ์เสื้อ

- 1.เตรียมสีเตรียมเสื้อและบล็อกสกรีน
- 2.นำเสื้อเข้าไปสวมในแป้นสกรีนเสื้อและจัดรูปทรงเสื้อ
- 3.นำบล็อกใส่เข้าไปที่จับบล็อกแล้วจากนั้นนำบล็อกลงมาทับบนเสื้อที่จะสกรีน
- 4.หยิบสีแล้วเปิดฝาและเทสีลงไปบนบล็อกสกรีน
- 5.หยิบแปรงปาดสีทำการปาดสีบนบล็อกสกรีนแล้วจากนั้นยกออก

4.ผลการวิจัย

4.1 เสื้อที่สกรีนก่อนปรับปรุง



รูปที่ 7 การสกรีน 1 สี



รูปที่ 8 การสกรีน 4 สี

4.2 เสื้อที่สกรีนหลังการปรับปรุง



รูปที่ 9 การสกรีน 1 สี



รูปที่ 10 การสกรีน 4 สี

4.3 การทำงานก่อนการปรับปรุง

5	เดิมปรับปรุง		ปรับปรุง		ผลต่าง		แผนภูมิกระบวนการผลิต กิจกรรม การเตรียมเสื้อก่อนการปรับปรุง จุดเริ่มต้นกิจกรรม เตรียมการพิมพ์เสื้อ จุดสิ้นสุดกิจกรรม เมื่อสีตกในมือ ผู้รับผิดชอบ คุณกมลทิพย์ สุภา รับสีบนสี
	สี	เวลา (วินาที)	สี	เวลา (วินาที)	สี	เวลา (วินาที)	
○	9	14	-	-	-	-	กิจกรรมการปรับปรุง ○ ปรับปรุงเสื้อ
□	7	17	-	-	-	-	
◇	-	-	-	-	-	-	
◇	2	6	-	-	-	-	
▽	-	-	-	-	-	-	
รวม	18	37	-	-	-	-	

รูปที่ 11 ตารางการทำงานก่อนการปรับปรุง

4.4 การทำงานหลังการปรับปรุง

5	เดิมปรับปรุง		ปรับปรุง		ผลต่าง		แผนภูมิกระบวนการผลิต กิจกรรม การปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เสื้อ จุดเริ่มต้นกิจกรรม เตรียมการพิมพ์เสื้อ จุดสิ้นสุดกิจกรรม เมื่อสีตกในมือ ผู้รับผิดชอบ คุณกมลทิพย์ สุภา รับสีบนสี
	สี	เวลา (วินาที)	สี	เวลา (วินาที)	สี	เวลา (วินาที)	
○	-	-	3	17	-	-	กิจกรรมการปรับปรุง ○ ปรับปรุงเสื้อ
□	-	-	2	13	-	-	
◇	-	-	-	-	-	-	
◇	-	-	-	-	-	-	
▽	-	-	-	-	-	-	
รวม	-	-	10	30	-	-	

รูปที่ 12 ตารางการทำงานหลังการปรับปรุง

ในการทดสอบและหาระยะเวลาในการทำงานของการสกรีนเสื้อ 1 สีและ 4 สี ในการสกรีนแบบก่อนการปรับปรุง กระบวนการและหลังการปรับปรุงกระบวนการโดยใช้แผนภูมิการไหลและการทำงานมือซ้าย-มือขวาเข้ามาเพื่อจะนำมาเปรียบเทียบการทำงานว่าการสกรีนของทั้งสองการทดสอบว่าการสกรีนแบบก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงแบบไหนใช้ระยะเวลาในการทำงานที่ดีที่สุดและได้จำนวนในการสกรีนดีที่สุดเมื่อนำมาเทียบกันและสามารถลด

กระบวนการทำงานลงได้มากขึ้นน้อยแค่ไหนหลังจากที่ได้ทำการเปรียบเทียบและทดสอบแล้ว

4.5 ข้อมูลการทดลองสกรีนก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 3 ตารางทดสอบก่อนการปรับปรุง 1 แผ่นและ 4 แผ่น

สล็อตที่ใช้ในการทดสอบ	แผ่นสกรีน	เวลาต่อตัว (วินาที)	จำนวน
1	1	37	97.27
4	4	246	58.53

จากตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าการสกรีนก่อนการปรับปรุงกระบวนการสกรีน 1 สล็อตจะใช้ระยะเวลาในการสกรีน 37 วินาทีต่อตัวและจำนวนที่สกรีนได้ต่อชั่วโมงจะได้ 97.27 ตัวและเมื่อสกรีน 4 สล็อตจะใช้เวลาในการสกรีน 246 วินาทีต่อตัวและจำนวนที่สกรีนได้ต่อชั่วโมงจะสกรีนได้ 58.53 ตัว

4.6 ข้อมูลการทดลองสกรีนหลังการปรับปรุง

ตารางที่ 4 ตารางทดสอบสกรีน 1 แผ่นหลังการปรับปรุงกระบวนการ

สล็อตที่ใช้ในการทดสอบ	แผ่นสกรีน	เวลาต่อตัว (วินาที)	จำนวน
1	1	30	120
2		139	25.89
3		161	23.36
4		172	20.97

จากตารางที่ 4 จะเห็นได้ว่าการสกรีนสล็อตในแบบการปรับปรุงกระบวนการแล้วนั้นการสกรีน 1 สล็อตจะใช้ระยะเวลาลดลงจากการสกรีนก่อนการปรับปรุงกระบวนการคือ 30 วินาทีต่อตัวและจำนวนที่ได้ต่อชั่วโมงคือ 120 ตัวแต่ระยะเวลาในการทำงานของการสกรีนสล็อตที่ 2,3 และ 4 นั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และจำนวนที่สกรีนได้เพิ่มขึ้นกว่าการสกรีนแบบเดิม

ตารางที่ 5 ตารางการทดสอบสกรีน 4 แผ่นในการปรับปรุงกระบวนการ

สล็อตที่ใช้ในการทดสอบ	แผ่นสกรีน	เวลาต่อตัว (วินาที)	จำนวน
1	4	60	240
2		272	52.94
3		298	48.32
4		343	41.98

จากตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าการสกรีนสล็อตในแบบการปรับปรุงกระบวนการ การสกรีน 4 สล็อตจะใช้ระยะเวลาในการสกรีน 60 วินาทีหรือประมาณ 1 นาทีต่อตัวและจำนวนที่ทำต่อชั่วโมงคือ 240 ตัวแต่เมื่อทำการสกรีนสล็อตที่ 2,3 และ 4 ระยะเวลาในการทำงานมากขึ้นและจำนวนที่สามารถสกรีนได้นั้นเพิ่มขึ้นจากการสกรีนแบบเดิม

5.อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการทดลอง

ผลการทดลองเครื่องการปรับปรุงกระบวนการพิมพ์เส้น การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทำการวิเคราะห์การทำงานของการสกรีนเส้นระหว่างการทำงานแบบเดิมหรือการทำงานก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงขึ้นมาเพื่อเปรียบเทียบการทำงานและจำนวนของสินค้าที่ผลิตได้ และเมื่อนำแบบบล็อกสกรีนลายเดียวกันมาเปรียบเทียบโดยใช้แผนภูมิการไหลและหลักการทำงานของ ECRS นั้นจะเห็นว่าการทำงานก่อนการปรับปรุงนั้นมีความล่าช้ากว่าการทำงานหลังการปรับปรุงกระบวนการเล็กน้อย

แต่การทำงานของหลังการปรับปรุงนั้นจะได้จำนวนผลผลิตที่มากกว่าก่อนปรับปรุงกระบวนการ และเมื่อนำผลการทดสอบก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุงมาเทียบกันแล้วจะเห็นได้ว่าการทำงานหลังการปรับปรุงนั้นจะมีการทำงานที่มีคุณภาพและลดระยะเวลา รวมไปถึงขั้นตอนในการทำงานแต่ละขั้นตอนลดลงเป็นเท่าตัว

5.2 การอภิปรายผล

การปรับปรุงกระบวนการพิมพ์สีนั้นสามารถสกรีนได้รวดเร็วและทำงานได้สะดวกกว่าการสกรีนแบบเดิม และการปรับปรุงกระบวนการสกรีนสีจึงเหมาะต่อการนำไปต่อยอดในการทำธุรกิจเกี่ยวกับการสกรีนได้เนื่องจากสามารถลดเวลาในการทำงานและได้จำนวนที่สกรีนมากขึ้น ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการนำการปรับปรุงงาน กิตติชัย อธิกุลรัตน์ (2560) การหาสถานงานที่มีเวลาการปฏิบัติงานมากกว่าเวลาที่ลูกค้าต้องการ พร้อมกับวิเคราะห์ปัญหาด้วย 5W1H ผลการปรับปรุงทำให้รอบเวลาการผลิตใหม่เป็น 10.0 วินาที กำลังการผลิตของสายการประกอบเพิ่มขึ้นจาก 300 ชิ้นต่อชั่วโมง เป็น 360 ชิ้นต่อชั่วโมง เพิ่มขึ้นร้อยละ 20 กนกนภา บุญส่งประเสริฐ และก้องภู นิมนันท์ (2562) ทำการปรับปรุงกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบเส้นสดสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของสายการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบเส้นสดจากเดิม 4.27 เปอร์เซ็นต์ รอบเวลาจริงของการผลิตลดลงเท่ากับ 8.13 เปอร์เซ็นต์ จำนวนพนักงานในกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวแบบเส้นสดลดลง 4 คน และผลิตภาพแรงงานเพิ่มขึ้นเท่ากับ 41.57 เปอร์เซ็นต์ มงคล กิตติญาณขจร มณีมณฑท์ วงหาจ๊กและ มัทนา สุขสมบูรณ์ (2563) หลักการ ECRS สามารถทำให้เวลาสูญเสียไปในขั้นตอนการเปลี่ยนม้วนกระดาษอะลูมิเนียมฟอยล์ลดลง 565 วินาทีต่อครั้ง หรือคิดเป็น 67% จากเวลาเดิมก่อนการปรับปรุงโดยสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ 16,143 ซองต่อวัน

6.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนายพดล วิสารทวาราทูล เจ้าของร้านของดีเมืองลำปางที่ให้ความอนุเคราะห์ในการร่วมทำงานและสนับสนุนในด้านต่างๆ จะให้การดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ

7.เอกสารอ้างอิง

- ภัทรนิษฐ์ บุญวัง. (2556). *การประยุกต์แนวคิดสีนเพื่อลดความสูญเสียเปล่าในการผลิต*. วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการการขนส่งและโลจิสติกส์. มหาวิทยาลัยบูรพา.
- รัชต์วรรณ กาญจนปัญญาคม. (2552). *การศึกษางานอุตสาหกรรม*. กรุงเทพฯ: ท้อป.
- กิตติชัย อธิกุลรัตน์. (2560). การเพิ่มผลผลิตโดยการปรับปรุงการทำงานด้วยการเคลื่อนไหวพื้นฐานของมือ: กรณีศึกษา สายการประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์. *วารสารวิชาการและวิจัยมทร.พระนคร*, 11(1), 165-176
- กนกนภา บุญส่งประเสริฐ และก้องภู นิมนันท์. (2562). การปรับปรุงผลิตภาพกระบวนการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 26(3), 1-13
- มงคล กิตติญาณขจร มณีมณฑท์ วงหาจ๊กและ มัทนา สุขสมบูรณ์. (2563). การประยุกต์ใช้เทคนิคการปรับเปลี่ยนเครื่องจักรอย่างรวดเร็วและ ECRS เพื่อลดเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร: กรณีศึกษา กระบวนการผลิตหัวเชื้อเครื่องดื่มชนิดผง. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 27(1), 1-11

การผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง

The Production of Charcoal Briquettes from Waste Bamboo Shoots

พงศกร สุรินทร์* ชูเกียรติ ตุมจินดา ณรงค์ ค่อมศิริรินทร์ และ อติเรก เฉลียว

Pongsakorn Surin* Chookeit Tumjinda Narong Komkirin and Adirek Chaliew

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ที่อยู่ 200 หมู่17 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง รหัสไปรษณีย์ 5200

Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

200 Moo17 Pichai Subdistrict Mueang District, Lampang Province 52000

*E-mail : p.surin1980@yahoo.co.th, เบอร์โทรศัพท์ 089-8555395

บทคัดย่อ

เศษหน่อไม้เหลือทิ้งจากกระบวนการแปรรูปหน่อไม้ซึ่งนับว่าเป็นปัญหาด้านขยะของผู้ประกอบการในจังหวัดลำปาง ดังนั้นผู้ประกอบการต้องการหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) ศึกษาอัตราส่วนผสมการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง 2) ศึกษาอุณหภูมิสูงสุดถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง วิธีการวิจัยเชิงทดลองอัตราส่วนผสมการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง ร่วมกับผงถ่าน แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ โดยใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปถ่านด้วยเครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย และตากแห้งถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง หลังจากนั้นจึงทดสอบด้วยวิธีการต้มน้ำให้เดือด ผลการวิจัย 1) อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ เศษหน่อไม้ 300 กรัม, ผงถ่าน 2,500 กรัม, แป้งมันสำปะหลัง 500 กรัม และน้ำ 2,500 กรัม 2) อุณหภูมิสูงสุด 70 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่ทำให้ความร้อนสูงสุดที่เวลา 80 นาที รวมเวลาเผาไหม้ 135 นาที

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง, หน่อไม้, ค่าความร้อน

Abstract

The Bamboo shoots leftover from processing bamboo shoots, which is a waste problem for entrepreneurs in Lampang Province. Therefore entrepreneurs want to find a way to make use of the waste bamboo shoots. The objectives of this research were to 1) to examine the rate of charcoal briquette production from bamboo shoot waste 2) to examine the maximum temperature of charcoal briquette production from bamboo shoot waste. This study was an experimental research mixture of charcoal briquette production from waste bamboo shoots, charcoal powder, tapioca starch, and water. A conical screw compressor then uses the charcoal extrusion process. And dry the charcoal sticks from the remnants of bamboo shoots. After that, to test by boiling water to boil. The study results were as follows: 1) the optimum ratio was 300 grams of bamboo shoots, 2,500 grams of charcoal powder, 500 grams of tapioca starch, and 2,500 grams of water. 2) the maximum temperature is 70 C°, the maximum heating time is 80 minutes, including the burning time of 135 minutes.

Keywords: Charcoal, Heating value, Temperature

1. บทนำ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2563) ได้ประเมินศักยภาพชีวมวลจากเศษวัสดุทางการเกษตรในประเทศในปี พ.ศ. 2561 โดยแบ่งออกเป็นชีวมวลที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรและชีวมวลที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่เพาะปลูก ดังนี้ 1) ชีวมวลที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร อาทิเช่น กากอ้อย จากอุตสาหกรรมน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว ใบปาล์มและทะลายปาล์มเปล่าที่ได้จากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมัน ปาล์มดิบ เป็นต้น 2) ชีวมวลที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่เพาะปลูกจะเกิดจากชีวมวลส่วนที่เหลือภายหลังจากการเก็บเกี่ยวผลผลิตของเกษตรกร ได้แก่ เหม่งมันสำปะหลัง ฟางข้าว ยอดและใบอ้อย ตอและรากไม้ยางพารา เป็นต้น ชีวมวลเหล่านี้ไม่นิยมนำมาผลิตพลังงาน เนื่องจากมีต้นทุนสูงในการรวบรวมและขนส่งจากพื้นที่เพาะปลูกไปยังสถานที่ใช้งานที่อยู่ห่างไกล ชีวมวลเหล่านี้จึงมักถูกทิ้งไว้ในพื้นที่เพาะปลูกเพื่อให้ย่อยสลายกลายเป็นสารปรับปรุงดิน หรือถูกเผาทำลายในพื้นที่เพาะปลูก

บริษัทอิน-ออง ฟู้ด จำกัด มีผลิตภัณฑ์ ได้แก่ หน่อไม้อัดบีบ ชนิดบรรจุลงบีบ กระเทียมดอง ชนิดบรรจุลงขวดโหล พลาสติก ผักกาดดอง ชนิดบรรจุลงขวดโหลพลาสติก และหน่อไม้เส้น ชนิดบรรจุลงถุงพลาสติก โดยหลังจากกระบวนการแปรรูปหน่อไม้จะมีเศษหน่อไม้เหลือทิ้งที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์ได้ จำนวน 500 – 1,000 กิโลกรัมต่อวันทำให้ทางบริษัทฯ จึงต้องนำเศษหน่อไม้เหลือทิ้งไปกำจัดด้วยวิธีการเททิ้งในพื้นที่ของตนเอง จากประเด็นของเศษหน่อไม้เหลือทิ้งดังกล่าว คณะผู้วิจัยจึงให้ความสำคัญต่อการนำเศษหน่อไม้เหลือทิ้งซึ่งถือว่าเป็นชีวมวลแบบหนึ่งซึ่งสามารถใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านพลังงานเชื้อเพลิง โดยการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ 1) ศึกษาอัตราส่วนผสมการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง 2) ศึกษาอุณหภูมิสูงสุดการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การผลิตความร้อน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2563) อุตสาหกรรมเกษตรมีการใช้พลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกในรูปของพลังงาน ความร้อนอย่างแพร่หลายซึ่งช่วยลดต้นทุนค่าเชื้อเพลิงและเป็นการนำของเสียกลับมาใช้

ประโยชน์ได้อีกด้วยที่ผ่านมาในปี พ.ศ. 2561 ชีวมวลถูกนำมาใช้ผลิตความร้อนมากที่สุดถึงร้อยละ 90 ของการผลิตพลังงานความร้อนจากพลังงานทดแทนทั้งหมด ร้อยละ 50 ของชีวมวลมาจากชานอ้อยในอุตสาหกรรมน้ำตาล ส่วนที่เหลือเป็นพลังงานความร้อนจากก๊าซชีวภาพ ขยะ และพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 การใช้พลังงานความร้อนจากพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก ปี พ.ศ. 2559 – 2561

ประเภทเชื้อเพลิง	ความร้อน (พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ)		
	พ.ศ.2559	พ.ศ.2560	พ.ศ.2561
1.แสงอาทิตย์	6.7	9.3	10.1
2.ชีวมวล	6,507	6,616	7,152
- ฟืน	162	229	272
- แกลบ	193	366	429
- ชานอ้อย	3,248	3,824	4,270
- วัสดุเหลือใช้	2,904	2,197	2,181
ทาง			
การเกษตร*			
3.ก๊าซชีวภาพ	593	634	634
4.ขยะ	75	63	123
รวม	7,182	7,322	7,919

*วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ชานอ้อย แกลบ เศษไม้ ใบปาล์ม กะลาปาล์ม และซีลี้อย เป็นต้น

2.2 กระบวนการอัดแท่งเชื้อเพลิง ประกอบด้วย

1) การอัดแล้วทำให้เป็นถ่าน Carbonization สำหรับการทำให้เป็นถ่านจะต้องมีการอัดวัตถุดิบที่มีอยู่ให้ละเอียดก่อนแล้วจึงจะทำให้เป็นถ่านอัดแท่ง Carbonization ตามขั้นตอนโดยการที่ใช้เตาเผาตามรูปแบบธรรมดา ซึ่งมีข้อดีคือ เมื่อมีการอัดถ่านให้เป็นแท่งแล้วสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เลย โดยที่ไม่ต้องมีการทำให้เป็นถ่าน Carbonization ก่อนและยังสามารถใช้เผาได้ในเตาเผาถ่านแบบทั่วไปและธรรมดา ส่วนข้อเสียของการอัดแล้วทำให้เป็นถ่าน คือ ในกระบวนการผลิตเมื่อมีการให้พลังงานสูงส่วนใหญ่จะเกิดความดันสูงขึ้นในการอัดถ่าน โดยความดันที่สูงจะมีผลกระทบต่อเครื่องสูงมากถึงขั้นทำให้เสียหายได้ และก่อนเชื้อเพลิงที่ยังไม่ผ่านการจะต้องมีการดูแลในเรื่องของการแตกร้าวในระหว่างการตาก และดูแลในเรื่องความชื้น โดยต้องมี

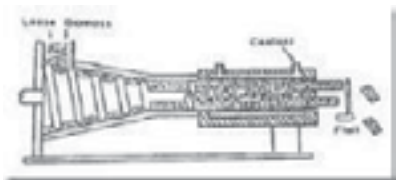
โรงเก็บที่เหมาะสมเพื่อป้องกันไม่ให้อ่างเกิดความชื้น เมื่ออ่างเกิดความชื้นจะทำให้ติดไฟได้ยาก

2) การทำให้เป็นถ่าน Carbonization แล้วจึงอัด วิธีนี้ จะมีการทำให้วัตถุดิบเป็นถ่าน Carbonization ก่อน และต้องมีการบดถ่านที่ได้เพื่อให้เป็นผงถ่านก่อนที่จะอัด โดยที่มีการเลือกตัวประสานที่เหมาะสมในการผลิต ซึ่งมีข้อดีคือ ใช้พลังงานในการอัดน้อยกว่าวิธีแรก และในการผลิตมักจะไม่เกิดของเสีย ส่วนข้อเสียคือ อาจจะมีขนาดเล็กไม่เหมาะในทางการค้า ต้องมีการมาอัดแห้งก่อน และสัดส่วนของถ่านต่อหน่วยวัตถุดิบจะผลิตได้ผลผลิตน้อยกว่าวิธีแรก

3) การตากแห้งผลผลิต การอัดแห้งเชื้อเพลิงจากวัสดุเกษตรนั้นหลังจากผสมตัวประสานและอัดออกมาเป็นแท่งแล้ว มักจะมีความชื้นแฝงอยู่ ดังนั้นก่อนที่จะนำไปใช้งานจะต้องทำให้แห้งก่อนโดยวิธีที่สะดวกและประหยัดคือ การตากแดดโดยตรง อาจตากบนพื้นซีเมนต์ หรือบนสังกะสีลูกฟูก ฯลฯ ทั้งนี้ว่าเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุดนอก และยังมีวิธีการตากหรือการทำแห้งหลายวิธี คือ อบในตู้อบอากาศร้อน อบด้วยความร้อนจากเตาผาขยะ อบด้วยความร้อนที่เหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและอบด้วยความร้อนจากเครื่องทำความร้อน เป็นต้น

2.3 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย (Conical screw press)

มีหลักการทำงานคือเกลียวรูปกรวยจะดันให้วัสดุเคลื่อนตัวไปข้างหน้า เมื่อพันเกลียวไปวัสดุถูกดันผ่านกระบอกอัดขนาด 25 มิลลิเมตร การไหลผ่านของวัสดุเข้าไปในกระบอกอัดเพิ่มขึ้นพร้อมกับแรงเสียดทานที่มากขึ้น กำลังในการผลิตของเครื่องอัดแห้งแบบนี้อยู่ในช่วง 500-1,000 กิโลกรัมต่อชั่วโมง อัตราากำลังของมอเตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนอัดอยู่ระหว่าง 35-75 กิโลวัตต์ วัสดุที่ใช้ทำการอัดควรมีลักษณะเป็นเม็ดละเอียดและมีความชื้นร้อยละ 8-10



รูปที่ 1 เครื่องอัดแบบเกลียวรูปกรวย

2.4 การหาประสิทธิภาพการให้ความร้อน สำหรับการใช้งานทางความร้อนของ (Heat Utilization Efficiency)

สามารถหาได้จากสมการ ปกรณ์ อุ๋นโรสง และรชต มณิโชติ (2562)

$$\eta_{Thermal} = \frac{\sum ms(t_2 - t_1) + t_3 - t_1}{Wq} \times 100 \quad (1)$$

เมื่อ $\eta_{Thermal}$ = ประสิทธิภาพการใช้งานทางความร้อนของเชื้อเพลิง (%)

W = น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)

q = ค่าความร้อนของแห้งเชื้อเพลิง (J/g)

W = น้ำหนักของเชื้อเพลิง (g)

m = น้ำหนักของน้ำในหม้อต้ม (g)

S = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ 4.81 J/g (°C)

t₁ = ค่าอุณหภูมิของน้ำเมื่อเริ่มแรก (°C)

t₂ = ค่าอุณหภูมิของน้ำเดือด (°C)

t₃ = ค่าอุณหภูมิของน้ำสุดท้ายของหม้อต้ม (°C)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุ อุปกรณ์ ในการศึกษาอัตราส่วนผสมการผลิต ถ่านอัดแห้งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง มีดังนี้

1) เครื่องชั่งแบบดิจิทัล

2) เทอร์มิเตอร์ดิจิทัลแบบจุ่ม

3) เศษหน่อไม้เหลือทิ้ง ที่นำมาจากโรงงานจะถูกนำมาลดขนาดลงให้มีขนาดเล็กลงก่อน จากนั้นจะนำเศษหน่อไม้เหลือทิ้งที่ลดขนาดแล้วไปตากให้แห้งเพื่อลดความชื้นลงใช้เวลาในการทำแห้ง จำนวน 48 ชั่วโมง



รูปที่ 2 เศษหน่อไม้เหลือทิ้งที่ตากแห้งแล้ว

4) เครื่องอัดถ่านแห้งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้งระบบสกรูเกลียวแบบรูปกรวย มีส่วนประกอบ ส่วนหลัก ดังนี้

1. ถังผสม

2. ชุดเกลียวอัดรูปกรวย

3. ชุดควบคุมเครื่อง
4. ชุดต้นกำลัง



รูปที่ 3 เครื่องอัดถ่านแท่งเชื้อเพลิงจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง

3.2 วิธีการดำเนินงาน ในการศึกษาอัตราส่วนผสมการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง มีดังนี้

1) การผสมวัตถุดิบสำหรับอัดถ่าน โดยการนำวัตถุดิบทั้งหมดผสมในถังผสมจากนั้นทำการเดินเครื่องเพื่อให้ใบกวนทำการผสมวัตถุดิบให้เข้ากัน ซึ่งอัตราส่วนเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในการอัดถ่าน สำหรับการอัดถ่านในครั้งนี้ได้ศึกษาอัตราส่วน ดังที่ปรากฏในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราส่วนการผสมวัตถุดิบ

ลำดับที่	วัตถุดิบ	อัตราส่วน (กรัม)
1	เศษหน่อไม้เหลือทิ้งที่ตากแห้ง : ผงถ่านไม้ : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ	1,000 : 1,000 : 500 : 2,000
2	เศษหน่อไม้เหลือทิ้งที่ตากแห้ง : ผงถ่านไม้ : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ	500 : 2,000 : 500 : 2,500
3	เศษหน่อไม้เหลือทิ้งที่ตากแห้ง : ผงถ่านไม้ : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ	300 : 2,500 : 500 : 2,500



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 การชั่งน้ำหนักส่วนผสม (ก) เศษหน่อไม้เหลือทิ้งที่ย่อยและตากแห้งแล้ว (ข) ผงถ่าน

(ค)

(ง)

รูปที่ 5 การชั่งน้ำหนักส่วนผสม (ค) แป้งมันสำปะหลัง (ง) น้ำ

2) การอัดถ่านและลดความชื้น การอัดถ่านแท่งจะใช้เกลียวอัดรูปทรงแปดเหลี่ยม ซึ่งเป็นการขึ้นรูปอัดแบบเย็นซึ่งถ่านที่ได้จะเป็นลักษณะแท่งทรงกระบอกยาวเฉลี่ย 20 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 7.5 เซนติเมตร และจะมีรูตรงกลางเส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย 2.3 เซนติเมตร โดยหลังจากนี้จะนำถ่านที่ได้ไปตากแห้งเพื่อไล่ความชื้น จำนวน 48 ชั่วโมง



รูปที่ 6 อัตราส่วนส่วนที่ 1 (กรัม) 1,000 : 1,000 : 500 : 2,000



รูปที่ 7 อัตราส่วนส่วนที่ 2 (กรัม) 500 : 2,000 : 500 : 2,500



รูปที่ 8 อัตราส่วนส่วนที่ 3 (กรัม) 300 : 2,000 : 500 : 2,500

3) ศึกษาอุณหภูมิสูงสุดการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง สำหรับการใช้งานทางความร้อนของ (Heat Utilization Efficiency) ของถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้ โดยการวัดอุณหภูมิจากทั้ง 3 อัตราส่วน อย่างละ 500 กรัม เพื่อต้มน้ำ จำนวน 2,000 กรัม ทำการวัดอุณหภูมิด้วย Thermometer ดิจิตอลแบบจุ่ม โดยจะบันทึกเวลาและอุณหภูมิทุกๆ 5 นาที ตั้งแต่ถ่านเริ่มติดไฟไปถึงถ่านไหม้จนหมดดับ



รูปที่ 9 การทดสอบต้มน้ำ

4. ผลการวิจัย

1) อัตราส่วนผสมถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง พบว่า อัตราส่วนผสมที่ 3 เศษหน่อไม้ : ผงถ่าน : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ (300 กรัม : 2,500 กรัม : 500 กรัม : 2,500 กรัม) เหมาะสมที่สุด เนื่องจาก มีความหนาแน่นที่ดี การคงรูปหลังแห้งดี รองลงมาอัตราส่วนผสมที่ 2 เศษหน่อไม้ : ผงถ่าน : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ (500 กรัม : 2,000 กรัม : 500 กรัม : 2,500 กรัม) เนื่องจาก มีความหนาแน่นปานกลาง การคงรูปหลังแห้งดี และ อัตราส่วนผสมที่ 1 เศษหน่อไม้ : ผงถ่าน : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ (1,000 กรัม : 1,000 กรัม : 500 กรัม : 2,000 กรัม) มีความหนาแน่นต่ำ การคงรูปหลังแห้งปานกลาง

2) อุณหภูมิสูงสุดการผลิตถ่านอัดแท่งจากเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง พบว่า อัตราส่วนผสมที่ 3 ใช้เวลาการเผาไหม้เริ่มต้นที่ 0 นาที โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส ณ เวลาที่ 80 นาที จากนั้นอุณหภูมิลดลงจนเหลือแต่ขี้เถ้าใช้เวลา 135 นาที ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาอัตราส่วนผสมที่ 2 ใช้เวลาการเผาไหม้เริ่มต้นที่ 0 นาที โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 72.8 องศาเซลเซียส ณ เวลาที่ 40 นาที จากนั้นอุณหภูมิลดลงจนเหลือแต่ขี้เถ้าใช้เวลา 95 นาที ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมปานกลางและอัตราส่วนผสมที่ 1 ใช้เวลาการเผาไหม้เริ่มต้นที่ 0 นาที โดยอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 70.7 องศาเซลเซียส ณ เวลาที่ 40 นาที จากนั้น

อุณหภูมิลดลงจนเหลือแต่ขี้เถ้าใช้เวลา 85 นาที ซึ่งสัมพันธ์กับอัตราส่วนผสมที่ต่ำเกินไป

ตารางที่ 3 การทดสอบด้วยการต้มน้ำ

เวลา (นาที)	ส่วนผสมในการทดลอง		
	อัตราส่วนที่ 1	อัตราส่วนที่ 2	อัตราส่วนที่ 3
	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)	อุณหภูมิ (องศา เซลเซียส)
0	23	28.2	32.5
5	35.5	38.1	36.5
10	42.5	44.1	41.3
15	50.2	50.5	44.6
20	58.9	58.9	47.9
25	65.7	65.5	52.5
30	69.7	68.2	57
35	70.5	71.8	59
40	70.7	72.8	59.3
45	67.7	70.7	62.8
50	66.9	71.3	65.3
55	65.3	70.1	66.7
60	64.1	69.2	67.2
65	62.1	66.3	66.9
70	60.1	64.1	67.1
75	58.5	60.5	69.3
80	56.1	59.2	70
85	52.6	58.6	66.7
90	-	58.1	67.6
95	-	57.4	66.9
100	-	-	65.7
105	-	-	64.3
110	-	-	63.9
115	-	-	62.9
120	-	-	62.3

125	-	-	60.7
130	-	-	58.7
135	-	-	57.3



รูปที่ 10 กราฟประสิทธิภาพการใช้น้ำมัน

จากรูปที่ 10 .ประสิทธิภาพการใช้น้ำมัน อัตราส่วนผสมที่ 3 ให้อุณหภูมิสูงสุด 70 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่ทำให้ความร้อนสูงสุดที่เวลา 80 นาที รวมเวลาเผาไหม้ 135 นาที จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนผสมที่ 3 สามารถเผาไหม้ได้ยาวนานกว่าอัตราส่วนผสมที่ 1 เป็นเวลา 50 นาที คิดเป็น 37.03 เปอร์เซ็นต์ และสามารถเผาไหม้ได้ยาวนานกว่าอัตราส่วนผสมที่ 2 เป็นเวลา 40 นาที คิดเป็น 29.26 เปอร์เซ็นต์

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

เศษห่อไม้เหลือทิ้งทั้ง 3 อัตราส่วน ที่นำมาศึกษาจัดอยู่ในกลุ่มของชีวมวลที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร โดยนำมาผสมร่วมกับวัสดุตัวประสาน ผงถ่าน แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการนำชีวมวลมาใช้ประโยชน์ร่วมกับวัสดุตัวประสานต่างๆ ดังที่ปรกรณ์ อุ๋นโรสง และรชต มณีโชติ (2562) โดยการนำฝักราชพฤกษ์แก่มาศึกษาส่วนประกอบถ่านฝักราชพฤกษ์ แป้งมันสำปะหลัง และน้ำ รวม 3 อัตราส่วนได้แก่ อัตราส่วน 1 : 1 : 0.75, 2 : 1 : 0.50 และ 3 : 1 : 0.25 โดยน้ำหนัก ธนรินทร์ ยอดคำเนิน และเสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์ (2563) ใช้อัตราส่วนผสมจากใบอ้อยและชานอ้อย น้ำและแป้งมันสำปะหลัง ศตพล มุ่งค้ำกลาง (2559) อัตราส่วนของถ่านกะลามะพร้าวต่อฟางข้าวหรือชานอ้อยที่อัตราส่วน 9:1 8:2 7:3 6:4 และ 5:5 โดยปริมาตร โรสลีนา อนันตบุญกลางค์ และคณะ (2562) การผลิตถ่านอัดแท่งจาก

วัสดุเหลือใช้กะลามะพร้าว (พันธุ์ต้นสูง) ใบไม้แห้ง (ใบต้นละมุด) ชี้เลื่อย (ต้นทุเรียน) ผลิตเป็นถ่านอัดแท่งโดยมีน้ำหนักรวม 100 % และอนุวัตร ศรีนวล และอัมพัลย์ ชัยนาวา (2561) สัดส่วนผสมระหว่างถ่านหินลิกไนต์และไบสนประติพิทธ์ สัดส่วน 70:30 และตัวประสานความเข้มข้น 1% มีคุณสมบัติตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน จึงสรุปได้ว่าเศษห่อไม้เหลือทิ้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในด้านของการนำมาเป็นส่วนผสมสำหรับการทำเชื้อเพลิงชีวมวลได้

นอกจากนี้อัตราส่วนผสมที่ 3 เศษห่อไม้ : ผงถ่าน : แป้งมันสำปะหลัง : น้ำ (300 กรัม : 2,500 กรัม : 500 กรัม : 2,500 กรัม) ให้อุณหภูมิสูงสุด 70 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาที่ทำให้ความร้อนสูงสุดที่เวลา 80 นาที รวมเวลาเผาไหม้ 135 นาที ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยที่มีการหาค่าความร้อนของเชื้อเพลิงชีวมวล อุ๋นโรสง และรชต มณีโชติ(2562) ถ่านอัดแท่งจากฝักราชพฤกษ์ ให้ค่าความร้อน 22.58 MJ/kg (5,394 kcal/kg) และประสิทธิภาพการใช้น้ำมันอุณหภูมิสูงสุดที่ 87.6°C แล้วปล่อยให้อุณหภูมิลดลงเหลือ 50°C รวมเวลาเผาไหม้ 451 นาที ประสิทธิภาพทางความร้อน 52.81% ธนรินทร์ ยอดคำเนิน และเสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์ (2563) ศึกษาการพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อย ให้ค่าความร้อนเท่ากับ 4,591.80 cal/g และมีค่าประสิทธิภาพการใช้น้ำมันทางความร้อนของถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและชานอ้อยสูงสุดประมาณ 46.5% ศตพล มุ่งค้ำกลาง (2559) ถ่านกะลามะพร้าวผสมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร จากการทดลองพบว่า แท่งเชื้อเพลิงจากถ่านกะลามะพร้าวผสมฟางข้าว มีค่าความร้อน 6,186.066,014.315,880.265,770.74 และ 5,667.04 Kcal/Kg โรสลีนา อนันตบุญกลางค์ และคณะ (2562) ถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้กะลามะพร้าว (พันธุ์ต้นสูง) ใบไม้แห้ง (ใบต้นละมุด) ชี้เลื่อย (ต้นทุเรียน) พบว่าค่าความร้อนจากกะลามะพร้าว (พันธุ์ต้นสูง), ใบไม้แห้ง (ใบต้นละมุด), ชี้เลื่อย(ต้นทุเรียน) มีค่าเท่ากับ 4910.82 cal/g 3,195.757 cal/g และ 5,067.55cal/g และอนุวัตร ศรีนวล และ อัมพัลย์ ชัยนาวา (2561) ศึกษาความสัมพันธ์ของสัดส่วนผสมระหว่างถ่านหินลิกไนต์และไบสนประติพิทธ์ ให้ค่าความร้อน 5,322.25 แคลอรีต่อกรัม ข้อเสนอแนะที่จะนำผลการวิจัยนั้นไปใช้ประโยชน์ คือ การเลือกใช้ผงถ่านที่มีค่าความร้อนที่เหมาะสม เพราะจะให้ส่งผลถึงค่าความร้อนที่จะสูงตามไป

ด้วย นอกจากความละเอียดของการเตรียมเศษหน่อไม้เหลือทิ้ง ให้มีขนาดที่ละเอียดก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้การอัดมีความหนาแน่นมากขึ้นทำให้เชื้อเพลิงเผาไหม้ได้นานขึ้น

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทอิน-ออง ฟู้ด จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการร่วมทำงานและสนับสนุนในด้านต่างๆ จะให้การดำเนินงานบรรลุวัตถุประสงค์ และขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ให้การสนับสนุนในด้านต่างๆ

7. เอกสารอ้างอิง

แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ.2561-2580. (2563). กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

ปกรณ์ อุ่นไสง และรชต มณีโชติ. (2562). การสร้างเครื่องและหาประสิทธิภาพถ่านอัดแท่งจากฝักราชพฤกษ์. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี*, 7(2), 147-157.

ธนรินทร์ ยอดดำเนิน และเสาวลักษณ์ ยอดวิญญวงค์. (2563). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ถ่านอัดแท่งจากใบอ้อยและขานอ้อยสู่วิสาหกิจชุมชน. *วารสารวิชาการเทคโนโลยีพลังงานและสิ่งแวดล้อม*, 7(2), 12-24.

ศตพล มุ่งค้ำกลาง. (2559). การหาประสิทธิภาพแท่งเชื้อเพลิงจากถ่านกะลามะพร้าวและวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรในการประกอบอาหาร. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : เทปสตรี I-TECH*, 11(1), 59-67.

โรสลีนา อนันตบุญกุลวงศ์, รอดิยะห์ เจ๊ะแม และนุรมายามีน สาเร๊ะนู. (2562). การผลิตถ่านอัดแท่งจากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มรย*, 4(1), 47-53.

อนุวัตร ศรีนวล และ อัมพัลย์ ชัยนาวา. (2561). การศึกษาเชื้อเพลิงอัดแท่งจากใบสนประดิพัทธ์ผสมถ่านหินลิกไนต์. *วารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 8(3), 128-151

นวัตกรรมการสร้างมูลค่าเพิ่มจากเศษวัสดุเหลือใช้ของกระบวนการผลิต

อุตสาหกรรมผ้า กรณีศึกษากลุ่มผ้าทอไต้ลื้อบ้านลวงเหนือ

ตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

Value-added Innovation of Waste Materials from Manufacturing Process of Fabric Industry Case Study of Tai Lue Loungnue, Choeng Doi, Doi Saket, Chiang Mai

ภาคภูมิ จารุภูมิ^{1,2*}, ภัทรกร ออแก้ว³ และ ศศิพัชร์ สันกลกิจ⁴

Parkpoom Jarupoom^{1*}, Sasipat Sunkolkit² and Pattarakorn Orkaew³

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 128 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

² ศูนย์วิจัยวัสดุและกระบวนการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 128 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

³ คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 95 หมู่ 2 ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

⁴ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, 128 ถ.ห้วยแก้ว อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL), Chiang Mai, Thailand

²Materials and Manufacturing Research Center, ¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL)

³Faculty of Fine Arts and Architecture, Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL), Chiang Mai, Thailand, 50300

⁴Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna (RMUTL),

Chiang Mai, Thailand, 50300

*noteparkpoom@gmail.com, 089-9973245 หรือ 053-921444 ต่อ 2340

บทคัดย่อ

ในกระบวนการทอผ้าฝ้ายด้วยภูมิปัญญาพื้นบ้าน ซึ่งเป็นการนำเมล็ดฝ้ายมาผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยเครื่องมือพื้นบ้านโบราณ ซึ่งในกระบวนการเหล่านี้จะมีเศษวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการ คิดเป็นปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อีกทั้งในกระบวนการถักทอผ้าฝ้าย รวมถึงการตัดเย็บเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้วนั้น ยังคงเหลือเศษวัสดุเหลือใช้ของกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายภายในชุมชน ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานต่อเนื่องในกระบวนการผลิตเครื่องนุ่งห่มได้ แต่หากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมภูมิปัญญาทางด้านอาหาร และ ศิลปะพื้นถิ่นของชุมชนไต้ลื้อ บ้านเมืองลวงเหนือ ได้อีกต่อหนึ่ง จากปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย และเครื่องนุ่งห่มของชุมชนไต้ลื้อ บ้านเมืองลวงเหนือ ตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะพัฒนานวัตกรรมกระบวนการผลิตกระดาษ และภาชนะที่ใช้เศษวัสดุเหลือใช้ของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมผ้าไต้ลื้อบ้านลวงเหนือ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นกระดาษ และภาชนะต่างๆ จากเศษวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย อย่างมีประสิทธิภาพ (Zero waste) ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ที่สามารถผลิตได้เองในชุมชน รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของเส้นใยฝ้าย จากเศษวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย และลดต้นทุนการผลิตเส้นด้ายฝ้าย อีกทั้งยังสนับสนุนนโยบายการส่งเสริม และสืบสานวัฒนธรรมไต้ลื้อให้คงคู่อยู่กับชุมชนไปตลอด รวมถึงถ่ายทอด และเผยแพร่วัฒนธรรมไต้ลื้อให้เป็นที่ประจักษ์แก่บุคคลทั่วไป

คำสำคัญ: อุตสาหกรรมผ้า, ผ้าทอไต้ลื้อ, เศษวัสดุเหลือ, สร้างมูลค่าเพิ่ม

Abstract

In weaving cotton with folk wisdom, which is the cotton seed is processed with ancient folk tools, these processes will have 20% of the waste material in the process by weight. Including sewing for garments, there is still residue from the cotton production process within the community, which cannot be used continuously in the cotton fabric production process. The country can be more deceptive in the north by the local food and art of the Tai Lue community. From the problem of waste materials in the production of cotton fabrics and garments of the Tai Lue community, Ban Luang Nuea, Choeng Doi, Doi Saket, Chiang Mai. This research is interested in developing innovative paper and container manufacturing processes using waste materials of the Thai Lue fabric manufacturing process, Ban Lueng, in developing products for paper and containers from waste materials in the production process. Cotton This is a raw material that can be produced by yourself in the community and increase the value of cotton fibers from waste materials in the cotton production process and reduce production costs of cotton yarn. It is promoting and continuing Tai Lue culture to remain compatible with the community forever.

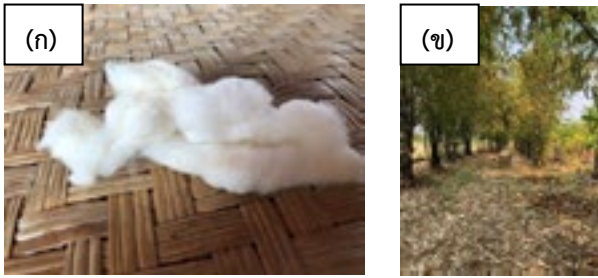
Keywords: Fabric Industry, Tai Lue textiles, Waste Materials, Value-added.

1. บทนำ

ในอดีตชาวไตลื้อที่ย้ายถิ่นจากบริเวณสิบสองปันนาเข้ามาอาศัยยังพื้นที่ล้านนาในราวพุทธศตวรรษที่ 18 ชุมชนไตลื้อได้กระจายอาศัยไปทั่วล้านนาไม่ว่าจะเป็นพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง แพร่ น่าน เชียงรายและพะเยาโดยเฉพาะที่จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นพื้นที่บริเวณบ้านเมืองลวงเหนือบ้านลวงใต้ บ้านป่าคาตำบลเชิงดอย และที่บ้านโป่งกุ่ม ตำบลป่าเมี่ยงอำเภอดอยสะเก็ดซึ่งนับได้ว่าเป็นพื้นที่ที่มีชาวไตลื้ออาศัยอยู่เป็นจำนวนมาก ในปัจจุบันเทศบาลตำบลดอยสะเก็ดได้สนับสนุนให้มีการจัดตั้งพิพิธภัณฑ์บ้านไตลื้อ ตั้งอยู่ที่หมู่ 8 บ้านลวงใต้ ตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด เพื่อใช้แสดงวิถีชีวิตและผลิตภัณฑ์สินค้าชุมชนของชาวไตลื้อในอำเภอดอยสะเก็ด และยังมีการดำเนินการในหลายๆ ด้านเพื่อเป็นการสนับสนุนส่งเสริมให้ประชาชนที่สืบเชื้อสายไตลื้อในอำเภอดอยสะเก็ดและพื้นที่ใกล้เคียง ได้มีส่วนร่วมในการรักษาวัฒนธรรมที่สืบสานต่อกันมา โดยมีให้เห็นทั้งในลักษณะสิ่งของที่เป็นรูปธรรม เช่น เครื่องมือเครื่องใช้ สิ่งก่อสร้าง อาคารบ้านเรือน สถาปัตยกรรม จิตรกรรมดนตรีศิลปะแขนงต่าง ๆ และภูมิปัญญาที่อยู่ในลักษณะของขนบธรรมเนียมประเพณีพิธีกรรม ความเชื่อและกิจกรรมอื่น ๆ โดยเฉพาะภูมิปัญญา4ด้าน อันโดดเด่นประกอบด้วยด้านอาหาร, ด้านการแต่งกาย, ด้านประเพณีและด้านศิลปะพื้นถิ่นที่มีความ

โดดเด่น อาทิ เช่น หัตถกรรมการทอผ้า การอัดฝ้าย ปั่นฝ้าย ผ้าทอ ของภูมิปัญญาไตลื้อบ้านลวงเหนือ ซึ่งมีลักษณะเฉพาะของผ้าทอ ใช้เส้นด้ายยืนพื้นสีดำ และตามด้ายฝ้ายสีแดง ชมสีขาว เขียวเหลืองบ้างเล็กน้อย ซึ่งแสดงถึงเอกลักษณ์ของหัตถกรรมการทอผ้า ซึ่งเป็นกิจกรรมทางวัฒนธรรมของชุมชนไตลื้อ บ้านเมืองลวงเหนือ

ในกระบวนการทอผ้าฝ้ายด้วยภูมิปัญญาพื้นบ้าน ซึ่งเป็นการนำเมล็ดฝ้ายมาผ่านกระบวนการแปรรูปด้วยเครื่องมือพื้นบ้านโบราณ อันได้แก่กระบวนการอัดฝ้าย การตีดฝ้าย การกักฝ้าย และการปั่นฝ้าย เพื่อปั่นออกมาเป็นเส้นฝ้าย ซึ่งต่อมาเป็นกระบวนการของการทอผ้าด้วยกี่ จนออกมาเป็นผ้าฝ้าย ซึ่งในกระบวนการเหล่านี้จะมีเศษวัสดุเหลือทิ้งในกระบวนการ อันได้แก่เมล็ดฝ้ายที่ผ่านกระบวนการอัดฝ้าย รวมถึงเส้นใยฝ้ายประเภทเส้นใยสั้น ที่ไม่สามารถต่อเป็นเส้นใยยาว คิดเป็นปริมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก อีกทั้งในกระบวนการถักทอผ้าฝ้าย รวมถึงการตัดเย็บเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้วนั้น ยังคงเหลือเศษวัสดุเหลือใช้ของกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายภายในชุมชน ซึ่งไม่สามารถนำไปใช้งานต่อเนื่องในกระบวนการผลิตเครื่องนุ่งห่มได้ แต่หากสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในกิจกรรมภูมิปัญญาทางด้านอาหาร และ ศิลปะพื้นถิ่นของชุมชนไตลื้อ บ้านเมืองลวงเหนือ ได้อีกต่อหนึ่ง



รูปที่ 1 (ก) วัตถุดิบเส้นใยฝ้ายในพื้นที่บ้านลวงเหนือ และ
(ข) พื้นที่ปลูกฝ้าย และไร่ ในพื้นที่บ้านลวงเหนือ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานที่จำเป็นของเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย ทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพและทางเคมี ซึ่งจะเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อยอดผลิตภัณฑ์เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในโครงการวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์กระดาษ และกระดาษจากเส้นใยฝ้าย โดยทำการวิจัยและพัฒนากระบวนการในการขึ้นรูปกระดาษจากเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย โดยใช้กระบวนการช้อนและกดอัดเส้นใยฝ้าย โดยพัฒนากระบวนการขึ้นรูป อัตราส่วนผสมของเส้นใยฝ้ายที่เหลือจากกระบวนการผลิตเส้นด้าย กับเส้นใยเส้นจากธรรมชาติชนิดต่างๆ รวมถึงสารยึดเหนี่ยวกลุ่มต่างๆ เพื่อเพิ่มคุณสมบัติความยืดหยุ่น และความแข็งแรงให้แก่กระดาษ และกระดาษพิเศษ ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการขึ้นรูปกระดาษ และกระดาษพิเศษ เช่น ความร้อน ความดัน ความหนา ปริมาณเยื่อ ฯลฯ เพื่อวิเคราะห์เชื่อมโยงถึงปัจจัยต้นต่างๆ ที่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และทางกลของกระดาษ และผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ รวมถึง ออกแบบผลิตภัณฑ์กระดาษ พร้อมทั้งทดสอบคุณสมบัติที่สำคัญของกระดาษ และกระดาษ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในกระบวนการศึกษาขั้นตอนการขึ้นรูปกระดาษและกระดาษจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางจากเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย โดยใช้กระบวนการช้อนและกดอัดเส้นใยฝ้าย โดยพัฒนากระบวนการขึ้นรูป อัตราส่วนผสมของเส้นใยฝ้ายที่เหลือจากกระบวนการผลิตเส้นด้าย กับเส้นใยเส้นจากธรรมชาติชนิดต่างๆ รวมถึงสารยึดเหนี่ยวกลุ่มต่างๆ เพื่อเพิ่ม

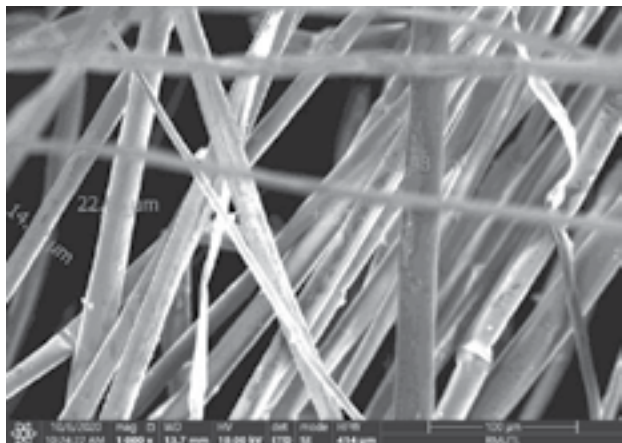
คุณสมบัติความยืดหยุ่น และความแข็งแรงให้แก่กระดาษ พบว่าการกระดาษและกระดาษที่ได้มีลักษณะบางและมีน้ำหนักที่ค่อนข้างเบา สามารถตัด และพับได้ แต่ยังคงเปียกอยู่ได้ง่ายเพื่อสัมผัสกับน้ำและความชื้น เนื่องจากยังขาดคุณสมบัติในการกันน้ำและการสะท้อนบนผิวกระดาษและกระดาษ ในงานนี้จะเป็นการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปผลิตภัณฑ์กระดาษและกระดาษจากเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย โดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยผ่านกระบวนการต่างๆ จนเป็นเยื่อกระดาษที่มีความละเอียด เพื่อให้กระดาษมีคุณสมบัติที่เหมาะสมจึงเติมสารเพิ่มความเหนียวในอัตราส่วนต่างๆ แล้วนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดที่ต่อการนำไปประยุกต์ในการใช้งาน ซึ่งทางผู้วิจัยสามารถสรุปออกมาเป็นหัวข้อในประเด็นสำคัญที่จะได้ทำการศึกษา

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดสอบคุณสมบัติของเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย

จากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) ของผ้าฝ้ายดิบซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตผ้าฝ้ายทอที่มีกำลังขยาย 1000 เท่าพบว่าเส้นใยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 10 - 50 ไมโครเมตร ลักษณะเป็นข้อปล้องแต่ละปล้องมีระยะห่างประมาณ 100-150 ไมโครเมตร พื้นผิวมีลักษณะขรุขระ ไม่เรียบความยาวเฉลี่ยของเส้นใยแต่ละเส้นประมาณ 30-50 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2

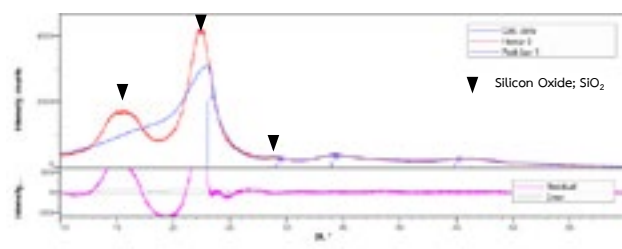
จากการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (x-ray diffractometer; XRD) ของเส้นใยวัสดุเหลือทิ้งทางจากเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ตรงกับฐานข้อมูล (JCPDS) รหัสเลขที่ 001-0438 ซึ่งเป็นซิลิกอนออกไซด์ (Silicon Oxide; SiO₂) ในระบบธาตุ Cristobalite มีปริมาณ Si อยู่ที่ 60 % ของสารประกอบทั้งหมดของเส้นใยฝ้าย ดังแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 2 โครงสร้างทางจุลภาคของเส้นใยฝ้าย ที่กำลังขยาย 1000 เท่า ด้วยเทคนิค SEM

ตารางที่ 1 ปริมาณของธาตุในเส้นใยฝ้าย

Element	Line Type	Weight %	Atomic %
Si	K series	60.30	67.19
O	K series	38.88	32.52
C	K series	0.68	0.23
Cl	K series	0.15	0.06
Total		100.00	100.00



รูปที่ 3 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของเส้นใยฝ้าย ด้วยเทคนิค XRD

4.2 การออกแบบต้นแบบผลิตภัณฑ์ภาชนะ

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการคัดเลือกประเภทของผลิตภัณฑ์กระดาษเหมาะสมกับคุณสมบัติของเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย และทดลองส่วนผสมของเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายเพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมกับวัสดุอื่นในการขึ้นรูปกระดาษ และภาชนะ โดยได้รับการถ่ายทอดความต้องการจากตัวแทนของวิสาหกิจฯ ในรูปแบบ “งานกันลิก” ที่สามารถใส่ทั้งของแห้ง และยังรองรับ

อาหาร หรือของเปียกได้ในระดับหนึ่ง แต่เนื่องจากการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์งาน แบบทั่วไปไม่สามารถรองรับการขึ้นรูปงานกันลิก ด้วยวิธีการกดขึ้นรูปจากแผ่นกระดาษปกติ ทางผู้วิจัยจึงจำเป็นต้องทำการออกแบบเทคนิคการขึ้นรูปแบบใหม่ที่อาศัยการขึ้นรูปโดยมีการรีดน้ำเยื่อ ร่วมกับโมลร่อนในการขึ้นรูปเพียงครั้งเดียว โดยได้ทำการออกแบบดังรูปที่ 4



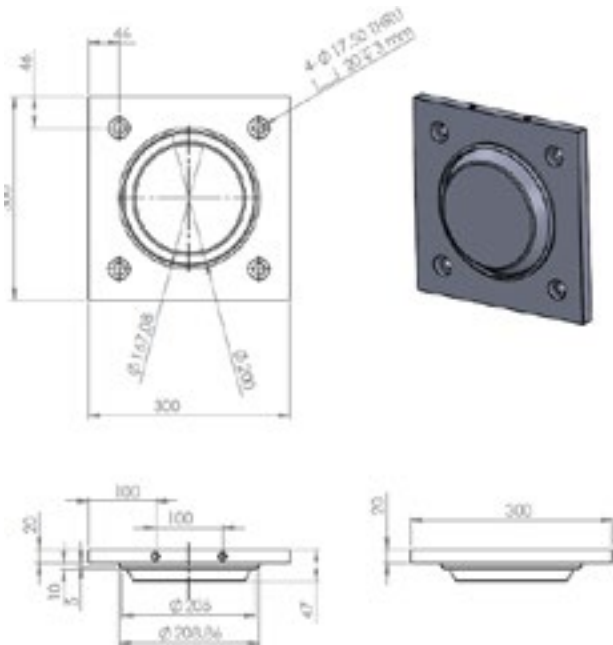
รูปที่ 4 การออกแบบต้นแบบผลิตภัณฑ์ภาชนะ

4.3 จัดทำต้นแบบผลิตภัณฑ์ ทดสอบต้นแบบกระดาษและภาชนะ

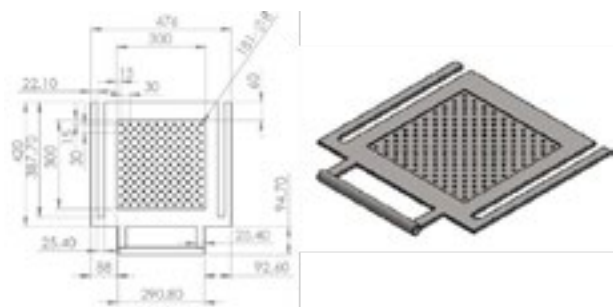
การดำเนินการจัดสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์และต้นแบบภาชนะ ได้ดำเนินการจัดสร้างแบบพิมพ์จำนวน 2 รูปแบบดังนี้ (แสดงในรูปที่ 5 และ 6)

1. พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปกระดาษ โดยการอัดรีดน้ำ และอัดร่อนในตัว
2. พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปกระดาษรูปร่างงาน โดยการอัดรีดน้ำเยื่อ

ภายหลังจากการทดลองขึ้นรูปต้นแบบภาชนะที่ได้ ออกแบบไว้เสร็จสิ้น ได้ลงพื้นที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มท่องเที่ยวโดยชุมชนไต้ลือเมืองหลวงเหนือ หมู่ที่ 4 ตำบลหลวงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อปรึกษาหารือถึงผลสำเร็จของการดำเนินการขึ้นรูปต้นแบบ และแนวทางการขยายผล การถ่ายทอดองค์ความรู้ และการใช้ประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ต่อไป



รูปที่ 5 พิมพ์สำหรับขึ้นรูปกระดาษรูปร่างงาน
โดยการอัดรีดน้ำเยื่อ



รูปที่ 6 พิมพ์สำหรับการขึ้นรูปกระดาษ
โดยการอัดรีดน้ำ และอัดร้อนในตัว



รูปที่ 7 ลงพื้นที่วิสาทกิจชุมชนกลุ่มท่องเที่ยวโดยชุมชนไต้ลื้อ
เมืองลวงเหนือ เพื่อปรึกษาหารือถึงผลสำเร็จของการดำเนินการ
ขึ้นรูปต้นแบบ

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากปัญหาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรภายในชุมชนไต้ลื้อบ้านลวงเหนือ ตำบลลวงเหนือ อำเภอตอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ในงานวิจัยนี้จึงมีความสนใจที่จะพัฒนาสูตรและอัตราส่วนผสม และภาชนะ รวมถึงศึกษาเงื่อนไขและปัจจัยเพื่อสร้างสูตร และส่วนผสมที่เหมาะสมในการขึ้นรูป และผลิตกระดาษ และภาชนะจากเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย เพื่อส่งเสริมภูมิปัญญาและวัฒนธรรมของคนในชุมชนทางด้านวัฒนธรรมการกิน จากงานค้นคว้าจากเศษวัสดุธรรมชาติทางการเกษตร โดยมีคุณสมบัติและมาตรฐานตามข้อกำหนด มอก.170-2559 ทั้งคุณสมบัติทางการภาพ และทางกลอย่างเหมาะสม สามารถเป็นแนวทางในการต่อยอด หรือสร้างรายได้จากการผลิตผลิตภัณฑ์ภาชนะสีเขียว เพื่อสร้างนวัตกรรมกระบวนการผลิตกระดาษ ที่ใช้เศษวัสดุเหลือใช้ของกระบวนการผลิตอุตสาหกรรมผ้าไต้ลื้อบ้านลวงเหนือ และเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้ายเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มจากเศษวัสดุเหลือใช้ และนำมาประยุกต์ใช้ในกิจกรรมภูมิปัญญาทางด้านอาหาร และ ศิลปะพื้นถิ่นของชุมชนไต้ลื้อ การพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อเป็นกระดาษ และภาชนะต่างๆ จากเศษวัสดุเหลือใช้ในกระบวนการผลิตผ้า อย่างมีประสิทธิภาพ (Zero waste) ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่สามารถผลิตได้เองในชุมชน และยัง สามารถแข่งขันกับมรดกทางวัฒนธรรมต่างๆ รวมทั้งเป็นการเพิ่มมูลค่าของเส้นใย จากเศษวัสดุเหลือใช้ในชุมชน และจากกระบวนการผลิตผ้าฝ้าย อีกทั้งยังสนับสนุนนโยบายการส่งเสริมและสืบสานวัฒนธรรมไต้ลื้อให้คงคู่อยู่กับชุมชนไปตลอด รวมถึงถ่ายทอด และเผยแพร่วัฒนธรรมไต้ลื้อให้เป็นที่ประจักษ์แก่บุคคลทั่วไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินโครงการวิจัยในครั้งนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ หน่วยบริหารและจัดการทุนด้านการพัฒนาระดับพื้นที่ (บพท) ที่ให้ทุนสนับสนุนวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ศูนย์วิจัยวัสดุและกระบวนการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เอื้อเพื่อสถานที่ในการวิจัย และกลุ่มผ้าทอไต้ลื้อบ้านลวงเหนือ ตำบลเชิงดอย อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ พื้นที่วิจัยที่ให้การสนับสนุนข้อมูล วัสดุดิบ และความร่วมมือในการดำเนินโครงการ

7. เอกสารอ้างอิง

- กัญญ์สิริ จุฑามณี และวีรยุทธ ศรีสุข. (2548). **การผลิตกระดาษจากเส้นใยตาลโตนด**. สงขลา: โครงการงานนักศึกษา, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กาญจนา ลือพงษ์. (2560). **การเตรียมกระดาษคราฟท์จากผักตบชวา ใบสับปรด และกากกล้วย**. กรุงเทพฯ: วารสารวิชาการ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล พระนคร.
- กฤษณ์อนงค์ ว่องวิโรรัตน์ กุลสตรี ศิริวรรณ และสุนันท์ สิทธิสม. (2554). **ภาชนะชีวภาพจากวัสดุทางธรรมชาติ**. พิษณุโลก: โรงเรียนจุฬารามราชวิทยาลัย
- ชาญชัย รังสี. (2544). **บรรจุภัณฑ์เยื่อกระดาษขึ้นรูปสำหรับบรรจุไข่นกกระทา**. สงขลา: วิทยานิพนธ์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ดรรชนี พัทธวราร. (2551). **กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ**. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

การศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้า A Study of Influential Factors for Decision Making About Freight Transportation

สิทธิภูมิ ตาคำรุ่ง^{1*}, ปิยธิดา สมใจ^{1*}, หลุยส์รัตน์ จันทะคาด¹, สมควร สงวนแพ่ง¹ กำพล จินตอรชัย¹
และศุภกานต์ รักสกุล²

Sittiphum Takhumrung^{1*}, Piyathida Somjai^{1*}, Harutairat Jantakard¹, Somkuan Sanguanpang¹
Kumphol Jintamornchai¹ and Subhasant Raksakul²

¹ หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ (วิชาเอก วิศวกรรมโลจิสติกส์) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
เลขที่ 99 หมู่ 10 ถนนพหลโยธิน ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

¹ Industrial Engineering (Logistics Engineering) Rajamangala University of Technology Na Chiang Rai
Number 99, Moo 10, Phaholyothin Road, Sai Khao Sub-district, Chiang Rai Province 57120

² สาขาวิชาการท่องเที่ยว แผนกวิชาสามัญสัมพันธ์ วิทยาลัยอาชีวศึกษาเชียงราย 670 ถนนธนาลัย ต.เวียง อำเภอเมืองเชียงราย เชียงราย 57000

² Program in Tourism, Department of General Relations, Chiang Rai Vocational College 670 Thanalai Road, Wiang Subdistrict,
Mueang Chiang Rai District, Chiang Rai 57000

* Email: noonongpum@gmail.com, Khai.somjai@gmail.com, โทรศัพท์ 095-628-3733, 093-193-8709

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้า โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการบริการขนส่งสินค้าด้วยรถไฟ นำไปสู่การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ควรให้ความสำคัญในการพัฒนาการให้บริการขนส่งสินค้า อีกทั้งยังเป็นแนวทางสำหรับสนับสนุนการขนส่งสินค้าในอนาคต โดยวิธีการวิจัยได้มีการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งสินค้าโดยใช้ตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านซัพพลายเชน (Supply Chain Performance Index : SCPI) เป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้า นำมาซึ่งปัจจัยหลัก 4 ด้าน ได้แก่ ด้านความน่าเชื่อถือ ด้านความยืดหยุ่น ด้านการตอบสนอง และด้านต้นทุน ซึ่งจะใช้แผนภาพต้นไม้ (Tree diagram) ในการแสดงปัจจัยที่เกี่ยวข้องในแต่ละด้าน ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านการตอบสนอง เป็นปัจจัยที่กล่าวถึงมากที่สุดเป็นอันดับแรก รองลงมาคือปัจจัยด้านความเชื่อถือ ปัจจัยด้านความยืดหยุ่น และด้านต้นทุน ถูกกล่าวถึงมาเป็นอันดับสาม และสี่ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าปัจจัยด้านการตอบสนองมีความสำคัญมากที่สุดสำหรับใช้ประกอบการพัฒนาในด้านให้บริการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเชื่อมั่นในการบริการ และไว้ใจที่ลูกค้าจะมาใช้บริการอีก

คำสำคัญ: การขนส่งสินค้า, ตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านซัพพลายเชน, การพัฒนาการบริการ

Abstract

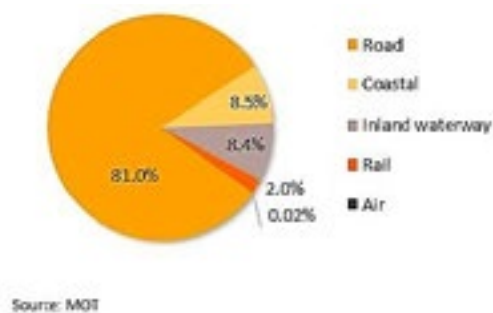
This research was to study the Influential Factors for Decision making about Freight Transportation. The objective of this research was to study for guideline in Transportation Service Development by train and to take to the analysis of Main Influential Factors in Transportation Service Development to continue to support Freight Transportation in the future. The researchers reviewed more than 31 works of literature on the Influential Factors for Decision making about Freight Transportation by using the Supply Chain

Performance index: SCPI. To manage in the main factor group, minor group, and sub-factor group with the Tree Diagram in each factor showing. The result of this research showed that the factor of response was the first-factor topic, the next up was the factor of believable, the third was the factor of flexible, and the fourth was the factor of cost. In summary, the factor of response was more important than the others, and this factor was suitable in Transportation Service Development efficiency, to make the confident in service and coming back to service in the next time.

Keywords: Freight Transportation, Supply Chain Performance Index, Service Development

1. บทนำ

งานวิจัยเรื่องนี้ต้องการศึกษาความเป็นไปได้ สำหรับการตัดสินใจของสถานประกอบการการศึกษา ปัจจัยเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการบริการขนส่ง สินค้าด้วยรถไฟ เนื่องจากในปัจจุบันการขนส่งสินค้าเป็นธุรกิจบริการที่มีบทบาทสำคัญในการกระจายสินค้าสู่ตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ โดยผู้ให้บริการขนส่งสินค้าทำหน้าที่เคลื่อนย้ายสินค้าในแต่ละชั้นของห่วงโซ่อุปทาน (ตั้งแต่วัตถุดิบ/ สินค้าขั้นต้น สินค้าขั้นกลาง และสินค้าสำเร็จรูป) ภาวะของธุรกิจจึงเคลื่อนไหวในทิศทางเดียวกับปริมาณสินค้าซึ่งเติบโตตามภาวะเศรษฐกิจของประเทศ และในกรณีการขนส่งระยะทางไกล รวมถึงโอกาสเกิดอุบัติเหตุค่อนข้างสูง ขณะที่การขนส่งทางรางมีสัดส่วนการดำเนินงานอยู่ในปริมาณที่ต่ำอีกทั้ง ยังมีแนวโน้มการใช้งานลดลง (สศช. 2556:17) แต่การขนส่งทางรางจะมีต้นทุนต่ำกว่าการขนส่งรูปแบบอื่น และสามารถขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักและปริมาณมาก เหมาะกับการขนส่งระยะทางไกล (สุนันทา เจริญปัญญา ยิ่ง 2559: 3)



รูปที่ 1 Thailand Domestic Freight Transportation (2016)
ที่มา : (Piyanuch Sathapongpakdee, 2562)

จากรูปแบบการขนส่งข้างต้น ปริมาณการขนส่งสินค้าทางถนนของไทยมีสัดส่วนถึง 81% ของปริมาณขนส่งสินค้ารวมเป็นผลจากที่ผ่านมา รัฐบาลไทยให้การสนับสนุนและพัฒนาโครงสร้างข่ายถนน

มากกว่าการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่งรูปแบบอื่น ๆ ทำให้มีระยะทางถนนครอบคลุมถึง 86.9% ของเส้นทางขนส่งทั้งหมดของประเทศ อีกทั้งคุณลักษณะของการขนส่ง ทางถนนที่สามารถส่งตรงจากผู้ส่ง (หรือต้นทาง) ถึงผู้รับ(ปลายทาง) (Door to Door Transport) และใช้เชื่อมโยงการขนส่งรูปแบบอื่นที่ไม่สามารถให้บริการขนส่งจากต้นทางถึงปลายทางได้อย่างสมบูรณ์ เช่น การขนส่งสินค้าทางราง น้ำ และอากาศ จะต้องใช้รถบรรทุกขนถ่ายสินค้าต่อไปยังผู้รับปลายทาง ทำให้การขนส่งทางถนนเป็นรูปแบบการขนส่งหลักและมีบทบาทสูงต่อภาคขนส่งรวมของประเทศ สะท้อนจากค่าใช้จ่ายของการขนส่งทางถนนโดยรวมที่สูงกว่าค่าใช้จ่ายของการขนส่งรูปแบบอื่นมาโดยตลอด

แม้การขนส่งสินค้าทางถนนจะมีข้อดี ด้านความสะดวก โดยสามารถขนส่งทอดเดียว ไม่ต้องขนถ่ายสินค้าเหมือนการขนส่งรูปแบบอื่น จึงช่วยลดความเสียหายและสูญเสียสินค้าระหว่างการขนถ่ายหรือเปลี่ยนยานพาหนะ แต่ต้นทุนการขนส่งสินค้าทางถนนจะสูงกว่าการขนส่งรูปแบบอื่น (ยกเว้นขนส่งทางอากาศ) เนื่องจากมีสัดส่วนของต้นทุนผันแปรสูง โดยต้นทุนผันแปรหลัก คือ 1) ค่าเชื้อเพลิง มีสัดส่วนสูงสุด 39% ของต้นทุนผันแปรรวม และ 2) ค่าแรงงาน (สัดส่วน 24%) โดยเฉพาะค่าจ้างพนักงานขับรถมีการปรับขึ้นต่อเนื่องจากปัญหา การขาดแคลนแรงงาน ปัจจุบันทางการไทยจึงมีแผนพัฒนาการขนส่งรูปแบบอื่นเพิ่มเติมในระยะยาวโดยเฉพาะทางรางเพื่อช่วยลดต้นทุนและเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้าของประเทศ (Piyanuch Sathapongpakdee, 2562)

แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2560-2564) ยังคงสนับสนุน การเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งสู่รูปแบบการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบเป็นกลยุทธ์การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน ด้านขนส่งและเครือข่าย โลจิสติกส์ตามเส้นทางยุทธศาสตร์เพื่อเชื่อมโยง อนุภูมิภาคและเป็นประตูการค้า ซึ่งอยู่ภายใต้ยุทธศาสตร์ที่ 2 การพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและสิ่งอำนวยความสะดวก

ความสะดวก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุน การขนส่งและเพิ่มประสิทธิภาพบริการขนส่งและเครือข่ายโลจิสติกส์ที่เชื่อมโยงตลอดเส้นทางโลจิสติกส์ตั้งแต่ต้นทางจนถึงปลายทางตลอดจนการประหยัดพลังงาน เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และสอดคล้องกับ ความต้องการของภาคธุรกิจอย่างหนึ่งในการพัฒนาประเทศทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคม การเมือง (คำนาย อภิปรัชญาสกุล, 2556)

การขนส่งทางรางในปัจจุบันของประเทศไทย มีสัดส่วนการใช้งานอยู่ในปริมาณที่ต่ำและมีแนวโน้ม การใช้งานลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้วที่มีสัดส่วน การขนส่งทางรางอยู่ระหว่างร้อยละ 5 ถึง 15 (สศข.,2556:17) ดังนั้นเพื่อเป็นการพัฒนาและลดต้นทุนให้กับระบบขนส่งภายในประเทศ รัฐบาลจึงมีแนวคิดในการพัฒนาระบบขนส่งทางรางในหลาย ๆ สายขึ้น ในแผนพัฒนาการขนส่ง และหนึ่งในแผนพัฒนาการขนส่งทางรางที่เกิดขึ้นนั้นคือ โครงการเส้นทางรถไฟสายชุมทางเด่นชัย-เชียงใหม่-เชียงใหม่ ระยะทาง 323 กิโลเมตร โดยจะมีสถานี 26 แห่ง ผ่านพื้นที่ทั้งหมด 59 ตำบล 17 อำเภอ 4 จังหวัด คือ จังหวัดแพร่ (จุดเริ่มต้น) จังหวัดลำปาง จังหวัดพะเยา จังหวัดเชียงราย (จุดสิ้นสุด) เป็นหนึ่งในโครงการของการรถไฟแห่งประเทศไทย และเป็น 1 ใน 2 ส่วนต่อขยายของทางรถไฟสายเหนือ มีวัตถุประสงค์รองรับ การเดินทางและขนส่งสินค้าภาคเหนือ รวมถึงรองรับศูนย์เปลี่ยนถ่ายสินค้าเชียงของที่กำลังก่อสร้างจะเชื่อมการค้าชายแดนเศรษฐกิจแนวเหนือ-ใต้จากไทยไปลาว จีน เวียดนาม และเขตเศรษฐกิจตามนโยบายของรัฐบาล (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2563) ทางคณะผู้วิจัยจึงได้ให้ความสำคัญกับโครงการดังกล่าว เพราะการขนส่งของประเทศไทยในปัจจุบันนั้นมีต้นทุนที่สูง ถ้าหากสามารถเปลี่ยนรูปแบบการขนส่งได้จะช่วยทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าลดลงเป็นอย่างมาก จึงเป็นที่มาของการศึกษาวิจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้า

ในการศึกษาครั้งนี้มีเป้าหมายเพื่อการรวบรวมปัจจัย หรือ ส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งสิ้น 31 บทความ โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการบริการขนส่งสินค้าด้วยรถไฟ ตลอดจนการนำไปใช้เพื่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งด้วยรถไฟจากกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์ที่ท้ายที่สุด โดยที่ผู้วิจัยจะใช้ในรูปแบบของมาตรวัดสมรรถนะของกระบวนการ ในระดับที่ 1 ได้แก่ ความเชื่อถือได้ (Reliability) การตอบสนอง (Responsiveness) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และ ต้นทุนโซ่อุปทาน (Supply Chain Costs) เพื่อใช้เป็นมาตรวัดในการหาปัจจัยหลัก ของปัจจัยที่ได้จากทบทวนวรรณกรรม

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้าในครั้งนี้จะใช้แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ดังนี้

2.1. การจัดการขนส่งและการกระจายสินค้า

การกระจายสินค้าส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับ การจัดการคลังสินค้าและการขนส่ง (Transportation) ทั้งในด้านการจัดตารางเวลา เพื่อที่จะเก็บสินค้า ให้พร้อมที่จะส่งต่อไปยังพันธมิตรในซัพพลายเชน สินค้าในขั้นต่อไป ดังนั้น การกระจายสินค้าจึงเป็นตัวแปรหลักของแนวความคิดการตลาด เนื่องจากการกระจายสินค้ามีส่วนในการลดต้นทุนและเพิ่มความพอใจให้แก่ลูกค้าซึ่งเป็น การสร้างคุณค่า (มูลค่าส่วนเพิ่มในสินค้า) (ชัยวัฒน์ ชูตระกูล, 2557)

2.2. รูปแบบการขนส่งสินค้า

การขนส่งสินค้านั้นสามารถแยกได้เป็น 4 ประเภท

ประเภทที่ 1. การขนส่งทางบก (Road or Motor Transportation) จำแนกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

- การขนส่งทางรถไฟ (Railroads) เป็นเส้นทางการค้าที่สำคัญที่สุดของประเทศ เหมาะสำหรับ การขนส่งสินค้าหนัก ๆ ปริมาณมากและในระยะทางไกล รวดเร็ว อัตราค่าบริการไม่แพง และขนส่งสินค้าได้จำนวนมากหลายชนิด แต่ความยืดหยุ่นมีน้อย เพราะมีเส้นทางตายตัว

- การขนส่งทางรถยนต์ (Motor Transportation) หรือ รถบรรทุก (Truck Transportation) เป็นที่นิยมในปัจจุบัน เหมาะสำหรับของขนาดกลางถึงขนาดใหญ่ ซึ่งสะดวก รวดเร็ว ขนส่งสินค้าได้ตลอดเวลาตามความต้องการของลูกค้า เหมาะกับการขนส่งระยะสั้น และระยะกลาง แต่เกิดอุบัติเหตุบ่อย เวลาแน่นอนไม่ได้ ขึ้นอยู่กับสภาพการจราจรและดินฟ้าอากาศ

- การขนส่งทางจักรยานยนต์ เหมาะสำหรับของขนาดเล็ก และขนาดกลาง ระยะการขนส่งสั้น ไม่สามารถส่งในระยะไกลได้ ราคาไม่แพงมาก การขนส่งทางจักรยานยนต์เหมาะกับของที่ต้องการความรวดเร็วในระยะการขนส่งระยะสั้น

ประเภทที่ 2. การขนส่งทางน้ำ (Water Transportation) คือ การขนส่งโดยการใช้แม่น้ำลำคลอง เส้นทางทางทะเลเป็นเส้นทางลำเลียงสินค้า ส่วนใหญ่ใช้สำหรับการขนส่งสินค้าระหว่างประเทศ ซึ่งเหมาะสมกับสินค้าที่มีขนาดใหญ่ ขนส่งได้ปริมาณมากเป็นสินค้าที่ยากแก่การเสียหาย ซึ่งการขนส่งทางน้ำอัตราค่าขนส่งถูกกว่าเมื่อเทียบกับการขนส่งทางอื่น ทั้งยังขนส่งได้ปริมาณมาก สามารถส่งได้

ระยะไกล ๆ ได้ แต่ไม่สามารถกำหนดเวลาที่แน่นอนในการขนส่งได้ ขึ้นอยู่กับภูมิอากาศ และภูมิประเทศ

ประเภทที่ 3. การขนส่งทางอากาศ (Air Transportation) เหมาะกับการขนส่งระหว่างประเทศ หรือการขนส่งที่ต้องการความเร็ว สะดวก และปลอดภัย ไม่เหมาะกับสินค้าที่มีขนาดใหญ่ น้ำหนักมาก และสินค้าราคาถูก ๆ ไม่รีบร้อนในการขนส่ง แต่ค่าใช้จ่ายแพงกว่าการขนส่งประเภทอื่น

ประเภทที่ 4. การขนส่งทางท่อ (Pipeline Transportation) เป็นการขนส่งสิ่งของประเภทของเหลวและก๊าซผ่านสายท่อ ซึ่งการขนส่งทางท่อจะแตกต่างกับการขนส่งประเภทอื่น คือ อุปกรณ์ที่ใช้ในการขนส่งไม่ต้องเคลื่อนที่ โดยเส้นทางขนส่งทางท่ออาจจะอยู่บนดิน ได้ดินหรือใต้น้ำ ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ทำให้กำหนดเวลาการขนส่งได้แน่นอนชัดเจน ประหยัดต้นทุน เวลาในการขนย้ายสินค้า และมีความปลอดภัยสูงจากการสูญหายหรือลักขโมย ใช้กำลังคนน้อย ซึ่งข้อเสีย คือ ขนส่งได้เฉพาะสินค้าที่เป็นของเหลวหรือก๊าซเท่านั้น เพราะฉะนั้นในการขนส่งแต่ละครั้งต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นระยะทางของสินค้าที่ต้องการขนส่ง ระยะเวลาเพื่อให้คุ้มค่าและตรงต่อความต้องการของลูกค้า (Tribox By Toramove, 2562)

2.3. ตัวชี้วัดประสิทธิภาพซัพพลายเชน: SCPI

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านซัพพลายเชน (Supply Chain Performance Index : SCPI) กระบวนการ Supply Chain Management หรือ SCM เป็นกระบวนการของการบริหารทุกขั้นตอน นับตั้งแต่การนำเข้าวัตถุดิบสู่กระบวนการผลิต กระบวนการสั่งซื้อ จนกระทั่งส่งสินค้าถึงมือลูกค้าให้มีความต่อเนื่อง และมีประสิทธิภาพสูงสุด พยายามสร้างระบบให้เกิดการไหลเวียนของข้อมูล ที่ทำให้เกิดกระบวนการทำงานของแต่ละหน่วยงานส่งผ่านไปทั่วทั้งองค์กร การไหลเวียนของข้อมูลยังรวมไปถึงลูกค้าและผู้จัดส่ง วัตถุดิบด้วย กระบวนการ Supply Chain Management มีส่วนสำคัญที่ช่วยให้องค์กรยกระดับความสามารถในการบริหาร เช่น การลดสินค้าคงคลัง การเพิ่มผลิตภาพหรือการลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงาน ส่งเสริมความเติบโตของธุรกิจ เช่น การเพิ่มโอกาสในการออกสินค้าใหม่ให้เร็วขึ้น การเปิดตลาดใหม่ ๆ การสร้างความพอใจแก่ลูกค้ามากขึ้น ส่งเสริมความยั่งยืนของธุรกิจ เช่น การลดต้นทุนธุรกิจ การบริหารเงินทุน หมุนเวียน เป็นต้น

สมรรถนะที่ 1 (SCPI1) ด้านความน่าไว้วางใจ (Reliability : RL) เป็นการวัดการตอบสนองคำสั่งซื้อของลูกค้าทั้งในด้านปริมาณ เวลา และคุณภาพ ในปัจจุบันการสร้าง ความน่าเชื่อถือให้กับลูกค้าถือเป็นส่วนสำคัญในการดำเนินธุรกิจ การจัดส่งรายการสินค้าที่ถูกต้อง ครบตาม จำนวนที่สั่ง ภายในเวลาที่ตกลงกันไว้ตามสถานที่ที่กำหนด

เอกสารการจัดส่งถูกต้องครบถ้วน และสินค้าอยู่ใน สภาพที่สมบูรณ์ ล้วนเป็นรากฐานสำคัญต่อการสั่งซื้อสินค้าครั้งต่อ ๆ ไปของลูกค้า

สมรรถนะที่ 2 (SCPI2) การตอบสนอง (Responsiveness : RS) เป็นสมรรถนะที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการทำงานด้านการตอบสนองต่อการสั่งซื้อ ตั้งแต่ได้รับคำสั่งซื้อจากลูกค้า กระบวนการจัดซื้อจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการผลิต กระบวนการขนส่งจนถึงลูกค้า และลูกค้ายอมรับสินค้า

สมรรถนะที่ 3 (SCPI3) การปรับตัวหรือความยืดหยุ่น (Agility: AG) ความสามารถในการปรับตัวหรือความยืดหยุ่นของกระบวนการในการตอบสนองคำสั่งซื้อของลูกค้าที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในปัจจุบัน ทั้งในแง่ของปริมาณการจัดส่งที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง ความหลากหลาย ของผลิตภัณฑ์ (Products Variety) การบริการ ภายใต้ต้นทุนต่ำ และการลดเวลาในทุกกระบวนการตั้งแต่การ รับคำสั่งซื้อจนกระทั่งนำส่งมอบสินค้า รวมถึงความสามารถในการจัดการ ปัจจัยภายนอกหรือตอบสนองความ เปลี่ยนแปลงของตลาดเพื่อรักษา ระดับความสามารถในการแข่งขัน

สมรรถนะที่ 4 ด้านต้นทุน (Cost : CO) การบริหารจัดการ ต้นทุนในกระบวนการของโซ่อุปทาน หมายถึงถึงต้นทุนค่าแรง ค่าวัตถุดิบ ค่าบริหาร จัดการ และค่าขนส่ง ซึ่งถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในกระบวนการโซ่อุปทาน การวิเคราะห์หาต้นทุนในแต่ละ กระบวนการจะทำให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างแม่นยำมากขึ้น (Logistics Service Information Center : LSIC, 2558 : 27-31)

2.4. แผนผังต้นไม้ (Tree Diagrams)

แผนผังต้นไม้ซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อแผนผังระบบ (Systematic Diagrams) หรือ Dendrograms เป็นเครื่องมือสำหรับเรียงเรียงความคิด (ที่อยู่ในรูปของ "บัตรความคิด") คือการประยุกต์วิธีการที่แรกเริ่ม พัฒนาขึ้นสำหรับการวิเคราะห์หน้าทำงานในวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) วิธีนี้เริ่มจากการตั้งวัตถุประสงค์ (เช่น เป้า (Target) เป้าหมาย (Goal) หรือผลงาน (Result) และดำเนินการพัฒนากลยุทธ์ สืบต่อมารเรื่อย ๆ เพื่อการบรรลุผลสำเร็จ โดยนำมาจัดเรียงให้มีรูปร่าง ลักษณะคล้ายต้นไม้ที่มี "บัตรความคิด" เป็น กิ่ง ก้าน สาขา ดอก ใบ ทำให้มองเห็นภาพแผนผังระบบที่เป็นระบบหลาย ๆ ความคิดเหล่านั้น ได้อย่างชัดเจน (ฤทธิกร ในดี, 2559)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ประกอบด้วยขั้นตอนการดำเนินการวิจัยทั้งสิ้น 6 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 ศึกษาทฤษฎี และหลักการที่เกี่ยวข้อง ขั้นตอนที่ 2 แบ่งกลุ่มปัจจัยหลักตาม สมรรถนะของตัวชี้วัดประสิทธิภาพซัพพลายเชน (SCPI) ขั้นตอนที่ 3

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขนส่งสินค้า ขั้นตอนที่ 4 จัดหมวดหมู่กลุ่มปัจจัยรองและปัจจัยย่อยของปัจจัยหลัก ขั้นตอนที่ 5 ระบุตัวเลขประจำแต่ละปัจจัย เพื่อบ่งชี้ถึงความสำคัญ และขั้นตอนที่ 6 รวบรวมและสรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด



รูปที่ 2 วิธีการดำเนินการวิจัย

คณะผู้วิจัยทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะถูกกำหนดเป็นปัจจัยหลักสำหรับการพัฒนาการให้บริการขนส่งสินค้า สมรรถนะทั้ง 4 ด้านของตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านซัพพลายเชน (Supply Chain Performance Index : SCPI) ถูกเลือกใช้สำหรับการศึกษานี้ เนื่องจากมีแนวคิดที่สอดคล้องกับการศึกษา กล่าวคือ มุ่งเน้นถึงการยกระดับความสามารถในการบริหาร ส่งเสริมความเติบโตของธุรกิจ และการสร้างความพอใจแก่ลูกค้า เป็นต้น จากนั้นในขั้นตอนที่ 2 คณะผู้วิจัยทำได้แบ่งกลุ่มปัจจัยหลักตามสมรรถนะของตัวชี้วัดประสิทธิภาพซัพพลายเชน (SCPI) ได้ 4 สมรรถนะตามสมรรถนะตัวชี้วัด

ตารางที่ 1 ตารางปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขนส่งสินค้าจากการทบทวนวรรณกรรม

ลำดับ	บทความวิจัย	ปัจจัย			
		ด้านต้นทุน	ด้านการตอบสนอง	ด้านความเชื่อถือได้	ด้านความยืดหยุ่น
1	นายเจริญ วาวิทอน	/	/	/	/
2	อัศรินทร์ ไชระไวศยะ	/	/	/	
3	ปิยะชัย สุขธิชาญ	/	/	/	
4	ศิริอร สอนงค์	/	/	/	
5	ฐานันท์ เรืองศรีโรจน์	/	/		/
6	บัณฑิตน์ ตั้งบูรธรรม	/	/		
7	แต่จ ทุข์สุญ	/	/	/	
8	วิริยา บุญมาเลิศ	/	/	/	
9	จิตพงษ์ อัยสานนท์	/	/		/
10	ดวงใจ จันทร์ตาแสง	/	/		
11	รบทล จันทศาสตร์ และ อังนุร ลากเนตร		/		
12	วราจณ์ มีถน		/		
13	อนสิทธิณี ตยะประกายและ บันติด ศรีสวัสดิ์และ ทศวีร์ ศิริสรายุถ		/		/
14	ฐานันตร์ ก้นพะชา		/	/	/
15	ธนะสาร พานิชยากรณ์	/	/		/
16	ประดับมุก ธนจิโรติ นรพล จันท์เดช และอัมพล ชูสนุก	/	/		
17	วิภาวี สัญญาลักษณ์ฤชัย	/	/	/	
18	ชาญศักดิ์ แรงสาริกรม, โทศล จันมณฑา, นรินทร์ เอื้อศิริวรรณและ อุบลรัตน์ วาจิวัฒน์นะ	/	/		/
19	อำพล นววงศ์เสียร สุรัตน์ จันทร์ทอง ปาน ภาณุระณี วัฒนาศคร สิทธิชัย ฝรั่งเศส ธิปไตย โสคติวรรณ และ ชัญญุณยาน์ ป้อมเสา		/		

ตารางที่ 1 ตารางปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขนส่งสินค้าจากการ
ทบทวนวรรณกรรม (ต่อ)

ลำดับ	บทความวิจัย	ปัจจัย			
		ด้านต้นทุน	ด้านการ ตอบสนอง	ด้านความ เชื่อถือได้	ด้านความ ยืดหยุ่น
20	อนุภาค เสาร์เสาวภาคย์,ซูเกียรติ ชัย บุญศรี และวรวรรณ บุญเสนอ	/	/	/	/
21	เอกวิษณุ พรสิริพัชร, นิติฐิณธ์ สนิท เหลือ	/	/		
22	ณรงค์ศักดิ์ แก้วเมืองเพชร, ธนบดี ฐานะชลา, อัมรินทร์ นาคณัฐเศรษฐ์	/	/		
23	นางสาวจุไรพร ทิเบียงชอบ		/	/	/
24	ศุภรัตน์ อภิชาติวงศ์ชัย		/	/	
25	เบญจพร สุวรรณแสนทวี		/		/
26	พัชรี ภควณิช, นิตริรัตน์ โทตะไวทยะ	/	/		
27	Nongsom Phoprasert and Chitpong Ayasanond	/	/		
28	ศุทธิกุล คำสายพรม และ ปรีชา วรา รัตน์ไชย		/		
29	คมสัน โสมณวัตร	/	/		
30	รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กอง สุวรรณ, ดร.เชษฐภณภูมิ สีลาศรีศิริ	/	/	/	/
31	นางฉลิสรินทร์ เติญฤทธิ์		/		/
ผลรวม		20	31	11	12

ขั้นตอนที่ 3 คณะผู้วิจัยได้ทำการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขนส่งสินค้ากว่า 31 บทความ เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการพัฒนาที่ชัดเจนยิ่งขึ้น โดยได้ทำการจัดกลุ่มปัจจัยเป็นกลุ่มปัจจัยหลัก กลุ่มปัจจัยรอง และกลุ่มปัจจัยย่อยดังตารางที่ 1 และแสดงด้วยแผนภาพต้นไม้ (Tree diagram) ในขั้นตอนที่ 4 คณะผู้จัดทำได้ทำการจัดหมวดหมู่กลุ่มปัจจัยรองและปัจจัยย่อยของปัจจัยหลัก โดยปัจจัยรองพิจารณาจากคำนิยามของสมรรถนะทั้ง 4 ด้านจากสมรรถนะของตัวชี้วัดประสิทธิภาพซัพพลายเชน (SCPI) และปัจจัยย่อยจะพิจารณาจากคำนิยามของปัจจัยในบทความอ้างอิงที่สอดคล้องกับปัจจัยรองนั้น ๆ ขั้นตอนที่ 5 คณะผู้จัดทำได้ทำการระบุตัวเลขประจำแต่ละปัจจัย เพื่อบ่งชี้ถึงความสำคัญ โดยจะแสดงในวงเล็บแสดงให้เห็นถึงจำนวนครั้งที่ปัจจัยดังกล่าวถูกใช้กล่าวถึงจากทั้ง 31 บทความ โดย จำนวนตัวเลขในวงเล็บของแต่ละปัจจัยย่อยไม่ได้เป็นเพียงผลรวมที่นำไปสู่ปัจจัยรองเท่านั้น อีกทั้งยังคือจำนวนของปัจจัยรองที่ถูกกล่าวถึงมาจากจำนวนของปัจจัยและละตัวปัจจัยรองนั่นเอง ซึ่งเป็นลักษณะเดียวกันกับ จำนวนของปัจจัยหลัก และขั้นตอนที่ 6 คณะผู้จัดทำได้ทำการรวบรวมและสรุปปัจจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมดซึ่งจะนำไปสู่ปัจจัยที่สำคัญต่อการให้บริการขนส่งสินค้าในท้ายที่สุด

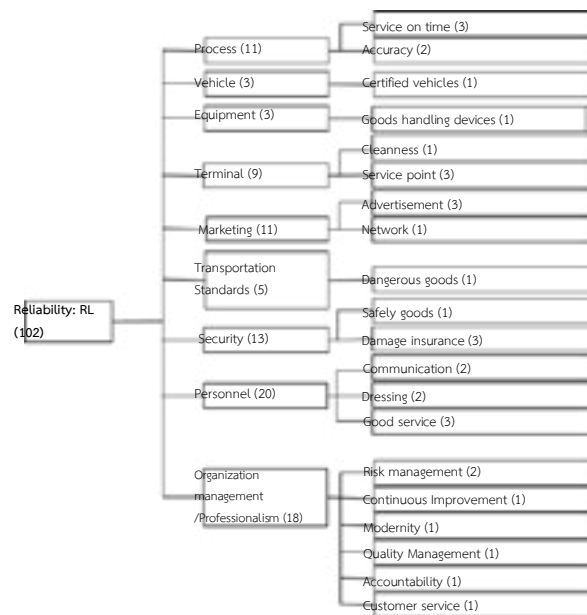
4. ผลการวิจัย

จากการวิจัยพบว่า ระบบประเมินตัวชี้วัดประสิทธิภาพซัพพลายเชน (Supply Chain Performance Index : SCPI) เป็นฐานข้อมูลในการจัดทำเกณฑ์เทียบเคียงตัวชี้วัดประสิทธิภาพโลจิสติกส์ และตัวชี้วัดประสิทธิภาพซัพพลายเชน (SCPI) ที่น่าเชื่อถือซึ่งเป็นที่ยอมรับในระดับสากล สามารถนำมาพัฒนาภาคโล และระบบบริหารจัดการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อส่งเสริมให้ผู้ประกอบการสามารถวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของตนเอง ทำให้เกิดปัจจัยเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการบริการขนส่งสินค้าด้วยรถไฟเพื่อการตอบสนองความต้องการของลูกค้า (Customer Service) และลดต้นทุนรวมด้านโลจิสติกส์ (Total Logistics Costs) ต่อไป

4.1. ปัจจัยเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการบริการขนส่งสินค้าด้วยรถไฟ

จากการทบทวนวรรณกรรมทั้งสิ้น 31 บทความ ผู้วิจัยได้แยกปัจจัยต่าง ๆ เป็นปัจจัยหลัก ปัจจัยรอง และปัจจัยย่อย จึงสามารถสรุปปัจจัยทั้งหมดได้ ซึ่งแบ่งออกเป็นปัจจัยหลัก 4 ปัจจัยดังตัวชี้วัดประสิทธิภาพด้านซัพพลายเชน โดยผู้วิจัยได้ละเว้นตัวชี้วัด 1 ตัว คือ การจัดการสินทรัพย์ (Assets Management Efficiency: AM) เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ไม่สอดคล้องกับบริบทของการศึกษาในครั้งนี้ ดังนั้นผู้วิจัยได้แสดงให้เห็นถึงรายละเอียดของปัจจัยรองและปัจจัยย่อยในรูปที่ 3 ถึงรูปที่ 6

4.2 ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability : RL)



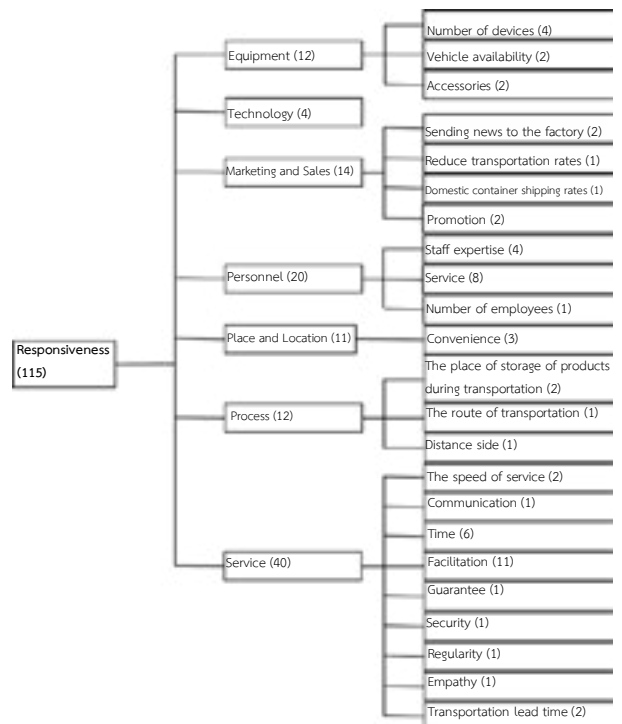
รูปที่ 3 ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability : RL)

คณะผู้วิจัยสามารถสรุปปัจจัยหลักด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability : RL) (ดวงใจ จันทร์ดาแสง, 2558) ที่ได้จากการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งเป็นปัจจัยรอง อยู่ทั้งสิ้น 9 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยด้าน Process ปัจจัยด้าน Personnel (นางสาวจุไรพร พิณิจชอบ, 2560) ปัจจัยด้าน Vehicle ปัจจัยด้าน Equipment (นายเจริญ วาริพันธ์, 2550) ปัจจัยด้าน Terminal (ชิตพงษ์ อัยสานนท์, 2558) ปัจจัยด้าน Marketing (ฐานันตร์ กัมพะษา, 2559) ปัจจัยด้าน Transportation Standards (ธนสิทธิ์ นิตยะประภา ,บัณฑิต ศิริสวัสดิ์,และ พศวีร์ ศิริสรายุค, 2563) ปัจจัยด้าน Security (อำพล นววงศ์เสถียร, สุรัตน์ จันทองปาน, ภาณุชนัน วุฒิภคบุตร, สิทธิชัย ฝรั่งเศสทอง, ธิปัตย์ โสถิตวิธรรม์ ,และ ชัญญุญญาณ์ ป้อมสา, 2559) ปัจจัยด้าน Organization management/ Professionalism (กาญจน์สิตา ไชสิตธัญญสิทธิ์ และชนงกรณ์ กุณฑลบุตร, 2559) และสามารถแบ่งปัจจัยย่อยได้ทั้งสิ้น 20 ปัจจัยในรูปที่ 3

ยิ่งไปกว่านั้นยังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability) ในมุมมองของบุคลากร (Personnel) เป็นปัจจัยรองที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุด โดยปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย การสื่อสาร(Communication), การแต่งตัว (Dressing) (นางสาวจุไรพร พิณิจชอบ, 2560), การบริการที่ดี (Good service) (กาญจน์สิตา ไชสิตธัญญสิทธิ์ และชนงกรณ์ กุณฑลบุตร, 2559) ดังนั้น แนวทางในการพัฒนาในบริการขนส่งสินค้า หากผู้ประกอบการต้องการตอบสนองการให้บริการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการด้านบุคลากรเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องถูกพิจารณาในการพัฒนา/ ปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

4.3. ปัจจัยด้านการตอบสนอง (Responsiveness : RS)



รูปที่ 4 ปัจจัยด้านการตอบสนอง (Responsiveness : RS)

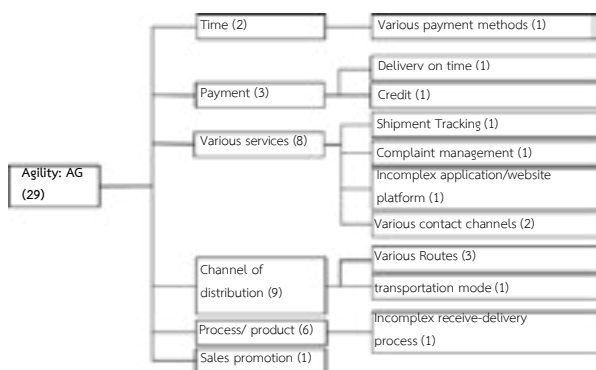
คณะผู้วิจัยสามารถสรุปปัจจัยหลักด้านการตอบสนอง (Responsiveness : RS) (พัชรี ภาควณิช, 2562) ที่ได้จากการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งเป็นปัจจัยรองอยู่ทั้งสิ้น 7 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยด้าน Equipment ปัจจัยด้าน Technology ปัจจัยด้าน Personnel ปัจจัยด้าน Place and Location (นางสาวจุไรพร พิณิจชอบ, 2560) ปัจจัยด้าน Marketing and Sales (ฉัตรรัตน์ โหตระไวศยะ, 2561) ปัจจัยด้าน Process (กาญจน์สิตา ไชสิตธัญญสิทธิ์ และชนงกรณ์ กุณฑลบุตร, 2559) ปัจจัยด้าน Service (นายเจริญ วาริพันธ์, 2550) และสามารถแบ่งปัจจัยย่อยได้ทั้งสิ้น 23 ปัจจัยในรูปที่ 4

ยิ่งไปกว่านั้นยังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปัจจัยด้านการตอบสนอง (Responsiveness) ในมุมมองของการบริการ (Service) เป็นปัจจัยรองที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุด โดยปัจจัย ดังกล่าวประกอบด้วย ความเร็วในการให้บริการ (The speed of service) (เบญจพร สุวรรณแสนทวี, 2557) , การสื่อสาร (Communication), ระยะเวลาขนส่ง (Transportation lead time) (นางสาวจุไรพร พิณิจชอบ, 2560), เวลา (Time) (ธนสิทธิ์ นิตยะประภา และคณะ, 2563), การอำนวยความสะดวก (Facilitation) (นายเจริญ วาริพันธ์, 2550), การรับประกัน (Guarantee), เอาใจใส่ (Empathy) (พัชรี ภาควณิช, 2562),

ความปลอดภัย (Security) (ชิตพงษ์ อัยสานนท์, 2558), ความสม่ำเสมอ (Regularity) (ฉัตรรัตน์ โหตระไวศยะ, 2561), ดังนั้น แนวทางการพัฒนาในบริการขนส่งสินค้า หากผู้ประกอบการต้องการตอบสนองการให้บริการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพการบริหารจัดการด้านการบริการเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องถูกพิจารณาในการพัฒนา/ปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

4.4. ปัจจัยด้านความยืดหยุ่น (Agility: AG)



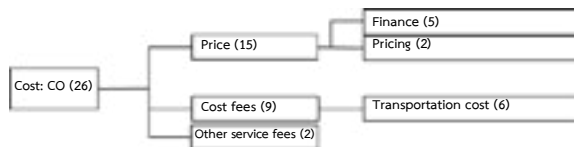
รูปที่ 5 ปัจจัยด้านความยืดหยุ่น (Agility: AG)

คณะผู้วิจัยสามารถสรุปปัจจัยหลักด้านความยืดหยุ่น (Agility: AG) (อำพล นววงศ์เสถียร และคณะ, 2559) ที่ได้จากการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งเป็นปัจจัยรอง อยู่ทั้งสิ้น 6 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยด้าน Time (นารลสิรินธร เนติฤทธิ์, 2562) ปัจจัยด้าน Various services (นางสาวจุไรพร พิณิจชอบ, 2560) ปัจจัยด้าน Payment (ศิริอร สอนงค์, 2562) ปัจจัยด้าน Channel of distribution (ฉัตรรัตน์ โหตระไวศยะ, 2561) ปัจจัยด้าน Process/ product (วิริยา บุญมาเลิศ, 2561) ปัจจัยด้าน Sales promotion (ศุภรัตน์ อภิชิตวงศ์ชัย, 2560) และสามารถแบ่งปัจจัยย่อยได้ทั้งสิ้น 10 ปัจจัยในรูปที่ 5

ยิ่งไปกว่านั้นยังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปัจจัยด้านความยืดหยุ่น (Agility) ในมุมมองของช่องทางการจัดจำหน่าย (Channel of distribution) เป็นปัจจัยรองที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุด โดยปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย เส้นทาง (Various Routes) (รพจน์ มีถม, 2556), โหมดการขนส่ง (transportation mode) (อำพล นววงศ์เสถียร และคณะ, 2559) ดังนั้น แนวทางการพัฒนาในบริการขนส่งสินค้า หากผู้ประกอบการต้องการตอบสนองการให้บริการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการด้านช่องทาง การจัดทำหมาย เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องถูกพิจารณาในการพัฒนา/ปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

4.5. ปัจจัยด้านต้นทุน (Cost: CO)



รูปที่ 6 ปัจจัยด้านต้นทุน (Cost: CO)

คณะผู้วิจัยสามารถสรุปปัจจัยหลักด้านต้นทุน (Cost: CO) (ปิยะชัย สุทธิชาญ, สุภภัทร ปลื้มธรรมและเขาวนนท์ พิลาอ่อน, 2561) ที่ได้จากการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง สามารถแบ่งเป็นปัจจัยรอง อยู่ทั้งสิ้น 3 ปัจจัย ดังนี้

ปัจจัยด้าน Price (ฉัตรรัตน์ โหตระไวศยะ, 2561) ปัจจัยด้าน Cost fees (นารลสิรินธร เนติฤทธิ์, 2562) ปัจจัยด้าน Other service fees (นายเจริญ วาริพันธ์, 2550) และสามารถแบ่งปัจจัยย่อยได้ทั้งสิ้น 3 ปัจจัยในรูปที่ 6

ยิ่งไปกว่านั้นยังแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า ปัจจัยด้านต้นทุน (Cost) ในมุมมองของ ราคา (Price) เป็นปัจจัยรองที่ถูกกล่าวถึงมากที่สุด โดยปัจจัยดังกล่าวประกอบด้วย การตั้งราคา (Pricing) (Nongsom Phoprasert and Chitpong Ayasanond, 2561), การเงิน (Finance) (ศิริอร สอนงค์, 2562) ดังนั้น แนวทางการพัฒนาในบริการขนส่งสินค้า หากผู้ประกอบการต้องการตอบสนองการให้บริการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ การบริหารจัดการด้านราคาเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องถูกพิจารณาในการพัฒนา/ปรับปรุงให้ดียิ่งขึ้น

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกรูปแบบการขนส่งสินค้า เพื่อเป็นแนวทางการพัฒนาการบริการขนส่งด้วยรถไฟ จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถรวบรวมปัจจัยที่เกี่ยวข้องได้ว่าปัจจัยด้านการตอบสนอง (พัชรี ภควณิช, 2562) มีวิจัยที่กล่าวถึง 42.28 % ปัจจัยด้านความน่าเชื่อถือ (Reliability : RL) มีวิจัยที่กล่าวถึง 37.50 % ปัจจัยด้านความยืดหยุ่น (อำพล นววงศ์เสถียร และคณะ, 2559) มีวิจัยที่กล่าวถึง 10.66 % ปัจจัยด้านต้นทุน (ปิยะชัย สุทธิชาญ, สุภภัทร ปลื้มธรรมและเขาวนนท์ พิลาอ่อน, 2561) มีวิจัยที่กล่าวถึง 9.56 % ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยด้านการตอบสนองในมุมมองของการให้บริการที่สะดวกสบาย (นายเจริญ วาริพันธ์, 2550) มีความสำคัญมากที่สุด เพื่อการพัฒนาการให้บริการขนส่งสินค้า ควรจะมีเทคโนโลยี

ที่ทันสมัยตอบสนอง (นางสาวจุไรพร พินิจชอบ, 2560) ต่อความต้องการของลูกค้าได้สะดวกสบายยิ่งขึ้น (วันพิชิตต์ อรรถดี และศักดิ์สินี กลิ่นสุนทร, 2560) รวมถึงด้านพนักงานที่เกิดความรู้และความชำนาญที่สามารถตอบสนองลูกค้าได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว (ศิริอร สอนงค์, 2562) และสุดท้าย การอำนวยความสะดวกหลักการขายให้แก่ลูกค้าก็เป็น สิ่งสำคัญเช่นกัน (เบญจพร สุวรรณแสนทวี, 2557) สิ่งเหล่านี้จะทำให้บริการขนส่งสินค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเชื่อมั่นในการบริการ และไว้วางใจที่ลูกค้าจะมาใช้บริการอีก

6. เอกสารอ้างอิง

กาญจน์สิตา โฆสิตธัญญสิทธิ์ และชนงกรณ์ กุณทลบุตร (2559). *ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกผู้ให้บริการโลจิสติกส์ในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม*. วารสารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 11(1), 148-149.

กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงาน กรมการขนส่งทางบก (2561). *ใบอนุญาตประกอบการขนส่ง*, สืบค้นเมื่อ 23 กุมภาพันธ์ 2564. จาก <https://web.dlt.go.th/statistics/>.

คมสัน โสมณวัตร (2560). *การศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการดำเนินการและประสิทธิภาพของผู้ประกอบการคลังสินค้าอันตราย* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิทยาลัยบัณฑิตศึกษาด้านการจัดการ มหาวิทยาลัยศรีปทุม).

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2556). *การจัดการคลังสินค้าและการกระจายสินค้า*. กรุงเทพฯ: บริษัทไฟท์สมิเดีย แอนด์ พับลิชชิง จำกัด.

นายเจริญ วาริพันธ์ (2550). *ปัจจัยทางการตลาดที่ส่งผลต่อการขนส่งสินค้าด้วยตู้คอนเทนเนอร์ทางรถไฟ* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย).

จุไรพร พินิจชอบ (2560). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในการใช้บริการผู้ประกอบการขนส่งของกลุ่มลูกค้าอีคอมเมิร์ซในเขตกรุงเทพมหานคร* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา).

จواهرรัตน์ ศิริสิงห์ และศิวัช ศรีโสภากุล (2562). *ผลกระทบจากการก่อสร้างทางรถไฟทางคู่ที่มีผลต่อชุมชนริมทางรถไฟ: กรณีศึกษาชุมชนเทพารักษ์ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

ศาสตรมหาบัณฑิตสาขา รัฐประศาสนศาสตร์วิทยาลัยปกครองท้องถิ่นมหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ฉัตรรัตน์ โหตระไวศยะ. (2561). *ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจใช้บริการขนส่งสินค้า และทัศนคติของการรถไฟแห่งประเทศไทย: กรณีศึกษา สถานีหัวลำโพง*. วารสารวิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน, 4(1), 72-74.

เฉลิมชัย ผู้พัฒนา และศาสตราจารย์ เกียรติคุณ ดร. ไพฑูรย์ ช่างเรียน (2554). *ยุทธศาสตร์การพัฒนา โลจิสติกส์แห่งชาติ ศึกษากรณี : การพัฒนาระบบการขนส่งทางราง* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต).

ชัยยุทธ ชีโนกุล. (2561). *ส่วนผลทางการตลาดของธุรกิจในการพัฒนาเศรษฐกิจพิเศษภาคเหนือตอนบน*. วารสาร มจร สังคมศาสตร์ปริทรรศน์, 7(2), 3-5.

ชัยวัฒน์ ชูตระกูล. (2557). *การกระจายตัวสินค้าหมายถึง*. จากคณะกรรมการศาสตร์มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. สืบค้น 26 เมษายน 2564, จาก <http://www2.bus.ubu.ac.th>.

ชาญศักดิ์ แรงสาริกรรม, โกศล จันทนา, นรินทร์ เอื้อศิริวรรณ และอุบลรัตน์ วาริวัฒน์ (2562, พฤษภาคม-สิงหาคม). *การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคัดเลือกสายทางในจังหวัดอุดรธานี เพื่อสนับสนุนการขนส่งสินค้าโดยรถไฟทางคู่* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา).

ชิตพงษ์ อัยสานนท์ (2558). *ปัจจัยเหตุจากการบริหารการบริการที่มีผลต่อสมรรถนะของโซ่อุปทานและผลการดำเนินงาน การขนส่งสินค้า พัสดุภัณฑ์และไปรษณีย์ภัณฑ์ทางอากาศ ของบริษัทการบินไทย จำกัด (มหาชน)* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา).

ฐานันตร์ กัณตะษา (2559). *แนวทางการพัฒนาบริการการขนส่งของบริษัทสายการบินเรือบรรทุกตู้สินค้าแบบประจำเส้นทาง* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยบูรพา).

ฐาปนี เรืองศรีโรจน์ และขวัญกมล ดอนขวา (2563). *ปัจจัยเสริมสร้างอิทธิพลของคุณภาพการบริการที่มีต่อสมรรถนะการให้บริการขนส่งสินค้าทางถนนของผู้ให้บริการโลจิสติกส์* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).

ณรงค์ศักดิ์ แก้วเมืองเพชร, ธนบดี ฐานะชาลา และอัมรินทร์ นาคณัฐ เศรษฐ์ (2561). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบริหารจัดการขนส่งสินค้าของผู้ประกอบการธุรกิจขนส่งในจังหวัด ฉะเชิงเทรา* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). สาขาวิชา รัฐประศาสนศาสตร์มหาบัณฑิต คณะมนุษยศาสตร์ และ สังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์.

ดวงใจ จันทร์ดาแสง (2558). *ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการ ให้บริการขนส่งด้วยตู้คอนเทนเนอร์: กรณีศึกษา บริษัท อุตสาหกรรม ในเขตบางนา กรุงเทพมหานคร* (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). บริหารธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาธุรกิจ พาณิชยการ.

ทวีศักดิ์ เทพพิทักษ์ (2552). *การศึกษาความพร้อมและการปรับตัวของ สาขาบริการโลจิสติกส์ของประเทศไทยเพื่อการเปิดเสรี การค้าบริการ: กรณีศึกษาของบริษัทตัวแทนรับจัดการ ขนส่งสินค้าของประเทศไทย* (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). วิทยาลัยการขนส่งและโลจิสติกส์. มหาวิทยาลัยบูรพา.

ธีรวัลย์ ภิญญวงษ์ (2559). *การศึกษาความเป็นไปได้ของธุรกิจขนส่ง สินค้าต่อเนื่องด้วยรถบรรทุก และรถไฟกรณีศึกษาการ ขนส่งสินค้าอุปโภคบริโภคบนเส้นทางแหลมฉบัง – ท้อง ตะไคร้ จังหวัดอุดรธานี* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหาร บัณฑิต). การค้นคว้าหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน. มหาวิทยาลัยศรีปทุม.

ธนะสาร พานิชยากรณ์ (2559). *ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการศึกษาเลือก ผู้ประกอบการขนส่งทางน้ำประเภทเรือชายฝั่ง* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). สาขาวิชาธุรกิจพาณิชย นาวี วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนสุนันทา.

ธนสิทธิ์ นิตยะประภา, บัณฑิต ศรีสวัสดิ์ และศวีร์ ศิริสรณกุลักษณ์ (2563). *ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการขนส่งสินค้า อำเภอมะนัง จังหวัดกำแพงเพชร* (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์คณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏ กำแพงเพชร.

เบญจพร สุวรรณแสนทวี (2557). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือก ผู้ให้บริการในการขนส่งโลจิสติกส์ของผู้ประกอบการธุรกิจ อาหารในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล* (วิทยานิพนธ์ ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

ประดับมุก ธนจิโรชาติ นรพล จินันท์เดช และอัมพล ชูสนุก (2561). *ปัจจัยขับเคลื่อนที่มีอิทธิพลต่อการบอกต่อในทางบวกและ ความตั้งใจใช้บริการต่อเนื่องของผู้ใช้บริการขนส่งสินค้า บริษัท รวมถาวรขนส่ง จำกัด* (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). สาขาวิชาการตลาด มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ปิยะชัย สุทธิชาญ, สุวัฒน์ พลเยี่ยมธรรม และเขาวนันท พิลาอ่อน. (2561). *ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกผู้ให้บริการ ด้านขนส่งของผู้ประกอบการอุตสาหกรรมในเขตนิคม อุตสาหกรรมบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ*. วารสารวิชาการ สถาบันเทคโนโลยีแห่ง สุวรรณภูมิ

พัชรี ภควณิช และฉัตรรัตน์ โทตะไวศยะ (2562). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อการ เลือกรับบริการขนส่ง กรณีศึกษา: บริษัท ไทนามิค ทราน สปอร์ต จำกัด* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). สาขา การจัดการโลจิสติกส์และซัพพลายเชน, วิทยาลัย โลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัย ราชภัฏสวนสุนันทา.

รายงานฉบับสมบูรณ์. *การใช้ประโยชน์จากระบบรถไฟที่เชื่อมโยง ประเทศเพื่อนบ้านเพื่อให้ไทยเป็นศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ และการท่องเที่ยวของภูมิภาค*. สถาบันวิจัยเพื่อการพัฒนา ประเทศไทย. 2556.

รายงานฉบับสมบูรณ์. *รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2561 การพัฒนาระบบโลจิสติกส์ของประเทศไทย*. สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. 2562.

รวมพล จันทศาสตร์ และ อังกร ลาภเนตร (2562). *ปัจจัยที่ส่งผลต่อ การขนส่งและการคลังสินค้า เพื่อลดความสูญเสียและเพิ่ม คุณค่า* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). มหาวิทยาลัยศรี ปทุม.

วันพิชิตต์ อรรถดี และศักดิ์สินี กลิ่นสุนทร (2560). *ปัจจัยที่สำคัญต่อ การเลือกใช้บริการขนส่งของบริษัทยูเซ็นโลจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด*. วิทยาลัยเซาธ์อีสท์บางกอก.

วรพจน์ มีถม (2556). *เกณฑ์การประเมินศักยภาพ เส้นทางขนส่ง สินค้าทางถนน* (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต). คณะ วิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ นครเหนือ กรุงเทพมหานคร.

วรารุณี เรือนคำ และ ฉัตรฤดี จงสุริยภาส. (2559). *วิเคราะห์ ผลประโยชน์จากโครงการก่อสร้างรถไฟรางคู่สายเด่นชัย- เชียงราย-เชียงใหม่ของ: มุมมองของจังหวัดเชียงราย*. วารสาร เศรษฐศาสตร์รามคำแหง, 2(2), 72-74.

- วิชารัช สัตยกุลลักษณ์ฤชัย (2552). ปัจจัยที่มีผลต่อ การตัดสินใจ เลือกรูปแบบการขนส่งในสาขา อุตสาหกรรมประกอบรถยนต์ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- วิริยา บุญมาเลิศ (2561). ปัจจัยของกิจกรรมโลจิสติกส์ด้านการขนส่ง และกระจายสินค้าที่มีผลต่อความพึงพอใจของลูกค้าธุรกิจบริการโลจิสติกส์ในประเทศไทย (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์ กองสุวรรณ และดร.เชษฐภรณ์ ธิลาศรีศิริ. ปัจจัยที่มีผลต่อการตัดสินใจจ้างผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์ของผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ในจังหวัดสมุทรปราการ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- ศิริอร สอนงค์. (2562). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเลือกใช้ผู้ให้บริการขนส่งสินค้าของบริษัทส่งออกปลาสดของประเทศไทย. วารสารปัญญาภิวัฒน์, 11(1), 83-88.
- ศุภรัตน์ อภิชาติวงศ์ชัย (2560). ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการใช้บริการการขนส่งทางบกของบริษัท เอ็นพี.เอ็ม. ทรัค แอนด์ ทรานสปอร์ต จำกัด (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.
- สุชมา ประเทพ (2557). แนวทางการพัฒนาการให้บริการขนส่งสินค้าของบริษัทสิ่งทอเรือพัทลุงขนส่ง. สาขาวิชาการพัฒนาศาสตร์พยาบาลมนุษยและชุมชน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). คณะศึกษาศาสตร์และพัฒนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน .
- สุนันทา เจริญปัญญา (2559). การศึกษาปัจจัยภาครัฐและกฎหมายในพัฒนาการขนส่งสินค้าทางรถไฟในประเทศไทย (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). สถาบันการขนส่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โสธยา สุภาพล, ลัดดาวัลย์ สำราญ, อมรรัตน์ ทัดจันทิก, ธนกร นาสกุล และสุรัชย์ เอมอักษร (2562). คุณภาพการบริการขนส่งสินค้าที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจของลูกค้า: กรณีศึกษาบริษัทเอกชนสายโลจิสติกส์ จำกัด (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). คณะบริหารธุรกิจและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- สำนักโลจิสติกส์กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. Best Practices & Lessons Learned คู่มือการประเมินประสิทธิภาพโลจิสติกส์ภาคอุตสาหกรรม (ILPI) และการประเมินประสิทธิภาพซัพพลายเชน (SCP). ครั้งที่พิมพ์ 1 / 2558. บริษัท เอ็มดีค โฮลดิ้ง จำกัด: กรุงเทพมหานคร, ปี พ.ศ. 2558.
- สำนักโลจิสติกส์กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. คู่มือการประเมินประสิทธิภาพและศักยภาพด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน. ศูนย์ความเป็นเลิศด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน: มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ฉบับปรับปรุง 2560.
- อนุภาค เสาร์เสาวภาคย์, ชูเกียรติ ชัยบุญศรี, วรพรรณ บุญเสนอ (2554). ปัจจัยที่มีผลต่ออุปสงค์การใช้บริการรถสาธารณะ (เสื้อแดง)กรณีศึกษา : กลุ่มวัยรุ่นในจังหวัดเชียงใหม่ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- เอกวิญญ์ พรสิริพัชร์ และนิพัฏฐพันธ์ สนิทเหลือ . ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อต้นทุนโลจิสติกส์การขนส่งโดยรถบรรทุกของผู้ประกอบการในจังหวัดสมุทรปราการ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). หลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีแห่งสุวรรณภูมิ.
- อำพล นวงศ์เสถียร, สุรัตน์ จันทร์ทองปาน, ภาณุณี วุฒิมหาพร, สิทธิชัย ฝรั่งทอง, ธิปัตย์ โสถถิวรรณและชญัญญาณ์ ป้อมสา (2559). การวิเคราะห์ปัจจัยและความยืดหยุ่นของปัจจัยในการเลือกรูปแบบการขนส่งของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์ในจังหวัดสมุทรปราการ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). วิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- ฤทธิกุล คำสายพรม และ ปรีชา วรรัตน์ไชย (2561). ปัจจัยผู้ประกอบการที่มีผลต่อการตัดสินใจจ้างผู้ให้บริการด้านโลจิสติกส์ของโรงงานอุตสาหกรรมในจังหวัดนครปฐม (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). วิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- ฤทธิกร ในดี. (2559). ผังต้นไม้. สืบค้น 26 เมษายน 2564, จาก http://59070348g5.blogspot.com/2016/10/blog-post_33.html
- Nongsom Phoprasert and Chitpong Ayasanond (2561). Logistics Service Provider Management Among Thailand Food Export Entrepreneurs. บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, วิทยาลัยโลจิสติกส์ และซัพพลายเชน (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- Piyanuch Sathapongpakdee. (2562). แนวโน้มธุรกิจ/อุตสาหกรรม ปี 2562-2564: ธุรกิจบริการขนส่งสินค้าทางถนน. สืบค้น

26 เมษายน 2564, จาก
<https://www.krungsri.com/th/research/industry/industryoutlook/logistics/road-freight-transportation/IO/ioroad-freight-transportation-20>
Trabox By Toramove. (2562). รูปแบบการขนส่งสินค้า. สืบค้น 26
เมษายน 2564, จาก <https://toramove.com/home>.

การออกแบบ และสร้างโรงเรือนชนิดใช้แสงเทียมสำหรับการเพาะปลูกมินต์ญี่ปุ่นในระบบปิด Planning & Creating of Plant Factory Using Artificial Light for japanese peppermint growing.

ภูเมศร์ สุวรรณ¹ พีรวิชญ์ เพ็ญจันทร์² และ นิติพงษ์ สมไชยวงศ์^{3*}
Poomed Suwan¹ Perawit Phanchan² and Nitipong Somchaiwong^{3*}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120
Rajamangala University of Technology Lanna Changrai, 99, Moo 10, White Sand, Phan, Chiang Rai, 57120
E-mail: nitipong@rmutl.ac.th, โทรศัพท์ 099-3929519

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบ และสร้างโรงเรือนชนิดใช้แสงเทียมสำหรับการเพาะปลูกมินต์ญี่ปุ่นในระบบปิด โดยจะประกอบไปด้วยระบบควบคุมการให้แสงของพืช ระบบระบายอากาศภายใน ให้เหมาะสมต่อการปลูกมินต์ญี่ปุ่นแบบอัตโนมัติ โดยรับค่าจากโมดูลนาฬิกา DS3231 และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศ DHT22 ผ่านการประมวลข้อมูลโดย Arduino UNO R3 สั่งให้ควบคุมการเปิด/ปิดหลอดไฟที่กำหนดและระบายอากาศภายใน โดยระบบจะสั่งให้เปิด/ปิดหลอดไฟตามที่กำหนดไว้ คือ 12 ชม.ต่อวันที่ ความสว่าง 700 ลักซ์และ 1400 ลักซ์และ 20 ชม.ต่อวันวันที่ความสว่าง 700 ลักซ์และ 1400 ลักซ์ โดยผลการทดสอบพบว่า ค่าความสว่าง 1400 ลักซ์ 20 ชม. นั้นมีค่าการเจริญเติบโตที่มากที่สุดและ 700 ลักซ์ 20 ชม. ลองลงมาตามลำดับ
คำสำคัญ: ระบบน้ำหมุนเวียน, หลอด LED, โมดูลนาฬิกา, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น, Arduino UNO R3

Abstract

This project aims to Planning & Creating of Plant Factory Using Artificial Light for Japanese peppermint. It consists of a plant lighting control system. Internal ventilation system Suitable for Japanese peppermint growing automatic system. It receives values from the DS3231 module and Digital Temperature and Humidity Sensor DHT22 through data processing by Arduino UNO R3 and commands to control the on/off of the lamps and the ventilation inside. The system will order the lamp to be switched on / off as scheduled, 12 hours to 1day Brightness value at 700 lux and 1400 lux and 20 hours to 1day at 700 lux and 1400 lux. The results showed that 1400 lux 20 hours brightness had the highest growth value and 700 lux 20 hours try down accordingly.

Keywords: Reclaimed Water System, Light Emitting Diode, clock module, temperature sensor and probe, Arduino UNO R3

1. บทนำ

ปัจจุบันมีความนิยม หันมาปลูกพืชเศรษฐกิจในโรงเรือนกันมากขึ้น เนื่องมาจากสามารถควบคุมปัจจัยแวดล้อมที่เหมาะสมกับชนิดของพืช และช่วงระยะเวลาการเติบโตของพืชได้ง่ายขึ้น ตัวอย่างเช่นการควบคุมสภาพอากาศในโรงเรือน อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ หรือความชื้นในดิน เป็นต้น และมีต้นยังเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ทุกฤดูกาลของไทยแต่ยังมีคุณภาพที่สามารถนำมาสกัดน้ำมันได้น้อย(สุวรรณ ภูเขย และคณะ, 2561) ได้ทดลองใช้หลอดแอลอีดีสำหรับปลูกผักที่มีค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมต่อการปลูกผักสลัดคือ 1100 ถึง 2000 ลัก รักษาสภาพอากาศภายในตู้อย่างเหมาะสม เมื่อทำการทดลองปลูกผักสลัดชนิดเรดโอ๊ค พบว่าการปลูกทั้งสองรูปแบบผักสลัดมีการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน (กัญตนา หลอดทองกลาง และคณะ, 2562) ได้ทำการทดลองการให้แสงเสริมจากหลอด LED แก่กระชายดำ ที่ปลูกในโรงเรือน พบว่ามีผลต่อฤทธิ์ทางชีวภาพภายใต้สภาพที่ไม่ได้รับแสงเสริม และที่ปลูกภายใต้สภาพได้รับแสงเสริมผลระหว่างแสงสีขาวยกกับสีน้ำเงินสัดส่วน 2:1 และ 1:2 (นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมา, 2560) ได้ทำการทดลอง เรื่องไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช พบว่าช่วงการเพาะกล้า ควรให้แสงสีน้ำเงินที่มีความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร และแสงสีแดงที่มีความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร ช่วงการเจริญเติบโต แสงที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์ด้วยแสงเช่นการให้แสงสีน้ำเงิน (450 นาโนเมตร) ต่อแสงสีแดง(660นาโนเมตร) ช่วงการออกดอก และแพร่พันธุ์ควรให้แสงสีน้ำเงิน(450นาโนเมตร) ต่อแสงสีแดง (660 นาโนเมตร) ผสมกับแสงสีแดงไกล (790 นาโนเมตร) จากข้อมูลการค้นคว้าพบว่านอกจากการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับพืช เช่นการรดน้ำ ใส่ปุ๋ย การควบคุมธาตุอาหาร อุณหภูมิ ความชื้น และแสง ให้เป็นไปตามที่ต้องการของลักษณะการปลูกพืชแต่ละชนิด แล้วปริมาณแสงที่เหมาะสมยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของพืชจึงเป็นที่มาของการวิจัยในครั้งนี้

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แสงมีความสำคัญและจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิตทั้งพืชและสัตว์ แสงสามารถอธิบายได้ในเชิงปริมาณ (ความเข้มของแสง) และในเชิงคุณภาพ (ความยาวคลื่นของแสง) การวัดปริมาณของแสง หรือจำนวนพลังงานรวมที่แสงผลิตออกมา แสงธรรมชาติที่มาจากดวงอาทิตย์ประกอบด้วยสเปกตรัมของแสง (light spectrum) ในช่วงความยาวคลื่นแสงระหว่าง 250-3000 นาโนเมตร (nm) การที่แสงมีความยาวคลื่นแตกต่างกัน ทำให้เกิดสีที่แตกต่างกันไปด้วยแสงที่พืชนำมาใช้ประโยชน์ในการสังเคราะห์ด้วยแสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล คือแสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น (visible light) ซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่น 380-770 นาโนเมตร แต่จะมีช่วงแสงเฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เรียกว่า photo synthetically active radiation (PAR) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ซึ่งสำคัญมากต่อพืชในการใช้พลังงานเพื่อสังเคราะห์ด้วยแสง และมีแสงสีอะไรบ้างที่พืชต้องการใช้ในการกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสง กระเพาะเมล็ด และการสร้างดอกใบและผลที่ดีที่สุด อ้างอิงจาก ผศ.ดร.ชัยรัตน์ บุรณะ

2.1 ช่วงแสงที่มีผลต่อพืช

แสงธรรมชาติจากดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยสเปกตรัมของแสง (light spectrum) ในช่วงความยาวคลื่นแสงระหว่าง 250-3000 นาโนเมตร (nm) โดยแสงที่พืชนำมาใช้ในการสังเคราะห์แสงเพื่อการเจริญเติบโต สร้างใบ ดอก และผล คือแสงในช่วงที่มนุษย์มองเห็น (visible light) ซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่น 380-770 นาโนเมตร แต่จะมีช่วงแสงเฉพาะที่พืชใช้ในการสังเคราะห์ด้วยแสง ที่เรียกว่า photo synthetically active radiation (PAR) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงความยาวคลื่นแสงที่พืชต้องการ ตามตารางที่ 1

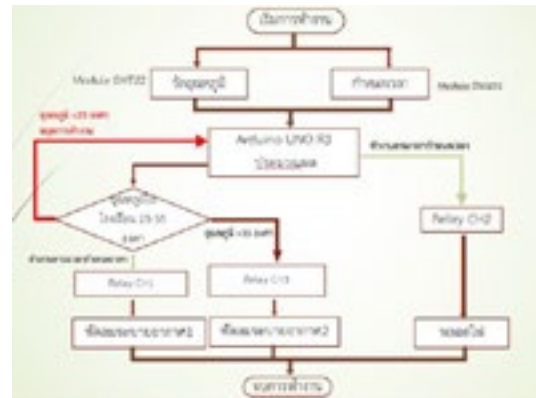
ตารางที่ 1 ความยาวคลื่นแสงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตพืช

ช่วงคลื่น (นาโนเมตร)	สี	ประโยชน์ต่อพืช
380-430	ม่วง	ไม่พบผลโดยตรงจากแสงสีม่วงมีผลทางอ้อมคือ 436 นาโนเมตร ซึ่ง
436-495	น้ำเงิน	ความถี่สูง มีผลต่อการงอกและการขยายตัวของพืช
495-566	เขียว	ไม่มีความจำเป็น แต่สามารถนำมาใช้ควบคู่กันได้
566-589	เหลือง	ไม่มีความจำเป็น แต่มีส่วนช่วยในการสังเคราะห์ด้วยแสง
589-627	ส้ม	มีผลต่อการงอกและการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง ช่วงเวลา 6 ชั่วโมง
627-770	แดง	มีผลทำให้มีกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงสูง ช่วงเวลา 6 ชั่วโมง (ช่วงช่วงแสงสังเคราะห์ : แสงสีแดง (สีแดงที่ 660nm))

2.2 ตัวอย่างการให้แสงต่อวันของพืช

อัตราความต้องการแสงของ มินต์ญี่ปุ่น มีความต้องการแสงที่ 16 ชม.ต่อวัน

- ทดลองเปิดไฟ 12 ชม.ต่อวันที่ แสง 700 ลักซ์
- ทดลองเปิดไฟ 12 ชม.ต่อวันที่ แสง 1400 ลักซ์
- ทดลองเปิดไฟ 20 ชม.ต่อวันที่ แสง 700 ลักซ์
- ทดลองเปิดไฟ 20 ชม.ต่อวันที่ แสง 1400 ลักซ์



3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับมินต์ญี่ปุ่น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้เข้าใจถึงความต้องการแสงของมินต์ญี่ปุ่น เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการออกแบบและสร้างระบบควบคุมการให้แสงของมินต์ญี่ปุ่น

การศึกษาวิธีการความต้องการเวลาในการให้แสงของมินต์ญี่ปุ่นที่เหมาะสมต่อการปลูก และความเข้มของแสงที่เหมาะสม

การศึกษาวิธีการควบคุมการระบายอากาศในโรงเรือนเพื่อให้มินต์ญี่ปุ่นไม่เกิดเชื้อราและโรคต่างๆ

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการเปิด/ปิดหลอดไฟตามเวลา การควบคุมการระบายอากาศภายในโรงเรือน ออกแบบการทำงานของโปรแกรมโดยการเขียนในรูปของโฟลว์ชาร์ต เพื่อแสดงการทำงานของระบบหรือโปรแกรม

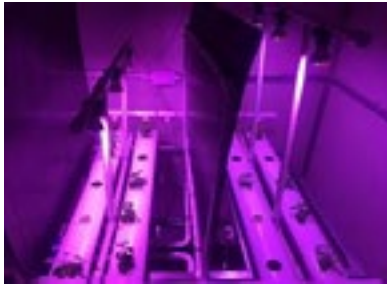
รูปที่ 1 โฟลว์ชาร์ตการทำงานโปรแกรม

จากรูปที่ 1 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานโปรแกรมควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในระบบควบคุมควบคุมการเปิด/ปิดหลอดไฟ การควบคุมระบบระบายอากาศในโรงเรือน โดยการแบ่งช่วงการให้แสงออกเป็น 4 ช่วงคือ 1). ให้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่ความสว่าง700 ลักซ์ 2). ให้แสงเป็นเวลา 12 ชั่วโมงที่ความสว่าง1400 ลักซ์ 3). ให้แสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมงที่ความสว่าง700 ลักซ์และ 4). ให้แสงเป็นเวลา 20 ชั่วโมงที่ความสว่าง1400 ลักซ์



รูปที่ 2 รูปแบบโรงเรือน

จากรูปที่ 2 แสดงรูปแบบโรงเรือนสำหรับการทดลอง การควบคุมความเข้มแสงและการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือนสำหรับปลูกมินต์ญี่ปุ่น โดยใช้พัดลมในการระบายอากาศ



รูปที่ 5 การควบคุมแสงสว่างของมินต์ญี่ปุ่น

จากรูปที่ 5 แสดงการควบคุมแสงสว่างของมินต์ญี่ปุ่น โดยกำหนดใช้แสงเทียม 2 ช่วง ช่วงที่ 1 เริ่มเวลา 06.00 น. และหยุดให้แสงในเวลา 18.00 น. ช่วงที่สอง เริ่มเวลา 06.00 น. และหยุดให้แสงในเวลา 00.00 น. เวลาสามารถควบคุมความเข้มแสงได้ที่ 1400 ลักซ์ และ 700 ลักซ์

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูลของต้นมินต์ญี่ปุ่นพบว่าเป็นพืชที่มีความต้องการของมากกว่า 16 ชั่วโมงต่อวัน ช่วงแสงที่ใช้ในการทดลองอยู่ 380-770 นาโนเมตร (nm) โดยการทดลองปลูกมินต์ญี่ปุ่นทั้งหมด 4 ช่วง โดยการควบคุมระบบน้ำและอากาศภายในโรงเรือนให้อยู่ในช่วงที่ควบคุม

จึงเห็นว่ามินต์ญี่ปุ่นเป็นพืชวันยาวที่ต้องการแสงจำนวนมาก และการให้แสงเทียมที่ 1400 ลักซ์ เป็นเวลา 20 ชั่วโมงมีค่าใกล้เคียงกับ การให้แสงที่ 700 ลักซ์ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง แต่จะมีความแตกต่างกันเล็กน้อย

จากการทดลองพบว่า การให้แสงที่ 1400 ลักซ์เป็นเวลา 20 ชั่วโมงต่อวัน มีการเจริญเติบโตที่มากที่สุดและที่ความสว่าง 700 ลักซ์ 12 ชั่วโมงต่อวัน นั้นมีค่าการเจริญเติบโตที่น้อยที่สุด และข้อเสนอแนะจากการวิจัยการปลูกพืชความรูปร่างความต้องการแสงของพืชแต่ละชนิดในการปลูกพืชแบบระบบปิดและหาอุณหภูมิที่เหมาะสมแก่การปลูกพืชแต่ละชนิด

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการงานเรื่องการออกแบบ และสร้างโรงเรือนชนิดใช้แสงเทียมสำหรับการเพาะปลูกมินต์ญี่ปุ่นในระบบปิดขอขอบคุณบุคคลที่ช่วยแลกเปลี่ยนความรู้ความคิด และทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่อำนวยความสะดวกในด้านห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- สุวรรณ ภูเขย, ธนโชติทัตขาวานา และกิตติพงษ์ มาตรักชาติ. (2561). ผู้ควบคุมการปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ด้วยแสงเทียมและเทคโนโลยีนาโนแบบเปิด, *วารสารวิจัยสิ่งประดิษฐ์นวัตกรรม และผลงานสร้างสรรค์*, 4, 36.
- กัญธนา หลอทองกลาง, เบญญา มะโนชัย และปริญญช จุลกะ. (2562). การให้แสงเสริมจากหลอดLED แก่กระชายดา ที่ปลูกในโรงเรือน, *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์*, 9(1), 105-117.
- นภัทร วัจนเทพินทร์ และไชยยันต์ บุญมา. (2562). ไดโอดเปล่งแสงสีอะไรเหมาะสมกับการปลูกพืช (รายงานผลการวิจัย). นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- กรวิทย์ กระจ่างพันธ์, ธีระวรรณ สืบธนวงษ์ และสุขสันต์ หวังสถิตวงษ์. (2560). การออกแบบแสงด้วยหลอดแอลอีดีส่องสว่างสำหรับปลูกพืชในอาคารโดยอ้างอิงปริมาณแสงรวมต่อวัน. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร มหาวิทยาลัยนครสวรรค์*, 46(พิเศษ), 498-501.
- ทิวา จามะรี, ปารวี กาญจนประโชต, สมเกียรติ จาตุรงค์ ล้ำเลิศ และสิริวัฒน์ สาครวาสี. (2560). อิทธิพลของแสงไฟแอลอีดีต่อการเจริญเติบโตของต้นพืชนิยมพันธุ์ Purple ภายใต้ระบบการปลูกพืชแบบกึ่งปิด รายงานประชุมวิชาการพิบูลสงครามวิจัย, 3, 184-191.

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมน้ำหยดให้ต้นแตงญี่ปุ่นด้วยความแม่นยำสูง Planning and Building a drip control system for Japanese melon with high precision

ธีรภัทร หอมนาน¹ พลวัติ สมบัติ² และ นิติพงษ์ สมไชยวงศ์^{3*}

Teeraphat Homnan¹ Ponrawat Sombat² and Nitipong Somchaiwong^{3*}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120
Rajamangala University of Technology Lanna Changrai, 99, Moo 10, White Sand, Phan, Chiang Rai, 57120
E-mail: nitipong@rmutl.ac.th, โทรศัพท์ 099-3929519

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างระบบควบคุมน้ำหยดให้ต้นแตงญี่ปุ่นด้วยความแม่นยำสูง โดยจะประกอบไปด้วยการให้น้ำระบบน้ำหยด การลดอุณหภูมิภายในโรงเรือน และความชื้นอากาศภายในโรงเรือน ให้เหมาะสมต่อการปลูกแตงญี่ปุ่นแบบอัตโนมัติ โดยรับค่าจากโมดูลนาฬิกา DS3231 และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นอากาศ DHT22 ผ่านการประมวลผลข้อมูลโดย Arduino Mega 2560 R3 สั่งให้ควบคุมการให้น้ำตามเวลาที่กำหนดและควบคุมความชื้นอากาศ พร้อมบันทึกข้อมูลค่าอุณหภูมิกับความชื้นอากาศในโรงเรือน โดยระบบสามารถสั่งให้น้ำหยด 6 ครั้ง ต่อวัน และ ความชื้นอากาศในโรงเรือนอยู่ที่ 45% อุณหภูมิ 30-32 องศาเซลเซียส ในเวลากลางวัน

คำสำคัญ: ระบบน้ำหยด, โมดูลนาฬิกา, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น, Arduino Mega 2560 R3

Abstract

The objective of this project is to design and construct a high precision drip control system for Japanese melon. It consists of providing water, a drip irrigation system. Reducing the temperature inside the house And air humidity inside the house . Suitable for automatic Japanese melon cultivation . It receives the values from the DS3231 clock module and the DHT22 air temperature and humidity sensor. Through the data processing by the Arduino Mega 2560 R3, the command is to control the water supply at the specified time and control the air humidity. Along with recording data of temperature and humidity in the house air. The system can drip water 6 times a day and the air humidity in the house is 45% , temperature 30-32 °C in daylight.

Keywords: Drip Irrigation System, Clock Module, Temperature and Humidity Sensor, Arduino Mega 2560 R3.

1. บทนำ

ในปัจจุบันเกษตรกรมีความสนใจในการปลูกพืชในโรงเรือนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากสามารถควบคุมสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อการปลูกพืช แต่ละชนิด และแต่ละช่วงเวลาได้ เช่น การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และการควบคุมธาตุอาหารพืชทางการให้น้ำเป็นต้น (เฉลิมชาติ เสาวราช,2560) ซึ่งสามารถติดตั้งระบบเพื่อสนับสนุนทำงานแบบกึ่งอัตโนมัติหรืออัตโนมัติ โดยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ปลูกหรือเกษตรกร อีกทั้งช่วยควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังสามารถนำผลการวัดต่างๆ ภายในโรงเรือนมาวิเคราะห์ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น เพื่อเป็นการป้องกันและลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้รวมถึงวางแผนบริหารจัดการโรงเรือนให้สามารถสร้างผลผลิตที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น ปัญหาจากสภาพแวดล้อมของอากาศที่สำคัญสำหรับการปลูกเมล่อน คือ อุณหภูมิ และฝนต้นแดงญี่ปุ่นไม่ชอบ อากาศหนาวจัดและร้อนจัด อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการปลูกเมล่อนอยู่ที่ 25-32 องศาเซลเซียส ในเวลากลางวัน (เอกรัฐ ชูอุมเอียด และ เตือนแรมแพ่งเกี่ยว,2561) หากต้นแดงญี่ปุ่นกระทบกับอากาศหนาวเย็นจะทำให้ชะงักการเจริญเติบโตได้ตั้งแต่ระยะต้นกล้า การออกดอกติดผลจะล่าช้าและถ้าอากาศยังหนาวจัด ต่ำกว่า 15 องศาเซลเซียส ต้นแดงญี่ปุ่นจะหยุดการเจริญเติบโตในกรณีที่ร้อนเกินไปหรืออุณหภูมิเกินกว่า 37 องศาเซลเซียส

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ระบบน้ำหยด เป็นการให้น้ำแก่พืช ด้วยการส่งน้ำผ่านระบบท่อ และปล่อยน้ำออกทางหัวน้ำหยด ซึ่งติดตั้งไว้บริเวณโคนของต้นพืช โดยที่น้ำจากท่อจะหยดซึมลงมาบริเวณที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอในอัตราที่เหมาะสม (วิฑูรย์ เจริญศรี และ สนั่น การค้า, 2562) ขึ้นอยู่กับระบบ ชนิดพืช ขนาดพื้นที่ และชนิดของดิน จุดมุ่งหมายสำคัญของการให้น้ำแบบนี้ก็เพื่อที่จะรักษาระดับความชื้นของดิน บริเวณรากพืชให้อยู่ในระดับที่รากพืชดูดไปใช้ได้อย่างง่าย สร้างความเจริญเติบโตได้อย่างสมบูรณ์ พอเหมาะ และเป็นไปตาม

ความต้องการของพืช ส่งผลให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.1 ปริมาณความต้องการน้ำของต้นแดงญี่ปุ่น

แดงญี่ปุ่นเป็นพืชที่มีความต้องการน้ำแต่ละช่วงเวลาของการเจริญเติบโต (สมชาติ กาญจนวี,2563) ตลอดช่วงการปลูกจนถึงระยะเก็บเกี่ยวแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความสัมพันธ์ปริมาณความต้องการน้ำต้นแดงญี่ปุ่น

จำนวนวันที่ปลูก	จำนวนรอบการให้น้ำ	ปริมาณการให้น้ำต่อรอบ	รวมปริมาณการให้น้ำต่อวัน
1-30	5	0.35 ลิตร	1.75 ลิตร
31-60	7	0.35 ลิตร	2.45 ลิตร
61-90	6	0.35 ลิตร	2.1 ลิตร

2.2 การหาปริมาณการให้น้ำต่อรอบ

อัตราความต้องการน้ำของต้นแดงญี่ปุ่นช่วงใกล้เก็บเกี่ยวความต้องการน้ำอยู่ที่ 2.1 ลิตรต่อวัน (สมชาติ กาญจนวี,2563)

- อัตราการไหลในระบบ = 0.15 ลิตร/นาที
- ปริมาณที่ต้องการ = 2.1 ลิตร/หนึ่งต้น/วัน
- ปริมาณน้ำต่อรอบ = 2.1/6 = 0.35 ลิตร/รอบ

ดังนั้นสามารถหาเวลาในการให้น้ำต่อรอบได้จาก ปริมาณน้ำต่อรอบ/อัตราการไหลในระบบ

$$0.35 / 0.15 = 2.33 \text{ นาที/รอบ}$$

3. วิธีดำเนินการวิจัย

วัตถุประสงค์ในการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับต้นแดงญี่ปุ่นในครั้งนี้ เพื่อทำให้เข้าใจถึงการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมทางอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ และการให้สารอาหารพืชให้เหมาะสมกับช่วงเวลาการเจริญเติบโต

(ธีรภัทร เจริญปุระ และวรวุฒิ บุญเป็ง,2556) ควบคุมโดยการให้น้ำ ใกล้เคียงกันมากที่สุดทุกจุด ทั้งต้นทางและปลายทาง เพื่อให้ต้นแตงญี่ปุ่นได้รับน้ำและปุ๋ยเท่ากันทุกต้น โดยไม่สูญเสียน้ำและปุ๋ยโดยใช้เหตุ

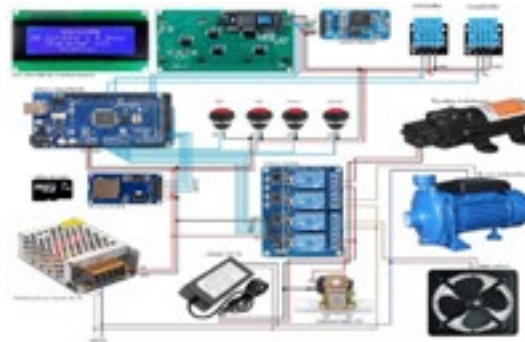
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

การออกแบบและสร้างระบบควบคุมการให้น้ำตามเวลา การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นอากาศในโรงเรือน เป็นไปตามแผนผังการออกแบบการทำงานของโปรแกรม



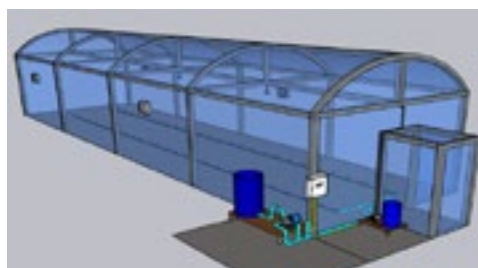
รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของโปรแกรม

จากรูปที่ 1 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม โดยเริ่มจากอุปกรณ์ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และความชื้นอากาศในโรงเรือน ส่งค่าไปยังอุปกรณ์ประมวลผล ซึ่งเก็บค่าอุณหภูมิ และความชื้นที่กำหนดสำหรับการปลูกแตงญี่ปุ่นตามเงื่อนไข ช่วงเวลาตามตารางที่ 1 โดยหากค่าไม่เป็นไปตามกำหนดส่ง ส่งสัญญาณสั่งงานให้รีเลย์ทำงานตามเงื่อนไข โปรแกรมที่ออกแบบไว้ โดยจะมีอุปกรณ์สำหรับบันทึกข้อมูลของอุณหภูมิ และความชื้นอากาศในโรงเรือนไว้ตรวจสอบความผิดพลาด



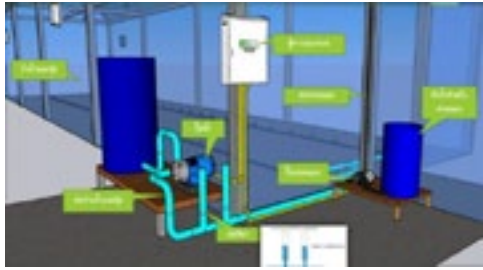
รูปที่ 2 อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนระบบควบคุม

จากรูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนระบบควบคุม และการต่ออุปกรณ์ตรวจวัด (เช่น เซอร์) ในโรงเรือนต่ออุปกรณ์ควบคุม (บอร์ดอาดูโน่) และจากอุปกรณ์ควบคุมไปยังส่วน ควบคุมอุปกรณ์ควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อม (เอาต์พุต) รวมถึงส่วนแสดงผล



รูปที่ 3 การออกแบบโรงเรือนและระบบควบคุมน้ำหยด

จากรูปที่ 3 แสดงการจำลองการออกแบบโรงเรือน ให้มีรูปแบบหลังคาโค้งที่มีขนาด กว้าง 4 เมตร ยาว 15 เมตร และสูง 3 เมตร คลุมด้วยพลาสติก ฟิอี 150 ไมครอน ส่วนด้านข้างจะคลุมด้วยมุ้งตาข่ายกันแมลง เพื่อป้องกัน แมลง และศัตรูพืช



รูปที่ 4 การออกแบบระบบควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อม

จากรูปที่ 4 แสดงการออกแบบระบบควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อมให้ต้นแตงญี่ปุ่น ใช้ปั้มน้ำขนาด 1 แรงม้า ปั้มน้ำหมอกขนาด 12 บาร์ ถังน้ำขนาด 200 ลิตร และถังน้ำพ่นหมอกขนาด 50 ลิตร



รูปที่ 5 ตำแหน่งติดตั้งระบบควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อม

จากรูปที่ 5 แสดงตำแหน่งติดตั้งระบบควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อม ประกอบด้วยระบบควบคุมน้ำหยด ระบบพ่นหมอก และระบบระบายอากาศ โดยระบบน้ำหยดจะทำงานพร้อมกัน 100 จุด ซึ่งเลือกใช้หัวน้ำหยดชนิดเชยแรงดันขนาด 4 ลิตรต่อชั่วโมง การควบคุมความชื้นภายในโรงเรือนใช้เครื่องพ่นหมอกในการเพิ่มความชื้นภายในโรงเรือน โดยใช้ปั้มน้ำ 12 บาร์

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัด อุณหภูมิ และความชื้นภายในโรงเรือน เพื่อใช้สำหรับปรับสภาวะแวดล้อม

ให้เหมาะสมตามช่วงเวลา และทำการเก็บข้อมูลน้ำหยดสำหรับนำไปออกแบบระบบควบคุมที่เหมาะสม



รูปที่ 6 ตำแหน่งติดตั้งระบบควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อม

จากรูปที่ 6 แสดงตำแหน่งติดตั้งระบบควบคุมและรักษาสภาพแวดล้อมการสร้างระบบน้ำหยด โดยใช้ระบบหัวน้ำหยดแบบชนิดเชยแรงดัน ร่วมกับระบบแอร์แวง จะช่วยให้การส่งแรงดันน้ำจากต้นทาง ไปถึงปลายทางให้แรงดันน้ำในท่อคงที่



รูปที่ 7 ทดสอบระบบน้ำหยด

จากรูปที่ 7 แสดงการทดสอบระบบน้ำหยดด้วยการปรับแรงดันน้ำคงที่ ทดสอบระบบเป็นเวลา 1 นาที นำปริมาณน้ำแต่ละจุดมาออกแบบระบบจ่ายน้ำ

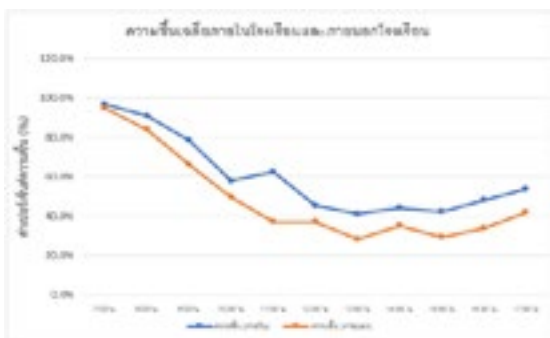
4. ผลการวิจัย

ผลการทดสอบควบคุมอุณหภูมิ ระหว่างการใช้พัดลมในการลดอุณหภูมิ ช่วงเวลาที่ต้นแตงญี่ปุ่นสังเคราะห์แสงอยู่ที่เวลา 7 นาฬิกา ถึง 17 นาฬิกา โดยใช้ Arduino Mega 2560 R3



รูปที่ 8 อุณหภูมิภายในโรงเรือน

จากรูปที่ 8 แสดงการทดสอบระบบควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนภายในระยะเวลา 7 วัน จะเก็บค่าทุกๆ 5 นาที และนำค่าอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลามาหาค่าเฉลี่ย สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในโรงเรือนไม่เกินที่ 35 องศาเซลเซียส เทียบกับอุณหภูมิภายนอกมีอุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส



รูปที่ 9 ความชื้นภายในโรงเรือน

จากรูปที่ 9 แสดงการทดสอบระบบควบคุมความชื้นภายในโรงเรือนภายในระยะเวลา 7 วัน จะเก็บค่าทุกๆ 5 นาที และนำค่าความชื้นในแต่ละช่วงเวลามาหา

ค่าเฉลี่ย สามารถควบคุมความชื้นภายในโรงเรือนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 โดยความชื้นภายในจะสูงกว่าความชื้นภายนอกในซึ่งมีความชื้นต่ำอยู่ที่ร้อยละ 30

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการออกแบบ และสร้างระบบควบคุมน้ำหยดให้ต้นแตงญี่ปุ่นด้วยความแม่นยำสูง โดยทำการออกแบบให้ระบบสามารถทำการควบคุมการให้น้ำหยด การควบคุมค่าอุณหภูมิ และค่าความชื้นที่ได้ให้เหมาะสมกับแตงญี่ปุ่น ผลการศึกษาการควบคุมการให้น้ำหยด โดยใช้ระบบหัวน้ำหยดแบบชดเชยแรงดันร่วมกับระบบแอร์แวสามารถแก้ไขปัญหา แรงดันน้ำในท่อ ต้นทางกับปลายทางไม่เท่ากัน ทำให้สามารถจ่ายน้ำให้กับต้นแตงญี่ปุ่นได้ปริมาณที่ใกล้เคียงกันทั้งทางต้นทาง และปลายทาง การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นภายในโรงเรือน ใช้ระบบตัวตรวจจับอุณหภูมิและความชื้นในโรงเรือน ส่งค่าความชื้นและอุณหภูมิ ให้กับส่วนประมวลผล ในการตัดสินใจในการ สั่งให้ระบบควบคุมปั้มน้ำสำหรับพ่นหมอก และพัดลมระบายอากาศ สำหรับลดความชื้นและอุณหภูมิในโรงเรือนปลูกแตงญี่ปุ่น ได้เป็นอย่างดี

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง การออกแบบและสร้างระบบควบคุมน้ำหยดให้ต้นแตงญี่ปุ่นด้วยความแม่นยำ ขอขอบคุณบุคคลที่ช่วยแลกเปลี่ยนความรู้ความคิด และทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่อำนวยความสะดวกในด้านห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองสำเร็จ ลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

เอกรัฐ ชุ่มเอียด และ เตือนแรม แผงเกี่ยว. (2561). การควบคุมความชื้นในดินสำหรับโรงเรือนเมล่อน, วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 11(2), 269-278.

เฉลิมชาติ เสาววัจ. (2560). การควบคุมสภาพอากาศ
อัตโนมัติในโรงเรือนเพาะปลูกด้วยระบบฟันทมอก,
วิทยานิพนธ์ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชา
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี,
1-127.

ธีรภัทร เจริญปฐ และ วรวิทย์ บุญเป็ง. (2556). เครื่อง
ควบคุมการให้น้ำสำหรับไร่มันสำปะหลัง. โครงการ
วิศวกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนัก
วิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
สุรนารี, 1-137.

วิฑริช เจริญศรี และ สนั่น การค้า. (2562). ระบบควบคุม
การให้น้ำแบบหยดอัตโนมัติในการปลูกพืชแนวตั้ง.
การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย
ระดับชาติและนานาชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวน
สุนันทา, ครั้งที่ 10, 1337-1347.

สมชาติ กาญจนวี. (2563). ความต้องการน้ำของเมล่อน ,
สืบค้น 10 มกราคม 2564, จาก
<https://www.rukkla.com/content/1073>.

การออกแบบและสร้างระบบปลูกผักสลัดแบบรากแขวน

Aeroponics Systems Planting Design

ปกรณ์ เสรีเผ่าวงศ์¹ ธนากร กาวีละ² วรวิทย์ ใจเที่ยง³ และ นิติพงษ์ สมไชยวงศ์^{4*}

Pakorn Sereepulvong¹ Thanakon Kaweela² Worawit Jaithiang³

and Nitipong Somchaiwong^{4*}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

Rajamangala University of Technology Lanna Changrai, 99, Moo 10, White Sand, Phan, Chiang Rai, 57120

E-mail: psereepulvong@gmail.com, โทรศัพท์ 0815957129

บทคัดย่อ

การปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์เป็นเรื่องที่น่าสนใจสำหรับการเพาะปลูกพืช เนื่องจากมีข้อดีหลายอย่างสำหรับการเติบโตของพืช และมีผลต่อชุมชนชาวเกษตร โดยการปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์ เป็นชนิดไร้ดินและใช้น้ำเพียงร้อยละ 10 รวมถึง พื้นที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสวนเกษตรทั่วไป น้ำที่ใช้ในระบบสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยไม่มีกรร่วไหลทำให้ใช้น้ำน้อยกว่าสวนแบบปกติ รากสามารถรับออกซิเจนได้เต็มที่ส่งผลให้พืชเจริญเติบโตได้เร็ว น้ำที่เป็นสารอาหารจะถูกฉีดเป็นละอองให้กับ รากพืชที่ห้อยอยู่ในอากาศ เชื้อจุลินทรีย์ที่พืชจะอยู่ในออกซิเจน ในระบบนี้อาหารพืชอยู่ในรูปไอออนของแร่ธาตุ จึงไม่ต้องการกระบวนการย่อยจากจุลินทรีย์ใดๆ และได้ใช้ไปกับระบบไหลเวียนธาตุอาหารของพืช คาบเวลาและปริมาณของสารอาหารเป็นสิ่งสำคัญเพื่อที่จะให้การเติบโตของพืชด้วยระบบแอโรโพนิกส์ได้ประโยชน์เต็มที่ การประหยัดพลังงานไฟฟ้า ลดการระเหยของน้ำและของเสีย รวมถึงลดการเกิดโรค และในการทดลองจะทำการควบคุมปริมาณน้ำด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยการใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้นเป็นตัวอ้างอิงผลการทดลอง และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ DS3231 เพื่อดูอายุของผักสลัด

คำสำคัญ: ระบบปลูกพืชรากแขวน, แอโรโพนิกส์, เซนเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น

Abstract

Growing plants in an aeroponic system created many advantages for growing crops and the agricultural community by using soilless and only 10% of water, including less land compared to general conventional agricultural. The water used in the system can be recycled without leaking, making it use less water than a normal garden. Roots are able to get full oxygen, resulting in faster plant growth. Water is a nutrient that is injected as a spray to the roots dangling in the air and the microorganisms that the plants are in oxygen. In this system, plant food is in the form of mineral ions which does not require digestion from any microorganisms and it was used with the circulatory system of plants. Time and amount of nutrients are essential in order to fully grow aeroponic plants. Saving electricity, reducing evaporation of water and waste including, decreasing the incidence of diseases. In the

experiment, an Arduino program was used for the water pump control. Moreover, sensors were also used to measure temperature and humidity as a reference test and the DS3231 clock module was used to observe the age of the salad.

Keywords: Hanging root planting system, Aeroponics, Temperature and humidity sensors

1. บทนำ

การปลูกพืชระบบรากแขวนอยู่ในอากาศหรือแอร์โรโพนิคส์ หมายถึง การปลูกพืชโดยที่ให้รากของพืช แขวนอยู่ในอากาศ หลักการของระบบนี้ คือ เป็นการปลูกพืช โดยที่ส่วนของรากนั้นลอยอยู่ในอากาศ แล้วจ่าย สารละลายธาตุอาหาร (nutrient solution) ให้แก่พืชโดยวิธีฉีดสารละลายเป็นฝอย (mist) หรือหมอก (aerosol) ไปที่รากพืชโดยตรงอย่างต่อเนื่องหรือฉีดพ่นเป็นระยะๆ และสารละลายที่เหลือก็จะไหลไปรวมกันที่ถังพักเพื่อนำ กลับมาใช้ใหม่(คงเอก ศิริงาม และกฤษรา ธีระวิภา, 2557) ได้ศึกษาผลของสารละลายธาตุอาหารต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอม ที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิคส์ พบว่าการเจริญเติบโตของผักกาดหอมพันธุ์กรีนโอ๊คและคอสที่ได้รับสารละลายธาตุอาหารที่พัฒนาโดยหน่วยงานภาครัฐเปรียบเทียบกับสูตรสารละลายธาตุอาหารทางการค้าที่ปลูกในระบบไฮโดรโพนิคส์ (ศุภกิจ ปานเกตและพาสินี สุนากร, 2556) ได้พัฒนาการปลูกพืชแบบไร้ดินระบบรากแขวนมาประยุกต์ใช้เป็นชุดปลูกพืชในแนวตั้งเชิงเกษตรกรรมในอาคาร โดยใช้โปรแกรมควบคุมระบบอัตโนมัติ (SCADA) มาช่วยในการควบคุมสถานะที่มีผลกับการเจริญเติบโตของพืช ระบบสามารถทำงาน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยประหยัดเวลาและแรงงานในการดำเนินการ (ถิระวรรณ สืบชนะวงษ์และกรวิทย์ กระจ่างพันธ์, 2561) ได้ทำการสร้างระบบควบคุมสำหรับการปลูกพืชแบบแอร์โรโพนิคส์ ที่ใช้น้ำเพียงร้อยละ 10 รวมถึง พื้นที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับสวนเกษตรทั่วไป โดยออกแบบการควบคุมการฉีดพ่นสารอาหารด้วยมอเตอร์ปั๊ม ไปที่บริเวณรากอย่างเป็นจังหวะตามโปรแกรมที่กำหนดไว้ล่วงหน้า

และพัฒนาเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายแบบใช้พลังงานต่ำจากแบตเตอรี่ ด้วยโมดูล ESP8266 ส่งข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นจากบริเวณแปลงปลูกผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังชุดคอมพิวเตอร์แม่ข่าย บันทึกข้อมูลตามเวลาที่กำหนดตลอดรอบการปลูก เพื่อนำไปวิเคราะห์กระบวนการปลูกในรอบถัดไป ฉะนั้นแนวทางปลูกพืชแบบแอร์โรโพนิคส์ ในระบบรากแขวนมีหลายรูปแบบ เช่น แบบกล่องสี่เหลี่ยม แบบกระโจมสามเหลี่ยม เป็นต้นวิธีการปลูกพืชแบบนี้เป็นวิธีที่ไม่ต้อง เติมนอกซิเจน หรืออากาศลงไปในการละลายธาตุอาหาร รากของพืชนั้นจะได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอตลอดเวลา จึงทำให้ รากของพืชที่ปลูกด้วยวิธีนี้ นั้นมีการเจริญเติบโต และมีการแตกแขนงอย่างรวดเร็ว ผักสลัด มีลักษณะเป็นผักใบหยักสีเขียวอ่อน รูปทรงสวยเป็นพุ่ม รสชาติหวานกรอบคล้ายผักกาดหอม ซึ่งจะตรงกันข้ามกับ รูดโอ๊ค (Red Oak Lettuce) ที่มีใบเป็นสีแดง ช่วงอายุที่เหมาะสมสำหรับนำมารับประทาน 40-45 วัน นิยมทานสดเพราะมีคุณค่าทางสารอาหารและค่าปุ๋ย AB ที่เหมาะสมกับผักสลัด คือ ค่า EC จะอยู่ที่ 1 – 6.5 ตามช่วงอายุของผักสลัด ส่วนค่า PH จะอยู่ที่ 6 – 6.5

2. หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำโครงการเรื่องการออกแบบ และสร้างระบบระบบปลูกผักสลัดแบบรากแขวน (Aeroponics culture) วิธีการนี้จะทำให้รากพืชสามารถรับออกซิเจนได้เต็มที่ มีผลให้พืชเจริญเติบโตได้เร็ว น้ำที่เป็นสารอาหารจะถูกฉีดเป็นละอองให้กับรากพืชที่ห้อยอยู่ในอากาศ จะต้องมีความสัมพันธ์กับความต้องการ

สารอาหารพืช ตามช่วงระยะเวลาการเติบโตของพืช ตามตารางที่

1

ตารางที่ 1 ความต้องการสารอาหารพืช

ช่วงอายุ ต้นพืช (สัปดาห์)	ค่า EC mS/cm	ค่า pH mS/cm	ค่า EC mS/cm	ค่า EC mS/cm
1 - 9	1.0 - 1.2	6 - 6.5	50 - 70	4 min
10 - 14	1.2 - 1.3	6 - 6.5	50 - 70	4 min
15 - 25	6 - 6.5	6 - 6.5	50 - 70	4 min
25 - 30	1.3 - 1.4	6 - 6.5	50 - 70	4 min
31 - 35	1.1 - 1.2	6 - 6.5	50 - 70	4 min
36 - 40	1.0 - 1.1	6 - 6.5	50 - 70	4 min
40 - 50	> 0.5	6 - 6.5	50 - 70	4 min



รูปที่ 1 ชนิดของหัวพ่นหมอก

จากรูปที่ 1 แสดงชนิดของหัวพ่นหมอกแบบต่างๆ ที่มีคุณสมบัติการกระจายของละอองน้ำ แตกต่างกัน แบ่งได้ 2 แบบ คือแรงดันสูง และแรงดันต่ำระบบพ่นหมอก แรงดันสูงนั้นคือมีกระบวนการที่ส่งออกอนุภาคของน้ำไปสู่ระดับไมครอน ค่าแรงดันอยู่ที่ 70-150 บาร์ และระดับแรงดันต่ำ น้ำจะถูกพ่นออกมาในระดับความดัน 6-7 บาร์ เลือกใช้ชนิดแรงดันต่ำ น้ำที่ส่งออกมาจะเป็นละอองน้ำ เหมาะสมกับกระบวนการปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการสร้างระบบปลูกผักสลัดแบบรากแขวน ได้ศึกษาหาข้อมูลในตำราเรียนทางอินเทอร์เน็ต และเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อนำข้อมูลที่ได้มาทำการสร้างระบบปลูกผักสลัดแบบรากแขวน ได้อย่างถูกต้อง และมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2 โฟร์ชาร์ตขั้นตอนการทำงาน

จากรูปที่ 2 แสดงโฟร์ชาร์ตขั้นตอนการทำงาน ออกแบบและสร้างระบบระบบปลูกผักสลัดแบบแอโรโพนิกส์ ด้วยการศึกษาทฤษฎี และเอกสารที่เกี่ยวข้อง ออกแบบอุปกรณ์ และสร้างอุปกรณ์ ทำการทดลองการทำงานของอุปกรณ์ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ถ้าหากการทดลองผิดพลาดให้ปรับปรุงแก้ไขระบบแล้วทดสอบอีกครั้ง



รูปที่ 3 ระบบปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์

จากรูปที่ 3 แสดงระบบปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์ขนาดกว้าง 72 เซนติเมตร ยาว 72 เซนติเมตร สูง 200 เซนติเมตร มีชั้นปลูกซ้อนกัน 8 ชั้น มีระบบควบคุมการทำงานของปั๊มหัวพ่นหมอก ควบคุมด้วย อุปกรณ์ประมวลผลอาร์ดูโน (Arduino) โดยมีการกำหนดการทำงานของปั๊มแรงดันต่ำในการส่งละอองน้ำเลี้ยงรากพืช ตามอัตราความต้องการสารอาหารของพืชตามตารางที่ 1 โดยทำการเพิ่มเงื่อนไขการทำงานดังนี้

ให้สารอาหารในระบบ	4 นาที
หยุดให้สารอาหารในระบบ	10 นาที
ความชื้นในระบบ(RH)	< 50%

ระบบปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์ จะทำการตรวจวัดค่าความชื้นในระบบ ซึ่งใช้เป็นเงื่อนไข ในการให้สารอาหารกับพืชในระบบ ถ้าค่าความชื้นในระบบมีค่าต่ำกว่า 50% ระบบจะสั่งการให้ปั๊มพ่นละอองน้ำ สัมผัสโดยตรงกับรากพืช เป็นเวลา 4 นาที แล้วจึงหยุดทำงาน เป็นเวลา 10 นาที โดยระบบจะทำงานวนรอบ 24 ชั่วโมง

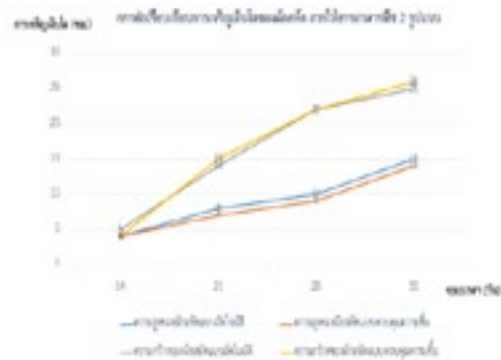


รูปที่ 4 ตำแหน่งติดตั้งหัวพ่นละอองน้ำ

จากรูปที่ 4 แสดงตำแหน่งติดตั้งหัวพ่นละอองน้ำสำหรับพ่นละอองน้ำโดยตรงให้กับราก ติดตั้งทุกชั้นที่ทำการปลูกพืช

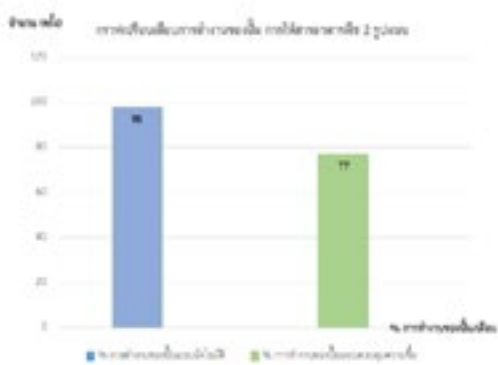
4. ผลการวิจัย

ผลที่ได้จากออกแบบ และสร้างระบบปลูกผักสลัดแบบรากแขวน โดยสามารถควบคุมการให้สารอาหารพืช และความชื้นในระบบปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์ได้



รูปที่ 5 กราฟการเจริญเติบโตภายใน 1 เดือน

จากรูปที่ 5 แสดงกราฟการเจริญเติบโตของพืชที่ใช้ระยะเวลา 1 เดือน ด้วยการควบคุมการให้สารอาหารพืชแบบอัตโนมัติ คือให้สารอาหารพืชเป็นเวลา 4 นาที หยุด 10 นาที โดยสัมพันธ์กับค่าความชื้นในระบบเมื่อมีความชื้นบริเวณรากพืชต่ำกว่า 50% ปั๊มทำงาน 4 นาที แล้วหยุดปั๊มจะทำงานอีกครั้งก็ต่อเมื่อมีความชื้นบริเวณรากพืชต่ำกว่า 50% ทำการเปรียบเทียบกับ ให้สารอาหารพืชเป็นเวลา 4 นาที หยุด 10 นาที โดยไม่คำนึงถึงค่าความชื้นบริเวณรากพืช ผลที่ได้มีความใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6 การทำงานเปรียบเทียบ การให้สารอาหารพืช 2 รูปแบบ

จากรูปที่ 6 แสดงการทำงานเปรียบเทียบ เทียบการให้สารอาหารพืช 2 รูปแบบ คือ รูปแบบการให้น้ำโดยปั๊มทำงาน 4 นาที แล้วหยุด 10 นาที ใน 1 วัน ปั๊มจะทำงาน 98 รอบ และการให้น้ำโดยใช้อุปกรณ์ตรวจวัดค่าความชื้นบริเวณรากพืช โดยการให้น้ำโดยปั๊มทำงาน 4 นาที แล้วหยุด 10 นาที แบบเดียวกัน ใน 1 วัน ปั๊มจะทำงาน 77 รอบ ซึ่งได้ผลการเจริญเติบโตใกล้เคียงกัน

5.อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลจากการทดสอบจะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบตั้งเวลาอัตโนมัติ และแบบควบคุมด้วยความชื้นบริเวณรากพืช พืชมีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกัน โดยการใช้ระยะเวลาในการทดลองเป็นเวลา 1 เดือน และจะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบตั้งเวลาอัตโนมัติมีการทำงานของปั๊ม 98 รอบ ซึ่งมากกว่า แบบควบคุมแบบควบคุมความชื้นบริเวณรากพืช ที่ทำงาน 77 รอบ ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับปัจจัยและองค์ประกอบอื่นๆ ด้วย เช่น อุณหภูมิภายนอกชุดปลูก ที่ไม่คงที่ จะมีผลต่อค่าความชื้นบริเวณรากพืช ใช้เป็นเงื่อนไขในการสั่งงานปั๊มให้ทำงาน ทั้งนี้ระบบปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์ สามารถพัฒนาเชิงพาณิชย์ เพื่อเพิ่มผลผลิตต่อพื้นที่ปลูกได้ และประหยัด

พลังงานได้มากกว่าระบบปลูกพืชแบบไฮโดรโพนิกส์ เพราะไม่ต้องให้สารอาหารพืชตลอดเวลา

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง การออกแบบและสร้างระบบปลูกผักสลัดแบบรากแขวนขอขอบคุณบุคคลที่ช่วยแลกเปลี่ยนความรู้ความคิดและทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่อำนวยความสะดวกในด้านห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- จุฑามาศ จิโนบัว, ไฉน ตาคำแสน, ตะวัน ณ ลำพูน, ปิยวัฒน์ ศรีวิรัช, วรณศิริ สมควร และนพพล เล็กสวัสดิ์. (ม.ป.ป.). แอโรโพนิกส์ การปลูกพืชในระบบรากแขวนอยู่ในอากาศ สืบค้น 24 มีนาคม 2563, จาก <https://www.agro.cmu.ac.th/absc/data/56/no12.pdf>
- ศุภกิจ ปานเกตุ และพาสินี สุนากร. (2556). การประยุกต์ใช้การปลูกพืชไร้ดินระบบรากแขวนในแนวตั้งสำหรับอาคารที่ไม่มีการใช้สอย. วารสารศรีปทุมปริทัศน์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 5(1), 14-25.
- โสระยา ร่วมรังษี, ธีรพล พรสวัสดิ์ชัย และอัมเรศ ใจดี. (2548). ผลของรูปแบบแผ่นปลูกพืชและอัตราการพ่นการเจริญเติบโตของผักสลัดในระบบแอโรโพนิกส์. วารสารเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 21(3), 241-249.
- ถิระวรรณ สืบธนวนษ์ และกรวิทย์ กระจ่างพันธ์. (2561). ระบบควบคุมสำหรับการปลูกพืชแบบแอโรโพนิกส์. วารสารวิทยาศาสตร์การเกษตร, 49(1), 494-497.

การออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชกรีนโอ๊คควบคู่กับการเลี้ยงปลาชนิดโดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้า Design and Construction of Green Oak Plant Growing System in Conjunction with Tilapia Farming by Controlling Electrical Conductivity

ปกรณ์ เสรีเผ่าวงศ์¹ ภาณุพงศ์ ธีรภาฤกษ์² รัฐธรรมนุญ สมพงษ์³ และ นิติพงษ์ สมไชยวงศ์^{4*}

Pakorn Sereepulvong¹ Phanuphong Thiraphalok² Ratthathammanum Somphon³

and Nitipong Somchaiwong^{4*}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120
Rajamangala University of Technology Lanna Changrai, 99, Moo 10, White Sand, Phan, Chiang Rai, 57120
E-mail: psereepulvong@gmail.com, โทรศัพท์ 0815957129

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวเกี่ยวกับการออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชกรีนโอ๊คควบคู่กับการเลี้ยงปลาชนิดโดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้า โดยทำการปลูกกรีนโอ๊ค 30 ต้นระยะเวลา 45 วัน ในแปลงปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์ขนาด 1.40 เมตร x 1.60 เมตรและเลี้ยงปลาชนิดขนาด 50 ตัวต่อตารางเมตร จำนวน 100 ตัวในบ่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 1.20 เมตร สูง 0.80 เมตร ทำการควบคุมค่าความเหนี่ยวนำไฟฟ้าให้อยู่ในช่วง 0.5-1.4 ms/cm และทำการควบคุมอัตราการไหลของน้ำให้ไหลออกจากบ่อปลา 800 L/H ไปยังถังกรองโดยใช้ปั๊มน้ำ BONETER BT 7200 และอัตราการไหลจากถังกรองไปยังแปลงปลูกที่ 600 L/H โดยใช้ปั๊มน้ำ SOBO WP-3550 ผ่านมอเตอร์วาล์วในการควบคุมอัตราการไหลเพื่อให้เหมาะกับการปลูกกรีนโอ๊คและเลี้ยงปลาชนิด

คำสำคัญ: ค่าความนำไฟฟ้า, อัตราการไหลของน้ำ, อควาโพนิกส์

Abstract

This article discusses the design and construction of a green oak crop system with tilapia cultivation by controlling the electrical conductivity. The process was planting 30 green oak trees for a period of 45 days in hydroponic plots, with the size of 1.40 meters x 1.60 meters and raising 100 tilapia fish per square meter, 100 in a pond with a diameter of 1.20 meters high 0.80 m. After that, the electric conductivity was used to control in the range of 0.5-1.4 ms / cm. The flow rate of water was set to control to flow from the fish pond 800 L / H to the filter tank by using the BONETER BT 7200 water pump. Finally, the SOBO WP-3550 water pump was used to control the flow rate from the filter tank to the plantation at 600 L / H through the motor valve which is suitable to grow green oak and tilapia.

Keywords: Electrical Conductivity, Water Flow Rate, Aquaponics

1. บทนำ

บทความนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชกรีนโอ๊คควบคุมกับการเลี้ยงปลาในโดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้า เนื่องจากในปัจจุบันการเพาะปลูกได้รับความนิยมน้อยลงหลายทั้งในระดับครัวเรือนและการผลิตเพื่อค้าขาย โดยส่วนใหญ่ที่นิยมเพาะปลูกคือ ผักสลัด ผักกาดขาวปลี ผักบุ้ง เป็นต้น อย่างไรก็ตามการปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินมีต้นทุนในการผลิตค่อนข้างสูง เช่น ค่าโครงสร้าง ค่าสารละลายธาตุอาหาร ค่าน้ำ ค่าไฟ เป็นต้น หากรวมถึงการทิ้งสารละลายธาตุอาหารที่ใช้แล้วลงสู่ธรรมชาติย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตามมาด้วย พืชกรีนโอ๊ค เป็นพืชที่มีอายุการเก็บเกี่ยว 40-45 วัน อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการปลูก 18 – 25 องศาเซลเซียส มีค่าความเป็นกรด-ด่างที่ต้องการประมาณ 6 และค่าความนำไฟฟ้าที่ 0.5 – 1.4 ms/cm (ปฐมพงษ์ ภาคสกุล, 2557) ได้ทำการวิจัยเรื่องความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงปลาในในระบบน้ำหมุนเวียนแบบอควาโปนิคส์ ได้ผลจากการวิจัยระบบการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกผักกาดหอมในระบบน้ำหมุนเวียนโดยเทคนิค การใช้สารอาหารจากน้ำที่ใช้เลี้ยงปลาปลูกพืช ดังกล่าวมีประสิทธิภาพที่ดี ให้การเจริญเติบโตของผักกาดหอม ที่ไม่แตกต่างกัน และมีความเหมาะสมในการเลี้ยงปลาที่ความหนาแน่น 100 ตัวต่อตารางเมตร (พัจน พงษ์แข็ง, 2559) ได้ทำการเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชในระบบอควาโปนิคส์ โคนระบุว่าอควาโปนิคส์เป็นระบบที่นำน้ำจากการเลี้ยงปลาไปใช้ปลูกพืช ระบบประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือบ่อเลี้ยงปลาที่ระบบกรองชีวภาพ และแปลงปลูกพืช (สุภาวดี โภยกุล, 2559) ได้ดำเนินโครงการการเลี้ยงปลาแบบอควาโปนิคส์เพื่อเป็นอาชีพทางเลือก ได้กล่าวว่าการทดสอบประสิทธิภาพของระบบปลูกพืชทั้ง 3 ระบบ ได้แก่ ระบบ Floating raft (FR), Flood and drain (FD) และ Nutrient film technique (NFT) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติระหว่างน้ำหนักของ ปลาและน้ำหนักของพืชที่เลี้ยงทั้งสามระบบ (เนตรนภา พิทักษ์หม, 2562) ได้ทดลองการใช้ตะกอนจากบ่อปลาที่เลี้ยงในระบบ

น้ำหมุนเวียนเพื่อเป็นปุ๋ยในการปลูกพืชแบบไร้ดินพบว่า ตะกอนจากบ่อปลาที่เลี้ยงใน ระบบน้ำหมุนเวียนสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยสำหรับการปลูกพืชแบบไร้ดินได้ ในสัดส่วนตะกอนต่อ น้ำ 1:5 (โดยปริมาตร) จะให้ ผลผลิตพืชสูงสุด และการงดเติมอากาศในการปลูกพืชแบบไร้ดิน สามารถเพิ่มผลผลิตได้ประมาณ 2.8 เท่าของการปลูกแบบเติมอากาศ จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นหากได้มีการนำแนวทางการดำเนินการวิจัย ข้างต้นมา ร่วมกับการสร้างระบบที่สามารถทำการควบคุมค่าความนำไฟฟ้า และอัตราไหลให้เหมาะสมกับ พืชกรีนโอ๊ค และปลานิล เพื่อให้การปลูกพืชแบบอควาโปนิคส์มีประสิทธิภาพและผลผลิตมากขึ้น

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

(วรทยา สมเสมอ, 2561) ได้กล่าวว่าเนื่องจากการปลูกพืชและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำในสมัยก่อนนั้นเป็นการทำเกษตรเพื่อการดำรงชีวิต ภายในครัวเรือน ต่อมาเมื่อโลกมีการพัฒนาขึ้นการปลูกพืชและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเข้ามา มีบทบาทสำคัญ กลายเป็นการประกอบอาชีพเพื่อการค้า และการทำกำไร จากสาเหตุดังกล่าวทำให้เกิดการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการเพาะปลูกเป็นอาชีพที่มีปริมาณมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภค จากกิจกรรมดังกล่าวส่งผลให้สิ่งแวดล้อมได้รับผลกระทบจากน้ำเสียที่ระบายออกมาสู่สิ่งแวดล้อม

จากปัญหาดังกล่าวจึงได้มีการคิดค้นระบบบริหารจัดการและการใช้เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อแก้ปัญหา เช่น การปลูกพืชไร้ดิน หรือ ไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponic) และแนวพระราชดำริพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว รัชกาลที่ 9 ที่ว่าด้วยการบริหารจัดการที่ดินและน้ำ เพื่อการเกษตรให้เกิดประโยชน์สูงสุด ด้วยหลักเศรษฐกิจพอเพียง และเน้นการผสมผสานระหว่างเกษตรอินทรีย์กับเทคโนโลยี จากแนวคิดข้างต้นจึงเกิดเป็นระบบอควาโปนิคส์

การปลูกพืชร่วมกับการเลี้ยงสัตว์น้ำ ดังนั้นอควาโปนิคส์ จึงหมายถึง การรวมระบบของการปลูกพืชและการเลี้ยงสัตว์น้ำเข้าด้วยกัน ซึ่งปัจจุบันทำได้โดยการเลี้ยง

ปลาแบบน้ำไหลเวียนร่วมกับการปลูกพืชด้วยระบบไฮโดรโปนิกส์ วิธีนี้เองจะทำให้พืชที่ได้รับสารอาหารที่เป็นของเสียจากบ่อปลา จำพวกธาตุอาหารหลัก โดยไม่ต้องใส่ปุ๋ย เพื่อบำรุงพืชตลอดระยะเวลาการเพาะปลูก ซึ่งวิธีคือควาโปนิกส์นี้แตกต่างกันตรงที่ระบบไฮโดรโปนิกส์ต้องใส่ปุ๋ยให้แก่พืช หลักการทำงานของวิธีคือควาโปนิกส์ คือ เวลาเราเลี้ยงปลา จะมีของเสียจากปลา ดังนั้น เราก็จะเอาน้ำเลี้ยงจากบ่อปลามาวนวดผัก พืชผักจะดูดของเสียเป็นปุ๋ย เป็นการช่วยบำบัดน้ำเสียให้ปลา ปลา ก็จะปล่อยของเสียจำพวกแอมโมเนีย (NH₃) รวมทั้งของเสียที่ตกค้างในระบบ จะถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอาหารสำหรับพืช

น้ำที่เกิดจากการเลี้ยงปลาเต็มไปด้วยของเสีย และสิ่งปนเปื้อนจากการขับถ่ายของปลาที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียอาทิ แอมโมเนีย (NH₃) ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) เป็นต้น โดยสิ่งปนเปื้อนของปลา จะถูกนำมาใช้เป็นปุ๋ยให้กับระบบการปลูกพืชแบบ Hydroponic ซึ่งเป็นการหมุนเวียนเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยรากพืชและจุลินทรีย์ที่อยู่บริเวณรากพืช จะใช้ธาตุอาหารเหล่านี้จากสิ่งปนเปื้อนของปลามาเป็นธาตุอาหาร โดยบริเวณรากพืชจะมีแบคทีเรียบางชนิด เช่น ไนตริไฟอิงแบคทีเรีย ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้จะอาศัยอยู่ตามบริเวณกรดหินและรากพืช จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสารประกอบแอมโมเนีย (NH₃) ให้กลายเป็นสารประกอบพวกไนไตรต์ (NO₂) ไนเตรต (NO₃) ตามลำดับ โดยพวกไนไตรต์ (NO₂) และไนเตรต (NO₃) พืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้ จึงทำให้น้ำในบ่อเลี้ยงปลามีปริมาณแอมโมเนียลดลง (NH₃) สามารถนำน้ำมาใช้ได้อีก

ระบบควาโปนิกส์ คือ การเลี้ยงปลาจะมีของเสียจากปลาเมื่อเลี้ยงไปนาน ๆ ต้องเปลี่ยนน้ำ ดังนั้นการนำเอาน้ำเสียของปลามาวนวดผักพืชผักจะดูดของเสียเป็นปุ๋ยเป็นการช่วยบำบัดน้ำเสียให้ปลาและไม่ต้องเปลี่ยนถ่ายน้ำ กระบวนการทำงานจะเป็นการผสมผสานระหว่างการผลิตปลาและการผลิตพืช พืชจะทำหน้าที่ดึงไนเตรตที่มีในน้ำไปใช้ในการเจริญเติบโตน้ำที่ผ่านการบำบัดจะถูกส่งคืนสู่พื้นที่เลี้ยงปลาหมุนเป็นระบบส่งผลให้ประหยัด เพิ่มผลผลิต

อาหารปลอดภัย และการเพิ่มมูลค่าผลผลิตสัตว์น้ำ อุปกรณ์ที่ใช้หลักๆจะประกอบไปด้วย บ่อเลี้ยงปลา ถังกรองน้ำแปลงปลูกพืช บั๊มน้ำ ท่อPVC

2. อัตราการไหลของน้ำในบ่อเลี้ยงปลา

สามารถหาปริมาณอัตราการไหลของน้ำ และอัตราไหลของน้ำที่วนในบ่อปลาที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.20m และสูง 0.75 ได้จาก

$$\text{ปริมาตรน้ำบ่อเลี้ยงปลา} = \pi r^2 \times h$$

เมื่อ r คือ รัศมีของบ่อเลี้ยงปลา เช่นติเมตร

h คือ ความสูงของน้ำในบ่อปลา เช่นติเมตร

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรน้ำบ่อเลี้ยงปลา} &= \pi r^2 \times h \\ &= \pi (60)^2 \times 75 \\ &= 848,230 \text{ ลบ.ซม.} \end{aligned}$$

ระบบบำบัดน้ำสำหรับเลี้ยงปลากำหนดให้ทำการหมุนเวียนน้ำในบ่อปลาเฉลี่ยที่ 20-25 รอบ/วัน เพราะฉะนั้นปริมาณน้ำที่หมุนเวียน/วัน หาได้จาก (ปริมาณน้ำในบ่อปลา \times จำนวนรอบปริมาณน้ำที่หมุนเวียน/วัน)

เมื่อ

ปริมาณน้ำในบ่อปลา	848	ลิตร
รอบปริมาณน้ำที่หมุนเวียน	20	รอบ/วัน

แทนค่า

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่หมุนเวียน/วัน} &= 848 \times 20 \\ &= 16,960 \text{ ลิตร/วัน} \end{aligned}$$

ขนาดบั๊มน้ำได้จากปริมาณน้ำที่หมุนเวียนต่อวัน โดยหน่วยวัดของบั๊มน้ำในท้องตลาดมีหน่วยเป็น ลิตร/ชั่วโมง

ทำการแปลงหน่วยปริมาณน้ำที่หมุนเวียน/วัน เพื่อหาขนาดปั๊ม

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำที่หมุนเวียน/วัน} &= 16,960 \quad \text{ลิตร/วัน} \\ &= \frac{16,960}{24} \\ &= 706.66 \quad \text{ลิตร/ชั่วโมง} \end{aligned}$$

ปริมาณอัตราการไหลของน้ำที่วนในบ่อปลา 20 รอบ/วัน เท่ากับ 706.66 ลิตร/ชั่วโมง เลือกใช้ปั๊มน้ำขนาดอัตราการไหลที่ 800 ลิตร/ชั่วโมง

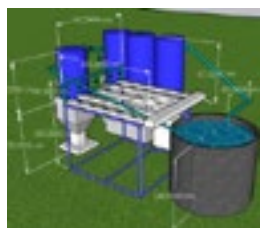
2. อัตราการไหลของน้ำในแปลงปลูก

ปริมาณอัตราการไหลของน้ำในรางที่ กรีนโอ๊ค ต้องการ 100-200 ลิตร/ชั่วโมง (ธวัชชัย จารูวงศ์วิทยา, 2558) เลือกใช้ที่ 120 ลิตร/ชั่วโมง โดยทำการทดลองปลูกจำนวน 5 ราง ปริมาณอัตราการไหลของน้ำเข้าแปลงปลูกหาได้จาก (อัตราการไหลของน้ำในราง x จำนวนราง) เท่ากับ $120 \times 5 = 600$ ลิตร/ชั่วโมง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

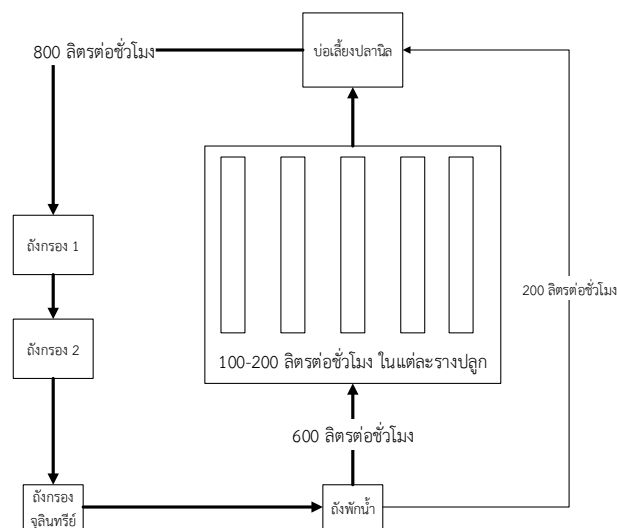
3.1 ขั้นตอนการออกแบบ

การออกแบบและสร้างระบบปลูกพืชกรีนโอ๊คควบคู่กับการเลี้ยงปลานิลโดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้าและอัตราการไหลของน้ำที่ต้องการ



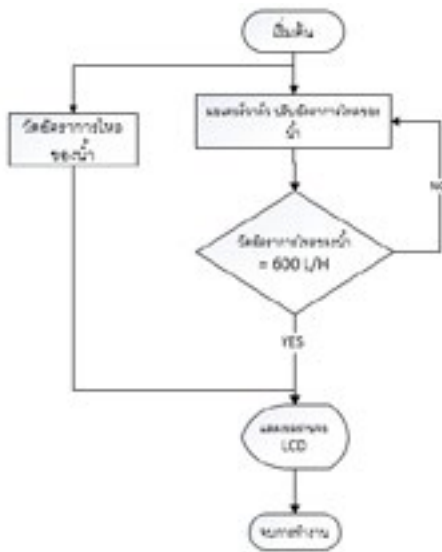
รูปที่ 1 ระบบปลูกพืชกรีนโอ๊คควบคู่กับการเลี้ยงปลานิล โดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้า

จากรูปที่ 1 แสดงระบบปลูกพืชกรีนโอ๊คควบคู่กับการเลี้ยงปลานิลโดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้าจะประกอบด้วย บ่อปลา ถังกรอง ถังพักน้ำ และแปลงปลูกกรีนโอ๊ค Flow sensor มอเตอร์วาล์ว



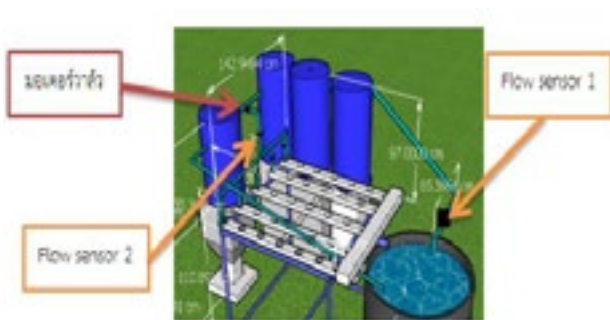
รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบปลูกพืชกรีนโอ๊คควบคู่กับการเลี้ยงปลานิลโดยควบคุมค่าความนำไฟฟ้า

จากรูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบปลูกพืชกรีนโอ๊คควบคู่กับการเลี้ยงปลานิลโดยควบคุมค่าความนำไฟฟ้า ประกอบไปด้วย บ่อเลี้ยง ปั๊มน้ำที่ใช้ในบ่อเลี้ยงปลาเพื่อสูบน้ำไปยังถังกรอง ปั๊มน้ำยี่ห้อ BONETAR รุ่น BT-7200 ถังกรอง1 ถังกรอง2 ถังกรองจุลินทรีย์ ถังพักน้ำ ปั๊มน้ำที่ใช้ในถังพักน้ำเพื่อสูบน้ำไปยังแปลงปลูก ปั๊มน้ำยี่ห้อ SOBO รุ่น WP-3550 และแปลงปลูกจำนวน 5 ราง จะควบคุมค่าความนำไฟฟ้าโดยการถ่ายเทน้ำในระบบ ถ้าปริมาณค่าความนำไฟฟ้าสูงจะนำน้ำออกและเติมกลับเข้าไปที่ละนิดในปริมาณที่เท่ากัน และควบคุมอัตราการไหลของน้ำ จากบ่อเลี้ยงปลานิลอัตราการไหล 800 ลิตรต่อชั่วโมง และอัตราการไหลของน้ำจากถังพักไปยังแปลงปลูก 600 ลิตรต่อชั่วโมง ในแต่ละรางปลูกจะมีอัตราการไหล 100-200 ลิตรต่อชั่วโมง และในส่วนของอัตราไหล 200 ลิตรต่อชั่วโมงที่เหลือจากถังพักน้ำจะไปยังบ่อเลี้ยงปลานิล



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานโปรแกรมที่ 1

จากรูปที่ 3 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม โดยเริ่มจากเซนเซอร์ตัวที่ 1 วัดอัตราการไหลของน้ำ ส่งแสดงผลไปยังหน้าจอ เซนเซอร์ตัวที่ 2 วัดอัตราการไหลของน้ำ ส่งค่าไปยังมอเตอร์วาล์วเพื่อปรับอัตราการไหลให้เท่ากับ 600 ลิตร/ชั่วโมง และส่งแสดงผลไปยังหน้าจอ และตำแหน่งการติดตั้ง Flow sensor และมอเตอร์วาล์ว ดังรูปที่ 4

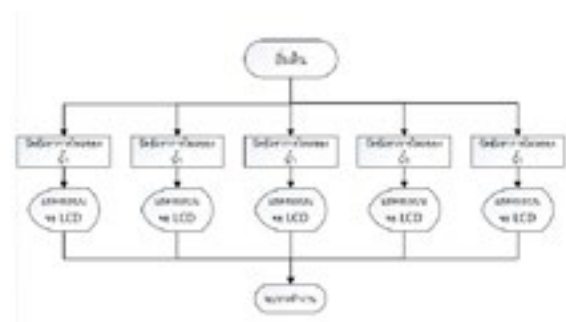


รูปที่ 4 ภาพจำลองตำแหน่งติดตั้ง Flow sensor และมอเตอร์วาล์ว



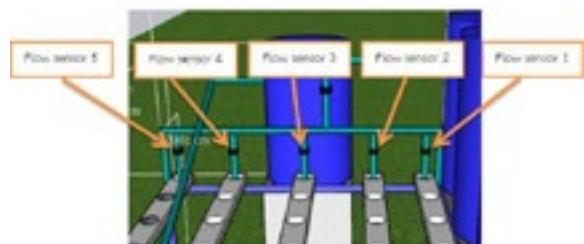
รูปที่ 5 อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนระบบควบคุมโปรแกรมที่ 1

จากรูปที่ 5 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนระบบควบคุมและเซนเซอร์ ต่อไปยังบอร์ดคอมพิวเตอร์และไปยังจอแสดงผล

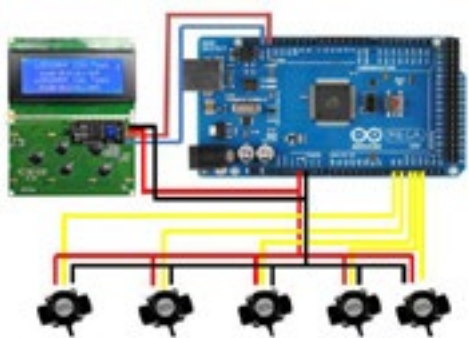


รูปที่ 6 แผนผังการทำงานโปรแกรมที่ 2

จากรูปที่ 6 แสดงแผนผังการทำงานของโปรแกรม โดยเซนเซอร์จะวัดค่าอัตราการไหลของน้ำ และส่งค่าไปยังจอแสดงผล และตำแหน่งการติดตั้ง Flow sensor 1-5 ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ภาพจำลองตำแหน่งติดตั้ง Flow sensor

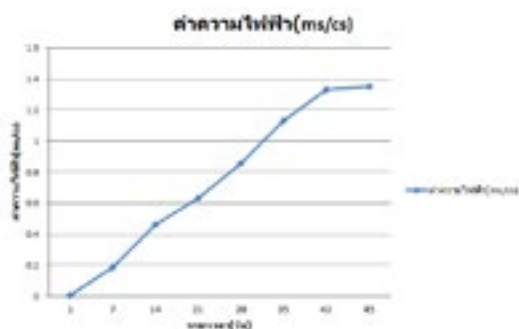


รูปที่ 8 อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนของโปรแกรมที่ 2

จากรูปที่ 8 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนขอโปรแกรมที่ 2 และการต่อเซนเซอร์ ไปยังบอร์ดอาดูโน่ และไปยังจอแสดงผล

4. ผลการวิจัย

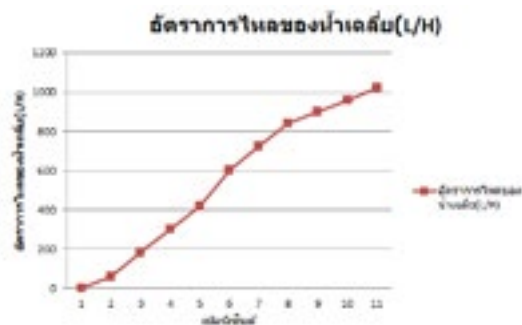
ผลการวัดค่าความนำไฟฟ้าโดยใช้เครื่องวัด EC Meter มาตรฐาน



รูปที่ 9 ปริมาณค่าความนำไฟฟ้า

จากรูปที่ ๙ แสดงกราฟทำการวัดค่าความนำไฟฟ้า ทุกๆ 7 วัน ในระยะเวลา 45 วันจะเห็นได้ว่าค่าความนำไฟฟ้าจะอยู่ที่ 0.0 - 1.3 ms/cs

ผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ปั้มน้ำ BONETER BT 7200 ได้ปริมาณอัตราการไหลของน้ำ 800 ลิตร/ชั่วโมง



รูปที่ 10 ปริมาณอัตราการไหลของน้ำ

จากรูปที่ 10 แสดงผลการทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ปั้มน้ำ SOBO WP-3550 ที่ผ่านการควบคุมโดยมอเตอร์วาล์ว ทดลองวัดอัตราการไหลของน้ำจำนวน 10 ครั้งได้ค่าเฉลี่ยดังกราฟ จะเห็นได้ว่าปริมาณอัตราการไหลที่ 600 ลิตร/ชั่วโมง มอเตอร์วาล์วจะทำงานที่ 60 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อวัดค่าอัตราการไหลของน้ำในแต่ละรางปลูกได้ปริมาณน้ำเฉลี่ยที่ 120 ลิตร/ชั่วโมง

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการทดลอง ค่าความนำไฟฟ้าที่ได้ 0.0 -1.3 ms/cs เมื่อเทียบกับค่าความนำไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการปลูกพืชกรีนโอ๊ค ซึ่งผลที่ได้อยู่ในช่วง 0.0 -1.4 ms/cs เพียงพอต่อความต้องการของกรีนโอ๊ค และการควบคุมอัตราการไหลของน้ำในระบบจากการทดสอบอัตราการไหลของน้ำที่ใช้ปั้มน้ำ BONETER BT 7200 ได้ปริมาณอัตราการไหลของน้ำ 800 ลิตร/ชั่วโมง ตามอัตราการไหลของน้ำที่วันในบ่อปลา อัตราการไหลของน้ำที่ปั้มน้ำ SOBO WP-3550 ที่ผ่านการควบคุมโดยมอเตอร์วาล์ว ทำงานที่ 60 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณอัตราการไหลที่ 600 ลิตร/ชั่วโมง ได้ตามความต้องการของกรีนโอ๊ค ที่รางปลูกอัตราการไหลเฉลี่ยอยู่ที่ 120 ลิตร/ชั่วโมง จากการทดลองทำให้น้ำในบ่อปลาสะอาด และกรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตที่ดี

เพื่อให้พืชกรีนโอ๊คมีการเจริญเติบโตที่ดี และมีคุณภาพมากขึ้นอาจจะต้องปลูกในโรงเรือนที่มีการควบคุมความชื้นและอุณหภูมิ

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง ระบบปลูกพืชกรีนไฮโดรควมคุมกับการเลี้ยงปลาชนิดโดยการควบคุมค่าความนำไฟฟ้าขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนในการแลกเปลี่ยนความรู้ความคิด และทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่อำนวยความสะดวกในด้านห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

ธวัชชัย จารุงศ์วิทยา. (2558). การศึกษาเพื่อตรวจสอบหาความยาวและจำนวนแถวที่เหมาะสมของรางปลูกในการจ่ายน้ำเย็นให้กับการปลูกพืชไฮโดรโปนิกส์. *วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ*, 1(2), 67-74.

สุภาวดี โกยตุลย์. (2559). โครงการการเลี้ยงปลาแบบอควาโปนิกเพื่อเป็นอาชีพทางเลือก (รายงานผลการวิจัย). อยุธยา : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.

พวัน เฟงเซ็ง. (2559). การเลี้ยงปลาร่วมกับการปลูกพืชในระบบอควาโปนิกส์. นครศรีธรรมราช: สำนักวิชาเทคโนโลยีการเกษตรมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

เนตรนภา พิทักษ์หมู่, “การใช้ตะกอนจากบ่อปลาที่เลี้ยงในระบบน้ำหมุนเวียนเพื่อเป็นปุ๋ยในการปลูกพืชแบบไร้ดิน,” *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยระดับชาติ ครั้งที่ 20, TSAE 20, จังหวัดชลบุรี, 14-15 มีนาคม 2562.*

ปฐมพงษ์ กาศสกุล. (2557). ความหนาแน่นที่เหมาะสมของการเลี้ยงปลาชนิดในระบบน้ำหมุนเวียนแบบอควาโปนิกส์. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีการประมง*, 8(1), 23-32.

วรรษยา สมเสมอ. (2561). อควาโปนิกส์เทคโนโลยีการปลูกพืชและเลี้ยงสัตว์น้ำแบบผสมผสาน. สืบค้น 27 เมษายน 2564, จาก https://www.technologychaoban.com/fisherytechnology/article_90156

การพัฒนาระบบบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาคราฟด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง

The Development of a Water Treatment System in a KOI Pond by Solar Energy with a Backup Battery System

ปาริชาติ วงศ์ฉายา¹ ธนากร กาวีละ² วรวิทย์ ใจเที่ยง³ และ นิติพงษ์ สมไชยวงศ์^{4*}

Parichart Wongchaya¹ Thanakon Kaweela² Worawit Jaithiang³
and Nitipong Somchaiwong^{4*}

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย 99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120
Rajamangala University of Technology Lanna Changrai, 99, Moo 10, White Sand, Phan, Chiang Rai, 57120
E-mail: jeabfy@rmu.ac.th, โทรศัพท์ 081-3954399

บทคัดย่อ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาคราฟด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรองขนาด 24V 150Ah โดยประกอบด้วยการวัดค่าพีเอชและค่าออกซิเจนและแบตเตอรี่สำรองให้เหมาะสมต่อการเลี้ยงปลาคราฟโดยใช้เซนเซอร์วัดค่า PH SENSOR และเซนเซอร์วัดออกซิเจน DO SENSOR เซนเซอร์วัดค่าแบตเตอรี่ Voltage Meter Sensor และใช้เซนเซอร์วัดแรงดัน AC 220 V Single Phase Voltage Sensor ผ่านการประมวลผลข้อมูลโดย โดย Arduino Mega 2560 R3 สั่งให้ควบคุมวัดค่าพีเอช 7.0 และออกซิเจน 7.5 ในบ่อน้ำปลาคราฟโดยมีบอร์ดอีเอสพี32 จะเป็นตัวรับส่งข้อมูลผ่านโทรศัพท์มือถือ และยังแสดงค่าที่วัดได้ด้วยจอแอลซีดี

คำสำคัญ: โซลาร์เซลล์, คอนโทรลชาร์จเจอร์, ESP32, เซนเซอร์วัดค่า PH

Abstract

The purpose of this project was to develop a solar KOI pond water treatment system with a backup battery system, consisting of measuring pH and oxygen and a spare battery which was suitable for KOI fish farming. PH SENSOR and oxygen sensor, DO SENSOR, battery sensor, Voltage Meter Sensor, and AC 220 V Single Phase Voltage Sensor were used. Data were collected by Arduino Mega 2560 R3 in order to control pH measurement at 7.0 and 7.5 oxygen in the KOI pond with the ESP-32 board which was a mobile phone transceiver. Moreover, the measured value was shown on the LCD monitor.

Keywords: Solar Cell, Control Charger, ESP32, PH sensor

1. บทนำ

การเลี้ยงปลาคราฟหรือจะสัตว์น้ำอื่นเราจำเป็นจะต้องตรวจสอบคุณภาพของน้ำอยู่เป็นประจำ และเมื่อพบปัญหาน้ำผิดปกติเราก็ต้องรีบควบคุมน้ำเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อปลา (ปรีชา มหาไม้ และคณะ, 2557) ได้สร้างระบบรายงานผลออกซิเจนในน้ำแบบอัตโนมัติสำหรับ เครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ ด้วยการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำแบบไร้สายแบบอัตโนมัติ เพื่อป้องกันการขาดออกซิเจนแบบเฉียบพลัน (เจษฎา อรุณฤกษ์ และคณะ, 2558) ได้ทำการพัฒนาระบบการตรวจวัดค่าคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาวโดยใช้อาตูดูโน่ (Arduino) รับค่าจากเซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ พีเอชเซ็นเซอร์ และออกซิเจนละลายน้ำเซ็นเซอร์ ร่วมกับการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายเพื่อบันทึกข้อมูลค่าคุณภาพน้ำต่างๆ ที่ต้องการควบคุมเพื่อบันทึก และประมวลผลแจ้งเตือนเป็นสัญญาณไฟ หากค่าคุณภาพน้ำมีค่าต่ำหรือสูงเกินกว่าค่าที่ตั้งไว้ (นิตินพงษ์ สมไชยวงศ์ และคณะ, 2559) ได้ทำการออกแบบระบบวัดความเป็นกรด-ด่าง และวัดอุณหภูมิ พร้อมกับควบคุมความเป็นกรด-ด่าง ประกอบด้วยเซ็นเซอร์วัดค่าความเป็นกรด-ด่าง และเซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิ เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดส่งค่าไปยังบอร์ดอาตูดูโน่ในการประมวลผลค่าที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด ไปสั่งการชุดควบคุมความเป็นกรด-ด่าง อัตโนมัติ เมื่อค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าต่ำกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร และระบบควบคุม ค่าออกซิเจนที่เหมาะสมกับการเลี้ยงปลาคราฟอยู่ระหว่าง 6.8 – 7.2 มิลลิกรัม จากงานวิจัยที่ศึกษาจึงได้มีแนวคิด ทำระบบวัด และควบคุมคุณภาพน้ำติดตาม และให้อาหารปลาคราฟผ่านโทรศัพท์มือถือ โดยจะวัดค่าอุณหภูมิความเป็นกรดต่างและออกซิเจนในน้ำสามารถบันทึกข้อมูลไว้เพื่อใช้วิเคราะห์ระบบตรวจวัดว่าค่ากรดต่าง และออกซิเจนอัตโนมัติ โดยใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ พีเอชเซ็นเซอร์ และออกซิเจนเซ็นเซอร์ ใช้บอร์ดอาตูดูโน่เป็นตัวประมวลผล บอร์ดไอเอสพี 32 เป็นตัวรับส่งสัญญาณอินเทอร์เน็ต ไร้สาย และบันทึกลงในโทรศัพท์มือถือ และสามารถรักษาระดับค่า กรด - ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ด้วยระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรองเมื่อระบบไฟฟ้าขัดข้องไม่เกิน 4 ชั่วโมง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ การวัดอุณหภูมิในน้ำ รวมถึง การคำนวณหาภาวะไหลทั้งหมด ในระบบควบคุมคุณภาพน้ำบ่อปลาคราฟ เพื่อนำไปออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง โดยที่ความเป็นกรด - ด่าง ของน้ำ มีความสำคัญอย่างมาก ต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิต ถ้าน้ำมีความเป็นกรด-ด่าง สูง หรือ ต่ำมากเกินไป จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัย ดังตารางที่ 1

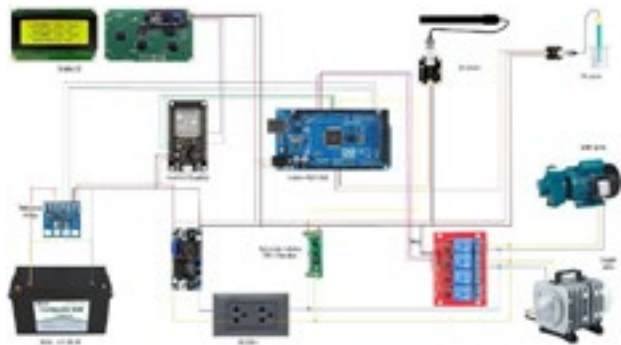
ตารางที่ 1 ความเป็น กรด-ด่าง ที่มีผลต่อสัตว์น้ำ

ความเป็นกรด-ด่าง	ผลต่อสัตว์น้ำ
6.0	- เป็นอันตรายเพราะจะทำให้ปลาตายเพราะสภาพความเป็นกรด
4.0-5.0	- การเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์หยุดยั้ง
5.0-6.5	- การเจริญเติบโตช้า
6.5-9	- ขาดประสิทธิภาพของการเจริญเติบโตของปลา
9.0-11.0	- ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำทำให้มีผลผลิตต่ำและจะเป็นอันตรายถ้าปลาต้องอาศัยอยู่ในเวลานาน
มากกว่า 11.0	- เป็นอันตรายทำให้ปลาตายเพราะสภาพเป็นด่างจัด

ปัจจัยที่สำคัญในการเลี้ยงปลาอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญคือคุณภาพน้ำตลอดระยะเวลาการเลี้ยงปลา จำเป็นต้องควบคุมคุณภาพของน้ำให้ดีอยู่เสมอ มิเช่นนั้นแล้วจะมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา ทำให้ผลผลิตของปลาลดลง ซึ่งสถาบันประมงน้ำจืดแห่งประเทศไทยได้กำหนดเกณฑ์คุณภาพน้ำเพื่อคุ้มครองทรัพยากรสัตว์น้ำจืด ฉบับที่ 75/2530 เพื่อเป็นการกำหนดคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำจืดไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ระดับความเข้มข้นที่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำ
1. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen-DO)	- ไม่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร และไม่เกินกว่า 100% ของระดับอิ่มตัว (saturation level) ในน้ำตามสภาพต่าง ๆ
2. ค่าคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbon dioxide-CO ₂)	- ไม่สูงเกินกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร และควรมีปริมาณออกซิเจนละลายน้ำเพียงพอ
3. ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	- ไม่ต่ำกว่า 5.0 และไม่เกินกว่า 9.0 โดยมีการเปลี่ยนแปลงในสเกลนี้ ไม่ควรเกินกว่า 2.0 หน่วย
4. อุณหภูมิ (Temperature)	- ระหว่าง 23-32 องศาเซลเซียสโดยมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว
5. ความขุ่นมัว (Turbidity)	- ค่าความโปร่งใส (Transparency) อยู่ในระหว่าง 30-60 ซม. - ปริมาณสารแขวนลอยในน้ำ (Suspended Solids) ไม่ควรเกิน 25 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนระบบควบคุม

จากรูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในส่วนระบบควบคุม และการต่ออุปกรณ์ตรวจวัด (เซ็นเซอร์) การต่ออุปกรณ์ทำงาน รักษาสภาพแวดล้อม (ปั๊มน้ำและรีเลย์) และการแสดงผล

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ศึกษาวิธีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่าง และ ออกซิเจนในน้ำ เพื่อทำการออกแบบและสร้างระบบควบคุม ความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาคราฟ คำนวณหากาละลายในในระบบควบคุมคุณภาพน้ำ



รูปที่ 1 โฟลว์ชาร์ตวิธีดำเนินงาน

จากรูปที่ 1 แสดงโฟลว์ชาร์ตวิธีดำเนินงาน การออกแบบและสร้างระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และ ออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาคราฟ และนำมาออกแบบระบบสำรอง ไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบเบตเตอรีสำรอง



รูปที่ 2 บล็อกไดอะแกรมระบบพลังงานแสงอาทิตย์

จากรูปที่ 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบเบตเตอรีสำรอง เพื่อป้องกันระบบไฟฟ้า ชัดข้องโดยใช้ บอร์ด อาร์ดูโน้ ร่วมกับ บอร์ด อิเอสพี 32 ในการ ประมวลผล สัญญาณที่รับมาจาก อุปกรณ์ตรวจวัดค่า แรงดันไฟฟ้าจากระบบจ่ายไฟฟ้า และอุปกรณ์ในการตรวจวัดค่า ความเป็น กรด-ด่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ และค่า อุณหภูมิ ของน้ำ นำมาประมวลผลและสั่งอุปกรณ์ระบบควบคุมคุณภาพ น้ำ ทำตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้



รูปที่ 3 โฟลว์ชาร์ตระบบวัดและควบคุมคุณภาพน้ำ

จากรูปที่ 3 แสดงโพรซาร์ระบบวัดและควบคุมคุณภาพน้ำ โดยการรับค่าจากเซ็นเซอร์จากนั้นนำค่าที่ได้ไปแสดงผลบนหน้าจอแอลซีดี และโทรศัพท์มือถือ และทำการวิเคราะห์ผลเมื่อแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 220 (ไฟฟ้าดับ) ระบบก็จะสลับให้ปั้มน้ำทำงานโดยใช้ไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ขนาด 24V 150Ah และให้ไมโครคอนโทรลเลอร์หน่วงเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากนั้น สลับให้ปั้มน้ำออกซิเจนทำงาน

ออกแบบระบบสำรองไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรองจากภาระโหลดของระบบควบคุมคุณภาพน้ำตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ออกแบบระบบการทำงานเมื่อระบบไฟฟ้าขัดข้อง

จำนวน โพล์/ต่อ ครั้ง	การทำงาน อุปกรณ์	ปริมาณการกร ทำงาน/รอบ	รวมปริมาณ การทำงานต่อ รอบ
ช่วงเวลาที่ 1	ปั้มน้ำ ออกซิเจน	ชม.ที่ 1 ถึง ชม.ที่ 2	2 ชั่วโมง
ช่วงเวลาที่ 2	ปั้มน้ำ	ชม.ที่ 3	1 ชั่วโมง

ภาระโหลดของระบบควบคุมคุณภาพน้ำ

ปั้มน้ำขนาด	400W	1	ตัว
ปั้มน้ำออกซิเจน	120W	1	ตัว
ปริมาณแสงอาทิตย์/วัน		5	ชม.

$$\begin{aligned} \text{ภาระโหลด} &= (400 \times 2) + (120 \times 4) \\ &= 1,280Wh \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณพลังงาน} &= \frac{1,280}{5} \\ &= 256W \end{aligned}$$

เลือกใช้แผงโซลาร์เซลล์ขนาด 24V 330W

$$\text{ขนาดชาร์จเจอร์} = \frac{330}{24} = 13.75A$$

เลือกชาร์จเจอร์ แบบ MPPT ขนาด 30A

$$\begin{aligned} \text{ขนาดแบตเตอรี่} &= \frac{[(400 \times 2) + (120 \times 4)]}{(24V \times 0.6 \times 0.85)} \\ &= 104.57Ah \end{aligned}$$

เมื่อ

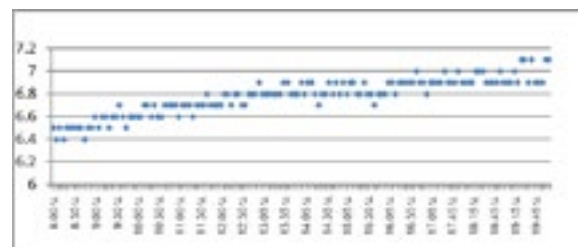
0.6 คือ ร้อยละของการใช้งานกระแสไฟฟ้าแบตเตอรี่

0.85 คือ ประสิทธิภาพของ อินเวอร์เตอร์

เลือกแบตเตอรี่ขนาด 24V 200Ah

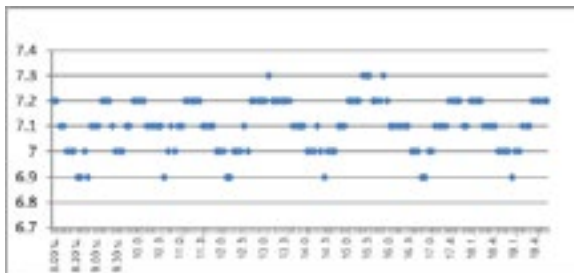
4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาจากงานวิจัย ได้ทำการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาคราฟ เป็น 2 ลักษณะ คือ ทดสอบระบบขณะระบบไฟฟ้าจ่ายพลังงานไฟฟ้าเป็นปกติ และ ทดสอบระบบขณะไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ระบบสำรองไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง



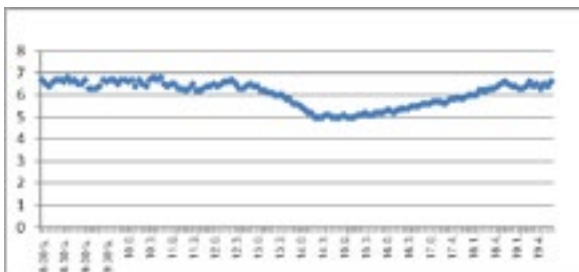
รูปที่ 4 ความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อปลาคราฟ

จากรูปที่ 4 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อปลาคราฟ ตามโพรซาร์รูปที่ 3 ระบบสามารถทำการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วงที่กำหนดได้ โดยระบบทำการตรวจสอบความเป็นกรด-ด่าง ทุก 5 นาที โดยจะค่อยๆ เติมสารละลายในบ่อที่ละน้อยเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดคราฟจากคราฟเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรด-ด่าง จนค่าความเป็นกรด-ด่างที่ค่าทดสอบเฉลี่ยอยู่ที่ 7.1



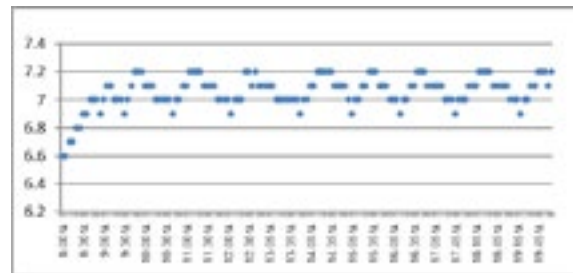
รูปที่ 5 ค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้ระบบสำรองไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง

จากรูปที่ 5 แสดงค่าความเป็นกรด-ด่าง ในบ่อปลาหลัง โดยใช้ระบบสำรองไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง โดยทำงานตามเงื่อนไข ตามรูปที่ 3 และตารางที่ 3 แบ่งช่วงเวลาทำงานของปีมาอากาศ และปีมีระบบน้ำวนสามารถรักษาระดับของค่าความเป็นกรด-ด่าง ให้อยู่ในช่วงทดสอบเฉลี่ยอยู่ที่ 7.1 และสามารถทำงานได้ตามระยะเวลาที่ออกแบบไว้



รูปที่ 6 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อปลากราฟ

จากรูปที่ 6 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในบ่อปลากราฟ โดยทำการควบคุมการทำงานของระบบตามรูปที่ 3 ด้วยการควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำให้มีค่าไม่น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ระบบควบคุมค่าออกซิเจนละลายน้ำ วัดค่าได้น้อยกว่า 7 มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 7 ออกซิเจนละลายน้ำในบ่อปลากราฟ โดยใช้ระบบสำรองไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง

จากรูปที่ 7 ค่าออกซิเจนในน้ำหลังจากการเติมออกซิเจนเมื่อมีการเติมออกซิเจนลงไปในน้ำโดยใช้ระบบควบคุมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลากราฟจะเห็นได้ว่าค่าออกซิเจนอยู่ระหว่าง 6.8 ถึง 7.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 7.02 มิลลิกรัมต่อลิตร และสามารถทำงานได้ตามระยะเวลาที่ออกแบบไว้

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง การตรวจวัดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ การวัดอุณหภูมิในน้ำ รวมถึง การคำนวณหาภาระโหลดทั้งหมด ในระบบควบคุมคุณภาพน้ำบ่อปลากราฟ เพื่อนำไปออกแบบระบบพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง โดยผลของการควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง และออกซิเจนละลายน้ำ ระบบสามารถควบคุมให้ค่าอยู่ในช่วงที่กำหนดได้เป็นอย่างดี ด้วยการเติมสารละลายกรด-ด่าง และการสั่งการทำงานของปั๊มเติมอากาศ และในส่วนของ การคำนวณเพื่อออกแบบระบบสำรองไฟฟ้าด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรอง โดยทำงานตามเงื่อนไข ตามตารางที่ 3 ผลที่ได้ระบบสามารถทำงานควบคุมตามระยะเวลาได้ ก่อนติดตั้งระบบเมื่อไฟฟ้าดับค่ากรด-ด่างที่วัดได้จะลดต่ำลง หลังติดตั้งระบบค่าที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นจนถึงระดับมาตรฐาน

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการเรื่อง การพัฒนาระบบบำบัดน้ำในบ่อเลี้ยงปลาคราฟด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีระบบแบตเตอรี่สำรองขอขอบคุณบุคคลที่ช่วยแลกเปลี่ยนความรู้ความคิด และทางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย ที่อำนวยความสะดวกในด้านห้องปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- เกียรติศักดิ์ ชินาภาช. (2548). เครื่องควบคุมระดับค่าPHแบบอัตโนมัติสำหรับบ่อเลี้ยงกุ้งก้ามกราม, (วิทยานิพนธ์).
กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- เจษฎา อรุณฤกษ์ และคณะ. (2557). การพัฒนาระบบการตรวจวัดคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงกุ้งขาว การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เชียงใหม่, ครั้งที่ 7, 177-181.
- ปริญญา ประชุมของ และอานนท์ แก้วสีส. (2562).การออกแบบและสร้างระบบวัดและควบคุมคุณภาพน้ำติดตามและให้อาหารปลาคราฟ ผ่านโทรศัพท์มือถือ (ปริญญาานิพนธ์).
เชียงราย: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

การพัฒนาเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย
กรณีกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านสันกอกเก็ต

Development of Longan Cracker Sheet Drying Machine

:In the Case of Agricultural Product Processing Group at Ban San Goket

จรัสศักดิ์ ปัญญา^{1*} และ ธวัชชัย อุ่นใจจอม²

Jirasak Panya^{1*} and Thawatchai Ounjaijom²

^{1,2} สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

^{1,2} Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai

128 Huay Kaew Road, Chang Phueak, Muang, Chiang mai, 50300

*E-mail: j_panya@yahoo.co.th เบอร์โทรศัพท์ 0867311729

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย โดยการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยให้สามารถอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียของแผ่นข้าวเกรียบลำไยที่ผ่านการอบแห้ง โดยดำเนินการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยซึ่งใช้เตาแก๊สอินฟราเรดขนาด 6.3 kW เป็นแหล่งให้ความร้อน และใช้พัดลมเป่าอากาศแบบใบพัดโค้งหน้า อัตราการไหลเท่ากับ $0.47 \text{ m}^3/\text{s}$ ขนาดมอเตอร์ 0.375 kW อบแห้งได้สูงสุดครั้งละ 20 kg หลังจากนั้นทดสอบอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยจำนวน 10 kg ความชื้นเริ่มต้น 86 – 92 % d.b อบแห้งจนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 8 - 10 % d.b ผลการทดสอบ พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง คือ $70 \text{ }^\circ\text{C}$ ใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย 6.46 MJ/kg เครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบได้นำไปใช้งานที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านสันกอกเก็ต ส่งผลทำให้กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบลำไยมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งลดลง 13.96 บาท/kg และมีระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 168 รอบการอบ

คำสำคัญ : การอบแห้ง ข้าวเกรียบลำไย หัวเตาอินฟราเรด

ABSTRACT

The objective of this research is to develop the drying processing of longan cracker sheets by improving and developing a longan cracker sheet drying machine to be able to dry longan cracker sheets efficiently and reduce the loss of the dried longan cracker sheet. The design and construction of a drying machine using a 6.3 kW infrared gas stove as a heat source. Using a curved blade fan blower, flow rate $0.47 \text{ m}^3/\text{s}$, motor size 0.375 kW, and drying rate up to 20 kg per time. After that, the dried longan cracker sheet dried 10 kg, initial humidity 86-92 % dry basic, dried until the remaining moisture content was about 8 - 10% dry basic. The results showed that the optimum drying temperature was $70 \text{ }^\circ\text{C}$, drying time 3 hours, average specific energy consumption 6.46 MJ/kg . The drying machine is used at community

enterprise, agricultural product processing group, Ban San Goket. As a result, the processing of longan cracker products has become more efficient. Drying costs are reduced by 13.96 baht/kg and have a payback period of 168 cycles.

Keyword: Drying, Longan cracker, Infrared heating

1. บทนำ

วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร บ้านสันกอเกิด เลขที่ 65/4 ม. 10 ต.บ้านกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ดำเนินกิจการเกี่ยวกับการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร โดยผลิตภัณฑ์หลักของทางกลุ่มฯ คือ ข้าวเกรียบลำไย ซึ่งได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก และยังได้รับการคัดสรรในระดับ OTOP 4 ดาว เมื่อปี พ.ศ. 2553

กระบวนการผลิตข้าวเกรียบมีขั้นตอนเริ่มตั้งแต่การนำส่วนผสม เช่น ผลไม้ต่างๆ พริกไทย เกลือ และกระเทียมมาโขลกและปั่นรวมกันให้ละเอียดแล้วผสมน้ำนำไปต้มให้เดือด หลังจากนั้นนำไปคลุกเคล้ากับแป้งสาลี เสร็จแล้วนำเข้าเครื่องนวดประมาณ 30-40 นาที จากนั้นปั่นให้เป็นแท่งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 มม ความยาวประมาณ 200 มม แล้วนำไปนึ่งประมาณ 1 ชั่วโมง เมื่อสุกแล้วนำมาผึ่งลมไว้ให้เย็นตัวประมาณ 10 ชั่วโมง จากนั้นนำไปแช่แข็งอีกประมาณ 40 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำมาผานเป็นแผ่นและนำไปอบไล่ความชื้นเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการทอดต่อไป จากกระบวนการผลิตข้าวเกรียบที่กล่าวมาข้างต้น พบว่ามีปัญหาในส่วนของขั้นตอนการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ เนื่องจากตู้อบแห้งแผ่นข้าวเกรียบที่ทางกลุ่มฯ ใช้ในปัจจุบันเป็นลักษณะตู้อย่างง่าย ด้านล่างของตู้อบแห้งใช้เตาอั้งโล่เป็นแหล่งให้ความร้อน แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบได้ ส่งผลทำให้แผ่นข้าวเกรียบที่ผ่านการอบแห้งไม่มีคุณภาพตามที่ต้องการ เนื่องจากความร้อนภายในตู้อบแห้งไม่สม่ำเสมอ แผ่นข้าวเกรียบที่อยู่ในภาคด้านล่างจะได้รับความร้อนมากจนบางครั้งแผ่นข้าวเกรียบเกิดการไหม้ ส่วนแผ่นข้าวเกรียบที่อยู่ในภาคด้านบนจะไม่ค่อยได้รับความร้อน ทำให้แผ่นข้าวเกรียบที่ผ่านการอบแห้งบางส่วนยังมีความชื้นสูงอยู่ บางส่วนแตกกรอบหรือไหม้ ส่งผลทำให้เกิดการสูญเสียในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบลำไย ถึงแม้ว่าทางกลุ่มฯ จะพยายามแก้ไขปัญหานี้โดยการจ้างคนงานคอยเติมถ่านในเตาอั้งโล่และคอยสลับถาดบรรจุแผ่นข้าวเกรียบเพื่อพยายามทำให้ความชื้นของแผ่นข้าวเกรียบสม่ำเสมอให้มากที่สุด แต่ถึงอย่างไรก็ตามก็ยังมีแผ่นข้าวเกรียบที่ไม่ได้คุณภาพหลงเหลืออยู่เฉลี่ยประมาณ 6.4 % โดยการอบแห้งในแต่ละ

ครั้งจะใช้เวลาประมาณ 6-8 ชั่วโมง ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเฉลี่ย 16.60 บาทต่อกิโลกรัม



รูปที่ 1 ตู้อบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ

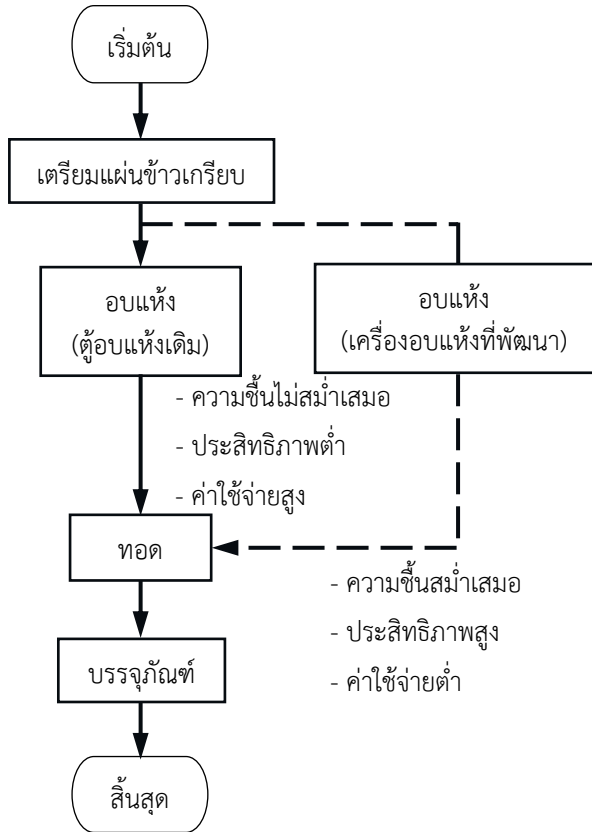
จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าความร้อนภายในตู้อบแห้งมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์สอดคล้องกับการศึกษาของวรวิทย์ ซึ่งพบว่าการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบแป้งข้าวผสมแคโรทาล์ใช้อุณหภูมิที่ต่ำกว่า 55 °C จะทำให้ต้องใช้เวลาในการอบแห้งนาน ส่งผลทำให้อัตราการพองตัวของแผ่นข้าวเกรียบยิ่งต่ำลง (วรวิทย์, 2552) สอดคล้องกับศรายุทธ์ และกุลพร ซึ่งได้ทำการศึกษาอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบหอยนางรมดิบจากความชื้นเริ่มต้น 73.64 % d.b จนเหลือความชื้นสุดท้าย 11.37 % ทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C 60 °C และ 70 °C ซึ่งพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบหอยนางรม คือ 70 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง (ศรายุทธ์ และกุลพร, 2558) ใกล้เคียงกับสมเกียรติซึ่งได้ทำการศึกษาอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบปลาจากความชื้นเริ่มต้น 50 %d.b จนเหลือความชื้นสุดท้าย 15.7 % ซึ่งพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบปลา คือ 60 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 30 นาที (สมเกียรติ, 2558) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบมีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยขึ้นอยู่กับส่วนผสมของแผ่นข้าวเกรียบแต่ละชนิด และยังไม่มีการศึกษาการอบแห้งข้าวเกรียบลำไย

ดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้นจึงได้ดำเนินการพัฒนาเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนากระบวนการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย โดยใช้วิธีการให้ความร้อนแก่แผ่นข้าวเกรียบภายในตู้อบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพ ลดความสูญเสียและลดต้นทุนในกระบวนการอบแห้ง และศึกษาหาอุณหภูมิที่เหมาะสมและระยะเวลาในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรอบแนวคิดและสมมติฐานการวิจัย

1. เมื่อเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบได้รับการปรับปรุงจะทำให้ลดการสูญเสียและลดค่าใช้จ่ายในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ ส่งผลทำให้กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยฝั่งการพัฒนากระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวเกรียบลำไย แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ฝั่งการพัฒนากระบวนการแปรรูป

2. อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบทั่วไป คืออยู่ในช่วง 60 °C-70 °C

2.2 การอบแห้ง (สั๊กมม, 2555)

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน โดยทั่วไปแล้วจะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นมาตรฐานแห้ง หาได้ดังสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \times 100 \quad (1)$$

และ

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก (% w.b)

M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b)

w คือ มวลของวัสดุเปียก (kg)

d คือ มวลของวัสดุแห้ง (kg)

อัตราการอบแห้ง หาได้ดังสมการที่ (3)

$$DR = \frac{m_w}{t} \quad (3)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/hr)

m_w คือ มวลของน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ (kg)

t คือ เวลาที่ใช้ในการระเหยน้ำ (hr)

ส่วนการคำนวณหาค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ หาได้ดังสมการที่ (4)

$$SEC = \frac{E}{m_w} \quad (4)$$

เมื่อ SEC คือ การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg)

E คือ พลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง (MJ)

2.3 ค่าความร้อน (มนตรี, 2550)

ความร้อนสัมผัส คือ ค่าความร้อนที่ต้องใช้เพื่อเพิ่มหรือลดอุณหภูมิของวัสดุ หาได้ดังสมการที่ (5)

$$Q_s = mC\Delta T \quad (5)$$

เมื่อ Q_s คือ ความร้อนสัมผัส (kJ)

m คือ มวลของวัสดุ (kg)

C คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (kJ/kg °C)

ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิ (°C)

ส่วนความร้อนแฝง คือ ค่าความร้อนที่ต้องใช้เพื่อทำให้ของเหลวกลายเป็นไอ หาได้ดังสมการที่ (6)

$$Q_L = m_w L \quad (6)$$

เมื่อ Q_L คือ ความร้อนแฝง (kJ)

m_w คือ มวลของน้ำ (kg)

L คือ ค่าความร้อนแฝงจำเพาะ (kJ/kg)

2.4 การถ่ายเทความร้อน (ธนาคม, 2547)

การนำความร้อน คือ การส่งผ่านความร้อนจากจุดที่มีอุณหภูมิสูงไปยังจุดที่มีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งสามารถหาอัตราการส่งผ่านความร้อนด้วยการนำความร้อน ได้ดังสมการที่ (7)

$$q_{cd} = kA \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta x} \quad (7)$$

เมื่อ q_{cd} คือ อัตราการส่งผ่านความร้อนด้วยการนำความร้อน (W)

k คือ สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^\circ C$)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของวัตถุ (m^2)

$(T_2 - T_1)$ คือ ผลต่างอุณหภูมิที่ปลายวัตถุสองด้าน ($^\circ C$)

x คือ ความหนาของวัตถุ (m)

การพาความร้อน คือ การส่งผ่านความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหลเมื่อผิวของแข็งและของไหลนั้นมีอุณหภูมิต่างกัน ซึ่งสามารถหาอัตราการส่งผ่านความร้อนด้วยการพาความร้อน ได้ดังสมการที่ (8)

$$q_{cv} = hA(T_w - T_\infty) \quad (8)$$

เมื่อ q_{cv} คือ อัตราการส่งผ่านความร้อนด้วยการพาความร้อน (W)

h คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน ($W/m^2^\circ C$)

A คือ พื้นที่ผิวของวัตถุที่สัมผัสกับของไหล (m^2)

T_w คือ อุณหภูมิผิวของวัตถุ ($^\circ C$)

T_∞ คือ อุณหภูมิของของไหล ($^\circ C$)

การแลกเปลี่ยนความร้อน คือ การถ่ายเทความร้อนของของไหลชนิดหนึ่งไปยังของไหลอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ดังสมการที่ (9)

$$q = UA\Delta T_{overall} \quad (9)$$

เมื่อ q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (W)

U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ($W/m^2^\circ C$)

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อน (m^2)

$\Delta T_{overall}$ คือ ผลต่างอุณหภูมิที่เหมาะสมเฉลี่ยระหว่างสองของเหลว ($^\circ C$)

2.5 การสุ่มตัวอย่าง

การสุ่มตัวอย่างเป็นการช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการวิจัย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้การเลือกกลุ่ม

ตัวอย่างแบบเจาะจง โดยสามารถหาขนาดของกลุ่มตัวอย่างได้ดังสมการที่ (10) (Yamane, 1970)

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (10)$$

เมื่อ n คือ ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

N คือ ขนาดของประชากร

e คือ ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

2.6 จุดคุ้มทุน (ไพบูลย์, 2548)

จุดคุ้มทุน คือ จุดที่รายรับเท่ากับรายจ่าย หรืออีกนัยหนึ่งก็คือกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง ซึ่งสามารถหารระยะเวลาคืนทุนได้ดังสมการที่ (11)

$$0 = -P + A(P/A, i\%, n) + F(P/F, i\%, n_1) \quad (11)$$

เมื่อ P คือ ต้นทุนเครื่องจักร (บาท)

A คือ รายได้สุทธิจากเครื่องจักร (บาทต่อปี)

F คือ มูลค่าซากเครื่องจักร (บาท)

n คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

n_1 คือ อายุการใช้งานเครื่องจักร (ปี)

$(P/A, i\%, n)$ คือ single Payment compound amount factor

$(P/F, i\%, n_1)$ คือ single Payment present worth factor

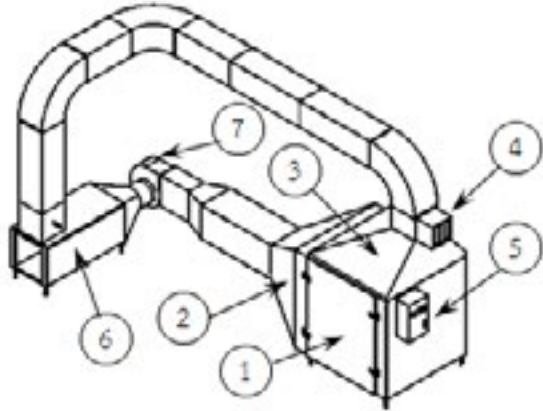
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

จากการสัมภาษณ์ประธานวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านสันกอกเกิด ได้ข้อมูล คือ ปริมาณการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยครั้งละ 10 kg ในอนาคตอาจจะเพิ่มขึ้นเป็น 20 kg แผ่นข้าวเกรียบมีความยาวประมาณ 50 mm ความหนาประมาณ 2 mm และจากมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ข้าวเกรียบ (มผช.107/2554) ระบุไว้ว่าความชื้นของแผ่นข้าวเกรียบดิบจะต้องไม่เกิน 12 % db. และจากการทดลองนำแผ่นข้าวเกรียบลำไยไปหาค่าความชื้นเริ่มต้น พบว่า มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 86 - 92 % d.b

3.2 ออกแบบเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย

ส่วนประกอบหลักของเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ ประกอบด้วย ตู้อบ ห้องเผาไหม้ พัดลมเป่าอากาศ และกล่องควบคุม รายละเอียดแสดงดังรูปที่ 3



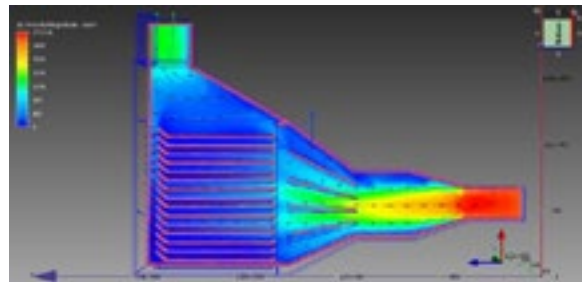
รูปที่ 3 ส่วนประกอบของเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| หมายเลข 1 ตู้อบ | หมายเลข 2 ท่อลมเข้า |
| หมายเลข 3 ท่อลมกลับ | หมายเลข 4 ลินอากาศทิ้ง |
| หมายเลข 5 กล่องควบคุม | หมายเลข 6 ห้องเผาไหม้ |
| หมายเลข 7 พัดลมเป่าอากาศ | |

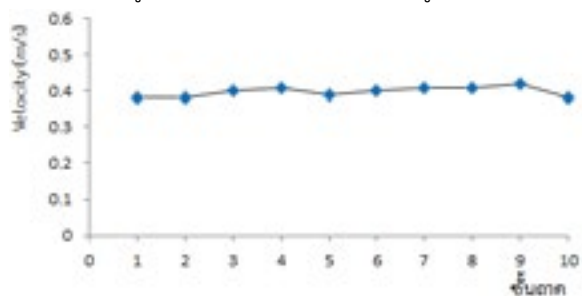
แนวคิดการทำงานของเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ คือ ในห้องเผาไหม้จะใช้เตาแก๊สอินฟราเรดเป็นแหล่งให้ความร้อนแก่อากาศ ซึ่งพัดลมเป่าอากาศจะดูดอากาศจากภายนอกเข้ามาในห้องเผาไหม้ส่งผลให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากนั้นอากาศร้อนจะไหลเข้าไปภายในตู้อบเพื่อทำการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ โดยอากาศร้อนจะไหลผ่านไปตามชั้นของถาดที่วางไว้แต่ละชั้นและไหลออกสู่ภายนอกตู้อบ อากาศที่ไหลออกจากตู้อบจะถูกระบายทิ้งบางส่วนที่ ลินอากาศทิ้ง อากาศส่วนที่เหลือจะวนกลับไปยังห้องเผาไหม้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ การควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบจะใช้เซนเซอร์วัดอุณหภูมิคอยตรวจสอบอุณหภูมิภายในตู้อบ ถ้าอุณหภูมิภายในตู้อบต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ เซนเซอร์อุณหภูมิจะส่งสัญญาณให้ชุดควบคุมโซลินอยด์ วาล์วเปิดแก๊ส เพื่อจ่ายแก๊สเข้าสู่หัวเตาแก๊สทำให้เกิดการเผาไหม้ขึ้นภายในห้องเผาไหม้ ส่งผลทำให้อุณหภูมิในตู้อบสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบสูงกว่าค่าที่ตั้งไว้ ชุดควบคุมอุณหภูมิจะส่งสัญญาณให้โซลินอยด์วาล์วปิดแก๊ส ซึ่งระบบจะทำงานเป็นวัฏจักรจนกระทั่งการอบแห้งเสร็จสิ้น

ออกแบบตู้อบ การออกแบบตู้อบโดยคำนึงถึงการกระจายลมร้อนภายในตู้อบ และความสามารถในการ

อบแห้งแผ่นข้าวเกรียบให้ได้ปริมาณตามที่ต้องการ โดยใน ส่วนของตู้อบที่ได้ทำการออกแบบมีขนาดความกว้าง 1.2 m ความยาว 1.2 m และความสูง 1.4 m จำนวนชั้นสำหรับวางถาดใส่แผ่นข้าวเกรียบ จำนวน 10 ชั้น มีการติดตั้งท่อลมเข้าซึ่งเป็นท่อแบบปากขยายออกมีครีบบังคับทิศทางลมทั้งในแนวระดับและแนวตั้ง จำลองการกระจายลมร้อนภายในตู้อบโดยเปลี่ยนตำแหน่งจุดศูนย์กลางท่อลมเข้า 4 กรณี คือ อยู่ตรงจุดศูนย์กลางตู้อบ ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางตู้อบ 85 mm ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางตู้อบ 175 mm และต่ำกว่าจุดศูนย์กลางตู้อบ 260 mm โดยใช้ระเบียบวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (ปราโมทย์, 2559) ซึ่งได้ผลการจำลองการกระจายลมร้อนภายในตู้อบที่เหมาะสม คือ ตำแหน่งต่ำกว่าจุดศูนย์กลางตู้อบ 85 mm เนื่องจากความเร็วลมในแต่ละชั้นมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 9.5 % แสดงดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 เพื่อให้มั่นใจว่าการกระจายลมร้อนภายในตู้อบในแต่ละชั้นจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 4 การกระจายลมภายในตู้อบ



รูปที่ 5 ค่าความเร็วอากาศแต่ละชั้นภายในตู้อบ

ออกแบบห้องเผาไหม้ ห้องเผาไหม้ของเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบมีหน้าที่ในการให้ความร้อนแก่อากาศที่จะถูกส่งเข้าไปอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบภายในตู้อบ แหล่งความร้อนที่เลือกใช้ คือ หัวเตาแก๊สอินฟราเรด ซึ่งหัวเตาแก๊สอินฟราเรดจะต้องมีค่าความร้อนที่เพียงพอกับค่าความร้อนรวมของตู้อบ ซึ่งประกอบด้วย ค่าความร้อนที่ต้องใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิและระเหยน้ำออกจากแผ่นข้าวเกรียบ

ความร้อนที่ต้องใช้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของอุปกรณ์ตู้อบ ความร้อนสูญเสียผ่านผนังตู้อบ เป็นต้น

ออกแบบพัดลมเป่าอากาศ พัดลมเป่าอากาศมีหน้าที่จ่ายอากาศร้อนเข้าไปในตู้อบและดูดอากาศกลับมายังห้องเผาไหม้ซึ่งจะทำงานเป็นวัฏจักรจนสิ้นสุดกระบวนการอบแห้ง พัดลมเป่าอากาศที่เลือกใช้จะต้องมีค่าความดันสถิตและความสามารถในการสร้างอัตราการไหลได้ตามที่ต้องการ โดยเลือกใช้ความความเร็วอากาศเหนือถาดบรรจุแผ่นข้าวเกรียบอยู่ในช่วง 0.4-0.6 m/s สอดคล้องกับการศึกษาของเสริมพงษ์ ซึ่งพบว่า ความเร็วอากาศเหนือถาดบรรจุที่เหมาะสมในการอบแห้งวัตถุดิบประเภทอาหารทั่วไปอยู่ในช่วง 0.4-0.7 m/s (เสริมพงษ์, 2548)

3.3 สร้างเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ หลังจากที่ได้ออกแบบเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบเรียบร้อยแล้ว ก็ดำเนินการสร้างและประกอบตามแบบที่ได้กำหนด

3.4 ทดสอบการกระจายความร้อนภายในตู้อบ

การทดสอบการกระจายความร้อนภายในตู้อบในแต่ละชั้นถาด มีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1. ติดตั้ง Data logger และเทอร์โมคัปเปิล Type K ที่ถาดบรรจุแผ่นข้าวเกรียบแต่ละชั้นถาด จำนวน 10 ชั้น
2. เปิดชุดควบคุมเครื่องอบแห้งและตั้งค่าอุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 50 °C
3. เมื่อเครื่องอบแห้งทำงานจนอุณหภูมิที่ชั้นถาดที่ 1 ใกล้เคียงกับ 50 °C อ่านค่าอุณหภูมิในแต่ละชั้นถาด
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2-3 อีกจำนวน 2 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.5 ทดสอบอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย

การทดสอบอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมและระยะเวลาในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย ซึ่งมีขั้นตอนการทดสอบ ดังนี้

1. จัดวางแผ่นข้าวเกรียบลงบนถาดตะแกรง ถาดละ 1 kg จำนวน 10 ถาด ให้แผ่นข้าวเกรียบกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 6 หลังจากนั้นนำถาดที่บรรจุแผ่นข้าวเกรียบแล้วเข้าตู้อบแห้ง



รูปที่ 6 การจัดวางแผ่นข้าวเกรียบลงบนถาดตะแกรง

2. เปิดชุดควบคุมเครื่องอบแห้งและตั้งค่าอุณหภูมิในการอบแห้งเท่ากับ 50 °C พร้อมทั้งเริ่มจับเวลา
3. เมื่อเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบทำงานครบ 0.5 ชั่วโมง ทำการชั่งน้ำหนักของแผ่นข้าวเกรียบเพื่อหาค่าความชื้น หลังจากนั้นบันทึกค่าความชื้นของแผ่นข้าวเกรียบปริมาณแก๊สและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้
4. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ทุกๆ 0.5 ชั่วโมง จนกว่าความชื้นของแผ่นข้าวเกรียบจะอยู่ในช่วง 8-10 % d.b
5. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 – 4 อีกจำนวน 2 ครั้ง
6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 – 5 โดยปรับเปลี่ยนการตั้งค่าอุณหภูมิการอบแห้งเป็น 55 °C 60 °C 65 °C และ 70 °C ตามลำดับ
7. วิเคราะห์หาอุณหภูมิที่เหมาะสมและระยะเวลาในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย
8. ทดสอบหาคุณภาพของแผ่นข้าวเกรียบ (แผ่นข้าวเกรียบไม่แตกกรอบหรือไหม้) เลือกแผ่นข้าวเกรียบที่ผ่านการอบแห้งจากรอบการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้ง ใช้กลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม ตามจำนวนการอบแห้งซ้ำ 3 ครั้ง ขนาดของกลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 5.56 kg
9. วิเคราะห์ต้นทุนที่ใช้ในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการสร้างเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ

อุปกรณ์ประกอบหลักของเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ แสดงดังรูปที่ 7 และเมื่อนำมาประกอบเข้าด้วยกันก็จะได้เครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ แสดงดังรูปที่ 8



(ก) ตู้อบ



(ข) ลี้นอากาศทิ้ง



(ค) ท่อลมเข้า-ออก



(ง) ท้องเผาไหม้

รูปที่ 7 อุปกรณ์ประกอบของเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ



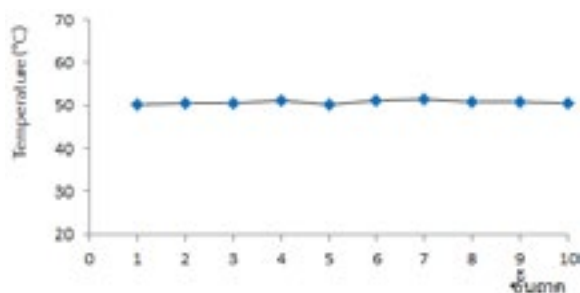
อุปกรณ์หลัก	รายละเอียด
ตู้อบแห้ง	กว้าง 1.2 m ยาว 1.2 m สูง 1.4 m
พัดลมเป่าอากาศ	อัตราการไหล 0.47 m ³ /s , 0.375 kW
เตาแก๊สอินฟราเรด	6.3 kW

รูปที่ 8 เครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ

4.2 ผลการทดสอบการกระจายความร้อนภายใน

ตู้อบ

ผลการกระจายความร้อนภายในตู้อบในแต่ละชั้น
ถาด แสดงดังรูปที่ 9

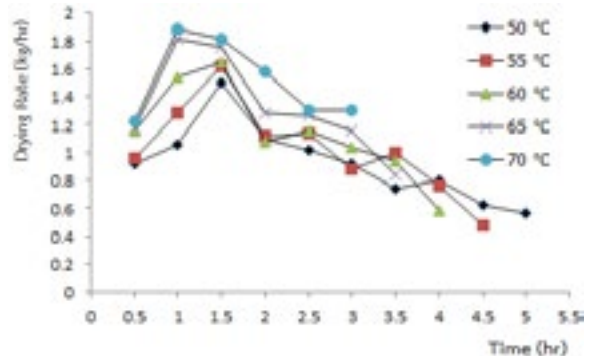


รูปที่ 9 อุณหภูมิในแต่ละชั้นถาดภายในตู้อบ

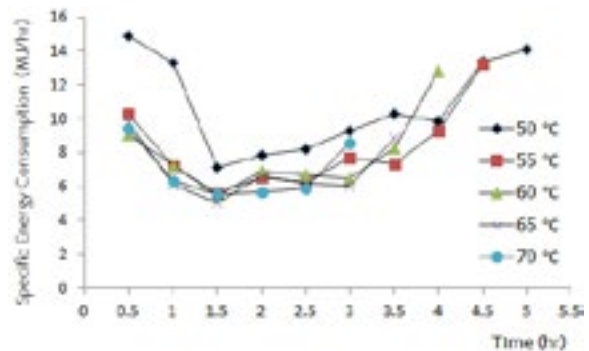
จากการพิจารณารูปที่ 9 พบว่า อุณหภูมิในแต่ละชั้น
ถาดมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีความแตกต่างกันสูงสุดเพียง 2.4
% สอดคล้องกับผลการจำลองการกระจายลมร้อนภายใน
ตู้อบ แสดงให้เห็นว่าการกระจายความร้อนภายในตู้อบในแต่ละ
ชั้นถาดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

4.3 ผลการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย

จากผลการทดสอบการทำงานของเครื่องอบแห้ง
แผ่นข้าวเกรียบ ซึ่งได้ความความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการ
อบแห้งกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง แสดงดังรูปที่ 10 และ
ความความสัมพันธ์ระหว่างการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ
กับเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลา



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างการสิ้นเปลืองพลังงาน

จำเพาะกับเวลา

หมายเหตุ ความคลาดเคลื่อนของการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์
โมคัปเปิล Type K เท่ากับ ± 1.5 °C

จากการพิจารณารูปที่ 10 พบว่า แนวโน้มอัตราการ
อบแห้งเป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ในช่วงเริ่มต้น
จนถึงชั่วโมงที่ 0.5 อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว
เนื่องจากแผ่นข้าวเกรียบยังคงมีความชื้นสูง น้ำที่อยู่ใน
แผ่นข้าวเกรียบสามารถถ่ายเทไปที่ผิวของแผ่นข้าว
เกรียบได้ดีในอัตราที่เท่ากับน้ำที่ระเหยออกจากแผ่นข้าว

เกรียบ อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง ชั่วโมงที่ 1.5 สำหรับการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C 55 °C และ 60 °C ส่วนการอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 °C และ 70 °C อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง ชั่วโมงที่ 1 หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะเริ่มลดลงเรื่อยๆ จนสิ้นสุดการอบแห้ง เนื่องจากว่าความชื้นของแผ่นข้าวเกรียบเริ่มลดลงส่งผลทำให้การถ่ายเทน้ำไปที่ผิวของแผ่นข้าวเกรียบได้ช้ากว่าการระเหยน้ำออกจากแผ่นข้าวเกรียบ โดยที่อุณหภูมิการอบแห้ง 50 °C 55 °C 60 °C 65 °C และ 70 °C มีค่าอัตราการอบแห้งสูงสุดเท่ากับ 1.50 kg/hr 1.62 kg/hr 1.65 kg/hr 1.82 kg/hr และ 1.88 kg/hr ตามลำดับ ส่วนค่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 2

จากการพิจารณารูปที่ 11 พบว่า ในช่วงเริ่มต้นจนถึง ชั่วโมงที่ 0.5 ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะค่อนข้างสูง เนื่องจากต้องใช้พลังงานมากในการลดความชื้นแผ่นข้าวเกรียบและต้องให้ความร้อนกับอุปกรณ์ภายในตู้อบในช่วงเวลาเริ่มต้นของการอบแห้ง หลังจากนั้นการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะเริ่มลดลงและมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงน้อยเพราะการระเหยน้ำออกจากผิวของแผ่นข้าวเกรียบเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ และค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะจะเพิ่มขึ้นอีกครั้งเมื่อใกล้ถึงเวลาสิ้นสุดการอบแห้ง เนื่องจากแผ่นข้าวเกรียบเหลือค่าความชื้นน้อยมาก จึงต้องใช้พลังงานมากเพื่อที่จะพยายามลดความชื้นที่เหลืออยู่ภายในแผ่นข้าวเกรียบออกมา โดยที่ค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราการอบแห้งเฉลี่ยและการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยในการอบแห้ง

อุณหภูมิ (°C)	เวลาที่ใช้อบแห้ง (hr)	DR (kg/hr)	SEC (MJ/kg)
50	5	0.92	10.31
55	4.5	1.02	7.53
60	4	1.14	7.44
65	3.5	1.33	6.69
70	3	1.52	6.46

จากการพิจารณาตารางที่ 1 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการอบแห้ง อัตราการอบแห้งเฉลี่ยจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

แต่การสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยมีแนวโน้มที่จะน้อยลง ดังนั้นสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบ คือ 70 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวมีอัตราการอบแห้งเฉลี่ยสูงสุด และยังมีค่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเฉลี่ยน้อยที่สุด ส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบน้อยตามไปด้วย

4.4 ผลการทดสอบคุณภาพของแผ่นข้าวเกรียบ

จากการทดสอบคุณภาพของแผ่นข้าวเกรียบที่ผ่านการอบแห้ง พบว่า ไม่มีแผ่นข้าวเกรียบที่แตกกรอบหรือไหม้เลย เนื่องจากภายในตู้อบมีการควบคุมอุณหภูมิและมีการกระจายความร้อนอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งสามารถลดการสูญเสียในขั้นตอนการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยได้

4.5 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้ง

จากการวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยด้วยเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมาเทียบกับการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งเดิม โดยคิดที่การอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบครั้งละ 20 kg ซึ่งพบว่าการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งเดิมจะมีต้นทุนในการอบแห้งซึ่งรวมค่าเชื้อเพลิงและค่าจ้างคนงานเท่ากับ 332 บาท/ครั้ง (16.60 บาท/kg) ส่วนต้นทุนในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมาซึ่งรวมค่าไฟฟ้าและค่าเชื้อเพลิงเท่ากับ 52.8 บาท/ครั้ง (2.64 บาท/kg) ซึ่งค่าใช้จ่ายในการอบแห้งลดลง 13.96 บาท/kg สาเหตุที่ค่าใช้จ่ายในการอบแห้งด้วยตู้อบแห้งเดิมมีค่าสูงนั้นเนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจ้างคนงานคอยควบคุมตู้อบแห้ง และเมื่อพิจารณาในส่วนของระยะเวลาคืนทุน ซึ่งต้นทุนในการสร้างเครื่องอบแห้งเท่ากับ 45,000 บาท อายุการใช้งาน 10 ปี มูลค่าซาก 1,000 บาท ปริมาณการอบแห้งครั้งละ 20 kg พบว่า ระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 168 รอบการอบเป็นต้นไป

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยในส่วนของคุณภาพที่ที่เหมาะสมในการอบแห้ง จากสมมติฐานที่ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบทั่วไป คืออยู่ในช่วง 60 °C - 70 °C

ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย คือ 70 °C และใช้เวลาในการอบแห้ง 3 ชั่วโมง สอดคล้องกับผลการศึกษาของศรายุทธ์ และกุลพร (ศรายุทธ์ และกุลพร, 2558) ซึ่งพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบหอยนางรมดิบ คือ 70 °C เนื่องจากความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายในกรณีการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไยและการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบหอยนางรม ใกล้เคียงกัน

จากผลการวิเคราะห์ต้นทุนการอบแห้งซึ่งพบว่ามีค่าใช้จ่ายในการอบแห้งลดลง 13.96 บาท/kg ระยะเวลาคั้นทุนอยู่ที่การอบรอบที่ 168 เป็นต้นไป นั้นหมายความว่าถ้าในหนึ่งวันทางวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านสันกอเกิดตอแห้งแผ่นข้าวเกรียบ 20 kg จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายได้วันละ 279.2 บาท หรือคิดเป็น 8,376 บาทต่อเดือน และยังพบอีกว่าเครื่องอบแห้งสามารถลดการสูญเสียในขั้นตอนการอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบลำไย ซึ่งไม่มีการสูญเสียทั้งในส่วนของความสม่ำเสมอของความชื้น และการแตกกรอบหรือไหม้ของแผ่นข้าวเกรียบเนื่องจากเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบมีระบบควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง

เครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรหรือวัสดุชีวภาพสำหรับวิสาหกิจชุมชนหรือสถานประกอบการอื่นๆ ได้ โดยหลังจากการดำเนินงานวิจัยเสร็จสิ้นได้นำเครื่องอบแห้งแผ่นข้าวเกรียบไปใช้งานที่วิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านสันกอเกิด เลขที่ 65/4 หมู่ที่ 10 ต.บ้านกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณวิสาหกิจชุมชนกลุ่มแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรบ้านสันกอเกิด เลขที่ 65/4 หมู่ที่ 10 ต.บ้านกลาง อ.สันป่าตอง จ.เชียงใหม่ ที่ให้ข้อมูลและให้ความร่วมมือในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

7. เอกสารอ้างอิง

วรวัลย์ พนมวัลย์. (2552). ข้าวเกรียบจากแป้งข้าวผสมแครอทสำหรับอบด้วยไมโครเวฟ (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศรายุทธ์ จิตรพัฒนากุล, กุลพร พุทธิมี. (2559). การพัฒนาเพิ่มผลผลิตข้าวเกรียบหอยนางรมดิบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน. *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, 10(1), 17-25.

สมเกียรติ สุทธิยาพิวัฒน์. (2558). การสร้างและหาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งข้าวเกรียบปลา. *วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์*, 7(1), 71-80.

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. (2555). การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป.

มนตรี พิรุณเกษตร. (2550). อุณหพลศาสตร์ 1 (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: บริษัท วิทยพัฒน์ จำกัด.

ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง. (2547). การถ่ายเทความร้อน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป.

ไพบุลย์ แยมเพื่อน. (2548). เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน).

ปราโมทย์ เดชะอำไพ. (2559). พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และไฟไนต์วอลุ่ม (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสริมพงษ์ อดิเรกรัฐ. (2548). การอบแห้งอาหารโดยใช้ลมร้อนร่วมกับสารดูดความชื้น (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Yamane, Taro. (1970). *Statistics-An Introductory Analysis*. 2nd ed. Tokyo: John Weather Hill, Inc.

การตรวจสอบสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ของเครื่องตรวจจับควัน ชนิดโฟโตอิเล็กทริกโดยอาศัยสนามแม่เหล็ก

Checking the Fire Alarm Signal of Photoelectric Smoke Detector By Magnetic Field

พงศ์สรร เทพคุ้มกัน^{1*}, อภิชาติ แจ้งบำรุง²

Pongsan Thepkhumkan^{1*}, Apichart Chaengbamrung²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมป้องกันอัคคีภัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: Pongsan.thep@yahoo.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน

E-mail : Pongsan.thep@yahoo.co.th , 089-444-2492

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและประดิษฐ์เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ที่ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณของตัวตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เนื่องจากกฎหมายที่กำหนดให้อาคารที่มีความเป็นอาคารสาธารณะ อาคารขนาดใหญ่ และอาคารสูงนั้น จำเป็นต้องมีข้อกำหนดสำหรับการป้องกันอัคคีภัย คือ ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องตรวจสอบ ทดสอบ และบำรุงรักษาระบบ และอุปกรณ์ สำหรับการป้องกัน และระงับอัคคีภัยให้สามารถพร้อมทำงานได้ตลอดเวลา รวมถึงอาคารที่พักอาศัยไม่ว่าจะเป็นขนาดเล็ก หรือขนาดใหญ่ เช่น คอนโดมิเนียม อพาร์ทเมนท์ จำเป็นต้องมีระบบป้องกันอัคคีภัยเพื่อประโยชน์และความปลอดภัยต่อชีวิต และทรัพย์สินของผู้อยู่อาศัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลแรงดูดของสนามแม่เหล็ก ต่อการตรวจจับสัญญาณของตัวตรวจจับควัน โดยการเปลี่ยนขนาดของแม่เหล็กที่มีแรงดูดจากน้อยไปหามาก ได้แก่ 0.492 kgF , 0.754 kgF , 0.908 kgF , 1.431 kgF , 2.054 kgF, 3.559 kgF และ 5.047 kgF มาทดสอบการตอบสนองต่อสัญญาณของตัวตรวจจับควัน 5 แบรินด์ ได้แก่ Notifier , System Sensor , Siemens ,Honeywell, Simplex ผลการศึกษาพบว่าแม่เหล็กที่มีขนาดแรงดูดที่แตกต่างกันสามารถทำให้เครื่องมือทดสอบอุปกรณ์สั่งให้ตัวตรวจจับควันทำงานได้เหมือนกัน ผู้วิจัยจึงได้เลือกแม่เหล็กที่มีขนาดแรงดูดน้อยที่สุด 0.492 kgF มาใช้ในการทำเครื่องมือทดสอบ เพราะว่ามีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และราคาถูก โดยที่ต้นแบบเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควันประกอบด้วย ด้ามจับที่มีความยาว 1.5 เมตร ปลายด้ามจับติดตั้งแม่เหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. หนา 1.5 mm. จำนวน 2 ตัว เมื่อนำไปทดสอบการใช้งานในสถานการณ์ทดสอบจริงกับอุปกรณ์ตรวจจับควัน ณ อาคารโรงงานในกรุงเทพฯ พบว่าชุดทดสอบสามารถสั่งให้ตัวตรวจจับควันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับชุดตรวจสอบตามมาตรฐานทั่วไป โดยที่เครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นมา มีค่าใช้จ่ายในการสร้างประมาณ 1,000 บาทต่อชุด น้ำหนักเบาใช้งานง่าย เจ้าของอาคารสามารถทำการตรวจสอบได้ด้วยตนเอง และสามารถตรวจสอบอุปกรณ์ได้บ่อยครั้งมากขึ้น

คำหลัก: ตัวตรวจจับควัน , แม่เหล็กทดสอบ , สัญญาณเตือนไฟไหม้

Abstract

This research aims to study and design the prototype of a magnetic testing device used to verify the signal of the Photoelectric Smoke Detector based on a magnetic field. Due to the safety law of buildings including public buildings, large buildings, high rise buildings, and factory need to comply with fire protection requirements. The owner of building must inspect, test, and maintain fire protection and extinguishing system to be ready to work all times. The fire protection requirement is applied to residential buildings as well such as condominiums or apartments. The owner of building needs to have a fire protection system to secure the property and safety of residents.

This research has studied the effect of magnetic field and the signal of smoke detector. The study has changed value of magnetic field; 0.492 kgF, 0.754 kgF, 0.908 kgF, 1.431 kgF, 2.054 kgF, 3.559 kgF and 5.047 kgF. The study has selected five brands of smoke detector; Notifier, System Sensor, Siemens, Honeywell and Simplex. The study found that size of magnetic field is not significant differentiate to response of smoke detectors. The reason of weight and cost for a prototype of magnetic testing device, 0.492 kgF, the smallest magnet, had been selected. The prototype of magnetic testing device consists of a handle with a length of 1.5 meter, 2 pieces of magnet size 10 mm. diameter and 1.5 mm. thick are equipped at the far-end of handle. A factory building in Bangkok is tested. Result was found that prototype of magnetic testing device was operated the smoke detector efficiently comparing with the standard inspection kit. The advantage of prototype of magnetic testing device are as followings; about 1,000 baht per set, light weight, easy to use, no need to change any equipment throughout use. The person in charge of the building is able to perform inspection by himself and can inspect smoke detectors more frequently based on the testing plan.

Keywords: smoke detector, test magnet, fire alarm

1. บทนำ

จากสถิติจากสมาคมป้องกันอัคคีภัยแห่งชาติ (National Fire Protection Association: NFPA) พบว่าการสูญเสียทั้งชีวิตและทรัพย์สินจากเหตุเพลิงไหม้ในอาคารประมาณ 38 % ไม่มีระบบ Smoke Detection และ 21 % พบว่าอาคารที่เกิดเพลิงไหม้แม้ว่าจะติดตั้งระบบ Smoke Detection แต่เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ระบบไม่สามารถทำงานได้ หน้าที่สำคัญของตัวตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector คือ การตรวจจับอนุภาคควันไฟเมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ในขณะที่เปลวไฟเริ่มลุกไหม้บนเชื้อเพลิงควันไฟจะเป็นสิ่งแรกที่ลอยขึ้นสู่ที่สูงก่อน (ณัฐศักดิ์ บุญมี. (2559) ซึ่งจะไปกระทบกับเครื่องตรวจจับควันไฟที่ติดตั้งอยู่บนเพดาน ทำให้การส่งสัญญาณแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (Signaling Equipment) เริ่มทำงานเพื่อแจ้งเตือนให้คนที่อยู่ภายในอาคารรับรู้เหตุการณ์ได้ทันที ส่งผลให้การอพยพออกจากอาคารหรือการควบคุมเพลิงไหม้ให้ลุกลามเป็นไปอย่างรวดเร็วและลดความสูญเสียลงได้ หลังจากที่ได้ทำการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ Photoelectric Smoke Detector ในอาคารไปแล้ว เราควรคำนึงถึงวิธีการตรวจสอบความพร้อมในการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันไฟ เพื่อให้พร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น ฝุ่น ลม ความร้อน ความชื้น มีผลทำให้อุปกรณ์ตรวจจับควันเกิดความเสียหายหรือมีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เนื่องจากผลกระทบของความสูญเสียจากการเกิดเพลิงไหม้ไม่ใช่แค่เพียงทรัพย์สิน แต่เป็นชีวิตที่ต้องป้องกันเป็นอย่างแรกอีกทั้งยังต้องปฏิบัติเพื่อให้เป็นไปตามกฎหมายที่กำหนดให้อาคารที่มีความเป็นสาธารณะ อาคารขนาดใหญ่และอาคารสูงนั้น จำเป็นต้องมีข้อกำหนดสำหรับการป้องกันและระงับอัคคีภัย คือ ผู้ประกอบกิจการโรงงานต้องตรวจสอบ ทดสอบ บำรุงรักษาระบบและอุปกรณ์ สำหรับการป้องกันและระงับอัคคีภัย ให้สามารถพร้อมทำงานได้ตลอดเวลา ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและประดิษฐ์เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณของตัวตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เพื่อให้วิศวกร ช่างซ่อมบำรุง และผู้หน้าที่รับผิดชอบสามารถทำการตรวจสอบได้ด้วยตนเองได้ ง่ายสะดวก รวดเร็ว และค่าใช้จ่ายน้อย เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลของความแรงของสนามแม่เหล็กต่อการจับสัญญาณของตัวตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector
2. เพื่อศึกษาและประดิษฐ์เครื่องมือ แม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ที่ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณของตัวตรวจจับควัน Photo electronic Smoke Detector (Test Magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากกฎหมายที่กำหนดให้อาคารที่มีความเป็นอาคารสาธารณะ อาคารที่มีขนาดใหญ่และอาคารสูงนั้น จำเป็นต้องมีข้อกำหนดสำหรับการป้องกันอัคคีภัย รวมถึงอาคารที่พักอาศัยไม่ว่าจะเป็นขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ จำเป็นต้องมีระบบป้องกันอัคคีภัย เพื่อประโยชน์และความปลอดภัยต่อชีวิตและทรัพย์สินของผู้อยู่อาศัย (วราวุฒิ ปฏิการพงศ์ (2562)

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่ออย่างมากสำหรับเครื่องตรวจจับควันในระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ส่วนใหญ่เมื่อมีการติดตั้งไปแล้วขาดการตรวจสอบและบำรุงรักษาจึงทำให้อุปกรณ์เกิดความเสียหาย เมื่อเกิดเหตุเพลิงไหม้ขึ้นระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ จึงไม่สามารถทำงานได้แจ้งเหตุได้อย่างปกติ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงสร้างเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ที่ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณของตัวตรวจจับควัน Photo electronic Smoke Detector (Test Magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก เพื่อให้ผู้ที่มีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบสามารถตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันได้ด้วยตัวเองในเบื้องต้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและประดิษฐ์เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องมือขึ้นมาใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณของตัวตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก ซึ่งในปัจจุบันการทดสอบตัวตรวจจับควันตามมาตรฐานทั่วไป ยังต้องใช้เครื่องมือและบุคลากรที่มี

ความชำนาญเฉพาะด้านในการทำการตรวจสอบการทำงาน อีกทั้งยังมีเรื่องค่าใช้จ่ายที่สูงที่จะดำเนินการตรวจสอบระบบดังกล่าว คือ ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบระบบต่อครั้งประมาณ 5 % จากมูลค่างานที่ติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ของแต่ละโครงการ โดยเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควันจะเป็นเครื่องมือที่จะมาช่วยให้การตรวจสอบการทำงานของตัวตรวจจับควันให้สะดวกมากยิ่งขึ้นสำหรับผู้หน้าที่เกี่ยวข้อง

1.1. การเลือกขนาดสนามแม่เหล็กในการทดสอบ

ผู้วิจัยได้เลือกอุปกรณ์แม่เหล็กแรงสูงนีโอไดเมียม (Magnet) ที่มีขนาดแรงดูดแตกต่างกัน ในการทดสอบจะมีการเปลี่ยนขนาดขนาดของแม่เหล็กที่มีแรงดูดแตกต่างกันจากน้อยไปมาก เพื่อใช้ในการทดสอบ ได้แก่ 0.492 KgF, 0.754 KgF, 0.908 KgF, 1.431 KgF, 2.054 KgF, 3.559 KgF และ 5.047 KgF มาทดสอบการตอบสนองของสัญญาณตัวตรวจจับควันทั้ง 5 แบรินด์ เหตุผลที่เลือกแม่เหล็กขนาดต่างๆ ดังกล่าว ก็เพราะว่า หาซื้อง่าย มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูกและมีคุณภาพ



ภาพที่ 1 แม่เหล็กแรงสูง นีโอไดเมียม ขนาดต่างๆ (Magnet)

1.2. การสร้างชุดทดสอบ

1.2.1. ชุดตรวจวัด

หลักการในการออกแบบเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบ อุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ผู้วิจัยต้องการใช้ชุดทดสอบอุปกรณ์ดังกล่าว มีน้ำหนักเบา มีขนาดกะทัดรัด พกพาและใช้งานง่าย แนวทางการออกแบบอุปกรณ์ของชุดทดสอบจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1.2.1.1. ด้ามจับอุปกรณ์ทดสอบ

สามารถปรับระดับความยาวได้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานในการทดสอบอุปกรณ์ได้สะดวกในพื้นที่สูงไม่เกิน 4

เมตร โดยไม่ต้องใช้บันไดหรือนั่งร้าน และเนื่องจากบางพื้นที่ไม่สามารถใช้อุปกรณ์ดังกล่าวได้เนื่องจากมีสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่อยู่ เช่น เครื่องจักร ตู้เอกสารและโต๊ะทำงาน เป็นต้น ดังนั้นด้ามจับดังกล่าวจึงช่วยให้ผู้ทดสอบสามารถทำงานได้สะดวก รวดเร็ว และมีความปลอดภัยในการทำงานมากขึ้นด้วย



ภาพที่ 2 ด้ามจับอุปกรณ์ทดสอบ

1.2.1.2. อุปกรณ์แม่เหล็ก

แผ่นเพลทกลมที่มีแกนเหล็กตั้งฉากกับแผ่นเพลททั้ง 2 ด้าน ตรงปลายแกนเหล็กทั้ง 2 ด้าน มีไว้สำหรับติดตั้งแม่เหล็กที่ใช้ในการทดสอบ เหตุผลที่ต้องติดตั้งแม่เหล็ก 2 ด้าน เนื่องจากตัวหน้า Contact ภายในแผงวงจรของอุปกรณ์ตรวจจับควันจะอยู่ใกล้กับบริเวณหลอดไฟ LED ด้านใดด้านหนึ่งเพียงด้านเดียว แต่ที่ตัวอุปกรณ์ตรวจจับควันจะมีหลอดไฟ LED อยู่ 2 ดวง โดยแต่ละดวงจะอยู่ตรงข้ามกันหลอดไฟ LED ทำหน้าที่โชว์สถานะการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควัน ถ้าอุปกรณ์ทำงานได้ปกติหลอดไฟจะกระพริบเป็นช่วงๆ แต่ถ้าหลอดไฟไม่กระพริบแสดงว่าอุปกรณ์ตรวจจับควันนั้นเสีย และโดยส่วนใหญ่ของตัวอุปกรณ์ตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็กจะมีหลอดไฟ LED จำนวน 2 ดวง ดังนั้นเราจึงไม่สามารถทราบได้ว่าตัวหน้า Contact จะอยู่ด้านใดของตัวตรวจจับควัน เนื่องจากเมื่อติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับในที่สูง เราจะไม่สามารถเห็นตำแหน่งของหน้า Contact ได้เลย แต่เราจะยึดตัวหลอดไฟ LED เพื่อเป็นหลักในการทดสอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำแกนเหล็กขึ้นมาเพียง 2 ด้านเท่านั้นและติดแม่เหล็กสำหรับทดสอบทั้ง 2 ด้าน เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควัน



ภาพที่ 3 อุปกรณ์แม่เหล็ก

1.2.2. แผงวงจรทดสอบ

หลักการการออกแบบแผงวงจรทดสอบ โดยจำลองสถานการณ์เสมือนจริงในการติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ เพื่อมาใช้ในการทดสอบเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบ อุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ซึ่งประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังนี้

1.2.2.1. แผงติดตั้งอุปกรณ์

มีขนาดความกว้าง 1 เมตร ความยาว 1.5 เมตร โดยใช้ไม้อัด

1.2.2.2. ตู้ควบคุมระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (Fire Alarm Control Panel ,FCP)

เป็นส่วนควบคุมและตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์และส่วนต่างๆในระบบทั้งหมด จะประกอบด้วยวงจรควบคุมคอยรับสัญญาณจากอุปกรณ์เริ่มสัญญาณ เช่น ตัวตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector เป็นต้น วงจรทดสอบการทำงาน วงจรป้องกันระบบ วงจรสัญญาณแจ้งการทำงานในสภาวะปกติ และสภาวะขัดข้อง เช่น สายไฟจากอุปกรณ์ตรวจจับขาด,แบตเตอรี่ต่ำ หรือไฟจ่ายตู้แผงควบคุมโดยตัดขาด เป็นต้น ตู้แผงควบคุม (FCP) จะมีสัญญาณไฟและเสียงแสดงสภาวะต่าง ๆ บนหน้าตู้ เช่น

- Fire Lamp: จะติดเมื่อเกิดเพลิงไหม้
- Main Sound Buzzer: จะมีเสียงดังขณะแจ้งเหตุ
- ชุดจ่ายไฟ
- แผงควบคุม
- อุปกรณ์ประกอบ อุปกรณ์เริ่มสัญญาณ
- อุปกรณ์แจ้งสัญญาณ

Zone Lamp: จะติดค้างแสดงโซนที่เกิดAlarm

Trouble Lamp: แจ้งเหตุขัดข้องต่าง ๆ

Control Switch: สำหรับการควบคุม เช่น เปิด/ปิดเสียงที่ตู้และกระดิ่ง ทดสอบการทำงานตู้ ทดสอบแบตเตอรี่ Reset ระบบหลังเหตุการณ์เป็นปกติ (อาจารย์อภิปย์ จันทร์ดี)



ภาพที่ 4 ตู้ควบคุมระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (FCP)

1.2.2.3. อุปกรณ์ตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector

1. เหมาะสำหรับใช้ตรวจจับสัญญาณควันในระยะที่มีอนุภาคของควันไฟ ทำงานโดยใช้หลักการสะท้อนของแสง เมื่อมีควันเข้ามาในตัวตรวจจับควันจะไปกระทบกับแสงที่ออกมาจาก Photo Emitter ซึ่งไม่ได้ส่องตรงไปยังอุปกรณ์รับแสง Photo receptor แต่แสงดังกล่าวบางส่วนจะสะท้อนอนุภาคควันและหักเหไปยัง Photo receptor ทำให้วงจรตรวจจับของตัวตรวจจับควันส่งสัญญาณแจ้ง Alarm ไปแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ตู้ควบคุม (FCP) ต่อไป โดยผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์ตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็กทั้ง 5 ตัวอย่าง ที่นิยมใช้ในการออกแบบและติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ ซึ่งได้รับมาตรฐานสากลเป็นที่ยอมรับ ได้แก่ Notifier ,System Sensor ,Siemens, Honeywell, Simplex เป็นต้น มาทำการทดสอบ (NFPA 72.2019 .National Fire Alarm and Signaling Code)



ภาพที่ 5 Smoke Detector ได้แก่ Notifier, System Sensor, Siemens, Honeywell, Simplex

1.2.2.4. อุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือ (Manual Call Point)

อุปกรณ์เริ่มสัญญาณ แบบธรรมดา (Initiating Devices) เป็นอุปกรณ์เริ่มสัญญาณด้วยมือ โดยมีหลักการทำงานคือ กดหรือทุบ กับอุปกรณ์แจ้งเหตุด้วยมือตามชนิดนั้นหน้า Contact จะถึงกัน และตัวอุปกรณ์จะทำการส่งสัญญาณไปแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ตู้ควบคุม (FCP) แล้วตู้ควบคุมก็จะสั่งงานให้อุปกรณ์เตือนต่างๆแจ้งเหตุต่อไป



ภาพที่ 6 อุปกรณ์แจ้งเหตุเพลิงไหม้ด้วยมือ
(Manual station)

1.2.2.5. อุปกรณ์แจ้งเตือนเพลิงไหม้ (Bell / Strobe Light)
อุปกรณ์ส่งสัญญาณแจ้งเตือน (Audible and Visual signaling Alarm Devices) ในระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ จะมีทั้งแบบแจ้งเตือนด้วย สัญญาณเสียง สัญญาณแสง ไฟกระพริบ แล้วแต่การออกแบบตามความเหมาะสมของสถานที่นั้น โดยมีหลักการทำงานคือ หลังจากอุปกรณ์เริ่มสัญญาณทำงานตรวจจับเพลิงไหม้ได้ ก็จะส่งสัญญาณไปตรวจจับไปยังตู้ควบคุม (FCP) แล้ว จากนั้นตู้ควบคุมก็จะไปส่งสัญญาณแจ้งเตือนทำงาน โดยผ่านอุปกรณ์แจ้งเตือนเหตุต่างๆ เช่น อุปกรณ์กระดิ่งมอเตอร์ ฮอ์น (Horn) ลำโพง หรือ ไฟสัญญาณ เพื่อให้ผู้ที่อาศัยอยู่ในอาคาร สถานที่นั้น รับทราบว่ามีเหตุเพลิงไหม้เกิดขึ้นให้เตรียมตัวอพยพนั่นเอง

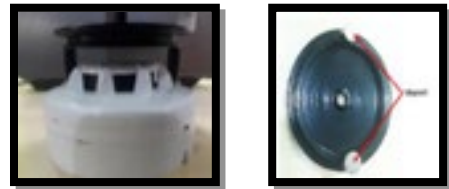


ภาพที่ 7 อุปกรณ์แจ้งเตือนเพลิงไหม้ (Bell / Strobe Light)

ผู้วิจัยนำเอาตัวอุปกรณ์ ตรวจจับ ค ว น Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็กทั้ง 5 ตัวอย่าง มาทำการทดสอบกับแผงวงจรทดสอบ เพื่อต้องการทราบว่าเมื่อนำเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ที่ใช้ในการทดสอบสามารถที่จะตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณของตัวตรวจจับควัน ได้จริงหรือไม่ เมื่อทำการทดสอบแล้ว ถ้าตัวตรวจจับควันสามารถทำงานได้ ก็จะมีสัญญาณแจ้ง Alarm ไปแจ้งเหตุเพลิงไหม้ที่ตู้ควบคุม (FCP) และตู้ควบคุมก็จะส่งสัญญาณไปที่อุปกรณ์แจ้งเตือน เพลิงไหม้ (Bell / Strobe Light) ต่อไป (คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า.(2558)

4. ผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้นำเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ที่ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณของตัวตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก มีวิธีทดสอบดังนี้ นำเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน โดยการเปลี่ยนขนาดของแม่เหล็กทั้ง 7 ขนาด ที่มีแรงดูดจากน้อยไปมาก ได้แก่ 0.492 kgF ,0.754 kgF, 0.908 kgF ,1.431 kgF, 2.054 kgF, 3.559 kgF และ 5.047 kgF มาทดสอบโดยนำเครื่องมือเข้าไปสัมผัสบริเวณข้างกับตัวตรวจจับควันทั้ง 5 แบนด์ กำหนดสถานการณ์ทดสอบเป็น 5 สถานการณ์ดังนี้



ภาพที่ 8 ทำการทดสอบโดยการนำเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควันมาสัมผัสบริเวณด้านข้างของตัวตรวจจับควัน

1. ผลการทดสอบการทำงานของสถานการณ์ที่ 1 ตารางที่ 1 สรุปผลการทดลอง Notifier Photoelectric Smoke Detector

Brand ของตัวจับควัน	ขนาดแรงดูด	ขนาดของแม่เหล็ก	ผลการทำงาน	
			ทำงาน	ไม่ทำงาน
Notifier	LDPF3s_0.492_KgF	10mm × 1.5mm	✓	
Photo	LDPF3s_0.754_KgF	12mm × 2mm	✓	
electronic	LDPF3s_0.908_KgF	14mm × 2mm	✓	
Smoke	LDPF3s_1.431_KgF	10mm × 5mm	✓	
Detector	LDPF3s_2.054_KgF	20mm × 3mm	✓	
ข้อมูลทางเทคนิคระบุ	LDPF3s_3.559_KgF	20mm × 5mm	✓	
Test Magnet	LDPF3s_5.047_KgF	20mm × 10mm	✓	
มาตรฐาน UL				

สถานการณ์ที่ 1 เมื่อใช้เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบ อุปกรณ์ ตรวจ จับ ค วัน (Magnetic Testing Device) ตรวจสอบการทำงานการส่งสัญญาณโดยอาศัยสนามแม่เหล็กของตัวตรวจจับวัน

Notifier พบว่าชุดทดสอบสามารถตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณ และตรวจเช็คดวงไฟ (LED) ของตัวตรวจจับวันได้ ในข้อมูลทางเทคนิคระบุว่าเป็นชนิด Test Magnet และมีอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณสำหรับใช้สนามแม่เหล็กในการทดสอบสัญญาณของอุปกรณ์

2. ผลการทดสอบการทำงานของสถานการณ์ที่ 2 ตารางที่ 2 สรุปผลการทดลอง System Sensor Photoelectric Smoke Detector

Brand ของตัวจับวัน	ขนาดแรงดูด	ขนาดของแม่เหล็ก	ผลการทำงาน	
			ทำงาน	ไม่ทำงาน
System	LDPF3s_0.492_KgF	10mm x 1.5mm	✓	
Sensor	LDPF3s_0.754_KgF	12mm x 2mm	✓	
Photo electronic	LDPF3s_0.908_KgF	14mm x 2mm	✓	
Smoke Detector	LDPF3s_1.431_KgF	10mm x 5mm	✓	
ข้อมูลทางเทคนิคระบุ	LDPF3s_2.054_KgF	20mm x 3mm	✓	
Test Magnet	LDPF3s_3.559_KgF	20mm x 5mm	✓	
มาตรฐาน UL	LDPF3s_5.047_KgF	20mm x 10mm	✓	

สถานการณ์ที่ 2 เมื่อใช้เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบ อุปกรณ์ ตรวจ จับ ค วัน (Magnetic Testing Device) ตรวจสอบการทำงานการส่งสัญญาณโดยอาศัยสนามแม่เหล็กของตัวตรวจจับวัน

System Sensor พบว่าชุดทดสอบสามารถตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณ และตรวจเช็คดวงไฟ (LED) ของตัวตรวจจับวันได้ในข้อมูลทางเทคนิคระบุว่าเป็นชนิด Test Magnet และมีอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณสำหรับใช้สนามแม่เหล็กในการทดสอบสัญญาณของอุปกรณ์

3. ผลการทดสอบการทำงานของสถานการณ์ที่ 3 ตารางที่ 3 สรุปผลการทดลอง Siemens Photoelectric Smoke Detector

Brand ของตัวจับวัน	ขนาดแรงดูด	ขนาดของแม่เหล็ก	ผลการทำงาน	
			ทำงาน	ไม่ทำงาน
Siemens	LDPF3s_0.492_KgF	10mm x 1.5mm	✓	
Photo electronic	LDPF3s_0.754_KgF	12mm x 2mm	✓	
Smoke Detector	LDPF3s_0.908_KgF	14mm x 2mm	✓	
ข้อมูลทางเทคนิคระบุ	LDPF3s_1.431_KgF	10mm x 5mm	✓	
Test Magnet	LDPF3s_2.054_KgF	20mm x 3mm	✓	
มาตรฐาน UL	LDPF3s_3.559_KgF	20mm x 5mm	✓	
	LDPF3s_5.047_KgF	20mm x 10mm	✓	

สถานการณ์ที่ 3 เมื่อใช้เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบ อุปกรณ์ ตรวจ จับ ค วัน (Magnetic Testing Device) ตรวจสอบการทำงานการส่งสัญญาณโดยอาศัยสนามแม่เหล็กของตัวตรวจจับวัน

Siemens พบว่าชุดทดสอบสามารถตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณ และตรวจเช็คดวงไฟ (LED) ของตัวตรวจจับวันได้ในข้อมูลทางเทคนิคระบุว่าเป็นชนิด Test Magnet และมีอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณสำหรับใช้สนามแม่เหล็กในการทดสอบสัญญาณของอุปกรณ์

4. ผลการทดสอบการทำงานของสถานการณ์ที่ 4 ตารางที่ 4 สรุปผลการทดลอง Honeywell Photoelectric Smoke Detector

Brand ของตัวจับวัน	ขนาดแรงดูด	ขนาดของแม่เหล็ก	ผลการทำงาน	
			ทำงาน	ไม่ทำงาน
Honeywell	LDPF3s_0.492_KgF	10mm x 1.5mm	✓	
Photo electronic	LDPF3s_0.754_KgF	12mm x 2mm	✓	
Smoke Detector	LDPF3s_0.908_KgF	14mm x 2mm	✓	
ข้อมูลทางเทคนิคระบุ	LDPF3s_1.431_KgF	10mm x 5mm	✓	
Test Magnet	LDPF3s_2.054_KgF	20mm x 3mm	✓	
มาตรฐาน UL	LDPF3s_3.559_KgF	20mm x 5mm	✓	
	LDPF3s_5.047_KgF	20mm x 10mm	✓	

สถานการณ์ที่ 4 เมื่อใช้เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบ อุปกรณ์ ตรวจ จับ ค วัน (Magnetic Testing Device) ตรวจสอบการทำงานการส่งสัญญาณโดยอาศัยสนามแม่เหล็กของตัวตรวจจับวัน

Honeywell พบว่าชุดทดสอบสามารถตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณ และตรวจเช็คดวงไฟ (LED) ของตัวตรวจจับควันได้ ในข้อมูลทางเทคนิคระบุว่าเป็นชนิด Test Magnet และมีอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณสำหรับใช้สนามแม่เหล็กในการทดสอบสัญญาณของอุปกรณ์

5. ผลการทดสอบการทำงานของสถานการณ์ที่ 5 ตารางที่ 5 สรุปผลการทดลอง Simplex Photoelectric Smoke Detector

Brand ของตัวจับควัน	ขนาดแรงดูด	ขนาดของแม่เหล็ก	ผลการทำงาน	
			ทำงาน	ไม่ทำงาน
Simplex Photoelectric Smoke Detector ข้อมูลทางเทคนิคระบุ Test Magnet มาตรฐาน UL	LDPF3s_0.492_KgF	10mm x 1.5mm	✓	
	LDPF3s_0.754_KgF	12mm x 2mm	✓	
	LDPF3s_0.908_KgF	14mm x 2mm	✓	
	LDPF3s_1.431_KgF	10mm x 5mm	✓	
	LDPF3s_2.054_KgF	20mm x 3mm	✓	
	LDPF3s_3.559_KgF	20mm x 5mm	✓	
	LDPF3s_5.047_KgF	20mm x 10mm	✓	

สถานการณ์ที่ 5 เมื่อใช้เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ตรวจสอบการทำงานของเครื่องส่งสัญญาณโดยอาศัยสนามแม่เหล็กของตัวตรวจจับควัน

Simplex พบว่าชุดทดสอบสามารถตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณ และตรวจเช็คดวงไฟ (LED) ของตัวตรวจจับควันได้ ในข้อมูลทางเทคนิคระบุว่าเป็นชนิด Test Magnet และมีอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณสำหรับใช้สนามแม่เหล็กในการทดสอบสัญญาณของอุปกรณ์

การออกแบบสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณโดยใช้สนามแม่เหล็ก

แนวคิดในการออกแบบสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณโดยใช้สนามแม่เหล็ก เพื่อสร้างชุดทดสอบ สำหรับให้วิศวกรช่างซ่อมบำรุงและผู้มีหน้าที่รับผิดชอบในการตรวจสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับควันของระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ของแต่ละอาคารและสถานที่ สามารถทำการตรวจสอบ

บำรุงรักษาระบบเบื้องต้นได้ด้วยตนเอง โดยมีหลักการออกแบบชุดทดสอบ ดังนี้ มีน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด พกพาและใช้งานง่าย ที่สำคัญคือ มีคุณภาพและราคาถูก

ผลการทดสอบเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) มาทดสอบกับตัวตรวจจับควันทั้ง 5 สถานการณ์ ผลการศึกษาพบว่าแม่เหล็กที่มีขนาดแรงดูดที่แตกต่างกันสามารถทำให้เครื่องมือทดสอบอุปกรณ์ส่งให้ตัวตรวจจับควันทำงานได้เหมือนกัน โดยเมื่อเอาตัวเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควันไปสัมผัสกับตัวตรวจจับควันสนามแม่เหล็กจะไปกระตุ้นหน้า Contact ภายในแผงวงจรของอุปกรณ์ตรวจจับควันให้ต่อวงจรและส่งสัญญาณไปยังตู้ควบคุมเพื่อแจ้งเตือนการทำงานของตัวตรวจจับควันและดวงไฟ (LED) ที่ติดอยู่กับตัวตรวจจับควันก็จะแสดงสถานะโดยโชว์ไฟสีแดงติดตลอดเวลาเมื่อตัวตรวจจับควันทำงานอีกด้วย ผู้วิจัยจึงได้เลือกแม่เหล็กที่มีขนาดแรงดูดน้อยที่สุดคือ 0.492 KgF. มาใช้ในการทำเครื่องมือทดสอบ ดังนั้นการออกแบบสร้างอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโดยใช้สนามแม่เหล็ก ประกอบไปด้วย

1. ด้ามจับอุปกรณ์ทดสอบ

ด้ามจับอุปกรณ์ทดสอบ ทำจากอลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักเบา ประมาณ 0.4 kg. สามารถปรับระดับความยาวด้ามจับได้ ตั้งแต่ 1.5 เมตร – 3 เมตร เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานทดสอบอุปกรณ์ได้สะดวกขึ้นสำหรับพื้นที่ที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับควันสูงไม่เกิน 4 เมตร

2. ชุดอุปกรณ์แม่เหล็ก

แผ่นเพลทกลม ทำจากโลหะ ที่มีแถบเหล็ก 2 ด้านตรงปลายแถบเหล็ก 2 ด้าน ติดตั้งแม่เหล็กแรงสูงนีโอดีเมียมขนาด 0.492 KgF. แม่เหล็กกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. หนา 1.5 mm. จำนวน 2 ตัว โดยชุดอุปกรณ์แม่เหล็กนี้มีน้ำหนักประมาณ 0.1 kg.

จากการออกแบบสร้างอุปกรณ์ตรวจสอบสัญญาณโดยใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic Testing Device) อุปกรณ์น้ำหนักเบาคือ ประมาณ 0.5 Kg. จึงทำให้ใช้งานได้ง่ายสะดวกในการพกพาและมีราคาถูก มีค่าใช้จ่ายในการสร้างประมาณ 500 ต่อชุด และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับชุดตรวจสอบตามมาตรฐานทั่วไป พบว่าชุดตรวจสอบตามมาตรฐานมีน้ำหนักที่มากถึง 3 kg. มีราคาต่อชุด เฉพาะด้าม

จับและตัวทดสอบตรวจจับควันประมาณ 30,000 –50,000 บาทต่อชุด (ขึ้นอยู่กับความยาวของด้ามจับ)



ภาพที่ 9 แม่เหล็กแรงสูง นีโอโดเนียม ขนาด 0.492 KgF



ภาพที่ 10 ด้ามจับที่สามารถปรับความยาวได้

ผลการทดสอบการใช้งานจริงของชุดอุปกรณ์ที่สร้าง

ผู้วิจัยได้นำอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณโดยใช้สนามแม่เหล็ก (Magnetic Testing Device) ไปทดสอบการใช้งานในสถานการณ์ทดสอบจริงกับอุปกรณ์ตรวจจับควัน อาคารโรงงานแห่งหนึ่งในกรุงเทพฯ ที่มีการติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้เพลิงตามมาตรฐาน โดยมีตัวตรวจจับควันชนิด Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็ก พบว่า ชุดทดสอบสามารถสั่งให้ตัวตรวจจับควันทำงาน รวมถึงหลอดไฟ (LED) โซนการทำงาน และส่งสัญญาณไปยังตู้ควบคุม เพื่อแจ้งเตือนการทำงานของตัวอุปกรณ์ตรวจจับควันได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลจากการประดิษฐ์เครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน (Magnetic Testing Device) ที่ใช้ในการตรวจสอบอุปกรณ์ต่อสัญญาณกับวงจรสัญญาณของตัวตรวจจับควัน Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็กที่ประกอบไปด้วยด้ามจับที่

ทำจากอลูมิเนียมสามารถปรับระดับความยาวได้ ตั้งแต่ 1.5 เมตร – 3 เมตร และชุดแม่เหล็กทดสอบที่ใช้แม่เหล็กขนาดแรงดูดน้อยที่สุด 0.492 kgF มาใช้ในการทำเครื่องมือทดสอบ โดยนำเครื่องมือทดสอบอุปกรณ์มาทดสอบการตอบสนองของสัญญาณตัวตรวจจับควัน 5 แบรินด์ ได้แก่ Notifier, System Sensor, Siemens, Honeywell, Simplex เป็นต้น มาทดสอบกับชุดแผงทดลอง ผลการทดสอบกับตัวตรวจจับควันทั้ง 5 สถานการณ์ ผลคือเครื่องมือแม่เหล็กทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับควัน สามารถสั่งให้ตัวตรวจจับควันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกับสถานการณ์ และเมื่อไปทดสอบการใช้งานในสถานการณ์ทดสอบจริงกับอุปกรณ์ตรวจจับควัน อาคารโรงงานแห่งหนึ่งในกรุงเทพฯ มีการติดตั้งระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ โดยมีตัวตรวจจับควันชนิด Photoelectric Smoke Detector (Test magnet) โดยอาศัยสนามแม่เหล็กพบว่า ชุดทดสอบสามารถสั่งให้ตัวตรวจจับควันทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเช่นกัน อีกทั้งชุดทดสอบอุปกรณ์ยังมีน้ำหนักเบา ขนาดกะทัดรัด พกพาและใช้งานง่าย และที่สำคัญมีราคาถูก เมื่อเปรียบเทียบกับชุดตรวจสอบตามมาตรฐานทั่วไป ซึ่งมีน้ำหนักมากและมีราคาต่อชุดสูงกว่ามาก

6. เอกสารอ้างอิง

- คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า. (2558). มาตรฐานระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้. กรุงเทพฯ: บริษัท โกลบอล กราฟฟิค จำกัด
- ณัฐศักดิ์ บัญญัติ. (2559). พลศาสตร์อัคคีภัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วรารุณี ปฏิการพงศ์ (2562). การปรับปรุงระบบแจ้งเตือนภัยอัตโนมัติภายในห้องชุดพักอาศัยของอาคารชุดเอสวีซีดี. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต, หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต และ ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาการจัดการทางวิศวกรรม
- อาจารย์อชิปตย์ จันทร์ดี. ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, สืบค้นจาก <http://www.mut.ac.th/research-detail-263>.
- NFPA 72.2019 .National Fire Alarm and Signaling Code.

ผลของ อุณหภูมิ ความเร็ว และความชื้นสัมพัทธ์ โดยชุดควบคุมสถานะที่มีต่อสมรรถนะ การอบแห้งกล้วยน้ำว้า

Effects of Temperature Velocity and Relative Humidity by Condition Control Machine on Banana Drying Performance

ไพโรจน์ จันทร์แก้ว^{1*}, อภิรักษ์ ชัดวิลาส¹, จักรพันธ์ ถาวรงามยิ่งสกุล¹ และสำรวม โกศลานันท์²
Phairoach Chunkaew^{1*}, Aphirak Khadwilard¹, Chakkraphan Thawongamyingsakul¹
and Sumroum Kosalanun²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

¹ Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Muang, Tak 63000

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อำเภอธัญบุรี จังหวัดปทุมธานี 12110

² Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani, 12110

*phairoac@rmutl.ac.th, 0867324742

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ทดสอบการอบแห้งสำหรับกล้วยน้ำว้าโดยใช้ชุดควบคุมสถานะอากาศ โดยชุดควบคุมสถานะอากาศสามารถปรับอุณหภูมิ ความเร็วและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากสถานะเดิม โดยทดสอบอบกล้วยน้ำว้าทั้งลูมมีความชื้นเริ่มต้น $281.78 \pm 23.36\%$ dry basis ทำการอบแห้งจนมีความชื้นสุดท้าย $41.19 \pm 3.57\%$ dry basis สถานะสำหรับใช้ในการทดสอบมีการแปรค่าอุณหภูมิอากาศ 60 และ 70 °C ที่ความเร็ว 3.6 และ 9.7 m/s กับการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์จากเดิมอีกหนึ่งค่าโดยการสเปรย์น้ำร้อน พบว่าอุณหภูมิ ความเร็วเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นทั้งสองความชื้นสัมพัทธ์ แต่กรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจากสถานะเดิมของแต่ละสถานะส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหวานกล้วยไม่แห้งติดปิดการเคลื่อนที่ของน้ำจากด้านในสู่ผิวของกล้วย ส่วนความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นแนวโน้มความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลง แต่กรณีที่เพิ่มความเร็วจากสถานะเดิมส่งผลให้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น

Abstract

The objective of this research was to test drying banana by using an air condition control set. The control set can be adjusting air temperature, air velocity and increasing relative humidity from old condition. Experiments, the peeled banana had initial moisture content of $281.78 \pm 23.36\%$ dry basis and they were dried until final moisture content of $41.19 \pm 3.57\%$ dry basis. The conditions for test were temperatures of 60 and 70 °C, velocities of 3.6 and 9.7 m s⁻¹ and increasing one relative humidity from old condition. It was found that increasing temperature and velocity, a drying rate increased at both relative humidity. Results of increasing relative humidity from the old condition of each condition, the drying rate increased because the banana nectar was not dry to close the movement of water from inside of the banana to banana skin.

Increasing temperature and relative humidity, the specific energy consumption decreased but the specific energy consumption increased in the case of increasing velocity from old condition.

Keywords: สภาวะการอบแห้ง, สมรรถนะ, กลัวย่น้ำว้า, ความชื้นสัมพัทธ์, Drying condition, Performance, Banana, Relative humidity

1. บทนำ

กล้วยน้ำว้าเป็นผลไม้ท้องถิ่นที่สามารถหาได้ง่าย และมีจำนวนมาก พบได้ทุกที่ในประเทศไทย กล้วยน้ำว้าเป็นพรรณไม้ล้มลุก ออกผลในรูปเครือ หนึ่งเครือมีประมาณ 7-8 หวี หวีละ 10-16 ผล ผลกล้วยน้ำว้าสุก 1 ผลนั้นให้พลังงานแก่ร่างกายของเราได้ประมาณ 60 kcal ส่วนแร่ธาตุและวิตามินที่มีอยู่ในกล้วยน้ำว้าก็มีทั้ง แมกนีเซียมและโพแทสเซียม ที่ช่วยป้องกันโรคความดัน มีวิตามินบี 6 ที่ช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน มีวิตามินบี 1 บี 2 วิตามินซี และยังมีวิตามินเอมากที่สุด การแปรรูปกล้วยน้ำว้ามีหลายรูปแบบเช่น นำผลดิบมาทำกล้วยฉาบ นำมาเป็นวัตถุดิบของขนมไทยๆ นำมารับประทานโดยตรง ใช้ทำกล้วยทอด ใช้ทำกล้วยปิ้ง และถ้าหากมีปริมาณมากชาวบ้านนิยมนำมาทำกล้วยตาก เริ่มแรกส่วนใหญ่ชาวบ้านเกษตรกรรมทำกล้วยตากโดยใช้แสงอาทิตย์ซึ่งต้องใช้เวลาทำให้แห้งเป็นเวลา 4-5 วัน และยังมีเสี่ยงต่อการปนเปื้อนกับฝุ่นผง และเชื้อโรคต่อมามีการตากกล้วยโดยใช้หลักการสภาวะเรือนกระจกโดยตากในโดมเพื่อลดการปนเปื้อน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2563; Chunkaew et al., 2016) ปัจจุบันมีนักวิจัยและนักประดิษฐ์หลายท่านที่หันมาสนใจสร้างเครื่องอบแห้งเพื่อใช้อบแห้งกล้วยน้ำว้าเพื่อลดระยะเวลาการอบแห้ง เช่น เครื่องอบแห้งกล้วยน้ำว้าใช้เชื้อเพลิงจากไบโอดีเซล (Khadwilard and Chunkaew, 2011) ตู้อบแห้งกล้วยน้ำว้าใช้แก๊ส แอล พี จี ร่วมกับระบบไฟฟ้าจากแผงโซลาร์เซลล์ (Achariyaviriya et al., 2014) จากงานวิจัยดังกล่าวมีการนำอากาศคืนกลับมาใช้ใหม่ 90% ซึ่งมีผลทำให้ความชื้นของอากาศอบแห้งสูงขึ้น แต่พลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะมีค่าน้อยลง นอกจากนี้ จีระพงค์ ศรีวิชัย (2559) ศึกษาการอบกล้วยน้ำว้าโดยใช้เครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนเชิงเหนี่ยวนำที่อุณหภูมิ 55 60 และ 65 °C ที่ความเร็ว 3 m/s พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้งก็เพิ่มขึ้น จากงานวิจัยที่ผ่านมาขาดความชัดเจนในตัวแปรความสัมพันธ์ตั้งแต่นั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ทดสอบการอบแห้งสำหรับกล้วยน้ำว้าโดยใช้ชุดควบคุมสภาวะอากาศ โดยชุดควบคุมสภาวะอากาศสามารถปรับอุณหภูมิ ความเร็วและเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจากสถานะเดิม

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ในกระบวนการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรหรือวัสดุที่มีความชื้นส่วนใหญ่จะใช้อากาศร้อนในการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ใช้อบแห้งส่งผลให้น้ำที่อยู่ในวัสดุเปลี่ยนเฟสอยู่ในรูปไอน้ำส่งผลให้น้ำหนักของวัสดุลดลงซึ่งความชื้นของวัสดุลดลง แต่อากาศที่ออกจากห้องอบแห้งมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมพัทธ์หรืออัตราส่วนความชื้นในอากาศหลังการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น นักวิจัยหลายท่านมีการนำอากาศหลังจากออกห้องอบแห้งกลับมาใช้ใหม่โดยมีการระบายทิ้งไปบางส่วนสำหรับลดการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่ใช้ ผลการควบคุมสภาวะการอบแห้งซึ่งนิยมพิจารณาตัวแปรหลักคือ อุณหภูมิและความเร็วที่ใช้ในการอบแห้ง ผลที่ได้ทั้งสองตัวแปร ส่วนใหญ่สามารถลดเวลาการอบแห้ง ส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่วนอัตราการใช้พลังงานจำเพาะมีค่าลดลง ส่วนตัวแปรอัตราส่วนความชื้นในอากาศนักวิจัยส่วนใหญ่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์และคำนวณออกมาได้แต่ไม่ได้ควบคุมซึ่งผลของปริมาณความชื้นหากมีในอากาศร้อนมากมีผลทำให้น้ำที่อยู่ในวัสดุอบแห้งออกมาได้ช้ากว่ากรณีที่มีความชื้นในอากาศร้อนที่น้อยกว่าทั้งนี้กลไกการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุจากด้านในสู่ด้านนอกไม่มีอะไรขวาง ซึ่งกล้วยอบแห้งปกติมีน้ำหวานมาเคลือบที่ผิวจึงน่าสนใจในการศึกษาครั้งนี้

2.2 เครื่องอบแห้งที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ส่วนใหญ่ใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิในการตัดต่อการใช้พลังงานที่เลือกใช้งาน เช่น ขดลวดความร้อนใช้การตัดต่อพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ขดลวดความร้อนทำงาน และระบบปั๊มความร้อนใช้การตัดต่อพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้กับเครื่องอัดหรือระบายความร้อนส่วนเกินไปยังเครื่องควบแน่นตัวนอก ส่วนเครื่องอบแห้งที่สามารถควบคุมความเร็วอากาศร้อนโดยควบคุมการทำงานของมอเตอร์โบลเวอร์ หรือใช้วาล์วปรับปริมาณการไหลของอากาศร้อน

2.3 การวัดความสามารถในการอบแห้ง ประกอบด้วย อัตราการอบแห้ง อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ

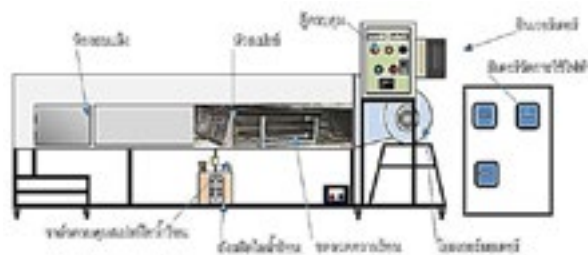
และคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งทั้งนี้ควรพิจารณาคุณภาพผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้งก่อนเป็นอันดับแรก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบชุดควบคุมสภาวะอากาศสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

จากแนวคิดกระบวนการปรับอากาศใช้คุณสมบัติของไซโครเมตริกชาร์ทสามารถปรับจากสภาพเดิมได้ 8 วิธีการ คือ 1. การสเปรย์ไอน้ำร้อนทำให้อุณหภูมิคงที่แต่ความชื้นเพิ่ม 2. ติดตั้งขดลวดความร้อนร่วมกับการสเปรย์ไอน้ำร้อน ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและเพิ่มความชื้น 3. ติดตั้งขดลวดความร้อนทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ความชื้นสัมพัทธ์ลดลง แต่อัตราส่วนความชื้นในอากาศเท่าเดิม 4. ติดตั้งขดลวดความร้อนและใส่สารดูดความชื้น อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและอัตราส่วนความชื้นในอากาศลดลง 5. ใส่สารดูดความชื้นอุณหภูมิเท่าเดิมอัตราส่วนความชื้นในอากาศลดลง 6. ติดตั้งระบบปรับอากาศที่สามารถลดอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้น 7. ติดตั้งระบบปรับอากาศโดยลดอุณหภูมิและอัตราส่วนความชื้นเท่าเดิม 8. กระบวนการอบแห้งในห้องอบแห้งอุณหภูมิลดลงแต่อัตราส่วนความชื้นในอากาศเพิ่มขึ้น ดังนั้นชุดควบคุมสภาวะอากาศสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้าประกอบด้วยอุปกรณ์หลักๆ ดังนี้ ตู้ควบคุมอินเวอร์เตอร์ โวลเวอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ขนาด 0.5 แรงม้า มอเตอร์วัดการใช้ไฟฟ้า ขดลวดความร้อนขนาด 3 kW ถึงผลิตไอน้ำร้อน หัวสเปรย์ และห้องอบแห้งกล้วยน้ำว้ามีขนาด $0.23 \times 0.23 \times 0.3 \text{ m}^3$ แสดงจากรูปที่ 1 วิธีการควบคุมอุณหภูมิใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิกระเปาะแห้งสั่งการทำงาน ขดลวดความร้อน วิธีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศใช้ค่าที่ต้องการควบคุมเทียบกับค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก จากนั้นใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิที่รับข้อมูลกระเปาะเปียกสั่งการทำงานการเปิดเปิดไอน้ำร้อนจากถังผลิตไอน้ำร้อนเข้าสู่ชุดควบคุมสภาวะอากาศ การควบคุมความเร็วอากาศร้อนใช้การปรับความถี่ของอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ 3 เฟส ชุดควบคุมสภาวะอากาศทำด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้ว โดยมี

แผ่นสังกะสีปิดทั้งสองด้าน และระบบอากาศใช้แบบปิดให้อากาศหมุนวนในชุดควบคุมสภาวะอากาศ ในการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าใช้ กิโลวัตต์ฮาวมิเตอร์



รูปที่ 1 ชุดควบคุมสภาวะอากาศสำหรับการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

3.2 วัสดุที่ใช้ในการอบแห้ง

กล้วยที่ใช้เป็นกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อนซึ่งมาจากตามท้องตลาดโดยใช้กล้วย 3 ลูก สภาพกล้วยที่ใช้เปลือกกล้วยเริ่มดำบางส่วน มีขนาดประมาณ $18.71 \times 37.11 \times 30.8 \text{ mm}^3$ มีความชื้นเริ่มต้น $281.78 \pm 23.36 \%$ dry basis

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลมาทำการวิเคราะห์เพื่อคำนวณหาสมรรถนะการอบแห้งกล้วยน้ำว้า โดยวิเคราะห์ความสามารถในการอบแห้งซึ่งประกอบด้วย อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR) และ อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC)

3.3.1 อัตราการอบแห้ง (Drying rate, DR)

$$DR = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ}}{\text{ระยะเวลาอบแห้ง}} \quad (1)$$

3.3.2 อัตราการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC)

$$SEC = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}} \quad (2)$$

3.4 เงื่อนไขในการทดสอบ

3.4.1 ทำการอบแห้งกล้วยน้ำว้าพันธุ์มะลิอ่อน โดยควบคุมอุณหภูมิอากาศ 60 และ 70 °C ความเร็วที่ 3.6 และ 9.7 m/s กับการเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์จากเดิมอีกหนึ่งค่าโดยการสเปรย์น้ำร้อน

3.5 วิธีการทดสอบ

3.5.1 เตรียมความพร้อมของเครื่องอบแห้ง ตั้งอุณหภูมิอากาศร้อนและปรับความเร็วลมที่ต้องการ ทดสอบและเปิดชุดควบคุมสภาวะอากาศให้ทำงานคงที่ ประมาณ 30 นาที

3.5.2 จัดเตรียมกล้วยที่จะนำมาทดลองไปซัง หาค่าก่อนอบแห้ง กล้วยที่ใช้เป็นกล้วยน้ำว้าซื้อมาจากตามท้องตลาดโดยใช้กล้วย 3 ลูก จากนั้นบันทึกน้ำหนักกล้วยก่อนเข้าห้องอบแห้งทั้ง 3 ลูก กล้วยน้ำว้าปอกเปลือกหนึ่งลูก มีน้ำหนักประมาณ 45.2 g เมื่อเริ่มทดสอบ เก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของโบลเวอร์ การใช้พลังงานของถังผลิตน้ำร้อน อุปกรณ์ควบคุมและขดลวดความร้อน จากนั้นทำการตรวจวัดน้ำหนักโดยนำกล้วยมาชั่งกับเครื่องชั่งน้ำหนักทุกๆ 0.5 h เป็นเวลา 4 h จากนั้นทุกๆ 1 h เป็นเวลา 4 h และจากนั้นทุกๆ 2 h จนกล้วยมีความชื้นสุดท้าย

4. ผลการวิจัย

การออกแบบการทดสอบกล้วยน้ำว้า โดยทำการอบกล้วยน้ำว้าที่อุณหภูมิ 60 และ 70 °C ใช้ความเร็ว 3.6 m/s และ 9.7 m/s และสเปรย์ทำหน้าที่เพิ่มปริมาณไอน้ำในอากาศเข้าไปสู่ภายในห้องอบส่งผลให้ความชื้นในอากาศร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นอีกค่าหนึ่ง

จากตารางที่ 1 พบว่าการทดลองที่ 60 และ 70 °C โดยใช้ความเร็ว 3.6 m/s กรณี ไม่สเปรย์ไอน้ำร้อนพบว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นคือ $0.89 \pm 0.32 \frac{\text{kg-h}}{\text{g}_{\text{water}}}$, $1.2 \pm 0.27 \frac{\text{kg-h}}{\text{g}_{\text{water}}}$ ตามลำดับ และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะมีค่าลดลงคือ $1.12 \pm 0.09 \text{ kg-h/g}_{\text{water}}$, $0.98 \pm 0.039 \text{ kg-h/g}_{\text{water}}$ ตามลำดับ

การทดลองที่ 60 และ 70 °C โดยใช้ความเร็ว 9.7 m/s กรณี ไม่สเปรย์ไอน้ำร้อนพบว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นคือ $1.04 \pm 0.02 \frac{\text{kg-h}}{\text{g}_{\text{water}}}$, $1.61 \pm 0.54 \frac{\text{kg-h}}{\text{g}_{\text{water}}}$

ตามลำดับ และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะมีค่าลดลงคือ $2.94 \pm 0.08 \text{ kg-h/g}_{\text{water}}$, $2.41 \pm 0.15 \text{ kg-h/g}_{\text{water}}$ ตามลำดับ

การทดลองที่ 60 และ 70 °C โดยใช้ความเร็ว 3.6 m/s กรณี สเปรย์ไอน้ำร้อนพบว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นคือ $0.99 \pm 0.056 \frac{\text{kg-h}}{\text{g}_{\text{water}}}$, $1.71 \pm 0.42 \frac{\text{kg-h}}{\text{g}_{\text{water}}}$ ตามลำดับ และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะมีค่าลดลงคือ $0.64 \pm 0.035 \text{ kg-h/g}_{\text{water}}$, $0.69 \pm 0.03 \text{ kg-h/g}_{\text{water}}$ ตามลำดับ

การทดลองที่ 60 และ 70 °C โดยใช้ความเร็ว 9.7 m/s กรณี สเปรย์ไอน้ำร้อนพบว่า อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นคือ $1.24 \pm 0.21 \frac{\text{kg-h}}{\text{g}_{\text{water}}}$, $2.36 \pm 0.33 \frac{\text{kg-h}}{\text{g}_{\text{water}}}$ ตามลำดับ และความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะมีค่าลดลงคือ $1.17 \pm 0.08 \text{ kg-h/g}_{\text{water}}$, $1.69 \pm 0.14 \text{ kg-h/g}_{\text{water}}$ ตามลำดับ

ดังนั้นอุณหภูมิ และความเร็วเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นทั้งสองความชื้นสัมพัทธ์ซึ่งก็สอดคล้องกับงานวิจัยการอบกล้วยน้ำว้าก่อนหน้า (Chunkaew et al., 2017; Chunkaew et al., 2018; ศิวะ อัจฉริยวิริยะและคณะ, 2562) แต่หากเปรียบเทียบกรณีที่มีความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นจากสภาวะเดิมของแต่ละสภาวะส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นเนื่องจากผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในอากาศส่งผลให้น้ำหวานไม่แห้งปิดผิวกล้วยส่งผลให้น้ำสามารถซึมผ่านมาที่ผิวและระเหยตัวได้ง่ายกว่ากรณี ไม่สเปรย์ไอน้ำร้อน ส่วนความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์เพิ่มขึ้นแนวโน้มความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะลดลงเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีไม่สเปรย์ไอน้ำร้อน แต่กรณีที่เพิ่มความเร็ว จากสภาวะเดิมส่งผลให้ความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้นเนื่องจากเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นไฟฟ้าที่ต้องป้อนให้กับมอเตอร์โบลเวอร์ และขดลวดความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับรักษาสภาวะให้ได้ตามที่ต้องการ และอีกส่วนหนึ่งความร้อนมีการสูญเสียให้กับสิ่งแวดล้อมมากกว่ากรณีที่ใช้ความเร็วที่ต่ำกว่า

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณผลของ อุณหภูมิ ความเร็ว และความชื้นสัมพัทธ์ โดยชุดควบคุมสภาวะที่มีต่อสมรรถนะการอบแห้งกล้วยน้ำว้า

สภาวะอากาศ			M_{db} (% dry basis)	M_t (% dry basis)	Time (hr)	RH (%)	DR (g.dwt/h)	SEC (kWh/g.dwt)
T (°C)	ไม่ สเปรย์	V (m/s)						
60	ไม่ สเปรย์	3.6	363.96±13.9	42.34±3.05	51.5	24.14±12.3	0.89±0.32	1.12±0.09
		9.7	298.06±6.13	40.38±0.165	33.5	23.09±1.76	1.04±0.02	2.94±0.08
	สเปรย์	3.6	263.48±28.6	42.79±4.21	30	37.61±13.6	0.99±0.05	0.64±0.03
		9.7	258.23±5.65	39.61±1.91	29	31.68±7.72	1.24±0.21	1.17±0.01
70	ไม่ สเปรย์	3.6	309.38±19.2	39.75±0.455	34	20.94±12.7	1.2±0.27	0.98±0.03
		9.7	264.31±22.0	39.45±1.068	30	19.32±9.34	1.61±0.54	2.41±0.15
	สเปรย์	3.6	252.76±18.3	39.5±1.114	25	27.4±7.79	1.71±0.42	0.69±0.03
		9.7	281.78±23.3	41.19±3.57	12	26.37±5.98	2.36±0.33	1.69±0.14

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

- ชุดควบคุมสภาวะสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ถึง 70 °C ความเร็วปรับได้สูงสุด 9.7 m/s และสามารถเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศสูงขึ้นจากเดิม 6-14 %

- ผลของอุณหภูมิอากาศมากขึ้น อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น และเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะมีค่าลดลง

- ผลของความเร็วอากาศร้อนเพิ่มขึ้น อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น แต่กรณีเพิ่มความเร็วจากอุณหภูมิเดิมอัตราการใช้พลังงานจำเพาะเพิ่มขึ้น

- ผลของความชื้นสัมพัทธ์ที่เพิ่มขึ้นจากสภาวะอุณหภูมิและความเร็วเดิม พบว่าอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง และอัตราการใช้พลังงานจำเพาะมีค่าลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ลานนา ตาก ที่เอื้ออำนวยสถานที่ในการจัดเก็บข้อมูล

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2563). การฝึกอบรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์กล้วยโดยใช้ระบบอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบเรือนกระจก. สืบค้น 1 กุมภาพันธ์ 2564, จาก http://www.solardryerdede.com/wp-content/uploads/2020/02/drying_busarakorn.pdf
- จีระพงศ์ ศรีวิชัย. (2559). การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งพลังงานความร้อนเชิงเหนี่ยวนำ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 26 ฉบับที่ 3, 375-383.
- ศิระ อัจฉริยวิริยะ ไพโรจน์ จันทร์แก้ว และ อารีย์ อัจฉริยวิริยะ. (2562). การพัฒนาเครื่องอบแห้งกล้วยอบน้ำผึ้งโดยใช้พลังงานชีวมวล. การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15, 21-

- 24 พฤษภาคม 2562, จังหวัดนครราชสีมา, 910-915.
- Achariyaviriya, S., Achariyaviriya, A. and Chunkaew, P. (2014). Evaluation of technology transfer to rural communities for drying using LPG and solar energy cabinet dryer. *Journal of Agricultural Technology*. Vol. 10(5), 1139-1150.
- Chunkaew, P., Tevata, A., Chorbamrung, P. and Khadwilard, A. (2016). Moisture content reduction dimension and color change of dried bananas in parabola dome. in *Proceedings of research and creative innovations CRCI 3rd Conference, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand, 2016*, 949-955.
- Chunkaew, P. Khadwilard, A. and Thawonngamyingsakul, Ch. (2017). Drying bananas with a modified hot air dryer using waste heat from a 200 liter kiln. *RMUTI journal*, Vol.10, No.3, 1-12.
- Chunkaew, P., Tavata, A., Khadwilard, A., Sriudom, Y. (2018). Bananas drying performance with a developed hot air dryer using waste heat from charcoal production process. *RMUTP Research Journal*, 12(1), 147-158.
- Khadwilard, A. and Chunkaew, P. (2011). Modified Hot Air Dryer by Leaf Stove for Banana Drying. *Energy Procedia* 9, 344 – 350.

การทดสอบและเปรียบเทียบผลของสารทำงานภายในท่อความร้อน สำหรับระบายความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์

EXPERIMENTAL AND COMPARISON OF RESULTS OF WORKING FLUID IN THE HEAT PIPE FOR SOLAR CELL MODULES COOLING

ยุตนา ศรีอุดม^{1*} และ ประสาท เจาะบำรุง¹

Yuttana Sriudom^{1*} and Prasath Joibumrung²

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
41/1 หมู่ 7 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก63000

¹ Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak
41/1 moo 7 Paholayothin road , Mai Ngam , Muang, Tak, Thailand, 63000

*yuttana.sriudom@gmail.com, 0969765424

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบผลของสารทำงานภายในท่อความร้อนสำหรับระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับทดสอบเป็นแบบโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 80 วัตต์ ซึ่งจะทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แบบ คือ แบบที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน(HP1) แบบที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอล(HP2) เป็นสารทำงาน และ แบบที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน(HP3) จากผลการทดสอบ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน มีค่าเท่ากับ 52.9 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 9.3 เปอร์เซ็นต์ ส่วนแผงที่ทำการติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน มีอุณหภูมิที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย เท่ากับ 50.7 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 10.2 เปอร์เซ็นต์ และแผงที่ทำการติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน มีอุณหภูมิที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉลี่ย เท่ากับ เท่ากับ 49.2 องศาเซลเซียส และมีประสิทธิภาพ เท่ากับ 11.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการทดสอบจะเห็นได้ว่า การติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

คำสำคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพ, แผงเซลล์แสงอาทิตย์, ท่อความร้อนแบบแบน

Abstract

The purpose of this research was to test and compare the effect of working fluid for cooling of solar cell modules by cooling with heat pipes. The test set consists of three 80 watt solar modules that made of mono-crystalline. The first module did not install heat pipes, while the second module installed heat pipes using ethanol as the working fluid and the third module installed heat pipes using R-11 as working fluid respectively. The results showed that the average temperature of the first solar cell module was 52.9 °C and the efficiency was 9.3%, in the case of did not install heat pipes on solar module. With the units with heat pipes, it was found that unit with ethanol heat pipe had an average temperature of 50.7 °C and efficiency at

10.2%, whereas the temperature of the unit using R-11 heat pipe had an average temperature at 49.2 °C and efficiency at 11.8%. From the experiments, it was concluded that the installation of heat pipes can increase the efficiency of solar cell modules.

Keywords: Enhancing Efficiency, Solar Cell, Flat Heat Piped.

1. บทนำ

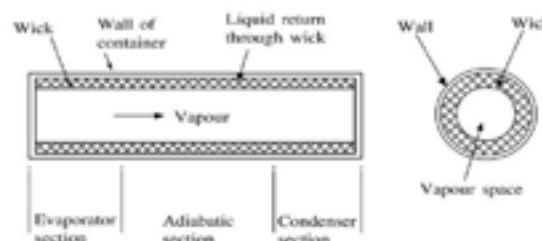
ในปัจจุบันได้การใช้พลังงานในประเทศนับวันจะยิ่งมีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในแต่ละปีนั้นจะต้องใช้งบประมาณหลายหมื่นล้านบาทที่สูญเสียไปกับค่าเชื้อเพลิงที่ได้จากธรรมชาติ ได้แก่ น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล ถิกไนต์ และก๊าซธรรมชาติ และมีแนวโน้มว่าค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้นทุกปี คณะผู้วิจัยเห็นว่าการแสวงหาทรัพยากรที่มีประโยชน์ในหลายรูปแบบจึงคิดนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุดโดยอาศัยสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เราเรียกว่า เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เพื่อที่จะมาใช้เป็นแหล่งพลังงานเพิ่มเติมจากพลังงานแหล่งอื่นๆ ที่จะหมดไปในอนาคต พลังงานแสงอาทิตย์นั้นมีปริมาณมหาศาลและไม่มีความหมดไปจากโลก และไม่ทำให้เกิดมลภาวะสำหรับประเทศไทยซึ่งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรของโลกได้รับพลังงานแสงอาทิตย์มากกว่าประเทศแถบอื่นๆ เช่น แถบยุโรป และแถบอเมริกา และยังมีแสงอาทิตย์อยู่ตลอดทั้งปีซึ่งสามารถนำเอาพลังงานจากแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างจริงจัง จะสามารถลดปริมาณการใช้เชื้อเพลิงได้เป็นจำนวนมากในแต่ละปี ในการใช้เซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้านั้นยังมีปัญหาจากการนำเอาพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดซึ่ง (นราธิป ศรีละโครต และคณะ, 2550) ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จะมีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิแผง 25 °C แต่เมื่ออุณหภูมิแผงเซลล์เพิ่มขึ้น 1°C จะส่งผลให้ประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงประมาณ 0.5% (สุรเชษฐ สีสานานู และคณะ, 2559) โดยปกติอุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่นำมาใช้ในประเทศไทย มักจะมีอุณหภูมิสูงกว่า 30°C ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง

ดังนั้น การทดสอบและเปรียบเทียบผลของสารทำงานภายในท่อความร้อนสำหรับระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยเลือกใช้สารทำงานให้เหมาะสมกับการระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น และสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพและเกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ท่อความร้อน (Heat Pipe)

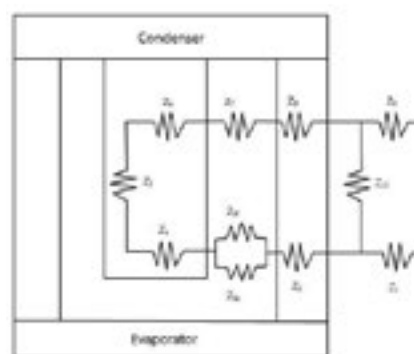
ท่อความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่สามารถในการนำความร้อนจากปลายด้านหนึ่งไปสู่ปลายอีกด้านหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว โดยมีลักษณะเป็นท่อปลายปิดทั้ง 2 ด้าน ภายในจะทำให้เป็นสุญญากาศและบรรจุสารทำงานและวัสดุพรมไว้ โดยสารทำงานทำหน้าที่รับความร้อนจากส่วนที่ระเหยแล้วไประบายความร้อนกับส่วนควบแน่นแล้วกลั่นตัวเป็นของเหลวไหลกลับมายังส่วนที่ระเหยอีกครั้ง โดยอาศัยวัสดุพรมที่มีแรงคาпилลารีช่วยในการดึงเอาสารทำงานที่กลั่นตัวให้ไหลกลับมายังส่วนที่ระเหย ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงรูปแบบของท่อความร้อน (Heat Pipe) (สัมพันธ์ ฤทธิเดช, 2555)

2.2 ค่าความร้อนที่ท่อความร้อนสามารถส่งผ่านได้

สามารถหาได้จากความต้านทานทั้งหมด (Z) ที่เกิดในระบบ พิจารณาจากรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความต้านทานในส่วนต่างๆที่ในท่อความร้อน (ถนัด เกษประดิษฐ์, 2559)

เมื่อ

Z_1, Z_9 = ความต้านทานการพาความร้อนโดยรอบผนังภายนอกท่อ

Z_2, Z_8 = ความต้านทานการนำความร้อนผ่านผนังท่อที่ส่วนทำระเหยและส่วนควบแน่น

Z_3, Z_7 = ความต้านทานภายในท่อของของเหลว

Z_5 = ความต้านทานจากความดันที่ลดลงในในส่วนควบแน่น

Z_{10} = ความต้านทานการนำความร้อนต่อความร้อนตามแนวความยาวท่อ

Z_4, Z_6 = ความต้านทานความร้อนในการเปลี่ยนแปลงสถานะระหว่างของเหลวและไอ

เมื่อ

Z_1, Z_9 คือ ความต้านทานที่เกิดจากการพาความร้อนโดยรอบผนังภายนอกท่อซึ่งหาจากสมการ (1) และ (2)

$$Z_1 = \frac{1}{h_{con} A_{con}} \quad (1)$$

$$Z_9 = \frac{1}{h_{ext} A_{ext}} \quad (2)$$

สมการในการหาค่าความต้านทานรวม แสดงดังสมการที่ (3)

$$Z_{total} = Z_1 + \left[\frac{1}{Z_2 + Z_3 + Z_5 + Z_7 + Z_8} + \frac{1}{Z_{10}} \right]^{-1} + Z_9 \quad (3)$$

หลังจากได้ค่าความต้านทานความร้อนรวมแล้ว สามารถหาค่าความร้อนที่ท่อความร้อนสามารถส่งถ่ายได้ ดังสมการที่ (4)

$$q = \frac{\Delta T}{Z_{total}} \quad (4)$$

เมื่อ $\Delta T = T_{so} - T_{si}$ (5)

เมื่อ T_{so} คือ อุณหภูมิของแหล่งให้ความร้อน (°C)

T_{si} คือ อุณหภูมิของแหล่งรับความร้อน (°C)

2.3 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนเมื่อให้ความร้อนเข้าไปยังส่วนทำระเหย สารทำงานจะรับความร้อนจะเกิดการเดือดและเคลื่อนที่จากส่วนทำระเหยไปยังส่วนควบแน่นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าและเกิดการถ่ายเทความร้อนทำให้เกิดการควบแน่น ในการหาค่าการถ่ายเทความร้อนไปยังส่วนควบแน่นคำนวณจากวิธี Calorimeter โดยการวัดค่าอุณหภูมิ

ทั้งขาเข้าและขาออกของสารรับความร้อนที่ส่วนควบแน่น จากนั้นนำค่าที่ได้มาคำนวณโดยใช้สมการ (6) ดังต่อไปนี้

$$Q = m^{\cdot} c_p \Delta T \quad (6)$$

โดยที่

Q คือ ค่าความร้อนของอากาศในส่วนควบแน่น (W)

m^{\cdot} คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

c_p คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg-°C)

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของอากาศขาออกและขาเข้าที่ส่วนควบแน่น (°C)

เมื่อ

$$m^{\cdot} = \rho v A \quad (7)$$

โดย ρ คือ ค่าความหนาแน่น (kg/m³)

v คือ ค่าความเร็วของสารทำงาน (m/s)

A คือ ค่าพื้นที่หน้าตัดที่สารทำงานไหลผ่าน (m²)

การคำนวณประสิทธิภาพ (η) ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์แสดงดังสมการที่ (3)

$$\eta = (IV)/(GA) \quad (8)$$

การคำนวณกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังสมการที่ (4)

$$P = IV \quad (9)$$

โดยที่

P คือ ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

I คือ กระแสไฟฟ้า (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (Volt)

G คือ ความเข้มรังสีแสงอาทิตย์ (W/m²)

A คือ พื้นที่รับรังสีแสงอาทิตย์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m²)

P คือ กำลังไฟฟ้า (Watts)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบ และสร้างชุดทดลอง โดยแบ่งชุดสอบออกเป็น 3 ชุด ได้แก่ 1. ชุดทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (HP1) 2. ชุดทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน (HP2) และ 3 ชุดทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความ

เย็น R-11 เป็นสารทำงาน (HP3) โดยช่วงเวลาในการทดสอบ ระหว่างวันที่ 1 - 30 ธันวาคม 2560

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.1 ท่อความร้อนทำจากท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 18 มิลลิเมตร ภายในติดตั้งวัสดุพรุนแบบตาข่ายทองแดง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.1 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3 บรรจุสารทำงานประกอบด้วย เอทานอล และ สารทำความเย็น R-11 โดยเติมสารทำความเย็น 40% โดยปริมาตรรวมภายในท่อ



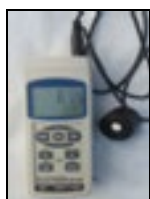
รูปที่ 3 ท่อความร้อน และวัสดุพรุนแบบตาข่าย

1.2 สายเทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ OMEGA ชนิด K แม่นยำ $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 4 สายเทอร์โมคัปเปิลยี่ห้อ OMEGA ชนิด K

1.3 เครื่องวัดความเข้มแสง ยี่ห้อ SPM-1116SD ช่วงการวัด 0.0 ถึง 2,000.0 W/m² ความแม่นยำ $\pm 10\text{ W/m}^2$



รูปที่ 5 เครื่องวัดความเข้มแสง (Pyranometer)

1.4 เครื่องบันทึกข้อมูล ยี่ห้อ Wisco รุ่น DL 2200 ขนาด 8 ช่องสัญญาณ มีช่วงการวัดอุณหภูมิ $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $1,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความแม่นยำ $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 6 เครื่องบันทึกอุณหภูมิ (Data-logger)

1.5 ตัวขยายสัญญาณ Analog Expansion Module EX24 ขนาด 16 Channels Analog Input มีช่วงการวัดอุณหภูมิ $-250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ถึง $1,300\text{ }^{\circ}\text{C}$ มีความแม่นยำ $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$



รูปที่ 7 Analog Expansion Module

1.6 มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ GW instek GDM-394/396 ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 8 มัลติมิเตอร์

1.7 เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า LEONICS รุ่น APOLLO S-120A แรงดันไฟฟ้าขาเข้า 12 Vdc แรงดันไฟฟ้าขาออก 220 Vac 1 เฟส ความถี่ไฟฟ้า 50 Hz



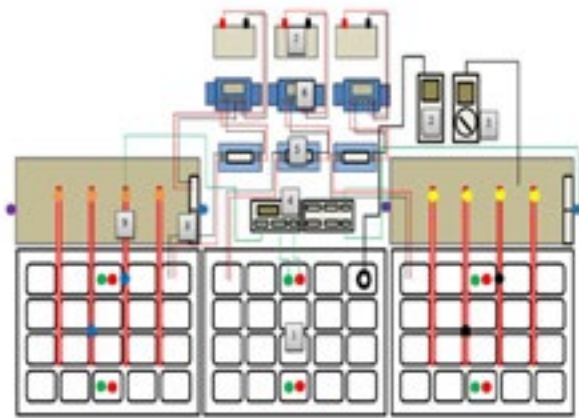
รูปที่ 9 เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้า

1.8 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Mono-crystalline module ขนาด 80 W) แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (Voc) 18.0 V กระแสสูงสุด (Isc) 2.23 A



รูปที่ 10 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโน

1.9 ไดอะแกรมสำหรับติดตั้งอุปกรณ์สำหรับตรวจวัด และเก็บข้อมูลการทดลอง



รูปที่ 11 ผังการติดตั้งเครื่องมือตรวจวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดสำหรับการทดสอบ

หมายเลข	รายการ	สี	รายการ
1	เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell)	●	ค่าแรงใช้สารเคมีในคดีวิเคราะห์
2	เครื่องวัดความร้อน (Pyranometer)	●	ค่าแรงใช้สารเคมีในคดีวิเคราะห์
3	ตัวนำไฟฟ้า	●	การวิเคราะห์สารเคมีในคดีวิเคราะห์
4	เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)	●	การวิเคราะห์สารเคมีในคดีวิเคราะห์
5	SoftStart (Watt meter)	●	ค่าแรงใช้สารเคมี
6	เครื่องควบคุมการชาร์จ (Solar Charge controller)	●	ค่าแรงใช้สารเคมี
7	แบตเตอรี่ (Battery)	●	ค่าแรงใช้สารเคมี
8	ฟิล์มบางเซลล์แสงอาทิตย์ (Thin)	●	ค่าแรงใช้สารเคมี
9	ท่อระบายน้ำ (Drain Pipe)	●	ค่าแรงใช้สารเคมี

2. ขั้นตอนการทดสอบ

ผู้วิจัยได้ทำการจัดทำชุดทดสอบ 3 ชุด ได้แก่ 1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (HP1) 2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน (HP2) และ 3. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สาร R-11 เป็นสารทำงาน (HP3) โดยทดสอบในช่วงวันที่ 1 - 30 ธันวาคม พ.ศ.2559 ช่วงเวลาการเก็บข้อมูล ตั้งแต่เวลา 09.00 - 16.00 น. โดยทำการทดสอบที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งข้อมูลที่ทำการบันทึก ได้แก่ อุณหภูมิ ความเข้มแสง ความต่างศักย์ และกระแสไฟฟ้า ทำการบันทึกข้อมูลทุก ๆ 5 วินาที โดยมีขั้นตอนในการทดสอบ ดังต่อไปนี้

2.1 ทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ก่อนติดตั้งท่อความร้อนเพื่อหาประสิทธิภาพแผง โดยแบ่งแผงออกเป็น 3 ชุด ประกอบด้วย แผงที่ 1 (S1) แผงที่ 2 (S2) และ แผงที่ 3 (S3) โดยทำการทดสอบ จำนวน 3 วัน แล้วนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาคำนวณหาประสิทธิภาพแผง

2.2 ทำการติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ตามขนาดที่ออกแบบไว้ โดยแบ่งชุดทดสอบออกเป็น 3 ชุด ประกอบไปด้วย 1. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (HP1) 2. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน (HP2) และ 3. แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สาร R-11 เป็นสารทำงาน (HP3)

2.3 ติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบ และอุปกรณ์ในการตรวจวัดเข้ากับชุดทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 11 โดยทำการบันทึกอุณหภูมิ อุณหภูมิ ความเข้มแสง และกำลังไฟฟ้า ทุก ๆ 5 วินาที และนำข้อมูลที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

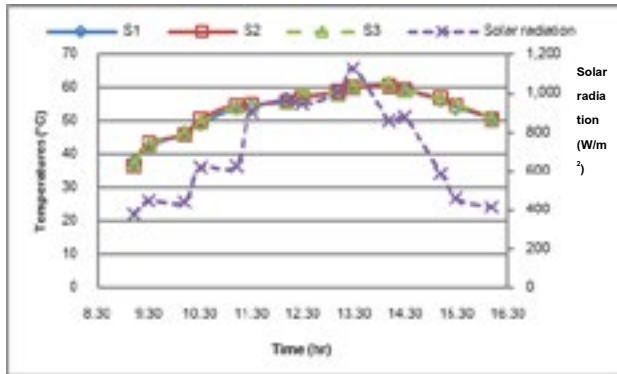
3. คำนวณหาการถ่ายเทความร้อนและประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการทดสอบ ตามสมการที่ (1) - (9)

4. ผลการวิจัย

จากการศึกษา ทดลองและวิจัยผลเพื่อหาประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (HP1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน (HP2) และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สาร R-11 เป็นสารทำงาน (HP3) และนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูล และคำนวณหาประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยผลจากการทดสอบ ประกอบไปด้วย

4.1 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ยังไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน

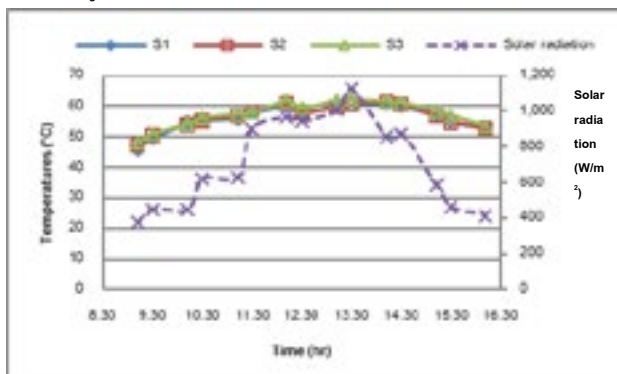
1. ผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิใต้แผงของทั้ง 3 แผง กรณีที่ยังไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน แสดงดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอุณหภูมิตั้งแต่เช้า และช่วงเวลาในการทดสอบ

จากรูปที่ 12 พบว่า อุณหภูมิได้แก้มจะผันแปรตามความเข้มแสงโดยเมื่อความเข้มแสงมีค่าสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิได้แก้มมีค่าเพิ่มขึ้น การที่อุณหภูมิได้แก้มมีค่าสูงขึ้นนั้นเนื่องจากการสะสมความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งจะเห็นได้จากช่วงเวลา 9.00 น. อุณหภูมิได้แก้มจะมีค่าต่ำ และจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความเข้มแสงสูงสุด เท่ากับ $1,127 \text{ W/m}^2$ เมื่อเวลา 13.30 น. และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 711.8 W/m^2 ส่วนอุณหภูมิได้แก้มสูงสุด เท่ากับ $61.1 \text{ }^\circ\text{C}$ เมื่อเวลา 14.00 น. และมีค่าอุณหภูมิเฉลี่ยได้แก้มเฉลี่ย เท่ากับ $50.4 \text{ }^\circ\text{C}$

2. ผลของความเข้มแสงและอุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 แผง กรณีที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน แสดงดังรูปที่ 13



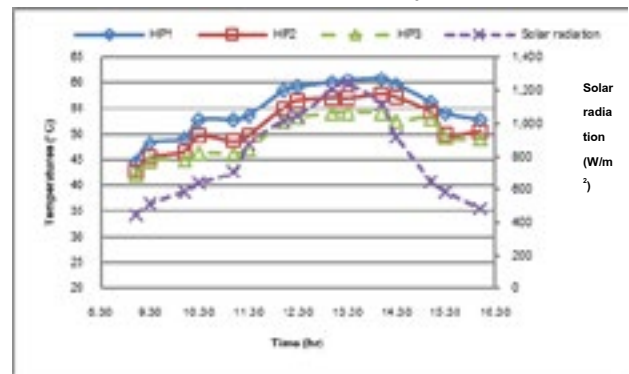
รูปที่ 13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอุณหภูมิตั้งแต่เช้า และช่วงเวลาในการทดสอบ

จากรูปที่ 13 พบว่า อุณหภูมิบนแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะผันแปรตามความเข้มแสงโดยเมื่อความเข้มแสงมีค่าสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิบนแผงมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับ

อุณหภูมิตั้งแต่เช้า โดยการที่อุณหภูมิตั้งแต่เช้ามีค่าสูงขึ้นนั้นเนื่องจากการสะสมความร้อนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยค่าความเข้มแสงสูงสุดมีค่าเท่ากับ $1,127 \text{ W/m}^2$ เมื่อเวลา 13.30 น. และมีค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดทั้งวัน เท่ากับ 711.8 W/m^2 ส่วนอุณหภูมิตั้งแต่เช้าสูงสุดมีค่าเท่ากับ $62.3 \text{ }^\circ\text{C}$ เมื่อเวลา 13.30 น. และมีค่าอุณหภูมิตั้งแต่เช้าเฉลี่ยได้แก้ม เท่ากับ $53.4 \text{ }^\circ\text{C}$

4.2 ผลการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อน

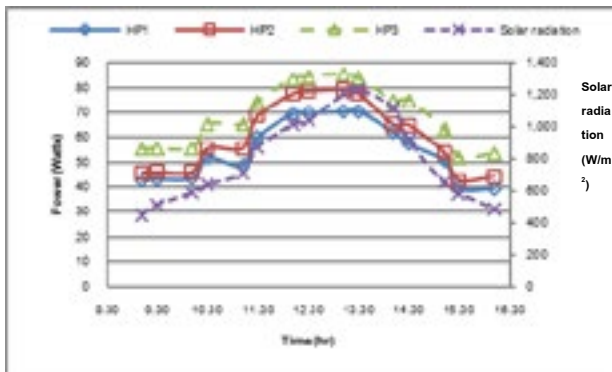
1. ผลของความเข้มแสง และอุณหภูมิตั้งแต่เช้าเซลล์แสงอาทิตย์ของทั้ง 3 ชุดทดสอบ แสดงดังรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอุณหภูมิตั้งแต่เช้า และช่วงเวลาในการทดสอบ

จากรูปที่ 14 พบว่า ชุดทดสอบทั้ง 3 ชุดทดสอบมีแนวโน้มอุณหภูมิตั้งแต่เช้าที่เหมือนกันคือเมื่อความเข้มแสงมีค่าสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิตั้งแต่เช้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยอุณหภูมิตั้งแต่เช้าเฉลี่ยของชุดทดสอบ HP1 HP2 และ HP3 มีค่าเท่ากับ $54.9 \text{ }^\circ\text{C}$ $51.9 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $49.6 \text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับ และมีอุณหภูมิตั้งแต่เช้าสูงสุดของชุดทดสอบ HP1 HP2 และ HP3 มีค่าเท่ากับ $60.8 \text{ }^\circ\text{C}$ $57.9 \text{ }^\circ\text{C}$ และ $53.2 \text{ }^\circ\text{C}$ ตามลำดับ โดยจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการติดตั้งท่อความร้อนเข้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้อุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิตั้งแต่เช้าลดลงเนื่องจากท่อความร้อนดึงเอาความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์นั่นเอง โดยท่อความร้อนที่ใช้สารที่ใส่สารทำความเย็น R-11 (ชุดทดสอบ HP3) สามารถดึงความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด

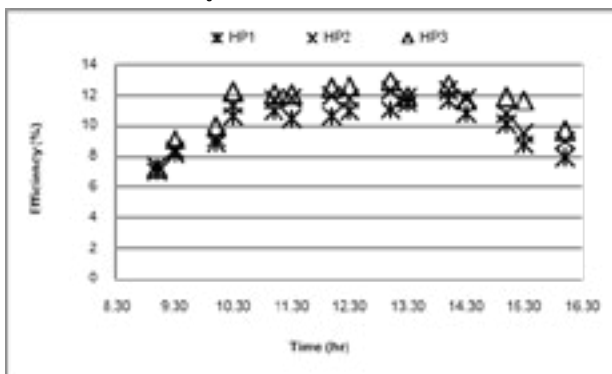
2. ผลของการทดสอบกำลังไฟฟ้าของชุดทดสอบ เซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงผลของกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ได้จากการทดสอบ

จากรูปที่ 15 พบว่า ค่าพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผง มีแนวโน้มที่เหมือนกัน คือ เมื่อค่าความเข้มแสงมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงจะส่งผลให้ค่าพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามไปด้วย ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ HP1, HP2 และ HP3 มีค่าเท่ากับ 54.7 W 60.2 W และ 68.5 W ตามลำดับ โดยค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ HP1, HP2 และ HP3 มีค่าเท่ากับ 70.7 W 79.3 W และ 85.4 W ตามลำดับ โดยจากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สาร R-11 เป็นสารทำงานจะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าได้สูงสุด รองลงมาคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนจะผลิตไฟฟ้าได้น้อยที่สุด

3. ผลของการทดสอบประสิทธิภาพชุดทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงผลของประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากการทดสอบ

จากรูปที่ 16 พบว่า ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 แผง มีแนวโน้มที่เหมือนกัน ซึ่งค่าประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ HP1, HP2 และ HP3 มีค่าเท่ากับ 9.3 เปอร์เซ็นต์ 10.2 เปอร์เซ็นต์ และ 11.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อทำการติดตั้งท่อความร้อนเพื่อระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยใช้สาร R-11 เป็นสารทำงาน จะทำให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนจะมีประสิทธิภาพต่ำสุด

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาแนวทางการเพิ่มสมรรถนะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการติดตั้งท่อความร้อนสำหรับระบายความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการทดสอบในเดือน ธันวาคม 2559 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สำหรับทดสอบเป็นแบบโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 80 วัตต์ และ ซึ่งจะทำการทดสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ 3 แบบ คือ แบบที่ 1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (HP1) แบบที่ 2 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอล (HP2) เป็นสารทำงาน และ แบบที่ 3 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน (HP3) ซึ่งการทดสอบจะทำการเก็บข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์ กำลังไฟฟ้า และอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากผลการทดสอบ พบว่า อุณหภูมิเฉลี่ยที่ผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน (HP1) แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้เอทานอลเป็นสารทำงาน (HP2) และ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำความเย็น R-11 เป็นสารทำงาน (HP3) มีค่าเท่ากับ 52.8 50.6 และ 49.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งแผงทดสอบ (HP3) สามารถถ่ายเทความร้อนออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้สูงสุด รองลงมาคือ แผงทดสอบ (HP2) ส่วนแผงทดสอบ (HP1) ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อนจะมีการถ่ายเทความร้อนออกจากแผงเซลล์ได้น้อยที่สุด และ ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแผงทดสอบ (HP1) แผงทดสอบ (HP2) และ แผงทดสอบ (HP3) มีค่าเท่ากับ 9.3 10.2 และ 11.8 เปอร์เซ็นต์ โดยแผงที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้

สาร R-11 เป็นสารทำงาน จะให้ประสิทธิภาพสูงสุด รองลงมาคือแผงที่ติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารเอทานอลเป็นสารทำงาน ส่วนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้ติดตั้งท่อความร้อน จะให้ประสิทธิภาพต่ำสุด ซึ่งการติดตั้งท่อความร้อนโดยใช้สารทำงาน R-11 เป็นสารทำงานสามารถลดอุณหภูมิของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลงได้สูงสุด และส่งผลให้ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สูงสุดตามไปด้วย เนื่องจากสารทำงาน R-11 มีจุดเดือดที่ต่ำกว่าเอทานอล เมื่อสารทำงาน R-11 ได้รับความร้อนจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์จะทำให้การเดือดของสารทำงานเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วกว่าสารทำงานเอทานอล ดังนั้น เมื่อสารทำงาน R-11 เดือดได้เร็วกว่า จึงทำให้สารทำงานเกิดการเคลื่อนตัวไปแลกเปลี่ยนความร้อนในส่วนควบแน่นได้เร็วกว่าสารทำงานเอทานอลนั่นเอง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้งบประมาณสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลักษณ์เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เอื้อเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

สัมพันธ์ ฤทธิเดช (2555). เทคโนโลยีท่อความร้อน.

มหาสารคาม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย มหาสารคาม.

ณัด เกษประดิษฐ์ (2551). เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบเทอร์โมไซฟอน. ห้องวิจัยท่อความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ยุธนา ศรีอุดม ธีรพัฒน์ ชมภูคำ และ สัมพันธ์ ฤทธิเดช (2557). อุณหภูมิส่วนทำระเหย ระยะพิทช์ และสารทำงานที่มีต่อ รูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบชนิดเกลียวขด. การถ่ายเทพลังงาน ความร้อนและมวลในอุปกรณ์ด้านความร้อนและกระบวนการ. ครั้งที่ 13. หน้า 47-53

Rittidech, S. and S. Sangiamsuk (2012) Internal Flow Patterns on Heat Transfer Performance of a

Closed-Loop Oscillating Heat Pipe with Check Valves. *Experimental Heat Transfer*, 25, 48-57.

Xu, J.L., Y.X. Li, and T.N. Wong (2005) High speed flow visualization of a closed loop pulsating heat pipe. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 48, 3338-3351.

Yi, H., Z.H. Liu, and J. Wang (2003) Heat transfer characteristics of the evaporator section using small helical coiled pipes in a looped heat pipe. *Applied Thermal Engineering*, 23, 89-99.

Y.Sriudom, S. Ritticech, and T. Chompookham (2014) The Helical Oscillating Heat Pipe: Flow Pattern Behaviour Study, *Advances in Mechanical Engineering*, 7, 1-11.

การพัฒนาคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูงสำหรับระบบเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อม

DEVELOPMENT OF HIGH STEP-UP BOOST CONVERTERS FOR ENERGY HARVESTING SYSTEMS

ธีระพล ฤทธิศาสตร์^{1*} ดำรงค์ อมรเดชาพล² และ กรวิณ สุวรรณภักดิ์³

Teerapol Rittisad^{1*}, Damrong Amorndechaphon² and Korawin Suwannapuk³

^{1*,2,3} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา

^{1*,2,3} Department of Electrical Engineering, School of Engineering, University of Phayao, Mae-ka, Muang, Phayao, 56000, Thailand

*hnong2525@gmail.com, 082-3907534

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวงจรตีซึทูตีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูงเพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดอัตราการขยายแรงดันที่มีค่าไม่สูงพอที่จะนำไปใช้งานร่วมกับไมโครอินเวอร์เตอร์ที่ทำหน้าที่จ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า โดยที่วงจรตีซึทูตีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูงที่นำเสนอใช้นใช้วิธีฝากแรงดันไฟฟ้าที่คาปาซิเตอร์ซึ่งสามารถขยายแรงดันได้เป็นจำนวน N เท่า ขึ้นอยู่กับการต่อชุดไดโอดและคาปาซิเตอร์ การทดลองครั้งนี้ทำการวิเคราะห์การเลือกอัตราการขยายของวงจรตีซึทูตีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่นำเสนอเพื่อหาอัตราการขยายที่เหมาะสม การจำลองการทำงานของวงจรใช้โปรแกรม PSIM โดยจำลองการใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 340W กับวงจรที่นำเสนอที่ความถี่สวิตช์ 100kHz ค่าอินดักเตอร์ 500uH และค่าคาปาซิเตอร์ 10uF ผลที่ได้จากการจำลองการทำงานถูกนำมาเปรียบเทียบกับสมการเพื่อแสดงให้เห็นว่าวงจรตีซึทูตีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันที่นำเสนอสามารถเพิ่มอัตราการขยายได้จริง

คำสำคัญ: เซลล์แสงอาทิตย์, ตีซึทูตีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดัน, อัตราการขยาย

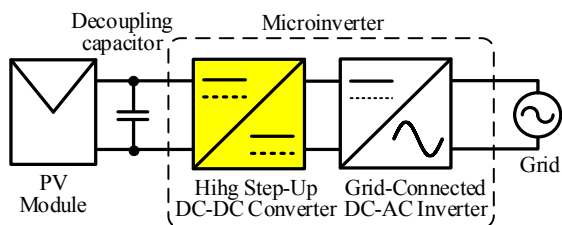
Abstract

This research presents a high step-up DC to DC converter circuit with high voltage gain to solve the limitation of the voltage gain that is not high enough to be used in conjunction with the micro-inverter which supply AC power to the electrical system. The proposed high step-up DC-to-DC converter with a high voltage gain stored the voltage at the capacitor, which can then be amplified by N times depending on diode and capacitor connections. The selection of gain of the proposed high step-up DC-to-DC converter circuit has been analyzed to determine the most proper gain. The circuit simulation was performed using a PSIM by simulating a 340W solar panel with a presented circuit at a switching frequency of 100kHz, a 500uH inductor and a 10uF capacitor. The results of the simulation were compared with the equation to show that the proposed high step-up DC-to-DC converter circuit with high voltage gain can certainly increase the gain.

Keywords: solar panel, high step-up DC to DC converter, high voltage gain

1. บทนำ

การเก็บเกี่ยวพลังงาน จัดเป็นอีกช่องทางหนึ่งสำหรับพลังงานทดแทนในอนาคต ด้วยเป็นการเก็บเกี่ยวพลังงานจากสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นมากมายรอบตัวเรา ซึ่งพลังงานที่พูดถึงนี้เป็นพลังงานทดแทน ชนิดหมุนเวียน ซึ่งสามารถหมุนเวียนใช้ได้อีก แหล่งพลังงานทดแทนเป็นพลังงานสะอาดนั่นคือพลังงานแสงอาทิตย์อาทิตย์เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) แปลงพลังงานจากแสงแดดเป็นพลังงานไฟฟ้า จัดเป็นแหล่งพลังงานที่ให้ค่าความหนาแน่นพลังงานมากที่สุด (ในกรณีรับแสงโดยตรง) มีค่า 15,000 ไมโครวัตต์ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร [1] การใช้เซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงนั้นเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องมาจากการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นไม่มีชิ้นส่วนใดเคลื่อนไหวขณะใช้งานจึงไม่มีมลภาวะทางเสียง ไม่ก่อให้เกิดสภาวะเป็นพิษจากขบวนการผลิต มีการบำรุงรักษาน้อย



รูปที่ 1 ไมโครอินเวอร์เตอร์สำหรับระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดหนึ่งเฟส

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานจากแสงอาทิตย์และจ่ายกระแสไฟฟ้ากลับคืนสู่ระบบสายส่งของระบบไฟฟ้าในปัจจุบันมักจะเลือกใช้ประเภท AC-module configuration หรืออาจเรียกว่า microinverter หรือ ไมโครอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งแสดงถึงวงจรภายในของ microinverter ประกอบด้วยซีพียูดีซีคอนเวอร์เตอร์ ที่มีอัตราขยายแรงดันค่าสูง (High step-up) ซึ่งสามารถปรับระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ได้รับจากแผงเซลล์

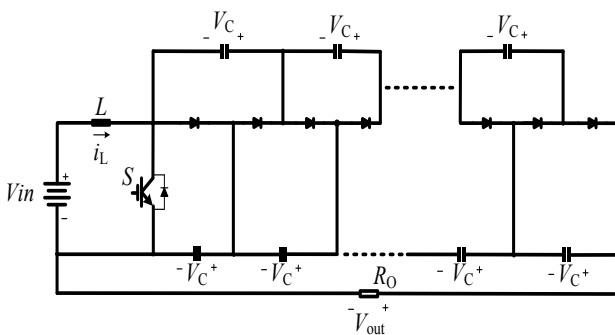
แสงอาทิตย์ที่มีค่าแรงดันประมาณ 15-50VDC ขึ้นไปเป็นประมาณ 400VDC ที่บัสไฟตรง (DC bus) ก่อนต่อเข้ากับดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

ดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นแล้วว่า ระดับแรงดันด้านออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ปกติจะมีค่าต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ประมาณ 15-50VDC แต่จะถูกยกระดับให้มีความสูงขึ้นไปเป็นประมาณ 400VDC ด้วยวงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันจากนั้นวงจรดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับและจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า (Grid) ต่อไป ในอดีตการพัฒนางจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันให้มีอัตราการขยายแรงดันค่าสูงนั้นมีหลากหลายวิธี อาทิเช่น Figueiredo และคณะ [2] เป็นการพัฒนางจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Single-switch quadratic boost converter เพื่อเพิ่มแรงดันโดยการนำตัวเหนี่ยวนำอีกชุดมาต่อเรียงกันกับตัวเหนี่ยวนำชุดเดิมโดยใช้อุปกรณ์สวิทช์เพียงหนึ่งตัวซึ่งทำให้ยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นได้ Lin และคณะ [3] เป็นการพัฒนางจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Three-level boost converters โดยการนำส่วนประกอบของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันมาต่อแทรกเข้าไปกับคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันชุดเดิมและควบคุมการทำงานของ สวิตช์กำลังของทั้งสองวงจรให้สอดคล้องกันซึ่งทำให้ยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นได้ Huber และคณะ [4] เป็นการพัฒนางจรคอนเวอร์เตอร์แบบ Cascaded boost converters โดยการนำวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันอีกชุดมาต่อเรียงกันไปกับคอนเวอร์เตอร์ชุดเดิมซึ่งทำให้ยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นได้ ในงานวิจัยที่ได้ยกตัวอย่างทั้งสามแบบมานั้นมีข้อจำกัดคือยกระดับแรงดันได้ไม่สูงมากจึงมีการพัฒนา Rosas และคณะ [5] ขึ้นมา ซึ่งวงจรรูปแบบนี้เหมาะสำหรับยกระดับแรงดันไฟฟ้าเพราะว่าสามารถขยายแรงดันได้เป็นจำนวนเท่าของอัตราขยาย (N) ขึ้นอยู่กับการต่อชุดไดโอดและคาปาซิเตอร์ วิธีนี้จึงถูกนำมาใช้สำหรับแก้ปัญหา วงจรบูสคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีอัตราการขยายต่ำ

โดยงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาวงจรตีซีทูตีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่ใช้พื้นฐานวงจร MBC ในส่วนต่อจากนี้จะแสดงสถานะการทำงานของวงจร สมการที่ใช้ในการออกแบบและแสดงผลการทดลองโดยการจำลองการทำ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

หลักการการทำงานของวงจรตีซีทูตีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันจากรูปที่ 2 เป็นวงจรตีซีทูตีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่มีพื้นฐานของวงจรแบบมีอุปกรณ์สวิตช์ 1 ตัว มีจำนวนไดโอดและคาปาซิเตอร์เท่ากับ $2N-1$ โดยวงจรสามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าได้โดยการเพิ่มจำนวนไดโอดและคาปาซิเตอร์เข้าไปในวงจรหลัก สังเกตได้ว่าวงจрд้านซ้ายจะเป็นวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบดั้งเดิม อัตราการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเป็นไปตามสมการที่ 1 โดย V_{in} คือแรงดันอินพุต V_{out} คือแรงดันเอาต์พุต N คือจำนวนเท่าของอัตราการขยายและ D คือค่าดิวตี้ไซเคิล



รูปที่ 2 วงจรตีซีทูตีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดัน N_x

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{N}{1-D} \quad (1)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านอินดักเตอร์ i_L สามารถหาได้จากสมการที่ 2 โดย V_C คือแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ R_O คือค่าความต้านทานเอาต์พุต

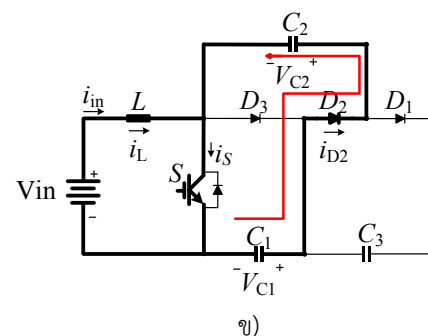
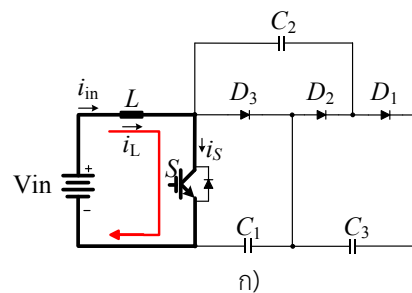
$$i_L = \frac{V_C}{V_{in}} \frac{N^2 V_C}{R_O} = \frac{N^2 V_C}{(1-D) R_O} \quad (2)$$

การหาค่าอินดักเตอร์ L และคาปาซิเตอร์ C ของวงจรสามารถใช้วิธีการหาจากวงจรบูสคอนเวอร์เตอร์แบบดั้งเดิมที่แสดงในสมการที่ 3 และสมการที่ 4 โดยที่ ΔV_o คือค่าแรงดันไฟฟ้ากระแสเพิ่มด้านเอาต์พุตและ f_s คือความถี่สวิตช์

$$L = \frac{D \cdot (1-D)^2 R_O}{2 f_s} \quad (3)$$

$$C = \frac{D}{R \Delta V_o f_s} \quad (4)$$

การทำงานของวงจรสามารถแบ่งออกเป็นสองช่วงคือช่วงสวิตช์ปิดและช่วงสวิตช์เปิดโดยอธิบายได้ดังนี้

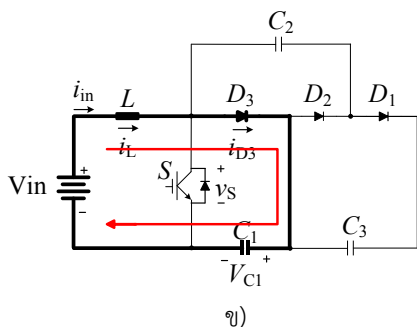
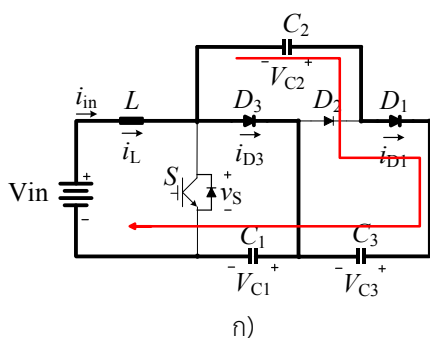


รูปที่ 3 การทำงานของวงจรขณะสวิตช์ปิด

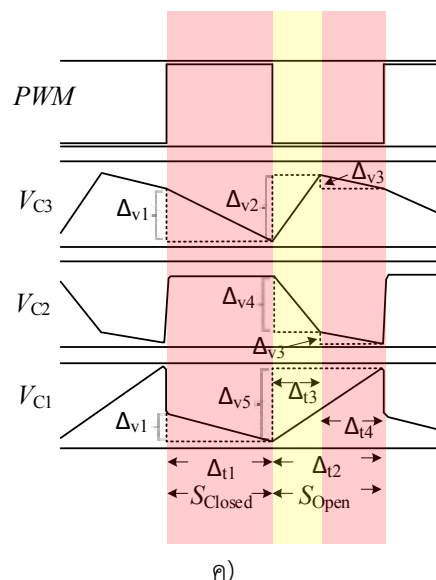
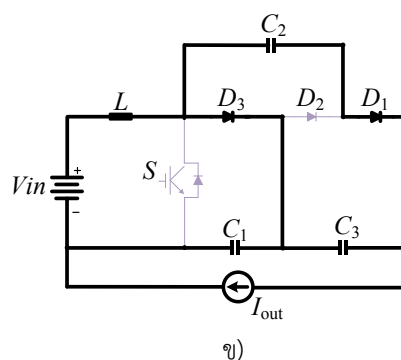
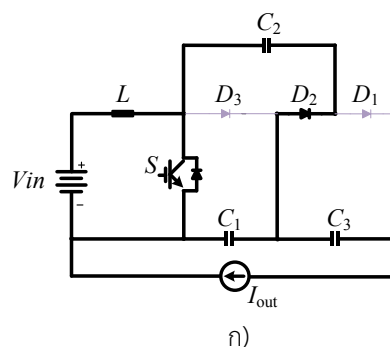
ช่วงระหว่างสวิตช์ปิด อินดักเตอร์ L ต่อกับแหล่งจ่ายไฟฟ้า V_{in} ตามรูปที่ 3 ก) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_2 น้อยกว่า C_1 ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่ C_1 ถ่ายเทประจุไฟฟ้าไปยัง C_2 ผ่าน D_2 และสวิตช์ S ตามรูปที่ 3 ข)

ช่วงระหว่างสวิตช์เปิด แรงดันไฟฟ้าที่ C_2 และ V_{in} รวมกับแรงดันไฟฟ้าที่อินดักเตอร์ประจุ ไปยัง C_1 และ C_3 ผ่าน D_1 ตามรูปที่ 4 ก) เมื่อแรงดันไฟฟ้าที่ C_3 และ C_2 มีค่าใกล้เคียงกัน กระแสที่อินดักเตอร์ I_L ไหลผ่าน D_3 เพื่อประจุแรงดันไฟฟ้าที่ C_1 ตามรูปที่ 4 ข)

พิจารณาแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C_1, C_2 และ C_3 และ I_{out} คือกระแสที่ไหลผ่านโหลด จากการคำนวณของวงจรที่ค่าตัวชี้ใช้เคล 0.5 จากรูปที่ 5 ก) และ 5 ข) คือรูปการทำงานของวงจรต่อร่วมกับโหลด ขณะสวิตช์เปิด-ปิด รูปที่ 5 ค) คือแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C_1, C_2 และ C_3 ในช่วงเวลาสวิตช์ปิด Δ_{t1} คาปาซิเตอร์ C_1 ถ่ายเทประจุไปยัง C_2 และคาปาซิเตอร์ C_1 และ C_3 ถ่ายไปยังโหลดที่แรงดัน Δ_{V1} ตามสมการที่ 5



รูปที่ 4 การทำงานของวงจรขณะสวิตช์เปิด



รูปที่ 5 วงจรตีซึทูดซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันและรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้ากรณี N เท่ากับ 3

ก) วงจร MBC ขณะสวิตช์ปิด

ข) วงจร MBC ขณะสวิตช์เปิด

ค) แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C_1, C_2 และ C_3

ในช่วงเวลาสวิตช์เปิด Δ_{t2} ถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงเวลาคือ Δ_{t3} และ Δ_{t4} โดยในช่วงเวลา Δ_{t3} คาปาซิเตอร์ C_2 ถ่ายเทประจุไปยัง C_3 และ C_1 โดยแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_2 เท่ากับสมการที่ 6 ส่วนแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_3 เท่ากับสมการที่ 7 โดยในช่วงเวลานี้ C_1 ยังถูกคงประจุด้วย $I_L - I_{out}$ เมื่อพิจารณาด้วย KCL

$$\Delta_{V1} = \frac{1}{c_1} I_{out} \Delta_{t1} = \frac{1}{c_2} I_{out} \Delta_{t1} \quad (5)$$

$$\Delta_{V4} = \frac{1}{c_2} I_L \Delta_{t3} \quad (6)$$

$$\Delta_{V2} = \frac{1}{c_2} (I_L - I_{out}) \Delta_{t3} \quad (7)$$

แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม C_2 และ C_3 ในช่วงเวลา Δ_{t4} สามารถหาได้จาก

$$\Delta_{V3} = \frac{1}{c_2} \left(\frac{I_{out}}{2} \right) \Delta_{t4} = \frac{1}{c_3} \left(\frac{I_{out}}{2} \right) \Delta_{t4} \quad (8)$$

และ Δ_{V5} สามารถหาได้จาก

$$\Delta_{V5} = \frac{1}{c_1} (I_L - I_{out}) \Delta_{t2} = \frac{1}{c_1} (I_L - I_{out}) (\Delta_{t3} + \Delta_{t4}) \quad (9)$$

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบวงจรที่นำเสนอโดยการเลือกจำนวน N จากสมการเปรียบเทียบกับค่าจำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม PSIM

3.1 เลือกจำนวน N จากสมการ

การหาขนาดของ V_{out} ให้มีขนาดแรงดันที่ 400VDC จากสมการที่ 10 จะเห็นได้ว่าแรงดันเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวน N ในวงจรมีค่ามากขึ้น

$$V_{out} = N \cdot V_C = \frac{N \cdot V_{in}}{1-D} \quad (10)$$

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
Maximum Power	P_{max}	340W
Power Tolerance		±3%
Maximum Power Voltage	V_{mp}	38.73V
Maximum Power Current	I_{mp}	8.99A
Open Circuit Voltage	V_{OC}	47.43V
Short Circuit Current	I_{SC}	9.89A
Maximum Sytem Voltage		1000VDC

จากตารางที่ 1 คือค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่จะนำมาใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 2 ค่าแรงดันเอาต์พุตเมื่อเปลี่ยนจำนวน N

$V_{in} (V)$	D	N	$V_{out} (V)$
38.73	0.5	1	77.46
38.73	0.5	2	154.92
38.73	0.5	3	232.38
38.73	0.5	4	309.84
38.73	0.5	5	387.3
38.73	0.5	6	464.76

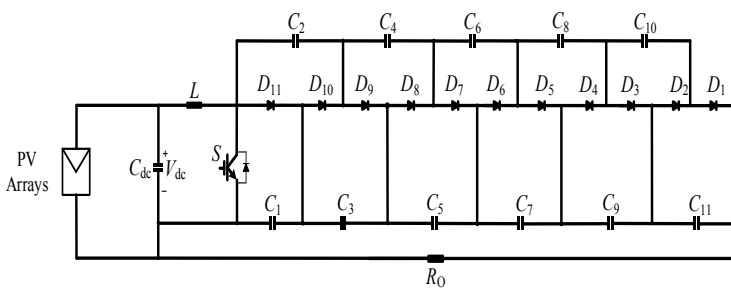
จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่า ที่ N เท่ากับ 6 จะได้แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่มากกว่า 400VDC ซึ่งเป็นแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการที่บัสไฟตรงเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า

3.2 จำลองวงจรโดยใช้โปรแกรม PSIM

การจำลองวงจรตีซีทูซีคอนเวอร์เตอร์ตามรูปที่ 6 เป็นการทดสอบอัตราขยายแรงดันไฟฟ้าเปรียบเทียบกับสมการที่ 10 เพื่อให้เห็นว่าวงจรสามารถเพิ่มแรงดันไฟฟ้าได้ และสอดคล้องกับสมการ

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลอง

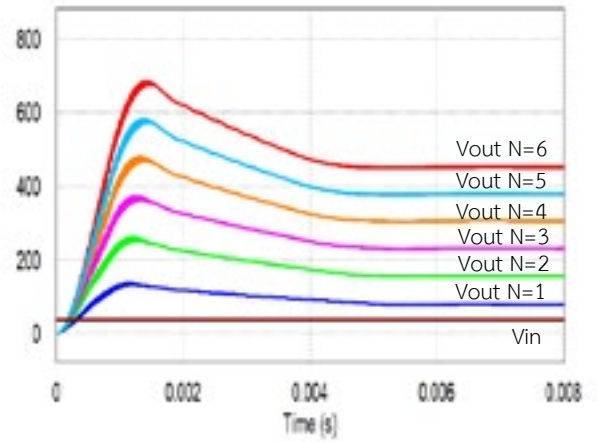
พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์
Input voltage	V_{in}	38.73 V
DC bus voltage	V_{out}	>400 V
Output power	P_{out}	300 W
Switching frequency	f_s	100 kHz
Inductor	L	500 uH
Capacitors	$C_1 - C_{11}$	10 uF



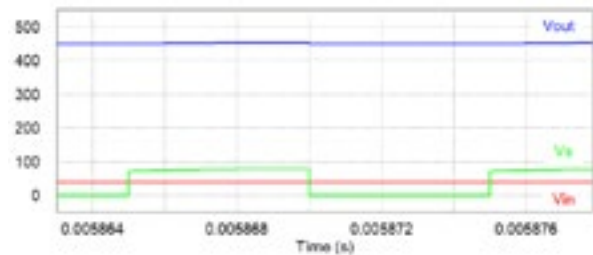
รูปที่ 6 วงจรตีซีทูซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดัน $N = 6$ ที่นำเสนอ

4. ผลการวิจัย

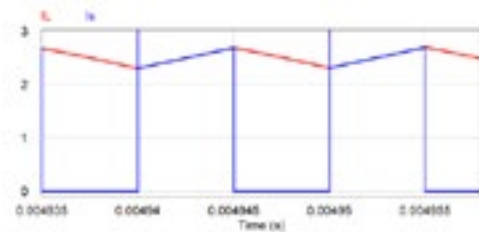
ผลการจำลองวงจรตีซีทูซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันพบว่าอัตราขยายของแรงดันเอาต์พุตที่แสดงในรูปที่ 7 สามารถเพิ่มอัตราขยายได้เป็นจำนวน N ตามสมการที่ 10



รูปที่ 7 แรงดันไฟฟ้าที่มีอัตราขยายตามจำนวน N รูปที่ 8 เป็นรูปคลื่นแรงดันไฟฟ้า V_{in} เท่ากับ 38.73V V_{out} เท่ากับ 452V และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์

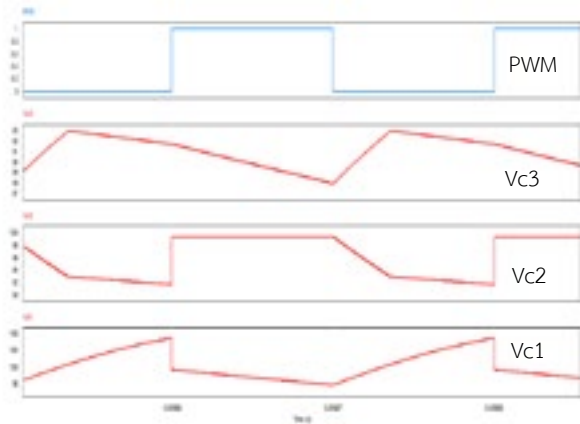


รูปที่ 8 แรงดัน V_{in} , V_{out} และ V_s



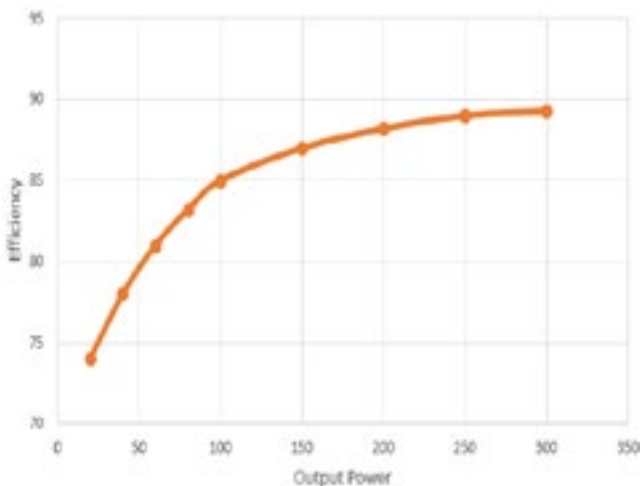
รูปที่ 9 กระแสที่ไหลผ่าน i_L และ i_S

รูปที่ 9 เป็นรูปคลื่นกระแสที่ไหลผ่านอินดักเตอร์และสวิตช์ ในช่วงสวิตช์ปิดและสวิตช์เปิด



รูปที่ 10 แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C_1 , C_2 และ C_3 ในช่วงสวิตช์ปิดและสวิตช์เปิด

รูปที่ 10 แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมคาปาซิเตอร์ C_1 , C_2 และ C_3 ที่ได้จากการจำลองวงจรด้วยโปรแกรม PSIM เมื่อเทียบกับรูปที่ 5 แล้วจะเห็นว่ารูปคลื่นทั้งสองเป็นไปในแนวทางเดียวกัน ส่วนรูปที่ 10 เป็นการจำลองวงจรที่มีการเปลี่ยนแปลงโหลดเพื่อแสดงประสิทธิภาพของวงจร



รูปที่ 10 ประสิทธิภาพของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่นำเสนอ

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์จำนวนเท่าของอัตราขยายของวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์ชนิดเพิ่มแรงดันที่นำเสนอเพื่อหาระดับแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่เหมาะสมที่บัสไฟตรง ก่อนต่อเข้ากับดีซีทูเอซีอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ระบบไฟฟ้า จากผลการจำลองวงจรดีซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์แบบเพิ่มแรงดันเพื่อหาความเหมาะสมของแรงดันเอาต์พุตพบว่าค่าที่ได้จากสมการเปรียบเทียบกับผลการจำลองมีความสอดคล้องกัน

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยแก่นักศึกษาระดับอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2562 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและขอขอบคุณ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ที่ สนับสนุนวัสดุอุปกรณ์และสถานที่ดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Dewei, J., & Jing, L. (2009). Human power-based energy harvesting strategies for mobile electronic devices. *Frontiers of Energy and Power Engineering in China*, 3(1), 27-46.
- [2] Figueiredo, J.P.M., Tofoli, F.L., Alves, R.L.: 'Comparison of nonisolated dc-dc converters from the efficiency point of view'. *Proc. Brazilian Power Electronics Conf.*, 2011, pp. 14-19
- [3] Lin, B.-R., Hsin-Hung, L.: 'Single-phase three-level PWM rectifier'. *Proc. IEEE Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems*, 1999, pp. 63-68
- [4] Huber, L., Jovanovic, M.M.: 'A design approach for server power supplies for networking

applications’. Proc. IEEE Applied Power Electronics Conf. and Exposition, 2000, pp. 116 –1169

- [5] J.C. Rosas-Caro, J.M. Ramirez, F.Z. Peng, A. Valderrabano.:’ A DC–DC multilevel boost converter’. , IET Power Electron., 2010, Vol. 3, Iss. 1, pp. 129–137

การออกแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการวิเคราะห์ความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Design Heat Dissipation under Solar Panels by Finite Element Method

ศักดิ์ดา เล็กงาม¹, อัศรวุฒิ พรหมศรี², คุณากร ใจดี³ และ เตือนแรม แผงเกี่ยว^{4*}

Sakda Loekngam¹, Akkharawut Phromsri², Kunakorn Jaidee³ and Duanraem Phaengkieo^{4*}

^{1,2,3,4*} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

^{1,2,3,4*} Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Phitsanulok,
Ban Krang, Mueang Phitsanulok, Phitsanulok 65000, Thailand.

*duaraemp@gmail.com, 095-642-2229

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการวิเคราะห์ความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบรูปแบบการระบายความร้อนที่สามารถลดอุณหภูมิแผงได้สูงสุดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด ต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบโมโนคริสตัลไลน์ ขนาด 10 วัตต์ โดยแบ่งรูปแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 4 รูปแบบ ได้แก่ 1) การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นชนิดกลมแบบ 3 ขด 2) การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นชนิดกลมแบบ 6 ขด 3) การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นชนิดแบนแบบ 3 ขด และ 4) การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นชนิดแบนแบบ 6 ขด จากนั้นนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถลดอุณหภูมิมากที่สุด เพื่อนำไปสร้างต้นแบบชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง ผลทดลองพบว่า การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นที่ชนิดแบนแบบ 6 ขด สามารถลดอุณหภูมิสูงสุด และสร้างเป็นโมดูลชุดระบายความร้อนติดตั้งใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และทดสอบการทำงานในห้องทดสอบ พบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งชุดระบายความร้อนสามารถลดอุณหภูมิได้ 14.34 องศาเซลเซียส ส่งผลให้การผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 5.74% ดังนั้น สามารถสรุปได้ว่าวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ก่อนนำไปสร้างจริง

คำสำคัญ: แผงเซลล์แสงอาทิตย์, การระบายความร้อน, ประสิทธิภาพ, วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

This research presents the thermal design under solar panels using finite element method (FEM). The objective of this research is design a cooling scheme that can reduce the panel temperature maximum and achieve the highest power generation efficiency. The prototype of solar panel is a 10 watt monocrystalline model. The cooling patterns are divided into 4 types: 1) Under-solar panel cooling by using round 3-coil coolant pipes 2) Under-solar panel cooling by using round 6-coils coolant pipes 3) Under-solar panel cooling using flat 3-coil coolant pipes and 4) Under-solar panel cooling using flat 6-coil coolant pipes. The heat dissipation under the solar cell was then analyzed and compared with the highest temperature reduction in order to create a heat sink prototype. The resultant was found that the solar panel installed with flat 6-coil coolant pipes can reduce the temperature by 14.34 °C, resulting in a 5.74% increase in power generation. Therefore, it can be concluded that the finite element method is an effective method for design and analysis prior to production.

Keywords: Solar panel, heat dissipation, efficiency, finite element method

1. บทนำ

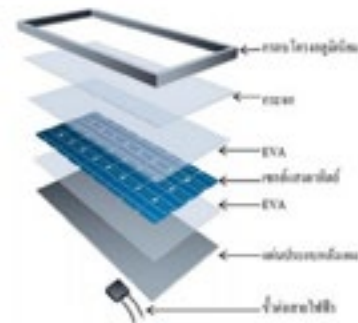
พลังงานแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานทดแทนประเภทหมุนเวียนที่ใช้แล้วเกิดขึ้นใหม่ได้ตาม ธรรมชาติ เป็นพลังงานที่สะอาดปราศจากมลพิษ และเป็นพลังงานที่มีศักยภาพสูง (สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย, 2563) ปัจจุบันผู้ผลิตสามารถผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแบบผลึกเดี่ยวซิลิกอนซึ่งเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณภาพสูง ซึ่งเป็นชนิดที่มีการทำงานที่เสถียรสม่ำเสมอ และประสิทธิภาพสูง แต่โดยทั่วไปแล้วเมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานภายใต้แสงอาทิตย์เป็นเวลานานจะเกิดการสะสมความร้อนภายในโลหะที่ใช้เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์มีอุณหภูมิการทำงานสูงขึ้นทำให้แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดลดลงและค่ากระแสลัดวงจรมีการเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ (สุรเชษฐ สีสานานู และคณะ, 2559) ซึ่งค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จากผู้ผลิตจะอ้างอิงอุณหภูมิการทำงานที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ในการใช้งานประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิการทำงานสูงขึ้น โดยจะลดลงประมาณ 0.4% สำหรับทุก 1 องศาเซลเซียสที่สูงขึ้น ดังนั้น ที่อุณหภูมิการทำงานจริงประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส ประสิทธิภาพของแผงโซลาร์เซลล์จะลดลงประมาณ 10-15% (ณัฐพล แจ้งจติม และคณะ, 2561) วิธีวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการสร้างแบบจำลองสำหรับแก้ปัญหาซึ่งใช้ระบบสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยมาใช้ประมาณผลลัพธ์ และเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมกับงานวิศวกรรมซึ่งประยุกต์ใช้กับงานหลายสาขารวมถึงการวิเคราะห์เชิงชีวกลศาสตร์ในวัสดุทางวิศวกรรมวิธีดังกล่าวถือเป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาการออกแบบและการศึกษาการเข้ากันได้ระหว่างวัสดุที่ระบายความร้อนซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทดสอบซ้ำ ลดต้นทุนการผลิตสะดวกต่อการขึ้นรูปแบบจำลอง และช่วยพัฒนาให้ผลลัพธ์เป็นไปในทางที่ดีขึ้น (มนต์ศักดิ์ พิมสาร, 2563).

ดังนั้น จากที่มำดังกล่าวจึงเกิดแนวคิดการออกแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการวิเคราะห์ความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเปรียบเทียบหารูปแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิน้อยที่สุด และนำผลที่ได้จากการจำลองไปใช้ประกอบกับการสร้างชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้า

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เซลล์แสงอาทิตย์

แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) เป็นอุปกรณ์เปลี่ยนพลังแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการนำสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ เมื่อแสงตกกระทบบนแผ่นเซลล์รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากแรงดึงดูดของอะตอม (Atom) และเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ ดังนั้นเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น (ไพโรจน์ทองประศรี, 2562) ซึ่งลักษณะและส่วนประกอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 4 ส่วน ได้แก่ กระจก (Glass) ท่อหุ้มพอยล์ (Encapsulation Foil หรือ EVA ด้านบนและด้านล่าง) เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells) แผ่นประกบหลังแผง (Tedlar Film) แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัสดุที่ใช้ทำเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ (ชัชวาล ศิริปฐุ, 2554).

2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงของเซลล์แสงอาทิตย์และอุณหภูมิ

ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ดังนั้นการออกแบบระบบการใช้เซลล์แสงอาทิตย์จะต้องเผื่อไว้สำหรับความร้อนเพราะเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดปฏิกิริยา 2 ชนิดขึ้นภายในตัวเซลล์แสงอาทิตย์พวกอะตอมใน Crystal Lattice จะสั่นสะเทือนแรงขึ้น เมื่อมีความร้อนสูงขึ้น ดังนั้นในการที่อิเล็กตรอนจะหลุดออกมาจะใช้พลังงานแสงอาทิตย์น้อยลงได้ หมายความว่า ในแสงแดดที่มีความเข้ม

เท่ากันในอุณหภูมิสูงกว่า อิเล็กตรอนและโฮลล์จะมีพลังงานมากขึ้นที่จะข้ามแดนและวิ่งในทางตรงข้ามซึ่งมีผลทำให้ กระแสไฟฟาลดลง (ชาติชาย โสบุญ และ สร จารุวรรณชัย. 2563)

2.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย

1) ระดับความเข้มของแสงที่ตกกระทบในแต่ละเซลล์ โดยค่าของ Photocurrent จะแปรผันตรงกับค่าความส่องสว่างของแสง แต่ค่าของกระแสของรอยต่อ P-N จะไม่ได้รับผลกระทบ 2) อุณหภูมิของเซลล์ อุณหภูมิเป็นสิ่งที่มีความสำคัญต่อคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจะทำให้ Photocurrent เพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ค่า Open circuit Voltage ลดลงอย่างเป็นเชิงเส้น ต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 3) จำนวนเซลล์ในแต่ละโมดูล โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์มักจะเพิ่มในลักษณะที่ทำให้ ศักย์ไฟฟ้าเพิ่มขึ้น โดยกระแสค่อนข้างคงที่ 4) พื้นที่ของแต่ละเซลล์ ซึ่งการเพิ่มพื้นที่นั้นจะทำให้กระแสเพิ่มขึ้น และ 5) ชนิดของสารที่นำมาใช้ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

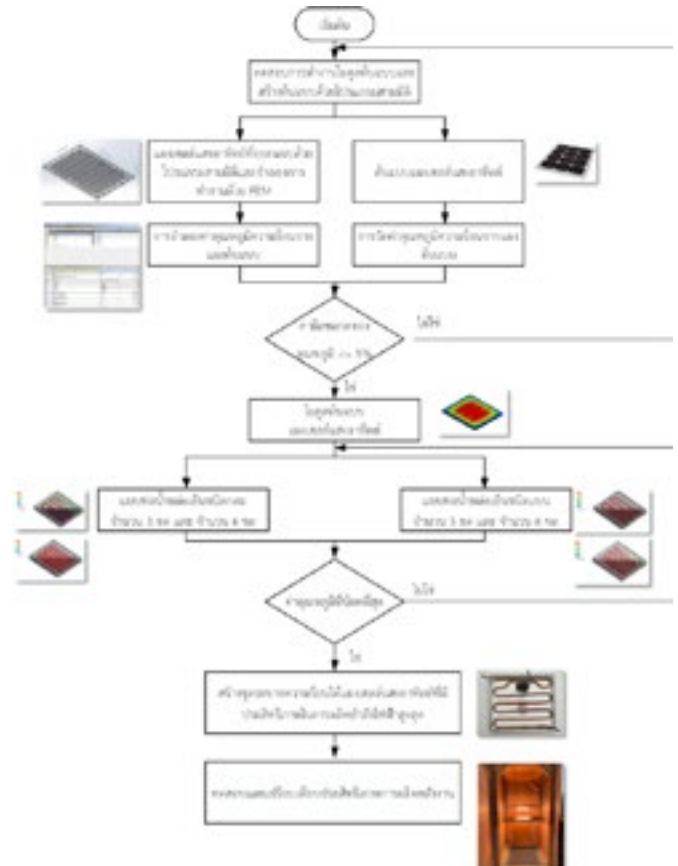
2.4 การออกแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

ที่ผ่านมา มีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน อาทิ ปองพล รักการงานและคณะ การระบายความร้อนเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้คาร์บอนนาโนทิวส์ที่มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการระบายความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ โดยทำการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ด้านพลังงานไฟฟ้ากับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อน พบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟเพิ่มขึ้น 14.30 วัตต์ (ปองพล รักการงานและคณะ, 2559) Bhulla ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการลดอุณหภูมิด้วยการใช้น้ำระบายความร้อน ซึ่งทำการทดสอบแบบพ่นบนผิวน้ำแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแบบหยดบนผิวน้ำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดสอบพบว่าการใช้น้ำลดอุณหภูมิของการใช้น้ำพ่นและการหยดบนน้ำแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดอุณหภูมิโดยเฉลี่ยร้อยละ 30.1 และ 39.9 ตามลำดับ ส่งผลให้แผงเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า ประสิทธิภาพในการทำงานเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ยร้อยละ 8.6 และ 12.6 ตามลำดับ (P. Bhulla, 2013) Yonsatitkul ทำการศึกษาประสิทธิภาพ

ของแผงโซลาร์เซลล์โดยระบายความร้อนด้วยท่อทำความเย็นแบบทองแดงร่วมกับ แผ่นเพลทเทียร์ พบว่า ในช่วงเวลา 12.20 น. ที่มีความเข้มแสงอาทิตย์เท่ากับ 642 วัตต์ต่อตารางเมตร มีค่ากำลังไฟฟ้าของแผงโซลาร์เซลล์ที่ติดตั้งท่อทองแดงระบายความร้อนเท่ากับ 40.74 วัตต์ ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 49.7 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 19.65 และแผงโซลาร์เซลล์ มาตรฐาน มีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 36.86 วัตต์ ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของแผงโซลาร์เซลล์เท่ากับ 50.3 องศาเซลเซียส และประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 16.95 แสดงว่าการติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยท่อทองแดงรูปทรงกลมมีกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์สูงกว่าแผงโซลาร์เซลล์แบบมาตรฐานเท่ากับร้อยละ 2.7 (T. Yonsatitkul, A. Paedwong and B. Moranok, 2017)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้า มีขั้นตอนการดำเนินงานดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 วิธีดำเนินการงานวิจัย

3.1 ต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ในงานวิจัยนี้ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโมโนคริสตัลไลน์ (Monocrystalline Silicon Solar Cells) ขนาด 10 วัตต์ แสดงดังรูปที่ 3 แสดงลักษณะของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ต้นแบบและขนาดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ แสดงรายละเอียดคุณสมบัติทางไฟฟ้าและขนาดของโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ ดังตารางที่ 1



รูปที่ 3 ต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์

ตารางที่ 1 รายละเอียดคุณสมบัติทางไฟฟ้าและขนาดของโครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ
กำลังไฟสูงสุด (W)	10.00
กระแสไฟสูงสุด (A)	0.56
แรงดันไฟสูงสุด (V)	12.00
กระแสไฟลัดวงจร (A)	0.57
แรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด (V)	22.22
ประสิทธิภาพข้อมูลผู้ผลิต (%)	67.2
น้ำหนัก (Kg)	1.00
โครงสร้างแผง (mm)	350×240×18

3.2 การจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

การสร้างแบบจำลองการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยการวิเคราะห์ความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้น เป็นการสร้างแบบจำลองแบบสามมิติ (3D) โดยกำหนดขนาดและพารามิเตอร์ที่สำคัญเหมือนหรือใกล้เคียงกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง โดยมีคุณลักษณะเช่นเดียวกับแผงเซลล์แสงอาทิตย์จริง ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนคุณสมบัติทางความร้อนของชั้นของโมดูลความร้อน ส่วน

โครงสร้างแผงเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบ และกำหนดอุณหภูมิความร้อนให้กับแบบจำลอง ซึ่งรายละเอียดการกำหนดค่าในส่วนต่างๆ แสดงรายละเอียด ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าจำเพาะของพารามิเตอร์แผงเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับการจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

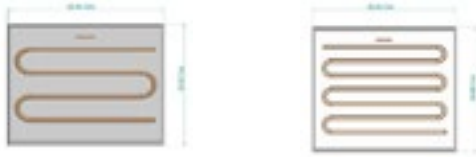
พารามิเตอร์	คุณลักษณะเฉพาะของพารามิเตอร์
กระจก (Glass)	ค่าความหนาแน่น: 3000 kg/m ³
	ค่าการนำความร้อน: 1.80 W/m ¹ K ⁻¹
	ค่าความร้อนจำเพาะ: 500 J/kg ¹ K ⁻¹
ห่อหุ้มพอยล์ (Encapsulation foil หรือ EVA ด้านบนและด้านล่าง)	ค่าความหนาแน่น: 960 kg/m ³
	ค่าการนำความร้อน: 0.35 W/m ¹ K ⁻¹
	ค่าความร้อนจำเพาะ: 2090 J/kg ¹ K ⁻¹
เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cells)	ค่าความหนาแน่น: 2330 kg/m ³
	ค่าการนำความร้อน: 148 W/m ¹ K ⁻¹
	ค่าความร้อนจำเพาะ: 677 J/kg ¹ K ⁻¹
แผ่นประกบหลังแผง (Tedlar Film)	ค่าความหนาแน่น: 1200 kg/m ³
	ค่าการนำความร้อน: 0.20 W/m ¹ K ⁻¹
	ค่าความร้อนจำเพาะ: 1250 J/kg ¹ K ⁻¹

(ชัชวาล ศิริปัฐ, 2554).

3.3 การออกแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์

งานวิจัยการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ใช้ท่อทองแดงขนาด 9 มิลลิเมตร แบ่งเป็น 4 รูปแบบ คือ

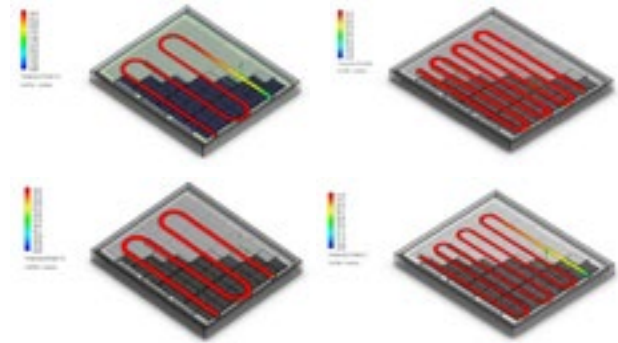
- 1) การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นชนิดกลมแบบ 3 ขด
 - 2) การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นชนิดกลมแบบ 6 ขด
 - 3) การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นชนิดแบนแบบ 3 ขด
 - 4) การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นชนิดแบนแบบ 6 ขด
- แสดงดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5 ตามลำดับ



รูปที่ 4 การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีท่อน้ำ
หล่อเย็นชนิดกลม 3 ชุด กับ 6 ชุด



รูปที่ 5 การระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีท่อน้ำ
หล่อเย็นชนิดแบน 3 ชุด กับ 6 ชุด



รูปที่ 6 ผลการจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ของ
รูปแบบการระบายความร้อนทั้ง 4 รูปแบบ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการออกแบบรูปแบบการระบายความร้อนใต้แผงเซลล์ แสงอาทิตย์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ในส่วนนี้แสดงผลการออกแบบรูปแบบการระบายความร้อนท่อน้ำหล่อเย็น ขนาดเส้นรอบวง 9 มิลลิเมตร ความเร็ว น้ำ 0.25 ลิตรต่อวินาที และวิเคราะห์อุณหภูมิความร้อนทั้งหมด 4 รูปแบบ ผลการจำลองการทำงานเมื่อติดตั้งโมดูลระบายความร้อนทั้ง 4 รูปแบบ และกำหนดค่าอุณหภูมิในอากาศเท่ากับ 24 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนจากแสงอาทิตย์ เท่ากับ 30 องศาเซลเซียส แสดงผลการจำลองการทำงาน ดังตารางที่ 3

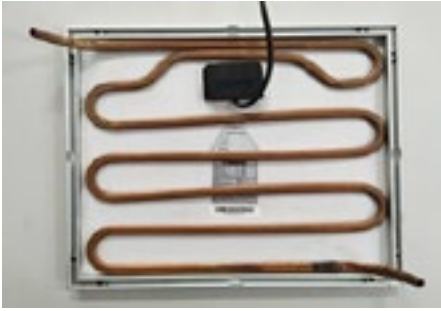
ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิความร้อนระหว่างโมดูล
ต้นแบบกับรูปแบบการระบายความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิ
เมนต์

รูปแบบการระบายความ ร้อน	หลัง แผง (°C)	อุณหภูมิ ห้อง (°C)	เปอร์เซ็นต์ ความแตกต่าง (%)
โมดูลต้นแบบ	60.40	30.00	0.00
ท่อชนิดกลมแบบ 3 ชุด	55.60	30.00	7.95 (ลดลง)
ท่อชนิดกลมแบบ 6 ชุด	50.50	30.00	16.23 (ลดลง)
ท่อชนิดแบนแบบ 3 ชุด	52.10	30.00	13.74 (ลดลง)
ท่อชนิดแบนแบบ 6 ชุด	46.10	30.00	23.68 (ลดลง)

จากตารางการเปรียบเทียบอุณหภูมิความร้อนระหว่างโมดูลต้นแบบกับรูปแบบการระบายความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผงโมดูลต้นแบบ กับแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีท่อชนิดกลมแบบ 3 ชุด ความแตกต่างจะอยู่ที่ 7.95 เปอร์เซ็นต์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีท่อชนิดกลมแบบ 6 ชุด ความแตกต่างจะอยู่ที่ 16.23 เปอร์เซ็นต์ แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีท่อชนิดแบนแบบ 3 ชุด ความแตกต่างจะอยู่ที่ 13.74 เปอร์เซ็นต์ และแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีท่อชนิดแบนแบบ 6 ชุด ความแตกต่างจะอยู่ที่ 23.68 เปอร์เซ็นต์ จากการระบายความร้อนด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีท่อชนิดแบนแบบ 6 ชุด ความแตกต่างจะอยู่ที่ 23.68 เปอร์เซ็นต์ สามารถระบายความร้อนได้ดีที่สุด แสดงลักษณะผลการทดสอบด้วยงานจำลองการทำงานดังรูปที่ 6

4.2 ผลการสร้างและทดสอบชุดระบายความร้อนใต้แผงเซลล์ แสงอาทิตย์

จากผลการจำลองการทำงานด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในส่วนก่อนหน้า จึงนำรูปแบบการระบายความร้อนด้วยท่อน้ำหล่อเย็นชนิดแบน มาสร้างเป็นต้นแบบจริง เพื่อติดตั้งบริเวณใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และทดสอบประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้า แสดงลักษณะของการติดตั้งต้นแบบโมดูลระบายความร้อนใต้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยท่อน้ำหล่อเย็นชนิดแบนแบบ 6 ชุด ดังรูปที่ 7



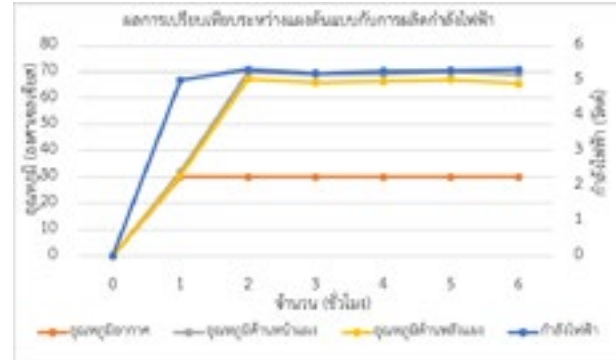
รูปที่ 7 ต้นแบบโมดูลระบายความร้อนท่อชนิดแบนแบบ 6 ขด



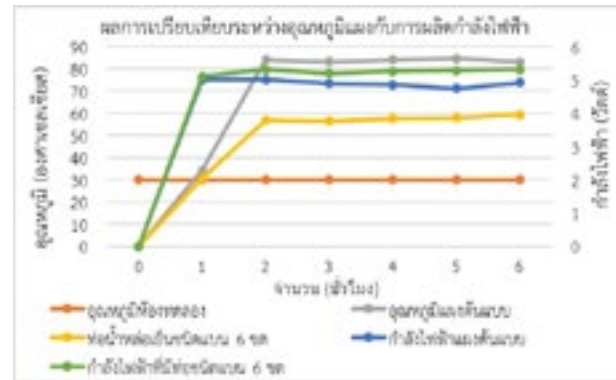
รูปที่ 8 การทดสอบประสิทธิภาพในห้องทดสอบที่ควบคุมปริมาณแสงและอุณหภูมิภายนอก

จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้าของต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อน และต้นแบบโมดูลระบายความร้อนท่อชนิดแบนแบบ 6 ขด ซึ่งใช้เวลาการทดสอบ 6 ชั่วโมง แสดงการทดสอบในห้องทดสอบ ดังรูปที่ 8 จากผลการทดสอบพบว่า แผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการติดตั้งชุดระบายความร้อนได้แผงมีอุณหภูมิหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 63.23 องศาเซลเซียส อุณหภูมิทางด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยเท่ากับ 60.42 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 9 และการทดลองการระบายความร้อนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีท่อน้ำหล่อเย็นช่วยในการระบายความร้อนที่ทำการทดลองในห้องปรับอุณหภูมิ จะช่วยให้อุณหภูมิหน้าแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลง อุณหภูมิจะเฉลี่ยเท่ากับ 46.10 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิทางด้านหลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ อุณหภูมิจะเฉลี่ยเท่ากับ 45.67 องศาเซลเซียส โดยเมื่อพิจารณาค่าแรงดันไฟฟ้าของแผงที่มีท่อน้ำหล่อเย็นชนิดแบนแบบ 6 ขด สามารถสร้างแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าได้

มากกว่าต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งโมดูลระบายความร้อนท่อชนิดแบนแบบ 6 ขด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.60 วัตต์



รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของโมดูลต้นแบบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีการระบายความร้อน



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิและกำลังไฟฟ้าของการติดตั้งโมดูลระบายความร้อนท่อชนิดแบนแบบ 6 ขด

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการระบายความร้อนได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ จากการออกแบบรูปแบบการระบายความร้อนได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 4 รูปแบบ ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ การระบายความร้อนได้แผงเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้ท่อน้ำหล่อเย็นที่ชนิดแบนแบบ 6 ขด สามารถลดอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 14.34 องศาเซลเซียส ซึ่งทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 5.74% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้เพื่อออกแบบและวิเคราะห์ก่อนนำไปสร้างจริง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
พิษณุโลก สำหรับการสนับสนุนด้านวัสดุ อุปกรณ์ เครื่องมือและ
พื้นที่ดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

ชาติชาย โสบุญ และ สร จารุวรรณชัย. (2563). *การศึกษาเชิง
เปรียบเทียบการเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์.*
สืบค้น 29 ธันวาคม 2563 จาก

<http://www.mut.ac.th/research-detail-6>

ชัชวาล ศิริปุรุ (2554). *เอลิเมนต์สี่เหลี่ยมแบบปรับขนาดได้ที่
ใช้ฟลักซ์เชิงเส้นสำหรับวิเคราะห์ปัญหาการนำความร้อน*
(วิทยานิพนธ์). กรุงเทพฯ. สืบค้นจาก

[http://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/
42589/1/5370224421.pdf](http://cuir.car.chula.ac.th/bitstream/123456789/42589/1/5370224421.pdf)

ณัฐพล แจ้งจติม คณาพจน์ ยอดมณี และ สมพล บุญญสุ
รณโณ. (2561). *การลดอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์โดยใช้
ครีบริบายความร้อนอลูมิเนียม* (รายงานผลการวิจัย).

นครปฐม. สืบค้นจาก

[https://repository.rmutr.ac.th/bitstream/handle/
123456789/1180/fulltext.pdf?sequence=1&isAll
owed=y](https://repository.rmutr.ac.th/bitstream/handle/123456789/1180/fulltext.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

ปองพล รักการงาน , ภาณุศักดิ์ มูลศรี , ชาญยุทธ์ อรุณสวัสดิ์
และ ลิขิต ศรีพราหมณ์. (2559). *การลดอุณหภูมิเซลล์
แสงอาทิตย์โดยใช้ครีบริบายความร้อนอลูมิเนียม .
ประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชน
แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 (The 9th Thailand
Renewable Energy for Community Conference
(TREC-9). 19-25.*

ไพโรจน์ ทองประศรี. (2562). *การวิเคราะห์ความสัมพันธ์
ระหว่างกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และพิกัดของ
โพลดสำหรับติดตั้งระบบเซลล์แสงอาทิตย์แบบอิสระ .
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี. 16(2), 95-
105.*

มนต์ศักดิ์ พิมสาร. (2563). *ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite
Element Method, FEM).* สืบค้น 13 มกราคม 2564
จาก

[http://eng.sut.ac.th/me/box/2_54/435301/Intro
ductionFEM.pdf](http://eng.sut.ac.th/me/box/2_54/435301/IntroductionFEM.pdf)

สมาคมพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย. (2563).
พลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้น 10 มกราคม 2564 จาก
<http://reca.or.th/solar/>

สุรเชษฐ์ สีชำนาญ, ธีรพัฒน์ ชมภูคำ และสัมพันธ์ ฤทธิเดช.
(2559). *การเพิ่มประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์โดย
ใช้ท่อความร้อนที่ติดตั้งวัสดุพูนแบบตาข่ายทองแดง.
วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ., 9(1), 11-22.*

P. Bhulla, C. Lertsattanakorn and N. Suwaphat. (2013).
*The Improvement of Photovoltaic Module
Efficiency using Temperature Reduction
Techniques. SWU Engineering Journal, 8(1), 1-10.*

T. Yonsatitkul, A. Paedwong and B. Moranok. (2017). *A
Study of the Efficiency of Performance in Solar
Cell Panels by Copper Tube and Peltier for
Cooling System. in Proceeding of 1st national
Forum on Creative Innovation The King' s
Philosophy for Sustainable Development, Roi Et
Rajabhat University, Roi Et. 386-391.*

ระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละอองขนาดเล็กและต้นทุนต่ำ โดยแสดงผลและแจ้งเตือนทางเว็บไซต์

The Small and Low Cost of Particulate Matter Monitoring System with the Website Displaying and Notification

บันทอร์ จิตต์สุภาพ^{1*} ยนตรชัย พลนวน² และ ธนภณ ตังมั่งคณเจริญ³

Bantorn Chitsupap* Yontrachai Polnuan and Tanapon Tangmongkhoncharoen

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา 169 ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

^{1,2,3} Electrical Engineering Department, Faculty of Engineering, Burapha University, 169 Saensuk, Mueang, Chonburi, 20131

^{1*} E-mail : bantorn@buu.ac.th, Tel. : 0851012082

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละออง 3 ขนาดคือ PM1 PM2.5 และ PM10 และนำค่าไปแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ ส่วนที่เป็นฮาร์ดแวร์ของตัวระบบมีขนาดเล็กและมีราคาต้นทุนต่ำ ค่าฝุ่นละออง PM2.5 ที่วัดได้จะใกล้เคียงกับค่าที่วัดด้วยเครื่องมาตรฐานที่มีขายทั่วไป อุปกรณ์ที่ใช้เปิดดูเว็บไซต์สามารถใช้ได้หลายแพลตฟอร์ม เช่น คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล แท็บเล็ต โทรศัพท์อัจฉริยะ และเมื่อค่าฝุ่นละอองสูงเกินค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ ระบบสามารถแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์

คำสำคัญ: ฝุ่นละอองขนาดเล็ก อินเทอร์เน็ตของทุกสรรพสิ่ง เว็บไซต์

Abstract

This paper presents designing and construction of 3 sizes of particulate matter, such as PM1, PM2.5 and PM10 monitoring system with the website displaying and notification. Hardware of system has small size and low cost. The measured PM2.5 values are nearly with the values of available commercial products. Website of system support to many platforms such as personal computer, tablet and smartphones. When the measured value is over standard value of pollution control department, the system can notify via LINE applications.

Keywords: Small Particulate Matter, Internet of Things, Website

1. บทนำ

การออกแบบและสร้างระบบหรือเครื่องที่ใช้ตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในประเทศไทยตั้งแต่ในอดีตจนถึงปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะสามารถวัดค่าฝุ่นละอองได้เพียงขนาด PM2.5 หรือ PM10 อีกทั้งตัวเครื่องมีขนาดใหญ่และมีราคาต้นทุนสูง การแสดงผลก็จะแสดงไว้ที่ตัวเครื่องหรือผ่านโทรศัพท์อัจฉริยะ การที่ระบบวัดค่า PM1 ได้จะมีผลดีกว่า เนื่องจาก PM1 มีขนาดเล็กมากสามารถแทรกซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายขึ้น (อรรวรรณ พลฤทธิ์, 2018) (ฐิฎาพร สุภาชี, 2561) และ (อังกศิริ ทิพยารมณ, 2016)

บทความวิจัยนี้จะนำเสนอการออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละออง 3 ขนาดคือ PM1 PM2.5 และ PM10 และนำค่าไปแสดงผลผ่านทางเว็บไซต์ โดยบทความส่วนที่ 2 เป็นแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่ 3 เป็นวิธีการดำเนินการวิจัย ส่วนที่ 4 เป็นผลการวิจัย และส่วนที่ 5 เป็นอภิปรายและสรุปผลการวิจัย

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การตรวจวัดค่าฝุ่นละอองมีหลายวิธี วิธีที่นิยมจะใช้หลักการกระเจิงแสง (Light Scattering) หลักการทำงานคือเมื่อยิงแสงเช่นแสงเลเซอร์เข้าไปแล้วเจอกับละอองฝุ่นขนาดเล็กจะเกิดการกระเจิงแสง จากนั้นจะมีเซ็นเซอร์ไว้ตรวจจับว่ามีการกระเจิงแสงมากน้อยเพียงใด หากมีการกระเจิงแสงมากก็แสดงว่ามีค่าความเข้มข้นของฝุ่นมาก สำหรับหน่วยของการวัดมีค่าเป็นไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3. วิธีดำเนินการวิจัย

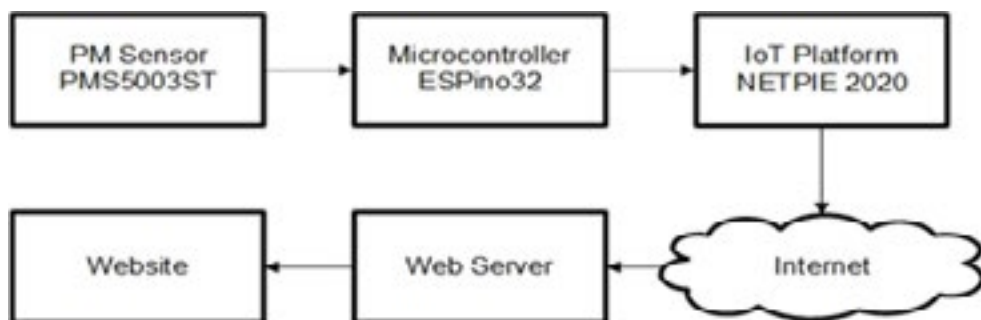
ระบบทั้งหมดประกอบด้วยทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 1

3.1 การออกแบบระบบทางด้านฮาร์ดแวร์

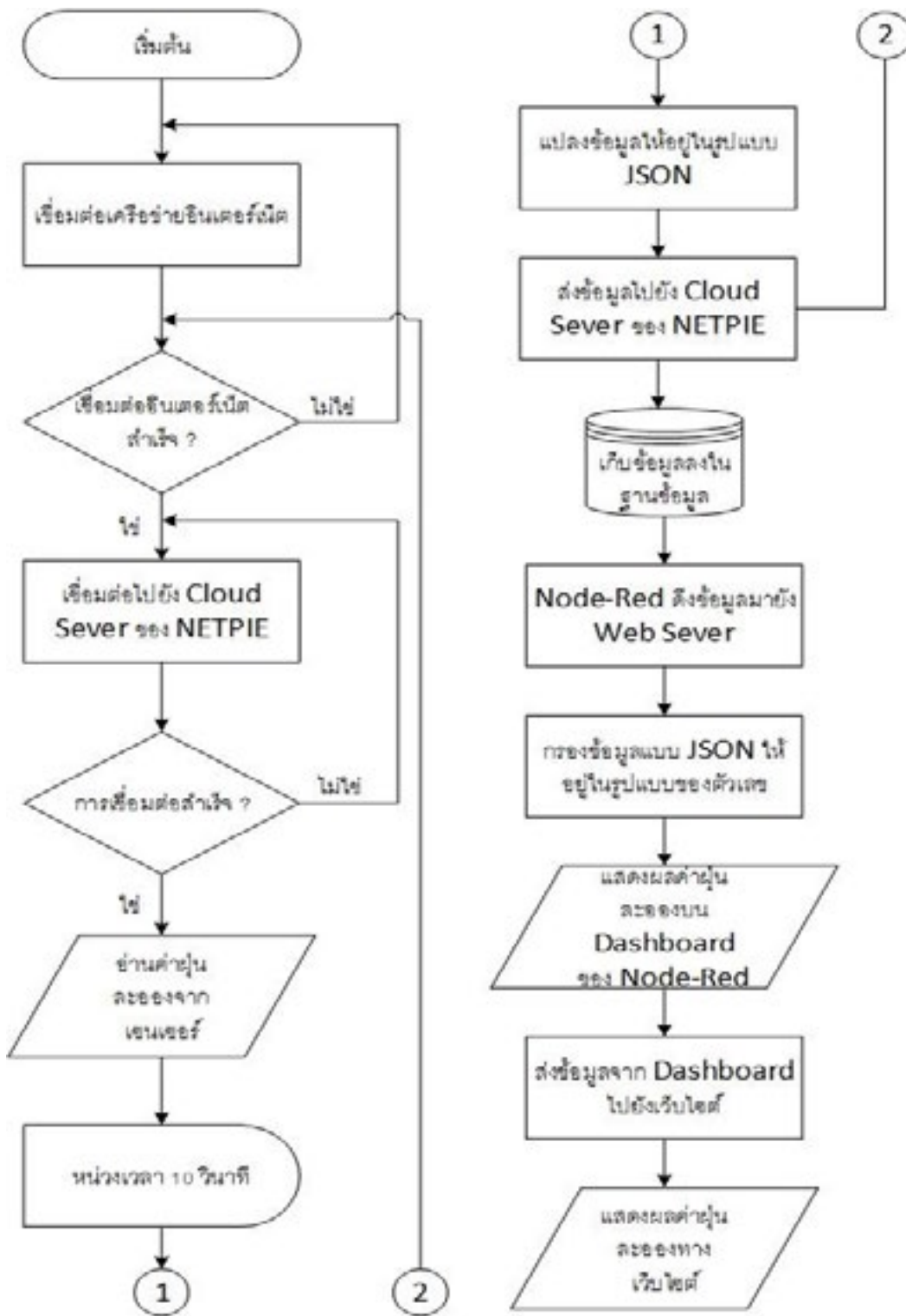
จากรูปที่ 1 ระบบฮาร์ดแวร์จะมีสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นเซ็นเซอร์วัดค่าฝุ่นละออง PMS5003ST (Zhou Yong, 2017) ส่วนที่สองเป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ESPino32 (บริษัทวินสซัพพลายจำกัด, 2559)

3.2 การออกแบบระบบทางด้านซอฟต์แวร์

อัลกอริทึมของโปรแกรมทั้งหมดจะเป็นดังรูปที่ 2



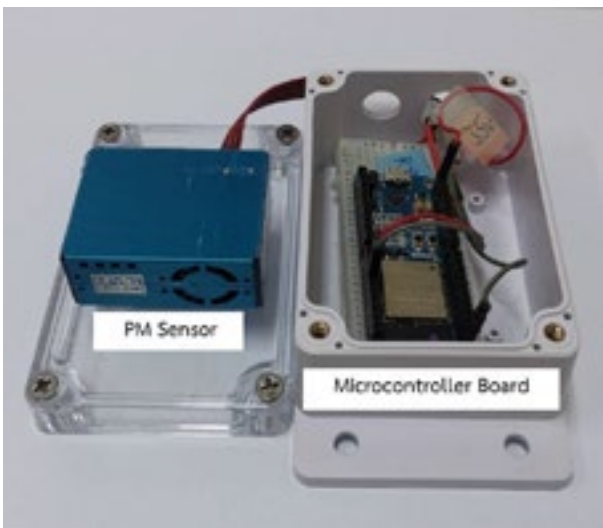
รูปที่ 1 โครงสร้างของระบบทั้งหมด



รูปที่ 2 อัลกอริทึมของโปรแกรมของระบบทั้งหมด

จากรูปที่ 2 เริ่มการเชื่อมต่อเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แล้วตรวจสอบว่าเชื่อมต่อสำเร็จหรือไม่ ถ้าไม่สำเร็จทำการเชื่อมต่ออีกครั้ง หากสำเร็จจึงทำการเชื่อมต่อไปยัง Cloud Sever ของ NETPIE (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, 2558) แล้วตรวจสอบการเชื่อมต่อว่าสำเร็จหรือไม่ ถ้าไม่สำเร็จทำการเชื่อมต่อใหม่อีกครั้ง หากสำเร็จจึงทำการอ่านค่าฝุ่นละอองจากเซ็นเซอร์ เมื่ออ่านค่าจากเซ็นเซอร์แล้ว หน่วงเวลา 10 วินาทีตามข้อกำหนดของเซ็นเซอร์ วัดค่าฝุ่นละออง หลังจากหน่วงเวลาแล้ว จึงทำการแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบ JSON ตามข้อกำหนดของ NETPIE จากนั้นส่งข้อมูลไปยัง Cloud Server ของ NETPIE เพื่อเก็บลงในฐานข้อมูล แล้วส่งต่อไปยัง Node-Red ซึ่งติดตั้งไว้บน Web Server จากนั้นจึงทำการกรองข้อมูลที่ได้ให้เหลือเพียงตัวเลขเพื่อนำไปแสดงผลบน Node-Red Dashboard ชั้นตอนสุดท้ายส่งข้อมูลค่าฝุ่นละอองไปแสดงผลทางเว็บไซต์

ภาพรวมฮาร์ดแวร์ของระบบทั้งหมดที่ออกแบบและสร้างขึ้นมาจะเป็นดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ภาพรวมฮาร์ดแวร์ของระบบทั้งหมด

4. ผลการวิจัย

4.1 การทดลองใช้งานเว็บไซต์ของระบบ

1. การเข้าสู่เว็บไซต์ของระบบ ใช้โปรแกรมเปิดเว็บไซต์แล้วให้ไปที่ <https://www.ee-buu.page>

จะพบหน้าแรกของเว็บไซต์ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 หน้าแรกของเว็บไซต์

2. จากเมนูเลือกหัวข้อ 1. การแสดงผลแบบเวลาจริง จะได้ผลดังรูปตัวอย่างในรูปที่ 5



รูปที่ 5 การแสดงผลแบบเวลาจริง

3. จากเมนูเลือกหัวข้อ 2. การแสดงผลแบบ 24 ชั่วโมง จะได้ผลดังรูปตัวอย่างในรูปที่ 6



ค่าเฉลี่ยต่อเนื่อง 24 ชั่วโมง : 60.66

PM2.5 (มก./ลบ.ม.)	สภาพอากาศ	คำแนะนำ
0 - 25	ดีมากอากาศดีมาก	เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้ง
26 - 37	ดีมากอากาศดี	เหมาะสำหรับกิจกรรมกลางแจ้งอย่างดี
38 - 50	ปานกลาง	ควรลดกิจกรรมกลางแจ้ง
51 - 90	เริ่มมีผลกระทบต่อสุขภาพ	ควรจำกัดเวลาและสวมหน้ากากป้องกัน N95
91 ขึ้นไป	มีผลกระทบต่อสุขภาพ	หากมีอาการทางสุขภาพควรปรึกษาแพทย์

รูปที่ 6 การแสดงผลแบบ 24 ชั่วโมง

4. จากเมนูเลือกหัวข้อ 3. การแสดงผลแบบ 7 วัน จะ
ได้ผลดังรูปตัวอย่างในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การแสดงผลแบบ 7 วัน

4.2 การทดลองเปรียบเทียบค่า PM2.5 ที่วัดได้กับค่าที่
วัดโดยเครื่อง Xiaomi Smartmi

การทดลองทำโดยนำเซ็นเซอร์และบอร์ดไมโคร
คอนโทรลเลอร์ของระบบไปติดตั้งไว้ใกล้กับเครื่อง Xiaomi
Smartmi (xiaomilovers, 2019) ดังรูปที่ 8 และผลการทดลอง
จะเป็นดังในตารางที่ 1



รูปที่ 8 การทดลองเปรียบเทียบการวัดค่าฝุ่นละออง

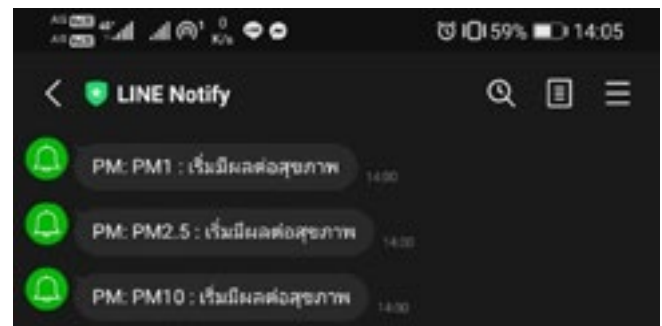
ตารางที่ 1 ผลการเทียบวัดค่าฝุ่นละออง (หน่วย : มคก./ลบ.ม.)

ครั้งที่	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ ของเครื่อง Smartmi	ค่าเฉลี่ยที่วัดได้ ของระบบ	ความแตกต่าง ร้อยละ
1	43.83	43.58	0.57
2	53.58	54.00	0.78
3	42.75	46.33	8.38
4	39.83	45.00	12.97
5	37.83	42.83	13.22
ความแตกต่างเฉลี่ยร้อยละ			7.27

จากตารางที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง
ของการวัดแต่ละครั้งที่แตกต่างกันด้านวันเวลาและสถานที่ อ่าน
ค่าทุก 5 นาที จำนวน 12 ครั้ง แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย จะเห็นได้
ว่าค่าที่วัดได้มีความใกล้เคียงกันพอสมควร และการที่วัด
เปรียบเทียบเฉพาะค่า PM2.5 เนื่องจากเครื่องที่วัดค่า PM1 และ
PM10 ได้ด้วยจะมีราคาแพงมาก

4.3 การทดลองการแจ้งเตือนเมื่อค่าฝุ่นละอองสูงเกิน
ค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ

การทดลองทำโดยจำลองค่าฝุ่นละอองสูงเกินค่า
มาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษแล้วใส่เข้าไปในระบบ ระบบจะ
ตรวจสอบค่าฝุ่นละอองทุก 1 ชั่วโมง ถ้าพบว่าค่าเกินมาตรฐาน
จะแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์ (LINE Notify) ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 การแจ้งเตือนทางแอปพลิเคชันไลน์

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละออง 3 ขนาดคือ PM1 PM2.5 และ PM10 โดยฮาร์ดแวร์ของระบบมีขนาดเล็ก ทำให้สามารถนำไปติดตั้งในพื้นที่ต่างๆได้โดยสะดวก และระบบมีราคาต้นทุนต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น การแสดงผลทางเว็บไซต์ที่สามารถเปิดดูได้ทุกที่ทุกเวลาถ้ามีอินเทอร์เน็ต รองรับกับอุปกรณ์ได้หลายแพลตฟอร์ม แสดงค่าฝุ่นละอองได้ 3 รูปแบบคือ แบบเวลาจริง รายวัน และรายสัปดาห์ ถ้าค่าฝุ่นละอองสูงเกินค่ามาตรฐานของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2535) ระบบสามารถแจ้งเตือนทางเว็บไซต์และแอปพลิเคชันไลน์

สำหรับข้อเสนอแนะในการนำงานวิจัยนี้ไปใช้ประโยชน์คือสามารถนำระบบและเว็บไซต์นี้ ไปใช้ในการตรวจวัดและแจ้งเตือนค่าความเข้มข้นของสารก่อมลพิษทางอากาศชนิดอื่นๆ เช่น ก๊าซโอโซน ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ และก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เป็นต้น

6. กิตติกรรมประกาศ

-

7. เอกสารอ้างอิง

- อรวรรณ พลฤทธิ์, ณิชฐกิตติ์ อานันท์สันติ, ณิชฐวัตร เหล่าตระกูลงาม และนวลรัตน์ วัฒนา. (2018). ระบบตรวจวัดค่าฝุ่นละอองในอากาศบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟน. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม ฉบับที่ 2 เล่มที่ 1*, 59-78.
- ฐิฎาพร สุภาชี, พาณิชัย อินต๊ะ, เสริมเกียรติ จอมจันทร์ยอง และ เศรษฐ์ สัมภัตตะกุล. (มกราคม-มิถุนายน 2561). การวิเคราะห์ปริมาณฝุ่นละอองเชิงมวล PM2.5 และ PM10 ในบรรยากาศด้วยเครื่องตรวจวัดฝุ่นละอองไร้สายในพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย. *วารสารวิจัยเทคโนโลยีนวัตกรรม, ฉบับที่ 1, ปีที่ 2*, 69-83.
- อังกศิริ ทิพยารมณ และณัฐพล วริกุล. (2016). การสอบเทียบผลการตรวจวัด PM2.5 จากเครื่องตรวจวัดแบบเรียลไทม์ และวิธีวิเคราะห์เชิงน้ำหนักร. *Science and Tech-*

nology Silpakorn University Volume3 Number 4, 1-11.

Zhou Yong. (2017). PMS5003ST series data manual.

Digital universal particle concentration sensor.

เข้าถึงได้จาก <https://www.thaieasyelec.com/> บริษัทวินัสซ์พพลายจำกัด. (2559). *ESPino32 Data Sheet.*

เข้าถึงได้จาก: <https://www.thaieasyelec.com/> ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.

(16 กันยายน 2558). *NETPIE*. เรียกใช้ 10 สิงหาคม 2563 จาก NETPIE: <https://netpie.io/>

xiaomilovers. (2019). Retrieved from

<https://www.xiaomilovers.com/>

กรมควบคุมมลพิษ. (2535). กรมควบคุมมลพิษ. เรียกใช้เมื่อ

7 ธันวาคม 2563 จากกรมควบคุมมลพิษ :

<https://www.pcd.go.th/>

ปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์พร้อมข้อมูลสภาพแวดล้อม

Electronic calendar with environment information

ปยุต หลวงชื่น* ณัฐนันท์ โกโสภา และ ยุทธนา มุลกลาง

Payut Luangchuen* Nuttanan Gosopa and Yutthana Munklang

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

41/1 หมู่ 7 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

¹Department of Electrical Engineer, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak

41/1 Moo 7, Paholyothin road, Mai Ngam, Mueang, Tak, Thailand, 63000

*payut_lu62@live.rmutl.ac.th, +668 8769 9677

บทคัดย่อ

นวัตกรรมปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมแสดงอุณหภูมิ ความชื้นและความกดอากาศ จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาระบบปฏิบัติการสมองกลฝังตัว ในนวัตกรรมนี้ใช้บอร์ด Raspberry pi 4 Model B โดยมีอินพุตจำนวน 2 ตัว คือ เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น (DHT11) และเซนเซอร์วัดความกดอากาศ (BME280) ส่วนเอาต์พุต คือ จอแสดงผล โดยส่งข้อมูลจาก nodemcu โดยใช้การสื่อสารแบบ MQTT ไปที่ Raspberry pi แสดงที่จอแสดงผล การทดลองแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ 1. ทดลองการแสดงผลอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ โดยจะเปรียบเทียบกับเว็บพยากรณ์อากาศ (<https://darksky.net/>) เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง 2. ทดลองการแสดงผลวัน เดือนปี และเวลา โดยการเปลี่ยนวันที่ raspberry pi แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ GUI ปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ ผลการทดลองแสดงผลอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไปทางเดียวกับเว็บพยากรณ์อากาศ ส่วนผลการทดลองการแสดงผลวัน เดือนปี และเวลา ปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์สามารถเปลี่ยนแปลงวันเดือนปี และเวลา ได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ: การสื่อสารแบบ MQTT, ปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์, เซนเซอร์สภาพแวดล้อม, สมองกลฝังตัว

Abstract

Electronic calendar innovation with display temperature humidity and air pressure. Made for studying embedded systems. In this innovation, we use a Raspberry pi 4. Two inputs, a temperature and humidity sensor (DHT11) and a barometric sensor (BME280), the output is a display. Sending data from nodemcu using MQTT Protocol to the Raspbery pi is shown on the display. The experiment was divided into 2 parts: 1. Experiment on display of temperature, humidity and air pressure. 2. Experiment display date, month, year and time. Experimental results, display of temperature, humidity and air pressure. It is likely to change in the same way as the weather forecast web. As for the experimental results, the display of the date, month, year and calendar can change the date month, year and time to be correct.

Keywords: MQTT Protocol, Electronic calendar, Environment Sensor, Embedded

1. บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ มีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและอำนวยความสะดวกในการดำเนินชีวิต เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน เทคโนโลยีสมาร์ทโฮม เทคโนโลยีในรถยนต์ เทคโนโลยีทางการแพทย์ เป็นต้น แต่หนึ่งสิ่งที่เป็นต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์และสามารถนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ได้ คือ ปฏิทิน

นวัตกรรมนี้นำเสนอปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ ปฏิทินนี้จะเป็นปฏิทินที่ไม่ต้องเปิดหาเดือน ไม่ต้องมองหาวันที่ มอนิเตอร์สามารถแสดงปฏิทินวันเดือนปีเวลาปัจจุบัน โดยจะปรับฐานเวลาให้เป็นปัจจุบันโดยอัตโนมัติ ผ่าน NTP (Network Time Protocol) ผ่านระบบปฏิบัติการของ raspberry pi และยังสามารถแสดงอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ โดยส่งข้อมูลดังกล่าวผ่าน MQTT Protocol ซึ่งเป็นการสื่อสารที่ง่ายต่อการใช้งาน รับส่งข้อมูลได้ตลอดเวลา ใช้พลังงานต่ำ และรองรับอุปกรณ์ได้หลากหลาย เป็นการนำเทคโนโลยีมาประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิตประจำวัน

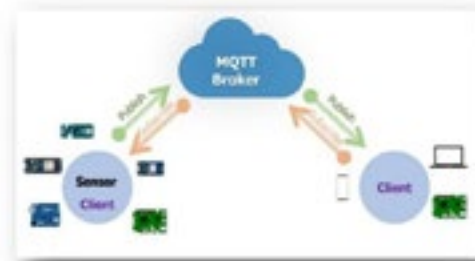
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 MQTT Protocol

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) เป็นโพรโตคอลสำหรับใช้ในสื่อสารข้อมูลระหว่าง Machine to Machine ออกแบบมาเพื่อใช้สื่อสารในระบบเครือข่ายที่มีทรัพยากรค่อนข้างจำกัด ใช้งานแบนด์วิธต่ำ สามารถ publish - subscribe ข้อมูลระหว่าง Device เพื่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ MQTT ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

– MQTT Client เป็นส่วน publish ข้อมูลต่าง ๆ ขึ้นไปยัง MQTT Broker และสามารถ Subscribe ข้อมูลต่าง ๆ จาก MQTT Broker ผ่านทาง TCP/IP Protocol

– MQTT Broker หรือ MQTT Server เป็นซอฟต์แวร์สำหรับรับข้อมูลจาก MQTT Client ที่ได้ publish เข้ามา และสามารถ publish ข้อมูลจาก MQTT Broker ไปยัง MQTT Client ที่ได้ Subscribe ข้อมูลไว้ได้



รูปที่ 1 MQTT Protocol

2.2 Raspberry pi

Raspberry pi คือ บอร์ดคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่สามารถเชื่อมต่อกับจอมอนิเตอร์ คีย์บอร์ด และเมาส์ได้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการทำโครงการทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ การเขียนโปรแกรม หรือเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะขนาดเล็ก Raspberry Pi รองรับระบบปฏิบัติการลินุกซ์ โดยติดตั้งบน SD Card บอร์ด Raspberry Pi ถูกออกแบบมาให้มี CPU GPU และ RAM อยู่ภายในบอร์ดเดียวกัน มีจุดเชื่อมต่อ GPIO ให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ร่วมกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ



รูปที่ 2 Raspberry PI 4 Model B

2.3 ESP32

ESP32 เป็นชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มาพร้อม WiFi มาตรฐาน 802.11 b/g/n และบลูทูธเวอร์ชัน 4.2 เป็นรุ่นต่อยอดของ ESP8266 โดย CPU ใช้สถาปัตยกรรม Tensilica LX6 จำนวน 2 คอร์ สัญญาณนาฬิกา 240MHz สามารถแยกการทำงานระหว่างโปรแกรมจัดการ WiFi และ แอปพลิเคชันออกจากกันได้ ทำให้มีเสถียรภาพเพิ่มขึ้นมาก มีแรม 520KB มาในตัว ใช้แรงดันไฟฟ้า 3.3V ในโหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 2.5uA



รูปที่ 3 ESP32

2.4 เซ็นเซอร์ BME280

เซ็นเซอร์ BME280 สำหรับวัดความกดอากาศ อุณหภูมิและความชื้นในอากาศ สื่อสารแบบ I2C ใช้ไฟเลี้ยง 1.7 - 3.6V สามารถวัดอุณหภูมิได้ในช่วงกว้างตั้งแต่ -40 ถึง 85 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ +/- 0.5 องศาเซลเซียส (ที่ 25 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 4 เซ็นเซอร์ BME280

2.5 เซ็นเซอร์ DHT11

เซ็นเซอร์ DHT11 สำหรับวัดอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ ใช้ไฟเลี้ยง 3 - 5.5V วัดอุณหภูมิได้ระหว่าง 0 - 50 องศาเซลเซียส ความแม่นยำ +/- 2 องศา วัดความชื้นในอากาศได้ระหว่าง 20 - 90 % ความแม่นยำ +/- 5%



รูปที่ 5 เซ็นเซอร์ DHT11

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การจัดทำนวัตกรรมปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ให้บรรลุตามเป้าหมายและขอบเขตที่วางไว้ภายในระยะเวลาที่กำหนดในครั้งนี้ เป็นการสร้างปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ พร้อมแสดงอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ โดยเริ่มจากศึกษาหาข้อมูลและศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ ออกแบบโครงสร้างของปฏิทิน ประกอบชิ้นงานและวงจร เขียนโปรแกรมควบคุม ทดลองการทำงานและแก้ไขให้อุปกรณ์ทำงานได้ตามเป้าหมาย เมื่อระบบทำงานได้ตามเป้าหมายจึงเก็บผลและจัดทำเอกสารตามลำดับ ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังงานแสดงลักษณะการทำงาน

3.1 ศึกษาข้อมูลในการจัดทำปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์

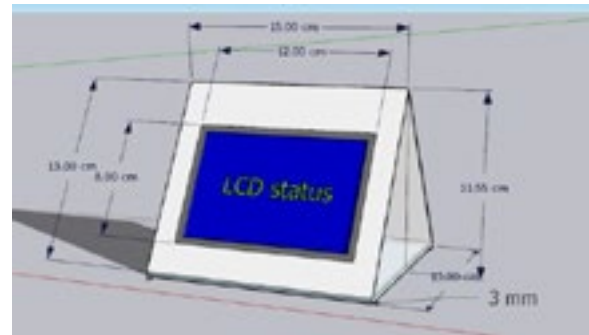
การทำงานของปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ โดยใช้เซนเซอร์ เป็นตัวรับค่าอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ ที่ควบคุมด้วย MCU ซึ่งในที่นี้ใช้เป็น ESP32 แล้วให้ MCU สื่อสารกับ Raspberry pi ด้วย mqtt แล้วนำค่าไปแสดงที่จอแสดงผลในรูปแบบของ GUI



รูปที่ 7 บล็อกไดอะแกรม ปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์

3.2 การออกแบบโครงสร้าง

โครงสร้างของปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ โดยชิ้นงานมีความสูง 11.55 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร และความกว้าง 13 เซนติเมตร ส่วนจอแสดงผลมีความสูง 8 เซนติเมตร ความยาว 12 เซนติเมตร อุปกรณ์ควบคุมติดตั้งอยู่ด้านในของชิ้นงาน

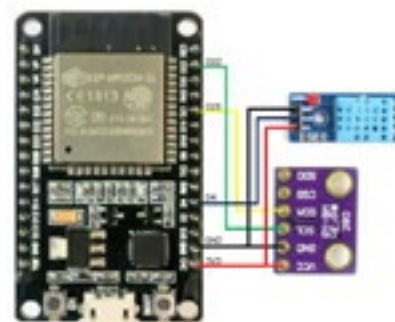


รูปที่ 8 ภาพจำลองของปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์

3.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์

3.3.1 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไมโครคอนโทรลเลอร์

เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ และความชื้น (DHT11) และเซนเซอร์วัดความกดอากาศ (BME280) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์ Input ของบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยเซนเซอร์ DHT11 ใช้ไฟเลี้ยง 3.3VDC ต่อสายสัญญาณกับขา D4 ของบอร์ด ทำหน้าที่วัดความชื้นในอากาศ และเซนเซอร์ BME280 ใช้ไฟเลี้ยง 3.3VDC เชื่อมต่อแบบ I2C โดยขา SDA ต่อกับขา D21 ของบอร์ด และขา SCL ต่อกับขา D22 ของบอร์ด ทำหน้าที่วัดอุณหภูมิและความกดอากาศ

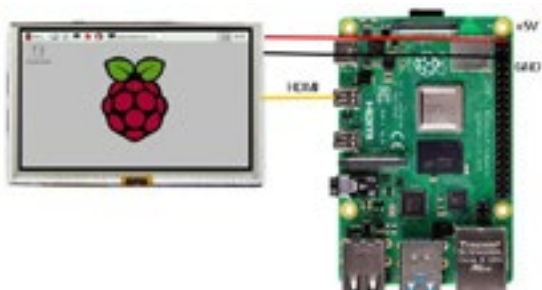


รูปที่ 9 วงจรการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ กับบอร์ด ESP32

3.3.2 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ Raspberry pi

การเชื่อมต่อระหว่างบอร์ด Raspberry pi กับจอแสดงผล นวัตกรรมนี้ใช้เป็นบอร์ด Raspberry pi 4 Model B ซึ่งมีพอร์ต HDMI 2 พอร์ต โดยเป็น micro

HDMI ทั้ง 2 พอร์ต รองรับการต่อแบบ Dual Display สามารถเชื่อมต่อกับจอแสดงผลได้เลย

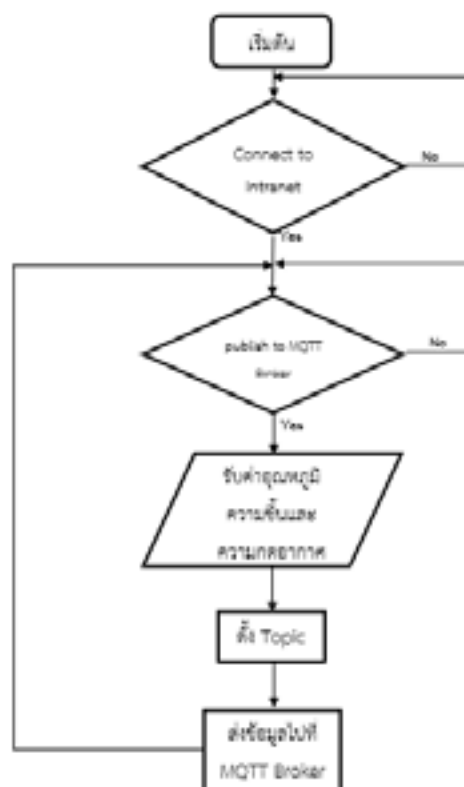


รูปที่ 10 การเชื่อมต่อ Raspberry pi กับจอแสดงผล

3.5 ขั้นตอน และวิธีดำเนินการ

3.5.1 ฟังก์ชันแสดงผลภาพรวมการทำงานของ ESP32

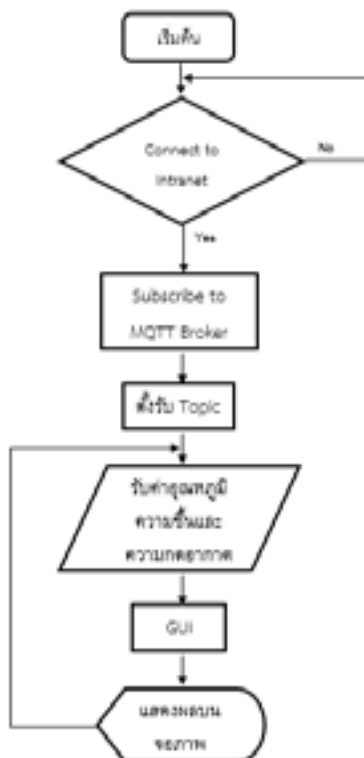
การทำงานของ ESP32 โดยใช้ MQTT ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบ Machine to Machine เริ่มแรกจะเชื่อมต่อกับ WiFi แล้วเชื่อมต่อกับ MQTT Broker ต่อมาจะรับค่าอุณหภูมิ ความชื้นและความกดอากาศจากเซนเซอร์ ตั้ง Topic แล้วส่งไปที่ MQTT Broker



รูปที่ 11 ฟังก์ชันแสดงผลภาพรวมการทำงานของ ESP32

3.5.1 ฟังก์ชันแสดงผลภาพรวมการทำงานของ Raspberry pi

การทำงานของ Raspberry pi โดยเริ่มจากเชื่อมต่อกับ WiFi วงเดียวกับ ESP32 แล้วเชื่อมต่อกับ MQTT Broker ตั้งรับ Topic แล้วรับค่ามาจาก MQTT Broker สร้าง GUI ให้แสดงผลที่จอภาพ



รูปที่ 12 ผังงานภาพรวมการทำงานของ Raspberry pi

4. ผลการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดสอบปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ โดยจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ผลทดสอบการแสดงผลปฏิทิน และผลทดสอบการแสดงผลอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ

4.1 การทดสอบแสดงผลอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ

4.1.1 ทดสอบเปรียบเทียบกับเว็บพยากรณ์อากาศ

ทดสอบการแสดงผลอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ เปรียบเทียบกับเว็บ darksky.net ซึ่งเป็นเว็บพยากรณ์อากาศที่เชื่อถือได้ โดยจะทดสอบ

เปรียบเทียบทุก ๆ 30 นาที 12 ครั้ง เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ ในสภาพแวดล้อมในร่มพื้นที่โล่ง

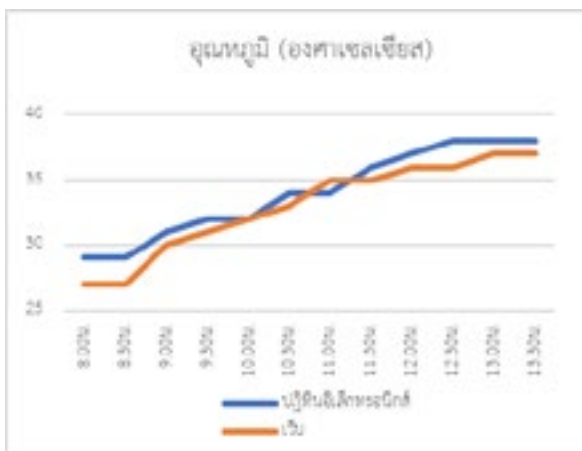


รูปที่ 13 การทดสอบเทียบกับเว็บพยากรณ์อากาศ

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบเปรียบเทียบ

เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		ความชื้น (%)		ความกดอากาศ (hPa)	
	ปฏิทินตั้งโต๊ะ	เว็บ	ปฏิทินตั้งโต๊ะ	เว็บ	ปฏิทินตั้งโต๊ะ	เว็บ
08.00	29	27	58	63	1000	1013
08.30	29	27	58	63	1000	1013
09.00	31	30	54	55	1000	1014
09.30	32	31	52	50	1000	1014
10.00	32	32	52	45	1000	1014
10.30	34	33	50	41	1000	1013
11.00	34	35	50	36	1000	1013
11.30	36	35	50	34	999	1013
12.00	37	36	43	31	998	1012
12.30	38	36	43	30	998	1011
13.00	38	37	43	29	997	1011
13.30	38	37	40	28	996	1010

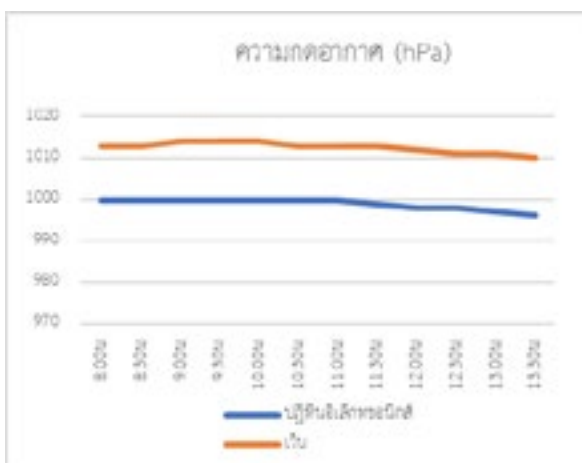
จากรูปที่ 14 - 16 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลทั้งปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์และเว็บ darksky.net มีแนวโน้มไปทางเดียวกัน



รูปที่ 14 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิ



รูปที่ 15 กราฟเปรียบเทียบความชื้น



รูปที่ 16 กราฟเปรียบเทียบความกดอากาศ

4.1.2 ทดลองกับพัดลมไอเย็น

พัดลมไอเย็น คือ การปล่อยให้น้ำไหลลงมา แล้วใบพัดดูดลมผ่านน้ำ ทำให้ลมที่พัดออกมาเย็นขึ้นแต่ข้อเสียหลักของพัดลมไอเย็น คือ ลมที่ผ่านน้ำแล้วพัดออกมาทำให้ความชื้นเพิ่มมากขึ้นจนรู้สึกเหนียวตัว จากข้อเสียนี้จึงได้นำมาทำการทดลองกับปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์เพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ โดยจะทดสอบทดสอบในห้องปิด เปิดพัดลมไอเย็นแล้วดูการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ความชื้น และความกดอากาศ ทุก ๆ 30 วินาที เป็นเวลา 7 นาที



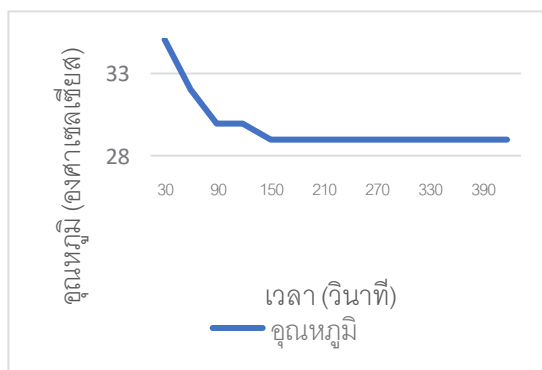
รูปที่ 17 การทดสอบกับพัดลมไอเย็น

ตารางที่ 2 ผลการทดลองกับพัดลมไอเย็น

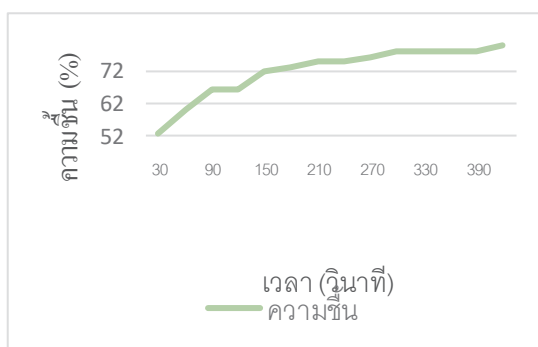
เวลา	ผลการทดลอง		
	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความชื้น (%)	ความกดอากาศ (hPa)
30 วินาที	35	53	996
60 วินาที	32	60	995
90 วินาที	30	66	996
120 วินาที	30	66	996
150 วินาที	29	72	996
180 วินาที	29	73	996
210 วินาที	29	75	996
240 วินาที	29	75	996

270 วินาที	29	76	995
300 วินาที	29	78	995
330 วินาที	29	78	995
360 วินาที	29	78	995
390 วินาที	29	78	995
420 วินาที	29	80	995

จากรูปที่ 18 และ รูปที่ 19 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและความชื้นในห้องเทียบกับเวลา คือ เมื่อเปิดพัดลมไอเย็นนานขึ้น ทำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลง



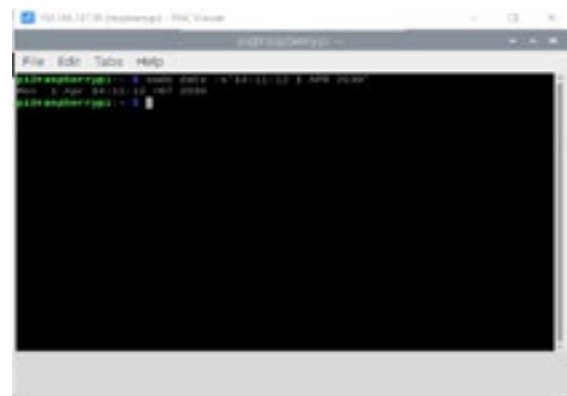
รูปที่ 18 กราฟการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ 19 กราฟการเปลี่ยนแปลงความชื้น

4.2 ทดลองการแสดงผลปฏิทิน

เนื่องจาก วันเดือนปี และเวลาที่แสดงบน GUI นั้นใช้ library ดึงข้อมูลมาจาก raspberry pi ดังนั้นจึง ทดลองเปลี่ยนวันเดือนปี และเวลาของ raspberry pi เพื่อ ทดสอบการเปลี่ยนวันและเวลาของปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 20 เปลี่ยนวันที่ raspberry pi

จากตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่า GUI ของปฏิทิน อิเล็กทรอนิกส์เปลี่ยนตามวันเดือนปี และเวลาของ raspberry pi แต่ raspberry pi เปลี่ยนวันเดือนปีได้ถึง 10:14:07 19 JAN 2038 เท่านั้น GUI ของปฏิทิน อิเล็กทรอนิกส์จึงเปลี่ยนได้แค่ 10:14:07 19 JAN 2038

ตารางที่ 3 ผลทดลองการแสดงผลปฏิทิน

ตั้งวันที่เป็น	ปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์ แสดง	ผลลัพธ์
14:11:12 1 APR 2030	14:11:12 1 APR 2030	✓
19:40:32 1 JAN 2035	19:40:32 1 JAN 2035	✓
18:30:52 1 MAY 2037	18:30:52 1 MAY 2037	✓
10:14:07 19 JAN 2038	10:14:07 19 JAN 2038	✓
10:14:08 19 JAN 2038	10:14:07 19 JAN 2038	✗
10:25:17 2 FEB 3333	10:14:07 19 JAN 2038	✗

หัวข้อ ที่	หัวข้อการทดสอบ	ผลการทดสอบ
1	ทดสอบการแสดงผล อุณหภูมิ ความชื้น ละ ความกดอากาศ	สามารถแสดงผลได้ อย่างมีแนวโน้มที่ ถูกต้อง
2	ทดสอบการแสดงผลวัน เดือนปี และเวลา	สามารถแสดงผลได้ อย่างถูกต้อง

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลนวัตกรรม

จากตารางที่ 4 ปฏิทินอิเล็กทรอนิกส์สามารถประมวลผลข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว และถูกต้อง อีกทั้งยังใช้พลังงานต่ำ และสามารถประดิษฐ์และประยุกต์ใช้เองได้ตามต้องการ

5.2 ข้อเสนอแนะ

ผู้ที่สนใจจะพัฒนานวัตกรรมนี้ควรออกแบบระบบระบายอากาศให้ดี เนื่องจากการทำงานของบอร์ด raspberry pi มีความร้อนที่ค่อนข้างสูง เมื่อทำงานเป็นระยะเวลานานมาก ๆ อาจจะทำให้การทำงานผิดพลาดได้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุมอัตโนมัติ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่อำนวยความสะดวก และคอยให้คำแนะนำในการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้

7. บรรณานุกรม

- [1] Christopher David. (25 6 2). Send data from ESP8266 or ESP32 to Raspberry Pi via MQTT. [ออนไลน์]. 15 มกราคม 2564, สืบค้นจาก https://diyIoT.com/microcontroller-to-raspberry-pi-wifi-mqtt-communication/?fbclid=IwAR2h-duF5e_WRZBfQb1FO4zxZrcUP1hc-lvR3qPLZA-knAFP-00kJYVJ05o
- [2] Gautam Sharma. (25 6 4). Python Tkinter GUI Script to Make a Basic Calendar Full Project for Beginners. [ออนไลน์]. 21 มกราคม 2564, สืบค้นจาก <https://codingshiksha.com/python/python-tkinter-gui-script-to-make-a-basic-calendar-full-project-for-beginners/>
- [3] David Amos. (25 6 3). Python GUI Programming with Tkinter. [ออนไลน์]. 2 กุมภาพันธ์ 2564, สืบค้นจาก <https://realpython.com/python-gui-tkinter/>
- [4] ธวัชชัย แสนหาญ. (2562). การใช้งาน Python GUI (Tkinter) : การสร้างนาฬิกาแบบ Digital. [ออนไลน์]. 16 กุมภาพันธ์ 2564, สืบค้นจาก <https://www.mindphp.com/forums/viewtopic.php?f=144&t=54544>
- [5] MarcusCode website. (2563). วันที่และเวลา ใน ภาษา Python. [ออนไลน์]. 16 กุมภาพันธ์ 2564, สืบค้นจาก <http://marcuscode.com/lang/python/date-and-time>
- [6] Start. (2562). auto run Raspberry pi. [ออนไลน์]. 2 มีนาคม 2564, สืบค้นจาก <https://tart-kreangkrai.medium.com/รันโปรแกรมเมื่อบูตเครื่อง-บน-raspberry-pi-7c18c885d69>

- [7] Apirak Sang-ngenchai. (2561). ตั้งค่าให้ RPI ไม่พังก หน้าจอ. [ออนไลน์]. 2 มีนาคม 2564, สืบค้นจาก <https://medium.com/@ASsuperman/ตั้งค่าให้-rpi-ไม่พังกหน้าจอ-bba220a7db68>
- [8] 2Lt.Chutchavan Suksutthi. (2557). ทำความรู้จัก Raspberry Pi. สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2564 , จาก www2.crma.ac.th/itd/Know/RBPI/index.asp
- [9] Kongimi. (2557). รู้จัก GPIO raspberry pi. สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2564 , จาก <https://raspberrypith.blogspot.com/2014/02/gpio-raspberry-pi.html>
- [10] Ken RobotSiam (2561). การใช้งาน GPIO ใน Raspberry Pi ด้วย Python. สืบค้น 26 กุมภาพันธ์ 2564 , จาก <https://raspberrypi3robot.blogspot.com/2018/07/gpio-raspberry-pi-python.html>
- [11] Machine (2562). BME280 Weather Station Digital Temperature , Humidity , Pressure. สืบค้น 27 กุมภาพันธ์ 2564 , จาก allnewstep.com/product/1630/bme280-weather-station-digital-temperature-humidity-pressure
- [12] Redzero (2561). การใช้งานโมดูล BME280. สืบค้น 27 กุมภาพันธ์ 2564 , จาก <https://medium.com/@redzero/ตอนที่-3-การใช้งานโมดูล-bme280-วัดอุณหภูมิ-ความชื้น-และความดันอากาศ-a70167195eb2>
- [13] JOE D.S (2561). BME280: Temperature, Humidity , Pressure Sensor. สืบค้น 27 กุมภาพันธ์ 2564 , จาก <https://meetjoeblog.com/2018/08/08/bme280-sensor/>
- [14] circuits4you (2562) ESP32: DHT11/22 Humidity Temperature Sensor Interfacing Example. สืบค้น 27 กุมภาพันธ์ 2564 , สืบค้นจาก <https://circuits4you.com/2019/01/25/esp32-dht11-22-humidity-temperature-sensor-interfacing-example/>
- [15] esp32learning (2561). ESP32 and DHT11 sensor example. สืบค้น 1 มีนาคม 2564 , จาก www.esp32learning.com/code/esp32-and-dht11-sensor-example.php
- [16] myarduino.net (2560). DHT11 เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น. สืบค้น 1 มีนาคม 2564 , จาก <https://www.myarduino.net/%20product/33/dht11-เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิและความชื้น-พร้อม-pcb-แถมสายไฟ>
- [17] ioxhop (2560). ESP32 เบื้องต้น. สืบค้น 1 มีนาคม 2564 , จาก <https://www.ioxhop.com/%20article/69/esp32-เบื้องต้น-บทที่-8-การใช้งานเซ็นเซอร์ต่างๆ>
- [18] MarcusCode. (2560). ภาษา Python. สืบค้น 1 มีนาคม 2564 , จาก marcuscode.com/lang/python
- [19] metinhomsin34(at)gmail.com (2560). แนะนำ ภาษา Python สืบค้น 1 มีนาคม 2564 , จาก marcuscode.com/lang/python/introduction
- [20] aosoft. (2561). Python คืออะไร. สืบค้น 1 มีนาคม 2564 , จาก <https://www.aosoft.co.th/article/322/Python-คืออะไร-ภาษา-python-ใช้ทำอะไร.html>
- [21] dtc (2562). machine to machine. สืบค้น 1 มีนาคม 2564 , จาก <https://www.dtc.co.th/ความรู้โลกดิจิทัล/m2m-เทคโนโลยีใหม่ที่จะมาเปลี่ยนอนาคตอันใกล้/>

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยฟัซซีลอจิก

Controlling the Movement of Robots with Fuzzy Logic

ยุทธนา มุลกลาง* พิสิตู พิตัสสุวรรณกุล มงคล อุดคำ
รุ่งโรจน์ ฆะมันจา ปรีชา มหาไม้ และ ธนพงศ์ คุ้มญาติ

Yutthana Munklang* Phisit Phitatsuwannakun Mongkol Audkham Roongroj Kamanchar
Preecha Mahamai and Tanapong Khumyat

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก อ.เมือง จ.ตาก 63000
Electrical engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna Tak, Mueang, Tak, 36000,
THAILAND

*Corresponding Author E-mail: phisit_ph61@live.rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยฟัซซีลอจิก ที่ใช้การตัดสินใจคล้ายกับมนุษย์ ภายใต้อุปกรณ์ที่ได้จากผู้เชี่ยวชาญ โดยมีอินพุตจำนวน 5 ตัว คือเซนเซอร์อัลตราโซนิกวัดระยะทาง มีตัวแปรเชิงภาษา 4 ตัว คือ ใกล้ ปานกลาง ไกล และนอกระยะ เอาต์พุตมี จำนวน 2 ตัวคือมอเตอร์ซ้ายและมอเตอร์ขวา มีตัวแปรเชิงภาษา 3 ตัวคือหยุด ช้าและเร็ว หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ เดินหน้าเร็ว เดินหน้าช้า เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และหยุด โดยมีอุปสรรครูปทรงเรขาคณิต 3 มิติ จำนวน 8 ชิ้น ได้แก่ ลูกบาศก์ ปริซึมทรงสี่เหลี่ยม ปริซึมทรงสามเหลี่ยม ทรงกระบอก และทรงรี สนามที่ใช้ในการทดสอบมีขนาด กว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร โดยสุ่มตำแหน่งจัดวางอุปสรรค 8 ชิ้น และทำการบันทึกผลในสนาม 5 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที เวลารวมทั้งหมด 450 วินาที ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ทั้ง 15 ครั้ง พบว่า หุ่นยนต์เคลื่อนที่ชนอุปสรรคจำนวน 4 ครั้ง

คำสำคัญ: ฟัซซีลอจิก, การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์, ระบบควบคุมอัตโนมัติ

Abstract

This research was conducted to study the motion control system of robots with fuzzy logic, a human-like decision-making system. The system's input comprised five ultrasonic distance sensors with four linguistic variables, i.e., near, moderate, far, and out of bound. The system's output included two motors, left and right wheel control, with three language variables, i.e., stop, slow, and fast. The robot movements included fast forward, slow forward, turn left, turn right, and stop. The obstacles comprised eight geometric shapes: cube, square prism, triangular prism, cylinder, and oval. The experiments were conducted three times in five 5 x5 square meters fields. Each time took 30 seconds. Of 15 experiments and 450 seconds, the robots hit the obstacles four times.

Keyword: Fuzzy Logic, Robot movement, Automatic Control System

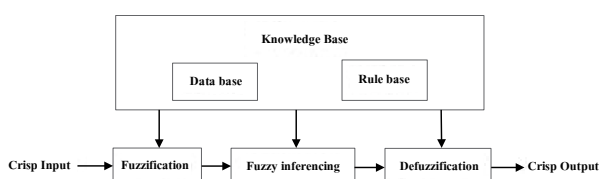
1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันเทคโนโลยีมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและหลากหลายด้าน ไม่ว่าจะเป็นด้านวิทยาศาสตร์ ด้านอุตสาหกรรม ด้านการเกษตร ด้านหุ่นยนต์ และด้านระบบควบคุมอัตโนมัติ ซึ่งในด้านของหุ่นยนต์นั้นได้รับความนิยมในปัจจุบัน เพื่อใช้ในการอำนวยความสะดวกสบายให้กับมนุษย์ ซึ่งหุ่นยนต์ที่เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ นั้นจำเป็นต้องมีระบบควบคุมที่มีการตัดสินใจอย่างชาญฉลาด เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้แบบอัตโนมัติซึ่งระบบควบคุมฟัซซีลอจิกเป็นระบบควบคุมที่มีการตัดสินใจที่คล้ายกับมนุษย์โดยใช้ข้อมูลและประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญใช้ในการตัดสินใจ ปัจจุบันการควบคุมแบบฟัซซีลอจิก ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในเครื่องใช้ไฟฟ้า ระบบยานยนต์ ระบบการผลิตในงานอุตสาหกรรมและระบบหุ่นยนต์ เป็นต้น

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฟัซซีลอจิก

นำเสนอแนวความคิดในแบบมนุษย์ซึ่งจำลองภาษาคำพูดและการตัดสินใจหรือสามัญสำนึกของมนุษย์ทำให้ระบบมีความฉลาดเหมือนมนุษย์ (Intelligent System) ฟัซซีหรือตรรกะหลายระดับถูกนำเสนอในปี 1965 ศาสตราจารย์ Lotfi Zadeh ได้ตีพิมพ์งานเรื่อง Fuzzy Set ทำให้งานทางฟัซซีลอจิกเป็นที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในเวลาต่อมาซึ่งฟัซซีลอจิกเป็นเพียงแค่ส่วนหนึ่งจากทฤษฎีฟัซซีเซต ศาสตราจารย์ Lotfi Zadeh ได้ใช้ฟัซซีลอจิกในความหมายที่กว้าง หมายถึง ฟัซซีลอจิกมีความแตกต่างไปจากลอจิกบูลีนที่มีเพียงใช่ และไม่ใช่ หรือ 0 และ 1 แต่ฟัซซีเป็นตรรกะหลายระดับที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิก (Degree of Membership) ใช้ค่าตัวเลขตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยโครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซีลอจิกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังรูปที่ 1



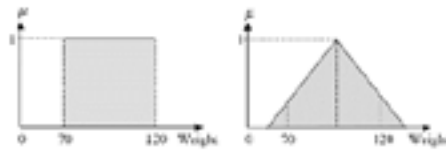
รูปที่ 1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบฟัซซีลอจิก

1) การทำฟัซซี (Fuzzification) เป็นส่วนการแปลงค่าตัวแปรแบบดั้งเดิมนำเข้ามาให้เป็นตัวแปรแบบฟัซซี

2) ฐานกฎ (Knowledge Base) เป็นส่วนการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตกับเอาต์พุต โดยจะเขียนอยู่ในรูปแบบกฎเพื่อใช้ในการควบคุม และประมวลผลรวมกันซึ่งกฎฟัซซีที่เกิดจากประสบการณ์หรือความรู้ของมนุษย์ให้อยู่ในรูปแบบประโยค ถ้า - แล้ว (IF - THEN) โดยมีตัวเชื่อมประโยคเป็นตัวดำเนินการของฟัซซีเซต AND หรือ OR

3) กลไกการอนุมาน (Inference Engine) เป็นส่วนของการอนุมานหรือการตีความ โดยนำกฎฟัซซีมาทำการตรวจสอบข้อเท็จจริงกับฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตแบบฟัซซี

4) การทำดีฟัซซี (Defuzzification) เป็นส่วนของการแปลงค่าเอาต์พุตแบบฟัซซีให้กลับไปเป็นค่าแบบดั้งเดิมหรือค่าปกติ เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการตัดสินใจกับสถานการณ์ต่าง ๆ



รูปที่ 2 การกำหนดความเป็นสมาชิกของเซตดั้งเดิมและเซตแบบฟัซซี

2.2 ทฤษฎีฟัซซีเซต

เป็นการกำหนดให้มีค่าความเป็นสมาชิกภายในเซตอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ซึ่งแตกต่างจากเซตแบบดั้งเดิม (Classical Set) ที่มีการกำหนดค่าความเป็นสมาชิกเพียงสองค่าเท่านั้น คือ 0 หมายถึง ไม่เป็นสมาชิกในเซต และ 1 หมายถึง เป็นสมาชิกในเซต ดังรูปที่ 2 ยกตัวอย่างเกี่ยวกับเซตของคนอ้วน คำว่าคนอ้วนในเซตแบบดั้งเดิมอาจกำหนดเป็นคนที่มีน้ำหนักตั้งแต่ 70 ถึง 120 กิโลกรัม แต่เซตแบบฟัซซีเซตอาจกำหนดเป็นคนที่มีความอ้วนประมาณ 80 กิโลกรัม ซึ่งเป็นการให้กำหนดที่ไม่แสดงถึงขอบเขตที่แน่นอน

2.3 ตัวแปรเชิงภาษา (Linguist Variable)

ตัวแปรเชิงภาษาเป็นเซตแบบฟัซซี ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอธิบายค่าของตัวแปรเหมือนกับเซตแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นแนวคิดที่สำคัญมากในฟัซซีลอจิกตัวแปรเชิงภาษาช่วยกำหนด ค่าของสิ่งที่จะอธิบายทั้งในรูปคุณภาพใช้พจนานุกรม (Linguistic Term) เช่น สูง ปานกลาง ต่ำ ไกล และใกล้ เป็นต้น และให้อยู่ในรูปปริมาณของฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

2.4 ฟังก์ชันระดับความเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันระดับความเป็นสมาชิก มาตรฐานนำมาใช้ในทางปฏิบัติมีหลายชนิด แต่ในที่นี้จะกล่าวถึง 2 ชนิด ได้แก่



รูปที่ 3 ฟังก์ชันสามเหลี่ยม

ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (Triangular Membership Function) ดังรูปที่ 3 มีพารามิเตอร์ทั้งหมด จำนวน 3 ค่า คือ {a, b, c} และแสดงสมการที่ (1)

$$\text{Trapezoidal}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}, & c < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (1)$$

ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (Trapezoidal Membership Function) ดังรูปที่ 4 มีพารามิเตอร์ทั้งหมด จำนวน 4 ค่า คือ {a, b, c, d} และแสดงสมการที่ (2)



รูปที่ 4 ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู

$$\text{Trapezoidal}(x, a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)}, & a \leq x < b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)}, & c < x < d \\ 0, & x \geq d \end{cases} \quad (2)$$

2.5 ตัวดำเนินการ

ฟัซซีเซตและทฤษฎีเซตดั้งเดิมที่มีความหมายเหมือนกันแต่ค่าเชิงตัวเลขที่แตกต่างกัน สำหรับฟัซซีเซตตัวดำเนินการให้ผลกับตัวแปรที่อยู่ในเซต ซึ่งตรวจสอบค่าระดับความเป็นสมาชิกอยู่ในเซต โดยสามารถพิจารณาจากตัวดำเนินการพื้นฐานสำหรับทฤษฎีเซต 3 แบบ มีดังนี้

1) ยูเนียน (Union) ฟัซซีเซตจะเป็นการดำเนินการแบบ OR การหาค่าสูงสุดของค่าความเป็นสมาชิกของเซต A กับ B และแสดงได้ดังสมการที่ (3)

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (3)$$

โดยที่ $\mu_{A \cup B}$ คือความเป็นสมาชิกของตัวดำเนินการ Union
 $\mu_A(x)$ คือความเป็นสมาชิกของเซต A
 $\mu_B(x)$ คือความเป็นสมาชิกของเซต B

2) อินเตอร์เซกชัน (Intersection) ฟัซซีเซตจะเป็นการดำเนินการแบบ AND การหาค่าต่ำสุดของค่าความเป็นสมาชิกของเซต A กับ B และแสดงได้ดังสมการที่ (4)

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\} \quad (4)$$

โดยที่ $\mu_{A \cap B}$ คือความเป็นสมาชิกของตัวดำเนินการ intersection
 $\mu_A(x)$ คือความเป็นสมาชิกของเซต A
 $\mu_B(x)$ คือความเป็นสมาชิกของเซต B

3) คอมพลีเมนต์ (Complement) ฟัซซีเซตจะเป็นการดำเนินการแบบ NOT การหาค่าความไม่เป็นสมาชิกของเซต A และแสดงได้ดังสมการที่ (5)

โดยที่ $\mu_{\bar{A}} = 1 - \mu_A(x)$ (5)
 โดยที่ $\mu_{\bar{A}}$ คือความเป็นสมาชิกของตัวดำเนินการ Complement
 $\mu_A(x)$ คือความเป็นสมาชิกของเซต A

2.6 กฎของพีชชี

เป็นเงื่อนไข และข้อปฏิบัติของตรรกศาสตร์คลุมเครือที่มีประโยชน์ในการจัดรูปแบบระบบที่ซับซ้อนสามารถสังเกตได้ด้วยมนุษย์ และสามารถแสดงด้วยตัวแปรภาษา และค่าเชิงภาษาของกฎ ซึ่งสามารถออกแบบกฎและกำหนดได้โดยมนุษย์ และถูกนำไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบกฎพีชชี ถ้า-แล้ว (IF-THEN Rule) สามารถแสดงในรูปแบบประโยคได้ ดังนี้

IF (เงื่อนไข) THEN (ข้อปฏิบัติ)

- ตัวอย่าง Rule 1: IF (x is A) THEN (y is B)
 Rule 2: IF (x is A) AND (y is B) THEN (w is E)
 Rule 3: IF (x is A) OR (y is B) THEN (h is G)
 Rule 4 :IF (x is A) AND (y is B) THEN (w is E) OR (h is G)

โดยที่ x, y, w, h คือ ตัวแปรเชิงภาษา
 A, B, E, G คือ ค่าเชิงภาษา

2.7 คลื่นอัลตราโซนิก

เป็นคลื่นที่สามารถบังคับทิศทางการสะท้อนได้ คลื่นจะออกจากภาคส่งไปสะท้อนกับผิวของวัตถุ เช่น เหล็กไม้ หรืออื่น ๆ แล้วนำกลับมายังภาครับ ถ้าวัตถุอยู่ในระยะไกลคลื่นจะสะท้อนกลับในระยะที่ไกลทำให้ใช้เวลานานขึ้น แต่ถ้าวัตถุอยู่ในระยะใกล้คลื่นจะสะท้อนกลับใกล้ทำให้ใช้เวลาน้อยลง ในการส่ง และรับของคลื่นสามารถนำไปคำนวณระยะห่างระหว่างอัลตราโซนิกกับวัตถุซึ่งมีสมการความเร็วเสียงดังสมการที่ 6

$$v_s = \frac{d}{t} \quad (6)$$

โดยที่ v คือ ความเร็วเสียง หน่วย เมตรต่อวินาที
 x คือ ค่าของความเร็วเสียง
 t คือ อุณหภูมิ หน่วย องศาเซลเซียส (°C)
 y คือ ค่าของอุณหภูมิ

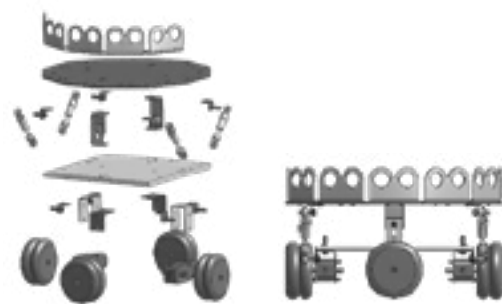
การคำนวณกลับไปเป็นค่าระยะทาง ดังสมการที่ (7)

$$s = \frac{v \cdot t}{2} \quad (7)$$

โดยที่ S คือระยะทาง
 T คือเวลาที่คลื่นที่ออกจากภาคส่ง และสะท้อนกลับมายังภาครับ
 v คือความเร็วเสียง หน่วย เมตรต่อวินาที
 T คืออุณหภูมิ หน่วย องศาเซลเซียส (°C)

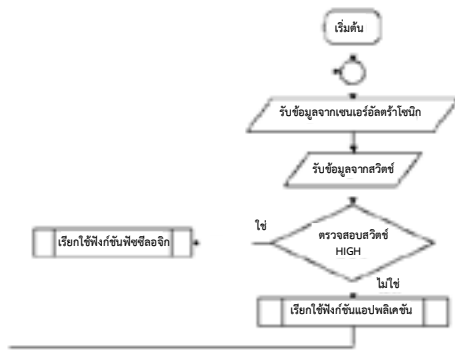
3. วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบระบบควบคุมพีชชีลอจิกจะออกแบบโครงสร้างของตัวหุ่นยนต์ซึ่งจะเป็นระบบควบคุมพีชชีลอจิกโดยหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติและการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านแอปพลิเคชัน



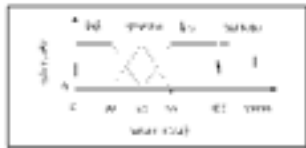
รูปที่ 5 โครงสร้างของตัวหุ่นยนต์

สำหรับฝั่งงานระบบควบคุมพีชชีลอจิก อินพุตเป็นค่าที่ได้จากเซนเซอร์อัลตราโซนิกที่รับเข้ามาและรับค่าสวิตช์โดยมีค่าเป็น HIGH - LOW เมื่อสวิตช์เป็น HIGH ให้เรียกใช้ฟังก์ชันพีชชีลอจิก ถ้าเป็น LOW ให้เรียกใช้ฟังก์ชันแอปพลิเคชัน ดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังงานระบบควบคุมฟัซซีลอจิก

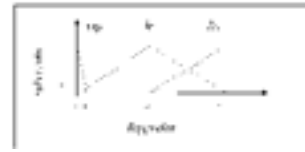
การออกแบบฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของระบบควบคุมฟัซซีลอจิก การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและตัวแปรภาษาให้กับค่าอินพุตของเซนเซอร์อัตราไหลเป็น ไกล ปานกลาง ใกล้ และนอกระยะ โดยจะมีค่าระดับสมาชิก 0.0 – 1.0 เพื่อใช้วัดระยะทางของอุปสรรคในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ดังรูปที่ 7



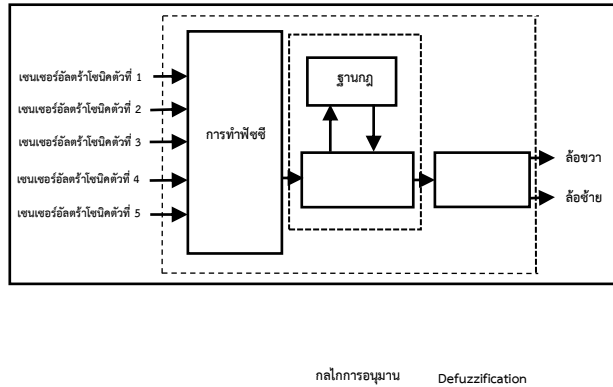
รูปที่ 7 การกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของเซนเซอร์อัตราไหล

กำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก และตัวแปรภาษาให้กับค่าเอาต์พุตของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็น เร็ว ช้า และหยุด โดยจะมีค่าระดับสมาชิก 0.0 – 1.0 เพื่อใช้ควบคุม

ความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า เลี้ยวซ้าย และเลี้ยวขวา ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงการกำหนดฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของล้อซ้ายและล้อขวา



รูปที่ 9 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมของหุ่นยนต์

จากรูปที่ 9 การออกแบบระบบควบคุมฟัซซีลอจิก โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเซนเซอร์อัตราไหลเข้ามาและนำข้อมูลที่ไปประมวลผลในระบบควบคุมฟัซซีลอจิก เพื่อนำผลลัพธ์ไปควบคุมล้อซ้ายและล้อขวา

การกำหนดกฎแบบฟัซซีเป็นการสร้างกลุ่มของประโยคเงื่อนไข IF – THEN (ถ้า – แล้ว) โดยจะทำการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรภาษาของอินพุต และเอาต์พุตตามตารางที่ 1 จะทำให้ได้ประโยคเงื่อนไข กฎแบบฟัซซีจำนวน 1024 กฎ

ตารางที่ 1 ตัวอย่างกฎแบบพีซีซี

กฎที่	เซนเซอร์อัลตราโซนิก					ล้อของหุ่นยนต์	
	เซนเซอร์ตัวที่ 1	เซนเซอร์ตัวที่ 2	เซนเซอร์ตัวที่ 3	เซนเซอร์ตัวที่ 4	เซนเซอร์ตัวที่ 5	ล้อด้านซ้าย	ล้อด้านขวา
1	ใกล้	ใกล้	ใกล้	ใกล้	ใกล้	หยุด	หยุด
2	ปานกลาง	ใกล้	ใกล้	ใกล้	ใกล้	หยุด	ช้า
3	ไกล	ใกล้	ใกล้	ใกล้	ใกล้	หยุด	ช้า
4	นอกระยะ	ใกล้	ใกล้	ใกล้	ใกล้	หยุด	หยุด
5	ใกล้	ปานกลาง	ใกล้	ใกล้	ใกล้	หยุด	ช้า



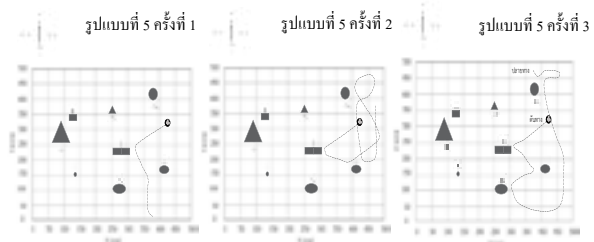
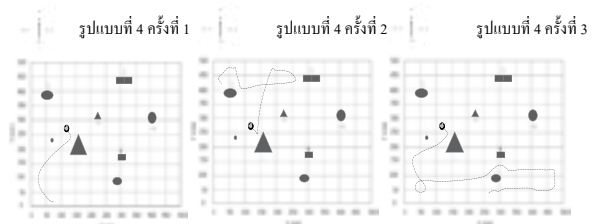
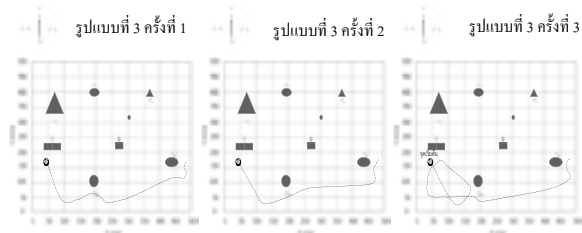
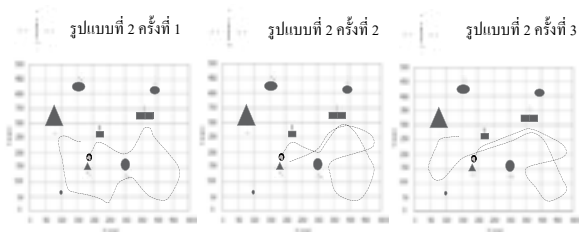
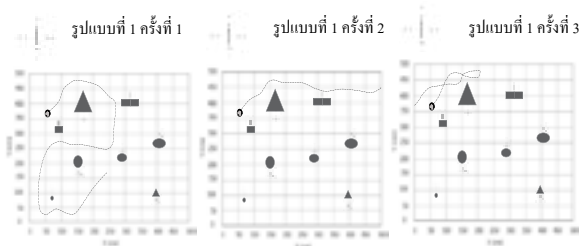
(ก)



(ข)

ภาพที่ 10 (ก) สนามที่ใช้ในการทดสอบหุ่นยนต์ (ข) การวางและหันหน้าหุ่นยนต์ตามองศาที่ได้จากการสุ่ม โดยใช้เข็มทิศบนสมาร์ตโฟน

การทดสอบหุ่นยนต์ในสนาม 5 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที แสดงดังต่อไปนี้



4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบควบคุมด้วยระบบพีซีซีลอจิกโดยเคลื่อนที่อัตโนมัติ และแบบควบคุมผ่านแอปพลิเคชันซึ่งการควบคุมผ่านแอปพลิเคชันจะทำการเชื่อมต่อในการรับส่งข้อมูลด้วยบลูทูธพบว่าหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ตามทิศทางที่ได้รับคำสั่งจากแอปพลิเคชันและการเคลื่อนที่อัตโนมัติ สามารถเคลื่อนที่หลบหลีกอุปสรรคที่ได้ออกแบบในสนามที่มีขนาด กว้าง 5 เมตร ยาว 5 เมตร ที่ใช้ในการทดสอบหุ่นยนต์ อุปสรรค

มีรูปทรงเรขาคณิต 3 มิติทั้งหมด 8 ชิ้น ได้แก่ ลูกบาศก์ ปริซึมทรงสี่เหลี่ยม ปริซึมสามเหลี่ยม ทรงกระบอก และ ทรงรี การหาตำแหน่งวางอุปสรรคลงบนสนามทดสอบจะทำการสุ่มอุปสรรคทั้งหมด 8 ชิ้น 5 ครั้ง เพื่อใช้ในการทดสอบในสนาม 5 รูปแบบ รวมถึงการสุ่มตำแหน่งวางหุ่นยนต์ 5 ครั้ง ที่ใช้ทดสอบ 5 รูปแบบ ซึ่งเป็นองศาทิศทางด้านหน้าของหุ่นยนต์ โดยจะทดสอบในสนาม 5 รูปแบบ รูปแบบละ 3 ครั้ง ครั้งละ 30 วินาที เวลาารวมทั้งหมด 450 วินาที

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้ตามรูปแบบและเวลารวมทั้งหมด 450 วินาที หุ่นยนต์เคลื่อนที่ชนอุปสรรค 4 ครั้ง เนื่องจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้อุปสรรคมากเกินไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุมอัตโนมัติ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่อำนวยความสะดวกและคอยให้คำแนะนำในการจัดทำงานวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

Efunda engineerin fundamentals. (1 ตุลาคม 2563). เข้าถึงได้จาก Centre of mass (ออนไลน์) : <https://www.efunda.com/math/areas/>

J. N., Mayank Singhal , and Mayank Nandwani Rai. (2012). Speed Control of DC Motor Using Fuzzy Logic Tehnique. IOSR - JEEE, หน้า 41-48.

M. Ramalingam, B. Anuradha Sheena A D. (2017). A Comprehensive Study on Fuzzy Inference System and its Application in the field of Engineering. International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT), หน้า 36-39.

Md. Akam, Pankj Rai, Anita Mahato, and Megha Mahapatra Ahamd. (2017). Speed Contro of a DC Motor Using Fuzzy Logic Application.

N. L ., K . A . Zakaria, N . S . Moh Nazar, M . Syaripuddin , A . S . N . Mokhtar and S . Thanakodi Lsmail. (2 February 2018). DC motor Speed Control Using Fuzzy Logic Controller. หน้า 2.

Yasser Ali, and Ahmed Abdelrahman. Almatheel. (2017). Sepeed control of DC Motor Using Fuzzy Logic Controller. International Conference on Communication Control Computing and Electronics Engineering (ICCCCEE), 4.

เอกจิตต์ จึงเจริญ, และ สถาพร โอภาสานนท์ ธนกร ตั้งพีรชัยกุล. (2560). การพัฒนาตรรกศาสตร์คลุมเครือเพื่อประเมินค่าความน่าจะเป็นทางธรณีวิทยาของโครงการขุดสำรวจปิโตรเลียม. บริหารธุรกิจ ศูนย์รังสิต กรุงเทพมหานคร, หน้า 8-10.

กองพัน อารีรักษ์. (2562). การตามรอยจุดกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับระบบพลังงานแสงอาทิตย์แบบอิสระด้วยวิธีอ้างอิงกระแสร่วมกับตรรกศาสตร์คลุมเครือ. นครราชสีมา: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนาร.

จีราวุธ วารินทร์. (2560). Arduino Uno พื้นฐานสำหรับ IOT. กรุงเทพฯ: บริษัท โปรตีเซดท์ จำกัด.

ชวัลรัตน์ ทองช่วย ประสงค์ ประณีตพลกรัง. ((2010). การประยุกต์ตรรกศาสตร์คลุมเครือในการประเมินระดับคุณภาพความรู้สำหรับการจัดการความรู้ในบริบทของสถาบันการศึกษา ระดับ อุดมศึกษา. Journal of Information Scienc and Technology, หน้า 47.

ทีมงานสมาร์เลิร์นนิ่ง. (2558). เซนเซอร์ทรานสดิวเซอร์และการใช้งานฉบับปรับปรุง. นนทบุรี: Smart Learning.

พรจิต ประทุมสุวรรณ. (2561). การควบคุมแบบฟuzzyลอจิก. กรุงเทพฯ: พรินท์ (1991) จำกัด.

รัตนศิริวงศ์วุฒิ มณฑิยาน, มนต์ชัย เทียนทอง สุวรรณิ ธูปจัน. (2017). การประยุกต์ใช้ระบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับการประเมินผลสัมฤทธิ์ของการเรียน. เทคโนโลยีสารสนเทศ, 110.

สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์. (2549). การกระทำบนฟuzzyเซตและความสัมพันธ์แบบฟuzzy. เทคโนโลยีสารสนเทศ, 80 - 83.

สุพจน์ นิตย์สุวัฒน์. (2548). ฟuzzyเซตและนิยามฟังก์ชันความเป็นสมาชิก. เทคโนโลยีสารสนเทศ, 61-63.

อาทิตย์ ศรีแก้ว. (ม.ป.ป.). ปัญญาเชิงคำนวณ. นครศรีธรรมราช: สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, ม.ป.ป.

ระบบป้ายรถโดยสารประจำทางอัจฉริยะสายอำเภอพานถึงอำเภอเมืองเชียงราย

The Smart Bus Stop In Phan district To Mueang Chiang Rai district System.

*พิพัฒน์ ยะวงศ์¹ ปกรณ์ เสรีเผ่าวงศ์¹ ประภาส สุวรรณ¹ สุวรรณิ ปัญญา¹ และ พิเชษฐ กันทะวัง¹

¹ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120
โทรศัพท์ 053-723-979 E-mail:noolove170940@gmail.com¹, pichet_k55@hotmail.com¹

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำเพื่ออำนวยความสะดวกในการเดินทางด้วยรถโดยสารประจำทางสายอำเภอพานถึงอำเภอเมืองเชียงรายจากการใช้รถโดยสารที่ผู้ใช้บริการรถโดยสารประสบกับปัญหาการรอคอยที่ไม่ทราบกำหนดเวลาที่แน่นอน และผู้บริหารการเดินทางไม่ทราบตำแหน่งพิกัดที่แน่ชัดของรถโดยสารผู้ให้บริการ

จากปัญหาดังกล่าว ผู้พัฒนาได้ออกแบบพัฒนาระบบฯ โดยใช้เทคโนโลยีระบบการขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System) และใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่งมาใช้ในการสื่อสารระหว่างรถโดยสารประจำทาง ด้วยระบบสมองกลฝังตัว(Embedded System) เพื่อทำการเก็บค่าพิกัดตำแหน่งจีพีเอสลงในฐานข้อมูลแล้วเพิ่มประสิทธิภาพในการบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งจีพีเอส และแสดงค่าพิกัดตำแหน่งจีพีเอสบนแผนที่ทางหน้าเว็บแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ผลการทดสอบระบบฯ ผู้ใช้งานรถโดยสารได้รับทราบตำแหน่งของรถโดยสารและเวลาที่มาถึงของรถโดยสาร จากเดิมที่ผู้ใช้รถโดยสารจะต้องรอรถโดยสารประมาณ 20–35 นาทีต่อรอบ เมื่อนำระบบนี้มาใช้งานการรอคอยรถโดยสารลดลงเหลือเพียง 5–7 นาทีต่อรอบ จึงสามารถลดเวลาในการรอคอยรถโดยสารได้และผู้บริหารการเดินทางสามารถทราบตำแหน่งรถโดยสารได้ อย่างสะดวกมากขึ้น

คำสำคัญ : ระบบขนส่งอัจฉริยะ , อินเทอร์เน็ตของสรรพสิ่ง

Abstract

This research paper was done to facilitate passenger whose travel by minibus from Phan District to Mueang Chiang Rai District. As a result of the use of the buses, the bus operators encountered an unknown waiting time. And the operator does not know the exact coordinates of the bus operator

Developer have designed and developed by using Intelligent Transportation System technology and using internet of things technology to communicate between buses. With the embedded system to store the GPS (Globalize Position System) coordinates into the database. And show the GPS coordinates in the map by the web applications which active smartphones effectively.

As a result of the system, passenger has been informed of the location of the bus and the arrival time of the bus. Traditionally, passenger would have to waiting times 20–35 minutes. When system are used, the waiting time was reduced to 5–7 minutes. Passenger and bus manager know the bus location more conveniently.

Keyword: Intelligent Transportation System, Internet of Thing.

1. บทนำ

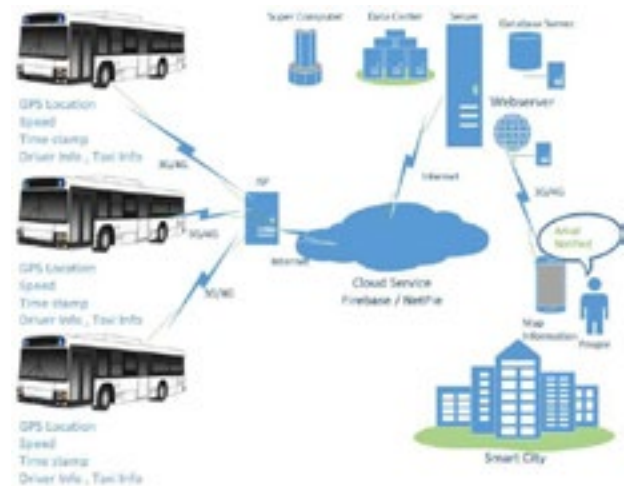
เนื่องด้วยอำเภอพานจังหวัดเชียงราย มีการพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจที่ดีขึ้น ไม่ว่าจะเป็นเศรษฐกิจด้านการท่องเที่ยว การค้า การเกษตร สังคม และอุตสาหกรรม อำเภอพานจังหวัดเชียงรายได้รับอิทธิพลในการเดินทางผ่านระหว่างจังหวัดเชียงรายไปยังจังหวัดพะเยาและจังหวัดลำปาง จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้มีประชาชนที่ต้องการเข้ามายังอำเภอพานจังหวัดเชียงราย รวมไปถึงประชาชนที่ต้องการแสวงหาผลประโยชน์และไปจนถึงประชาชนที่ต้องการเข้ามาท่องเที่ยวภายในอำเภอพาน จังหวัดเชียงราย จึงทำให้ประชาชนใช้งานในการเดินทางเป็นจำนวนมาก และส่วนใหญ่ต้องเดินทางด้วยรถโดยสาร เพราะประหยัดค่าใช้จ่ายได้จำนวนมาก แต่รถโดยสารออกจากอำเภอพานมีจำนวนไม่มากนัก จึงได้เกิดปัญหาไม่ทราบตารางเวลาของรถโดยสารในแต่ครั้งของการเดินทางของรถโดยสาร บางครั้งต้องใช้เวลาในการรอคอยรถโดยสาร ทำให้เสียเวลาในการเดินทางจากอำเภอพานถึงอำเภอเมืองจังหวัดเชียงรายอยู่เสมอ

ดังนั้นผู้วิจัยมีแนวทางในการช่วยอำนวยความสะดวกแก่ประชาชนที่เดินทางด้วยรถโดยสาร หรือนักท่องเที่ยวสามารถรับรู้ข้อมูลการเดินทางรถโดยสาร โดยการจัดทำเว็บแอปพลิเคชันป้ายรถโดยสารอัจฉริยะสายอำเภอพานถึงอำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย (SBS : Smart Bus Stop) สามารถลดเวลาในการเดินทางจากอำเภอพานมายังอำเภอเมืองจังหวัดเชียงรายความต้องการของประชาชนใช้งานได้อย่างชัดเจน อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมการนำเอาเทคโนโลยีนำมาใช้งานให้เกิดประโยชน์อย่างสูงสุด ช่วยผลักดันให้นำเอาเทคโนโลยีมาช่วยในการคิดค้นและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์มากยิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองประเทศไทยยุค 4.0 มากยิ่งขึ้นและสืบต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แนวความคิดการทำงานของระบบฯ ปัจจุบันการเดินทางด้วยรถโดยสารเป็นที่นิยมสำหรับประชาชนและนักท่องเที่ยวเป็นอย่างมาก แต่เนื่องด้วยรถโดยสารสายอำเภอพานถึงอำเภอเมืองจังหวัดเชียงรายมีรถโดยสารประจำทาง ไม่มีกำหนดเวลาการในการเดินทางที่ชัดเจนและประชาชนส่วนมากมักไม่รู้ข้อมูล

รถโดยสารประจำ ทางในสายอำเภอพานถึงอำเภอเมืองจังหวัดเชียงรายมากนัก ดังนั้นเว็บแอปพลิเคชัน SBS จึงจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก ผู้ใช้สามารถดูเส้นทางของรถโดยสารของสายอำเภอพานถึงอำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย และรับรู้ข้อมูลจุดรถโดยสารประจำทาง เช่น หมายเลขรถโดยสาร เวลาที่รถโดยสารจะมาถึงป้ายรถโดยสาร เวลาที่รถโดยสารจะออกจากท่ารถ เป็นต้น



รูปที่ 1 โครงสร้างระบบ SBS

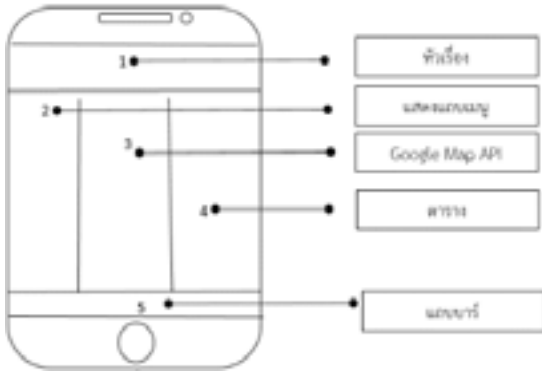
2.1 การส่งตำแหน่ง การส่งตำแหน่งจากรถโดยสารส่งข้อมูลมายังเว็บแอปพลิเคชันโดยการใช้เครื่องรับสัญญาณ จีพีเอส (Global Positioning System) ที่ติดตั้งไว้ที่รถโดยสารจะส่งตำแหน่งของรถโดยสารมาทุก ๆ หนึ่งนาที จะได้รับค่าละติจูดและลองจิจูดมา คำนวณหาระยะทางโดยใช้สูตรคำนวณหาระยะทางของรถโดยสารและป้ายรถโดยสารเพื่อหาระยะทางและเวลาที่รถโดยสารจะมาถึงป้ายแล้วได้ผลลัพธ์เป็นเวลา (นาที) ก่อนที่รถโดยสารจะมาถึงป้ายรถโดยสาร

2.2 การแสดงตำแหน่งรถโดยสาร การแสดงตำแหน่งรถโดยสารประจำทางบนเว็บแอปพลิเคชันโดยที่รับค่าจากเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส มาเก็บ ข้อมูลลงในฐานข้อมูลก่อนแล้วดึงข้อมูลดังกล่าวมาแสดงผลบนเว็บแอปพลิเคชันผ่าน Google Map API เพื่อแสดงแผนที่ตำแหน่งรถโดยสารออกมาและแสดงผลการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลดึงออกมาแบบเรียลไทม์ ตำแหน่งรถโดยสารที่ได้ออกมานั้นอาจมีความคลาดเคลื่อน เนื่องจากระบบรับส่งสัญญาณมีปัญหา เช่น รถโดยสารอยู่ในที่ที่ไม่โปร่งแสง หรือ

เส้นทางที่ผู้ใช้อยู่มีความซับซ้อนมากเกินไป แต่อย่างไรก็ตามสิ่งเหล่านี้ไม่ได้เป็นปัญหากับเส้นทางของผู้ใช้งานมากนัก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบฟอร์มหน้าจอหลัก



รูปที่ 2 ภาพรวมการออกแบบฟอร์มหน้าจอแสดงแผนที่

ตารางที่ 1 ตารางการออกแบบฟอร์มหน้าจอหลัก

หมายเลข	รายละเอียด
1	ชื่อหัวเรื่อง
2	เมนู
3	แผนที่ Google Map API
4	ตารางเวลารถโดยสาร
5	แถบบาร์ทั่วไป

3.2 ภาพรวมการทำงานของเมื่อเริ่มการทำงานของระบบ

ระบบการทำงานเว็บแอปพลิเคชันจะรอรับข้อมูลจากอุปกรณ์ จีพีเอส และ จีพีเอส จะส่งข้อมูลผ่านโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคม 3G-5G ด้วยอุปกรณ์ Pocket WiFi ที่ติดตั้งอยู่ในรถโดยสารสำหรับกระจายสัญญาณ WiFi ให้แก่บอร์ด ESP32 ซึ่งติดตั้งอยู่ในรถโดยสารเช่นกัน ทั้งนี้เพื่อส่งข้อมูลไปยังฐานข้อมูล และส่งไปยังเว็บแอปพลิเคชัน จากนั้นเว็บแอปพลิเคชันจะดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาใช้งานในการแสดงผลการทำงาน ดังแสดงการทำงานของระบบในรูปที่ 3



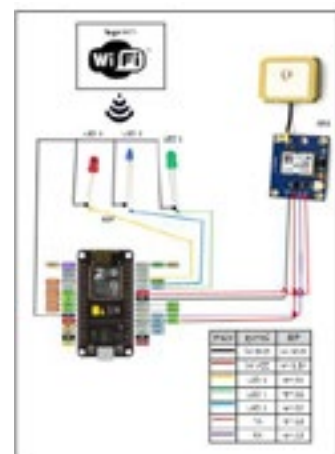
รูปที่ 3 ภาพรวมการทำงานของเมื่อเริ่มการทำงานของระบบ

3.3 การออกแบบฮาร์ดแวร์ตัวส่งข้อมูล

การทำงานของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วยโมดูลซึ่งโมดูลจะส่งค่าตำแหน่งของ จีพีเอส จะส่งค่ามายังบอร์ด ESP32 โดยบอร์ด ESP32 จะรับค่าต่างๆดังนี้ พิกัดละติจูด พิกัดลองจิจูด ทิศทางการเดินทาง เพื่อส่งมาบันทึกยังฐานข้อมูล ในส่วนของฐานข้อมูล แล้วจึงส่งค่าไปแสดงผลยังเว็บแอปพลิเคชัน

ตารางที่ 2 ตารางการออกแบบส่วนฮาร์ดแวร์

ลักษณะ	รายละเอียด
Vcc	ค่าไฟบวก
Tx	ค่า Tx ก็จะเป็น ค่าที่ Router ส่งข้อมูลออกไปภายนอก
Rx	ค่า Rx ก็จะเป็น ค่าที่ Router รับข้อมูลมาจากภายนอก
Gnd	ค่าไฟลบ
LED 1	ต่อขา 02
LED 2	ต่อขา 04
LED 3	ต่อขา 00



รูปที่ 4 ภาพรวมการออกแบบส่วนโมดูล

4. การออกแบบฮาร์ดแวร์ตัวรับข้อมูล

การออกแบบตัวรับข้อมูลหรือการแสดงผลบนป้ายอัจฉริยะมีส่วนประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ราวสเบอร์รี่พาย อะแดปเตอร์ หน้าจอ สายแลนอินเตอร์เน็ต ส่วนนี้จะเป็นการแสดงผลเพื่อบอกเวลารถโดยสารก่อนมาถึงตำแหน่งที่ป้ายอยู่



รูปที่ 5 ภาพรวมการออกแบบส่วนการแสดงผล

5. การออกแสดงข้อมูลในฐานข้อมูล

GPS_Line	CPI_Seq	CPI_Seq	CPI_Latitude	LAT	LNG	M	Go_Back
01	2020-Sep-01	9	16.194271	99.738972	409	2	
02	2020-Sep-01	10	16.183487	99.739341	407	2	
03	2020-Sep-01	11	16.164647	99.734291	405	2	
04	2020-Sep-01	12	16.175845	99.73829	409	2	
05	2020-Sep-01	13	16.183487	99.739341	407	2	
06	2020-Sep-01	14	16.183487	99.739341	407	2	
07	2020-Sep-01	15	16.183487	99.739341	407	2	
08	2020-Sep-01	16	16.183487	99.739341	407	2	
09	2020-Sep-01	17	16.174297	99.737639	409	2	
10	2020-Sep-01	18	16.172776	99.739341	409	2	
11	2020-Sep-01	19	16.172776	99.739341	409	2	
12	2020-Sep-01	20	16.148898	99.736291	407	2	
13	2020-Sep-01	21	16.174297	99.737639	409	2	
14	2020-Sep-01	22	16.183487	99.739341	407	2	
15	2020-Sep-01	23	16.177055	99.739341	409	2	
16	2020-Sep-01	24	16.183487	99.739341	407	2	

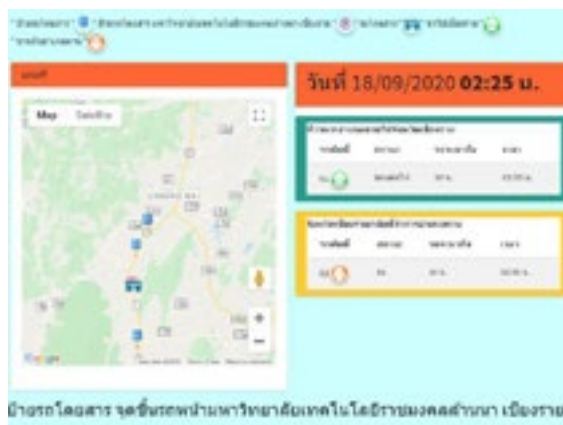
รูปที่ 6 แสดงข้อมูลในฐานข้อมูล

ตารางที่ 3 การออกแบบการเก็บข้อมูล

ชื่อ	ชนิดข้อมูล	ข้อมูล
GPS_name	varchar(100)	หมายเลขรถ
GPS_date	varchar(100)	วัน/เดือน/ปี
GPS_time	int(20)	เวลาที่รถจะมาถึง
GPS_distance	int(20)	ระยะทาง
LAT	varchar(100)	ละติจูด
LNG	varchar(100)	ลองจิจูด
id	int(11) automatic	ลำดับการเก็บข้อมูล 1,2,...,ก
Go_back	int(11)	รถวิ่งขาไปหรือกลับ

4. ผลการวิจัย

ผลการทดลองพิกัดตำแหน่งจุดของรถโดยสารลงในบนแผนที่ วันที่ 2 เดือน กันยายน ปี 2563 ทดสอบนำไปติดตั้งส่วนตัวการส่งค่าได้ตามที่ต้องการ ค่าที่แสดงมีค่าหมายเลขรถ สถานการณ์รถ เวลาที่รถจะมาถึง เวลาที่รถจะมาถึง ตำแหน่งรถบนแผนที่แสดงผลถูกต้องตามที่ต้องการ



รูปที่ 7 แสดงหน้าเว็บแอปพลิเคชัน

5. อภิปรายและสรุปผล

โครงการนี้เป็นการพัฒนาและสร้างระบบป้ายรถโดยสารประจำทางอัจฉริยะสายอำเภอพานถึงอำเภอเมือง เชียงราย (The Smart Bus Stop In Phan district To Mueang Chiang Rai district System) ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการเดินทางด้วยรถโดยสาร รวมไปถึงนักท่องเที่ยวทั้งชาวไทยและชาวต่างชาติ ที่นิยมเดินทางด้วยรถโดยสารในสายอำเภอพานถึงอำเภอเมืองเชียงราย โดยเว็บแอปพลิเคชันสามารถบอกตำแหน่งรถโดยสาร บอกเวลารถโดยสาร ในเส้นทางอำเภอพานถึงอำเภอเมืองเชียงราย นอกจากนี้ผู้ใช้งานเว็บแอปพลิเคชันยังสามารถรับรู้ข้อมูลประเภทของรถโดยสารเพื่ออำนวยความสะดวกและประหยัดเวลาในการรอรถโดยสารได้จากการรอรถโดยสาร 30-45 เมื่อมีระบบสามารถรอรถโดยสารได้ 5-7 นาที อีกทั้งยังช่วยในการตัดสินใจที่ถูกต้องในการเดินทาง

6. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัย ขอขอบพระคุณ
ผู้บริหารและพนักงานของ บริษัทพะเยาขนส่ง จำกัด
ที่อนุเคราะห์การเดินทางโดยสารขนาดเล็กเพื่อการทดสอบระบบ
รวมถึงการให้ข้อมูลคำแนะนำสำหรับการออกแบบระบบ
ไว้ ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- สำรวน เวียงสมุทร. (2555). การตรวจจับป้ายสัญญาณจราจร
ด้วยเซนเซอร์แท็กซ์ บทความ. วารสารวิชาการพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ ปีที่ 22 ฉบับที่ 2.
- กุลปรีชา นกดี. (2557). การยอมรับเทคโนโลยี GPS Tracking
ของบริษัท พี.ที. ทรานส์ เอ็กซ์เพรส จำกัด บทความ.
การค้นคว้าอิสระ (บธ.ม.) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัย
กรุงเทพ.
- สุขสุดา ขุนราช. 2559. การศึกษาแนวทางการประยุกต์ใช้
เทคโนโลยีคลาวด์ คอมพิวติงในวิสาหกิจขนาดกลางและขนาด
ย่อม (SMEs) บทความ. สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- นายวีรภัทร์ พันธุ์หาญ. 2558. ปัจจัยที่มีผลต่อการนำนโยบาย
สาธารณสุข ะป้ายจราจรอัจฉริยะไปปฏิบัติในเขต
กรุงเทพมหานคร: โดยการใช้ตัวแบบการจัดการ บทความ. การ
ประชุมมหาดใหญ่วิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 6

เครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน

QUEUE CARD MACHINE NOTIFYING ON THE SMART PHONE APPLICATION

สุทธิพันธุ์ สายทองอินทร์^{1*} ธานินทร์ สุเชียง² ปัญญาพร สายสุต³ และ วัชรพงษ์ อันชื่น⁴

Suttipan Saithong-in^{1*} Thanin Suchiang² Panyaporn Saysud³ and Watcharapong Onchuen⁴

1-4 หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 41 ม.7 ต.แม่งาม อ.ห้วยอิน อ.เมือง จ.ตาก 63000

1-4 Computer Engineering Department, Rajamangala University of Technology LANNA TAK, 41 Moo.7 Tambol Maingam, Phahonyotin Road, Muang District, Tak Province, 63000

*Porplacss@rmutl.ac.th, Tel: +66882823778

บทคัดย่อ

การจัดการเกี่ยวกับระบบคิวแบบเดิม เช่น การต่อแถว แจกกระดาษหรือรอการเรียกชื่อแบบทั่วไปมิให้พบเห็นบ่อยในโรงพยาบาล ธนาคาร ไปรษณีย์หรือแม้กระทั่งร้านกาแฟ หรือสถานที่ที่มีผู้คนมาใช้บริการเยอะ ทำให้ต้องรอคิวเป็นระยะเวลาที่นานละคลาดเคลื่อนไป งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการบริการที่มีระบบแจ้งเตือนเมื่อใกล้ถึงคิวที่ทำการจองรหัสคิวอาร์โค้ดให้กับผู้ใช้งาน โดยใช้หลักการของสัญญาณอินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IOT : Internet of Things) มาใช้ควบคู่กับเครื่องจ่ายบัตรคิว เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถทราบเวลาการเข้ามาใช้บริการ โดยการทดลองแบ่งเป็นสองส่วน คือ การทำงานในส่วนของระบบเครื่องจ่ายบัตรคิว การกดรับบัตรคิวจากเครื่องจ่ายบัตรคิวและการกดปุ่มเรียกคิวสามารถทำได้ถูกต้องแม่นยำ เวลาในการพิมพ์บัตรคิวแต่ละครั้งเฉลี่ยโดยประมาณ 5 วินาที ในส่วนแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน สามารถตรวจสอบหมายเลขที่กำลังใช้งานปัจจุบัน จำนวนคิวทั้งหมดและหมายเลขลำดับคิวได้จากการสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดบนบัตรคิว สามารถส่งการแจ้งเตือนโดยเฉลี่ยประมาณ 9 วินาที ต่อการแจ้งเตือน และผลสรุปความพึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน คิดเป็น 87.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีความพึงพอใจต่อการใช้งานมาก

คำสำคัญ: เครื่องจ่ายบัตรคิว,แจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน,อินเตอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง

Abstract

Changes from the traditional queue system (e.g., lining up, providing queue card, and waiting for the call) to a queue card distributing machine (e.g., printing queue cards and providing notification) are suitable for use in various places, such as hospitals, banks, post offices or even coffee shops. Thus, this project utilized the Internet of Things (IoT) with a queue card distribution machine to notify users' queues via QR codes. The machine enabled users to acknowledge and manage time better. The result showed that the operational processes, including getting queue cards from the machine and pressing the button to call the queue order, were precise and accurate. The time spent printing was 5 seconds per queue card. The smartphone application could detect current queue numbers, full queues, and queue orders via scanning the QR code on the queue cards. In addition, the average time of sending a notification was 9 seconds per notification. The satisfaction with the use of the queue card distribution machine with notification via smartphone application was at a high level (87.4%)

Keywords: Queue card distribution machine, Notify via a smartphone application. Smartphone, Internet of Things.

1. บทนำ

ในปัจจุบันสถานที่ที่ให้บริการส่วนใหญ่มักจะใช้ระบบคิวในการจัดการการให้บริการไม่ว่าจะเป็น โรงพยาบาล ร้านอาหาร ร้านขายสินค้า ธนาคารหรือแม้กระทั่งสถานที่ราชการ จะเห็นได้ว่าระบบคิวดังกล่าวจะเป็นการแจกกระดาษเข้าคิว ยืนต่อแถวหรือรอการเรียกชื่อจากพนักงาน ทำให้ต้องเสียเวลาในการรอคิวเพื่อเข้าใช้บริการในสถานที่นั้นๆ ยิ่งถ้ามีผู้เข้ารับบริการเป็นจำนวนมากต้องนั่งรอหรือยืนรอเพื่อไม่ให้พลาดคิวของตนเองและเสี่ยงต่อการถูกแซงคิวจนบางครั้งเกิดเหตุการณ์ร้ายแรงขึ้นทั้งที่ผู้เข้ารับบริการนั้นไม่สามารถทำธุระอื่นๆ ได้ในระหว่างการรอคิว ซึ่งปัญหาเหล่านี้นอกจากจะทำให้ผู้เข้ารับบริการต้องเสียเวลาในการรอคิวแล้ว ยังเสียต่อภาพลักษณ์ในการให้บริการของสถานที่นั้นๆ อีกด้วย

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาเครื่องจ่ายบัตรคิวที่สามารถรับการแจ้งเตือนจากการสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดบนบัตรคิว เพื่อเริ่มการแจ้งเตือนเมื่อใกล้ถึงคิวที่ทำการจองไว้ ช่วยเพิ่มความสะดวกรบายให้แก่ผู้ใช้บริการ โดยใช้หลักการของสัญญาณอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่ง (IOT : Internet of Things) มาใช้ควบคู่กับเครื่องจ่ายบัตรคิว ส่งผ่านผู้ใช้ด้วยแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน (Smart Phone) เพื่อผู้ให้บริการสามารถทราบเวลาการเข้ามาใช้บริการและใช้เวลาระหว่างการรอคิวทำธุระหรืออื่นๆ ก่อนเข้ามาใช้บริการได้

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเข้าคิว

การเข้าคิว (ป๋องกัน,2560) ปัจจุบันประชากรในประเทศมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น จึงมีความจำเป็นต่อการทำกิจกรรมร่วมกันในพื้นที่สาธารณะ เช่น การขึ้นรถประจำทาง ซื้อตั๋วชมหรสพ ซื้ออาหารรับประทาน เป็นต้น ซึ่งเป็นการลดความไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยและความวุ่นวายที่เกิดขึ้น รวมไปถึงการสร้างวินัยที่ดีสามารถให้บริการได้รวดเร็วและสะดวกต่อการบริการอีกด้วย ซึ่งมีทั้งด้านวัตถุและด้านจิตใจที่ควรทราบจากการเข้าคิวในพื้นที่สาธารณะยกตัวอย่างได้ดังนี้ 1) การขึ้นรถโดยสารประจำทางและรถโดยสารสาธารณะ 2) การซื้อของในซูเปอร์มาร์เก็ต ซื้อบัตรและการรับของแจกรางวัล 3) การทำธุรกรรมทางการเงิน 4) การชำระค่าบริการต่างๆ 5) การพบแพทย์ ทั้งคลินิกพยาบาล

และสถานพยาบาล 6) การเข้าใช้ห้องน้ำสาธารณะ การเข้าคิวจึงเป็นการจัดระเบียบวินัย เป็นการเรียงลำดับก่อนและหลัง ซึ่งผู้มาหลังต้องอดทนต่อการรอ ไม่เห็นแก่ผลประโยชน์ส่วนตัว การผลักดันกันจะทำให้เกิดอุบัติเหตุและเกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สิน ดังนั้นการเข้าคิวไม่เป็นการเสียเวลา แต่เป็นการช่วยประหยัดเวลาให้มีความรวดเร็วขึ้นและยังสามารถแสดงความมีน้ำใจในการเสียสละคิว เพื่อให้ความสะดวกแก่สตรีมีครรภ์ เด็ก หรือผู้ชราตามสมควรแก่โอกาส เป็นความมีน้ำใจและมีมารยาทต่อสังคมได้เป็นอย่างดี

2.2 สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต

สมาร์ทโฟน (Smart Phone) (ชไม พร,2556) เป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความสามารถเพิ่มเติมนอกเหนือจากโทรศัพท์มือถือทั่วไป โทรศัพท์ที่รองรับระบบปฏิบัติการต่างๆ ได้เสมือนนำคุณสมบัติที่มีใน PDA และคอมพิวเตอร์มาไว้ในโทรศัพท์ เช่น iOS, BlackBerry OS, Android และ Symbian Os (Nokia) เป็นต้น ซึ่งทำให้สมาร์ทโฟนสามารถลงโปรแกรมเพิ่มเติมหรือแอปพลิเคชันได้ สามารถรองรับไฟล์ Multimedia ได้หลากหลายรูปแบบ นอกเหนือจากใช้โทรออกหรือรับสายแล้วยังมีแอปพลิเคชันให้ใช้งานมากมาย สามารถรองรับการใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่าน 3G, Wi-Fi และสามารถใช้งานโซเชียลเน็ตเวิร์ค เช่น Line, YouTube, Facebook ฯลฯ ได้อีกด้วยดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างสมาร์ทโฟนและแท็บเล็ต

2.3 ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android Operating System)

แอนดรอยด์*(ทศพล,2556) คือระบบปฏิบัติการแบบเปิดเผยแพร่แวร์ต้นฉบับ*(Open Source)*โดยบริษัท*กูเกิล*(Google*Inc.) ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์มีจำนวนมากอุปกรณ์มีหลากหลายระดับหลายราคารวมทั้งสามารถทำงานบนอุปกรณ์ที่

มีขนาดหน้าจอและความละเอียดแตกต่างกันได้ทำให้ผู้บริโภคสามารถเลือกได้ตามต้องการและหากมองในทิศทางสำหรับนักพัฒนาโปรแกรม (Programmer) แล้วนั้น การพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้งานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ไม่ใช่เรื่องที่ยาก เพราะมีข้อมูลในการพัฒนารวมทั้ง Android*SDK* (Software Development Kit) เตรียมไว้ให้กับนักพัฒนาได้เรียนรู้และเมื่อนักพัฒนาต้องการจะเผยแพร่หรือจำหน่ายโปรแกรมที่พัฒนาแล้วเสร็จ แอนดรอยด์ก็ยังมีตลาดในการเผยแพร่โปรแกรม ผ่าน Android*Market*แต่หากจะกล่าวถึงโครงสร้างภาษาที่ใช้ในการพัฒนานั้น สำหรับ Android*SDK*จะยึดโครงสร้างของภาษาจาวา (Java*Language) ในการเขียนโปรแกรม เพราะโปรแกรมที่พัฒนามาได้จะต้องทำงานอยู่ภายใต้ Dalvik*Virtual*Machine*เช่นเดียวกับโปรแกรมจาวาที่ต้องทำงานอยู่ภายใต้ *Java*Virtual*Machine*เปรียบได้กับสภาพแวดล้อมที่โปรแกรมทำงานอยู่นอกจากนั้นแล้ว แอนดรอยด์ยังมีโปรแกรม ที่เปิดเผยแพร่แวร์ต้นฉบับเป็นจำนวนมากทำให้นักพัฒนาที่สนใจสามารถนำซอร์ฟแวร์ต้นฉบับมาศึกษาได้อย่างไม่ยากประกอบกับความนิยมของแอนดรอยด์ได้เพิ่มขึ้นอย่างมากโดยดูได้จากส่วนแบ่งการตลาด

งานวิจัยนี้ใช้งานแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ในการเรียกคิวของผู้ใช้งาน

2.4 จอสัมผัส (Touch Screen)

จอสัมผัส (Touch Screen) (น้ำทิพย์,2547) เป็นรูปแบบหนึ่งของอุปกรณ์แสดงผลและนำเข้าข้อมูลที่ผสมรวมกันเพื่อลดขนาดพื้นที่การใช้งาน โดยโปรแกรมจะแสดงผลภาพกราฟฟิคบนจอภาพและผู้ใช้สามารถใช้นิ้วมือสัมผัสบนจอภาพเพื่อเลือกรายการต่างๆ ทั้งที่อยู่ในลักษณะของรูปภาพหรือข้อความ เพื่อสั่งงาน จอสัมผัสนิยมนำมาใช้ในลักษณะของงานที่ช่วยเหลือผู้ที่มีปัญหาการใช้อุปกรณ์นำเข้าแบบจับต้องได้ เช่น แป้นพิมพ์ เม้าส์ เป็นต้น



รูปที่ 2 ตัวอย่างจอ Touch Screen

หน้าจอสัมผัสเป็นอุปกรณ์อินพุตและเอาต์พุตโดยปกติจะอยู่ชั้นบนสุดของการแสดงภาพอิเล็กทรอนิกส์ของระบบประมวลผลข้อมูล ผู้ใช้สามารถป้อนข้อมูลหรือควบคุมระบบประมวลผลข้อมูลด้วยท่าทางหรือสัมผัสได้หลายรูปแบบ การสัมผัสด้วยปากกาสไตลัสพิเศษหรือมากกว่าหนึ่งนิ้ว ใช้ถุงมือธรรมดาหรือเคลือบพิเศษในการทำงาน ผู้ใช้สามารถใช้หน้าจอสัมผัสเพื่อตอบสนองต่อสิ่งที่แสดงและควบคุมการแสดงผลได้ ตัวอย่างเช่น การซูมเพื่อเพิ่มขนาดตัวอักษรบนหน้าจอสัมผัสช่วยให้ผู้ใช้สามารถโต้ตอบโดยตรงกับสิ่งที่แสดง เช่น คอนโซลเกมส์ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต เครื่องลงคะแนนเสียงแบบอิเล็กทรอนิกส์และสมาร์ทโฟน จอสัมผัสสามารถพบได้ในด้านการแพทย์และในอุตสาหกรรมหนักรวมถึงเครื่องเอทีเอ็ม (ATM) และตู้ต่างๆ เช่นการจัดแสดงของพิพิธภัณฑ์หรือห้องอัตโนมัติ เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้หน้าจอสัมผัสในการกดการจองลำดับคิวเพื่อสั่งการเข้าสู่ระบบ เพื่อให้ระบบได้ทำการบันทึกลำดับคิวและจัดการเรียงคิวให้ได้อย่างถูกต้องและสั่งการไปยังเครื่องพิมพ์เพื่อพิมพ์ใบลำดับการจองเรียกคิวให้

2.5 เครื่องพิมพ์บัตรคิว

เครื่องพิมพ์บัตรคิว (จำนอง,2558) เป็นอุปกรณ์เสริมและสิ่งจำเป็นในการใช้งาน ซึ่งเป็นเครื่องพิมพ์ที่ใช้ความร้อนในการพิมพ์บัตร รองรับกระดาษความร้อน กว้าง 80 มิลลิเมตร ยาว 80 มิลลิเมตร ใช้ความเร็วในการพิมพ์ 200 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งสามารถพิมพ์ประเภทการบริการหมายเลขคิว รูปภาพ วันที่ เดือน ปี โลโก้ร้าน ยี่ห้อหรือรูปภาพอื่นๆ ได้ โดยระบบการพิมพ์บัตรจะใช้ความร้อนไม่ต้องใช้ผ้าหมึกและมีระบบตัดกระดาษอัตโนมัติ สามารถเชื่อมต่อด้วยพอร์ต USB และ LAN รองรับ mPOS, Loyverse, POS2U, SATANG2, mobiPOS และ Ocha ผ่านระบบLAN และยังสามารถพิมพ์ได้ทุกภาษาผ่านไดร์เวอร์และรองรับภาษาไทยในตัวเครื่อง นอกจากนี้ยังรองรับระบบปฏิบัติการ Windows XP, 7, 8 และ 10 ช่วยให้บริการเป็นระบบมีขั้นตอนไม่เกิดการร่นววย ทำให้ลูกค้าได้รับบริการที่เสมอภาคกันตามลำดับก่อนหลัง ตัวเครื่องเป็นของแบรนด์ Xprinter รุ่น XP-Q200 ให้ความละเอียดสูงที่สุดในการพิมพ์สี 300dpi แต่มีสีโทนเดียวคือขาวดำ ประเภทฟังก์ชั่นของปริ้น

รูปที่ 5 ภาพกระบวนการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 5 ภาพกระบวนการทำงานของระบบได้นำเอาหลักการทำงานของอินเทอร์เน็ตทุกสรรพสิ่งมาใช้ในการทำงาน ซึ่งถูกออกแบบให้มีมินิคอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมการทำงานของระบบ โดยหลักการทำงานคือ ผู้ใช้บริการต้องมากดรับบัตรคิวที่เครื่อง เครื่องจะทำการพิมพ์บัตรคิวกระดาษออกมา ถ้ามีความต้องการรับการแจ้งเตือน ให้ผู้ใช้บริการสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดจากบัตรคิวผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน โดยต้องสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดตามนิโกลดแอปพลิเคชันก่อน ซึ่งระบบแจ้งเตือนจะเริ่มจากลำดับหลังของคิวที่ใช้บริการปัจจุบัน จำนวน 5 คิว และจะได้รับการแจ้งเตือนเมื่อการใช้บริการคิวปัจจุบันสิ้นสุดลงและเริ่มคิวถัดไป ซึ่งในแอปพลิเคชันจะแสดงหมายเลขคิวที่ได้ลำดับคิวที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน จำนวนคิวทั้งหมด โดยผู้ใช้สามารถใช้งานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนได้

3.2 ขั้นตอนการทำงานของตัวเครื่อง



รูปที่ 6 การทำงานส่วนอุปกรณ์ประมวลผล

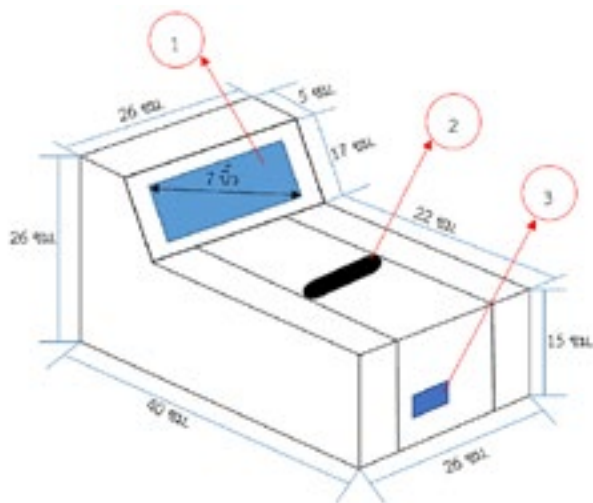
การทำงานส่วนอุปกรณ์ประมวลผลสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อผู้ใช้กดรับบัตรคิวที่หน้าจอทัชสกรีน จะส่งการทำงานไปที่อุปกรณ์ประมวลผลกลางเพื่อเก็บข้อมูลของลำดับคิวและสั่งการพิมพ์บัตรคิวกระดาษไปที่เครื่องพิมพ์บัตรคิว แล้วจะได้รับบัตรคิวที่แสดงข้อมูลหมายเลขคิวและ รหัสคิวอาร์โค้ดสำหรับดาวน์โหลดแอปพลิเคชันและรับการแจ้งเตือนเมื่อใกล้ถึงคิวของผู้ใช้งาน



รูปที่ 7 การทำงานส่วนแอปพลิเคชัน

ในส่วนของการทำงานแอปพลิเคชัน เมื่อได้รับบัตรคิวจากเครื่องจ่ายบัตรคิวแล้ว ถ้าต้องการรับการแจ้งเตือนให้นำสมาร์ตโฟนเข้าไปที่แอปพลิเคชันมาสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดในบัตรคิว แต่ต้องติดตั้งแอปพลิเคชันก่อน จากนั้นแอปพลิเคชันจะส่งการทำงานไปที่อุปกรณ์ประมวลผลกลางเพื่อเก็บข้อมูลและเมื่อใกล้ถึงลำดับคิวจะส่งการแจ้งเตือนมาที่แอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน

การออกแบบเครื่องจ่ายบัตรคิว ออกแบบลักษณะคล้ายกล่อง แสดงผลการกดรับบัตรคิวทางหน้าจอสัมผัส และจะได้รับบัตรคิวผ่านเครื่องพิมพ์ สามารถอธิบายหมายเลขได้ดังนี้ หมายเลข 1 จอสัมผัสขนาด 7 นิ้ว หมายเลข 2 ช่องจ่ายบัตรคิว และหมายเลข 3 ปุ่มเปิดและปิดเครื่องพิมพ์บัตรคิว ซึ่งขนาดของเครื่องมีความสูง 26 เซนติเมตร ความยาว 40 เซนติเมตร ความกว้าง 26 เซนติเมตร และขนาดในส่วนอื่นๆ ดังรูปที่ 8 โดยมีหน่วยเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 8 การออกแบบเครื่องจ่ายบัตรคิว

สำหรับขั้นตอนการเริ่มการทำงานของระบบนั้นเมื่อเปิดเครื่องเพื่อพร้อมเข้าสู่การใช้งาน ขั้นตอนแรกจะต้องทำการกดปุ่มตั้งค่าเข้าสู่ระบบเพื่อเริ่มต้นการทำงานของเครื่องตามกรอบสีแดง



รูปที่ 9 เข้าสู่ระบบเพื่อเริ่มต้นการทำงาน

เมื่อเข้าสู่ระบบแล้ว ให้กำหนดจำนวนคิวที่ต้องการโดยกดที่ช่องเลือกจำนวนคิวตามหมายเลข 1 และกดบันทึกตามหมายเลข 2 เมื่อกำหนดจำนวนคิวแล้ว สามารถกดรับบัตรคิวได้ตามสัญลักษณ์สีแดงเมื่อกดรับบัตรคิวแล้วให้รอรับบัตรคิวประมาณ 5 วินาที บัตรคิวจะถูกพิมพ์ออกทางช่องด้านล่างตามสัญลักษณ์สีแดง



รูปที่ 10 การพิมพ์บัตรคิว

หลังจากกดรับบัตรคิวแล้ว จำนวนคิวที่ถูกกดจะแสดงผลทางหน้าจอ เมื่อมีการกดปุ่มเรียกลำดับคิวถัดไป ช่องแสดงลำดับปัจจุบันจะเปลี่ยนการแสดงผลจนกว่าคิวที่ถูกจองจะสิ้นสุด



รูปที่ 11 หน้าจอแสดงผลการเรียกลำดับคิว

ส่วนการทำงานของหน้าแอปพลิเคชันจะมีการแสดงอยู่ 3 ส่วนดังนี้ เมื่อสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดโหลดแอปพลิเคชันแล้ว เริ่มต้นการใช้งานโดยเปิดเข้าไปที่แอปพลิเคชันจะพบส่วนหน้าหลักของแอปพลิเคชัน จะแสดงหมายเลขคิวที่กำลังใช้งานและจำนวนคิวทั้งหมด กดปุ่มสแกนเพื่อรับการแจ้งเตือนและออกเพื่อปิดแอปพลิเคชัน



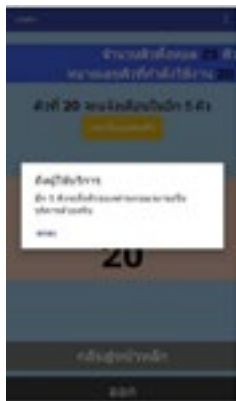
รูปที่ 12 หน้าหลักของแอปพลิเคชัน

เมื่อสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดแล้ว จะแสดงหน้าขึ้น ซึ่งประกอบด้วยจำนวนคิวทั้งหมด หมายเลขคิวที่กำลังใช้งาน ลำดับคิวที่ได้รับการแจ้งเตือนและข้อความอีก 5 คิว จะถึงคิวของคุณ ลำดับทุกช่องจะขึ้นก็ต่อเมื่อกดปุ่มเพื่อแสดงคิว และหมายเลขคิวของคุณหลังจากสแกน สามารถกลับสู่หน้าหลักและออกจากแอปพลิเคชันได้ แต่การแจ้งเตือนจะถูกยกเลิกเช่นกัน



รูปที่ 13 หน้าแอปพลิเคชันแสดงบัตรคิว

เมื่อถึงลำดับคิวก่อนหน้าคิวของคุณจำนวน 5 คิว กำลังใช้งาน และหมายเลขคิวของคุณจะได้รับการแจ้งเตือนแสดงผลเป็นกล่องข้อความ



รูปที่ 14 การแจ้งเตือนของแอปพลิเคชัน

4. ผลการวิจัย

4.1 ความถูกต้องของเครื่องจ่ายบัตรคิว

การออกแบบขั้นตอนการทดสอบความถูกต้องของระบบ เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบการทำงานในส่วนของระบบเครื่องจ่ายบัตรคิวและโปรแกรมที่ใช้ในการทำงานเกี่ยวกับการพิมพ์บัตรคิว การเก็บลำดับ คิวเพื่อใช้ในการแสดงผลผ่านทางหน้าจอ ในการเรียกลำดับคิว ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง ประกอบด้วย การทดลองพิมพ์บัตรคิว การทดลองตรวจสอบรหัสคิวอาร์โค้ดและการทดลองรับลำดับคิว

การคำนวณค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพความถูกต้องจากสมการ

$$\text{ประสิทธิภาพความถูกต้อง} = \frac{|\text{ค่าทดลองที่ผิดพลาด} - \text{ค่าทดลองจริง}|}{\text{ค่าทดลองจริง}}$$

โดยที่

ค่าทดลองที่ผิดพลาด คือ ค่าที่เปรียบเทียบไม่ตรงกันจากการทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง

ค่าทดลองจริง คือ การทดลองทั้งหมด 10 ครั้ง

1) การทดลองพิมพ์บัตรคิว เป็นการทดสอบของระบบว่าสามารถสั่งพิมพ์บัตรคิวจากเครื่องจ่ายบัตรคิวได้ตามลำดับหรือไม่ โดยจะทำการทดลองพิมพ์บัตรคิวจำนวน 10 ครั้ง ผลการทดลองพิมพ์บัตรคิวจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องเท่ากับ 100% เนื่องจากสามารถพิมพ์บัตรคิวและแสดงจำนวนคิวที่รอได้ตรงกับข้อมูลในไฟร์เบส ซึ่งการพิมพ์ในแต่ละครั้งถ้ายังไม่ได้รับบัตรคิว ปุ่มกดรับบัตรคิวจะไม่สามารถสั่งการทำงานได้ เพื่อป้องกันการพิมพ์ซ้ำเกินความต้องการ

2) การทดลองตรวจสอบรหัสคิวอาร์โค้ดเป็นการทดลองตรวจสอบรหัสคิวอาร์โค้ดจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องเท่ากับ 100% ซึ่งมีรหัสคิวอาร์โค้ดอยู่ 2 ส่วน คือ รหัสคิวอาร์โค้ดสำหรับรับการแจ้งเตือนและรหัสคิวอาร์โค้ดสำหรับโหลดแอปพลิเคชัน จากผลการทดลองพบว่าสมาร์ตโฟนสามารถสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดได้ แม้ว่ารหัสคิวอาร์โค้ดมีรอยตำหนิ เช่น การพิมพ์ไม่คมชัดหรือรอยยับของกระดาษ

3) การทดลองรับลำดับคิวจำนวน 10 ครั้ง มีค่าเฉลี่ยความถูกต้องเท่ากับ 50% จากผลการทดลองพบว่าระบบสามารถรับลำดับคิวได้เมื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต โดยแสดงผลทางจอภาพและพบข้อผิดพลาดในขณะที่ไม่มีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตคือระบบไม่สามารถทำงานแบบออฟไลน์ได้

4.2 การทดสอบความถูกต้องของแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์พกพา

1) หน้าหลักของแอปพลิเคชันจะแสดงหมายเลขคิวที่กำลังใช้บริการและจำนวนคิวทั้งหมด ซึ่งแสดงผลลัพท์เป็นตัวเลข โดยทดลองการแสดงจำนวนว่าถูกต้องตามลำดับคิวหรือไม่จำนวน 10 ครั้ง โดยครั้งที่ 1 ถึง 5 เป็นการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและครั้งที่ 6 ถึง 10 ไม่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผลการทดสอบการแสดงผลหมายเลขคิวทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง ค่าเฉลี่ยความถูกต้องเท่ากับ 50% โดยระบบสามารถตรวจสอบหมายเลขที่กำลังใช้งานและจำนวนคิวทั้งหมดได้อย่างถูกต้องเมื่อมีการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและการแสดงผลหมายเลขทำงานแบบ Real Time จากการดึงค่าข้อมูลผ่านไฟร์เบส แต่เมื่อไม่มีการเชื่อมต่อของอินเทอร์เน็ตจะอัปเดตข้อมูลไม่ได้

2) เมื่อนำแอปพลิเคชันสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดจะมีการแจ้งเตือนเมื่อใกล้ถึงคิวของผู้ใช้บริการ จึงจะทดสอบการแจ้งเตือนเมื่อใกล้ถึงคิวที่ใช้บริการ แล้วสังเกตการแจ้งเตือนของแอปพลิเคชันการทดสอบการแจ้งเตือนเมื่อถึงคิวจำนวน 10 ครั้ง ค่าเฉลี่ยความถูกต้องเท่ากับ 100% เพราะระบบสามารถแจ้งเตือนคิวหลังผู้ใช้บริการปัจจุบันจำนวน 5 คิวได้อย่างถูกต้อง โดยสังเกตการทดลองหลังจากการกดปุ่มเรียกคิว ซึ่งแสดงผลเป็นกล่องข้อความถึงผู้ใช้บริการ

การออกแบบการทดสอบและแนวคิด

การออกแบบการทดสอบเครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน เป็นการทดสอบการพิมพ์บัตรคิวและการแจ้งเตือนของแอปพลิเคชัน โดยสุ่มนักศึกษาคณะวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก จำนวน 15 คน ซึ่งจะทดสอบการรับบัตรคิว 15 ใบ และการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชัน มีการแจ้งเตือนล่วงหน้า 5 คิว จำนวน 10 คน โดยเก็บผลเป็นเวลาในการทดลองทุกครั้งเพื่อเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพในการทำงานของระบบ ซึ่งมีรายละเอียดของการทดสอบ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบการพิมพ์บัตรคิวและการแจ้งเตือนของแอปพลิเคชัน

ลำดับ	การรับบัตรคิว	เวลา (วินาที)	การแจ้งเตือน	เวลา (วินาที)
1	✓	5	-	-
2	✓	5	-	-
3	✓	5	-	-
4	✓	5	-	-
5	✓	5	-	-
6	✓	5	✓	10
7	✓	5	✓	9
8	✓	5	✓	7
9	✓	5	✓	8
10	✓	5	✓	9
11	✓	5	✓	9
12	✓	5	✓	10
13	✓	5	✓	9
14	✓	5	✓	10
15	✓	5	✓	9
เฉลี่ยรวม	100%	5	100%	9

จากตารางที่ 1 การทดสอบการพิมพ์บัตรคิวและการแจ้งเตือนของแอปพลิเคชัน ค่าเฉลี่ยความถูกต้องเท่ากับ 100% จากการทดสอบการพิมพ์บัตรคิว ผลการทดสอบของเครื่องจ่ายบัตรคิวสามารถพิมพ์บัตรคิวได้ถูกต้องแม่นยำ หมายเลขคิวและ

จำนวนคิวที่ตรงกับฐานข้อมูลในโฟร์เบส ซึ่งเวลาในการพิมพ์บัตรคิวแต่ละครั้งเฉลี่ยโดยประมาณ 5 วินาที ต่อการพิมพ์ 1 ครั้ง ในส่วนของการแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ซึ่งจะมีการแจ้งเตือนเมื่อลำดับคิวก่อนหน้าจำนวน 5 คิว กำลังใช้บริการ และระบบจะส่งการแจ้งเตือนที่ใช้เวลาคลาดเคลื่อนกันโดยเฉลี่ยประมาณ 9 วินาที จับเวลาหลังจากกดปุ่มเรียกคิวถัดไปสามารถสรุปได้ว่าการพิมพ์บัตรคิวและการแจ้งเตือนทำงานได้อย่างถูกต้อง และจากการใช้งานจริง พบข้อผิดพลาดจากระบบบางประการ เช่น การพิมพ์ของลำดับบัตรคิวที่ไม่สามารถวนซ้ำได้ การเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตและการกดปุ่มรับบัตรซ้ำกันหลายครั้งจนระบบสั่งการพิมพ์เกินความต้องการ ปัญหาเหล่านี้ได้นำไปสู่การแก้ไขเพื่อพัฒนาระบบแล้ว

4.3 การประเมินความพึงพอใจ

1) แบบสอบถามความพึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนผลการประเมินมาจากการประเมินความพึงพอใจของนักศึกษาคณะวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก จำนวน 15 คน ที่มีต่อการใช้เครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนโดยมีความพึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนคิดเป็น*87.4*เปอร์เซ็นต์

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการทดลองทั้งหมดทำให้ทราบว่าการทำงานของเครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน มีการทำงานแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือในส่วนแรกเป็นการทำงานของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วยจอสัมผัส เครื่องพิมพ์บัตรคิว Arduino UNO และมินิคอมพิวเตอร์ ซึ่งผลการทดลองในการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวสามารถแสดงผลการทำงานได้ดี การกดรับบัตรคิวจากเครื่องจ่ายบัตรคิวและการกดปุ่มเรียกคิวสามารถทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เวลาในการพิมพ์บัตรคิวแต่ละครั้งเฉลี่ยโดยประมาณ 5 วินาที เป็นส่วนใหญ่ ส่วนที่สองเป็นส่วนของซอฟต์แวร์ ซึ่งมีการทำงานโดยการแสดงผลเป็นลำดับจำนวนต่างๆ ดังนี้ หมายเลขที่กำลังใช้งานปัจจุบัน จำนวนคิวทั้งหมดและหมายเลขลำดับคิวผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน ซึ่งผลการทดลองพบว่าสามารถตรวจสอบจำนวนต่างๆ ได้อย่าง

ถูกต้อง การดาวน์โหลดแอปพลิเคชันและการแจ้งเตือนจากการสแกน รหัสคิวอาร์โค้ดบนบัตรคิว ผลการทำงานพบว่าสามารถดาวน์โหลดแอปพลิเคชันจากการสแกนรหัสคิวอาร์โค้ดได้ และระบบสามารถส่งการแจ้งเตือนโดยใช้เวลาเร็วที่สุด 7 วินาที และนานที่สุด 10 วินาที จึงเฉลี่ยประมาณ 9 วินาที ต่อการแจ้งเตือนซึ่งจับเวลาหลังจากกดปุ่มเรียกคิวถัดไป และผลสรุปความพึงพอใจต่อการใช้งานเครื่องจ่ายบัตรคิวแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน จากนักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จำนวน 15 คน คิดเป็นร้อยละ 87.4 ซึ่งมีความพึงพอใจต่อการใช้งานมากที่สุด ดังนั้นจึงตรงไปตามวัตถุประสงค์ในการออกแบบการทำงานที่ได้กำหนดไว้

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์และการอินเตอร์เฟส หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ล้านนา ตาก

7. เอกสารอ้างอิง

- จิราวุธ วารินทร์. (2561). Arduino UNO พื้นฐานสำหรับงาน IOT. กรุงเทพฯ: ชิมพลีฟาย. หน้า135-137.
- จิรวัดน์ แทนทอง และคณะ. (2562). การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับเครื่องให้อาหารสัตว์เลี้ยงด้วยการประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง. Journal of Information Science and Technology (JIST). 9(1). 28-40.
- นรินทร์ แซ่เท้าและอนุพงศ์ รักถึง.2553.ระบบบัตรคิวอัตโนมัติ. ปริญญาานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์.มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนตาก.
- คัทลียา วสุธาดา.2560.รายงานการวิจัยการพัฒนารูปแบบการดำเนินงานเพื่อลดระยะเวลารอคอยการรับบริการในผู้ป่วยโรคเรื้อรัง ศูนย์สุขภาพชุมชนเมืองท่าช้าง จังหวัดจันทบุรี :

- ผศ.ดร.สมจิตร อาจอินทร์และผศ.งามนิจ อาจอินทร์.ระบบฐานข้อมูล.พิมพ์ครั้งที่ 10.ขอนแก่น : สำนักพิมพ์ ศูนย์หนังสือมหาลัยขอนแก่น:2547.
- วิไลลักษณ์ วงศ์เจริญและคณะ.2557.โครงการพัฒนาระบบการนัดผู้ป่วยเป็นช่วงเวลา OPD 10 <http://www.med.cmu.ac.th/hospital/nis/downloads/?p=3061>.
- คุณากร ธนทีและคณะ.2560.คู่มือการใช้งานของ Thinkable (ออนไลน์).สืบค้นวันที่ 29 มกราคม 2562. แหล่งที่มา:<https://www.slideshare.net/TomKhunakorn/thinkable>.
- จันนุสรณ์ ดีแก่.2561. QR Code (คิวอาร์ โค้ด) คืออะไรและมีประโยชน์อย่างไร (ออนไลน์).สืบค้นวันที่ 29 มกราคม 2562. แหล่งที่มา : <https://www.mindphp.com/239-it-technology/1836-what-is-qr-code.html>.
- จ่านอง นนทจุ๋.2558.อุปกรณ์ระบบคิว โปรแกรมบัตรคิว (ออนไลน์).สืบค้นวันที่ 27 มกราคม 2562.แหล่งที่มา : <http://easyqueue.blogspot.com/2015/11/blog-post.html>.
- เจนิสา ริเวลา.2558. IoT วิวัฒนาการที่มาถึง (ออนไลน์).สืบค้นวันที่ 27 มกราคม 2562.แหล่งที่มา : <http://ioteng.sau.ac.th/e-learning/articles/iotwivathnakarthimathung>.
- ชไมพร โสตาและคณะ.2556.ความหมายของ แอนดรอยด์สมาร์ตโฟน และอุปกรณ์แบบสวมได้(ออนไลน์).สืบค้นวันที่ 25 มกราคม .แหล่งที่มา : <https://sites.google.com/site/librarians53gglass/home/khwam-hmay-khxng-xaen-dr-xyd-smarth-fon-laea-xupkrn-baeb-swm-di>. 2562
- โอฬาร ต่างภักดีวิจิตรและคณะ.2558.โครงการเครื่องแจ้งเตือนเครื่องซักผ้าอัตโนมัติ (ออนไลน์).สืบค้นวันที่ 29 มกราคม2562.แหล่งที่มา: <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/7148/2/Fulltext.pdf>

การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล The Construction and Efficiency Finding of Teaching Set on the Subject of Data Communication

อัญชลี พานิชเจริญ*, ณัฐวุฒิ พานิชเจริญ

Anchalee Panitjaroen*, Natthawut Panitjaroen

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 41/1 หมู่ 7 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก 63000
Rajamangala University of Technology Lanna Tak 41/1 Moo 7 Tambon Maingam Ammphone Mueang Tak Tak 63000

*anchalee_tak@rmutl.ac.th, 09 9592 6692

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล สำหรับนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) เครื่องมือ ประกอบด้วย ชุดการสอน แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน และแบบสอบถามความพึงพอใจที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอน กลุ่มตัวอย่าง เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จำนวน 17 คน การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองแบบกลุ่มเดียวทดสอบก่อนสอนและหลังสอน ผลการวิจัยพบว่าประสิทธิภาพของชุดการสอนเรื่องการสื่อสารข้อมูลมีประสิทธิภาพ 81.60/81.29 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ที่ 80/80 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษา ที่เรียนด้วยชุดการสอนก่อนและหลังเรียนพบว่า มีค่าเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.01 ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูลในภาพรวมอยู่ในระดับมาก (\bar{X} = 4.37, SD=0.15)

คำสำคัญ: ชุดการสอน, ประสิทธิภาพชุดการสอน, ความพึงพอใจต่อชุดการสอน

Abstract

The purpose of this study was to the Construction and Efficiency Finding of Teaching set on the subject of Data Communication for high vocational certificate student. In order to study effectiveness of the developed tools, achievement test and questionnaire were used. Participants were 17 students. The results indicated that the materials' efficiency value was 81.60/81.29 which was greater than the given criteria of 80/80. Moreover, post test score of the students was significantly higher than their pretest score ($p < .01$). Finally, the survey revealed a mean of 4.27 and a standard deviation of 0.17 which could be implied that students felt highly satisfied with the Teaching set.

Keywords: Teaching set, Efficiency of Teaching set, Satisfaction with the teaching set

1. บทนำ

ความสำคัญของการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เป็นสิ่งที่ตระหนักกันอย่างมากในปัจจุบัน ด้วยเหตุว่าการสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีประโยชน์หลายประการด้วยกัน

(1) จัดเก็บข้อมูลได้ง่ายและสื่อสารได้รวดเร็ว การจัดเก็บข้อมูลซึ่งอยู่ในรูปของสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์สามารถจัดเก็บไว้ในแผ่นบันทึกที่มีความหนาแน่นสูงได้ แผ่นบันทึกแผ่นหนึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้มากกว่า 1 ล้านตัวอักษรสำหรับการสื่อสารข้อมูลนั้น ถ้าข้อมูลผ่านสายโทรศัพท์ได้ด้วยอัตรา 120 ตัวอักษรต่อวินาทีแล้ว จะสามารถส่งข้อมูล 200 หน้า ได้ในเวลา 40 นาทีโดยไม่ต้องเสียเวลานานั่งปอนข้อมูลเหล่านั้นซ้ำใหม่อีก

(2) ความถูกต้องของข้อมูล โดยปกติมีการส่งข้อมูลด้วยสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์ จากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นด้วยระบบดิจิทัลวิธีการรับส่งนั้นจะมีการตรวจสอบสภาพของข้อมูลหากข้อมูลผิดพลาดก็จะมีการรับรู้และพยายามหาวิธีการแก้ไขให้ข้อมูลที่ได้รับ มีความถูกต้อง โดยอาจให้ทำการส่งใหม่หรือกรณีผิดพลาดไม่มากฝ่ายผู้รับอาจใช้โปรแกรมของตนเองแก้ไขข้อมูลให้ถูกต้องได้

(3) ความเร็วของการทำงาน สัญญาณทางไฟฟ้าจะเดินทางด้วยความเร็วเท่าแสงทำให้การใช้คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลจากซีกโลกหนึ่งไปยังอีกซีกโลกหนึ่งหรือค้น หาข้อมูลจากฐานข้อมูลขนาดใหญ่ สามารถทำได้อย่างรวดเร็ว ความเร็วของระบบจะทำให้ผู้ใช้สะดวกสบายอย่างยิ่ง เช่น บริษัทสายการบินทุกแห่งสามารถทราบข้อมูลของทุกเที่ยวบินได้อย่างรวดเร็ว ทำให้การจอง ที่นั่งของสายการบินสามารถทำได้ทันที

(4) การแลกเปลี่ยนข้อมูลทำได้ง่าย โดยผู้ใช้ในเครือข่ายสามารถที่จะดึงข้อมูลจากส่วนกลางหรือข้อมูลจากผู้ใช้คนอื่นมาใช้ได้อย่างรวดเร็ว เหมือนกับการดึงข้อมูลมาใช้จากเครื่องของตนเอง และนอกจากดึงไฟล์ข้อมูลมาใช้แล้วยังสามารถคัดลอกไฟล์ไปให้ผู้อื่นได้อีกด้วย

(5) ใช้ทรัพยากรร่วมกันได้ อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายนั้น ถือว่าเป็นทรัพยากรส่วนกลางที่ผู้ใช้ในเครือข่ายทุกคน สามารถใช้ได้ โดยการส่งงานจากเครื่องคอมพิวเตอร์ของ ตัวเองผ่านเครือข่ายไปยังอุปกรณ์นั้น เช่น มีเครื่องพิมพ์ส่วนกลางในเครือข่าย เป็นต้น ซึ่งทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้ด้วย

(6) ใช้โปรแกรมร่วมกัน ผู้ใช้ในเครือข่ายสามารถที่จะรันโปรแกรมจาก เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง เช่น โปรแกรม Word Excel PowerPoint ได้ โดยไม่จำเป็นต้องจัดซื้อโปรแกรม สำหรับคอมพิวเตอร์ทุกเครื่อง เป็นการประหยัดงบประมาณในการจัดซื้อและยังประหยัดเนื้อที่ในหน่วยความจำด้วย

(7) ความเชื่อถือได้ของระบบงาน นับเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการดำเนินธุรกิจ ถ้าทำงานได้เร็วแต่ขาดความน่าเชื่อถือก็ถือว่าใช้ไม่ได้ ไม่มีประสิทธิภาพ ดังนั้นเมื่อนำระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ มาใช้งาน ทำระบบงานมีประสิทธิภาพ มีความน่าเชื่อถือของข้อมูล เพราะจะมีการทำสำรองข้อมูลไว้เมื่อเครื่องที่ใช้ทำงานเกิดมีปัญหา ก็สามารถนำข้อมูลที่มีการสำรองมาใช้ได้ อย่างทันที

(8) การแชร์อินเทอร์เน็ต ภายในระบบเครือข่าย คุณสามารถแชร์อินเทอร์เน็ตเพื่อใช้ร่วมกันได้ โดยที่คุณไม่จำเป็นต้องซื้อ Internet Account สำหรับทุก ๆ ซึ่งก็จะช่วยให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มาก

(9) สามารถใช้โปรแกรมร่วมกันหลายๆ เครื่องได้ เช่น ในสำนักงาน คอมพิวเตอร์ที่มีจำนวน คอมพิวเตอร์ที่มีจำนวนเครื่องในระบบจำนวน 30 เครื่องสามารถซื้อโปรแกรมเพียงแค่ 1 ชุดและสามารถงานร่วมกันได้ ซึ่งจะทำให้สะดวกในการดูแลรักษาด้วย

เครือข่ายสังคมออนไลน์ เป็นวัฒนธรรมการสื่อสารรูปแบบใหม่ที่มีอัตราการใช้งานที่เติบโต อย่างรวดเร็ว เนื่องจากสามารถเข้าถึงได้ทุกที่ทุกเวลา เครือข่ายสังคมออนไลน์ได้ถูกนำมาใช้เพื่อการประกอบกิจกรรม และธุรกรรมต่าง ๆ มากมาย เกิดการลงทุนในสื่อออนไลน์ มีการแข่งขันด้านการโฆษณาการตลาด และอื่น ๆ จากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศ และการก้าวเข้าสู่ ศตวรรษที่ 21 เป็นในการเตรียมความพร้อมของนักศึกษาเพื่อให้พร้อมเข้าสู่ศตวรรษที่ 21 ซึ่งมีทักษะ ที่ต้องเสริม คือ ทักษะการเรียนรู้ในศตวรรษที่ 21 ซึ่งมีความรู้และการประกอบอาชีพ และทักษะด้าน ข้อมูลข่าวสาร การสื่อสารและเทคโนโลยี การเรียนรู้ในสาระวิชาควรเป็นการเรียนรู้จากการค้นคว้า แสวงหาความรู้ ฝึกการคิดวิเคราะห์ด้วยตัวเองโดยครูแนะนำและออกแบบกิจกรรมให้ผู้เรียน ได้ประเมินความรู้ด้วยตัวเอง การพัฒนาสื่อการเรียนการสอน และกิจกรรมการสอนที่ส่งเสริมการคิด และการปฏิบัติเพื่อให้ได้องค์ความรู้มีความจำเป็น ปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับความต้องการของนักศึกษา สื่อที่หลากหลายในเครือข่ายทำให้ความสนใจของผู้เรียนมีการกระจายผู้เรียนเข้าถึงสื่อ ตามความสนใจแบบไม่จำกัด ซึ่งรายวิชาการสื่อสารข้อมูลเป็นรายวิชาที่มีความสำคัญและจะทำให้มีงานทำได้ในยุคปัจจุบันเป็นเทคโนโลยีที่จำเป็นต้องใช้ รายวิชานี้ประกอบด้วยทฤษฎีและปฏิบัติ ส่วนที่มีกิจกรรมในภาคปฏิบัติ ชุดการสอนมีเนื้อหาที่ให้ความรู้ที่ละเอียดขึ้นตอน และให้นักศึกษาได้มีส่วนร่วมในการลงมือ ปฏิบัติทำกิจกรรม และแบบทดสอบ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการจัดทำชุดการสอน ที่มีกระบวนการจัดการเรียนรู้ รายวิชาการสื่อสารข้อมูล ที่มีกรอบแบบ ให้ครบทุกส่วน ทั้งวัตถุประสงค์ ค่าชี้แจงการเรียน เนื้อหา กิจกรรมกลุ่มทั้งรายวิชา เพื่อใช้เป็นสื่อการสอน ในการพัฒนาการเรียนรู้ของผู้เรียนให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของหลักสูตร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล รหัสวิชา 04-223-207
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอน
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล

สมมติฐานการวิจัย

1. ชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด ($E_1/E_2 = 80/80$)
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนด้วย ชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล
3. ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนด้วย ชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูลในระดับมาก

นิยามศัพท์

ชุดการสอน หมายถึง ชุดของสื่อผสมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นชุดประกอบการสอนของครู ที่มีกิจกรรมวิธีการสอนที่หลากหลาย ชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูลและเครือข่ายแบ่งเป็น 6 หน่วยเรียน ซึ่งประกอบไปด้วยแผนการจัดการเรียนรู้ แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน เอกสารประกอบการสอน คู่มือการใช้งานชุดการสอน

ประสิทธิภาพของชุดการสอน หมายถึง ผลการใช้ชุดการสอนแล้วประสบความสำเร็จ ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

การหาประสิทธิภาพของชุดการสอน หมายถึง การนำชุดการสอนที่ได้ออกแบบไว้ นำไปทดลองใช้ตามขั้นตอนที่กำหนดเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองใช้มาปรับปรุงแก้ไข และ นำไปใช้กับกลุ่มทดลองโดยกำหนดเกณฑ์ให้เป็นตัวเลขเป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ยมีค่าเป็น E_1/E_2

E_1 คือ ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ ที่นักศึกษาได้รับโดยเฉลี่ย จากกิจกรรมระหว่างเรียน ในการทำกิจกรรม ใบงาน ซึ่งกำหนดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

E_2 คือ ค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์คะแนนผลสัมฤทธิ์ หลังเรียนของชุดการสอนในแต่ละชุด กำหนดค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

นักศึกษา หมายถึง นักศึกษา ระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ที่เรียนในรายวิชาการสื่อสารข้อมูล

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ระดับคะแนนของการทำแบบทดสอบของนักเรียนที่เรียน ด้วยชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน

ความพึงพอใจ หมายถึง ระดับของค่าคะแนนที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล โดยมีการให้คะแนนเป็น 5 ระดับ

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ภาคเรียนที่ 2/2563 ที่เรียนในรายวิชาการสื่อสารข้อมูล สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
2. กลุ่มตัวอย่าง ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ภาคเรียนที่ 2/2563 ที่เรียนในรายวิชาการสื่อสารข้อมูล สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จำนวน 17 คน ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

เครื่องมือในการวิจัย

1. ชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล
2. แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน
3. แบบสอบถามความพึงพอใจ

ขอบเขตด้านตัวแปรที่ใช้ในการวิจัย

1. ตัวแปรต้น (Independent Variables) ได้แก่ ชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.)
2. ตัวแปรตาม (Dependent Variables) ได้แก่ ประสิทธิภาพของชุดการสอน ผลสัมฤทธิ์ ทางการเรียน และระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดการสอน วิชาการสื่อสารข้อมูล ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ขอบเขตด้านระยะเวลา ภาคเรียนที่ 2/2563

2. แนวคิดและทฤษฎี

การสร้างชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล รหัสวิชา 04-223-207 ระดับชั้น ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมา คือ ทฤษฎีเกี่ยวกับชุดการสอน ทฤษฎีเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทฤษฎีเกี่ยวกับความพึงพอใจกำหนดสร้างและเป็นกรอบแนวคิดการวิจัย

สำหรับขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนเมื่อผลิตชุดการสอนขึ้นเป็นต้นแบบแล้ว ต้องนำชุดการสอนไปหาประสิทธิภาพตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. การทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยว (1:1) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียน 3 คน โดยใช้เด็กอ่อน ปานกลาง และเด็กเก่ง ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรม สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าผอง หรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ ประเมินการเรียน

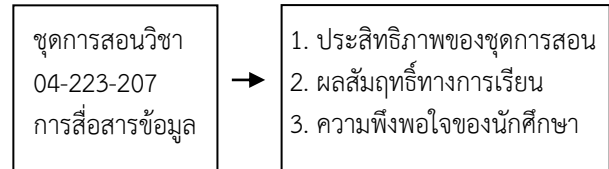
จากกระบวนการ คือ กิจกรรมหรือภารกิจและงานที่มอบให้ทำ และทดสอบหลังเรียนนำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพ หากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหาสาระ กิจกรรมระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น โดยปกติคะแนนที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพแบบนี้จะได้คะแนนต่ำกว่าเกณฑ์มาก แต่ไม่ต้องวิตก เมื่อปรับปรุงแล้วจะสูงขึ้นมาก ก่อนนำไปทดสอบประสิทธิภาพแบบกลุ่ม ทั้งนี้ E1/E2 ที่ได้จะมีค่าประมาณ 60/60

2. การทดสอบประสิทธิภาพแบบกลุ่ม (1:10) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียน 6-10 คน (แต่ละผู้เรียนที่เก่ง ปานกลางกับอ่อน) ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรม สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าฉงน หรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ หลังจากทดสอบประสิทธิภาพให้ประเมินการเรียนรู้จากกระบวนการ คือ กิจกรรมหรือภารกิจและงานที่มอบให้ทำและประเมินผลลัพธ์ คือ การทดสอบหลังเรียนและงานสุดท้ายที่มอบให้นักเรียนทำ ส่งก่อนสอบประจำหน่วยให้นำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพ หากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหาสาระ กิจกรรมระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น คำนวณหาประสิทธิภาพแล้วปรับปรุง ในคราวนี้คะแนนของผู้เรียนจะเพิ่มขึ้นอีกเกือบเท่าเกณฑ์ โดยเฉลี่ยจะห่างจากเกณฑ์ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ E1/E2 ที่ได้จะมีค่าประมาณ 70/70

3. การทดสอบประสิทธิภาพภาคสนาม (1:100) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียนทั้งชั้น ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรมสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าฉงน หรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ หลังจากทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามแล้วให้ประเมินการเรียนรู้จากกระบวนการ คือ กิจกรรมหรือภารกิจและงานที่มอบให้ทำและทดสอบหลังเรียน นำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพ หากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหาสาระ กิจกรรมระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามซ้ำกับนักศึกษาต่างกลุ่ม อาจทดสอบประสิทธิภาพ 2-3 ครั้ง จนได้ค่าประสิทธิภาพถึงเกณฑ์ขั้นต่ำ ปกติไม่น่าจะทดสอบประสิทธิภาพเกินสามครั้ง ด้วยเหตุนี้ขั้นทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามจึงแทนด้วย 1:100 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามควรใกล้เคียงกัน เกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากต่ำกว่าเกณฑ์ไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ ก็ให้ยอมรับว่า สื่อหรือชุดการสอนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากค่าที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์มากกว่า -2.5 ให้ปรับปรุงและทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามซ้ำจนกว่าจะถึงเกณฑ์ จะหยุดปรับปรุงแล้วสรุปว่าชุดการสอนไม่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้หรือจะลดเกณฑ์ลงเพราะ ถอดใจหรือยอมแพ้ไม่ได้ หากสูงกว่าเกณฑ์ไม่

เกิน +2.5 ก็ยอมรับว่า สื่อหรือชุดการสอนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากค่าที่ได้สูงกว่าเกณฑ์เกิน +2.5 ให้ปรับเกณฑ์ขึ้นไปอีกหนึ่งขั้น เช่น ตั้งไว้ 80/80 ก็ให้ปรับขึ้นเป็น 85/85 หรือ 90/90ตามค่าประสิทธิภาพที่ทดสอบประสิทธิภาพได้

กรอบแนวคิดการวิจัย



3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการศึกษาในการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชางานรายวิชา 04-223-207 การสื่อสารข้อมูล ผู้ศึกษาได้ดำเนินการออกเป็น

1. ศึกษาโครงสร้างหลักสูตร
2. วิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา
3. รวบรวมเนื้อหา แบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนเรียงลำดับความ ยากง่าย จัดสร้างกิจกรรม และแบบฝึกหัดตามเนื้อหา
4. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดการสอน กิจกรรมการจัด การเรียนรู้ และส่วนประกอบของชุดการสอน
5. การทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยว (1:1) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียน 3 คน โดยใช้เด็กอ่อน ปานกลาง และเด็กเก่ง
6. ทดลองกับกลุ่มเล็ก ประกอบด้วยนักศึกษาที่มีผลการเรียน ทุกรายวิชาเฉลี่ยอยู่ในกลุ่ม เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 3 คน รวม 9 คน
7. นำชุดการสอนที่สร้างไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง
8. หาประสิทธิภาพชุดการสอน
9. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา
10. สร้างแบบสอบถาม ความพึงพอใจต่อการเรียนรู้ด้วยชุดการสอน นำร่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่สร้างไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน พิจารณาความสอดคล้อง เพื่อหาดัชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ที่วัด (IOC) จากนั้นจึงนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง
11. สรุปและรายงานผลการศึกษา

4. ผลการวิจัย

1. ผลการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดการสอน วิชาการสื่อสารข้อมูล ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล

คะแนน	n	คะแนนรวม	ร้อยละ
คะแนนวัดหลังจากการศึกษา (E1)	17	$\sum X=2,081$	81.60
คะแนนสอบ (E2)	17	$\sum f=1,382$	81.29

ประสิทธิภาพของของชุดการสอน วิชาการสื่อสารข้อมูล จากตารางที่ 1 พบว่าคะแนนระหว่างเรียนเป็น 2,081 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 81.60 และคะแนนทดสอบหลังเรียนรวม 1,382 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 81.29 เป็นประสิทธิภาพของชุดการสอนที่ 81.60 /81.29 ซึ่งมีประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ที่ 80/80

2. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคะแนนเรียนก่อนและหลังเรียน

คะแนน	n	คะแนนรวม	\bar{X}	SD
ก่อนเรียน	17	482	28.35	5.66
หลังเรียน	17	2,081	122.41	12.78

ค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าคะแนนทดสอบก่อนเรียนมีคะแนนรวม 482 คะแนน คิดค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 28.35(SD=5.66)$ และคะแนนการทดสอบหลังเรียนมีคะแนนรวม 2,081 คะแนน สูงกว่าก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ยหลังเรียน $\bar{X}=122.41(SD=12.78)$

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล

คะแนน	n	\bar{X}	t	df	p-value
ก่อนเรียน	17	28.35	-36.194**	16	0.000
หลังเรียน	17	122.41			

** มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

พบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน วิชาการสื่อสารข้อมูล ก่อนเรียนต่ำกว่าหลังเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3. ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอนวิชา การสื่อสารข้อมูล

ตารางที่ 3 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอน วิชาการสื่อสารข้อมูล

ลำดับ	รายการประเมิน	\bar{X}	SD
1	ด้านเนื้อหา	4.48	0.15
2	ด้านความสะดวกในการศึกษา	4.41	0.18
3	ด้านการทดลองในภาคปฏิบัติ	4.45	0.05
4	ด้านการประเมินผล	4.15	0.25
รวม		4.37	0.15

N=17

ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียน ด้วยชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล มีผลประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}= 4.37, SD = 0.15$)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

1. ผลการหาประสิทธิภาพของของชุดการสอน วิชาการสื่อสารข้อมูล พบว่ามีคะแนนระหว่างเรียน คิดเป็นร้อยละ 81.60 และคะแนนทดสอบหลังเรียน คิดเป็นร้อยละ 81.29 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ที่ 80/80 แสดงว่า ชุดการสอนที่จัดทำมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 80/80

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาที่เรียน ด้วยชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล ค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าคะแนนทดสอบก่อนเรียนมีคะแนนรวม 482 คะแนน คิดค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 28.35(SD=5.66)$ และคะแนนการทดสอบหลังเรียนมีคะแนนรวม 2,081 คะแนน สูงกว่าก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ยหลังเรียน $\bar{X}=122.41(SD=12.78)$ แสดงว่านักศึกษา มีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่า ก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะก่อนเรียนนักศึกษา ไม่มีพื้นฐานความรู้ และเมื่อผ่านกระบวนการเรียนรู้ด้วยชุดการสอนที่มีการเสริมกิจกรรมที่หลากหลาย ทำให้นักศึกษามีผลการเรียนที่สูงขึ้น

3. ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อชุดการสอนวิชาการสื่อสารข้อมูล ผลประเมินมีระดับพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{X}= 4.37, SD = 0.15$) ที่มีผลเช่นนี้อาจเป็นเพราะการออกแบบที่ผู้วิจัยได้มีประสบการณ์ด้านการสอน มีการนำผลการวิจัยในแต่ละภาคเรียน มาปรับแก้ไขทำให้ชุดการสอนที่จัดสร้างขึ้นมาสามารถให้ความรู้แก่นักศึกษา และทำให้นักศึกษามีระดับ ความพึงพอใจภาพรวมในระดับมาก

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์อรอนงค์ นิยมธรรม ที่ได้ให้คำแนะนำในการวิจัยครั้งนี้โดยเฉพาะด้านสถิติ รวมถึงนักศึกษาระดับ ปวส. ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชา

อิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
 ที่ให้ความร่วมมือทุกด้านในการวิจัยครั้งนี้ คณะผู้วิจัย
 ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
 ที่สนับสนุนการวิจัยครั้งนี้ และสนับสนุนค่าใช้จ่ายในการ
 ประชุมวิชาการ CRCI2021

7. เอกสารอ้างอิง

- ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพสื่อ
 หรือชุดการสอน. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*,
 5(1), 10–12.
- ชุตินา สัจจามันท์. (2556). การเขียนเอกสารประกอบการ
 สอน. สืบค้น 21 มกราคม 2564, จาก
[http://department.utcc.ac.th/acadaffairs/
 images/.../teaching-note-chutima.pdf](http://department.utcc.ac.th/acadaffairs/images/.../teaching-note-chutima.pdf)
- ณรงค์ โคตรศรี. (2557). ชุดการสอนร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้
 แบบร่วมมือแบบกลุ่มช่วยรายบุคคล (TAI) ที่ส่งผล
 ต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนความสามารถในการคิด
 วิเคราะห์ และเจตคติต่อวิชา สังคมศึกษาของ
 นักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่. *วารสารศาสตร์
 การศึกษาและการพัฒนามนุษย์*, (1). ภาณุวัฒน์
 เปรมปรี. (2556). *ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง
 ระบบนิเวศน้ำจืด สำหรับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปี
 ที่ 4 โรงเรียนประเทียวิทยาทาน*. สระบุรี: ม.ป.พ.
- มนตรี แยมกสิกร. (2551). เกณฑ์ประสิทธิภาพในงานวิจัย
 และพัฒนาสื่อการสอนความแตกต่าง 90/90
 Standard และ E1/E2. *วารสารศึกษาศาสตร์*,
 19(1).
- วิจารณ์ พานิช. (2556). *ครูเพื่อศิษย์สร้างห้องเรียนกลับทาง*.
 กรุงเทพฯ: เอสอาร์พรีนติ้งแมสโปรดักส์ จำกัด.

เครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติควบคุมผ่านอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง Automatic Juice Mixer Controlled through Internet of Things

เอกลักษณ์ สุมนพันธ์^{1*} อำนวย ศรีรักษ์² วชิรญาณ ภูมาลา³ และ กิตติพล ศรีหว่าสระสม⁴
Ekkalak Sumonphan^{1*} Amnart Srisak² Wachiraya Phumala³ and Kittipol Seewahsasom⁴

1-4 หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก 41 ม.7 ต.แม่งาม อ.เมือง จ.ตาก 63000
1-4 Computer Engineering Department, Rajamangala University of Technology LANNA TAK, 41 Moo.7 Tambol Maingam, Phahonyotin
Road, Muang District, Tak Province, 63000
*Ekkalak@mutl.ac.th, Tel: +66932299231

บทคัดย่อ

การผสมเครื่องดื่มผลไม้จำเป็นต้องตวงส่วนผสมที่แน่นอนทุกครั้ง ปัญหาจากการตวงส่วนผสมเครื่องดื่มผลไม้จากผู้ผสมยังใช้วิธีการชั่งตวงด้วยตาชั่งและการสังเกต ส่งผลให้ปริมาณส่วนผสมมีความคลาดเคลื่อน ไม่ว่าจะป็นปริมาณน้ำเชื่อม โซดา หรือน้ำแข็ง ทำให้รสชาติเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่มีการผสมน้ำผลไม้ งานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติ โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการทำงานผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อควบคุมเซนเซอร์ที่ใช้ตรวจจับแก้ว และรางเลื่อนควบคุมการไหลของแก้วไปยังจุดปล่อยน้ำแข็งและส่วนผสมต่างๆ สำหรับตัวเครื่องผสมน้ำผลไม้ใช้แอปพลิเคชันในการเลือกประเภทน้ำผลไม้ได้ 3 ประเภท ผสมรวมกับน้ำโซดาพร้อมเลือกระดับความหวานได้ 3 ระดับ จากการทดลองพบว่าส่วนของระบบเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติ โปรแกรมที่ใช้ในการทำงานสามารถเชื่อมโยงกันกับเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติได้อย่างดี จากผลการทดลองของเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติมีค่าเฉลี่ยความถูกต้องที่ 99.67% ที่ระดับความหวานมากที่สุด และใช้เวลาผสมต่อแก้วเฉลี่ยสูงสุดที่ 3.89 นาทีต่อการผสมน้ำผลไม้หนึ่งแก้ว

คำสำคัญ: เครื่องผสมน้ำผลไม้, สมาร์ตโฟน, อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง

Abstract

To mix juice you need to measure the exact ingredients every time. The problem with measure ingredients of juice from the mixers also uses weighing methods with scales and observations. As a result, the amount of ingredients is dislocation whether it is syrup, soda or ice. It can also make the taste change every time when you mix the juice. This research has developed the juice mixer by using a microcontroller that was controlled through the application on the smartphone to control the sensor operation that used to detect the glass and the sliding railway to control flowing glasses to the ice release point and other ingredients. The juice mixer was controlled by the application for selecting three types of juice and three levels of sweetness mixed with the soda. The experiment showed that parts of the automatic juice mixer system and the program used to work can be well connected with the juice mixer. From the experiment results of the automatic juice mixer, the accuracy average is 99.67% that is the sweetest level and the average time of mixer to a glass is 3.89 minutes.

Keywords: juice mixer, smartphone, internet of things

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันแนวคิดของการดูแลสุขภาพจากการรับประทานอาหารมีความนิยมมากขึ้น โดยน้ำผลไม้ถือเป็นเครื่องดื่มธรรมชาติที่ให้สารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย (นิตดา และคณะ, 2549) เมื่อต้องการที่จะผสมเครื่องดื่มน้ำผลไม้ นั้นจำเป็นต้องรู้อัตราส่วนในการผสม และต้องใช้อุปกรณ์ในการตวงให้ได้อัตราส่วนตามสูตรการผสมเครื่องดื่มน้ำผลไม้ และยังมีเครื่องดื่มน้ำผลไม้อีกหลายชนิดที่มีการผสมในเครื่องดื่มที่แตกต่างกันออกไปในการผสมทุกครั้ง จึงเกิดปัญหาในการตวงส่วนผสมทุกครั้งต่อหนึ่งแก้วที่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการตวง และยังเสียเวลาในการผสมเครื่องดื่มน้ำผลไม้ เมื่อเปลี่ยนผู้บริการรสชาติก็เปลี่ยน ตามร้านขายเครื่องดื่มหรือตามบาร์ ก็อาจจะมีการเปลี่ยนผู้บริการจึงทำให้อัตราส่วนผสมเครื่องดื่มมีความคลาดเคลื่อนได้ ในงานวิจัยของ (ณรงค์ และคณะ, 2549) ทำการพัฒนาเครื่องผสมของเหลวแบบสัดส่วนอัตโนมัติ โดยการอ่านแถบรหัสที่ติดข้างแก้ว แล้วถอดรหัสเป็นอัตราส่วนปริมาณของเหลว 3 ชนิด แต่ในการใช้งานต้องสร้างแก้วที่มีแถบรหัสทุกครั้งและไม่สามารถผสมน้ำแข็งได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงคิดค้นประดิษฐ์เครื่องผสมน้ำผลไม้ อัตโนมัติขึ้นมา เครื่องดังกล่าวสามารถผสมน้ำผลไม้จากที่มีทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ บลูเบอร์รี่ กีวี และน้ำส้ม ซึ่งประเภทน้ำผลไม้เลือกจากความนิยมของผู้บริโภคในช่วงอายุ 15-25 ปี (พรรณี และคณะ, 2560) พร้อมกับเติมปริมาณน้ำโซดาและน้ำแข็งอัตโนมัติทุกครั้ง นอกจากนี้ตัวเครื่องผสมน้ำผลไม้ยังสามารถกำหนดระดับความหวานได้ 3 ระดับ ให้เหมาะสมกับความชอบส่วนตัวของผู้ดื่ม (Kaushik, et al., 2018) ได้ทำการพัฒนาเครื่องจ่ายน้ำมะนาวที่สามารถกำหนดอัตราส่วนของปริมาณน้ำเชื่อม และน้ำมะนาวที่ต้องการได้ แต่ตัวเครื่องไม่มีหน้าจอที่ใช้แสดงผลทำให้ไม่ทราบสถานะการส่งงานต่างๆได้ งานวิจัย (Soe, et al., 2018) โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการทำงานของเครื่องผสมน้ำผลไม้ พร้อมหน้าจอแอลอีดีแสดงผลการทำงาน การเลือกระดับความหวานระบุผ่านคีย์แพด (Keypad) ที่ติดตั้งด้านหน้าเครื่อง ผู้ใช้งานสามารถปรับเลือกระดับความหวานได้จากฟังก์ชันทางฮาร์ดแวร์ที่กำหนดไว้เท่านั้น ไม่สามารถปรับเปลี่ยนปริมาณส่วนผสมต่างๆเพิ่มเติมได้ด้วยถูกกำหนดเป็นปุ่มกดทางฮาร์ดแวร์ ปัจจุบันมีเทคโนโลยีของ

การสื่อสารข้อมูลแบบไร้สายผ่านหลักการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (IoT: Internet of Things) ผ่านการโปรแกรมบนตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ (จิราวุธ, 2561) งานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบฟังก์ชันการทำงานเลือกประเภทน้ำผลไม้และระดับความหวานผ่านแอปพลิเคชันบลิง (Blynk) ที่ทำงานบนสมาร์ตโฟนควบคุมอุปกรณ์ปลายทางผ่านหลักการอินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง (จิรวัดน์ และคณะ, 2019) ส่งผลให้ฟังก์ชันการทำงานมีความยืดหยุ่นมากขึ้น สามารถเปลี่ยนแปลงชื่อของน้ำผลไม้ เปลี่ยนหรือเพิ่มระดับความหวานจากการเติมน้ำเชื่อมได้ผ่านแอปพลิเคชันดังกล่าว ดังนั้นเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัตินี้จะช่วยแก้ปัญหาการผสมเครื่องดื่มน้ำผลไม้ น้ำโซดา และน้ำแข็งที่มีอัตราส่วนคงที่ ช่วยลดเวลาในการผสมเครื่องดื่มผลไม้ โดยไม่ต้องมาใช้เวลาตวงส่วนผสมแต่ละอย่าง มีหน้าจอแสดงสถานะการทำงานในแต่ละขั้นตอน ผลลัพธ์ในขั้นตอนสุดท้าย ผู้บริโภคเครื่องดื่มจะได้น้ำผลไม้ที่มีความหวานตรงตามความต้องการ จากการเลือกเมนูผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือที่ควบคุมตัวเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายของน้ำผลไม้

ในปัจจุบันมีผู้นิยมดื่มน้ำผลไม้ (นิตดา และคณะ, 2549) มากขึ้น เนื่องจากได้ทราบคุณค่าของน้ำผลไม้ที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย และเป็นเครื่องดื่มที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง กากและเส้นใยจากผลไม้ช่วยระบบขับถ่าย และป้องกันโรคมะเร็งทางเดินอาหาร สำหรับน้ำผลไม้ หมายถึง ของเหลวที่สกัดจากผลไม้ใน ส่วนที่บริโภคได้ โดยวิธีบีบ คั้น หรือวิธีเชิงกลอื่นๆ โดยทั่วไปน้ำผลไม้ที่ได้จะชุนตามลักษณะของเนื้อเยื่อผลไม้ นอกจากนี้ยังมี ส่วนที่เป็นน้ำมันหรือไขมัน เม็ดสี เนื้อ หรือเปลือกผลไม้ผสมอยู่ น้ำผลไม้บางชนิดต้องบริโภคแบบชุนตามธรรมชาติ บางชนิดต้องบริโภคเมื่อผ่านกระบวนการทำให้ใสแล้ว ซึ่งน้ำผลไม้ที่นิยมผลิตและดื่มกัน ได้แก่ น้ำส้ม น้ำมะม่วง น้ำฝรั่ง น้ำองุ่น น้ำสับปะรด น้ำมะขาม น้ำมะเขือเทศ ซึ่งผลผลิตเหล่านี้มีให้บริโภคตลอดปี ดังนั้นจึงนิยมผลิตเพื่อเป็นอุตสาหกรรมทั้งในระดับครัวเรือน อุตสาหกรรมขนาดเล็ก และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

2.2 บอร์ด Arduino MEGA 2560 ร่วมกับ ESP8266 เพื่อเพิ่มฟังก์ชันการสื่อสารข้อมูลแบบไร้สาย

Arduino MEGA 2560 (จิวราฐ, 2561) คือ บอร์ดรุ่นใหญ่ในกลุ่มบอร์ดของอาดุยโน้ โดยใช้ Atmega 2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวนี้แตกต่างจาก Atmega 328 ที่ใช้อยู่กับบอร์ด Arduino Uno โดย Arduino MEGA 2560 มีขาอินพุต และเอาต์พุต ดิจิตอลจำนวน 54 ขา เป็น PWM ได้ 15 ขา มี อนุาล็อกอินพุต 16 ขา Serial UART 4 ชุด I2C 1 ชุด SPI 1 ชุด และขาแหล่งจ่ายไฟ 5V จำนวน 3 ขา สามารถเขียนโปรแกรมบนอาดุยโน้ IDE และโปรแกรมผ่านยูเอสบี (USB) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 บอร์ด Arduino MEGA 2560 ร่วมกับ ESP8266

พร้อมกันนี้ตัวบอร์ดยังมีชิป (Chip) CH430 ที่เชื่อมต่อในการอัปโหลดโปรแกรมบน ESP8266 หรือ Atmega 2560 ซึ่งสามารถกำหนดผ่านดิฟสวิทช์ (Dip Switch) ที่ระบุไว้บนบอร์ด งานวิจัยนี้ได้ใช้บอร์ดดังกล่าวควบคุมการทำงานของปั้มน้ำ สวิตช์สั่งการ สายพานควบคุมจุดรับแก้ว และการเชื่อมต่อกับแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อสั่งการแบบไร้สาย

2.3 เซนเซอร์อินฟราเรด (Infrared Sensor)

เซนเซอร์อินฟราเรด (นพ, 2561) เป็นเซนเซอร์ที่ใช้การส่งออกอินฟราเรดและอ่านค่าแสงอินฟราเรดที่สะท้อนจากการใช้งานของโฟโตไดโอด ตามรูปที่ 2 ขนาดที่เกิดจากแสงสะท้อนสามารถบอกช่วงของวัตถุที่เกี่ยวกับโฟโตไดโอด ตัวอย่างเช่นเมื่อวัตถุอยู่ด้านหน้าของเซนเซอร์สัญญาณของแสงอินฟราเรดที่ถูกส่งออกไปแล้วตีกลับวัตถุจะสะท้อนแสงกลับไปยังเซนเซอร์เนื่องจากวัตถุที่ไม่สามารถสะท้อนแสง 100% ความแตกต่างนี้จะถูกอ่านโดยโฟโตไดโอดเพื่อตรวจสอบระยะทาง งานวิจัยนี้ได้ใช้ในการตรวจจับแก้วที่จุดวางแก้ว เพื่อสั่งขับสายพานนำแก้วไปยังจุดปล่อยส่วนผสมน้ำผลไม้ต่อไป

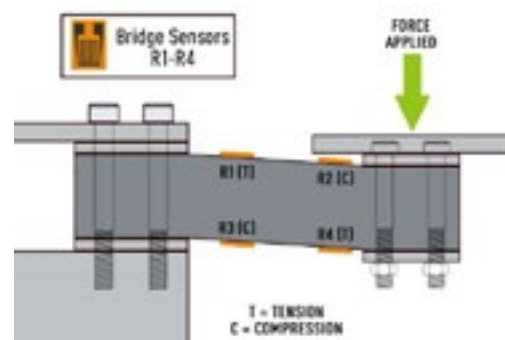
2.4 โหลดเซลล์

โหลดเซลล์ (บุญยงค์, 2545) เป็นอุปกรณ์ใช้วัดน้ำหนัก โดยมี



รูปที่ 2 อินฟราเรดเซนเซอร์

หลักการคือนำแผ่นทองแดงที่เรียกว่า สเตรนเกจ ไปแปะติดกับแท่งเหล็ก แล้วยึดปลายด้านหนึ่งของแท่งเหล็กไว้กับพื้น จากนั้นที่ปลายอีกด้านใช้วางสิ่งของที่ต้องการชั่งน้ำหนัก เมื่อวางสิ่งของลงไปแล้ว จะทำให้แท่งเหล็กงอเล็กน้อย การงอนี้จะทำให้แผ่นสเตรนเกจที่ถูกยึดติดไว้กับแท่งเหล็กอย่างแน่นหนายึดตอกเมื่อสเตรนเกจยึดตอก ทองแดงที่อยู่บนสเตรนเกจก็ถูกยึดตอกเช่นกัน ทำให้แผ่นทองแดงมีความยาวมากขึ้น เมื่อความยาวของทองแดงมากขึ้นก็ส่งผลให้ค่าความต้านทานของแผ่นสเตรนเกจมีค่ามากขึ้น ยิ่งแผ่นเหล็กงอมากเท่าไร ทองแดงก็ถูกยึดตอกมากเท่านั้นส่งผลให้ค่าความต้านทานมาก ซึ่งค่าต้านทานจากตัวสเตรนเกจ 1 แผ่น เมื่อถูกงอแล้ว ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงนั้นน้อยมาก ไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ทำให้เกิดการคิดค้นวงจรบริดจ์ขึ้นมาใช้กับโหลดเซลล์ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โหลดเซลล์ที่ใช้วงจรบริดจ์

งานวิจัยนี้ได้ใช้โหลดเซลล์ในการวัดน้ำหนักส่วนผสมน้ำผลไม้ น้ำเชื่อม น้ำโซดา และน้ำแข็ง ต่อแก้ว่าเกินน้ำหนักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ซึ่งนั่นหมายถึงสถานะของการผสมน้ำผลไม้เสร็จสิ้นขั้นตอน

2.5 แอปพลิเคชันบรีจ (Blynk)

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อควบคุมเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติ ผ่านแอปพลิเคชันบรีจ (จิววัฒน์ และคณะ, 2019) ตามรูปที่ 4 บนหลักการของ

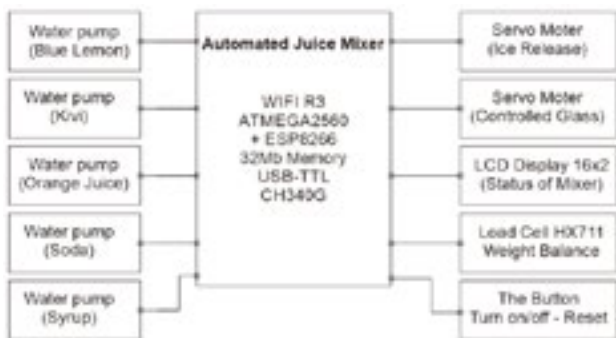
อินเทอร์เน็ตในทุกสรรพสิ่ง ตัวแอปพลิเคชันสามารถทำงานได้บนสมาร์ทโฟนทั้งบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) และ ไอโอเอส (iOS) โดยในงานวิจัยนี้ได้นำแพลตฟอร์มมาประยุกต์ใช้สร้างฟังก์ชันการเลือกประเภทน้ำผลไม้ การเลือกระดับความหวาน พร้อมแสดงสถานะการผสมน้ำผลไม้ และแจ้งเตือนเมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการผสม



รูปที่ 4 แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนเชื่อมกับ ESP8266

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การออกแบบเชื่อมต่ออุปกรณ์ของตัวเครื่องผสมน้ำผลไม้ สำหรับการกำหนดส่วนเชื่อมต่อต่างๆ ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์กับโมดูลเซนเซอร์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ออกแบบการเชื่อมต่อโมดูลต่างๆของเครื่องผสมน้ำผลไม้

จากรูปที่ 5 ประกอบการไปด้วยปั้มน้ำที่ใช้ปั้มน้ำส่วนผสมต่างๆ เซอร์โวมอเตอร์เพื่อควบคุมจุดปล่อยน้ำแข็ง จอแอลอีดีสำหรับแสดงสถานะส่วนผสมพร้อมกับการทำงาน และโหลดเซลล์สำหรับวัดน้ำหนักอัตราส่วนผสมต่างๆต่อแก้ว เพื่อควบคุมการสั่งผสมให้อัตราส่วนคงที่

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำเชื่อมเทียบกับระดับความหวาน 3 ระดับ

ระดับความหวาน	ปริมาณน้ำเชื่อม (g)
หวานน้อย	0
ปานกลาง	30
หวานมาก	60

ระดับความหวาน 3 ระดับ สามารถแปลผลเป็นปริมาณน้ำเชื่อมที่มีหน่วยเป็นกรัม (g) ดังตารางที่ 1 ที่ระดับความหวานน้อยจะกำหนดเป็น 0 g เนื่องจากใช้ความหวานจากน้ำผลไม้ ปริมาณ 60 g ที่เติมไปในแก้วก่อนหน้าเท่านั้น

3.2 ขั้นตอนการทำงานของตัวเครื่อง

เริ่มจากการเปิดเครื่องเพื่อรอให้สถานะการเชื่อมต่อ ระหว่างเครื่องกับแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนเสร็จสิ้น ขั้นตอนดังกล่าว จะแสดงผลบนหน้าจอแอลอีดีที่ติดตั้งบนตัวเครื่อง จากนั้นทำการวางแก้วขนาด 16 ออนซ์ (Oz) ที่จุดรับแก้ว ตามรูปที่ 6 (ก) เซนเซอร์เมื่อตรวจจับตัวแก้วได้ จะทำการสั่งขับสายพานเพื่อนำแก้วไปยังจุดปล่อยน้ำผลไม้ รูปที่ 6 (ข) 60 g น้ำโซดา 60 g น้ำแข็ง 160 g และน้ำเชื่อม สำหรับประเภทน้ำผลไม้ และปริมาณความหวานของน้ำเชื่อมสามารถกำหนดได้ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟน สำหรับการสั่งจ่ายอัตราส่วนผสมต่างๆ จะตรวจสอบปริมาณที่ได้จากน้ำหนักภายในแก้วผ่านโหลดเซลล์ที่ติดตั้งไว้ได้ฐานรองแก้ว สำหรับการผสมน้ำแข็งบริเวณด้านหน้าของตัวเครื่อง รูปที่ 7 (ก) สามารถเปิดฝา รูปที่ 7 (ข) เพื่อเติมน้ำแข็งหลอดเล็กลงไปได้ โดยบริเวณด้านล่างจะออกแบบเป็นลักษณะรูปกรวยเปิดปิดจ่ายน้ำแข็ง ด้วยการขับเซอร์โวมอเตอร์



(ก) จุดวางแก้วที่ฐานรับแก้ว (ข) เคลื่อนแก้วไปยังจุดปล่อยน้ำ

รูปที่ 6 ทำการวางแก้วที่จุดรับแก้วเพื่อรับน้ำผลไม้



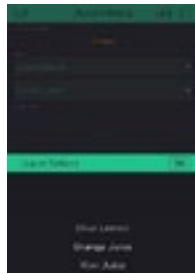
(ก) ด้านหน้าตัวเครื่อง (ข) จุดเติมน้ำแข็ง

รูปที่ 7 จุดใส่น้ำแข็งเพื่อเป็นส่วนผสมน้ำผลไม้

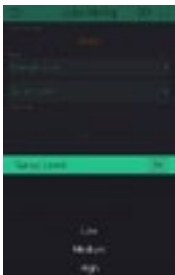
สำหรับขั้นตอนสั่งงาน ผ่านแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟน หน้าแอปพลิเคชันจะแสดงเมนูส่วนผสม รูปที่ 8 (ก) ขั้นตอนต่อไปทำการเลือกประเภทน้ำผลไม้ รูปที่ 8 (ข) จากนั้นเลือกระดับความหวาน 3 ระดับ รูปที่ 8 (ค)



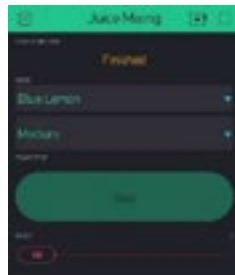
(ก) เมนูเลือกส่วนผสม



(ข) เลือกน้ำผลไม้ 3 ประเภท



(ค) เลือกระดับความหวาน



(ง) สถานะแจ้งเตือนเสร็จสิ้น

รูปที่ 8 เมนูและสถานะการผสมน้ำผลไม้บนแอปพลิเคชัน

เมื่อตัวเครื่องทำการผสมน้ำผลไม้เสร็จสิ้น น้ำหนักจะได้ตามที่กำหนดไว้ จากนั้นจะแจ้งเตือนผ่านแอปพลิเคชันว่าเสร็จสิ้น ขั้นตอนการผสมน้ำผลไม้ รูปที่ 8 (ง) พร้อมกับขับสายพานให้แก้วเคลื่อนมายังตำแหน่งรับแก้วต่อไป ขั้นตอนในภาพรวมสามารถลำดับได้ 4 ลำดับแสดงตามรูปที่ 9



รูปที่ 9 ลำดับการใช้งานเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติ

3.3 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อน

ในการวิเคราะห์ค่าความคลาดเคลื่อนของอัตราส่วนผสมต่างๆ ได้ใช้สมการวิเคราะห์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์ (AE: Absolute Error) ตามสมการที่ (1) และเปอร์เซ็นต์ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์เฉลี่ย (MAPE: Mean Absolute Percentage Error) ตามสมการที่ (2)

$$AE = |A_t - F_t| \quad (1)$$

โดยที่ AE คือ ค่าผิดพลาดสัมบูรณ์
A_t คือ ค่าจริงที่ต้องการ
F_t คือ ค่าที่ได้จากการทดลอง

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right| \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ MAPE คือ ค่าเปอร์เซ็นต์ผิดพลาดสัมบูรณ์
n คือ จำนวนข้อมูล

4. ผลการวิจัย

4.1 ความแม่นยำจากการปล่อยส่วนผสมต่างๆ

การทดลองนี้ได้ทำการตรวจสอบปริมาณของส่วนผสมต่างๆ ที่ปล่อยมาจากตัวเครื่องผสมน้ำผลไม้ ว่ามีอัตราส่วนผสมที่คลาดเคลื่อนหรือไม่ จากค่าปริมาณคงที่ที่กำหนดไว้ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 2 พบว่าปริมาณอัตราส่วนของน้ำเชื่อมค่าเฉลี่ยของระดับความหวานที่น้ำเชื่อมปริมาณ 60 g มีค่าคลาดเคลื่อนจากค่ามาตรฐานมากที่สุด ที่เป็นเช่นนี้เพราะว่าอัตราส่วนดังกล่าวมีปริมาณน้ำเชื่อมมาก ส่งผลให้อัตราการบีมน้ำเชื่อมที่มีความหนืดตัวสูง เมื่อต้องไหลผ่านตามสายที่มีความคลาดเคลื่อนได้ง่าย นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยของโซดาก็พบความคลาดเคลื่อนเช่นเดียวกัน ด้วยโซดามีลักษณะเป็นกรดอ่อนมีฟองอากาศผสม จึงเป็นเหตุผลหลักที่ฟองอากาศจะรวมกับปริมาณน้ำในสายยาง จึงเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น

4.2 ทดลองเทียบอัตราส่วนการผสมของเครื่องเทียบกับผู้ที่มีความเชี่ยวชาญทางการชงน้ำผลไม้

จากการทดลองในตารางที่ 2 ที่ผ่านมา พบว่าปริมาณการตวงน้ำเชื่อมที่ 60 g หรือระดับความหวานมาก มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด จึงใช้ค่าดังกล่าวเปรียบเทียบกับอัตราส่วนกับผู้ชง

เครื่องตีผลไม้ที่มีความเชี่ยวชาญในการผสมน้ำผลไม้ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ความแม่นยำของปริมาณส่วนผสมที่ได้จากตัวเครื่อง

ครั้งที่	ระดับความหวาน			โซดา 60 g	น้ำแข็ง 160 g
	จากการเติมน้ำเชื่อม				
	น้อย 0 g	กลาง 30 g	มาก 60 g		
1	0	30	60	59	158
2	0	29	60	59	159
3	0	30	60	60	162
4	0	30	60	60	163
5	0	30	60	60	164
6	0	30	61	59	157
7	0	31	59	60	158
8	0	30	59	60	163
9	0	30	60	60	158
10	0	30	60	59	158
เฉลี่ย	0	30.0	59.8	59.6	160

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลการชั่งตวงปริมาณน้ำเชื่อมที่ 60 g

ครั้งที่	ปริมาณการตวงน้ำเชื่อมระดับความหวานมาก 60 g			
	ตวงจากผู้เชี่ยวชาญ		ตวงจากเครื่องอัตโนมัติ	
	ปริมาณ (g)	คลาดเคลื่อน (g)	ปริมาณ (g)	คลาดเคลื่อน (g)
1	54	6	60	0
2	56	4	60	0
3	52	8	61	1
4	58	2	60	0
5	63	3	60	0
6	57	3	60	0
7	57	3	59	1
8	58	2	60	0
9	61	1	60	0
10	59	1	60	0
MAPE (%)		5.5%		0.33%

จากตารางที่ 3 พบว่าความคลาดเคลื่อนจากผู้ผสมน้ำผลไม้ ปริมาณน้ำเชื่อมที่ 60 g มีค่าความผิดพลาดคลาดเคลื่อนมากกว่าปริมาณน้ำเชื่อมที่ออกมาจากตัวเครื่อง ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจาก ผู้ผสมอาศัยทักษะประสบการณ์ส่วนตัวในการสังเกต ปริมาณด้วยสายตา แต่ตัวเครื่องนั้นใช้การเปิดปิดปั้มน้ำตาม ช่วงเวลาที่กำหนดไว้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จึงส่งผลให้มีความ แม่นยำมากกว่า

4.3 ทดสอบค่าเวลาที่ใช้ในการผสมต่อ 1 แก้ว

กรณีที่กำหนดปริมาณน้ำเชื่อมทั้ง 3 ระดับ ต่อ 1 แก้ว นั้นจะ ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการผสม สำหรับเวลาที่ใช้ในการผสมแก้ว นับตั้งแต่การวางแก้วที่จุดปล่อยแก้ว จากนั้นปล่อยส่วนผสม ต่างๆ จนแสดงสถานะเสร็จสิ้นและเคลื่อนแก้วกลับมาที่จุดรับ แก้ว จึงหยุดการจับเวลา ทำอย่างละ 10 ครั้ง ผลการทดลอง แสดงตามตารางที่ 4

ตารางที่ 4 เวลาที่ใช้ในการผสมน้ำผลไม้ต่อ 1 แก้ว

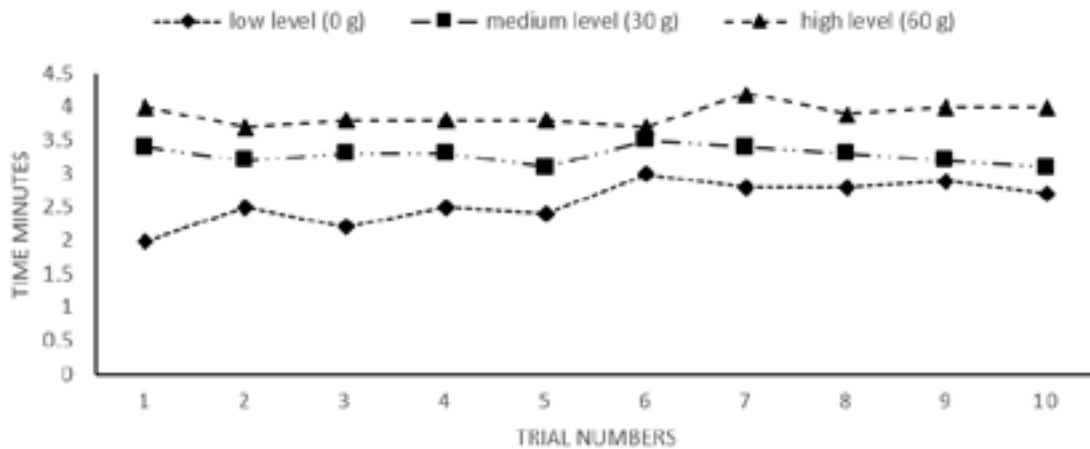
ระดับน้ำเชื่อม	เวลาเฉลี่ย (นาท)
หวานน้อย 0 g	2.58
ปานกลาง 30 g	3.28
หวานมาก 60 g	3.89

จากตารางที่ 4 พบว่าตัวแปรที่ส่งให้ค่าเวลา มีความแตกต่างกันอยู่ที่ปริมาณน้ำเชื่อมที่ส่งจ่าย ด้วยปริมาณอื่นไม่ว่าจะเป็นน้ำ โซดา หรือน้ำแข็งจะมีอัตราส่วนที่เท่ากันในทุกระดับความหวาน สำหรับผลการทดลองจับเวลาผสมน้ำผลไม้ต่อแก้ว ในแต่ละครั้ง แสดงผลได้ตามรูปกราฟที่ 10 พบว่าส่วนผสมที่ปริมาณความ หวานมากใช้เวลาการผสมนานกว่าระดับความหวานอื่นๆ เนื่องจากต้องใช้เวลาการเปิดปั้มน้ำเพื่อเติมน้ำเชื่อมมากที่สุด

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำสร้างเครื่องผสมน้ำผลไม้อัตโนมัติ ผู้ใช้งาน เพียงวางแก้วตรงจุดรับแก้ว เมื่อเซนเซอร์ตรวจจับแก้วได้ จะสั่ง ขับสายพานไปยังจุดรับส่วนผสมน้ำผลไม้ ซึ่งสามารถเลือกได้จาก น้ำผลไม้ 3 ประเภท จากนั้นจะปล่อยน้ำโซดา และน้ำแข็ง ตรวจสอบการเสร็จสิ้นขั้นตอนการผสมจากน้ำหนักส่วนผสม ภายในแก้ว วัดน้ำหนักจากโหลดเซลล์ที่อยู่ใต้ฐานรองแก้ว เมื่อ น้ำหนักได้ตามที่กำหนดไว้ตัวเครื่องจะสั่งขับสายพานเพื่อนำแก้ว

TIME USAGE OF DIFFERENT SYRUP LEVELS



รูปที่ 10 เวลา (นาที) ที่ในการผสมน้ำผลไม้ต่อแก้วที่ระดับความหวานทั้ง 3 ระดับ

ออกมายังจุดรับแก้ว สำหรับการเลือกประเภทน้ำผลไม้ระดับความหวานและแจ้งเตือนสถานะการผสมบนแอปพลิเคชัน

สำหรับผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพดีกว่าการซึ่งตรงส่วนผสมน้ำผลไม้ เมื่อเทียบกับผู้เชี่ยวชาญที่ใช้ทักษะการสังเกตปริมาณอัตราส่วนของน้ำที่เป็นส่วนผสม สำหรับเวลาที่ใช้ในการทำงานค่าเฉลี่ยสูงสุดต่อการผสมหนึ่งแก้วอยู่ที่ 3.89 นาที สำหรับรสชาติที่เหมาะสมในแต่ละระดับความหวานสำหรับผู้บริโภคนั้น เป็นสิ่งที่ต้องทำการทดลองต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์และการอินเตอร์เฟซ หลักสูตรวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.ล้านนา ตาก

ขอขอบคุณ คุณนันทา จิตรกลาง ร้านบ้านน้ำปั่น อ.บ้านตาก จ.ตาก ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นผู้เชี่ยวชาญส่วนผสมน้ำเชื่อม และทำการทดลองเปรียบเทียบส่วนผสมกับเครื่องผสมน้ำผลไม้

7. เอกสารอ้างอิง

นิดดา หงส์วิวัฒน์ และคณะ. (2549). FRAPPE น้ำผลไม้ ชุดเมนูเครื่องดื่มสุขภาพ. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แสงแดด. หน้า 92-97.

ณรงค์ บัณญัติ และ สมานมิตร อยู่สุขสวัสดิ์. (2549). เครื่องผสมของเหลวแบบกึ่งอัตโนมัติ. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม. ปีที่ 2 ฉบับที่ 1. 33-38.

พรณี ทองบุษย์ และ ปาลิตา ศรีศรภักพล. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ น้ำผลไม้ 10%-20% รูปแบบใหม่. วารสารวิชาการการตลาดและการจัดการ. ปีที่ 4 ฉบับที่ 2. 173-186.

Kaushik, A., Bawa, D., and Vandana, K. (2018). Automatic Lemonade Dispenser Machine. International Journal of Advanced Engineering Research and Applications (IJA-ERA). 4(6). 107-110.

Soe, N. K. (2018). Design and Implementation of Juice Mixer Machine. International Journal of Scientific and Research Publications (ijsrp). 8(7). 432-437. doi: 10.29322/IJSRP.8.7.2018.p7969

จิราวุธ วารินทร์. (2561). Arduino UNO พื้นฐานสำหรับงาน IOT. กรุงเทพฯ: ชิมพลิฟาย. หน้า135-137.

จิรวัดน์ แทนทอง และคณะ. (2562). การพัฒนาโมบายแอปพลิเคชันสำหรับเครื่องให้อาหารสัตว์เลี้ยงด้วยการประยุกต์ใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์และอินเตอร์เน็ตในทุกสิ่ง. Journal of Information Science and Technology (JIST). 9(1). 28-40.

นพ มหิษานนท์. (2561). Arduino Startup สนุกสุดเหวี่ยงกับ เซนเซอร์. กรุงเทพฯ: คอร์ฟิงชั่น. 289-296.

บุญยงค์ ภู่นันทพงษ์. (2545). การวัดและควบคุมทาง
อุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์การตีพิมพ์.
96-113.

ระบบระบุสัญญาณมือเพื่อควบคุมการทำงานของบ้านอัจฉริยะด้วยคุณสมบัติรหัสลูกโซ่ Hand-Gesture Identification System for Smart Home Using Chain Code Features

ชยันต์ คงทองวัฒนา^{1*} และ ธนัสนี เพียรตระกูล²
Chayun Kongtongvattana* and Tanasanee Phienthrakul

¹คณะเทคโนโลยีดิจิทัล สถาบันเทคโนโลยีจิดรดา
อาคาร 60 พระราชราชสุดาสมภพ 604 สำนักพระราชวัง สนามเสือป่า ถนนศรีอยุธยา เขตดุสิต จ.กรุงเทพฯ 10300
²ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล
25/25 ถ.พุทธมณฑล สาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
¹Faculty of Digital Technology, Chitralada Technology Institute.
604 The Bureau of Royal Household, Sanam-Suepa, Sri-Ayutthaya Rd., Dusit, Bangkok, 10300, Thailand
²Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University.
25/25 Salaya, Phuttamonthon, Nakhon Pathom, 73170, Thailand
*chayun.kon@cdti.ac.th , +669 7924 4928

บทคัดย่อ

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์วิทัศน์และการเรียนรู้ของเครื่อง มีส่วนช่วยให้ระบบอัจฉริยะได้รับการพัฒนาเพื่อเพิ่มความสะดวกสบายและความปลอดภัยให้กับมนุษย์มากขึ้น บ้านอัจฉริยะเป็นหนึ่งในระบบที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และมีหลายวิธีการที่ถูกนำมาใช้เพื่อให้ระบบสามารถเรียนรู้และตอบสนองความต้องการของผู้อยู่อาศัย ในงานวิจัยนี้มุ่งพัฒนาระบบบ้านอัจฉริยะที่สามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในบ้านผ่านการใช้สัญญาณมือ ผู้ใช้งานระบบไม่จำเป็นต้องสวมใส่อุปกรณ์เสริม ทำให้ผู้ใช้งานไม่รู้สึกรำคาญและง่ายต่อการสั่งงาน สัญญาณมือจะถูกบันทึกผ่านทางกล้อง และนำไปประมวลผลเพื่อสกัดคุณลักษณะรหัสลูกโซ่ คุณลักษณะเหล่านี้จะถูกนำไปใช้ในการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อสร้างระบบระบุรูปแบบสัญญาณมือที่มีความสามารถในการจำแนกท่าทาง และใช้ระบุคำสั่งที่ผู้ใช้งานต้องการ ในขั้นตอนทดสอบการระบุรูปแบบสัญญาณมือ ได้ทำการเรียนรู้จากรหัสลูกโซ่ของสัญญาณมือ 10 แบบ พบว่าการเรียนรู้ของเครื่องแบบเพื่อนบ้านใกล้สุดให้ผลการเรียนรู้ที่ค่าความถูกต้องสูงถึง 96.75% ซึ่งสูงกว่าวิธีการอื่นในการทดลอง

คำสำคัญ: การระบุรูปแบบสัญญาณมือ การเรียนรู้ของเครื่อง การประมวลผลภาพ รหัสลูกโซ่ คุณลักษณะรหัสลูกโซ่

Abstract

Advances in computer vision and machine learning technologies have contributed to the development of intelligent systems in order to increase comfort and safety of human. Smart home is a system that is continually developed. Several methods have been used to enable the system to learn and

meet the requirements of the residents. This research aims to develop a smart home system that can control the electrical equipment in the home through the hand gesture signals. Users are not required to wear any accessories, making the user less annoyed and easy to control. Hand gestures are recorded through the camera and are processed to extract the chain code features. These features will be used in machine learning to create a hand gesture identification system. This system can recognize the gestures and specify the user commands. In the experiments, chain code features of 10 hand gesture patterns are learned. The results show that nearest neighbor was achieved with 96.75% of accuracy, which is higher than the other algorithms.

Keywords: Hand Gesture Identification, Machine Learning, Image Processing, Chain Code, Chain Code Features

1. บทนำ

บ้านถือเป็นสถานที่หนึ่งที่มนุษย์เราใช้เวลาที่มากกว่าครึ่งชีวิตในการดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ สำหรับสถานที่ที่มนุษย์เราใช้เวลาร่วมด้วยมากขนาดนี้ก็ไม่แปลกที่เราควรพัฒนา หรือปรับปรุงให้บ้านเป็นสถานที่ที่มีทั้งความสะดวกสบายและความปลอดภัยควบคู่กัน เทคโนโลยีบ้านอัจฉริยะ (Smart Home) เป็นแนวคิดหนึ่ง ที่ทำให้บ้านสามารถรับรู้ เข้าใจ และตัดสินใจดำเนินการได้คล้ายกับพฤติกรรมของมนุษย์ หรือตอบสนองความต้องการของมนุษย์

เทคโนโลยีต่าง ๆ ถูกนำมาใช้เพื่อทำให้บ้านเข้าใจมนุษย์ได้ดีขึ้น ส่วนหนึ่งของเทคโนโลยีที่สำคัญคือ คอมพิวเตอร์วิทัศน์ (Computer Vision) [1] และการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) [2] ที่เสมือนเป็นการมอบดวงตาและสมองให้แก่คอมพิวเตอร์ จึงถือเป็นเทคโนโลยีที่มีความสำคัญสำหรับการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถตัดสินใจสิ่งต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับมนุษย์ และยังสามารถทำให้มนุษย์สามารถควบคุมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ภายในบ้านได้อย่างสะดวกสบายมากยิ่งขึ้น

มีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับการพัฒนาคอมพิวเตอร์วิทัศน์ที่พัฒนาควบคู่ไปกับการพัฒนาการเรียนรู้ของเครื่อง ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาเซนเซอร์ตรวจจับที่ให้ความแม่นยำสูง หรือการพัฒนาอุปกรณ์ให้สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตเพื่อรับค่าข้อมูล ทำให้อุปกรณ์สามารถถูกสั่งการจากที่ใดบนโลกก็ได้ เป็นต้น

หนึ่งในงานวิจัยเหล่านั้นที่น่าสนใจก็คือ งานวิจัยของ Zhi-hua Chen และเพื่อน [3] ในชื่อหัวข้อ “Real-Time Hand Gesture Recognition Using Finger Segmentation” ที่พัฒนาคอมพิวเตอร์วิทัศน์ผ่านการรับรู้โดยกล้อง ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้อธิบายถึงการใช้เทคนิคการแบ่งส่วนภาพซึ่งถือเป็นหนึ่งในเทคนิคของการประมวลผลภาพในการตรวจจับฝ่ามือ และนี่ ด้วยการใช้นี้ เทคนิคการลบพื้นหลังเพื่อให้ได้เฉพาะรูปรูมือ จากนั้นทำการเปลี่ยนภาพเป็นรูปภาพแบบขาวดำ และหาจุดกึ่งกลางฝ่ามือ โดยใช้การคำนวณหาจุดไกลสุดจากเส้นขอบ และทำการกำหนดพื้นที่ฝ่ามือเพื่อนำมาตัดออกจากภาพมือข้างต้น ทำให้ได้ส่วนที่เป็นนิ้วมือ

ในงานวิจัยกล่าว่วิธีการที่พวกเขาใช้ให้ผลลัพธ์ความถูกต้องในการตรวจจับที่ดี ซึ่งค่าความถูกต้องสูงสุดสูงถึง 96.69% แต่ข้อจำกัดอย่างหนึ่งที่สำคัญคือภาพมือที่ได้จากขั้นตอนแรกสุด ซึ่งเป็นภาพหลังจากการผ่านขั้นตอนการลบพื้นหลังจะต้องตัดพื้นหลังได้ทั้งหมดและเหลือเฉพาะมือเท่านั้น ซึ่งถือว่าเป็นข้อจำกัดที่ยากต่อสถานการณ์จริงในการใช้งานที่อาจจะต้องพบเจอกับพื้นหลังที่มีสีผิวใกล้เคียงกับมือมนุษย์

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมีแนวคิดที่จะพัฒนาความสามารถในการระบุสัญญาณมือ โดยใช้คุณลักษณะรหัสลูกโซ่ที่สกัดมาจากการประมวลผลภาพ ร่วมกับเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง เพื่อช่วยให้ระบบสามารถเรียนรู้จาก

สถานการณ์ที่มีความแตกต่างของแสงหรือสีผิวได้ดียิ่งขึ้น และสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อควบคุมอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้านได้

ในการทดสอบได้ทำการสกัดคุณลักษณะรหัสลูกโซ่ และนำไปเรียนรู้ โดยเปรียบเทียบค่าความถูกต้องของ 4 เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ได้แก่ การเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) [4] การเรียนรู้แบบต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree) [5] การเรียนรู้แบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (Support Vector Machine) [6] และการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด k ตัว (K-Nearest Neighbor) [7] เพื่อเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปใช้ในระบบระบุรูปแบบสัญญาณมือต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเทคนิคการระบุสัญญาณมือด้วยคุณสมบัตินี้รหัสลูกโซ่ซึ่งได้ประยุกต์ใช้การประมวลผลภาพ และรหัสลูกโซ่ เพื่อสกัดคุณลักษณะ เพื่อใช้ในการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ในหัวข้อนี้จะให้รายละเอียดโดยย่อของเทคนิคเหล่านี้

2.1 การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพ เป็น กระบวนการวิเคราะห์ และจัดการรูปภาพ ที่มีเป้าประสงค์เพื่อการได้มาซึ่งข้อมูลแบบดิจิทัลจากรูปภาพที่ต้องการ ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ โดยมีเทคนิคที่ใช้ในการประมวลผลมากมาย เช่น การแบ่งส่วนภาพ การตรวจจับขอบ การแปลงสีภาพ ฯลฯ ซึ่งสามารถนำไปต่อยอดเป็นระบบต่าง ๆ ที่มีประโยชน์มากมาย เช่น ระบบการดูแลการจราจรบนท้องถนน ระบบตรวจจับใบหน้า หรือระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น

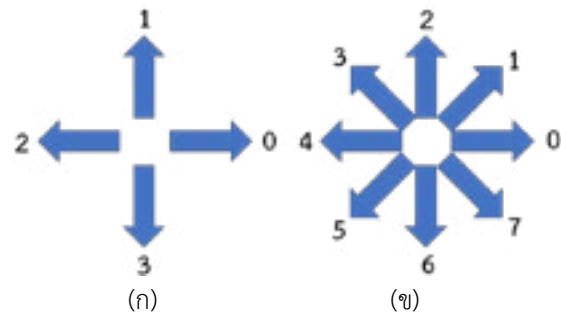
ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การประมวลผลภาพ เพื่อการตรวจหาสัญญาณมือที่อยู่ในภาพ โดยใช้การปรับปรุงคุณภาพของภาพ และการตรวจหาขอบของวัตถุในภาพ



รูปที่ 1 ระบบตรวจจับมือ [8]

2.2 รหัสลูกโซ่

รหัสลูกโซ่ [9] เป็นวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการบ่งบอกถึงลักษณะ และทิศทางของวัตถุต่าง ๆ ภายในภาพ โดยใช้วิธีการแปลงภาพเส้นขอบ (Contour image) ให้การเป็นชุดของตัวเลข



รูปที่ 2 (ก) รหัสห่วงโซ่แบบ 4 ทิศทาง (ข) รหัสห่วงโซ่แบบ 8 ทิศทาง

แนวคิดโดยทั่วไปในการสร้างรหัสลูกโซ่สามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ รหัสลูกโซ่แบบ 4 ทิศทาง และรหัสลูกโซ่แบบ 8 ทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยรหัสลูกโซ่จะมีชื่อเรียกแบบทั่วไปว่ารหัสลูกโซ่ฟรีแมน (Freeman Chain Code) [10] ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกที่จะใช้แนวคิดของรหัสลูกโซ่แบบ 8 ทิศทาง เพื่อเพิ่มความละเอียดในการตรวจจับและระบุสัญญาณมือให้มากขึ้น

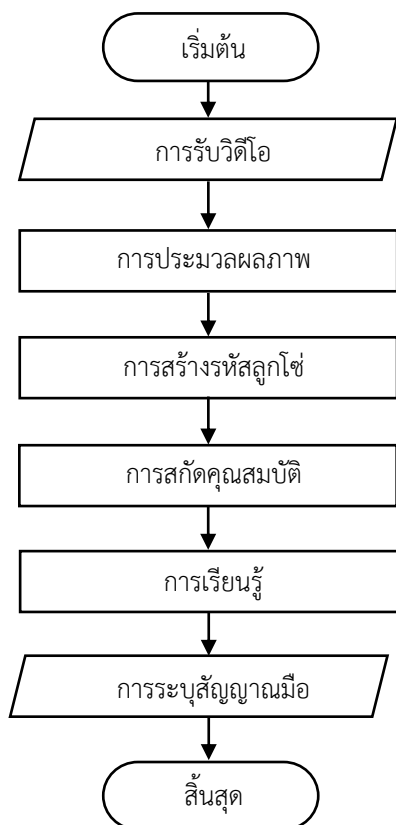
2.3 การเรียนรู้ของเครื่อง

การเรียนรู้ของเครื่อง คือส่วนหนึ่งของการพัฒนาสมองกล (Artificial Intelligence) ที่มีส่วนช่วยให้สมองกล

สามารถเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ได้คล้ายมนุษย์ โดยการเรียนรู้ของเครื่องจะรับข้อมูลเข้าที่ใช้ในการตัดสินใจ และผลลัพธ์ที่ต้องการ จากนั้นการเรียนรู้ของเครื่องจะคำนวณแบบจำลอง ซึ่งอาจอยู่ในรูปของกฎ สมการ หรือ โครงสร้างข้อมูล ที่จะใช้ในการตัดสินใจเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องมากที่สุด

มีขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ของเครื่องที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายมากมาย เช่น ต้นไม้ตัดสินใจ การเรียนรู้แบบโครงข่ายประสาทเทียม หรือการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด k ตัว เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนวิธีการเรียนรู้ที่แตกต่างกันจะให้ผลลัพธ์ที่ต่างกัน และมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันไปในแต่ละปัญหาด้วย

3. วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 3 แผนภาพการทำงานของระบบระบุสัญญาณมือ

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้แบ่งขั้นตอนของระบบระบุสัญญาณมือไว้ 6 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการรับวิดีโอ ขั้นตอนการประมวลผลภาพ ขั้นตอนการสร้างรหัสลูกโซ่ ขั้นตอนการสกัดคุณสมบัติ ขั้นตอนการเรียนรู้ และขั้นตอนการประยุกต์ใช้งานระบบระบุสัญญาณมือ โดยแผนภาพการทำงานได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3

3.1 การรับวิดีโอ

ในส่วนของขั้นตอนการรับภาพวิดีโอจะใช้กล้องวิดีโอส่งสัญญาณภาพมาที่คอมพิวเตอร์ โดยให้ความละเอียดของภาพอยู่ที่ 1,280 x 720 พิกเซล ที่ 24 ภาพต่อวินาที จากนั้นระบบจะทำการแตกไฟล์ภาพวิดีโอให้กลายเป็นไฟล์ภาพ และส่งภาพต่อไป ผู้วิจัยเลือกกำหนดที่จะใช้เพียง 10 ภาพต่อวินาทีเพื่อไม่ให้ระบบใช้ทรัพยากรในการประมวลผลภาพมากเกินไป และยังรวดเร็วพอที่จะตอบสนองต่อระบบการระบุรูปแบบสัญญาณมือได้แบบเวลาจริง (Real Time)

ในขั้นตอนการรับภาพวิดีโอนี้ ผู้ใช้งานจะต้องแสดงสัญญาณมือภายในกรอบที่กำหนดเท่านั้น และตัวอย่างสำหรับภาพระบุมือได้แสดงไว้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ภาพที่ได้หลังจากการแตกไฟล์วิดีโอ

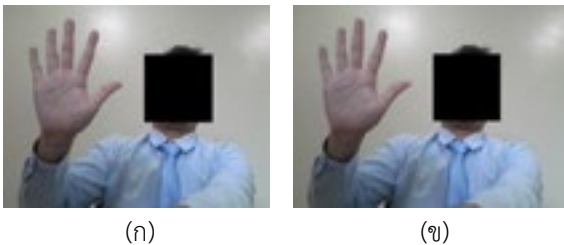
3.2 การประมวลผลภาพ

หลังจากที่ได้ไฟล์ภาพจำนวน 10 ภาพในทุก ๆ วินาทีจากขั้นตอนการรับวิดีโอ ภาพเหล่านั้นจะถูกดำเนินการประมวลผลต่อในขั้นตอนของการประมวลผล

ภาพ โดยแบ่งการประมวลผลภาพออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ภาพจะถูกลดขนาดด้วยเทคนิคการเปลี่ยนขนาดภาพโดยไม่สูญเสียอัตราส่วนเดิมของภาพ
2. ภาพจะถูกตัดกรอบให้เหลือเฉพาะส่วนที่กำหนดให้แสดงสัญญาณมือ
3. พื้นที่ของมือในภาพจะถูกตรวจจับและลบส่วนพื้นหลัง ออกด้วยเทคนิคการแบ่งส่วนด้วยสี (Background Segmentation)
4. ภาพจะถูกแปลงจากภาพสีเป็นภาพสีระดับเทา และภาพสีขาวดำตามลำดับ
5. ภาพจะถูกปรับปรุงด้วยเทคนิคการปรับปรุงภาพแบบตัวกรองค่าเฉลี่ย (Average Filter) และแบบตัวกรองมัธยฐาน (Median Filter)
6. หาเส้นขอบของภาพด้วยเทคนิคการตรวจจับเส้นขอบ (Edge detection)

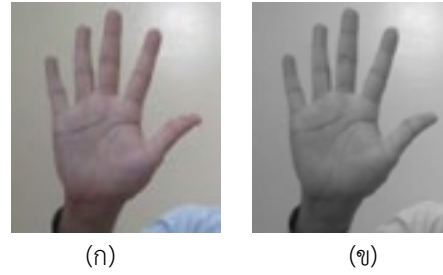
ตัวอย่างภาพจากขั้นตอนเหล่านี้แสดงในรูปที่ 5 – รูปที่ 8 จากนั้นภาพที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนการสร้างรหัสลูกโซ่ต่อไป



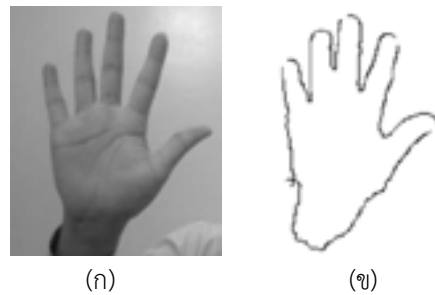
รูปที่ 5 (ก) ภาพต้นฉบับ (ข) ภาพที่ถูกลดขนาด



รูปที่ 6 (ก) ภาพที่ถูกลดขนาด (ข) ภาพที่ถูกตัดกรอบแล้ว



รูปที่ 7 (ก) ภาพที่ถูกตัดกรอบ (ข) ภาพสีระดับเทา

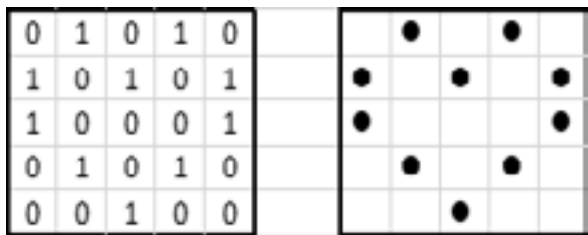


รูปที่ 8 (ก) ภาพสีระดับเทา (ข) ภาพเส้นขอบของมือ

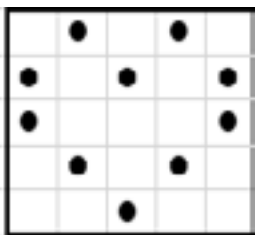
3.3 การสร้างรหัสลูกโซ่

ภาพที่ได้รับมาหลังจากหาเส้นขอบของมือแล้ว จะถูกแปลงเป็นชุดของตัวเลขรหัสลูกโซ่โดยมีขั้นตอนวิธี ดังนี้

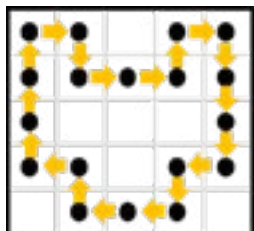
1. หาจุดมุมซ้ายบนสุดของภาพ
2. หาจุดถัดไปที่อยู่ติดกันกับจุดปัจจุบัน โดยปรกติแล้วเส้นขอบจะมีเพียง 2 จุดเท่านั้นที่ติดกับจุดปัจจุบัน ในงานวิจัยนี้ได้ทำการหาจุดถัดไปโดยดูในลักษณะ 8 ทิศทาง เช่น ถ้าจุดถัดไปอยู่ทางด้านขวาของจุดปัจจุบัน ให้แสดงผลเป็นเลข 0 ถ้าจุดถัดไปอยู่มุมขวาของจุดปัจจุบัน ให้แสดงผลเป็นเลข 7 เป็นต้น
3. เมื่อหาจุดถัดไปพบแล้ว ให้เลื่อนจุดปัจจุบันเป็นจุดถัดไป และลบจุดเดิมทิ้ง
4. ดำเนินการในข้อ 3 และ 4 ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่พบจุดถัดไป (จุดที่เคยผ่านจะถูกลบทิ้งไปแล้ว)



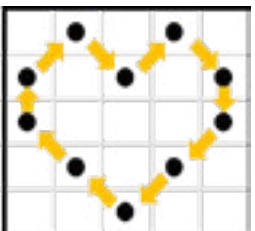
(ก)



(ข)



(ค)








(ง)

รูปที่ 9 ขั้นตอนวิธีการหารหัสลูกโซ่ (ก) ภาพขาวดำ (ข) ภาพเส้นขอบ (ค) เส้นแสดงการหารหัสลูกโซ่แบบวนตามเข็มนาฬิกาแบบ 4 ทิศทาง (ง) เส้นแสดงการหารหัสลูกโซ่แบบวนตามเข็มนาฬิกาแบบ 8 ทิศทาง

ตัวอย่างขั้นตอนการหารหัสลูกโซ่ ได้แสดงไว้ตามรูปที่ 9 ซึ่งสุดท้ายจะได้ผลลัพธ์การแปลงภาพเป็นรหัสลูกโซ่ที่ต้องการ ตัวอย่างของรหัสลูกโซ่ที่ได้ออกมาแสดงในตารางที่ 1

ค่าตัวเลขต่าง ๆ ที่ปรากฏในรหัสลูกโซ่จะช่วยในการระบุทิศทางของเส้นขอบในวัตถุที่เราสนใจ ซึ่งในที่นี้คือมือ และสามารถแยกแยะความแตกต่างของแต่ละท่าทางของมือจากรหัสลูกโซ่นี้ได้ เช่น หากมีการชูนิ้วขึ้นก็จะมีรหัสลูกโซ่ในทิศทางขึ้นมากกว่าการกำมือ หากทำการแบมือทั้ง 5 นิ้วก็ควรมีค่ารหัสลูกโซ่ในทิศทางขึ้นและลงมากกว่าการชูนิ้วมือ 1 นิ้ว หรือกล่าวในทางกลับกันก็คือการกำมือก็ควรมีค่าตัวเลขในทิศทางแนวนอนมากกว่าการแบมือออกทั้ง 5 นิ้ว และมากกว่าการชูนิ้วมือ 1 นิ้วเช่นกัน เป็นต้น ซึ่งชุดตัวเลขรหัสลูกโซ่ของภาพมือแต่ละภาพ จะถูกนำไปสกัดเป็นคุณสมบัติรหัสลูกโซ่ เพื่อใช้ในการเรียนรู้ของเครื่องในขั้นตอนถัด ๆ ไป

ตารางที่ 1 ตัวอย่างผลลัพธ์การแปลงภาพเป็นรหัสลูกโซ่

ตัวอย่างที่	ภาพเส้นขอบ	รหัสลูกโซ่
1		0007070777076000 7700076076000070 7770760000676555 656550076000...
2		0700000070000707 6767507667076007 6767677767677600 707077000000...
3		0707776767766676 7606666566655556 565556555656555 666567070755...
4		0070700700665656 5565456556566665 666675656665665 666656656666...
5		0777070007706770 0770006656666655 5556556655556705 556665656656...

3.4 การสกัดคุณสมบัติ

ขั้นตอนถัดไปการสกัดคุณสมบัติจากรหัสลูกโซ่ (Features extraction) เนื่องด้วยรหัสลูกโซ่ที่สร้างมาจากภาพเส้นขอบจะขนาดที่ไม่ได้เท่ากันส่งผลให้ไม่สามารถนำรหัสลูกโซ่มาใช้งานโดยตรงได้ ดังนั้นรหัสลูกโซ่จะถูกนำมาสกัดเป็นคุณสมบัติทั้งหมด 16 คุณสมบัติก่อนนำมาใช้ในการเรียนรู้เพื่อแยกแยะสัญญาณมือ ซึ่งได้แก่ จำนวนค่าแต่ละทิศทางตั้งแต่ทิศทางที่ 0 ถึงทิศทางที่ 7 จำนวน 8 คุณสมบัติ และจำนวนทิศทางเดียวกันที่ติดกันเยอะที่สุดตั้งแต่ทิศทางที่ 0 ถึงทิศทางที่ 7 อีก 8 คุณสมบัติ ซึ่งตัวอย่างค่าคุณสมบัติทั้ง 16 คุณสมบัตินี้ได้แสดงอยู่ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างค่าคุณสมบัติ

คุณสมบัติ ที่	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
1	125	257	182
2	250	172	241
3	623	527	599
4	289	278	255
5	112	199	170
6	385	321	288
7	712	558	652
8	298	322	348
9	8	13	7
10	4	5	4
11	17	9	15
12	6	6	4
13	21	62	53
14	8	12	13
15	16	11	12
16	9	8	11

3.5 การเรียนรู้

หลังจากได้ค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ทั้ง 16 ค่าจากคุณสมบัติรหัสลูกโซ่แล้ว ค่าทั้งหมดจะถูกส่งไปเรียนรู้ (Train) และทำการประเมิน (Validate) โดยใช้เทคนิคการประเมินแบบ 10-Folds Cross Validation ที่มีการแบ่งข้อมูลทั้งหมดออกเป็น 10 ส่วนเท่า ๆ กัน จากนั้นจะมีการเรียนรู้และทดสอบ 10 ครั้ง โดยในแต่ละครั้งจะเก็บข้อมูลหนึ่งส่วนไว้สำหรับประเมิน และใช้ข้อมูลอีก 9 ส่วนสำหรับการเรียนรู้ ผลัดกันไปจบครบ 10 รอบ

การเรียนรู้ของเครื่องที่ถูกนำมาใช้เรียนรู้ท่าทางจากคุณลักษณะลูกโซ่ เพื่อเปรียบเทียบความถูกต้องในการระบุรูปแบบสัญญาณมือได้แก่การเรียนรู้ทั้ง 4 แบบ ดังนี้

- การเรียนรู้ของเครื่องแบบโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) เป็นการเรียนรู้ของเครื่องที่มีแนวคิดในการจำลองหลักการทำงานของสมองมนุษย์ โดยการปรับน้ำหนักการตัดสินใจของสมการคำนวณตามข้อมูลขาเข้าที่ได้รับมา

- การเรียนรู้ของเครื่องแบบต้นไม้ตัดสินใจ (DT) จะเป็นการเรียนรู้ของเครื่องที่พยายามสร้างเงื่อนไขทางเลือกจากคุณสมบัติที่ได้รับเข้ามาเพื่อแยกแยะข้อมูลขาเข้าตามที่ได้ถูกฝึกสอน

- การเรียนรู้ของเครื่องแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน (SVM) ซึ่งเป็นการเรียนรู้ของเครื่องที่มีขั้นตอนวิธีในการพยายามสร้างเส้นแบ่งจากคุณสมบัติที่ได้รับ โดยพยายามให้ข้อมูลแต่กลุ่มอยู่ไกลกันที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นแบ่ง











- การเรียนรู้ของเครื่องแบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด k ตัว (KNN) ที่เป็นการเรียนรู้ของเครื่องที่ใช้ขั้นตอนวิธีในการหาข้อมูลที่มีค่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับข้อมูลที่ต้องการทดสอบมากที่สุดจำนวน k ตัว โดยข้อมูลทดสอบจะมีผลลัพธ์การจำแนกเป็นอย่างไรก็ขึ้นอยู่กับผลลัพธ์ส่วนใหญ่ของข้อมูลใกล้เคียงทั้งหมดนั้น

3.6 ระบบระบุสัญญาณมือ

หลังจากผ่านขั้นตอนการเรียนรู้ด้วยเทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 4 รูปแบบ ทำให้ได้มาซึ่งระบบระบุ

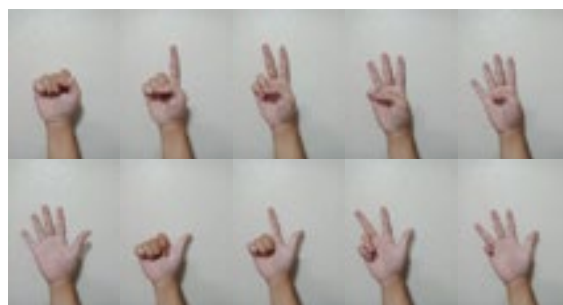
สัญญาณมือด้วยคุณสมบัติรหัสลูกโซ่ และตัวอย่างผลลัพธ์การระบุสัญญาณมือได้แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ตัวอย่างผลลัพธ์การระบุสัญญาณมือ

ลำดับ	ภาพขาวดำรูปฝ่ามือ	ผลลัพธ์การแยกแยะสัญญาณมือ
1		 Palm
2		 Index
3		 Index Mid
4		 Thumb Index Mid Ring
5		 Thumb

4. ผลการวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ออกแบบระบบระบุสัญญาณมือที่สามารถแยกแยะสัญญาณมือได้ 10 รูปแบบ โดยได้เก็บข้อมูลในลักษณะคลิปวิดีโอที่มีอัตราการถ่ายที่ 24 ภาพต่อวินาที ซึ่งจะใช้เวลาโดยเฉลี่ย 10 วินาทีต่อหนึ่งท่าสัญญาณมือ ดังนั้นโดยเฉลี่ย 1 ท่าสัญญาณ จะมีภาพข้อมูลสำหรับการเรียนรู้ของเครื่อง 240 ภาพ ท่าสัญญาณมือทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 สัญญาณมือทั้ง 10 รูปแบบ

หลังจากการนำข้อมูลไปเรียนรู้ และทดสอบด้วยการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 4 แบบตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น จึงได้ผลลัพธ์จากการทดสอบการแยกแยะสัญญาณมือทั้ง 10 แบบ รวมถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแยกแยะสัญญาณมือของแต่ละคุณสมบัติ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ของการทดสอบการเรียนรู้ (%)

การเรียนรู้	ค่าความถูกต้อง (%)		
	คุณสมบัติ 1 ถึง 8	คุณสมบัติ 9 ถึง 16	คุณสมบัติ 1 ถึง 16
ANN	91.00	84.50	93.25
DT	68.50	61.50	69.75
SVM	87.25	84.50	89.25
KNN	92.00	85.50	96.75
ค่าเฉลี่ย	84.69	79.00	87.25

จากตารางที่ 4 จะสังเกตได้ว่าจากค่าเฉลี่ยการใช้คุณสมบัติทั้งหมดตั้งแต่คุณสมบัติที่ 1 ถึง 16 จะให้ค่าความถูกต้องสูงสุด และค่าความถูกต้องสูงสุดอยู่ที่ 96.75% โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด k ตัว โดย k มีค่าเป็น 5 สำหรับสาเหตุที่ทำให้ยังคงมีความคลาดเคลื่อนในการจำแนกท่าทางอยู่บ้างนั้น เกิดจากขั้นตอนการประมวลผลภาพที่มีการแยกส่วนพื้นที่ของมือที่ไม่สมบูรณ์เนื่องมาจากแสงและเงา ส่งผลให้ภาพเส้นขอบที่จะถูกนำไปสกัดเป็นคุณสมบัติรหัสสีที่มีความผิดพลาดไปบ้าง จนนำไปสู่การสกัดค่าคุณลักษณะที่ผิดพลาด โดยปัญหาในลักษณะนี้ถือเป็นงานที่ทำหายสำหรับงานประมวลผลภาพ

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอเทคนิคการระบุสัญญาณมือด้วยคุณสมบัติรหัสสี ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ภายในบ้านได้ โดยเป็นวิธีการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าวิธีการหนึ่งที่มีความสะดวกสบาย เนื่องจากไม่ต้องมีการสัมผัสหรือใช้อุปกรณ์เสริมใด ๆ เพิ่มเติม

จากผลการทดสอบเห็นได้ว่าคุณสมบัติรหัสสีเป็นคุณสมบัติที่ใช้ระบุรูปแบบสัญญาณมือแบบหนึ่งที่มีประสิทธิภาพที่ดีในการจำแนกท่าทาง โดยการนำไปเรียนรู้และทดสอบผ่านการเรียนรู้ของเครื่องทั้ง 4 แบบ คือ โครงข่ายประสาทเทียม ต้นไม้ตัดสินใจ ซัพพอร์ตเวกเตอร์แมชชีน และเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด 5 ตัวนั้น พบว่าเทคนิคการระบุสัญญาณมือด้วยคุณสมบัติรหัสสีสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพกับการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด

เหตุที่การเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดได้ผลการทดสอบที่ดีกว่าเทคนิคอื่น เป็นเพราะเทคนิคนี้มีแนวคิดในการทำงานแบบเทียบความใกล้เคียงหรือความคล้ายคลึงกับข้อมูลต้นฉบับที่มีอยู่ จึงเหมาะกับงานที่สามารถแบ่งแยกข้อมูลได้ชัดเจน ดังเช่นท่าทางสัญญาณมือทั้ง 10 รูปแบบ ซึ่งการเรียนรู้แบบเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด 5 ตัวสามารถให้ค่าความถูกต้องสูงสุดถึง 96.75%

ในส่วนของการปรับปรุงเทคนิคในการระบุสัญญาณมือ เนื่องด้วยข้อจำกัดในเรื่องสีของมือและพื้นหลังทำให้ในบางกรณีไม่สามารถแบ่งส่วนพื้นที่กับมือได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งถือเป็นปัจจัยสำคัญในระบบระบุสัญญาณมือที่ใช้กล้องในการรับภาพเลยก็ว่าได้ ในงานวิจัยถัดไปจึงควรพัฒนาเทคนิคการประมวลผลภาพที่สามารถจัดการกับปัญหาแสงและเงาของมือและพื้นหลังเพิ่มเติม รวมทั้งประยุกต์ใช้รหัสสีเพื่อสกัดคุณลักษณะอื่น ๆ เพิ่มเติม และใช้การเรียนรู้ในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อหาการเรียนรู้ในรูปแบบที่ให้ค่าความถูกต้องสูงสุด

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา ภายใต้ชื่อทุนอุดหนุนวิจัย นวัตกรรม และผลงานสร้างสรรค์ สถาบันเทคโนโลยีจิตรลดา

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] James F Peters. 2017. *Foundations of Computer Vision Edition 1*. Springer International Publishing Switzerland.
- [2] Agnieszka LAWRYNOWICZ, and Volker TRESP. 2014. *Introducing Machine Learning. Perspectives on Ontology Learning* (pp.35-50).
- [3] Zhi-hua Chen, Jung-Tae Kim, Jianning Liang, Jing Zhang, and Yu-Bo Yuan. 2014. *Real-Time Hand Gesture Recognition Using Finger Segmentation*. The Scientific World Journal, vol. 2014, Article ID267872, 9 pages, 2014.
- [4] J ure Zupan. 1994. *Introduction to Artificial Neural Network (ANN) Methods: What They Are and How to Use Them*. Ac ta Chimica Slovenica 41/3/1994, pp. 327-352.

- [5] Lior Rokach, and Oded Maimon. 2005. *Decision Trees*. The Data Mining and knowledge Discovery Handbook (pp.165-192).
- [6] Mariette Awad, and Rahul Khanna. 2015. *Support Vector Machines for Classification*. Efficient Learning Machines (pp.39-66).
- [7] Shichao Zhang, Xuelong Li, Ming Zong, and Xiaofeng Zhu. 2017. *Learning k for kNN Classification*, ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology 8(3):1-19.
- [8] X. Meng, Jing Kin, and Y. Ding. 2012. *An extended HOG model: SCHOG for human hand detection*. 2012 International Conference on Systems and Informations (ICSAI2012).
- [9] Nor Amizam Jusoh, Hasni Mohamad Zain. 2009. *Application of Freeman Chain Codes: An Alternative Recognition Technique for Malaysian Car plates*. IKIP International College, Taman Gelora, 25000 Kuantan, Pahang, Malaysia, Faculty of Computer System & Software Engineering, University Malaysia Pahang.
- [10] Pulipati Annapurna, Sriraman Kothuri, and Srikanth Lukka. 2013. *Digit Recognition using Freeman Chain Code*. In Proceeding of International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management (IJAIEM).

การศึกษาผลกระทบของการอุดตันทางน้ำเข้าสู่ระบบระบายน้ำฝน

An impact study of inlet clogging on stormwater drainage system

พงศ์พันธุ์ กาญจนการุณ^{1*}, เบญญา สุนทรานนท์² และสุรชัย อำนวยพรเลิศ¹

Pongpan Kanjanakaroon^{1*}, Benya Suntaranon² and Surachai Amnouyponler¹

¹มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่เชียงใหม่ 99 ถนนพหลโยธิน ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงใหม่ 57120

²มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ตาก 41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก 63000

¹Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai: 99 Paholayothin road, Sai Khao, Pan, Chiang Rai, 57120

²Rajamangala University of Technology Lanna Tak: 41/1 moo 7 Paholayothin road, Mai Ngam, Muang, Tak, 63000

*pongpank@gmail.com, +668-1345-2250

บทคัดย่อ

ทางน้ำเข้าในระบบระบายน้ำฝนมีหน้าที่สำคัญในการรับน้ำจากพื้นที่ลุ่มสู่ท่อระบายน้ำ บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบระบายน้ำเมื่อมีการอุดตันทางน้ำเข้า ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นโดยใช้โดยแบบจำลองวิเคราะห์พายุฝนกับสุขาภิบาลกับระบบระบายน้ำหมู่บ้านจัดสรรที่ออกแบบโดยวิธีหลักเหตุและผลที่ฝนรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี เลือกลักษณะทางน้ำเข้าแบบตะแกรง และกำหนดค่าการอุดตันทางน้ำร้อยละ 10-90 ของพื้นที่ตะแกรง ผลการศึกษาพบว่า การอุดตันทางน้ำเข้าไม่ส่งผลกระทบต่อการระบายน้ำโดยท่อระบาย แต่ส่งผลกระทบต่อความถี่ของน้ำท่วมขังบนพื้นที่ถนน โดยที่ค่าการอุดตันมากกว่าร้อยละ 80 จะทำให้ระดับน้ำในท่อระบายน้ำลดลง และขังอยู่บนถนนเป็นจำนวนมากแทน และเมื่อพิจารณาผลกระทบความปลอดภัยบนท้องถนนจากการเห็นน้ำเนื่องจากถนนลื่น ควรระวังการอุดตันทางน้ำเข้าโดยไม่ให้เกินร้อยละ 50

คำสำคัญ: ทางน้ำเข้า ระบบระบายน้ำฝน ปัจจัยอุดตัน การเห็นน้ำ

Abstract

The inlet of the rainfall draining system is a vital section gaining overflow rainfall into a draining system. The aim of this article is to propose the impact of inlet clogging on stormwater drainage system. The Storm and Sanitary Analysis Model was applied to the drainage system of a housing estate. The drainage system of this housing estate was designed using Rational method with five years return period rainfall. The inlet of the drainage system is a grating filter. The percentage of the grating filter area, 10%-90% of the drainage congestion criteria, was defined. The research found that the drainage inlet's congestion was not directly impacting the drainage system but on flooding in the housing estate roads. Eighty percent of the drainage congestion decreases drainage capacity that may be the leading cause of road accidents. The percentage of drainage congestion should not exceed 50%.

Keywords: Inlet, Stormwater drainage system, Clogging factor, Hydroplane

1. บทนำ

ทางน้ำเข้ามีความสำคัญต่อการระบายน้ำเป็นอย่างยิ่ง โดยจะทำหน้าที่ในการรับน้ำจากพื้นที่รับน้ำฝนลงสู่ระบบระบายน้ำ ในการออกแบบระบบระบายน้ำส่วนใหญ่ของพื้นที่จัดสรรมักไม่มีข้อกำหนดการออกแบบเรื่องช่องทางน้ำเข้าอย่างชัดเจน แต่สำหรับการออกแบบระบบระบายน้ำของถนน จะมีการคำนวณเฉพาะปริมาณน้ำที่ทางน้ำเข้าแบบต่าง ๆ สามารถรับได้ตลอดจนระยะห่างของทางน้ำเข้าที่เหมาะสม แต่ไม่มีการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อทางน้ำเข้าเกิดการอุดตัน อาทิเช่น คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง (กรมทางหลวง, 2554), Comport et al (2009) และ Guo & MacKenzie (2012) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของทางน้ำเข้าระบบระบายน้ำของถนนและพบว่าปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการระบายน้ำประกอบด้วยรูปแบบของตะแกรงและสภาพแวดล้อมภายนอกของทางน้ำเข้า, Brown et al (2009) ได้รวบรวมสมการการทดลองที่ใช้ประเมินภาวะทางชลศาสตร์ของทางน้ำเข้ารูปแบบต่าง ๆ

ทั้งนี้ การศึกษาเกี่ยวกับการอุดตันในระบบระบายน้ำในต่างประเทศจะเน้นเกี่ยวกับการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพที่ลดลงของทางน้ำเข้ารูปแบบต่าง ๆ เช่น Veerappan & Le (2016) ได้ทำการหาประสิทธิภาพทางชลศาสตร์ของทางน้ำเข้า 3 แบบในประเทศสิงคโปร์ภายใต้การเปลี่ยนแปลงของความลาดชันของถนนตามยาวและตามขวาง ตลอดจนผลกระทบของความเข้มฝนและปัจจัยอุดตันทางน้ำ Fathy et al (2020) ได้นำเสนอผลกระทบด้านลบจากการทดลองการอุดตันของทางน้ำเข้าโดยพบว่าประสิทธิภาพของอัตราการไหลลดลงตามปริมาณการอุดตันทางน้ำเข้า อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวอย่างชัดเจน อีกทั้งการวิจัยการอุดตันทางน้ำเข้าที่ผ่านมาเป็นในรูปแบบของการวิเคราะห์เฉพาะตำแหน่ง มิได้มีการศึกษาผลกระทบโดยรวมของระบบระบายน้ำ ดังนั้นบทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบระบายน้ำเมื่อทางน้ำเข้ามีการอุดตันที่ปริมาณแตกต่างกันในการศึกษาครั้งนี้จะเลือกใช้ผลการออกแบบระบบระบายน้ำสำหรับหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่งในจังหวัดลพบุรีของ พงศ์พันธ์ และคณะ (2563) ทำการวิเคราะห์ปัจจัยการอุดตันทางน้ำเข้าด้วยโปรแกรม Storm and sanitary analysis (SSA) ซึ่งพัฒนา

โดยบริษัท Autodesk ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะบอกให้รู้ถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อระบบระบายน้ำตลอดจนเป็นแนวทางในการจัดการความปลอดภัยบนพื้นถนน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบระบบระบายน้ำคือการหาขนาดของท่อและความลาดชันที่สามารถรับปริมาณน้ำท่าจากน้ำฝนที่ตกลงมา สำนักการระบายน้ำ (2535) และสำนักมาตรฐานการบริหารงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (2555) ได้กำหนดให้คำนวณหาปริมาณน้ำที่ต้องระบายจากฝนที่ตกลงมาด้วยวิธีหลักเหตุและผลสำหรับพื้นที่ระบายน้ำที่มีขนาดไม่เกิน 25 ตารางกิโลเมตร ขนาดของท่อและความลาดชันสามารถหาได้ด้วยสมการการไหลในทางน้ำเปิดโดยนำอัตราการไหลที่ได้จากวิธีหลักเหตุและผลมาคำนวณ โปรแกรม Storm and sanitary analysis สามารถทำการวิเคราะห์โดยใช้หลักการดังกล่าวและยังสามารถทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในท่อตามเวลาอีกด้วย

2.1 วิธีหลักเหตุและผล (Rational method)

ในการคำนวณปริมาณน้ำท่าผิวดินในพื้นที่การระบายน้ำใดๆ เพื่อออกแบบขนาดท่อระบายน้ำให้มีความจุเพียงพอ นั้นค่าที่ได้จะเป็นอัตราการไหลสูงสุดที่ไหลผ่านท่อ และคำนวณโดยใช้วิธีหลักเหตุผล (Rational method) ดังนี้

$$Q_R = \frac{I \Sigma(C_i A_i)}{3.6} \quad (1)$$

เมื่อ Q_R คือ อัตราการไหลของน้ำฝน, ลบ.ม.ต่อวินาที

I คือ ความเข้มฝน, มม./ชม.

C_i คือ สัมประสิทธิ์น้ำท่าของพื้นที่ย่อย i

A_i คือ พื้นที่ลุ่มน้ำย่อย i , ตร.กม.

2.2 การไหลในท่อ

การไหลในท่อระบายน้ำจะพิจารณาเป็นการไหลในทางน้ำเปิด แสดงได้ดังสมการ

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad (2)$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลสูงสุดที่ผ่านท่อ, ลบ.ม./ว.

n = สัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง และสำหรับท่อคอนกรีตจะใช้ค่าเท่ากับ 0.017

R = รัศมีไฮดรอลิก (Hydraulic Radius), ม.

$$= A/P$$

A = พื้นที่หน้าตัดของท่อหรือทางน้ำไหล, ตร.ม.

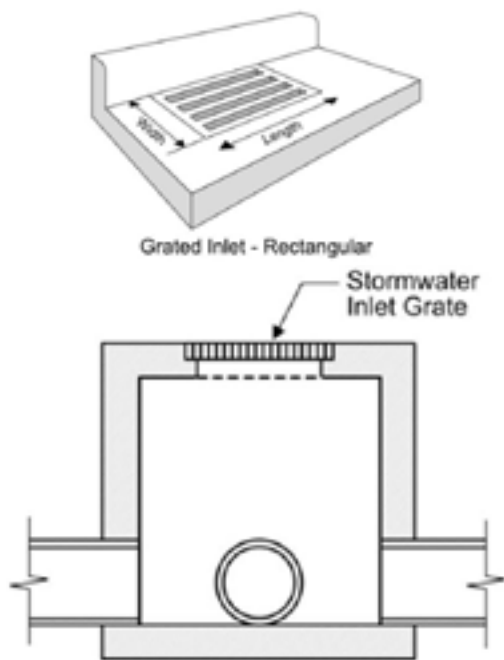
P = เส้นขอบเปียก, ม.

S = ความลาดชันท่อออกแบบ

โดยปกติในการคำนวณทั่วไปจะพิจารณาการไหลเป็นแบบสม่ำเสมอ (Uniform flow) แต่ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SSA จะพิจารณาเป็นการไหลไม่สม่ำเสมอและคงที่ (Steady and Non-uniform flow) สำหรับการไหลหลากในท่อจะใช้วิธี Hydrodynamic ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในท่อตามเวลา

2.3 ทางน้ำเข้าระบบระบายน้ำ

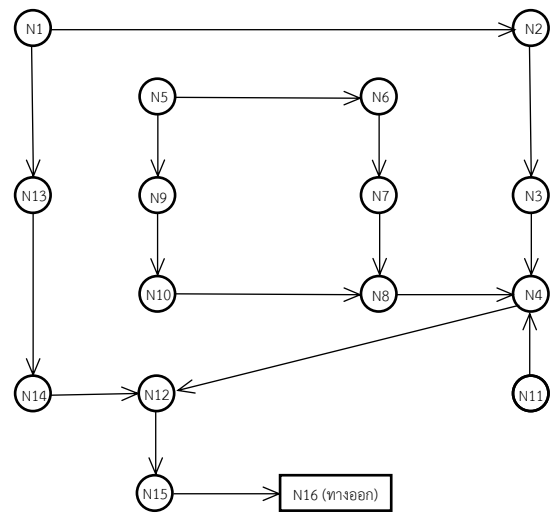
หน้าที่หลักของทางน้ำเข้าระบบระบายน้ำคือการนำน้ำผิวดินจากฝนที่ตกในพื้นที่รับน้ำลงสู่ท่อระบายน้ำในระบบ หน้าที่รองคือเป็นตำแหน่งในการบำรุงดูแลการอุดตันในเส้นทาง รูปแบบของทางน้ำเข้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงได้ดังรูปที่ 1 โดยรับน้ำจากตะแกรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่อยู่บนผิวดินลงสู่ท่อระบาย



รูปที่ 1 ลักษณะของทางน้ำเข้าที่ใช้ในโครงการ

2.4 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ออกแบบเลือกใช้ผังหมู่บ้านจัดสรรแห่งหนึ่งในจังหวัดลพบุรี ขนาด 23,464 ตร.ม. กำหนดบ่อพักน้ำ (Manhole) ไว้ 16 ตำแหน่ง แสดงแผนผังเส้นทางไหลได้ดังรูปที่ 2 โดยในระหว่างบ่อพักน้ำแต่ละจุดจะมีทางน้ำเข้าอยู่ภายในมีระยะห่างระหว่างทางน้ำเข้าไม่เกิน 15 เมตร



รูปที่ 2 ผังเส้นทางระบายน้ำในโครงการ

2.5 ข้อกำหนดต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบ

2.5.1 ความเข้มฝนออกแบบ

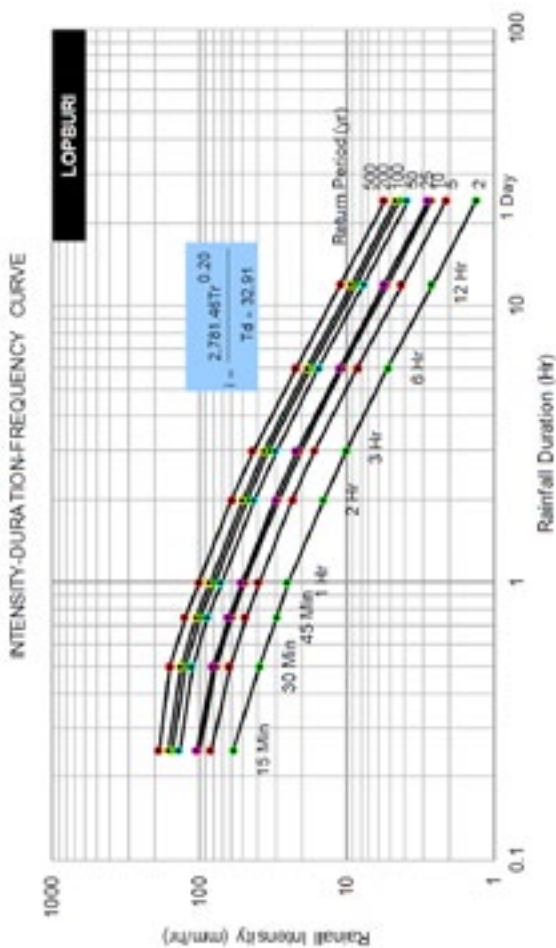
ความเข้มฝนที่ใช้ในการออกแบบได้จากการศึกษาของอารีญา ฤทธิมา และคณะ (2556) ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์การแจกแจงความถี่ของอนุกรมเวลาฝนสูงสุดรายปี แสดงได้ดังรูปที่ 3 และสมการที่ 3 ทั้งนี้ในการศึกษาจะเลือกใช้ความเข้มฝนที่รอบปีการเกิดซ้ำ 5

$$I = \frac{2,781.46Tr^{0.2}}{T_c + 32.91} \quad (3)$$

เมื่อ I คือ ความเข้มฝน, มม./ชม.

Tr คือ รอบปีการเกิดซ้ำที่พิจารณา, ปี

T_c คือ เวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า, นาที



รูปที่ 3 กราฟความเข้มฝน-ช่วงเวลา-รอบปีการเกิดซ้ำ จังหวัดลพบุรี

ที่มา: อารียา ฤทธิมา และคณะ (2556)

2.5.2 สัมประสิทธิ์การไหล

สัมประสิทธิ์การไหลใช้ตามค่ากำหนดของสำนักมาตรฐานการบริหารงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (2555) แสดงได้ดังตารางที่ 1

2.5.3 เวลาการรวมตัวของน้ำท่า

เวลาในการรวมตัวของน้ำท่า พิจารณาจากเวลาที่น้ำจากทุกตำแหน่งในพื้นที่ระบายน้ำออกแบบไหลมาถึงจุดทางออก ซึ่งจะประกอบด้วยเวลาการไหลเข้าเริ่มต้นรวมกับเวลาที่น้ำใช้เดินทางในท่อจากทางเข้าถึงจุดทางออกที่พิจารณา แสดงได้ดังสมการ

$$T_c = T_0 + T_t \quad (4)$$

ตารางที่ 1 สัมประสิทธิ์การไหลตามลักษณะพื้นที่ใช้สอย

ลักษณะการใช้พื้นที่	ค่าสัมประสิทธิ์ไหลนอง (C)	ค่าที่ใช้
1. หลายครอบครัวติดกัน	0.60-0.75	0.60
2. สวนสาธารณะ / สนามหญ้า	0.10-0.25	0.20
3. ที่จอดรถ ค.ส.ล. / สนามกีฬาผิวทึบน้ำ / ถนน	0.85-0.95	0.90

ที่มา: สำนักมาตรฐานการบริหารงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (2555)

เมื่อ T_c คือ เวลาการไหลรวมตัวของน้ำท่า, นาที

T_0 คือ เวลาการไหลเข้าเริ่มต้น, นาที

T_t คือ เวลาที่น้ำใช้เดินทางในท่อ, นาที

ค่าของ T_t จะพิจารณาจากระยะทางที่น้ำใช้เดินทางในท่อหารด้วยความเร็วของน้ำในท่อ แต่สำหรับ T_0 จะเลือกใช้ตามการแนะนำของสำนักมาตรฐานการบริหารงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (2555) สำหรับพื้นที่มีการพัฒนาและภูมิประเทศค่อนข้างราบเรียบ โดยเลือกใช้เท่ากับ 15 นาที

2.5.4 อัตราการไหลเพิ่มเติม

ในการออกแบบระบบระบายน้ำ นอกจากอัตราการไหลจากน้ำฝนแล้ว ยังรวมถึงอัตราการไหลจากน้ำเสียและอัตราการไหลซึมเข้าสู่ท่อด้วย โดยเลือกใช้ตามข้อกำหนดเกี่ยวกับการจัดสรรที่ดินเพื่อที่อยู่อาศัยและพาณิชยกรรมกรุงเทพมหานคร พ.ศ. 2550 โดยกำหนดให้อัตราการไหลซึมไม่ต่ำกว่า 1 ลบ.ม.ต่อวันต่อครัวเรือน และอัตราการไหลซึมไม่ต่ำกว่า 20 ลบ.ม./วัน/กิโลเมตร

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การจัดเตรียมข้อมูล

ประกอบด้วยการจัดหาหรือกำหนดข้อมูลพื้นฐานของสภาพพื้นที่ระบายน้ำ ตำแหน่งการระบายน้ำออก ทางระบายน้ำสาธารณะ ขนาดพื้นที่ใช้สอยแยกตามประเภทหรือลักษณะสิ่งก่อสร้าง แบบภูมิประเทศตลอดจนค่าระดับพื้นที่

3.2 การวางแผนทางการระบายน้ำ

ในขั้นตอนนี้จะทำการวางแผนกำหนดทิศทางการระบายน้ำ เริ่มต้นจากการเลือกทางออกของการระบายน้ำสายหลักและสายรอง ทำการแบ่งพื้นที่โครงการออกเป็นพื้นที่ย่อย ๆ ให้สัมพันธ์กับการระบายน้ำในท่อสายต่าง ๆ จากนั้นกำหนดจุดเชื่อมต่อระหว่างท่อระบายน้ำสายหลักกับท่อระบายน้ำสายรองให้สัมพันธ์กับการต่อเชื่อมและขนาดพื้นที่ที่ระบายน้ำ โดยผังการออกแบบระบบระบายน้ำของงานวิจัยนี้แสดงได้ดังรูปที่ 2

3.3 การวิเคราะห์ระบบระบายน้ำด้วยการคำนวณ

จากข้อมูลต่าง ๆ ในข้อ 3.1 และ 3.2 จะทำการคำนวณเพื่อหาอัตราการไหลในจุดเชื่อมต่อแต่ละจุดของรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปี ทำการกำหนดความลาดชันของท่อและหาขนาดของท่อที่เหมาะสมออกมา จากนั้นทำการตรวจสอบความเร็วการไหลจริงในท่อเป็นลำดับสุดท้าย

3.4 การวิเคราะห์ระบบระบายน้ำด้วยโปรแกรม

ในการวิเคราะห์ระบบระบายน้ำด้วยโปรแกรม ต้องทำการตรวจสอบความถูกต้องของการคำนวณในโปรแกรมเสียก่อน ค่าอัตราการไหลที่ได้จากการคำนวณในข้อ 3.3 จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลที่ได้จากโปรแกรมภายใต้คุณสมบัติพื้นฐานการออกแบบที่เหมือนกัน เช่น ความลาดชันท่อ ลักษณะการใช้พื้นที่ ค่าสัมประสิทธิ์การไหล หากค่าอัตราการไหลที่ได้จากทั้งสองวิธีแตกต่างกัน จะต้องทวนซ้ำการออกแบบและตรวจสอบการป้อนค่าในโปรแกรมให้ถูกต้องจนกว่าค่าอัตราการไหลที่ได้จากทั้งสองวิธีใกล้เคียงกัน

3.5 การวิเคราะห์ผลกระทบเมื่อทางน้ำเข้ามีการอุดตัน

เมื่อทำการเปรียบเทียบโปรแกรมแล้ว จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อทางน้ำเข้ามีการอุดตัน โดยทำการปรับเปลี่ยนร้อยละของการอุดตัน (Clogging factor) ของตะแกรงทางเข้า กำหนดให้เกิดการอุดตันที่ร้อยละ 10, 30, 50, 80 และ 90 จากนั้นทำการวิเคราะห์การไหลของระบบระบายน้ำในแต่ละการอุดตัน ประกอบด้วยระดับน้ำในเส้นท่อ ระดับน้ำเหนือผิวดิน และการกระจายของน้ำตามแนวถนน

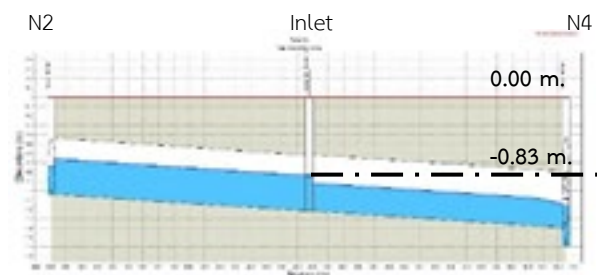
4. ผลการวิจัย

ผลการเปรียบเทียบระบบระบายน้ำได้ผลสอดคล้องระหว่างการคำนวณและโปรแกรมเป็นอย่างดี โดยสามารถดู

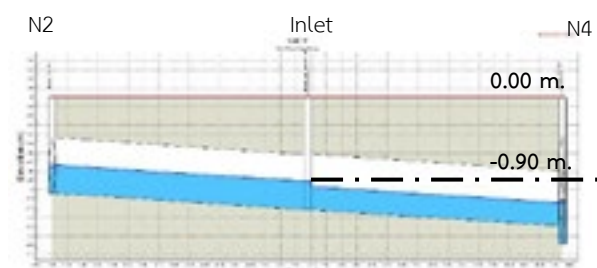
รายละเอียดได้จาก พงศพัทธ์ และคณะ (2563) ดังนั้นผลการวิจัยในหัวข้อนี้จะนำเสนอเฉพาะผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการอุดตันทางน้ำเข้า มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลกระทบต่อความสามารถในการรับอัตราการไหลในท่อ

ความสามารถในการรับอัตราการไหลในท่อประเมินได้จากค่าระดับน้ำในท่อ รูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในท่อเมื่อร้อยละของการอุดตันเพิ่มขึ้นในเส้นท่อ N2-N4 โดยจะเห็นได้ว่า เมื่อไม่มีการอุดตันในเส้นท่อ ระดับน้ำที่จุดสังเกตการณ์ (ตำแหน่ง Inlet) จะมีค่าระดับน้ำอยู่ที่ -0.83 เมตรจากผิวดิน แต่เมื่อเกิดการอุดตันร้อยละ 90 พบว่า ค่าระดับน้ำในเส้นท่อจะลดลงจากเดิมเป็น -0.90 เมตรจากระดับผิวดิน ผลกระทบลักษณะดังกล่าวจะคล้ายกันในทุกเส้นท่อที่มีการอุดตันของทางน้ำ หากพิจารณาที่อัตราการไหลในเส้นท่อ พบว่าที่ระดับการอุดตันสูง ค่าระดับน้ำในเส้นท่อลดลงแสดงว่า ท่อช่วงดังกล่าวสามารถรับอัตราการไหลที่มากขึ้นจากท่อด้านเหนือน้ำได้ อย่างไรก็ตาม ระดับน้ำในท่อที่ลดลงเมื่อร้อยละของการอุดตันเพิ่มขึ้นจะบ่งชี้ให้เห็นว่า ระบบระบายน้ำรับอัตราการไหลเข้าท่อน้อยกว่าปริมาณน้ำทำออกแบบ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวไม่ใช่ปรากฏการณ์ที่ดีเนื่องจากปริมาณน้ำที่หายไปเกิดการขังอยู่บนผิวถนนดังรายละเอียดหัวข้อถัดไป



ก) การอุดตันร้อยละ 0



ข) การอุดตันร้อยละ 90

รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในท่อที่การอุดตันร้อยละ 0 และร้อยละ 90

4.2 ผลกระทบต่อระดับความลึกเหนือผิวดิน

ความลึกของระดับน้ำเหนือผิวดินแสดงได้ดังตารางที่ 2 โดยพบว่าที่ค่าการอุดตันที่มาก ค่าระดับน้ำที่ขังเหนือผิวดินจะมีความลึกสูงและมีการกระจายน้ำไปด้านข้างเป็นบริเวณกว้าง และจะเห็นได้ว่าที่ระดับการอุดตันต่ำ ค่าระดับการท่วมขังจะใกล้เคียงกัน แต่การกระจายของน้ำในแนวราบจะมากขึ้นตลอดเส้นทางถนน

ตารางที่ 2 ค่าระดับการท่วมขังเหนือผิวดินที่ค่าการอุดตันต่าง ๆ

ร้อยละการอุดตัน	ค่าระดับน้ำท่วมขัง (เมตร)	การกระจายของน้ำในแนวราบ (เมตร)
0	0.01	0.26
10	0.01	0.28
30	0.01	0.33
50	0.01	0.40
80	0.02	0.68
90	0.04	1.84

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลการจำลองในหัวข้อ 4.1 และ 4.2 บ่งชี้ให้เห็นว่าการเกิดการอุดตันในบริเวณทางเข้าไม่ส่งผลต่อการลดประสิทธิภาพการระบายน้ำ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Veerappan & Le (2016) ที่พบว่าประสิทธิภาพพลศาสตร์ของทางน้ำเข้าลดลงไม่เกินร้อยละ 3 ต่อการอุดตันตั้งแต่ร้อยละ 0-100 อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการอุดตันทางเข้าจะส่งผลต่อการท่วมขังบนผิวดินแทน ถึงแม้ว่าระดับการท่วมขังในสภาวะเกิดการอุดตันไม่เกินร้อยละ 80 จะมีความลึกการท่วมขังที่ 1 เซนติเมตร แต่การกระจายของน้ำท่วมขังจากขอบทางจะมากขึ้นและครอบคลุมถึงบริเวณถนนหลัก หากพิจารณาที่ความปลอดภัยของถนนจากเหตุการณ์เห็นน้ำ (Hydroplane) ประกอบกับขอบทางของถนนในหมู่บ้านจัดสรรที่เลือกใช้ออกแบบไม่เกิน 0.30 เมตร จึงไม่ควรปล่อยให้เกิดการอุดตันเกินกว่าร้อยละ 50 ของพื้นที่ตะแกรงเพื่อความปลอดภัยในการขับขี่โดยเฉพาะรถมอเตอร์ไซด์

สรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อทางน้ำเข้าในระบบระบายน้ำเกิดการอุดตัน ทำการศึกษาการระบายน้ำในเงื่อนไขการอุดตันที่แตกต่างกันโดยแบบจำลองวิเคราะห์พายุฝนกับสุขาภิบาล เลือกใช้วิธีหลักเหตุและผลกับฝนรอบปีการเกิดซ้ำ 5 ปีในการออกแบบ เลือกลักษณะทางน้ำเข้าแบบตะแกรง และกำหนดค่าการอุดตันทางน้ำร้อยละ 10-90 ของพื้นที่ตะแกรง ผลการศึกษาพบว่า การอุดตันทางน้ำเข้าไม่ส่งผลต่อการระบายน้ำโดยท่อระบาย แต่ส่งผลกระทบต่อท่วมขังบนพื้นที่ถนน โดยที่ค่าการอุดตันมากกว่าร้อยละ 80 จะทำให้ระดับน้ำในท่อระบายน้ำลดลงและขังอยู่บนถนนเป็นจำนวนมากแทน และเมื่อพิจารณาผลกระทบความปลอดภัยบนท้องถนนจากการเห็นน้ำเนื่องจากถนนลื่น ควรระวังการอุดตันทางน้ำเข้าโดยไม่ให้เกินร้อยละ 50

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ฟินิกซ์ อินสเปคเตอร์ ดีไซน์ คอนซัลแตนท์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลในการศึกษา และขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่อุดหนุนทุนในการนำเสนอผลงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง. (2554). คู่มือการออกแบบระบบระบายน้ำและป้องกันการกัดเซาะในงานทางหลวง. กรุงเทพมหานคร: สำนักสำรวจและออกแบบ กรมทางหลวง.
- พงศ์พันธุ์ กาญจนการุณ, สุรัชย์ อำนวยพรเลิศ, มงคลกร ศรีวิชัย และรมิดา ประสิทธิ์วงษ์. (2563). การศึกษาระบบระบายน้ำโดยโปรแกรม Storm and Sanitary Analysis. ใน การประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 6, ระหว่างวันที่ 2 - 3 กันยายน 2563 ผ่านระบบออนไลน์.
- สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร. (2535). การออกแบบระบบระบายน้ำตามมาตรฐานของ กทม สำหรับพื้นที่โครงการขนาดเล็ก ในระดับชุมชนหมู่บ้านจัดสรร. กรุงเทพมหานคร: สำนักการระบายน้ำ.

- สำนักมาตรฐานการบริหารงานองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น.
(2555). *มาตรฐานทางระบายนํ้า*. กรุงเทพมหานคร: กรมส่งเสริมการปกครองส่วนท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย.
- อารียา ฤทธิมา, คุณากร เปี่ยมฟ้า, ณีภุชงค์ อุไทย และอรรรคเดช จันทรมานะ. (2556). การปรับปรุงการวิเคราะห์ฝน ออกแบบของพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลาง. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา*, 24(4). 28-38.
- Brown, S.A., Schall, J.D., Morris, J.L., Doherty, C.L., Stein, S.M. & Warner, J.C. (2009). Urban drainage design manual, Hydraulic Engineering Circular No. 22, Third Edition. Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington DC.
- Comport, C., Thornton, I. & Cox, L. (2009). Hydraulic efficiency of grate and curb inlets for urban storm drainage, prepared for The Urban Drainage and Flood Control District.
- Fathy, I., Abdel-Aal, G. M., Fahmy, M. R., Fathy, A., & Zeleňáková, M. (2020). The negative impact of blockage on storm water drainage network. *Water*, 12(7), 1974.
- Guo, J.C.Y. & MacKenzie, K. (2012). Hydraulic efficiency of grate and curb-opening inlets under clogging effect, prepared in cooperation with the US Department of Transport, Federal Highway Administration.
- Veerappan, R., & Le, J. (2016). Hydraulic efficiency of road drainage inlets for storm drainage system under clogging effect. In Proceedings of the Proc. 5th International Conference on Flood Risk Management and Response, San Servolo, Italy (pp. 271-281).

การวิเคราะห์ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบบำบัดน้ำเสีย : กรณีศึกษา โรงงานชุบโลหะสังกะสี

Life Cycle Assessment of Wastewater Treatment Plant: A Case Study of Galvanized Factory

อันวา ดอเลาะห์ ภาณุวัฒน์ อูสาห์เพียร* และ ปรานค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ
Anwar Do-Loh, Parnuwat Usapein*, and Prangtip Rittichote Kaewpengkrow

วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑล สาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170

Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin

96 Moo 3 Phutthamonthon Sai 5 Road, Salaya, Phutthamonthon, Nakhon Pathom 73170

*Parnuwat.usa@rmutr.ac.th, 084-1457026

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากร สารเคมี และพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยน้ำเสีย นำไปสู่การบ่งชี้กิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุด (Hotspot) ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบสังกะสี และ (2) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบสังกะสี

การศึกษานี้มีข้อมูลที่ได้รับรวบรวมได้มาจากสามแหล่งหลักๆ ได้แก่ (1) จากการตรวจวัดจริง (2) จากการคำนวณทางวิศวกรรม และ (3) จากการอ้างอิงฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ สารเคมี และพลังงานที่ใช้ เก็บรวบรวมจากโรงงานกรณีศึกษา หน่วยเทียบที่ใช้ในการศึกษา คือ ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด 1 ลูกบาศก์เมตร การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมใช้วิธี ILCD 2011 โดยพิจารณาเฉพาะ 5 ผลกระทบหลัก ได้แก่ ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง) ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ความพิษต่อน้ำ และการลดลงของแหล่งทรัพยากร

ผลการวิจัย พบว่า การกำจัดตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (47.56 Pt หรือ 90.03%) รองลงมา ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (2.98 Pt หรือ 5.65%) อลูมิเนียมซัลเฟต (1.67 Pt หรือ 3.17%) และการใช้ไฟฟ้า (0.61 Pt หรือ 1.15%) ดังนั้น การควบคุมและลดปริมาณการเกิดกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย ควรพิจารณาเป็นลำดับแรก ซึ่งจะส่งผลให้ภาพรวมของผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ผลที่นำเสนอในการศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางสำหรับวิศวกรสิ่งแวดล้อม หรือผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับทำความเข้าใจแหล่งที่มาของมลพิษแต่ละประเภท ช่วยให้สามารถพัฒนากลยุทธ์ในการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากระบบการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบสังกะสีได้ในอนาคต

คำสำคัญ: การประเมินวัฏจักรชีวิต ระบบบำบัดน้ำเสีย โรงชุบสังกะสี

Abstract

The purpose of this research was to quantify the rate of chemical and energy consumptions per 1 cubic meter of wastewater treatment, which leads to the identifying hotspot of environmental impact from wastewater treatment system in the galvanizing plant. In addition, the other impacts from wastewater treatment systems were also studied.

In this study, the data was gathered from three main sources: (1) actual measurements; (2) engineering calculations; and (3) reliable database references. Data related to the quantity of raw material, chemicals and energy consumptions was collected from the factory case study. 1 cubic meter of wastewater

treated was used as a functional unit. The environmental impact assessment was performed using the ILCD 2011 methodology, considering only five main impacts: human toxicity (cancer effects), human toxicity (non-cancer effects), climate change, freshwater ecotoxicity, and resource depletion.

The result indicated that sludge disposal was the hotspot of environmental impact (47.56 Pt or 90.03%), followed by sodium hydroxide (2.98 Pt or 5.65%), aluminum sulfate (1.67 Pt or 3.17%), and electricity (0.61 Pt or 1.15%), respectively. Therefore, the control and reduction of sludge generation in the wastewater treatment system should be considered first, which will significantly reduce the overall environmental impact. The result presented in this study can be served as a guideline for environmental engineers or those involved in understanding the source of each type of pollutants. Besides, it can develop to be the strategy for mitigating environmental impacts from the galvanized factory in the future.

Keywords: Life Cycle Assessment; Wastewater treatment plant; Galvanized factory

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าเหล็ก และเหล็กกล้าเกิดสนิมได้ง่ายหากวางทิ้งไว้ในบรรยากาศ สนิมเป็นออกไซด์ของเหล็กที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างออกซิเจน กับเนื้อเหล็ก ดังนั้นวิธีหนึ่งที่ใช้ป้องกันเหล็กไม่ให้เกิดสนิม คือ การเคลือบสารปิดทับผิวเหล็กไว้ สารเคลือบที่ใช้มีด้วยกันหลายชนิด สังกะสีก็เป็นโลหะชนิดหนึ่งนิยมนำมาเคลือบเหล็กที่ได้จากการชุบเคลือบสังกะสี เรียกว่า เหล็กกล้าชุบเคลือบสังกะสี (Galvanized steel)

การชุบเคลือบสังกะสีมีด้วยกันหลายวิธี เช่น การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Hot dip galvanizing) การเคลือบสังกะสีด้วยไฟฟ้า (Electro-galvanizing) การเคลือบด้วยวิธีทางกล (Mechanical coatings) การพ่นเคลือบด้วยเปลวความร้อน (Zinc spraying) การทาสีฝุ่นสังกะสี (Zinc-rich paints) การชุบเคลือบสังกะสีแบบจุ่มร้อนด้วยกระบวนการต่อเนื่อง (Continuous hot dip galvanizing) การเคลือบด้วยเทคนิคเซอร์ราโดซ์ซึ่ง (Sherardizing) (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2563)

การชุบสังกะสีด้วยวิธีจุ่มร้อน (Hot dip galvanizing เรียกโดยย่อว่า HDG) หมายถึง การนำชิ้นงานที่ผ่านการทำความสะอาดผิวหน้ามาดีแล้ว และต้องการชุบผิวด้วยสังกะสีไปจุ่มลงในอ่างชุบ (Molten zinc bath) ซึ่งบรรจุน้ำสังกะสีอยู่ในสภาพของเหลวร้อนจัดมีอุณหภูมิขณะใช้งานอยู่ในช่วง 445 ถึง 465 °C (830 ถึง 870 °F) สังกะสีจะทำปฏิกิริยากับเหล็ก เกิดเป็นชั้นของโลหะผสมเคลือบผิวชิ้นงาน (Zinc – iron alloy layers) และเมื่อนำชิ้นงานขึ้นจากอ่างชุบสังกะสี และทำให้เย็นตัวลง น้ำสังกะสีก็จะแห้งกลายเป็นผิวเคลือบหุ้มชิ้นงานเอาไว้ (ยุทธพันธ์ บุญยงมณีรัตน์, 2563)

จากการค้นคว้าวิจัยในหลายๆ แง่มุม ของกระบวนการผลิตที่มีมาอย่างต่อเนื่อง ผสานเข้ากับเทคโนโลยีที่ทันสมัยทำให้การชุบสังกะสีเป็นอุตสาหกรรมที่สามารถพัฒนาและควบคุมได้ในทางเทคนิค โดยทั่วไปสังกะสีเป็นวัสดุที่นิยมนำมาใช้เป็นผิวเคลือบเหล็กมากที่สุด นอกจากนั้นจะเป็น อะลูมิเนียม, แคดเมียม, ดีบุก, ตะกั่ว, นิกเกิล, ทองเหลือง และทองแดง เป็นต้น

ในกระบวนการชุบโลหะ มีการใช้กรด ต่าง และ สารเคมีต่างๆ ในแต่ละขั้นตอน คุณลักษณะของน้ำเสียจะแตกต่างกัน ส่วนใหญ่มาจากกระบวนการชุบและล้างชิ้นงาน (กรมควบคุมมลพิษ, 2561) น้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1) น้ำทิ้งประเภทกรดและด่าง ประกอบด้วยโลหะหนัก 2) น้ำทิ้งประเภทโซดาไฟ มาจากกระบวนการชุบทองแดง น้ำยาชุบสังกะสี

แบบโซดาไฟ น้ำยาชุบทอง 3) น้ำทิ้งประเภทโครเมียม ซึ่งได้มาจากน้ำยาชุบโครเมียมหรือ น้ำยาโครเมตในการชุบโครเมียม จะมีสารประกอบในรูปเฮกซะวาเลนซ์โครเมียม Cr^{6+} (aq) ซึ่งเป็นพิษและไม่ตกตะกอน จำเป็นต้องเปลี่ยน Cr^{6+} ให้อยู่ในรูป Cr^{3+} จึงจะทำให้ตกตะกอนได้ (มณีรัตน์ องค์กรวรรณดี, 2542) สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนประกอบด้วย กรดซัลฟิวริก เพื่อปรับค่า pH เติมน้ำ $NaHSO_3$ เพื่อเปลี่ยน Cr^{6+} เป็น Cr^{3+} จากนั้นเติมน้ำโซดาไฟเพื่อปรับค่า pH ให้สูงขึ้น กรองตะกอนและระบายน้ำทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อม (วัลย์รัตน์ จันทรวงศ์, 2563) กระบวนการตกตะกอนทางเคมี มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสียที่มีไอออนสังกะสี (Zn) โครเมียม (Cr) และทองแดง (Cu) เป็นองค์ประกอบ โดยมีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 96.4 – 98.2 (มงคล ดำรงศรี, 2549)

กระบวนการตกตะกอนทางเคมี จะต้องใช้น้ำปริมาณมาก จึงทำให้เกิดน้ำเสียขึ้น ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงสนใจจะศึกษาระดับของผลกระทบ และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการบำบัดน้ำเสีย โดยใช้คุณภาพน้ำจากกระบวนการล้างชิ้นงานของ บริษัท ฉื่อ จิ้น ฮั่ว จำกัด อำเภอ พระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ เป็นกรณีศึกษา เนื่องจากน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณมากประกอบกับลักษณะน้ำเสียมีความปนเปื้อนสูง ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว การศึกษาจะใช้การประเมินวัฏจักรชีวิตเป็นเครื่องมือช่วยในการวิเคราะห์เปรียบเทียบปริมาณทรัพยากร กับพลังงานที่ใช้ และผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสีย (Hauschild & Huijbregts, 2015) ข้อมูลงานวิจัยเป็นข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมและสอบถามจากการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งเป็นผู้ปฏิบัติงานด้านการบำบัดน้ำเสียโดยตรง โดยระยะเวลาในการเก็บข้อมูล 1 ปี (มกราคม - ธันวาคม 2562) เพื่อให้ได้ข้อมูลที่มีคุณภาพ ผลการวิจัยจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การวิจัยด้านปริมาณพลังงานที่ใช้ และทรัพยากรที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย และการวิจัยด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการบำบัดน้ำเสีย

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การประเมินวัฏจักรชีวิต (Life Cycle Assessment: LCA) คือ กระบวนการวิเคราะห์และประเมินค่าผลกระทบของผลิตภัณฑ์ที่มีต่อสิ่งแวดล้อมตลอดช่วงชีวิตของผลิตภัณฑ์ ตั้งแต่การสกัดหรือการได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การขนส่งและการแจกจ่าย การใช้งานผลิตภัณฑ์ การใช้ใหม่ / แปรรูป และการจัดการเศษซากของผลิตภัณฑ์หลังการใช้งาน โดยถูกนำไป

ประยุกต์ใช้กับหลากหลายผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์บรรจุภัณฑ์ (Ruangrit et al, 2017) การผลิตไฟฟ้า (Bangprasit et al, 2017) และอื่นๆ

การประเมินวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลักดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของการศึกษา (Goal and Scope Definition) สิ่งแรกที่ต้องทำในการประเมินวัฏจักรชีวิตคือการกำหนดเป้าหมายและขอบเขตของสิ่งที่เราต้องการศึกษาว่าเราต้องการศึกษาอะไร และผลที่ได้จากการศึกษาจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากน้อยเพียงใด ทั้งนี้เป้าหมายหลักของการทำ LCA มีความแตกต่างกัน เป้าหมายเหล่านี้จะเป็นตัวบ่งชี้ขอบเขตของการศึกษา ทั้งนี้หากวัตถุประสงค์ของการศึกษาต้องการได้ผลที่มีความน่าเชื่อถือสูง ขอบเขตการศึกษา ระยะเวลาการศึกษา และงบประมาณที่ใช้ในการศึกษาก็จะสูงขึ้นด้วย

ขั้นตอนที่ 2 การจัดทำบัญชีรายการสิ่งแวดล้อม คือ การวิเคราะห์ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการต่างๆ ที่เกี่ยวข้องภายในขอบเขตและเป้าหมายของการศึกษา โดยข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมควรครอบคลุมถึงรายละเอียดของกระบวนการผลิตและผังการไหล (Flow chart) ของกระบวนการผลิต และปริมาณสารขาเข้า-สารขาออกของระบบทั้งหมด (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ., 2563).

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ (Life Cycle Impact Assessment: LCIA) เป็นการคำนวณเพื่อแปลงข้อมูลบัญชีรายการที่ได้จากการรวบรวมปริมาณสารขาเข้าและสารขาออกของระบบผลิตภัณฑ์และจากขั้นตอนการวิเคราะห์บัญชีรายการด้านสิ่งแวดล้อมให้อยู่ในรูปของผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Hauschild & Huijbregts, 2015)

ขั้นตอนที่ 4 การตีความและวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อม (Interpretation and Improvement Analysis) ทำให้ทราบช่วงชีวิตใดของผลิตภัณฑ์ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด รวมทั้งแหล่งที่มาของประเด็นปัญหาและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมนั้นๆ การวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมอย่าง

เป็นระบบนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านสิ่งแวดล้อมที่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้การตีความและการแปลผลควรทำด้วยความระมัดระวังและอยู่บนพื้นฐานของขอบเขตการศึกษา เป้าหมาย วัตถุประสงค์การศึกษาด้วย

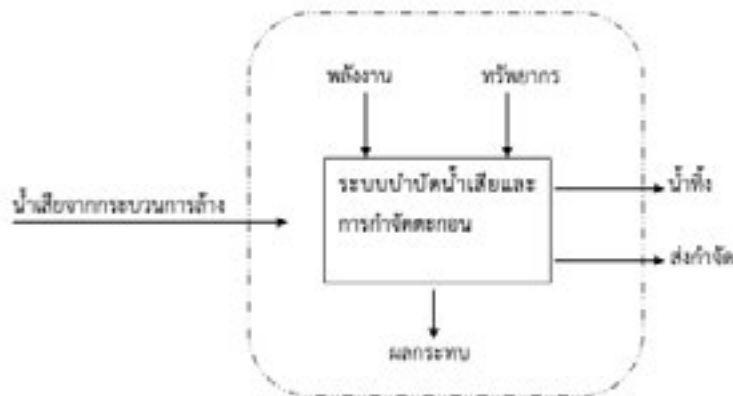
ปัจจุบัน LCA ประยุกต์ใช้กับการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากระบบบำบัดน้ำเสีย (Liu et al, 2021) และการจัดการตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย (Usapein & Chavalparit, 2017) เพื่อนำไปสู่แนวทางที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ LCA กับระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะสังกะสี โดยเฉพาะสำหรับประเทศไทย ยังมีน้อยและขาดข้อมูลที่จะนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงระบบให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อประเมินปริมาณการใช้ทรัพยากรเคมี และพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยน้ำเสีย นำไปสู่การบ่งชี้กิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุด (Hotspot) ของกระบวนการบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบสังกะสี และ 2) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ จากการบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบสังกะสี

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การประเมินวัฏจักรชีวิตของระบบบำบัดน้ำเสีย

3.1.1 การกำหนดเป้าหมายและขอบเขต

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีเป้าหมายในการประเมินและเปรียบเทียบปริมาณทรัพยากร และพลังงานที่ใช้ต่อหน่วยการบำบัดน้ำเสีย เพื่อศึกษาระดับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้านต่างๆ โดยกำหนดให้หน่วยเทียบของการประเมิน (Functional unit) คือ ปริมาณน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบบำบัด 1 ลูกบาศก์เมตร โดยกำหนดขอบเขตการศึกษาปริมาณพลังงานและทรัพยากรที่ใช้ รวมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นในช่วงการดำเนินงานบำบัดน้ำเสียจริงเท่านั้น โดยเริ่มตั้งแต่กระบวนการรับน้ำเสียเข้าสู่ระบบ กระบวนการบำบัดน้ำเสียในแต่ละขั้นตอน การจัดการตะกอน และการระบายน้ำที่ออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ขอบเขตในการวิเคราะห์ แสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขอบเขตการพิจารณาวัฏจักรชีวิตระบบบำบัดน้ำเสีย

3.2 การวิเคราะห์บัญชีรายการข้อมูล

ข้อมูลที่รวบรวมได้มาจากสามแหล่งหลักๆ ได้แก่ (1) จากการตรวจวัดจริง (2) จากการคำนวณทางวิศวกรรม และ (3) จากการอ้างอิงฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ โดยมีข้อมูลปริมาณวัตถุดิบ สารเคมี และพลังงานที่ใช้ แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลบัญชีรายการระบบบำบัดน้ำเสีย

ขาเข้า	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
	น้ำเสีย	1	m ³
ไฟฟ้า	0.2701	kWh	
สารส้ม	0.0013	kg	
พอลิเมอร์	0.000017	m ³	
โซเดียมไฮดรอกไซด์	0.045795	kg	
ขาออก	รายการ	ปริมาณ	หน่วย
	ตะกอน	0.1616	kg
	COD	0.4100	kg

ตัวอย่างตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ถูกวิเคราะห์ด้วยเครื่อง CHNS/O analyzer ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณลักษณะตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย

พารามิเตอร์	ค่าที่ได้	หน่วย
ความชื้น	61.63	%
ซีเถ้า	84.38	%
ค่าความร้อน	n/a	kcal
Ultimate analysis		
C	3.76	%
H	1.58	%

O	10.1	%
N	0.02	%
S	0.16	%

3.3 การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจะทำการประเมิน 5 ผลกระทบ ได้แก่ ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง) ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง) การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และการเกิดภาวะเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด ตามแนวทางการประเมิน ILCD 2011 ผลกระทบในแต่ละกลุ่มจะมีหน่วยที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับสารหรือหน่วยที่อ้างอิง เช่น ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ หน่วยที่อ้างอิงคือ หน่วยพิษเปรียบเทียบกับสุขภาพของมนุษย์ (Comparative Toxic Unit for human: CTUh) ขณะที่การเกิดภาวะเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด หน่วยที่อ้างอิงคือ หน่วยพิษเปรียบเทียบกับความเป็นพิษต่อระบบนิเวศ (Comparative Toxic Unit for ecotoxicity: CTUe)

ทั้งนี้แต่ละผลกระทบจะมีระดับคุณภาพในการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน (แสดงดังตารางที่ 3) แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ ระดับ I (แนะนำ) ระดับ II (แนะนำแต่ต้องการการปรับปรุง) และระดับที่ 3 (แนะนำแต่ควรใช้ด้วยความระมัดระวัง) กล่าวอีกนัยหนึ่งคือระดับที่ 1 เป็นระดับที่มีคุณภาพดีที่สุดในระดับที่ 2 และ 3 ระดับคุณภาพลดลงมาตามลำดับ (European Commission, 2012)

ตารางที่ 3 ระดับคุณภาพการนำค่าผลกระทบในแต่ละกลุ่มไปใช้งานตามเกณฑ์ ILCD

LCIA	ระดับคุณภาพการนำไปใช้งาน	ปริมาณอ้างอิง
ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง)	II/III	CTUh
ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง)	II/III	CTUh
การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ	I	Mass CO ₂ -equivalent
การใช้ทรัพยากรธรรมชาติ	II	Mass Sb-equivalents
การเกิดภาวะเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด	II/III	CTUe

3.4 การตีความและสรุปผล

ผลที่ได้จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมจะถูกนำมาตีความและสรุปผล เพื่อหาแนวทางในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานชุบสังกะสี

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

4.1.1 ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง)

การประเมินผลกระทบนี้ จะเกี่ยวข้องกับการใช้สารเคมี พลังงาน และการปลดปล่อยมลพิษที่มีผลกระทบต่อสุขภาพ และสามารถก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับสารจำพวก สารโลหะหนัก สารยาฆ่าแมลง เป็นต้น ผลการวิเคราะห์ พบว่า การกำจัดตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียส่งผลกระทบต่อด้านนี้มากที่สุด (94.05%) รองลงมา ได้แก่ การใช้สารอลูมิเนียมซัลเฟต (3.30%) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (2.43%) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียโรงชุบสังกะสีจะมีโลหะหนักปนเปื้อนในปริมาณที่สูง ทั้งนี้ในการศึกษานี้ได้ใช้โมเดลการกำจัดตะกอนด้วยวิธีการฝังกลบแบบปลอดภัย โดยจะต้องมีกระบวนการปรับเสถียรภาพของเสีย (Stabilization and Solidification) ก่อนนำไปฝังกลบ ดังนั้นด้วยกระบวนการเหล่านี้ทำให้มีการใช้สารเคมีในปริมาณที่มาก ส่งผลให้การกำจัดตะกอนมีค่าผลกระทบในด้านนี้สูง การลดปริมาณกากตะกอน โดยการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องรีดตะกอน เพื่อลดความชื้นตะกอนก่อนส่งกำจัด เป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดผลกระทบด้านนี้ได้

4.1.2 ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง)

ผลการวิเคราะห์ผลกระทบด้านนี้ ให้ผลในลักษณะคล้ายคลึงกับ ในหัวข้อ 4.1.1 คือ การกำจัด

ตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียส่งผลกระทบต่อด้านนี้มากที่สุด (91%) อย่างไรก็ตาม อันดับรองลงมาได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (7%) และ อลูมิเนียมซัลเฟต (1%) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข)

4.1.3 ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

ผลการวิเคราะห์ พบว่า การกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (79%) ส่งผลกระทบต่อมากที่สุด รองลงมาได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (14%) และไฟฟ้า (6%) ตามลำดับ (แสดงดังรูปที่ 2(ค))

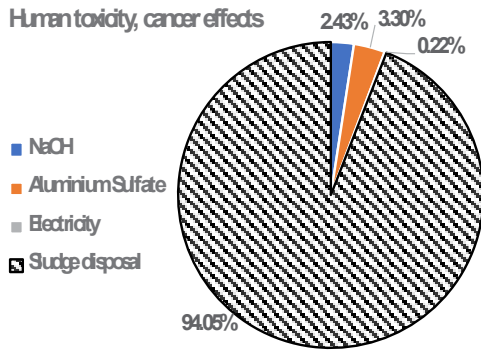
ผลกระทบด้านนี้จะเกี่ยวข้องกับการปล่อยก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซที่เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงของเครื่องจักร ดังนั้น แหล่งปล่อยก๊าซเหล่านี้ส่วนใหญ่มาจากการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตสารเคมี และการพลังงานไฟฟ้าในเครื่องจักรของกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

4.1.4 ผลกระทบการเกิดภาวะเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด

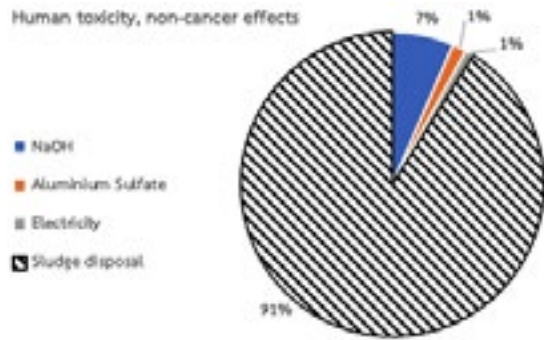
ผลวิเคราะห์การเกิดภาวะเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด พบว่า การกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย มีสัดส่วนในการก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุด (90%) รองลงมาได้แก่ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (7%) อลูมิเนียมซัลเฟต (2%) และไฟฟ้า (1%) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2(ง)

4.1.5 ผลกระทบต่อการลดลงของแหล่งทรัพยากร

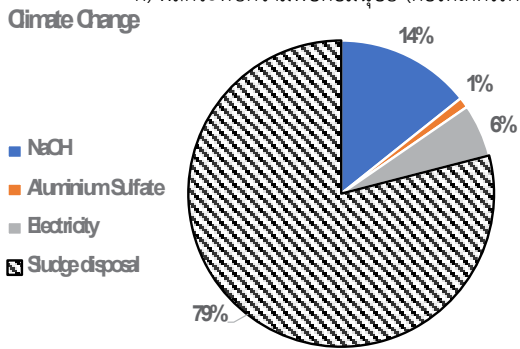
เมื่อพิจารณาการลดลงของแหล่งทรัพยากร พบว่า กิจกรรมที่ส่งผลกระทบต่อมากที่สุด ได้แก่ การกำจัดตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย (78%) รองลงมาได้แก่ อลูมิเนียมซัลเฟต (16%) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (6%) ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 2(จ) การใช้สารเคมีปริมาณมากในการกำจัดกากตะกอนเป็นสาเหตุหลักของการเกิดผลกระทบนี้ การนำกลับโอออนโลหะหนักที่อยู่ในกากตะกอนกลับมารีไซเคิล เป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดผลกระทบด้านนี้ลงได้



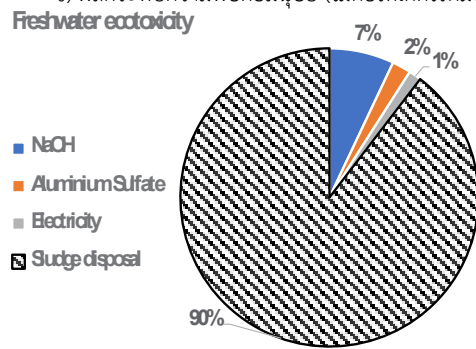
ก) ผลกระทบความพิษต่อมนุษย์ (ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง)



ข) ผลกระทบความพิษต่อมนุษย์ (ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง)

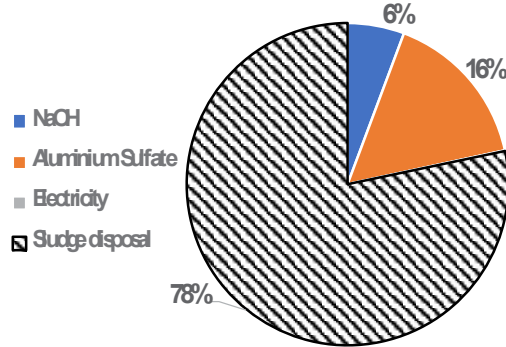


ค) ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



ง) ผลกระทบการเกิดภาวะเป็นพิษต่อแหล่งน้ำจืด

Mineral, fossil & ren resource depletion



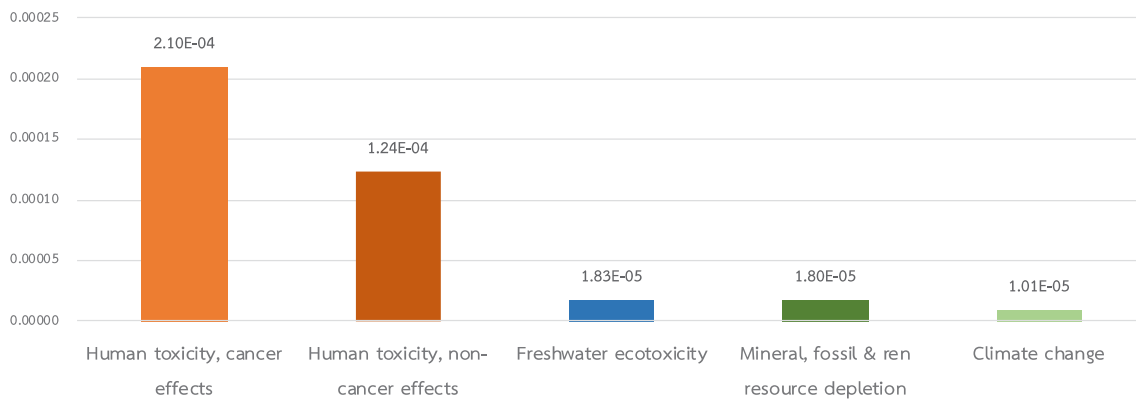
จ) ผลกระทบการลดลงของแหล่งทรัพยากร

รูปที่ 2 ผลการวิเคราะห์ Characterization ของ 5 ผลกระทบ

4.2 ผลการเทียบหน่วยแต่ละกลุ่มกระทบ

รูปที่ 3 แสดงผลการเทียบหน่วยในแต่ละกลุ่มผลกระทบเพื่อบ่งชี้ผลกระทบที่มีอิทธิพลอย่างมีนัยสำคัญต่อสิ่งแวดล้อม ค่าตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณเป็นข้อมูลค่าเฉลี่ยผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ยุโรปต่อปี แสดงในหน่วย คนต่อปีเทียบเท่า (Person year equivalent: PEEq) ซึ่งพบว่า ผลกระทบด้านความ

เป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง) มีศักยภาพในการส่งผลกระทบมากที่สุดเมื่อเทียบกับผลกระทบกลุ่มอื่นๆ รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง) ผลกระทบความพิษต่อการลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ



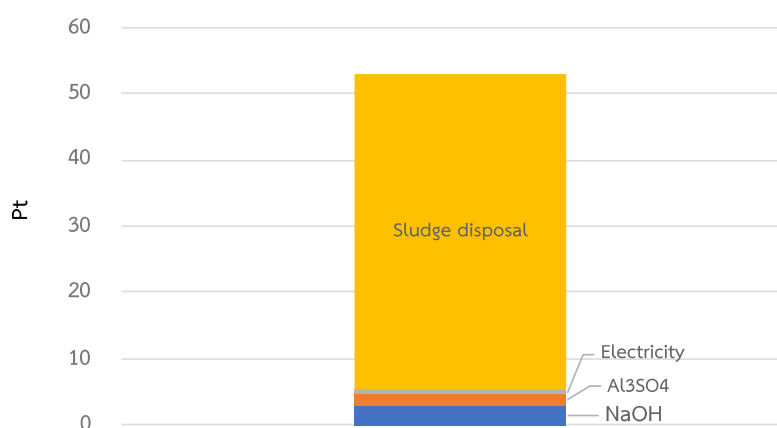
รูปที่ 3 การเทียบหน่วย (Normalization) ในแต่ละกลุ่มผลกระทบ

4.3 ผลการประเมินคะแนนเชิงเดี่ยว

การวิเคราะห์ผลคะแนนเชิงเดี่ยวตามแนวทาง ILCD 2011 แสดงผลในหน่วย Eco-point (Pt) การให้น้ำหนักแต่ละกลุ่มผลกระทบจะเท่ากันทุกกลุ่ม (Equal weighting) ผลการประเมินคะแนนเชิงเดี่ยว พบว่ากิจกรรมที่ได้คะแนนเชิงเดี่ยวสูงสุด คือ การกำจัดตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย (47.56 Pt หรือ 90.03%) รองลงมา ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (2.98 Pt หรือ 5.65%) อลูมิเนียมซัลเฟต (1.67 Pt หรือ 3.17%) และการใช้ไฟฟ้า (0.61 Pt หรือ 1.15%) แสดงดังรูปที่ 4 ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การกำจัดตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย ถือเป็นจุด Hotspot ของระบบบำบัด ทั้งนี้ เนื่องจากการตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย มีลักษณะเป็นของเสียอันตราย (Hazardous wastes) ทำให้การกำจัดนั้นต้องกำจัดแบบการฝังกลบแบบปลอดภัย (Secured Landfill)

ซึ่งการฝังกลบในลักษณะนี้จะต้องมีการทำให้ของเสียคงรูปโดยการผสมกับซีเมนต์ เพื่อป้องกันการรั่วไหลของของเสีย ทำให้มีการใช้ทรัพยากรในปริมาณที่มาก นอกจากนั้นคุณลักษณะตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะสังกะสี ไม่มีค่าความร้อน (ดังแสดงในตารางที่ 2) ทำให้ไม่เหมาะที่จะนำไปเผาเพื่อเป็นเชื้อเพลิง

ดังนั้นแนวทางในการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมที่สุด คือ การลดปริมาณความชื้นในกากตะกอนก่อนส่งไปกำจัด และการนำกลับไอออนโลหะหนักในตะกอนระบบบำบัดน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งนอกจากจะช่วยลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการนำกากตะกอนไปฝังกลบแล้วยังช่วยลดค่าใช้จ่ายของโรงงานในการส่งของเสียไปกำจัดอีกด้วย



รูปที่ 4 ผลการประเมินคะแนนเชิงเดี่ยว (Single score) ของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานชุบสังกะสี

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมตลอดวัฏจักรชีวิตของระบบบำบัดน้ำเสีย โรงงานชุบสังกะสี สรุปผลการวิเคราะห์ที่ได้ดังนี้

- 1) ในการบำบัดน้ำเสีย 1 m³ ต้องใช้ปริมาณสารส้ม 1.3 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 45.80 กรัม พอลิเมอร์ 0.017 ลิตร และพลังงานไฟฟ้า 0.2701 kWh อย่างไรก็ตาม ทั้ง 5 ผลกระทบที่ได้ทำการศึกษาใน

งานวิจัยนี้พบว่า การกำจัดกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นกิจกรรมที่ก่อให้เกิดผลกระทบมากที่สุดในทุกผลกระทบ

2) จากการเทียบหน่วยกลุ่มผลกระทบ พบว่าผลกระทบที่มีนัยสำคัญต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด ได้แก่ผลกระทบด้านความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง) รองลงมา ได้แก่ ผลกระทบความเป็นพิษต่อสุขภาพมนุษย์ (ไม่ก่อให้เกิดโรคมะเร็ง) ผลกระทบความเป็นพิษต่อน้ำ การลดลงของทรัพยากรธรรมชาติ และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ

3) ควรให้ความสำคัญในการควบคุมและลดปริมาณการเกิดกากตะกอนระบบบำบัดน้ำเสีย เป็นลำดับแรก เนื่องจากเป็นจุด Hotspot ของการเกิดผลกระทบสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งการควบคุมความชื้นของตะกอนและการนำกลับหรือรีไซเคิลไอออนโลหะหนักในตะกอนกลับมาใช้ประโยชน์

4) การประเมินนี้ตัวแปรที่ใช้ในการคำนวณบางส่วนเป็นข้อมูลอ้างอิงในกลุ่มสหภาพยุโรป ซึ่งเป็นข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ ดังนั้น การนำไปใช้งานหรืออ้างอิงควรใช้ความระมัดระวัง โดยเฉพาะในการเปรียบเทียบเชิงพื้นที่

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากวิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ในการอนุญาตให้ใช้โปรแกรม SimaPro 8.3

7. เอกสารอ้างอิง

Bangprasit, P., Chavalparit, O., & Usapein, P. (2017, March). Life cycle assessment of Napier Pakchong 1 grass as a feedstock for anaerobic digestion to produce electricity: A case study in Thailand. In 2017 International Conference on Green Energy and Applications (ICGEA) (pp. 123-129). IEEE.

European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and Supporting Information. First edition. February 2012. EUR 25167. Luxembourg.

Publications Office of the European Union; 2012.

Hauschild M.Z., Huijbregts M.A.J. (2015).

Introducing Life Cycle Impact Assessment.

In: Hauschild M., Huijbregts M. (eds) Life

Cycle Impact Assessment. LCA

Compendium – The Complete World of Life

Cycle Assessment. Springer, Dordrecht.

<https://doi.org/10.1007/978-94-017-9744-3>

_1

Liu, W., Jordan C.M., Cherubini, F., Hu, X., & Fu, D.

(2021). Environmental impact assessment of

wastewater treatment and sludge disposal

systems under two sewage discharge

standards: A case study in Kunshan, China.

Journal of Cleaner Production. 287, 1-9. doi:

10.1016/j.jclepro.2020.125046

Ruangrit, C., Usapein, P., Limphitakphong, N., &

Chavalparit, O. (2017, May). Evaluation of

the environmental impact of portion bag for

food packaging: a case study of Thailand. In

IOP Conference series: earth and

environmental science (Vol. 67, No. 1, p.

012001). IOP Publishing.

Usapein, P., & Chavalparit, O. (2017). Life cycle

assessment of bio-sludge for disposal with

different alternative waste management

scenarios: a case study of an olefin factory

in Thailand. J Mater Cycles Waste Manag.

19,545–559.doi:10.1007/s10163-015-0385-8

กรมควบคุมมลพิษ. (2561). ระบบบำบัดน้ำเสีย. สืบค้น

15 ธันวาคม 2564, จาก

http://www.pcd.go.th/info_serv/water_wt.html

html

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. (2563). อุตสาหกรรมชุบโลหะ.

สืบค้น 6 มกราคม 2564, จาก

http://www2.diw.go.th/l_Standard/

Web/pane_files/Industry26.asp

ยุทธนันท์ บุญยมณีรัตน์. (2563). เทคโนโลยีการชุบ

สังกะสีแบบจุ่มร้อน: ประสิทธิภาพและแนวทางการ

พัฒนา. สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์

มหาวิทยาลัย. สืบค้น 30 ธันวาคม 2563, จาก

https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/255_25-30.pdf

- มนิรัตน์ องค์กรณดี. (2542). การกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- มงคล ดำรงศรี. (2549). การบำบัดน้ำเสียของโรงงาน SME ประเภทชุบโลหะด้วยไฟฟ้าโดยการตกตะกอนทางเคมี. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44: สาขาวิศวกรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ สาขาการจัดการทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
- วลัยรัตน์ จันทรวงศ์. (2563). การบำบัดน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ. สืบค้น 14 พฤศจิกายน 2563, จาก <http://www.thaiscience.info/journals/Article/TJKM/10470036.pdf>
- ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. (2563). ฐานข้อมูลวัฏจักรชีวิตของวัสดุพื้นฐานและพลังงานของประเทศ. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. สืบค้น 10 พฤศจิกายน 2563, <http://www.thailci database.net/>

การวิเคราะห์สมรรถนะ ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมจากพลังงานแสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐานของบ่อปลา

A Performance study and Economic value analysis and environmental impact of Solar PV – Electrical Utility hybrid for Aerator in fish pond

เสถียรฐวุฒิ แผลงศรี และ อัครินทร์ อินทิเวศน์*

Sethtawut Plangsri and Akarin Intaniwet*

¹ หน่วยวิจัยด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมอัจฉริยะ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่ 50290

¹ Smart Energy and Environmental Research Unit, School of Renewable Energy,

Maejo University, Chiang Mai 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ มาแก้ไขปัญหาต้นทุนค่าไฟฟ้าสำหรับเครื่องเติมอากาศของเกษตรกรผู้เลี้ยงปลานิลในอำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ และวิเคราะห์ความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมถึงผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบของเครื่องเติมออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลานิลมีลักษณะการใช้งานร่วม (load sharing) เป็นการใช้งานร่วมกันระหว่างไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยอินเวอร์เตอร์ที่ใช้จะมีความสามารถในการดึงกำลังไฟฟ้าจากทั้งสองแหล่งเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของโพลดมอเตอร์จากเครื่องเติมอากาศขนาด 3 HP จากการทดสอบและเก็บข้อมูลค่าความเข้มแสงเฉลี่ยตลอดการทดสอบในเดือนมกราคม - เมษายน มีค่า 364 W/m² 451 W/m² 400 W/m² และ 420 W/m² พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่า 4.82 kWh/d สามารถชดเชยการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานในรอบการเลี้ยงปลานิลได้ 52% อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่า 15.50% ระยะเวลาคืนทุนของโครงการนี้คือ 6.12 ปี ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 2,380.24 kgCO₂/ปี

คำสำคัญ : เซลล์แสงอาทิตย์, สมรรถนะ, ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์, ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

Abstract

The objective of this work is to employ solar PV technology to reduce the electricity cost of aerators in fish pond. In this system, the energy from solar PV and utility grid is properly managed through the load sharing system. The hybrid inverter, which possesses the ability to draw power from both sources, was used to provide the AC signal to the motor. The testing has been carried out from January– April (1 crop cycle). It was found that the average light intensity throughout the test was 364, 451, 400 and 420 W/m², respectively. The solar PV system averagely generated the electrical energy of 4.82 kWh/d. The PV system offered roughly 52% replacement of the energy consumption from the national grid system. Internal rate of return for this system

was 15.50% and payback period was estimated to be 6.12 years. It was predicted that the PV load sharing system can reduce the amount of greenhouse gas by 2,380.24 kgCO₂/ year.

Keywords : Solar cell, performance, Economic value, environmental impact

1. บทนำ

ในหลายประเทศรวมถึงประเทศไทยมีการนำพลังงานทดแทนมาใช้กับภาคเกษตรกรรมและภาคปศุสัตว์เพิ่มมากขึ้น พลังงานทดแทนที่นิยมนำมาใช้เช่น พลังงานชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น เพื่อลดค่าใช้จ่ายจากค่าไฟฟ้าและค่าเชื้อเพลิงต่าง ๆ ประเทศไทยจัดได้ว่าเป็นประเทศที่มีการทำเกษตรกรรมและปศุสัตว์เป็นหลัก อีกทั้งยังมีศักยภาพเพียงพอที่จะนำพลังงานทดแทนมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่าย โดยการนำพลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้าเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบสายส่งลง เนื่องจากประเทศไทยมีค่าความเข้มแสงอาทิตย์อยู่ในระดับที่ดี โดยพบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของประเทศได้รับรังสีดวงอาทิตย์สูงสุดระหว่างเดือนเมษายนและพฤษภาคม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 20 ถึง 23 MJ/m²-day จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าประเทศไทยมีศักยภาพพลังงานแสงอาทิตย์สูง โดยจากการคำนวณรังสีรวมของดวงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปีของพื้นที่ทั่วประเทศพบว่า มีค่าเท่ากับ 18 MJ/m²-day [1] ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความเข้มรังสีอาทิตย์รวมของประเทศไทยและประเทศอื่น ๆ [1]

ประเทศ	ความเข้มแสงอาทิตย์รายวันเฉลี่ยต่อปี (MJ/m ² -day)
อังกฤษ	8.95
ญี่ปุ่น	13.0
สหรัฐอเมริกา	19.0
ออสเตรเลีย	19.6
อินเดีย	20.3
ไทย	18.0

หมู่บ้านทุ่งยาว หมู่ที่ 1 ตำบลสันทรายหลวง อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ เป็นหมู่บ้านที่มีการประมงอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ประชากรส่วนใหญ่กว่า 70% ประกอบอาชีพเพาะเลี้ยงปลานิลและปลาดุก จากการสำรวจเบื้องต้น พบว่าภายในชุมชนได้มีการก่อตั้งชมรมผู้

เลี้ยงปลานิลเชียงใหม่ขึ้นตั้งแต่ปี พ.ศ.2547 มีสมาชิกประมาณ 60 คน วัตถุประสงค์ของชมรมคือการจัดหาตลาดปลานิลให้แก่สมาชิก ฟาร์มสำหรับการเลี้ยงปลานิลภายในชมรมประกอบไปด้วยบ่อปลาขนาดเล็ก 2-3 ไร่ จนถึงบ่อขนาดใหญ่บ่อละ 8 ไร่ ลักษณะของบ่อปลาที่เกษตรกรทำการเลี้ยงปลานิลนิยมทำในบ่อดินมีความลึกประมาณ 2-3 เมตร ใช้เวลาในการเพาะเลี้ยงประมาณ 4 เดือนต่อหนึ่งรอบ

ปัญหาที่พบในการเลี้ยงปลานิลคือ ปริมาณออกซิเจนในน้ำน้อยกว่าความต้องการของปลา ทำให้มีปัญหาปลาอ็อกน้ำทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน โดยกลุ่มผู้เลี้ยงปลามีการแก้ปัญหาโดยการใช้เครื่องเติมอากาศแบบใบพัดตีน้ำ (paddle wheel aerator) ดังแสดงไว้ในรูปที่ 1 เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ



รูปที่ 1 เครื่องเติมอากาศแบบการใช้ใบพัดตีน้ำ

เครื่องเติมอากาศส่วนใหญ่ที่ใช้จะมีมอเตอร์ไฟฟ้า 3 HP 3เฟส ต่อหนึ่งชุดของเครื่องเติมอากาศ ชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยประมาณ 10 ชั่วโมงต่อวันทั้งในเวลากลางวันและกลางคืน โดยในช่วงสุดท้ายของการเลี้ยงปลา ชั่วโมงการเปิดเครื่องเติมอากาศอาจเพิ่มขึ้นสูงถึง 15 ชั่วโมงต่อวัน จากการใช้เครื่องเติมอากาศทำให้เกษตรกรกลุ่มผู้เลี้ยงปลาต้องมีการค่าไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นเฉลี่ย 15,000 บาทต่อเดือน โดยที่ความสามารถในการเพิ่มออกซิเจนเครื่องเติมอากาศจะขึ้นอยู่กับลักษณะรูปร่างและขนาดของใบพัดและขนาดของมอเตอร์ที่ใช้ แต่มีข้อเสียคืองบประมาณและ

งบดำเนินการสูง [2] จากที่กล่าวมา ทำให้ผู้เลี้ยงปลาต้องมี
ค่าต้นทุนในการเลี้ยงปลาที่สูงขึ้น แต่ในขณะที่ราคาขายเท่า
เดิม ทำให้ประสบปัญหาการขาดทุน ผู้วิจัยจึงคิดว่าควรนำ
เทคโนโลยีพลังงานทดแทนมาใช้ เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายใน
ส่วนของค่าไฟฟ้าของเกษตรกรลง โดยใช้แหล่งพลังงาน
ทดแทนที่มีศักยภาพภายในชุมชนคือพลังงานแสงอาทิตย์

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะวิเคราะห์
สมรรถนะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์
แสงอาทิตย์ขนาด 2.85kW ที่ทำงานร่วมกับระบบไฟฟ้า
พื้นฐานของบ่อปลาโดยไม่ใช้แบตเตอรี่ และมีไฮบริด
อินเวอร์เตอร์คอยควบคุมการจ่ายไฟให้กับเครื่องเติมอากาศ
โดยจะเลือกใช้พลังงานจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์เป็น
อันดับแรก และใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานของบ่อ
เพื่อให้เพียงพอต่อการทำงานของเครื่องเติมอากาศ ในเวลาที่
ความเข้มแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอ สำหรับการเก็บข้อมูลจะทำ
การเก็บข้อมูลในส่วนของสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าจาก
เซลล์แสงอาทิตย์ คือ กำลังไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์
ผลิตได้ (P_{DC}) และ กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานของ
บ่อปลา (P_{AC}) และกำลังไฟฟ้าที่ออกจากไฮบริดอินเวอร์เตอร์
($P_{AC\ 3\ Phase}$) การเก็บข้อมูลแวดล้อม คือ ความเข้มแสงอาทิตย์
อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อม จากนั้น
นำข้อมูลที่ได้นำไปวิเคราะห์เพื่อหาความคุ้มค่าของระบบผลิต
ไฟฟ้า และช่วยลดภาระค่าไฟฟ้าของเกษตรกรลง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการเลี้ยงปลานิลของเกษตรกรหมู่บ้านทุ่งยาว
จะใช้เครื่องเติมอากาศแบบใบพัดตีน้ำ (paddle wheel)
แบบ 10 ใบพัดขนาด 3 HP 3 เฟส หลักการทำงานคือ
มอเตอร์ของเครื่องจะขับเคลื่อนให้ใบพัดหมุนและตีน้ำ เพื่อ
ทำให้เกิดการเติมอากาศในแนวระนาบ โดยพองอากาศเล็กๆ
ที่เกิดจากการตีน้ำ จะทำให้ออกซิเจนละลายน้ำได้มากขึ้น
อัตราการซึมผ่านออกซิเจน (oxygen transmission rate)
เท่ากับ 2.5-4.5 KgO₂/hr เนื่องจากต้องเปิดทำงานเครื่อง
เติมอากาศหลายชั่วโมงต่อวัน ทำให้ผู้เลี้ยงปลามีต้นทุนสูงขึ้น

แต่ในขณะที่ราคาขายเท่าเดิม ทำให้ประสบปัญหาการ
ขาดทุน ผู้วิจัยจึงคิดว่าควรนำเทคโนโลยีพลังงานทดแทนมา
ใช้เพื่อลดภาระค่าใช้จ่ายในส่วนของค่าไฟฟ้าลง โดยใช้แหล่ง
พลังงานทดแทนที่มีศักยภาพภายในชุมชนคือพลังงาน
แสงอาทิตย์ โดยใช้โซลาร์เซลล์ผลิตไฟฟ้าเพื่อส่งให้กับเครื่อง
เติมอากาศร่วมกับระบบไฟฟ้าเดิมของบ่อเลี้ยงปลา และมี
ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่แปลงกระแสไฟฟ้าที่ได้จากโซ
ลาร์เซลล์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส และเก็บข้อมูล
จากการใช้งานจริงของเกษตรกร เป็นเวลา 4 เดือน

2.1 ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูล

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บข้อมูล เพื่อนำข้อมูล
มาวิเคราะห์ ผู้วิจัยได้แบ่งการวิเคราะห์ข้อมูลออกเป็น
ประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้า และความ
คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงการประเมินผลกระทบต่อ
สิ่งแวดล้อมเมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน
ของระบบไฟฟ้าพื้นฐาน

2.1.1 การประเมินการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจาก เซลล์แสงอาทิตย์

อัตราผลผลิตพลังงานประจำวัน สามารถ
คำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ [3]

$$Y_A = \frac{E_{DC}}{P_o} \quad (1)$$

Y_A คือ ผลผลิตประจำวัน (kWh/kW_p)
 E_{DC} คือ ผลรวมพลังงานที่ผลิตได้ประจำวัน (kWh/d)
 P_o คือ กำลังของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC (kW_p)

อัตราผลการผลิตพลังงานสุดท้ายรายวัน (Final
yield และรายเดือนสามารถคำนวณหาได้จากสมการ
ดังต่อไปนี้ [3]

$$Y_F = \frac{E_{AC}}{P_o} \quad (2)$$

Y_F คือ ผลผลิตสุดท้าย, kWh/kWp.d
 E_{AC} คือ ผลรวมพลังงานสุทธิที่ผลิตได้ด้าน AC (kWh/d)

อัตราผลตอบแทนอ้างอิงสามารถคำนวณหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ [3]

$$Y_R = \frac{H_t}{G_{STC}} \quad (3)$$

Y_R คือ ผลตอบแทนอ้างอิง, h
 H_t คือ รังสีรวม (Plane of Array) (kWh/m²)
 G_{STC} คือ รังสีอ้างอิงภายใต้ STC, (1 kW/m²)

ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ [3]

$$\eta_{PV} = \frac{P_{DC}}{G_i A_i} \times 100\% \quad (4)$$

P_{DC} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (W)
 G_i คือ รังสีอาทิตย์ตกกระทบ (W/m²)
 A_i คือ พื้นที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (m²)

2.1.2 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม

ในการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ผู้วิจัยได้นำต้นทุน ส่วนลดจากค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายจากการดำเนินการของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ มาใช้ในการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยการประเมินความคุ้มค่าของระบบผลิตไฟฟ้าพร้อมนี้ต้องอาศัยเกณฑ์ในการประเมินดังนี้

ระยะเวลาคืนทุน (PB) หมายถึง ระยะเวลาดังกล่าวทั้งหมดที่โครงการจะให้กระแสเงินสดสุทธิรวมเท่ากับเงินลงทุนที่จ่ายเริ่มแรกพอดี โดยสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้[4]

$$PB = \text{เงินลงทุนเริ่มต้น/กำไรสุทธิเฉลี่ยต่อปี} \quad (5)$$

มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็นการประเมินโดยการนำความสำคัญของค่าเงินตามเวลาเข้ามาคิดด้วย วิธีการนี้จะหามูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับที่เกิดจากโครงการในแต่ละงวดมารวมกัน แล้วเปรียบเทียบกับกับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนโดยกำหนดอัตราส่วนลดหรือ

ผลตอบแทนที่ต้องการ หากมีค่าเท่ากันหรือมูลค่าสุทธิเป็นศูนย์ แสดงว่าโครงการนั้นคุ้มทุนพอดี หากมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดเข้ารวมกัน มีมากกว่ามูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน ถือว่าโครงการนั้นให้ผลตอบแทนสูงกว่าที่เรากำลังต้องการหรือคาดหวังไว้ ควรจะลงทุนในโครงการนั้น[4]

$$NPV = -C_0 + \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (6)$$

C_0 คือ เงินลงทุนเริ่มแรก
 C_i คือ กระแสเงินสด
 r คือ อัตราคิดลด (Discount Rate)
 T คือ ระยะเวลา (อายุของโครงการ)

อัตราผลตอบแทนของการลงทุน (Internal Rate of Return-IRR) เป็นอัตราส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายออกไปเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของเงินสดที่คาดว่าจะได้รับเข้ามาตลอดอายุของโครงการ หรือคือการหาส่วนลดหรืออัตราดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการมีค่าเท่ากับศูนย์[4]

$$0 = -C_0 + \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1+IRR)^i} \quad (7)$$

IRR คือ อัตราผลตอบแทนของการลงทุน

ในด้านสิ่งแวดล้อม กล่าวได้ว่าในขั้นตอนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตไฟฟ้าจากถ่านหินของระบบไฟฟ้าพื้นฐาน จากรายงานปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากโรงไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ปี 2556 พบว่ามีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) เฉลี่ยจากทุกเชื้อเพลิงที่ใช้ มีค่า 0.56 kg CO₂/kWh [5] จึงกล่าวได้ว่า

$$GHG_{\text{ลดลง}} = GHG_{\text{ที่ปล่อย}} \times \text{Unit} \quad (8)$$

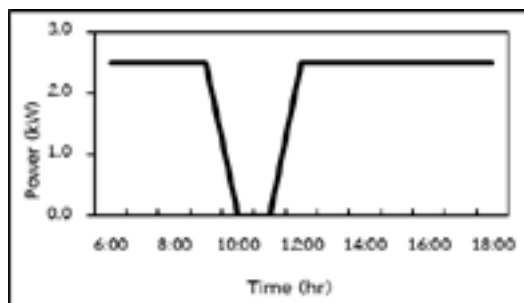
$GHG_{\text{ลดลง}}$ คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลงได้ เทียบเท่ากับ CO₂ (kg CO₂-eq)

GHG_{ที่ปล่อย} คือ ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมา ระหว่างการผลิตไฟฟ้า ของระบบไฟฟ้าพื้นฐาน (0.56 kg CO₂/kWh)

Unit คือ หน่วยของไฟฟ้าที่ผลิตได้ 1 หน่วย (kWh)

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนแรกผู้วิจัยได้ทำการประเมินการใช้ไฟฟ้า ของระบบเครื่องเติมอากาศสำหรับบ่อเลี้ยงปลา โดยจากการ เก็บข้อมูลเบื้องต้น พบว่าพฤติกรรมกรรมการเปิดเครื่องเติม อากาศของเกษตรกร จะเปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศตั้งแต่ เวลา 6.00 น. – 10.00 น. และเปิดเครื่องเติมอากาศอีกครั้ง เวลา 12.00 น. – 18.00 น. ดังแสดงในรูปที่ 2 ภาระการใช้ ไฟฟ้าของระบบเครื่องเติมอากาศ จากการสอบถาม เกษตรกร พบว่าการเปิดปิดเครื่องเติมอากาศจะแปรเปลี่ยน ไปตามขนาดของปลาที่ทำการเลี้ยง จากการคำนวณพบว่า มอเตอร์ของเครื่องเติมอากาศจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อ วันในช่วงที่มีแสงอาทิตย์ประมาณ 22 kWh



รูปที่ 2 ภาระการใช้ไฟฟ้าของระบบเครื่องเติมอากาศ

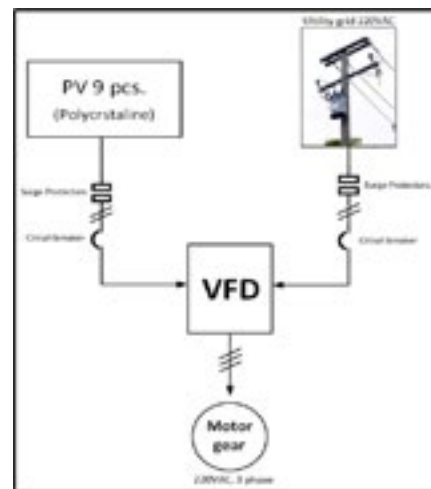
3.1 การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าร่วมระหว่างพลังงาน แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐาน

ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยมีจุดประสงค์ในการออกแบบ ระบบผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอกับมอเตอร์ขนาด 3HP โดย เป็นไฟฟ้ากระแสสลับแบบ 3 เฟส ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ระบบ ผลิตไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid System) ขนาด 2.85 kW โดยจะใช้แหล่งพลังงานจากสองแหล่ง และใช้ไฟฟ้าที่ ผลิตได้จากโซลาร์เซลล์เป็นหลัก ร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐาน เดิมในบ่อปลา โดยไม่ใช้แบตเตอรี่ จากการออกแบบ ผู้วิจัย

จึงเลือกใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม ขนาด 315 W จำนวน 9 แผง สำหรับการเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ ผู้วิจัยได้ เลือกใช้ไฮบริดอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Siemens รุ่น SINAMICS V20 ขนาด 2.2 kW แบบ 3 เฟส ซึ่งเป็นอินเวอร์เตอร์สำหรับ การใช้งานกับมอเตอร์โดยเฉพาะ เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้านี้ ใช้แหล่งพลังงานจากสองแหล่งร่วมกันคือจากระบบเซลล์ แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐาน ในเวลากลางวันระบบ จะใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นหลัก ทำการใช้งาน ระบบเป็นเวลา 9 ชั่วโมงต่อวัน เริ่มตั้งแต่เวลา 8.00 น.- 17.00 น. ข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจะถูกนำไปวิเคราะห์ต่อไป

3.2 ลักษณะวงจรทางไฟฟ้าของบ่อเลี้ยงปลา

ในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ หรือระบบ Solar PV ของบ่อเลี้ยงปลาจะต้องมีการประเมิน ลักษณะการติดตั้ง เพื่อให้ได้ระบบผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมแก่ การใช้งาน โดยมี Inverter ในการแปลงกระแสไฟฟ้าของทั้ง ไฟบ้าน (AC) และไฟที่ได้จาก Solar PV (DC) จะแปลงไฟให้ มีขนาดเท่ากับ 220 Vac 3 เฟส ออกมาใช้ในการปั่นมอเตอร์ เพื่อใช้ในการตีน้ำเพื่อเพิ่มออกซิเจนในบ่อเลี้ยงปลาแสดงดัง รูปที่ 3

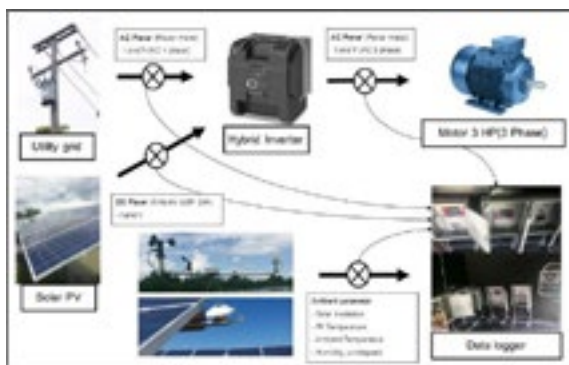


รูปที่ 3 วงจรทางไฟฟ้าของระบบเครื่องเติมอากาศ

3.3 ระบบตรวจวัดและการเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ของ ระบบเครื่องเติมอากาศ

เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้านี้ใช้แหล่งพลังงานจาก สองแหล่งร่วมกันคือจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และระบบ ไฟฟ้าพื้นฐาน ในเวลากลางวันระบบจะใช้พลังงานจากเซลล์ แสงอาทิตย์เป็นหลัก โดยมีค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าที่ได้ทำ

การเก็บข้อมูลคือ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (DC) ค่ากำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน (AC 1 Phase) และค่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากไฮบริดอินเวอร์เตอร์ (AC 3 Phase) สำหรับการเก็บข้อมูลแวดล้อม จะมีพารามิเตอร์ที่ทำการเก็บข้อมูลคือ ความเข้มแสงอาทิตย์ อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และอุณหภูมิแวดล้อม โดยดำเนินการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม - เมษายน ทำการใช้งานระบบเป็นเวลา 9 ชั่วโมงต่อวัน เริ่มตั้งแต่เวลา 8.00 น.- 17.00 น.



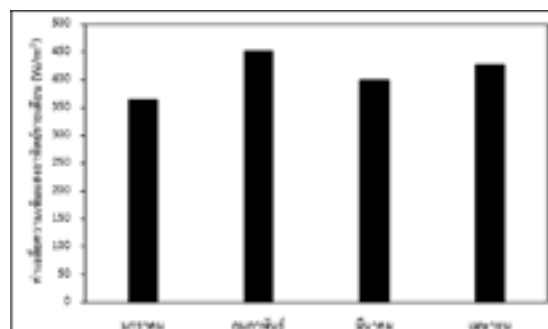
รูปที่ 4 ระบบตรวจวัดและพารามิเตอร์ที่ทำการเก็บข้อมูลของระบบผลิตไฟฟ้า

4. ผลและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมระหว่างแผงเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐานสำหรับเครื่องเติมอากาศในบ่อเลี้ยงปลา ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลหนึ่งรอบการเลี้ยงปลาซึ่งเริ่มตั้งแต่การปล่อยลูกปลาจนถึงช่วงปลาโตเต็มวัย ระยะเวลาในรอบการเลี้ยงปลาประมาณ 4 เดือน ซึ่งในรอบที่เก็บข้อมูลจะเริ่มตั้งแต่เดือนมกราคม - เมษายน โดยมีผลและการวิเคราะห์ผลการทดลองดังต่อไปนี้

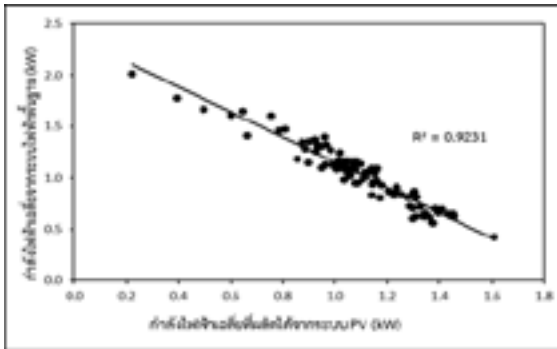
จากรูปที่ 5 แสดงค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายวันของเดือนที่ทำการเก็บข้อมูล โดยจะเป็นค่ารังสีอาทิตย์ในช่วงที่มีการเปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศในแต่ละวัน จากรูปพบว่าในเดือนมกราคมค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันที่เปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศมีค่า 364 W/m² วันที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดของเดือนมกราคมมีค่า 451 W/m² ใน

เดือนกุมภาพันธ์ค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันที่เปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศมีค่า 451 W/m² วันที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดของเดือนกุมภาพันธ์มีค่า 545 W/m² ในเดือนมีนาคมและเมษายนค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์รายวันที่เปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศมีค่า 400 W/m² และ 420 W/m² ตามลำดับ วันที่มีค่าเฉลี่ยความเข้มรังสีอาทิตย์สูงสุดของเดือนมีนาคมและเมษายนมีค่า 643 W/m² และ 511 W/m² ตามลำดับ



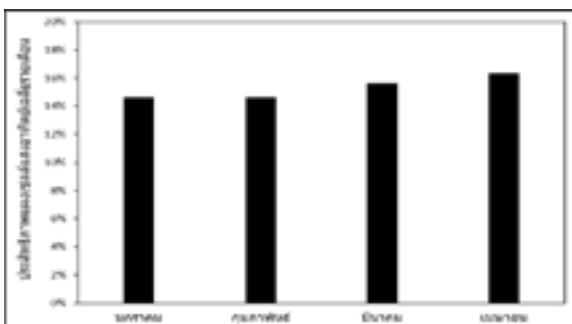
รูปที่ 5 ค่ารังสีอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือน ในรอบการเลี้ยงปลา

จากรูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ช่วงที่เปิดเครื่องเติมอากาศในหนึ่งรอบการเลี้ยงปลา โดยมีความสัมพันธ์เป็นแบบถดถอยเชิงเส้น ค่า R² มีค่า 0.9231 หมายความว่า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะแปรผันตรงกับความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวัน ในช่วงการเปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยรายวันที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่าสูงสุดคือ 1.64 kW โดยเป็นวันที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงสุดคือ 642 W/m² เมื่อพิจารณาจากการเก็บข้อมูลในหนึ่งรอบการเลี้ยงปลา (มกราคม-เมษายน) พบว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้มีค่า 1.106 kW หรือคิดเป็น 38% ของกำลังการติดตั้งสูงสุด ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ตลอดการเก็บข้อมูลมีค่า 411 W/m²



รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก
ระบบเซลล์แสงอาทิตย์และค่าเฉลี่ยรังสีอาทิตย์ช่วงที่เปิด
เครื่องเติมอากาศในหนึ่งรอบการเลี้ยงปลา

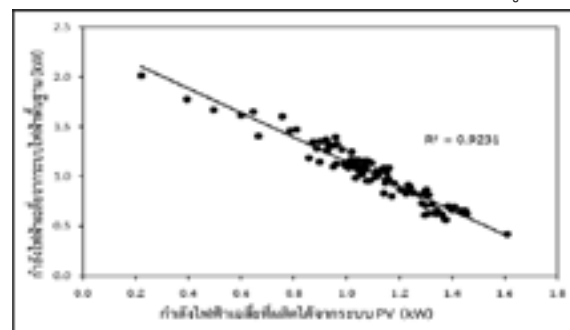
จากนั้นทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการ
แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า จากรูปที่ 7
ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงาน
ไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า
ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์เฉลี่ยรายเดือน ของ
เดือนมกราคมมีค่า 14.65% เดือนกุมภาพันธ์มีค่า 14.64%
เดือนมีนาคมและเมษายนมีค่า 15.64% และ 16.39%
ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็น
พลังงานไฟฟ้าในหนึ่งรอบการเลี้ยงปลามีค่าประมาณ 15%
ค่าที่ได้อยู่ในช่วงปกติของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกรวม



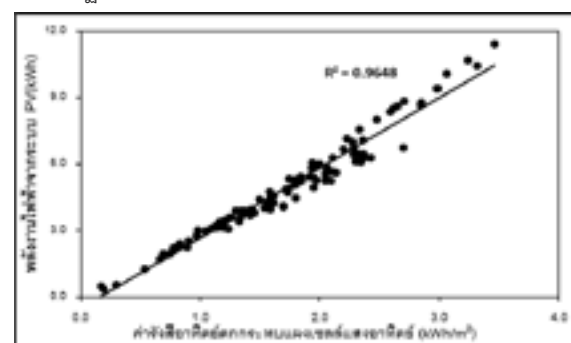
รูปที่ 7 ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็น
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายเดือนของแผงเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากระบบพลังงานของเครื่องเติมออกซิเจน
ในบ่อเลี้ยงปลามีลักษณะของการใช้งานร่วม (load sharing)
คือเป็นการใช้งานร่วมกันระหว่างไฟฟ้าจากระบบเซลล์
แสงอาทิตย์ และจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานของการไฟฟ้าส่วน

ภูมิภาค โดยอินเวอร์เตอร์ที่ใช้จะมีความสามารถในการดึง
กำลังไฟฟ้าจากทั้งสองแหล่งเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการ
ของโหลตมอเตอร์จากเครื่องเติมอากาศขนาด 3 HP รูปที่ 8
แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน
และกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ได้จากการเก็บ
ข้อมูลจากการใช้งานจริงของเกษตรกรในหนึ่งรอบการเลี้ยง
ปลาเป็นระยะเวลา 4 เดือน ตั้งแต่เดือนมกราคม-เมษายน
2562 พบว่าในวันที่มีแสงอาทิตย์ตกกระทบมากระบบผลิต
ไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตไฟฟ้าเพื่อชดเชยการ
ใช้ไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานได้มาก ทำให้สามารถชดเชย
การใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานได้มาก โดยใน
วันดังกล่าวจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน
ลดลง ในทางกลับกันในวันที่ปริมาณแสงอาทิตย์ตกกระทบ
น้อย ระบบผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบ
ไฟฟ้าพื้นฐานมาชดเชยเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้งานของ
มอเตอร์สำหรับเติมออกซิเจนดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า
พื้นฐาน และกำลังไฟฟ้าจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก
ระบบเซลล์แสงอาทิตย์และค่ารังสีอาทิตย์

เมื่อพิจารณาปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ และพลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานที่ใช้ร่วมกันสำหรับมอเตอร์เครื่องเติมอากาศ พบว่าสัดส่วนชดเชยการใช้พลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าไม่คงที่และมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบ ผู้วิจัยจึงแบ่งการวิเคราะห์สัดส่วนการชดเชยพลังงานไฟฟ้า และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ออกเป็น 2 กรณี คือ ท้องฟ้าโปร่งเป็นวันที่ระบบเครื่องเติมอากาศเปิดใช้งานและมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยทั้งวันมากกว่า 350 W/m^2 ท้องฟ้ามีเมฆมากคือวันที่ระบบเครื่องเติมอากาศเปิดใช้งานและมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเฉลี่ยทั้งวันน้อยกว่า 350 W/m^2

จากตารางที่ 2 จำนวนชั่วโมงที่เปิดใช้งานระบบผลิตไฟฟ้า สัดส่วนการทดแทนพลังงานจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานและความสัมพันธ์กับขนาดของปลานิลในการใช้งานเครื่องเติมอากาศ พบว่าพฤติกรรม的开ปิดระบบเติมอากาศของเกษตรกร มีความสัมพันธ์กับขนาดของปลาที่เกษตรกรทำการเลี้ยง โดยในเดือนที่ระบบมีสัดส่วนทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดคือเดือนมกราคม มีค่า 44% ซึ่งเป็นเดือนแรกของการเลี้ยงปลานิล โดยปลานิลมีขนาดตัวประมาณ 0.5 kg มีจำนวนการเปิดใช้งานระบบผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยอยู่ที่ 3.4 ชั่วโมง/วัน เมื่อพิจารณาภาพรวมในหนึ่งรอบการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานมีค่า 4.82 kWh/d และ 4.32 kWh/d ตามลำดับ ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อมาชดเชยการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า

พื้นฐานในรอบการเลี้ยงปลานิลได้ 52% หรือครึ่งหนึ่งของความต้องการใช้พลังงานของเครื่องเติมอากาศ

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยตัวแปรต่าง ๆ ที่ได้จากการใช้งานจริงของระบบผลิตไฟฟ้าร่วมจากเซลล์แสงอาทิตย์และไฟฟ้าพื้นฐาน ในหนึ่งรอบการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่าตลอดการใช้งานของระบบในช่วงเวลาที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก ระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมได้ 65.85 kWh มีการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานรวม 111.97 kWh และระบบเซลล์แสงอาทิตย์สามารถทดแทนการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานคิดเป็น 37.03% ของความต้องการพลังงานไฟฟ้าของเครื่องเติมอากาศ และในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ค่าแสงอาทิตย์ตกกระทบมีค่าสูง ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ารวมได้ 507.47 kWh และใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานรวม 404.55 kWh สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานลงได้ 55.64% ค่าผลผลิตอ้างอิง (Y_R) ซึ่งเป็นค่าที่ระบบสามารถผลิตได้ตามทฤษฎี และค่าผลผลิตสุดท้าย (Y_P) เป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบสามารถผลิตได้จริง จากตารางที่ 3 พบว่า ค่าผลผลิตอ้างอิง และผลผลิตสุดท้าย ทั้งในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง และมีเมฆมาก ผลผลิตสุดท้ายของระบบจะมีค่าน้อยกว่าผลผลิตอ้างอิงเล็กน้อย กล่าวได้ว่าระบบผลิตไฟฟ้านี้สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ โดยในวันที่ท้องฟ้าโปร่ง ผลผลิตอ้างอิง และผลผลิตสุดท้าย มีค่า 1.864 kWh/kW_p และ 1.865 kWh/kW_p ในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆมาก ผลผลิตอ้างอิง และผลผลิตสุดท้าย มีค่า 1.037 kWh/kW_p และ 1.010 kWh/kW_p ตามลำดับ

ตารางที่ 2 จำนวนชั่วโมงที่เปิดใช้งานระบบผลิตไฟฟ้า สัดส่วนการทดแทนพลังงานจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานและความสัมพันธ์กับขนาดของปลานิลในการใช้งานเครื่องเติมอากาศ

เดือน	ลักษณะปลา (ตัว/kg)	ชั่วโมงเฉลี่ยที่เปิดใช้งานเครื่องเติมอากาศ (hr)	พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/d)	พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานของการไฟฟ้า (kWh/d)	สัดส่วนทดแทนการใช้ไฟฟ้า
มกราคม	0.5	3.382	3.30	4.13	44%
กุมภาพันธ์	0.6	3.485	4.27	3.20	57%
มีนาคม	0.7	4.140	4.62	3.98	54%
เมษายน	0.8-1.0	5.311	7.09	5.98	54%

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยตัวแปรต่างๆที่ได้จากการใช้งานจริงของระบบผลิตไฟฟ้ารวมจากเซลล์แสงอาทิตย์และไฟฟ้าพื้นฐาน ในหนึ่งรอบการเลี้ยงปลา

ตัวแปร	ท้องฟ้าโปร่ง	ท้องฟ้ามีเมฆมาก
ความเข้มแสงอาทิตย์ตกกระทบ (W/m^2)	439.08	268.75
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kW)	1.19	0.77
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh/d)	5.27	2.86
พลังงานไฟฟ้ารวมจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)	507.47	65.85
กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน (kW)	0.92	1.42
พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน (kWh/d)	4.21	5.20
พลังงานไฟฟ้ารวมจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน (kWh/d)	404.55	111.97
สัดส่วนการทดแทนพลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	37.03	55.64
สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐาน (%)	62.97	44.36
อุณหภูมิแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ($^{\circ}C$)	40.42	34.87
อุณหภูมิแวดล้อม ($^{\circ}C$)	30.65	29.06
ประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (%)	16	14
ผลผลิตอ้างอิง (kWh/kW_p)	1.864	1.037
ผลผลิตสุดท้าย (kWh/kW_p)	1.865	1.010

ตารางที่ 4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการพบว่าระบบผลิตไฟฟ้าร่วมระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐานนี้มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เท่ากับ 98,383.4 หมายความว่าโครงการนี้น่าลงทุนเนื่องจากมูลค่าปัจจุบัน

สุทธิของโครงการมีค่ามากกว่าศูนย์ อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ของระบบมีค่า 15.50% ระยะเวลาคืนทุนของโครงการนี้คือ 6.12 ปี สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 2,380.24 $kgCO_2$ /ปี

ตารางที่ 4 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของโครงการ

ระบบ	เงินลงทุน (Baht)	NPV	IRR (%)	PB (ปี)	ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ลดลง ได้เทียบเท่ากับ CO ₂ (kgCO ₂ /ปี)
ระบบผลิตไฟฟ้าสำหรับ เครื่องเติมอากาศขนาด 3 HP	117,000	98,383.4	15.50	6.12	2,380.24

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าการใช้พลังงานร่วมระหว่างระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์และระบบไฟฟ้าพื้นฐานของการไฟฟ้า เพื่อทดแทนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานในช่วงเวลากลางวัน เพื่อช่วยลดต้นทุนจากค่าไฟฟ้าในการเปิดเครื่องเติมอากาศ และวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 2.85kW ที่ทำงานร่วมกับระบบไฟฟ้าพื้นฐานของบ่อปลา จากการทดลองพบว่าความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายวันที่เปิดใช้งานระบบในเดือน มกราคม - เมษายน มีค่า 364 W/m², 451 W/m² 400 W/m² และ 420 W/m² ตามลำดับ

ในหนึ่งรอบการเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 4 เดือน พบว่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อวันจากระบบเซลล์แสงอาทิตย์และจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานมีค่า 4.82 kWh/d และ 4.32 kWh/d ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถชดเชยการใช้พลังงานจากระบบไฟฟ้าพื้นฐานในรอบการเลี้ยงปลาได้ 52%

ในด้านเศรษฐศาสตร์และสิ่งแวดล้อม ระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์มีอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) มีค่า 15.50% ระยะเวลาคืนทุนของโครงการนี้คือ 6.12 ปี สำหรับผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าระบบผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์สามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้ 2,380.24 kgCO₂/ปี

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่มอบทุนอุดหนุนการทำวิทยานิพนธ์ผ่านโครงการ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนในระดับบัณฑิตศึกษา” ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

(วช.) ในการสนับสนุนทุนในการวิจัย และบ่อเลี้ยงปลาสมหมายฟาร์มสำหรับเอื้อเพื่อสถานที่ในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). คู่มือพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 2 พลังงานแสงอาทิตย์. สืบค้นจาก <http://www.dede.go.th>.
- [2] หน่วยวิจัยสังคมและสิ่งแวดล้อม คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. (2557). การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการปรับตัวสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในเขตภาคเหนือของประเทศไทย. สืบค้นจาก <https://aquadaptorg.files.wordpress.com/2017/04/briefing-10th.pdf>.
- [3] Hussin, M.Z., S. Shaari, & A.M. Omar, (2013). Field performance of grid connected photovoltaic system using amorphous silicon module. International Journal of Renewable Energy, 8(2), 37-48.
- [4] มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. (2560). ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการวิเคราะห์และประเมินโครงการ. สืบค้น 20 มกราคม 2564, จาก <http://www.stou.ac.th/stouonline/lom/data/sec/Lom14/01-01-01.html>.
- [5] Akarin Intaniwet, & Nattaporn Chaiyat, (2017) Levelized electricity costing per carbon dioxide intensity of an organic Rankine cycle by using a water hyacinth-municipal solid waste fuel. Journal of Energy, 139: 76-88

การสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ และการประยุกต์ใช้กับการสอนอาชีวศึกษา

Invention and Evaluation of Frequency Modulation Modular Instructional Package and Application to Vocational Education

ณัฐวุฒิ พานิชเจริญ* อัญชลี พานิชเจริญ และ มาลา เทพมณี

Natthawut Panitjaroen* Anchalee Panitjaroen and Mala Thapmanee

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก 41/1 ถนนพหลโยธิน หมู่ 7 ตำบลไม้งาม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000
Rajamangala University of Technology Lanna Tak 41/1 Phahonyothin Road Moo 7 Tambon Mai-ngam Tak 63000

*natrit@gmail.com, 09 9196 9987

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนการมอดูเลตทางความถี่ วงจรที่ออกแบบขึ้นได้ ทดสอบวัดสัญญาณให้สมรรถนะออกมาตามที่คาดหวัง เพื่อเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้จากสร้างและหาประสิทธิภาพวงจรการมอดูเลตทางความถี่ จึงนำชุดการสอนที่สร้างขึ้นไปถ่ายทอดให้กับกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ นักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ที่ลงทะเบียนเรียนวิชาการระบบโทรคมนาคมภาคเรียนที่ 2 ปี การศึกษา 2563 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ด้วยการเลือกแบบเจาะจง แล้วให้ทำการทดสอบเพื่อวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หลังจากนั้นนำคะแนนที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพชุดการสอน ผลการวิจัยครั้งนี้ ปรากฏว่าชุดการสอนที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพเท่ากับ 84.42/85.25 ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนก่อนเรียนและหลังเรียนพบว่ามีความเฉลี่ยหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับ 0.01 และความพึงพอใจของนักศึกษาอยู่ที่ระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.71, SD.=0.37) แสดงว่าชุดการสอนการมอดูเลตทางความถี่มีประสิทธิภาพเป็นตามสมมติฐานการวิจัย

คำสำคัญ: เอฟเอ็ม, การมอดูเลตทางความถี่, ชุดการสอน

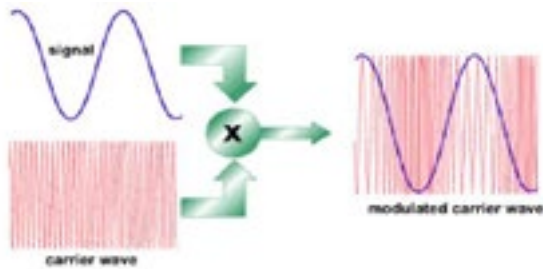
Abstract

The purpose of this research was to invention and to find out the effectiveness of the modular instructional package. Circuit designed to test signal performance to come out as expected. This is to introduce the knowledge gained from the creation and the efficiency of the frequency modulation circuit. The instructional package was created to convey to the sample students are high school diploma. Enrollment in the second semester of academic year 2562 Rajamangala University of Technology Lanna Tak. Then take the test to measure the achievement. Then the scores were calculated for the instructional package. The results of this research show that the instructional package developed by the researcher was 80.40 / 80.80 Moreover, post test score of the students was significantly higher then their pretest score ($p < .01$). Finally, the students' satisfaction was at the highly manifested (\bar{X} = 4.71, SD.=0.37). Performance based on research hypothesis.

Keywords: FM, Frequency Modulation, Modular Instructional Package

1. บทนำ

ระบบเอฟเอ็ม (FM) เป็นการผสมคลื่นทางความถี่ (Frequency Modulation) คือคลื่นวิทยุที่ผสมกับคลื่นเสียงแล้ว จะมีความถี่ไม่สม่ำเสมอ เปลี่ยนแปลงไปตามคลื่นเสียง แต่ความสูงของคลื่นยังคงเดิม วิทยุเอฟเอ็มส่งด้วยความถี่ 88 -108 MHz ในประเทศไทยมีจำนวนกว่า 100 สถานี กระจายอยู่ตามจังหวัดต่างๆ ทั่วประเทศ ให้คุณภาพเสียงดีเยี่ยม ไม่เกิดสัญญาณรบกวนจากสภาพอากาศแปรปรวน



รูปที่ 1 สัญญาณมอดูเลตทางความถี่

สำหรับการเสนอหัวข้อวิจัยครั้งนี้จะได้ดำเนินการออกแบบและสร้างวงจรมอดูเลตทางความถี่ที่มีโครงสร้างของวงจรเป็นดังแผนภาพบล็อก รูปที่ 2

MPU ทำหน้าที่ควบคุมการกำหนดค่าความถี่อ้างอิง และกำหนดความถี่พาหะ (f_c) ของสถานีวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม โดยกำหนดการหารความถี่จาก VCO ที่เหมาะสม ตลอดจนการควบคุมการแสดงผล

Display ทำหน้าที่แสดงผลความถี่ของสถานีวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็มที่ทำการออกอากาศ

Reference Frequency กำหนดความถี่อ้างอิง ร่วมกับ x'tal ซึ่งจะมีความถี่ที่เที่ยงตรงสูงมาก จากนั้นจะนำมารหารความถี่ลงเพื่อให้ได้ความถี่อ้างอิงตามต้องการ

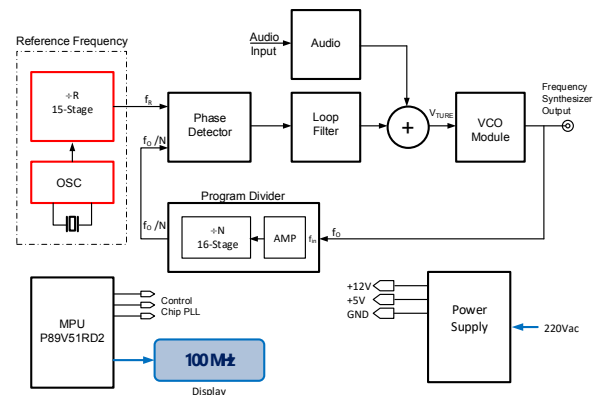
Program Divider ทำหน้าที่นำเอาความถี่ทางเข้าที่พุดมาหาร N เพื่อนำกลับไปเปรียบเทียบเฟสในการสังเคราะห์ความถี่

Phase Detector ทำหน้าที่เปรียบเทียบเฟส ระหว่างสัญญาณความถี่อ้างอิง (f_{ref}) กับความถี่ทางเข้าที่พุดของ VCO ที่ผ่านการหารความถี่ โดยความถี่ที่ต้องการคือความถี่พาหะของสถานีวิทยุกระจายเสียงเอฟเอ็ม จะมีค่าเป็น

$$f_c = N \cdot f_{ref} \quad (1)$$

- เมื่อ f_c คือ ความถี่พาหะที่ต้องการสร้าง
- N คือ ค่าการหารที่เป็นจำนวนเต็ม
- f_{ref} คือ ความถี่อ้างอิงเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

ถ้าความถี่หรือเฟสของสัญญาณไม่ตรงกันจะทำให้เกิดแรงดันออกมาที่เอาต์พุด Phase Comparator ส่งไปให้ภาคกรองความถี่ต่ำต่อไป



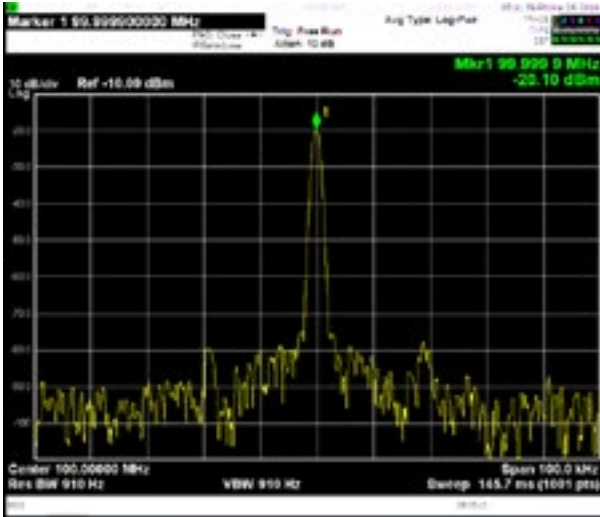
รูปที่ 2 แผนภาพบล็อกวงจรมอดูเลตทางความถี่



รูปที่ 3 แผงวงจรการมอดูเลตทางความถี่ที่ออกแบบสร้าง



รูปที่ 4 ทดสอบสัญญาณผลการมอดูเลตทางความถี่ 100 MHz



รูปที่ 5 การทดสอบสัญญาณผลการมอดูเลตทางความถี่ด้วย Spectrum Analyzer เป็นไปตามมาตรฐานของ กสทช.

2. แนวคิดและทฤษฎี

การสร้างชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อนำมา คือ ทฤษฎีเกี่ยวกับชุดการสอน ทฤษฎีเกี่ยวกับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ทฤษฎีเกี่ยวกับความพึงพอใจกำหนดสร้างและเป็นการรอบแนวคิดการวิจัย

สำหรับขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพชุดการสอนเมื่อผลิตชุดการสอนขึ้นเป็นต้นแบบแล้ว ต้องนำชุดการสอนไปหาประสิทธิภาพตามขั้นตอนต่อไปนี้

1. การทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยว (1:1) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียน 3 คน โดยใช้เด็กอ่อน ปานกลางและเด็กเก่ง ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรม สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าฉงนหรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ ประเมินการเรียนรู้จากกระบวนการ คือ กิจกรรมหรือภารกิจและงานที่มอบให้ทำและทดสอบหลังเรียนนำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพ หากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหาสาระ กิจกรรมระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น โดยปกติคะแนนที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยวนั้นจะได้คะแนนต่ำกว่าเกณฑ์มาก แต่ไม่ต้องวิตก เมื่อปรับปรุงแล้วจะสูงขึ้นมาก ก่อนนำไปทดสอบประสิทธิภาพแบบกลุ่ม ทั้งนี้ E1/E2 ที่ได้จะมีค่าประมาณ 60/60

2. การทดสอบประสิทธิภาพแบบกลุ่ม (1:10) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียน 6-10 คน (ละผู้เรียนที่เก่ง ปานกลางกับอ่อน) ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรม สังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าฉงนหรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ หลังจากทดสอบประสิทธิภาพให้ประเมินการเรียนรู้จากกระบวนการ คือ กิจกรรมหรือภารกิจและงานที่มอบให้ทำและประเมินผลลัพธ์ คือ การทดสอบหลังเรียนและงานสุดท้ายที่มอบให้นักเรียนทำส่งก่อนสอบประจำหน่วยให้นำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพ หากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหาสาระ กิจกรรมระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น คำนวณหาประสิทธิภาพแล้วปรับปรุง ในคราวนี้คะแนนของผู้เรียนจะเพิ่มขึ้นอีกเกือบเท่าเกณฑ์ โดยเฉลี่ยจะห่างจากเกณฑ์ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ นั่นคือ E1/E2 ที่ได้จะมีค่าประมาณ 70/70

3. การทดสอบประสิทธิภาพภาคสนาม (1:100) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียนทั้งชั้น ระหว่างทดสอบประสิทธิภาพให้จับเวลาในการประกอบกิจกรรมสังเกตพฤติกรรมของผู้เรียนว่า หงุดหงิด ทำหน้าฉงน หรือทำท่าทางไม่เข้าใจหรือไม่ หลังจากทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามแล้วให้ประเมินการเรียนรู้จากกระบวนการ คือ กิจกรรมหรือภารกิจและงานที่มอบให้ทำและทดสอบหลังเรียน นำคะแนนมาคำนวณหาประสิทธิภาพ หากไม่ถึงเกณฑ์ต้องปรับปรุงเนื้อหาสาระ กิจกรรมระหว่างเรียนและแบบทดสอบหลังเรียนให้ดีขึ้น แล้วนำไปทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามซ้ำกับนักศึกษาต่างกลุ่ม อาจทดสอบประสิทธิภาพ 2-3 ครั้ง จนได้ค่าประสิทธิภาพถึงเกณฑ์ขั้นต่ำ ปกติไม่น่าจะทดสอบประสิทธิภาพเกินสามครั้ง ด้วยเหตุนี้ขั้นทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามจึงแทนด้วย 1:100 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามควรใกล้เคียงกัน เกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากต่ำกว่าเกณฑ์ไม่เกิน 2.5 เปอร์เซ็นต์ ก็ให้ยอมรับว่า สื่อหรือชุดการสอนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากค่าที่ได้ต่ำกว่าเกณฑ์มากกว่า -2.5 ให้ปรับปรุงและทดสอบประสิทธิภาพภาคสนามซ้ำจนกว่าจะถึงเกณฑ์ จะหยุดปรับปรุงแล้วสรุปว่าชุดการสอนไม่มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้หรือจะลดเกณฑ์ลงเพราะ ถอดใจหรือยอมรับไม่ได้ หากสูงกว่าเกณฑ์ไม่เกิน +2.5 ก็ยอมรับว่า สื่อหรือชุดการสอนมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่ตั้งไว้ หากค่าที่ได้สูงกว่าเกณฑ์เกิน +2.5 ให้ปรับเกณฑ์ขึ้นไปอีกหนึ่งขั้น เช่น

ตั้งไว้ 80/80 ก็ให้ปรับขึ้นเป็น 85/85 หรือ 90/90 ตามค่าประสิทธิภาพที่ทดสอบประสิทธิภาพได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างและหาประสิทธิภาพชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่
2. เพื่อศึกษาผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอน
3. เพื่อศึกษาความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่

สมมติฐานการวิจัย

1. ชุดการสอน เรื่องการมอดูเลตทางความถี่ มีประสิทธิภาพตามเกณฑ์ที่กำหนด ($E_1/E_2 = 80/80$)
2. ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนด้วย ชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่
3. ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนด้วย ชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ในระดับมาก

นิยามศัพท์

ชุดการสอน หมายถึง ชุดของสื่อผสมที่ผู้วิจัยสร้างขึ้นเป็นชุดประกอบการสอนของครู ที่มีกิจกรรมวิธีการสอนที่หลากหลาย

ประสิทธิภาพของชุดการสอน หมายถึง ผลการใช้ชุดการสอนแล้วประสบความสำเร็จ ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

การหาประสิทธิภาพของชุดการสอน หมายถึง การนำชุดการสอนที่ได้ออกแบบไว้ นำไปทดลองใช้ตามขั้นตอนที่กำหนดเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองใช้มาปรับปรุงแก้ไขและนำไปใช้กับกลุ่มทดลองโดยกำหนดเกณฑ์ให้เป็นตัวเลข เป็นร้อยละของคะแนนเฉลี่ยมีค่าเป็น E_1/E_2

E_1 คือ ค่าประสิทธิภาพของกระบวนการ ที่นักศึกษาได้รับโดยเฉลี่ย จากกิจกรรมระหว่างเรียน ในการทำกิจกรรม ใบงาน ซึ่งกำหนดไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

E_2 คือค่าประสิทธิภาพของผลลัพธ์คะแนนผลสัมฤทธิ์หลังเรียนของชุดการสอนในแต่ละชุด กำหนดค่า ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80

นักศึกษา หมายถึง นักศึกษาระดับชั้นประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ที่เรียนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่

ผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน หมายถึง ระดับคะแนนของการทำแบบทดสอบของนักเรียนที่เรียน ด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนเรียนกับหลังเรียน

ความพึงพอใจ หมายถึง ระดับของค่าคะแนนที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ โดยมีการให้คะแนนเป็น 5 ระดับ

ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตด้านประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

1. ประชากร ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ภาคเรียนที่ 2/2563 ที่เรียนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
2. กลุ่มตัวอย่าง ในการวิจัยในครั้งนี้เป็นนักศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ภาคเรียนที่ 2/2563 ที่เรียนในเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก จำนวน 17 คน ได้มาจากการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

เครื่องมือในการวิจัย

1. ชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่
2. แบบทดสอบก่อนและหลังเรียน
3. แบบสอบถามความพึงพอใจ

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การวิจัยครั้งนี้ไม่คำนึงถึงเพศ อายุ พื้นฐานทางเศรษฐกิจสังคม อารมณ์และช่วงเวลาการเรียนของกลุ่มตัวอย่าง ไม่มีผลต่อการวิจัย
2. ในการทดลองครั้งนี้ถือว่านักศึกษาที่เรียนตามหลักสูตรนี้คุณสมบัติเหมือนกันทุกประการ เนื่องจากได้ผ่านการสอบคัดเลือกเข้ามาศึกษาต่อภายใต้หลักสูตรเดียวกัน
3. ความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิถือว่า ได้กระทำไปด้วยดุลยพินิจจากความจริงใจซึ่งแสดงถึงความรู้สึกอันแท้จริงของกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิ

กรอบแนวคิดการวิจัย



3. วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการศึกษาในการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ ผู้ศึกษาได้ดำเนินการออกเป็น

1. ศึกษาโครงสร้างหลักสูตร
2. วิเคราะห์คำอธิบายรายวิชา
3. รวบรวมเนื้อหา แบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วน เรียงลำดับความ ยากง่าย จัดสร้างกิจกรรม และแบบฝึกหัดตามเนื้อหา
4. ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาชุดการสอน กิจกรรมการจัด การเรียนรู้ และส่วนประกอบของชุดการสอน
5. การทดสอบประสิทธิภาพแบบเดี่ยว (1:1) เป็นการทดสอบประสิทธิภาพที่ผู้สอน 1 คน ทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอนกับผู้เรียน 3 คน โดยใช้เด็กอ่อน ปานกลางและเด็ก เก่ง
6. ทดลองกับกลุ่มเล็ก ประกอบด้วยนักศึกษาที่มีผลการเรียน ทุกรายวิชาเฉลี่ยอยู่ในกลุ่ม เก่ง ปานกลาง และอ่อน กลุ่มละ 3 คน รวม 9 คน
7. นำชุดการสอนที่สร้างไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง
8. หาประสิทธิภาพชุดการสอน
9. เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการศึกษา
10. สร้างแบบสอบถาม ความพึงพอใจต่อการเรียนด้วยชุดการสอน นำร่างเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยที่สร้างไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 5 ท่าน พิจารณาความสอดคล้อง เพื่อหา ดชนีความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับจุดประสงค์ที่วัด (IOC) จากนั้นจึงนำไปใช้กับกลุ่มตัวอย่าง
11. สรุปและรายงานผลการการศึกษา

4. ผลการศึกษาวิจัย

1. ผลการสร้างและหาประสิทธิภาพของชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่

คะแนน	n	คะแนนรวม	ร้อยละ
คะแนนวัดหลังจาก การศึกษา (E1)	17	$\sum X=1,182$	84.42
คะแนนสอบ (E2)	17	$\sum x=725$	85.25

ประสิทธิภาพของชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ จากตารางที่ 1 พบว่าคะแนนระหว่างเรียนเป็น 1,182 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 84.42 และคะแนนทดสอบหลังเรียนรวม 725 คะแนน คิดเป็นร้อยละ 85.25 เป็นประสิทธิภาพของชุดการสอนที่ 84.42 /85.25 ซึ่งมีประสิทธิภาพ ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ที่ 80/80

2. การเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยคะแนนเรียนก่อนและหลังเรียน

คะแนน	n	คะแนนรวม	\bar{X}	SD
ก่อนเรียน	17	271	15.94	3.84
หลังเรียน	17	725	42.65	3.53

ค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่า คะแนนทดสอบก่อนเรียนมีคะแนนรวม 271 คะแนน คิดค่าเฉลี่ย $\bar{X} = 15.94(SD=3.84)$ และคะแนนการทดสอบหลังเรียนมีคะแนนรวม 725 คะแนน สูงกว่าก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ยหลังเรียน $\bar{X}=42.65(SD=3.53)$

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน ก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่

คะแนน	n	\bar{X}	t	df	p-value
ก่อนเรียน	17	15.94	-52.077**	16	0.000
หลังเรียน	17	42.65			

** มีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 3 พบว่าค่าเฉลี่ยคะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน เรื่องการมอดูเลตทางความถี่หลังเรียนสูงกว่าก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

3. ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่

ตารางที่ 4 ความพึงพอใจของนักศึกษาที่เรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่

ลำดับ	รายการประเมิน	\bar{X}	SD
1	ด้านความปลอดภัย	4.85	0.32
2	ด้านความเหมาะสมกับการศึกษา	4.65	0.69
3	ด้านความสะดวกในการศึกษา	4.55	0.45
4	ด้านสร้างทักษะและองค์ความรู้	4.80	0.26
5	ด้านการบำรุงรักษา	4.70	0.50
รวม		4.71	0.37

N=17

ระดับความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ มีผลประเมินความพึงพอใจโดยรวมอยู่ในระดับมาก (\bar{X} = 4.71, SD = 0.37)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

1. ผลการหาประสิทธิภาพของชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ พบว่ามีคะแนนระหว่างเรียน คิดเป็นร้อยละ 84.42 และคะแนนทดสอบหลังเรียน คิดเป็นร้อยละ 85.25 ซึ่งมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ที่ 80/80 แสดงว่าชุดการสอนที่จัดทำมีประสิทธิภาพตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 80/80

2. ผลการเปรียบเทียบผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนก่อนและหลังเรียนของนักศึกษาที่เรียน ด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ ค่าเฉลี่ยคะแนนก่อนเรียนและหลังเรียน พบว่าคะแนนทดสอบก่อนเรียนมีคะแนนรวม 271 คะแนน คิดค่าเฉลี่ย \bar{X} = 15.94 (SD=3.84) และคะแนนการทดสอบหลังเรียนมีคะแนนรวม 725 คะแนน สูงกว่าก่อนเรียน มีค่าเฉลี่ยหลังเรียน \bar{X} =42.65(SD=3.53) แสดงว่านักศึกษามีผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนหลังเรียนสูงกว่า ก่อนเรียนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะก่อนเรียนนักศึกษา ไม่มีพื้นฐานความรู้ และเมื่อผ่านกระบวนการเรียนรู้ด้วยชุดการสอนที่มีการเสริมกิจกรรมที่หลากหลาย ทำให้นักศึกษามีผลการเรียนที่สูงขึ้น

3. ผลการสอบถามความพึงพอใจของนักศึกษาที่มีต่อการเรียนด้วยชุดการสอนเรื่องการมอดูเลตทางความถี่ ผลประเมินมีระดับพึงพอใจในระดับมากที่สุด (\bar{X} = 4.71, SD = 0.37) ที่มีผลเช่นนี้อาจ

เป็นเพราะการออกแบบที่ผู้วิจัยได้มีประสบการณ์ด้านการสอน มีการนำผลการวิจัยในแต่ละภาคเรียน มาปรับแก้ไขทำให้ชุดการสอนที่จัดสร้างขึ้นมาสามารถให้ความรู้แก่นักศึกษา และทำให้นักศึกษามีระดับ ความพึงพอใจภาพรวมในระดับมากที่สุด

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์อรอนงค์ นิยมธรรม ที่ได้ให้คำแนะนำในการวิจัยครั้งนี้โดยเฉพาะด้านสถิติ รวมถึงนักศึกษาระดับ ปวส. ชั้นปีที่ 2 สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก ที่ให้ความร่วมมือทุกด้านในการวิจัยครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

ณัฐวุฒิ พานิชเจริญ, (2539). *ระบบโทรคมนาคม*. ตาก: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. (2556). การทดสอบประสิทธิภาพสื่อหรือชุดการสอน. *วารสารศิลปการศึกษาศาสตร์วิจัย*, 5(1), 10-12.

ชุตินา สัจจนันท์. (2556). การเขียนเอกสารประกอบการสอน. สืบค้น 21 มกราคม 2564, จาก <http://department.utcc.ac.th/acadaffairs/images/.../teaching-note-chutima.pdf>

ณรงค์ โคตรศรี. (2557). ชุดการสอนร่วมกับเทคนิคการเรียนแบบร่วมมือแบบกลุ่มช่วยรายบุคคล (TAI) ที่ส่งผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนความสามารถในการคิดวิเคราะห์ และเจตคติต่อวิชา สังคมศึกษาของนักเรียนชั้นมัธยมศึกษาปีที่. *วารสารศาสตร์การศึกษาและการพัฒนามนุษย์*, (1). ภาณุวัฒน์ เปรมปรี. (2556). *ชุดกิจกรรมการเรียนรู้ เรื่อง ระบบนิเวศน้ำจืด สำหรับนักเรียน ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4 โรงเรียนประเทียวิทยาทาน*. สระบุรี: ม.ป.พ.

มนตรี แยมกลีกร. (2551). เกณฑ์ประสิทธิภาพในงานวิจัยและพัฒนาสื่อการสอนความแตกต่าง 90/90 Standard และ E1/E2. *วารสารศึกษาศาสตร์*, 19(1).

วิจารณ์ พานิช. (2556). *ครูเพื่อศิษย์สร้างห้องเรียนกลับทาง*. กรุงเทพฯ: เอสอาร์พรินติ้งแมสโปรดักส์ จำกัด.

การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์
ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ บ้านผาด่าน อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน
Electricity Generation Potential and Economic Evaluation of Photovoltaic
Electricity Generation System in Ban Padan, Mae Tha District, Lamphun

เบญจมาภรณ์ เทพวิญญากิจ¹ ณัฐิยา ตันตรานนท์² สุรัชชัย อนุรักษ์ จันท์ศรี¹ วรจิตต์ เศรษฐพรศรี¹
สุชัชจ จี ศรีแก้ว³ และ หทัยทิพย์ สินธูยา^{1*}

Benjarnporn Thepwinayakit¹ Nuttiya Tantranont² Surachai Narrat Jansri¹ Worajit Setthapun¹
Suchat Srikaew³ and Hathaithip Sintuya^{1*}

¹ วิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 180 หมู่ 7 ต.ซีเหล็ก อ.แมริม จ.เชียงใหม่ 50180

² คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 180 หมู่ 7 ต.ซีเหล็ก อ.แมริม จ.เชียงใหม่ 50180

³ สมาคมพลังงานทดแทนเพื่อความยั่งยืนแห่งประเทศไทย ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

¹ Asian Development College for Community Economy and Technology (adiCET),

² Chiang Mai Rajabhat University, 180 Moo 7 Chotana Rd., Khilek, Mae Rim, Chiang Mai 50180, Thailand

³ Renewable Energy for Sustainable Association, Nong Han, San Sai, Chiang Mai 50290, Thailand

*hathaithip.nin@cg.cmru.ac.th, +66931872968

บทคัดย่อ

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการพัฒนาชุมชน โดยเฉพาะในพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง ระบบผลิตไฟฟ้าของบ้านผาด่าน จังหวัดลำพูน เป็นต้นแบบไมโครกริดชุมชนที่พึ่งพาตนเอง โดยไม่มีการเชื่อมต่อกับระบบสายส่ง ด้วยข้อจำกัดนี้ ทำให้ต้นทุนในการติดตั้งระบบสูง เนื่องจากจะต้องมีระบบกักเก็บพลังงานเพื่อใช้ไฟฟ้าในช่วงกลางคืน การคำนึงถึงราคาไฟฟ้าที่เหมาะสมจึงจำเป็นต่อระบบผลิตไฟฟ้าชุมชนดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างความยั่งยืนของระบบไมโครกริดชุมชน โดยการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อหาราคาไฟฟ้าที่ทำให้สามารถบำรุงรักษาระบบ และพึ่งพาตนเองด้านพลังงานได้อย่างยั่งยืน คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในกรณีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์แบบเชื่อมต่อกับระบบไมโครกริดชุมชน พื้นที่บ้านผาด่าน ตำบลทากาศ อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน ซึ่งเป็นพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึง จากผลการวิจัยพบว่าระบบมีศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 152.98 MWh/year นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสัดส่วนสมรรถนะของระบบ มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.774 นอกจากนี้จากการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น พบว่าราคาที่ขายในปัจจุบัน คือ 10 บาท/หน่วย นั้นเพียงพอต่อการดูแลรักษาระบบ และสามารถนำไปลงทุนพัฒนาระบบในอนาคตหลังจากสิ้นสุดอายุการใช้งานของระบบดังกล่าว

คำสำคัญ: ไมโครกริดชุมชน ระบบผลิตไฟฟ้า ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า เศรษฐศาสตร์

Abstract

Photovoltaic electricity generation system has played an important role in the development of community especially in the unelectrified area. The power generation system of Ban Padan, Lamphun, is a self-reliant community microgrid model which have no access to the utility grid. This limitation results in the high investment cost of energy storage installation to support electricity consumption at night. Therefore, the study of appropriate electricity cost is required for this community power generation system. This work aimed to create sustainability of community microgrid by conducting of electricity generation potential and economic evaluation. This study could be used to estimate the appropriate electricity price that enable the system maintenance and energy self-reliance for sustainable living. Photovoltaic electricity generation system was connected to community microgrid located in Ban Padan, Mae Tha District, Lamphun, which was unelectrified area. The results showed that electricity generation potential was 152.98 MWh/year with system performance value of 0.774. In addition, economic evaluation revealed that electricity price of 10 baht/unit could be sufficient for the system maintenance and could be used for future investment after the end of system life.

Keywords: community microgrid, electricity generation system, photovoltaic system, electricity generation potential, economics

1. บทนำ

ปัจจุบันการดำรงชีวิตของมนุษย์จำเป็นต้องใช้พลังงานรูปแบบต่าง ๆ ในการดำเนินกิจกรรมประจำวัน ซึ่งทวีความต้องการมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามยุคสมัย เพื่อใช้ในการพัฒนาเศรษฐกิจทุกสาขา เช่น อุตสาหกรรม การคมนาคม การไฟฟ้า เป็นต้น (Genevieve & Parker, 2009; Kulworawanichpong & Mwambeleko, 2015) แต่ทั้งนี้ยังพบว่า ยังมีชุมชนห่างไกลในประเทศไทยที่ไม่มีไฟฟ้าใช้ เนื่องจากปัจจัยในข้อจำกัดด้านระเบียบและกฎต่าง ๆ และราคาต้นทุนในการตั้งสายส่ง ดังนั้น การพัฒนาระบบไฟฟ้าในชุมชนห่างไกลจึงต้องมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโครกริด ซึ่งเป็นเทคโนโลยีระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถสร้างขึ้นตามแหล่งชุมชนได้ (Silva & Nakata, 2009) โดยเน้นการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานที่มีศักยภาพสูงของประเทศไทย (เสรีกิ่งวานกิจ, 2548) จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าในชุมชนห่างไกล ให้สามารถมีไฟฟ้าใช้ในการดำรงชีวิต และการสร้างอาชีพของคนในชุมชน

ทั้งนี้ระบบไมโครกริดชุมชนยังมีข้อจำกัดในเรื่องของต้นทุนที่มีราคาสูง และจะต้องมีการซ่อมแซมดูแลรักษาระบบ ดังนั้นปัจจัยสำคัญอีกประการหนึ่งในการขับเคลื่อนระบบไมโครกริดชุมชน คือจะต้องมีการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า ตลอดจนจนถึงการคำนวณความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยต้องมีการคำนวณราคาไฟฟ้าที่เหมาะสม ซึ่งจะส่งผลให้ระบบไมโครกริดชุมชนดำเนินไปอย่างยั่งยืน และนำไปสู่การเป็นต้นแบบไมโครกริดชุมชนที่มีความเสถียรภาพและสามารถพึ่งพาตนเองได้ (วิสาชา ภูจินดา, 2555; ศราพร ไกรยะปักษ์)

บ้านผาด่าน ตำบลทากาศ อำเภอแม่ทา จังหวัดลำพูน เป็นชุมชนที่ไม่มีไฟฟ้าเข้าถึงจากสายส่งของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ทำให้คนในชุมชนต้องอาศัยไฟฟ้าจากเทียนในการส่องสว่าง โดยต่อมาในปี พ.ศ. 2560 ได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ ภายใต้กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ในการติดตั้งระบบไมโครกริดชุมชน โดยระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดกำลังติดตั้ง 102 kWp พร้อมระบบกักเก็บพลังงาน ขนาดความจุ 307.20 kWh ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพบว่าทำให้ชุมชนดังกล่าวมีไฟฟ้าใช้ และมีสภาพความเป็นอยู่ที่ดีขึ้น ทั้งนี้หากต้องการให้เกิดความ

ยั่งยืนและมั่นคงทางด้านพลังงาน จำเป็นที่จะต้องมีการประเมินหาราคาไฟฟ้าที่เหมาะสม

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบไฟฟ้าดังกล่าว ซึ่งจะสามารถเป็นต้นแบบที่ดีให้กับพื้นที่ที่ไม่มีไฟฟ้าจากส่วนกลางเข้าถึงอื่น ๆ สำหรับการผลิตพลังงานทดแทนใช้ในชุมชนได้อย่างยั่งยืน



รูปที่ 1 ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บ้านผาด่าน

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ไมโครกริด คือระบบไฟฟ้าที่สามารถจ่ายไฟแบบอิสระได้โดยไม่ต้องเชื่อมโยงกับระบบโครงข่ายไฟฟ้า หรือทำงานโดยขนานกับระบบโครงข่ายไฟฟ้าเดิม ประกอบด้วยโหนดระบบผลิตพลังงานไฟฟ้า รวมถึงระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้า (Energy Storage) และระบบควบคุม ซึ่งแหล่งผลิตไฟฟ้าภายในระบบไมโครกริดสามารถเป็นได้ทั้งโรงไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน หรือพลังงานอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พลังงานหมุนเวียน ระบบไมโครกริดมีข้อได้เปรียบกว่าระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้าในโครงข่ายหลัก ตรงที่สามารถทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างระบบผลิตไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพและสามารถลดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในสายส่งและสายจำหน่ายได้ เนื่องจากระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าและแหล่งความต้องการใช้ไฟฟ้าตั้งอยู่ในพื้นที่เดียวกัน (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2559)

ในงานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการคำนวณต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น สำหรับประเมินราคาไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับบ้านผาด่าน โดยมีองค์ประกอบสำคัญดังต่อไปนี้ (ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ & โสภิตสุดา ทองโสภิต, 2558)

1) ต้นทุนทางการเงิน หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่จ่ายไปเพื่อการลงทุนและดำเนินงานโครงการ

2) มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน (Present value of cost หรือ PVC) หมายถึง การคำนวณค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่กำหนดของโครงการ

3) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value : NPV) หมายถึง ผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับสุทธิตลอดอายุของโครงการกับเงินลงทุนเริ่มแรก ณ อัตราผลตอบแทนที่ต้องการหรือต้นทุนของเงินทุนของโครงการ

4) อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return : IRR) หมายถึง อัตราลดค่า (discount rate) ที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะต้องจ่ายในการลงทุนเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดที่คาดว่าจะได้รับจากการดำเนินการตลอดอายุโครงการ

5) อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio หรือ BCR) หมายถึง การวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ

6) งวดเวลาคืนทุน (Payback Period: PB) หมายถึง ระยะเวลา (เป็นจำนวนปี เดือน หรือวัน) ที่กระแสเงินสดรับจากโครงการสามารถชดเชยกระแสเงินสดจ่ายลงทุนสุทธิตอนเริ่มโครงการพอดี เนื่องจากโครงการที่ขอรับการสนับสนุนจะมีลักษณะการลงทุนเพียงครั้งเดียวในปีแรกและให้ผลตอบแทนที่เท่ากันทุกปี

3. วิธีดำเนินการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเพื่อต่อยอดจากระบบไมโครกริดของชุมชนบ้านผาด่านที่มีอยู่เดิม โดยระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดกำลังติดตั้ง 102 kWp พร้อมระบบกักเก็บพลังงาน ขนาดความจุ 307.20 kWh ผู้วิจัยจึงได้ใช้ข้อมูลจากระบบที่มีอยู่เดิมนี้นามาศึกษาวิจัย โดยมีประเด็นที่ศึกษาดังต่อไปนี้

3.1 การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 102 kWp ได้ถูกคำนวณโดยใช้ฐานข้อมูลความเข้มรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยในแต่ละเดือน ณ พิกัดบ้านผาด่าน ร่วมกับค่าสภาวะแวดล้อม โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการคำนวณ

นอกจากนี้ยังทำการประเมินค่าสัดส่วนสมรรถนะโดยอ้างอิงจากองค์ประกอบภายในระบบระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

3.2 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น สำหรับการประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นนั้น ได้คำนวณเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าทั้งหมด 3 กรณี ได้แก่

- 1) การคิดราคาค่าไฟฟ้า 5 บาท/หน่วย
- 2) การคิดราคาค่าไฟฟ้า 10 บาท/หน่วย
- 3) การคิดราคาค่าไฟฟ้า 15 บาท/หน่วย

สำหรับการคำนวณหาค่าไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้นจะอ้างอิงข้อมูลดังต่อไปนี้

- ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละปี จากการคำนวณในข้อที่ 3.1 มาใช้ในการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนจากโครงการ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน และงวดเวลาคืนทุน
- กำหนดให้ อัตราผลตอบแทน (ณ วันที่ 14 ส.ค. พ.ศ.2563) เท่ากับ 6.31
- ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 102 kWp (ราคา ณ ปี พ.ศ. 2563) เป็นเงิน 5,237,400 บาท ระบบกักเก็บพลังงานชนิดแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน (ราคา ณ ปี พ.ศ.2563) เป็นเงิน 6,277,688 บาท และ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาระบบ เป็นเงิน 30,000 บาท/ปี

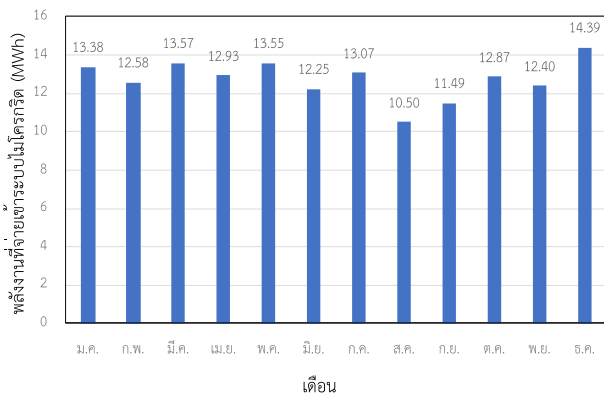
4. ผลการวิจัย

4.1 การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

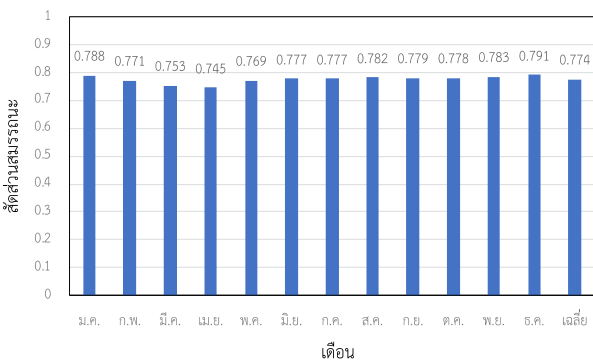
จากการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 102 kWp พบว่าระบบสามารถผลิตไฟฟ้าในแต่ละเดือนได้ในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัยทางด้านแสงและสภาวะแวดล้อม โดยมีกำลังการผลิตในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม มีค่าเท่ากับ 13.38 12.58 13.57 12.93 13.55 12.25 13.07 10.50 11.49 12.87 12.40 และ 14.39 MWh

ตามลำดับ โดยรวมเป็นค่าพลังงานทั้งสิ้น 152.98 MWh/year โดยเดือนที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด ได้แก่เดือนธันวาคม และเดือนที่มีการผลิตพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด ได้แก่ เดือน สิงหาคม ดังแสดงในรูปที่ 2

นอกจากนี้ยังพบว่าค่าสัดส่วนสมรรถนะของระบบในเดือนมกราคม กุมภาพันธ์ มีนาคม เมษายน พฤษภาคม มิถุนายน กรกฎาคม สิงหาคม กันยายน ตุลาคม พฤศจิกายน และธันวาคม มีค่าเท่ากับ 0.788 0.771 0.753 0.745 0.769 0.777 0.777 0.782 0.779 0.778 0.783 และ 0.791 ตามลำดับ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.774 ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 พลังงานไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ที่จ่ายเข้าระบบไม่โครกริด



รูปที่ 3 สัดส่วนสมรรถนะของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

4.2 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น

การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้นพบว่า ต้นทุนการติดตั้ง ณ ปัจจุบัน มีค่าเท่ากับ 9,122,001.02 บาท มูลค่าปัจจุบันของต้นทุนตลอดอายุโครงการ (Present value of cost หรือ PVC) ค่าใช้จ่ายคงที่และค่าใช้จ่ายผันแปร

14,922,633.91 บาท โดยในกรณีที่ 1 เมื่อกำหนดให้ราคาไฟฟ้าเท่ากับ 5 บาท/หน่วย พบว่า มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 9,492,473 บาท มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่าเท่ากับ -9,589,721 บาท อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 0.50 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ 0.02% และงวดเวลาคืนทุน มีค่ามากกว่า 20 ปี

ในกรณีที่ 2 เมื่อกำหนดให้ราคาไฟฟ้าเท่ากับ 10 บาท/หน่วย พบว่า มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 18,984,946 บาท มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่าเท่ากับ -97,248 บาท อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 0.99 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ 6.26% และงวดเวลาคืนทุน มีค่าเท่ากับ 12 ปี

ในกรณีที่ 3 เมื่อกำหนดให้ราคาไฟฟ้าเท่ากับ 15 บาท/หน่วย พบว่า มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์ มีค่าเท่ากับ 28,477,420 บาท มูลค่าปัจจุบันสุทธิ มีค่าเท่ากับ 9,395,224 บาท อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 1.49 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ 11.7% และงวดเวลาคืนทุน มีค่าเท่ากับ 8 ปี ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น โดยคำนวณเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ 5 10 และ 15 บาท/หน่วย

ตัวแปร	ค่าไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		
	5	10	15
PVB (บาท)	9,492,473	18,984,946	28,477,420
NPV (บาท)	-9,589,721	-97,248	9,395,224
BCR	0.50	0.99	1.49
IRR (%)	0.02	6.26	11.17
PB (ปี)	>20	12	8

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการประเมินศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ขนาด 102 kWp ซึ่งเป็นค่าพลังงานทั้งสิ้น 152.98 MWh/year และค่าสัดส่วนสมรรถนะของระบบเฉลี่ยที่ 0.791 นั้นสามารถแสดงให้เห็นว่า

ระบบผลิตไฟฟ้าดังกล่าวมีความเหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งานภายในชุมชนบ้านผาด่าน ซึ่งสามารถช่วยให้ชุมชนบ้านผาด่านจำนวน 184 ครัวเรือน มีไฟฟ้าและน้ำเพียงพอต่อความต้องการ นอกจากนี้ยังร่วมกับชุมชนวางระบบบริหารจัดการรายได้เพื่อนำมาใช้ดูแลบำรุงรักษาระบบในระยะยาวเพื่อให้เกิดความยั่งยืน

ในปัจจุบันชุมชนผาด่านได้มีข้อตกลงร่วมกันที่จะจ่ายค่าไฟฟ้าในราคา 10 บาท/หน่วย ซึ่งจากผลการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 0.99 นั้นมีค่าใกล้เคียง 1 ซึ่งทำให้เชื่อได้ว่าโครงการดังกล่าวนี้มีความคุ้มค่า นอกจากจากจะสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 12 ปี การที่ประชาชนมีส่วนในการดูแลบำรุงรักษาระบบ ผ่านการชำระค่าไฟฟ้ารายเดือน เพื่อเก็บเงินไว้สำรองสำหรับการซ่อมบำรุงและเปลี่ยนอุปกรณ์ระบบที่ชำรุด อีกทั้งยังมีการสร้างองค์ความรู้ในการแก้ไขปัญหาาระบบเบื้องต้นให้กับตัวแทนชุมชน ร่วมกิจกรรมการรับฟังความคิดเห็นที่เปิดให้ชุมชนมีส่วนร่วมในการเสนอข้อมูล เสนอข้อเท็จจริง เพื่อแสดงความคิดเห็นประกอบการตัดสินใจในการดำเนินโครงการ และให้ความร่วมมือ ร่วมวางแผน ร่วมปฏิบัติตั้งแต่ก่อนเริ่มดำเนินโครงการ จนกระทั่งสิ้นสุดโครงการนั้น จะช่วยให้การพัฒนาาระบบพลังงานไฟฟ้าเกิดความยั่งยืนต่อเนื่องสืบไป

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณกองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน สำหรับความอนุเคราะห์จัดตั้งระบบระบบไมโครกริดบ้านผาด่าน ขอขอบคุณสมาคมพลังงานทดแทนเพื่อความยั่งยืนสำหรับข้อมูลสนับสนุนการวิจัย และวิทยาลัยพัฒนาเศรษฐกิจและเทคโนโลยีชุมชนแห่งเอเชีย มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ สำหรับการสนับสนุนในด้านองค์ความรู้และด้านอื่น ๆ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. (2559). *โครงการไมโครกริดของ กฟภ.* สืบค้น 2 ตุลาคม 2563, จาก <http://www.iie.or.th/iie2016/images/postdoc/files/Microgrid%20-%20PEA.pdf>

ณัฐพงศ์ สุวรรณสังข์ & โสภิตสุดา ทองโสภิต. (2558).

การประเมินศักยภาพเชิงเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาอาคารในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. *วารสารวิจัยพลังงาน*, 12(2), 59-74.

ประพิธาร์ ธนารักษ์. (2549). *แบบจำลองการประเมินค่าทางเศรษฐศาสตร์และค่าพลังงานของระบบเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับการใช้ไฟฟ้าในชนบทประเทศไทย* (วิทยานิพนธ์ปริญญาตรี บัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร.

วิสาขา ภูจินดา. (2555). *แนวทางการวางแผนพลังงานชุมชนอย่างยั่งยืนของประเทศไทย. วารสารการจัดการสิ่งแวดล้อม*, 8(2), 75-87.

ศราพร ไกรยะปักษ์. (2553). *รูปแบบที่เหมาะสมในการจัดการพลังงานชุมชน* (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต). สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, คณะพัฒนาสังคมและสิ่งแวดล้อม.

เสรี กังวานกิจ. (2548). *การพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานชุมชนชนบทระดับหมู่บ้าน* (ปริญญาโท ปริญญา มหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิศวกรรมพลังงาน.

Genevieve, D. & Parker, P. (2009). Community energy planning in Canada: The role of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 2088-2095.

Kulworawanichpong, T. & Mwambeleko, J. A. (2015). Design and costing of a stand-alone solar photovoltaic system for a Tanzanian rural household. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 12, 53-59.

Silva, D. & Nakata, T. (2009). Multi-objective assessment of rural electrification in remote areas with poverty considerations. *Energy Policy*, 37(8), 3096-3108



ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กลุ่ม 2 : งานวิจัยสาขาวิทยาศาสตร์
กายภาพ สุขภาพ และชีวภาพ

การผลิตและทดสอบเส้นใยและกระดาษจากส่วนต่าง ๆ ของต้นกล้วยหอม Production and Testing of Fiber and Pulp from Various Parts of Banana Tree

ณัฐชัย เทียงบูรณธรรม¹ ศักดิ์ดีดา สุขวัฒน์นากอร์¹ และวัชรีย์ เทพโยธิน²
Nathachai Tiengburanatham^{1*}, Sakda Sukwatanakorn¹ and Wacharee tepyothin²

1 Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand

2 Lampang Campus, Rajamangala University of Technology Lanna, Thailand

*Corresponding author: silvertrident@outlook.co.th, 0897551641

บทคัดย่อ

ต้นกล้วย ใบกล้วย ก้านเครือ และช่อดอก เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกล้วยหอมผลสด ปัจจุบันยังไม่มีการนำมาใช้ประโยชน์อื่นใดนอกเหนือจากการนำไปหมักปุ๋ย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการผลิตเส้นใยและกระดาษจากวัสดุเหลือทิ้งดังกล่าว ได้เตรียมเส้นใยจากวัตถุดิบดังกล่าวด้วยกระบวนการผลิตกระดาษที่ดัดแปลงเล็กน้อย พบว่า ส่วนต้นกล้วยให้ผลผลิตเส้นใยแห้งคุณภาพทัดเทียมกับเส้นใยสาและมีผลผลิตราว 10% ของน้ำหนักวัตถุดิบ เส้นใยและกระดาษที่ได้มีสีเข้มหรือคล้ำกว่าสา เส้นใยจากส่วนก้านเครือและช่อดอกมีความแข็งแรงมากที่สุด ได้ตรวจสอบคุณสมบัติพื้นฐานของเส้นใยและกระดาษที่ผลิตได้ สรุปได้ว่า ส่วนเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตกล้วยหอมผลสดสามารถนำมาผลิตเส้นใยและกระดาษได้ และผลผลิตที่ได้สามารถพัฒนาต่อไปเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้ เช่น กระดาษเส้นใยผสม ภาชนะบรรจุ และกระดาษห่อสินค้า เป็นต้น

คำสำคัญ: ของเหลือทิ้ง การผลิตกล้วยหอมผลสด เส้นใย กระดาษ

Abstract

Banana trees, leaves, bunch stems, and crowns are wastes from banana production commonly used for composting. The objective of this research was to produce fibers and pulps from such wastes. These fibers were prepared using the Sa-paper process with minor modification. It was found that the quality of dried fibers from the banana trunks were compatible with the quality of Sa-fiber with an additional 10% yield of raw material weight. Also, the colors of fibers and pulps were darker than those found in Sa. The fibers from bunch stems and crowns were the highest strength. Based on the testing of fibers and paper basic properties, it can be concluded that wastes from banana production can be used to produce fibers and papers. The products can also be further developed, leading to new products, including mixed-fiber paper, containers, and wrapping paper.

Keywords: waste, fresh fruit production, fiber, paper

1. บทนำ

งานวิจัยนี้เกิดมาจากการสำรวจความต้องการของเกษตรกรที่ผลิตกล้วยหอมทานผลสดส่งออก โดยพบว่ามีการทิ้งจากกระบวนการผลิตจำนวนมาก ได้แก่ ต้นกล้วยหลังตัดเครือแล้ว รวมไปถึงก้านเครือ ขั้วหวี สิ่งเหล่านี้มักถูกทิ้งไว้ในสวนหรือโรงตัดแต่ง และแม้ว่าบางส่วนมีการใช้สุมโคนต้นหรือนำไปทำปุ๋ยหมัก แต่ยังคงเป็นสัดส่วนที่น้อยและมีมูลค่าต่ำมาก คณะผู้วิจัยจึงวางแนวทางพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูงขึ้นและนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง โดยเลือกใช้องค์ประกอบที่มีมากที่สุดในวัตถุดิบเหล่านี้ ซึ่งได้แก่ส่วนที่เป็นเส้นใย (fiber) ปัจจุบันผลิตภัณฑ์จากเส้นใยมีอยู่หลายชนิด เช่น กระดาษ ผ้า และเชือก เป็นต้น แต่ในเบื้องต้นนี้ กระดาษเป็นวัสดุที่มีกระบวนการผลิตไม่ซับซ้อนและมีการใช้ประโยชน์ได้หลากหลายที่สุด จึงเลือกพัฒนาเป็นกระดาษก่อน วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้คือ การศึกษาเส้นใยและผลิตภัณฑ์กระดาษจากลำต้น ก้านเครือ และขั้วหวีของกล้วยหอม

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ส่วนต่าง ๆ ของพืชมีองค์ประกอบหลักเป็นเส้นใย เส้นใยดังกล่าวนี้ประกอบด้วยเซลลูโลส (cellulose) เป็นหลัก มีส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลส (hemicellulose) และลิกนิน (lignin) อยู่เล็กน้อย นอกนั้นเป็นสารอื่น ๆ ที่ไม่ใช่โครงสร้าง เช่น เรซิน (resin) กรดไขมัน (fatty acid) น้ำมันหอมระเหย (volatile oi) และสารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) (ชยาภาส, 2549) กระบวนการแปรรูปส่วนของพืชเป็นเส้นใยที่นิยมใช้กันคือ การสลายเนื้อเยื่อที่ไม่ใช่ท่อลำเลียงด้วยด่าง (sodium hydroxide) เป็นกระบวนการเดียวกับการผลิตกระดาษจากเปลือกต้นปอกระสาซึ่งถือเป็นภูมิปัญญาชาวบ้านอย่างหนึ่ง แต่เนื่องจากเปลือกของปอกระสา มีเนื้อที่แตกต่างจากส่วนของต้นกล้วย ดังนั้น กระบวนการจึงต้องมีการปรับปรุงให้เหมาะสมกับลักษณะวัตถุดิบที่ได้ด้วย ในงานวิจัยนี้ เป็นการทดสอบและคัดเลือกส่วนของต้นกล้วยหอมที่เหมาะสม

สำหรับใช้เตรียมเส้นใยและกระดาษ รวมถึงตรวจสอบคุณลักษณะของเส้นใยและกระดาษที่ได้ เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ต่อไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมเส้นใยจากส่วนของต้น ก้านเครือและขั้วหวี

ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากการผลิตเยื่อเคมี (soda pulp) ที่กล่าวไว้ในงานของ ชยาภาส (2549) ตัดกล้วยหลังตัดเครือแล้ว รวมถึงก้านเครือและขั้วหวีได้จากสวนกล้วยหอมในท้องถิ่น เริ่มจากการทำความสะอาดส่วนที่จะนำมาเตรียมเส้นใย หั่นเป็นชิ้นยาวประมาณ 3-5 นิ้ว หนาไม่เกิน 0.5 นิ้ว และอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 70°C ซึ่งนำหนักวัตถุดิบแล้วนำมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 30% ในอัตราส่วนวัตถุดิบแห้ง 1 กิโลกรัมต่อสารละลายต่าง 3 ลิตร กวนหรือกลับด้านวัตถุดิบที่แช่ในสารละลายต่างวันละ 2 ครั้ง แขนาน 3 วัน จากนั้นนำเส้นใยมาบีบน้ำต่างออกให้หมด ล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง ล้างด้วยสารละลายกรดอะซิติกเข้มข้น 1% แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นอีกครั้ง นำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C

3.2 การผลิตกระดาษ

ใช้วิธีที่ดัดแปลงจากกระบวนการผลิตกระดาษที่กล่าวไว้ในงานของ ชยาภาส (2549) เริ่มจากการชั่งเส้นใยแห้งมา 1 กิโลกรัม เติมน้ำกลั่นลงไป 5 ลิตร นำไปปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องปั่นน้ำผลไม้ (ตั้งค่าความเร็วของใบมีดระดับ 3) นำเส้นใยที่ปั่นแล้วมาตีให้กระจายทั่วอ่างน้ำ แล้วใช้แม่พิมพ์ซ้อนเส้นใยขึ้นมาหลาย ๆ ครั้ง (ตามความหนาที่ต้องการ) นำแม่พิมพ์ไปตากแดดจนกระดาษแห้งสนิท ค่อย ๆ ลอกออกมาจากแม่พิมพ์ เรียงเก็บไว้ในที่แห้งและเย็น

3.3 การประเมินคุณสมบัติกายภาพเส้นใยและกระดาษ

การวัดความยาว: โดยนำเส้นใยมาทาบกับไม้บรรทัด บันทึกค่าความยาว รายงานเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
การวัดความหนา: วัดโดยใช้ micrometer บันทึกค่าความหนา รายงานเป็นค่าเฉลี่ย \pm ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
การวัดค่าโมดูลัสยืดหยุ่น: โดยวัดความยาวของเส้นใยก่อน

และหลังดึงให้ยึดติด คำนวณหา % การเปลี่ยนแปลงความยาว การวัดความสามารถในการถูกบิดงอ นำเส้นใยมางอให้สองปลายติดกัน ทดสอบว่าสามารถงอจนพับติดกันได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ บันทึกมุมที่งอได้

การวัดความเหนียวทนทาน ติดตั้งเครื่องชั่งแบบแขวนกับโครงไม้ ยึดปลายเส้นใยด้านหนึ่งกับขอแขวน ค่อย ๆ ดึงอีกปลายของเส้นใยลงด้านล่างพร้อมกับบันทึกน้ำหนักที่ปรากฏขึ้น บันทึกค่าสุดท้ายก่อนที่เส้นใยจะขาดจากกัน

3.4 การทดสอบคุณภาพกระดาษ

การวัดความหนาของกระดาษ วัดด้วยไมโครมิเตอร์ โดยวัดจากส่วนในของกระดาษลึกเข้าไปอย่างน้อย 2 เซนติเมตร เพื่อเลี่ยงการวัดบริเวณขอบที่มีความหนาไม่สม่ำเสมอ

การวัดความเหนียวของกระดาษ ใช้เครื่องชั่งแบบแขวน เช่นเดียวกับการวัดเส้นใย โดยนำด้านหนึ่งของกระดาษตรึงติดไว้กับแท่นยึด (ที่สร้างไว้ให้โดยเฉพาะ) แล้วนำอีกด้านหนึ่งมายึดติดกับปลายโซ่ที่อยู่กับเครื่องชั่งแบบแขวน ค่อย ๆ ดึงเครื่องชั่งออกห่างจากแท่นเรื่อย ๆ จนกระดาษเริ่มขาดออกจากกัน บันทึกน้ำหนักสุดท้ายก่อนที่กระดาษจะขาดจากกัน

การวัดสี วัดจากภาพถ่ายที่ระยะห่าง 15 เซนติเมตรและใช้ซอฟต์แวร์ประมวลผลภาพถ่าย (ACE see 10 pro) บันทึกค่าในระบบ RGB แล้วแปลงเป็นระบบ L*a*b โดยซอฟต์แวร์ที่เว็บไซต์ (<http://colormine.org/convert/rgb-to-lab>)

4. ผลการวิจัย

การทดลองเบื้องต้นที่เตรียมเส้นใยจากต้นกล้วยหอมและต้นกล้วยน้ำว้าก่อนหน้านี้นี้ พบว่า ค่าคุณภาพตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 ของเส้นใยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และผลผลิตของเส้นใยจากต้นกล้วยทั้งสองชนิด ยังมีความผันแปรตามสภาพการเพาะปลูกอีกด้วย ผลการนำเส้นใยมาทำกระดาษพบว่า กระบวนการทำกระดาษที่ใช้นี้ สามารถเตรียมกระดาษได้จากต้นกล้วยทั้งสองชนิดเหมือนกัน ดังนั้น ในแง่ของชนิดต้นกล้วย จึงสามารถใช้แทนกันได้ ผลการเตรียมเส้นใยจากส่วนต่าง ๆ

พบว่าเมื่อใช้วัตถุดิบเป็นต้นกล้วย (ส่วนกาบใบ) และส่วนก้านเครือ-ชั้วหวีจะได้ผลผลิต $10.2 \pm 0.7\%$ และ $14.5 \pm 0.5\%$ ของน้ำหนัก ส่วนผลการเตรียมเส้นใยจากใบกล้วยพบว่า ได้ผลผลิตต่ำมาก (ราว 5-6%) และการเตรียมใบกล้วยเพียงอย่างเดียว ใช้กำลังคนและเวลาค่อนข้างมาก จึงไม่นำมาวัดค่าต่าง ๆ ในที่นี้ วัตถุดิบตามลำดับ ผลการวัดค่าต่าง ๆ ของเส้นใยที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ผลผลิตเส้นใยจากชั้วหวีกล้วยหอม ($14.5 \pm 0.5\%$) สูงกว่าที่ได้จากต้นกล้วยหอม ($10.2 \pm 0.7\%$) แต่มีความยาวและความหนาของเส้นใยน้อยกว่า เช่นเดียวกับค่าโมดูลัสและความเหนียวทนทานที่ต่ำกว่าเส้นใยจากต้นกล้วยหอมมาก ยิ่งไปกว่านั้นเส้นใยจากชั้วหวีกล้วยยังเปราะ ไม่สามารถพับงอได้อีกด้วย (ตารางที่ 1) กระดาษที่เตรียมได้จะถูกนำมาวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบความหนาแล้วกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยต้นกล้วย (0.35 มม.) มีความหนามากกว่าจากเส้นใยชั้วหวีกล้วย (0.22 มม.) แต่มีความเหนียวน้อยกว่า (รับน้ำหนักได้ 1.045 และ 1.505 กิโลกรัมตามลำดับ) กระดาษจากเส้นใยต้นกล้วยมีสีน้ำตาลอ่อนขณะที่กระดาษจากเส้นใยชั้วหวีมีสีน้ำตาลคล้ำปนดำ (ภาพที่ 1 ก และ ข ตามลำดับ) กระดาษจากเส้นใยต้นกล้วยซึมซับน้ำง่ายกว่า และทนการขัดสีได้ดีกว่า ขณะที่ตัวเนื้อกระดาษอ่อนตัวกว่า อย่างไรก็ตามกระดาษจากเส้นใยทั้งสองชนิดมีความสามารถในการคืนตัว การทนต่อความร้อน และการติดสีพอ ๆ กัน (ตารางที่ 2 ภาพที่ 2 และภาพที่ 3)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

สามารถเตรียมเส้นใยและกระดาษได้จากวัตถุดิบทุกส่วนที่ทดสอบในโครงการนี้ ส่วนที่เป็นเปลือกผลไม้สามารถนำมาใช้เตรียมเส้นใยได้ เนื่องจากเปลือกผลไม้ได้ผลผลิตน้อยมาก (ไม่ถึง 1%) ส่วนเปลือกผลไม้สุกจะได้ผลลัพธ์มีลักษณะคล้ายเจลแทนที่จะเป็นเส้นใย ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะองค์ประกอบเชิงโครงสร้างของเปลือกกล้วยสุก จะมีการย่อยสลายผนังเซลล์และท่อลำเลียง ทำให้เซลล์ลูโลสเหลือน้อย ส่วนใหญ่ขององค์ประกอบเชิงโครงสร้างของเปลือกกล้วย

หอมสุกมักจะเป็นเพคติน หากเป็นเซลลูโลสก็จะไม่รวมเป็นมัดใหญ่หนา (Anhwang, 2009) ผลผลิตเส้นใยเรียงตามลำดับจากมากมาน้อยได้แก่ จากก้านเครือ-หัวหรือลำต้น>ใบ ซึ่งเป็นแนวโน้มเดียวกับความหยาบของเส้นใย ซึ่งหมายความว่า ส่วนที่ให้เส้นใยหยาบมากก็ยิ่งให้ผลผลิตมากไปด้วย กรณีใช้ต้นกล้วยเป็นวัตถุดิบจะได้ผลผลิตประมาณ 10-15% ขึ้นกับอายุต้นกล้วยและสภาพขาดน้ำขณะเจริญเติบโตด้วย กล่าวคือ ต้นกล้วยที่ขึ้นในสภาพแล้งต้นสับสูงมีแนวโน้มให้ผลผลิตเส้นใยต่อน้ำหนักต้นสูงกว่าต้นกล้วยที่ขึ้นในสภาพน้ำมาก จากผลการตรวจวัดดังตารางที่ 1 ทำให้กล่าวได้ว่า เส้นใยจากส่วนต่าง ๆ ของต้นกล้วยหอม มีความเหนียวพอ ๆ กับเส้นใยจากปอกระสา แต่มีสัดส่วนผลผลิตต่อน้ำหนักวัตถุดิบน้อยกว่า ทั้งนี้เพราะเนื่องจากต้นกล้วยประกอบด้วยน้ำราว 75.70-82.50% (Rochana et al., 2017) จึงมีชีวมวลน้อยกว่าเปลือกของต้นปอกระสา และเส้นใยปอกระสาจะบางกว่าเส้นใยจากต้นกล้วยหอมราว 329 เท่า ทำให้ทั้งเส้นใยและกระดาษสา สามารถพับองได้มากกว่า อย่างไรก็ตาม เส้นใยและกระดาษจากต้นกล้วยหอมมีความแข็งแรงกว่า จึงสามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะหรือวัสดุที่รับน้ำหนักได้ดีกว่า ขณะเดียวกันกระดาษจากต้นกล้วยหอมยังมีการดูดซับน้ำช้ากว่ากระดาษสา อาจเนื่องจากเส้นใยใหญ่กว่า มีสารบางอย่าง (ที่มีสีน้ำตาลและไม่ละลายน้ำ) เคลือบอยู่มากกว่า สอดคล้องกับสีของกระดาษที่เข้มกว่าและมีลายประสีดำของเส้นใยที่มีสีน้ำตาลอยู่ด้วย (ภาพที่ 1) ผลการทดสอบการติดดินสอและหมึก พบว่ากระดาษจากต้นกล้วยหอมสามารถติดดินสอที่สีมีความเข้มได้ทุกระดับ (ตั้งแต่ H1 จนถึง B6) อีกทั้งยังติดหมึกซึมและหมึกแห้งได้ดี (ภาพที่ 2) จึงสามารถใช้เป็นกระดาษสำหรับขีดเขียนได้ แต่ควรมีการพัฒนาให้มีสีอ่อนกว่านี้ โดยอาจจะผสมเส้นใยชนิดอื่นเข้าไปด้วย หรือผ่านกระบวนการฟอกสี กระดาษจากต้นกล้วยหอมยังสามารถทนความร้อนได้ใกล้อุณหภูมิ 200°C (ภาพที่ 3) จึงจะเริ่มเปลี่ยนสี ต่างจากกระดาษสาที่เริ่มเปลี่ยนสีที่อุณหภูมิประมาณ 150-160°C ในอนาคตควรมีการวิจัยต่อยอดแปรรูปผลิตภัณฑ์เส้นใยหรือกระดาษเป็น

วัสดุยึดใส่ตุ๊กตาหรือหมอน เป็นภาชนะบรรจุ และเป็นกระดาษสำหรับงานศิลปะต่อไป นอกจากนี้ ยังมีความเป็นไปได้ที่จะนำเส้นใยจากต้นกล้วยไปพัฒนาเป็นเส้นใยอาหาร (dietary fiber) สำหรับอาหารในอนาคตที่สามารถช่วยเรื่องการขับถ่ายและลดโอกาสเกิดมะเร็งลำไส้ได้อีกด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอแสดงความขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนทุนวิจัยและขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่มีส่วนช่วยให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินต่อไปจนเสร็จสมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

- ชยาภาส ทับทอง. (2549). กระดาษทำมือจากต้นกล้วย (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. หน้า 6-10, 17-20 และ 32-36.
- ดำรงศักดิ์ เหล่าแสงธรรม. (2540). การผลิตกระดาษสา-กาแฟ: ตอนการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ขนาดของเส้นใยและสมบัติทางกายภาพ (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: กรมวิทยาศาสตร์บริการ. หน้า 21-23.
- Rochana A., Dhalika T., Budiman A. and Kamil K. (2017). Nutritional Value of a Banana Stem (*Musa paradisiaca* Val) of Anaerobic Fermentation Product Supplemented With Nitrogen Sulphur and Phosphorus Source. Science Alert. Retrieved from <https://scialert.net/fulltext/?doi=pjn.2017.738.742>
- Anhwang, B, Ugye T. and Nyiaatagher T. (2009). Chemical Composition of *Musa sapientum* (Banana) Peels. *EJEAFChe*, 8(6), p 437-442.

รูปภาพและตาราง

ตารางที่ 1 แสดงค่าคุณภาพของเส้นใยที่วิเคราะห์ได้

รายการ	ค่าที่วัดได้		
	ต้นกล้วย	ข้าวหวิกล้วย	เส้นใยสา*
1. ผลผลิต	10.2 ± 0.7%	14.5± 0.5%	58.12±3.2%
2. ความยาว (นิ้ว)	3 – 5	0.5 -1	0.20-0.32
3. ความหนา (µm)	1,450±75	1,050±55	4.4±1
4. ค่าโมดูลัส (นิ้ว)	10%	0%	-
6. ทนการถูกบิดงอ	20°	ไม่สามารถพับได้	พับแนบกันได้
7. ความเหนียว (N/m)	14.21-28.89	47.4-58.1	21.0-64.4

* ข้อมูลจาก: ดำรงค์ศักดิ์, 2540

ตารางที่ 2 คุณภาพของกระดาษที่ผลิตได้

รายการ	ค่าที่วัดได้	
	ต้นกล้วย	ข้าวหวิกล้วย
1. ความหนา (มิลลิเมตร)	0.35	0.22
2. ความเหนียว (กิโลกรัม)	ก่อนดึง: 0.025 หลังดึง: 1.045	ก่อนดึง: 0.70 หลังดึง: 1.505
3. การวัดสี (L*,a*,b*)	54.12, 8.24, 29.85	51.04, 4.30, 20.42
4. ความสามารถในการเปียกน้ำ	การเปียก : 03.39 นาที	การเปียก : 04.21 นาที
5. ความสามารถในการดูดซับน้ำ (ปริมาณน้ำที่เหลือ)	30.0 มล.	45.0 มล.
6. ความทนทานต่อการขัดสี (จำนวนครั้งที่ขัดแล้วเสียรูป)	122 ครั้ง	113 ครั้ง
7. การติดดินสอและหมึก	เขียนติดทุกระดับของดินสอ ติดหมึกแห้งและหมึกซึม	เขียนติดทุกระดับของ ดินสอ ติดหมึกแห้งและหมึกซึม
8. ความสามารถในการถูกพับ	20 ทบ	16 ทบ
9. ความสามารถในการคืนตัว	คืนตัวทำมุม 20°	คืนตัวทำมุม 20°
10. ความทนต่อความร้อน	200 °C	200 °C

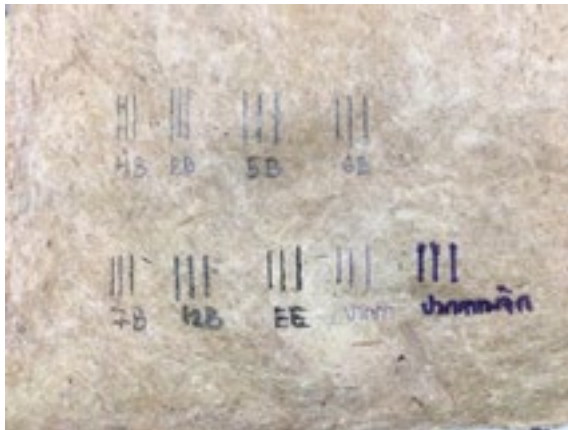


(ก) กระดาษจากต้นกล้วยหอม

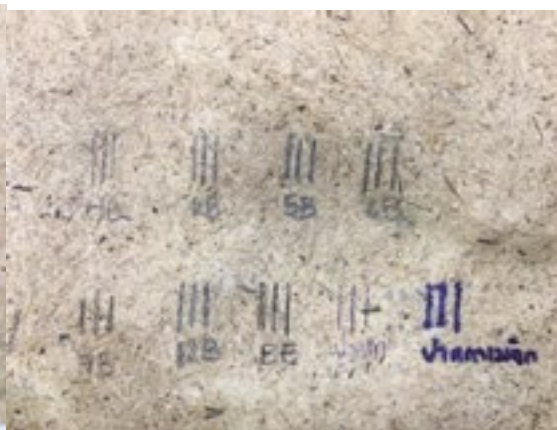


(ข) กระดาษจากซังหวี

ภาพที่ 1 แสดงสีที่แตกต่างกันของกระดาษที่ผลิตจากเส้นใยต้นกล้วยหอมและเส้นใยจากก้านเครือ-ซังหวี

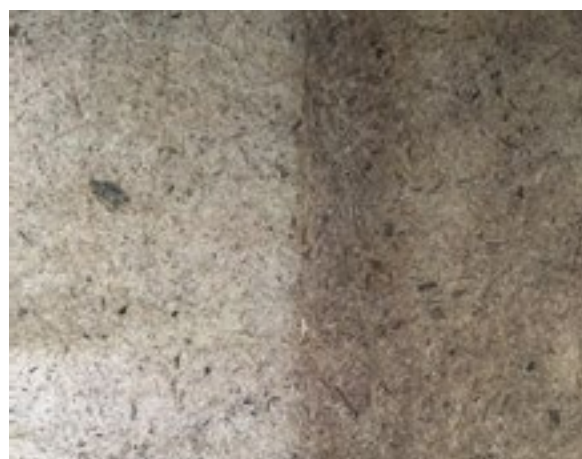


(ก) กระดาษจากต้นกล้วยหอม



(ข) กระดาษจากซังหวี

ภาพที่ 2 แสดงการติดสีของกระดาษจากเส้นใยต้นกล้วยหอมและเส้นใยจากก้านเครือ-ซังหวี



ก่อนได้รับความร้อน (ซ้ายมือ) หลังได้รับความร้อน (ขวามือ)

ภาพที่ 3 แสดงการเปลี่ยนสีเมื่อได้รับความร้อน (200°C) ของกระดาษจากซังหวีกล้วยหอม

ความหลากหลายทางชีวภาพ นิเวศวิทยา และข้อมูลพันธุกรรมของสาหร่ายขนาดใหญ่ที่กินได้ ในจังหวัดเชียงใหม่

Diversity, Ecology and Genetic Data of Edible Macroalgae in Chiang Mai Province

ทัตพร คุณประดิษฐ์^{1,2*} และ รุ่งนภา ทากัน^{1,2}

Tatporn Kunpradid^{1,2*} and Rungnapa Tagun^{1,2}

1 ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

2 ศูนย์เป็นเลิศด้านความหลากหลายทางชีวภาพในท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

1 Biology Department Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, T. Changhuak, Chiang Mai 50300

2 Centre of Excellence on Biodiversity Research and Implementation on Community. Chiang Mai Rajabhat University, T. Changhuak, Chiang Mai 50300

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลาย และการกระจายตัวของสาหร่ายขนาดใหญ่ที่กินได้ กับสภาพนิเวศของแหล่งน้ำ โดยได้ศึกษาในพื้นที่ทั้งหมด 10 อำเภอในจังหวัดเชียงใหม่ 60 จุดเก็บตัวอย่าง ระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ 2559 – พฤศจิกายน 2560 จากการศึกษาสาหร่ายขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำของจังหวัดเชียงใหม่ พบสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้งหมด 4 ดิวิชัน 22 จีนัส 40 สปีชีส์ สาหร่ายขนาดใหญ่ที่พบส่วนใหญ่เป็นสาหร่าย Division Chlorophyta รองลงมาคือ Division Cyanophyta, Division Rhodophyta และ Charophyta ตามลำดับ สาหร่าย Division Chlorophyta มีการกระจายตัวมากที่สุดในจังหวัดเชียงใหม่ ในอำเภอจอมทอง แม่ริม แม่แตง แม่แตง เชียงดาว พะริ้ว ดอยสะเก็ด และ กัลยาณิวัฒนา ซึ่งแหล่งน้ำที่สำรวจพบส่วนใหญ่จะมีลักษณะที่เป็นลำธารไหลเอื่อยและมีบางบริเวณที่นิ่ง ลักษณะของพื้นที่น้ำประกอบด้วยโคลน ทราย และก้อนหินเป็นหลัก คุณภาพน้ำตามระดับสารอาหารโดยการประเมินด้วยวิธี AARL-PC Score พบว่าอยู่ในระดับปานกลาง คุณภาพน้ำทั่วไปปานกลาง โดยเฉพาะสาหร่ายเตา *Spirogyra* spp. และสาหร่ายไก่อ *Cladophora* spp. สามารถเจริญได้ในน้ำที่มีสารอาหารน้อยถึงปานกลางหรือเจริญได้ในน้ำที่มีคุณภาพดีถึงปานกลางพบกระจายตัวอยู่ทั่วไปในแหล่งน้ำของจังหวัดที่ส่งผลต่อจำนวนชนิดและการกระจายตัวของสาหร่ายขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำ ประกอบด้วยค่าการนำไฟฟ้า ความขุ่น ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ สารอาหาร การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่ พบการใช้ประโยชน์ด้านเดียวคือนำมาประกอบอาหาร และพบการใช้ประโยชน์เพียง 2 ชนิด คือ สาหร่ายเตา (*Spirogyra* spp.) และ สาหร่ายลอน (*Nostochopsis* spp.)

คำสำคัญ: สาหร่ายขนาดใหญ่ สาหร่ายกินได้ ข้อมูลพันธุกรรม จังหวัดเชียงใหม่

Abstract

This research aims to explore and investigate diversity and ecology study of edible macroalgae and genetics data in Chiang Mai province. The samples were collected from 60 sampling sites of 10 districts between February 2017 and November 2018. Fourth species out of 4 divisions were found. The Division Chlorophyta was the most diversity followed by Division Cyanophyta, Division Rhodophyta and Charophyta respectively. The macroalgae also found most frequently in Chom Thong District followed by Mae rim, Mae Wang, Mae Tang, Chiang Dao, Phrao, Doi Saket, and Galyani Vadhana District Respectively. The edible macroalgae were found in the semi-standing of slow-flowing running water such as paddy fields and upstream area. The transparency was high and low chemical concentration. The most suitable substrate for the edible were muddy, cobble and sand. The water quality evaluation using an AARL-PC Score reveal that the suitable water condition was moderate to clean especially the *Spirogyra* spp. and *Cladophora* spp. The other influence physico-chemical factor were conductivity turbidity TDS and Nutrient. The edible macroalgae in Chiang Mai were used only for house hold consumption purpose with two main genus as Tao (*Spirogyra* spp.) and Lon (*Nostochopsis* spp.).

Keywords: Macroalgae, Edible algae, Genetic data, Chiangmai province

1. บทนำ

สาหร่ายขนาดใหญ่คือสาหร่ายกลุ่มที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งมีลักษณะการรวมตัวเป็นโคโลนีหรือทลัสส์ที่แตกต่างกันไป (Sheath and Cole, 1992) ซึ่งสาหร่ายขนาดใหญ่ส่วนมากจะเป็นสาหร่ายประเภทยึดเกาะพื้นท้องน้ำ โดยลักษณะพื้นท้องน้ำจะมีผลต่อการกระจายตัวของสาหร่ายขนาดใหญ่เป็นอย่างมาก เนื่องจากสาหร่ายขนาดใหญ่สามารถเจริญได้ดีบนกรวดและก้อนหิน ดังนั้นพื้นท้องน้ำที่มีลักษณะเป็นกรวดและก้อนหินจะพบความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่ค่อนข้างสูง (Kumano, 2002) สาหร่ายขนาดใหญ่ยังเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถผลิตสารสังเคราะห์ที่มีความสำคัญต่างๆ มากมาย (Peerapornpisal et al., 1997) นอกจากนี้สาหร่ายขนาดใหญ่ยังเป็นสิ่งมีชีวิตที่เป็นที่รู้จัก และมีความสัมพันธ์กับวิถีชีวิตของคนไทยในภาคเหนือมาช้านาน โดยสาหร่ายขนาดใหญ่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ การนำมาทำเป็นอาหาร เช่น สาหร่ายเตา หรือเต้าน้ำ (*Spirogyra*) สาหร่ายไก่อ (*Cladophora*) หรือ เห็ดลาบ (*Nostoc*) เป็นต้น ส่วนบางชนิดสามารถใช้เป็นยารักษาโรคตามภูมิปัญญาท้องถิ่น เช่น อองลอน

หรือ ดอกหิน (*Nostochopsis*) ด้านเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านการเกษตรและอาหารสัตว์ เช่น สาหร่ายไฟ (*Chara* และ *Nitella*) และยังถูกพัฒนาต่อยอดในด้านการศึกษาและธุรกิจ ความงามที่กำลังได้รับความนิยมอย่างยิ่งในปัจจุบัน (ยุวดี, 2549)

ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าสาหร่ายขนาดใหญ่ยังไม่เคยมีการสำรวจรวบรวมข้อมูลความหลากหลาย การกระจายตัว และการใช้ประโยชน์อย่างจริงจัง โดยเฉพาะข้อมูลด้านนิเวศวิทยา และข้อมูลพันธุศาสตร์ที่จำเป็นต่อการแยกแยะวิจิตรชนิด รวมถึงข้อมูลเหล่านี้ยังจำเป็นต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อใช้ประโยชน์ในอนาคตอีกด้วย ดังนั้นคณะนักวิจัยสนใจที่จะทำการวิจัยและศึกษารวบรวมชนิดพันธุ์ การแพร่กระจาย ความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่ที่กินได้ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ผ่านความสัมพันธ์กับภูมิปัญญาท้องถิ่น ในการนำไปใช้ประโยชน์ในชีวิตประจำวัน โดยอาศัยกระบวนการทางการวิจัยแบบมีส่วนร่วมกับชุมชน รวมถึงกระบวนการสำรวจและเก็บข้อมูลภาคสนามเพื่อนำมาทำการวิเคราะห์ร่วมกับการเก็บข้อมูลสภาพพื้นที่เพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลชนิดพันธุ์ การกระจายตัว และการใช้ประโยชน์จาก

สาหร่ายขนาดใหญ่ และข้อมูลพันธุศาสตร์เบื้องต้นของสาหร่ายขนาดใหญ่ และนำเสนอในรูปฐานข้อมูลสาธารณะบนเว็บเพื่อสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ในวงกว้างได้ต่อไป โดยมีวัตถุประสงค์คือเพื่อสนองพระราชดำริในการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (อพ.สธ.) ในงานฐานทรัพยากรท้องถิ่น ด้านความหลากหลายทางชีวภาพ นิเวศวิทยา ข้อมูลทางชีวพันธุศาสตร์เบื้องต้น และการใช้ประโยชน์ของสาหร่ายขนาดใหญ่ที่กินได้ในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่และ เก็บรวบรวมสายพันธุ์ ข้อมูลการกระจายตัว และข้อมูลชีวพันธุศาสตร์เบื้องต้นของสาหร่ายขนาดใหญ่

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สาหร่ายจัดเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญ ไม่ว่าจะในรูปแบบของผู้ผลิตในแหล่งน้ำที่มีหน้าที่ไม่ต่างจากพืชชั้นสูงในระบบนิเวศบก เนื่องจากสาหร่ายเป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถสังเคราะห์แสง (Autotroph) ซึ่งจะเป็นผู้ผลิตในห่วงโซ่อาหารต่อไป นอกจากนี้สาหร่ายยังเป็นสิ่งมีชีวิตชนิดแรกของโลกตั้งแต่มยุค Paleozoic โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งได้วิวัฒนาการกลายมาเป็นสิ่งมีชีวิตชั้นสูง เช่นพืชและสัตว์ในปัจจุบัน (Chapman, V.J. and Chapman, 1973) สาหร่ายขนาดใหญ่ (macroalgae) คือสาหร่ายที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า มีขนาดตั้งแต่ 1 มิลลิเมตร จนถึงขนาดใหญได้ถึง 300 เมตร (Sheath and Cole, 1992) สาหร่ายขนาดใหญ่ หมายถึงสาหร่ายกลุ่มที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งมีลักษณะการรวมตัวเป็นโคโลนีหรือทาลัสส์ที่แตกต่างกันไป (Sheath and Cole, 1992) ซึ่งสาหร่ายขนาดใหญ่ส่วนมากจะเป็นสาหร่ายประเภทยึดเกาะพื้นท้องน้ำ โดยลักษณะพื้นท้องน้ำจะมีผลต่อการกระจายตัวของสาหร่ายขนาดใหญ่เป็นอย่างมาก เนื่องจากสาหร่ายขนาดใหญ่สามารถเจริญได้ดีบนกรวดและก้อนหิน ดังนั้นพื้นท้องน้ำที่มีลักษณะเป็นกรวดและก้อนหินจะพบความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่ค่อนข้างสูง (บัญญัติ, 2533)

สาหร่ายขนาดใหญ่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายตั้งแต่โบราณโดยยูวดี (2549) ได้กล่าวว่าสาหร่ายทะเลขนาดใหญ่ได้ถูกนำมาเป็นอาหารของมนุษย์ รวมถึงการสกัดสารต่างๆ จากสาหร่ายทะเล เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านอุตสาหกรรมการทำวุ้น และยา โดย ยูวดี (2552) กล่าวว่า

สาหร่ายขนาดใหญ่ในน้ำจืดมีประโยชน์อย่างมากต่อชีวิตประจำวันของคนไทยและประเทศใกล้เคียง โดยการนำเอามาประกอบอาหาร เช่น สาหร่ายเตา หรือสาหร่ายเตาน้ำ (*Spyrogyra* spp.) ที่พบในน้ำนิ่งหรือน้ำที่ไหลเอื่อยๆได้รับความนิยมในการนำมาทำเป็นยาและผักสดรับประทานในภาคเหนือและภาคอีสานของประเทศไทย (ยูวดี, 2549) นอกจากนี้ในปัจจุบันสาหร่ายเตาได้ถูกนำมาเอาใช้ประโยชน์ทางด้านการพัฒนาทำเป็นผลิตภัณฑ์เจลเครื่องสำอาง และใช้ในการรักษาผู้ป่วยจากโรคริมเป็นต้น สาหร่ายดอกหิน หรือไซทิน (*Nostochopsis* spp.) ได้ถูกใช้ประโยชน์ในด้านการเป็นยาแก้ร้อนใน และของหวาน เป็นต้น ในประเทศจีน *Nostoc* sp. ได้ถูกนำมาใช้เป็นชาแก้อาการท้องอืด (ยูวดี, 2552) ชาวแมกซิกกันได้นำเอาสาหร่าย *Phormidium* spp. และ *Oscillatoria* spp. มาใช้เป็นแหล่งโปรตีนเป็นต้น (Sheath and Cole, 1992) นอกจากนี้สาหร่ายขนาดใหญ่ยังมีรายงานการใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินหลายชนิดที่สามารถตรึงไนโตรเจนจากบรรยากาศได้ ช่วยเพิ่มปริมาณความอุดมสมบูรณ์ของแร่ธาตุในดิน เช่น *Nostoc* spp., *Anabaena* spp. และ *Cylindrospermum* spp. เป็นต้น (ทัตพร, 2561) ทางด้านการแพทย์ ชาวจีนโบราณได้ใช้สาหร่ายสีน้ำตาล *Sargassum* spp. และ *Laminaria* spp. มาใช้ในการฟอกเลือด และแก้โรคคอกพอก สาหร่ายสีแดง *Digenia* spp. สามารถใช้เป็นยาด้านโรคตาขโมย สาหร่ายสีแดง *Gelidium* spp. สามารถนำมาใช้ในการแก้โรคกระเพาะอาหารอักเสบเรื้อรัง และสาร laminarin ที่สามารถสกัดจากสาหร่ายขนาดใหญ่ *Laminaria* spp. สามารถใช้เป็นยาในการต้านการแข็งตัวของเลือดได้ (Kunpradid, 2005)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการสำรวจลงพื้นที่เก็บตัวอย่างโดยมีวิธีการดังนี้

1) สำรวจสาหร่ายขนาดใหญ่ที่กินได้แหล่งน้ำนิ่งและแหล่งน้ำไหลในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ โดยประกอบไปด้วยแหล่งน้ำเล็ก กลาง และขนาดใหญ่ที่มีรายงานการพบและการใช้ประโยชน์ของสาหร่ายขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่ ทำการเก็บแบบสุ่ม (random) ในพื้นที่เดียวกันนี้ โดยสาหร่ายขนาดใหญ่ที่เป็นเส้นสายให้ใช้ปากคีบดึงทาลัสส์โดยพยายามให้ติดส่วนที่เป็น

โฮสต์ฟาสต์ (hold fast) ออกมาด้วย แล้วล้างน้ำให้สะอาด ใส่ลงในขวดหรือกล่องพลาสติก เก็บรักษาด้วยน้ำยา Formalin 4% หรือ Glutaraldehyde 2 % (Kunpradid and Peerapornpisal, 2002) แล้วนำมาศึกษาทางด้านอนุกรมวิธานที่ห้องปฏิบัติการต่อไป ส่วนปริมาณของสาหร่ายใช้ Macroalgal sampling quadrant และทำการเก็บแบบสุ่ม แล้วคำนวณเป็นน้ำหนักแห้ง (Krebs, 1985) พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างสาหร่ายสดชนิดละ 100 กรัม ไว้ในขวดพลาสติกและเก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แล้วนำไปทำการศึกษาลักษณะชีวพันธุศาสตร์ต่อไป



ภาพที่ 1 พื้นที่ศึกษาแหล่งน้ำในจังหวัดเชียงใหม่ 26 จุด และครอบคลุมพื้นที่ 7 อำเภอ ได้แก่ เชียงดาว ดอยสะเก็ด แมริม เมืองเชียงใหม่ หางดง แม่ว่าง และกัลยาณวิวัฒนา

2) ทำการวินิจฉัยชนิดจนถึงระดับสปีชีส์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ (Compound light microscope) และใช้หนังสือหรือเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการจำแนกสาหร่ายขนาดใหญ่ เช่น สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย ของ ยุวดี พิรพรพิศาล (2556), A Manual of the Fresh Water Algae in North Carolina ของ L.A. Whitford & G.J. Schumacher (1968), Fresh Water Algae ของ G.W. Prescott (1978), Freshwater Red Algae of the World ของ Shigeru Kumano (2002)

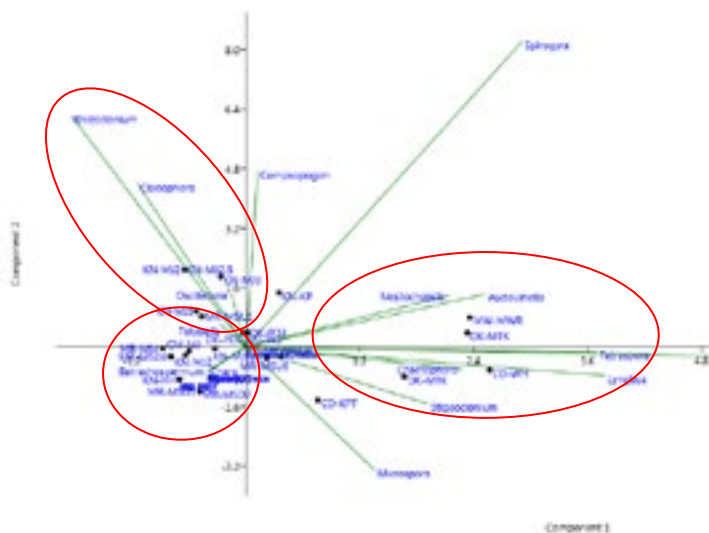
3) นำตัวอย่างสาหร่ายขนาดใหญ่ที่กินได้ที่เก็บจากแหล่งน้ำต่างๆ ในจังหวัดเชียงใหม่นำมาสกัด genomic DNA ของสาหร่ายขนาดใหญ่ และเพิ่มขึ้นส่วนด้วยกระบวนการทำ PCR แล้วส่งชิ้นส่วน DNA ที่สกัดได้ไปอ่านลำดับนิวคลีโอไทด์ของ DNA เทียบกับฐานข้อมูลต่างๆ เช่น Algae Bank จากข้อมูลชนิดและข้อมูลทางชีวพันธุศาสตร์ ร่วมกับข้อมูลสภาพแวดล้อม และแหล่งที่อยู่อาศัยรวมถึงการใช้น้ำมาหา ลักษณะที่จำเพาะของสาหร่ายแต่ละชนิดที่ศึกษาโดยใช้วิธีวิเคราะห์แบบการถดถอยพหุคูณ (multiple regression analysis)

4. ผลการวิจัย

สาหร่ายขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำของจังหวัดเชียงใหม่ ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2560-พฤศจิกายน 2561 ทำการเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บ 60 จุด พบสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้งหมด จากการศึกษาน้ำสาหร่ายขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำของจังหวัดเชียงใหม่ พบสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้งหมด 4 ดิวิชัน 22 จินัส 40 สปีชีส์ สาหร่ายขนาดใหญ่ที่พบส่วนใหญ่เป็นสาหร่าย Division Chlorophyta พบ ถึง 45% รองลงมา คือ Division Cyanophyta 27% Division Rhodophyta 23% และ Charophyta 5% ตามลำดับ จากร้อยละสาหร่ายที่พบสามารถที่จะกล่าวได้ว่าสาหร่าย Division Chlorophyta มีการกระจายตัวมากที่สุด นอกจากนี้ยังพบสาหร่ายขนาดใหญ่ในแม่น้ำปิงและลำน้ำสาขามากที่สุด

จากศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างชนิดของสาหร่ายขนาดใหญ่กับคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำของจังหวัดพบว่าคุณภาพน้ำบางประการมีทั้งความสัมพันธ์เชิงบวกกับสาหร่ายขนาดใหญ่และความสัมพันธ์เชิงลบกับสาหร่ายขนาดใหญ่ที่พบเป็นส่วนใหญ่ เช่น Turbidity เป็นปัจจัยที่ไม่ค่อยส่งผลต่อกลุ่มแหล่งน้ำมากนัก และมีความสัมพันธ์เชิงลบกับสาหร่ายขนาดใหญ่ที่พบเป็นส่วนใหญ่ กล่าวได้ว่าสาหร่ายพวก *Batrachospermum* sp., *Thorea* sp., *Rhizoclonium* sp. และ *Cladophora* sp. สามารถเจริญได้ดีในแหล่งน้ำที่มี Turbidity ต่ำ และปริมาณสารอาหารน้อย-ปานกลาง ซึ่งแตกต่างกับสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวก *Lyngbya* sp. และ *Phormidium* sp. กระจัดกระจายทั่วบริเวณแหล่งน้ำ โดยสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินพวก

Phormidium sp. สามารถพบได้เกือบทุกจุดเก็บตัวอย่าง คุณภาพน้ำและปัจจัยทางกายภาพและเคมีอื่นๆส่วนใหญ่ไม่ค่อย มีผลกับการเจริญของ *Phormidium* sp. มาก (ภาพที่ 2)

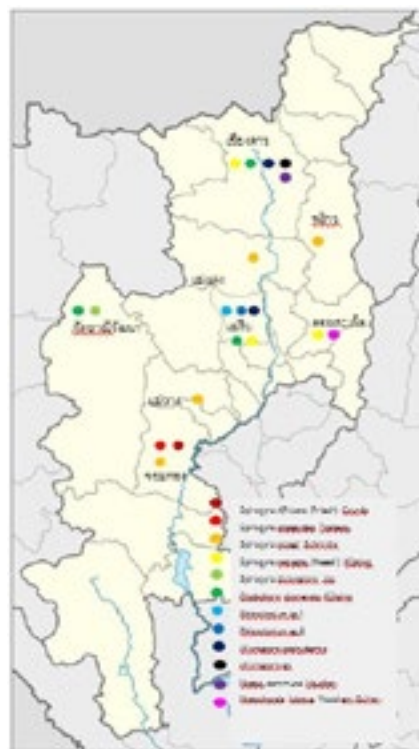


ภาพที่ 2 PCA plot ความสัมพันธ์ชนิดของสาหร่ายขนาดใหญ่ ในแหล่งน้ำของจังหวัดเชียงใหม่

การกระจายตัวของสาหร่ายขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำของ จังหวัดเชียงใหม่ พบว่าสาหร่ายจำพวก *Nostochopsis* sp., *Audouinella* sp. และ *Chaetophora* sp. ซึ่งเป็นกลุ่มที่ ลักษณะการรวมกลุ่มกันของเซลล์เป็นก้อนวุ้นเล็กๆรูปร่างไม่ แน่นนอน จะมีความสัมพันธ์เชิงบวกกับกลุ่มแหล่งน้ำที่ DK-MTK, CD-WH, MW-MWR ซึ่งเป็นแหล่งน้ำที่มีลักษณะที่เป็นแม่น้ำที่ ไหลผ่านป่า เขตชุมชนเล็กๆลักษณะพื้นที่ตื้นน้ำส่วนใหญ่เป็น กรวดและหิน กระแสน้ำค่อนข้างไหลช้า ส่วนในจุดเก็บที่เป็นต้น น้ำ ไม่ได้ไหลผ่านชุมชนมักจะมีสาหร่ายสีแดงพวก *Compsopogon* sp., *Batrachospermum* sp. และ *Thora* sp. โดยเฉพาะ *Compsopogon* sp. ที่จะพบมากที่สุดแถบ อำเภอกัลยาณิวัฒนา และสาหร่ายขนาดใหญ่ที่สามารถพบ กระจายตัวอย่างทั่วไปในจุดเก็บต่างๆในจังหวัดเชียงใหม่ส่วนใหญ่ จะเป็นสาหร่ายสีเขียวและสีเขียวแกมน้ำเงิน *Rhizoclonium* sp., *Cladophora* sp., *Microspora* sp., *Spirogyra* sp. และ *Phormidium* sp. ดังภาพที่ 3

จากการศึกษาวิเคราะห์ตัวอย่างสาหร่ายขนาดใหญ่ใน ระดับโมเลกุลเบื้องต้นโดยการสกัดตัวอย่างสาหร่ายทั้งหมด 8

ตัวอย่าง ซึ่งเป็นตัวแทนสาหร่ายโกลและสาหร่ายเทา จาก 4 พื้นที่ ในจังหวัดเชียงใหม่ โดยทำการสกัด DNA ทั้งหมด 2 ครั้ง ปรากฏ แถบ DNA ใน 1% Agarose gel พบว่าขึ้นแถบเพียง 3 แถบ คือ PCD3 PCD7 และ PCD8 (เรียงจากซ้ายไปขวา) หลังจากนั้นได้ ทำ PCR โดยใช้ Primer 18S gene ทั้งหมด 4 ครั้ง ได้ตัวอย่าง หลังจากทำ Purify Product ทั้งหมดเพียง 2 ตัวอย่าง คือ PCD7 และ PCD8 เมื่อวิเคราะห์ลำดับเบส นำผลลำดับนิวคลีโอ ไทด์ที่ได้มาจัดเรียงเปรียบเทียบ (BLAST search) กับฐานข้อมูล ใน GenBank พบว่า ตัวอย่าง PCD7 สาหร่ายเทา จากอำเภอ จอมทอง จากกราฟความสัมพันธ์ของสายวิวัฒนาการจัดอยู่ใน กลุ่มใกล้เคียงกับ *Spirogyra* sp. ที่เก็บได้จากจุดเก็บตัวอย่าง M3A และสามารถยืนยันชนิดว่าเป็น *Spirogyra* sp. และ ตัวอย่าง PCD8 สาหร่ายโกล จากอำเภอจอมทอง จัดอยู่กลุ่ม เดียวกันกับ *Oedogonium* sp. ซึ่งสาหร่ายขนาดใหญ่ทั้ง 3 ชนิดจัดว่าเป็นสาหร่ายที่สามารถจำแนกชนิดภายใต้กล้องจุลทรรศน์ได้



ภาพที่ 3 แผนที่การกระจายตัวของสาหร่ายขนาดใหญ่ที่พบในจังหวัดเชียงใหม่

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ปริมาณความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่ของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างที่มีต่างกันนั้นเป็นผลจากปัจจัยทางกายภาพและเคมีของแหล่งน้ำ ซึ่งบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำและปริมาณสารอาหารในแต่ละแหล่ง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสภาพนิเวศบริเวณจุดเก็บตัวอย่างและฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความเข้มแสง ความยาวคลื่นของแสง และช่วงเวลาที่ได้รับแสง ด้วยเหตุผลนี้พวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินที่ปรากฏในน้ำระดับลึกที่แสงส่องลงไปไม่ถึงหรือในที่ที่มีแสงแต่ส่องถึงน้อย (ยูวดี, 2549) ส่วนปัจจัยทางกายภาพความแรงของกระแสน้ำเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเจริญของสาหร่ายขนาดใหญ่มากพอสมควร สังเกตได้จากจุดเก็บตัวอย่างที่เป็นน้ำนิ่ง จะพบสาหร่ายขนาดใหญ่ค่อนข้างน้อยเฉลี่ย จุดละ 1-3 ชนิด และส่วนใหญ่จะเป็นพวกสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน ซึ่งแตกต่างจากแหล่งน้ำไหลที่มักจะพบสาหร่ายค่อนข้างมาก โดยเฉพาะสาหร่ายสีเขียวพวก *Spirogyra* sp. ซึ่งพบกระจายตัวอย่างทั่วไปในหลายจุดเก็บที่เป็นไหล คล้ายคลึงกับ Kunpradid (2005) ที่รายงานว่า *Spirogyra* spp. สามารถเจริญเติบโตได้ดีในน้ำไหลที่สะอาด มีสารอาหารปานกลาง ในแม่น้ำปิงและแม่น้ำน่าน

จากการวิเคราะห์ดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ พบว่าสาหร่ายส่วนใหญ่จะบ่งชี้คุณภาพน้ำในระดับ Mesotrophic และ ไม่สามารถใช้บ่งบอกคุณภาพได้ เนื่องจากสาหร่ายสีเขียวและสีเขียวแกมน้ำเงินที่พบส่วนใหญ่ สามารถเจริญได้ในแหล่งน้ำในระดับคุณภาพน้ำที่หลากหลายแบบ ประกอบทั้งแหล่งอ้างอิงส่วนใหญ่พบสาหร่ายกลุ่มดังกล่าวในระดับคุณภาพน้ำที่เป็น Oligotrophic-mesotrophic, Mesotrophic และ Mesotrophic – Eutrophic โดยค่าเฉลี่ยคะแนนออกมาจะบ่งชี้ระดับคุณภาพน้ำอยู่ที่ระดับ Mesotrophic โดยส่งผลต่อการเจริญของสาหร่าย (Kozak, 2005) นอกจากนี้ อุณหภูมิ, pH, ฟอสฟอรัส และปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำกลับมีผลต่อการเจริญของสาหร่ายเช่นกัน (Gujarathi and Kanhere, 1998) ซึ่งกลุ่มสาหร่าย Division Chlorophyta พบมีการกระจายตัวมากที่สุดในจังหวัดเชียงใหม่ ทั้งในอำเภอดอยสะเก็ด แม่ริม แม่แตง เชียงดาว พร้าว ดอยสะเก็ด และ กัลยาณิวัฒนา ซึ่งแหล่งน้ำที่สำรวจพบส่วนใหญ่จะมีลักษณะที่เป็นลำธารไหลเอื่อย

และมีบางบริเวณที่นิ่ง พบว่าสาหร่ายเตา *Spirogyra* spp. และสาหร่ายไถ *Cladophora* spp. สามารถเจริญได้ในน้ำที่มีสารอาหารน้อยถึงปานกลางหรือเจริญได้ในน้ำที่มีคุณภาพดีถึงปานกลาง (ยูวดี, 2558)

การสำรวจสาหร่ายขนาดใหญ่ที่กินได้ในจังหวัดเชียงใหม่สามารถพบได้ตลอดทั้งปี แต่จะมีความแตกต่างทางด้านปริมาณที่พบโดยส่วนใหญ่จะพบมากที่สุดในช่วงฤดูร้อน เดือนมีนาคม-พฤษภาคม และช่วงต้นฤดูฝนเดือน มิถุนายน – สิงหาคม ซึ่งสังเกตได้จากการสำรวจสาหร่ายเตาจากทั้งแหล่งน้ำในธรรมชาติและการเดินสำรวจตลาด พบว่าในช่วงฤดูฝน เดือนกันยายน-ธันวาคม จะพบปริมาณสาหร่ายเตาในแหล่งน้ำที่ค่อนข้างมากแต่มีการนำมาใช้ประโยชน์น้อย เนื่องจากปริมาณน้ำฝนที่มากเกินไปทำให้สาหร่ายเตาลอยตัวอยู่ที่ผิวน้ำและเกิดฟองอากาศ ทำให้สาหร่ายเตาเน่าตายอย่างรวดเร็ว (ประดิษฐ์, 2553) และ พบสาหร่ายขนาดใหญ่มากที่สุดในเดือน สิงหาคม ทั้งนี้เพราะในช่วงเดือนสิงหาคมมีสารอาหารที่ถูกชะล้างมาจากฝนที่ตกลงมาอย่างต่อเนื่อง ปริมาณน้ำและสารอาหารที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละฤดูกาล จะส่งผลต่อชนิดและปริมาณของสาหร่ายขนาดใหญ่ในแหล่งน้ำให้หยุดเจริญเติบโตและเปลี่ยนเป็นสาหร่ายชนิดที่สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาพนิเวศนั้นๆแทน สอดคล้องกับ Kunpradid and Peerapornpisal et al. (2002) ที่กล่าวว่าสาหร่ายขนาดใหญ่สามารถเจริญเติบโตได้ดีในฤดูร้อนและหนาว

การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนใหญ่จะพบแต่การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเตาโดยสาหร่ายเตา (*Spirogyra* spp.) เป็นสาหร่ายขนาดใหญ่ที่จัดอยู่ในกลุ่มสาหร่ายขนาดใหญ่ ที่มีลักษณะเป็นเส้นสายสีเขียว (Thiamdao, 2011) สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่ามีลักษณะเป็นเส้นสายยาวคล้ายเส้นผม มีสีเขียวสด จับดูจะรู้สึกลื่นมือเนื่องจากมีเมือกหุ้มอยู่รอบเซลล์ เซลล์มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ไม่แตกแขนง มีคลอโรพลาสต์พลาสติดเป็นเกลียวคล้ายริบบิ้น (ทัตพร, 2561) โดยการศึกษาการใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่ ครั้งนี้พบสาหร่ายเตาทั้งหมด 5 ชนิด *Spirogyra africana* (Fritsch) Czurda, *Spirogyra crassoidea* Transeau, *Spirogyra grossii* Schmidle, *Spirogyra neglecta* (Hassall) Kützing และ

Spirogyra dictyospora Jao ซึ่งทั้งหมดนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ทั้งหมดแต่เป็นการใช้ประโยชน์ด้านเดียวคือนำมาประกอบอาหารโดยวิธีการย่ำเป็นส่วนใหญ่ในหลายๆพื้นที่ ซึ่งในแต่ละพื้นที่จะมีสูตรและวิธีการที่แตกต่างกันไป อีกทั้งยังมีการซื้อขายสร้างมูลค่าสำหรับเตาในชุมชนโดยขายเป็นก้อน คุณค่าทางโภชนาการของสาหร่ายเตานั้นมีสารอาหารพื้นฐาน ได้แก่ โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และไขมันในปริมาณที่ต่ำ แต่มีเส้นใยอาหารในปริมาณที่สูงถึง ร้อยละ 7.66 และแมงกานีส 35.80 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักแห้ง 100 กรัม (ยุวดี, 2558; ทัดพร, 2561) ธาตุอาหารเหล่านี้จะช่วยในเรื่องระบบขับถ่าย ป้องกันมะเร็งในกระเพาะอาหาร เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์บางชนิดและช่วยเร่งกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ และสาหร่ายอีกชนิดที่พบการใช้ประโยชน์ในเขตพื้นที่ของจังหวัดเชียงใหม่ นั่นก็คือ สาหร่ายลอน หรือ *Nostochopsis* spp. จากการสำรวจพบสาหร่ายลอนเพียงชนิดเดียวคือ *Nostochopsis lobatus* Wood em Guitler ในพื้นที่อำเภอดอยสะเก็ด โดยพบว่า มีการรับประทานสาหร่ายลอนในกลุ่มชนเผ่าบางชนเผ่าใน อำเภอกัลยาณิวัฒนา อำเภอมะแมร์ อำเภอดอยสะเก็ด นิยมรับประทานสด หรือทานเป็นของหวาน โดยมีความเชื่อเรื่องสรรพคุณที่ใช้เป็นยาแก้ร้อน แต่ไม่ค่อยได้รับความนิยมมากนัก เมื่อเทียบกับสาหร่ายเตา ส่วนใหญ่จะนิยมในกลุ่มคนวัยชราเท่านั้น

การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายขนาดใหญ่ในจังหวัดเชียงใหม่ ส่วนใหญ่พบการใช้ประโยชน์เพียง 2 ชนิด คือ สาหร่ายเตา (*Spirogyra* spp.) และ สาหร่ายลอน (*Nostochopsis* spp.) โดยสาหร่ายเตาพบการใช้ประโยชน์โดยทั่วไปในพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ ใช้นำมาประกอบอาหารและขายสร้างรายได้ พบมากในช่วงเดือน มีนาคม-พฤษภาคม ในแหล่งน้ำไหลเอื่อย และสามารถเจริญได้ดีในน้ำที่มีสารอาหารน้อยถึงปานกลางหรือคุณภาพดีถึงปานกลาง

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจากงบประมาณแผ่นดิน ในปีงบประมาณ 2561 จากทุนวิจัย แห่งชาติ (วช.61)

7. เอกสารอ้างอิง

- ทัดพร คุณประดิษฐ์. (2561). การใช้ปุ๋ยชีวภาพจากจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ ไมคอร์ไรซา และสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มผลผลิต และทดแทนการใช้สารเคมี, สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
- ประดิษฐ์ เสมณี 2553, ผลกระทบของฝายชะลอน้ำและความหลากหลายของสาหร่ายขนาดใหญ่ แพลงก์ตอนพืช แพลงก์ตอนสัตว์ และไดอะตอมในพื้นที่ท้องน้ำ, วิทยานิพนธ์ หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2558) การใช้ประโยชน์จากสาหร่ายเตาเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์อาหารเสริมสุขภาพและเวชภัณฑ์แบบครบวงจร. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ กรุงเทพฯ
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2556). *สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). ห้องปฏิบัติการวิจัย สาหร่าย ประยุกต์ สาขาวิชาจุลชีววิทยา ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ยุวดี พิรพรพิศาล และคณะ. (2552). *โครงการศักยภาพของสาหร่ายน้ำจืดขนาดใหญ่ในการเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารและเวชสำอาง*. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ยุวดี พิรพรพิศาล. (2549). *สาหร่ายวิทยา*. (พิมพ์ครั้งที่ 2). ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Gujarathi, A.S. and Kanhere, R.R. (1998). *Seasonal dynamics of phytoplankton population in relation to abiotic factors of a fresh water pond at Barwani (M.P.)*. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/291479981_
- Krebs, C.J. (1985). *Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance*. Harper & Row, NY.
- Kozak A. (2005). Seasonal changes occurring over four years in a reservoir's phytoplankton

- composition. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(4):451-465
- Kunpradid, T. and Peerapornpisal, Y. (2002) Using of Macroalgae Distribution as Biomonitor in Ping River. *Journal of Science*, Chulalongkorn University.
- Kumano, S. (2002). *Freshwater Red Algae of the World*. Bristol, England: Biopress Ltd.
- Thiamdao S. (2011). *DIVERSITY OF EDIBLE FRESHWATER MACROALGAE IN THAILAND DURING 2007-2008*. Graduate school Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
- Kunpradid T. (2005). *Diversity of macroalgae and benthic diatom and their relationship with nutrient compounds in Ping and Nan rivers*. Graduate school Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
- Peerapornpisal, Y. (1997), "Nutritional Value and Cultivation of *Spirogyra* spp." Proceeding on 2nd Asia-Pacific Marine Biotechnology Conference and 2nd Asia-Pacific Conference on Algal Biotechnology, 7-10 May 1997, Phuket Arcadia Hotel & Resort, Karon Beach, Phuket, P. 157-162
- Prescott, G.W. (1978). *Fresh Water Algae*. University of Montana, USA: Wm. C. Brown Company Publishers.
- Sheath, R.G. and Cole, C.M. (1992) Biogeography of Stream Macroalgae of Northern America. *J. of Phycology*. Vol 28 (4) P: 448-460
- Thiamdao S. (2011). *Diversity of edible freshwater macroalgae in Thailand during 2007-2008*. Graduate school Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
- Whitford, L.A. and Schumacher, G.J.. (1968). *A Manual of The Fresh Water Algae in North Carolina*. North Carolina, USA: The North Carolina Agricultural Experiment Station.

การทดสอบเบื้องต้นฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในเห็ดป่ากินได้

Primary Screening of Cancer Cell Cytotoxic Activities of Wild Edible Mushrooms

พรรณพร กุลมา1*

Phannaphon Kullama1*

1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน, 59 หมู่ 13 ตำบลฝายแก้ว อำเภอภูเพียง จังหวัดน่าน 55000

1 Rajamangala University of Technology Lanna Nan, 59 Moo 113, Fai Kaeo, Phupeang, Nan, 55000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อตรวจสอบเบื้องต้นถึงฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งในเห็ดป่ากินได้ โดยนำตัวอย่างเห็ดป่ากินได้ในพื้นที่จังหวัดน่านมาทำการสกัดสารสำคัญด้วยตัวทำละลายน้ำ และวัดความเป็นพิษที่ระดับความเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ซึ่งผลการทดสอบเบื้องต้นพบฤทธิ์ต้านมะเร็งในเห็ดจาวมะพร้าว (*Calvatia craniiformis*) และเห็ดหาด (*Lactarius volemus*) โดยเห็ดจาวมะพร้าวมีฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งช่องปาก และ มะเร็งปากมดลูก ส่วนเห็ดหาดมีฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งปากมดลูกชนิดเดียว

คำสำคัญ: ฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง , เห็ดป่ากินได้

Abstract

The purpose of this research was to primarily screen the cytotoxic activities in cancer cells of wild edible mushrooms. The mushroom samples were collected in Nan Province. The active compounds of the samples were extracted by water and the cytotoxicity were determined at the concentration level of 1,000 microgram per milliliter. As a result, Hed Jawmapraw (*Calvatia craniiformis*) and Hed Hhad (*Lactarius volemus*) demonstrated activities against cancer cells. Also, Hed Jawmapraw demonstrates activities against KB-oral cavity cancer cells and the cervical cancer cells, whereas Hed Hhad showed activities against the cervical cancer cell line.

Keywords: cancer cell cytotoxicity activity, wild edible mushrooms

1. บทนำ

ภาวะการณั้สาธารณสุขปัจจุบันทั้งทั่วโลกและในประเทศไทย สาเหตุการเสียชีวิตในระดับต้นๆ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ คือ “โรคมะเร็ง” ปัจจัยหลักเกิดจากพฤติกรรมเสี่ยงในชีวิตประจำวัน เช่น การบริโภคอาหารไขมันสูง ของทอด ปิ้งย่าง การสูบบุหรี่ ความเครียด การไม่ออกกำลังกาย ไม่รับประทานผัก-ผลไม้สด (วินัย, 2562) แนวทางหนึ่งในการป้องกันโรคมะเร็งคือการบริโภคอาหารที่มีสรรพคุณสามารถต้านการก่อมะเร็ง คือ อาหารที่สารต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งมีในอาหารกลุ่มพืช ผัก ผลไม้ และเห็ด (วันเพ็ญ, 2552)

เห็ด เป็นแหล่งอาหารหนึ่งที่มีประวัติยาวนาน ด้านสรรพคุณต้านมะเร็ง เห็ดยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระช่วยป้องกันเซลล์จากการถูกทำลายและป้องกันเซลล์ปกติไม่ให้กลายเป็นเซลล์มะเร็ง ซึ่งเห็ดต้านมะเร็งที่รู้จักกันดี ได้แก่ เห็ดหลินจือ เห็ดชิตาเกะ เห็ดกระดุมบราซิล เห็ดถั่งเช่า เห็ดไมตาเกะ เห็ดหางนกงู และเห็ดหัวลิง (medthai, 2561) สำหรับเห็ดป่าไทยเรานั้น มีเห็ดหลายชนิดที่เป็นเห็ดสมุนไพร มีสรรพคุณต้านมะเร็ง เช่น เห็ดจาวมะพร้าว เห็ดจัน เห็ดหาด เห็ดหล่มเขียว เห็ดตีนตุ๊กแก เป็นต้น (วินัยและอุษา, 2548)

สำหรับในพื้นที่จังหวัดน่านนั้น มีเห็ดป่ากินได้หลายชนิดที่มีสารชีวภาพสำคัญ เช่น มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย มีสารต้านอนุมูลอิสระ และเป็นเห็ดสมุนไพร ซึ่งอาหารจากเห็ดป่านี้เป็นอาหารตามฤดูกาล หากินได้ง่าย ราคาถูก คนในพื้นที่สามารถหาเก็บมาประกอบอาหารได้ ดังนั้นจึงเป็นที่มาของวัตถุประสงค์งานวิจัยในครั้งนี้ คือ การตรวจสอบเบื้องต้นถึงฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งชนิดต่างๆ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในประเทศไทยจากสถิติปี 2557-2561 โรคมะเร็งเป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับ 1 และมีแนวโน้มสูงขึ้น ด้วยสาเหตุการการมีพฤติกรรมเสี่ยงในการใช้ชีวิต การบริโภคอาหาร รวมถึงมลพิษต่างๆ ส่งผลให้มีการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยา เกิดภาวะน้ำหนักเกินและอ้วน ไขมัน-ความดัน-น้ำตาลสูง (อรรถเกียรติ และคณะ, 2563) แนวทางหนึ่งในการบรรเทาปัญหา คือ การเลือกบริโภคอาหารที่มีสารชีวภาพช่วยป้องกันมะเร็ง เสริมภูมิคุ้มกันร่างกาย ซึ่งสารเหล่านี้พบได้ในอาหารกลุ่มผัก ผลไม้ และ เห็ด ในงานวิจัยครั้งนี้เล็งเห็นถึงคุณค่าของเห็ดป่ากินได้ในพื้นที่จังหวัดน่าน ซึ่งมีเห็ดป่ากินได้ที่

มีสรรพคุณทางสมุนไพรถึง 18 ชนิด เป็นอาหารที่คนพื้นถิ่นหารับประทานได้ง่าย มีราคาถูก และเป็นที่ยอมรับประทานกันเป็นประจำ (พรรณพร, 2556)

เห็ดสมุนไพรที่เป็นที่รู้จักกันดีว่ามีสรรพคุณต้านมะเร็ง ได้แก่ เห็ดหลินจือ ซึ่งได้มีการศึกษาเปรียบเทียบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านมระหว่างเห็ดหลินจือกับเห็ดคบพบว่า เห็ดคบในผลความเป็นพิษมากกว่าเห็ดหลินจือ และยังมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีสารประกอบฟีนอลิกไม่ต่างจากเห็ดหลินจือ (นิภาพร และคณะ, 2552)

สำหรับสารออกฤทธิ์ต้านมะเร็งที่พบในเห็ดจะเป็นสารกลุ่ม โพลีแซคคาไรด์ กลุ่มโพลีแซคคาไรด์-เปปไทด์ กลุ่มโปรตีน กลุ่มสเตอรอยด์ กลุ่มออร์แกนิกเจอร์มาเนียม (organic germanium) กลุ่มแลคติน เป็นต้น ซึ่งกลุ่มเห็ดที่พบสารดังกล่าว ได้แก่ เห็ดนางฟ้า เห็ดหูหนู เห็ดตีนตุ๊กแก เห็ดหอม เห็ดแดง เห็ดแครง เป็นต้น (Moradali, M.-F. และคณะ, 2007; Zhang, M. และคณะ, 2007; Wang, H.X., และคณะ, 1996; Zhang, G., และคณะ, 2010)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ตัวอย่างเห็ดป่ากินได้ในพื้นที่จังหวัดน่านที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ มีจำนวนเห็ด 10 ชนิด ได้แก่ เห็ดด่านเขียว เห็ดจัน เห็ดจาวมะพร้าว เห็ดโคนหลวง เห็ดถ่านเล็ก เห็ดหอมดิน เห็ดหาด เห็ดเหลืองก่อ เห็ดหัวละ และเห็ดแก่น

แต่ละตัวอย่างจะถูกนำมาทำแห้ง บด แล้วสกัดด้วยน้ำ โดยชั่งตัวอย่างผงเห็ด 10 กรัม ผสมน้ำ 100 มิลลิลิตร เขย่าที่ 200 รอบต่อนาที 48 ชั่วโมง จากนั้นกรองและปั่นเหวี่ยงที่ 3,000 รอบต่อนาที 15 นาที นำสารละลายที่ได้ไประเหยน้ำออกด้วยเครื่องกลั่นระเหยแบบหมุน (Rotary evaporator) แล้วระเหิดน้ำออกให้ได้ผงสกัด เก็บไว้ที่ -20 องศาเซลเซียส

3.2 การเตรียมสารทดสอบ โดย นำสารสกัด 0.01 กรัมละลายในอาหาร DMEM + 5% FBS ปริมาตร 10 มิลลิลิตร แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง 0.22 ไมโครเมตร สุดท้ายได้สารตัวอย่างเข้มข้น 1,000 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.3 ทดสอบเบื้องต้นฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง

ในการทดสอบฤทธิ์ในงานวิจัยนี้ส่งตัวอย่างไปวิเคราะห์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

การทดสอบเบื้องต้นฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง 7 ชนิด มีดังนี้

- 1) ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งช่องปากคน (KB) (oral human epidermal carcinoma cell line)
- 2) ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเต้านม (MCF-7) (human breast carcinoma cell line)
- 3) ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งตับของหนู (HepG2) (human hepatocellular carcinoma cell line)
- 4) ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว (P-388) (murine leukemia cell line)
- 5) ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งปากมดลูก (HeLa) (cervical cancer cell line)
- 6) ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ในคน (HT-29) (human colon adenocarcinoma cell line)
- 7) ความเป็นพิษต่อเซลล์ไตของลิง (Vero) (african green monkey kidney cell line)

วิธีทดสอบความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง ทำโดยปลูกถ่ายเซลล์จำนวน 1×10^5 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ลงใน 96-well plate ปริมาตร 100 ไมโครลิตรต่อหลุม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 นาน 24 ชั่วโมง แล้วดูดอาหารออก เติมน้ำเลี้ยงด้วยปริมาณ 100 ไมโครลิตรต่อหลุม บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 นาน 20 ชั่วโมง แล้วเติม MTT ความเข้มข้น 5 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร หลุมละ 10 ไมโครลิตร บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 5 นาน 4 ชั่วโมง

เมื่อบ่มเซลล์ครบ 4 ชั่วโมง ดูดสารละลาย MTT ที่ทิ้งแล้วเติมน้ำที่ละลายผลึก Formazan ซึ่งในที่นี้ใช้ 100% DMSO: 10% SDS ในอัตราส่วน 9:1 ปริมาตร 100 ไมโครลิตรต่อหลุม

จากนั้นนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Microplate reader รุ่น EZ read 2000 โดยตั้งโปรแกรมเขย่า 5 นาทีก่อนทำการวัดที่ความยาวคลื่น 570 นาโนเมตร

คำนวณ ค่าร้อยละ ความเป็นพิษต่อเซลล์ (% cytotoxicity) ของสารแต่ละชนิด โดยใช้สูตร

$$\% \text{ Cytotoxicity} = [(A-B)/A] \times 100$$

A = ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมควบคุม (เซลล์ + อาหารเพาะเลี้ยง)

B = ค่าการดูดกลืนแสงของหลุมที่ได้รับสารตัวอย่าง (เซลล์ + สารตัวอย่าง)

โดยค่า A และ B จะต้องนำค่าการดูดกลืนแสงของ Blank มาหักลบก่อน จากนั้นจึงนำไปคำนวณจากสูตรข้างต้น

4. ผลการวิจัย

จากตัวอย่างเห็ดจำนวน 10 ชนิด ทดสอบฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง 7 การทดสอบ ได้แก่ เซลล์มะเร็งช่องปาก เซลล์มะเร็งเต้านม เซลล์มะเร็งตับ เซลล์มะเร็งเม็ดเลือดขาว เซลล์มะเร็งปากมดลูก เซลล์มะเร็งลำไส้ใหญ่ และเซลล์ไตของลิง ผลการทดสอบเบื้องต้นพบว่า เห็ดจาวมะพร้าว และเห็ดหาด ให้ผลความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งเกินร้อยละ 50 โดยเห็ดจาวมะพร้าวมีผลความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งช่องปากคน ร้อยละ 51.50 และมีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งปากมดลูก ร้อยละ 51.067 ส่วนเห็ดหาดมีความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งปากมดลูก ร้อยละ 53.733 (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลทดสอบเบื้องต้นฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง

ชนิดเห็ด	ร้อยละความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง						
	เซลล์มะเร็ง	เซลล์มะเร็ง	เซลล์มะเร็ง	เซลล์มะเร็ง	เซลล์มะเร็ง	เซลล์มะเร็งลำไส้	เซลล์ไต
	ช่องปากคน (KB)	เต้านม (MCF-7)	ตับของชน (HepG2)	เม็ดเลือดขาว (P-388)	ปากมดลูก (HeLa)	ใหญ่ในคน (HT-29)	ของลิง (Vero)
เห็ดด่านเขียว	15.750	4.570	19.938	14.463	29.733	12.718	21.971
เห็ดจั่น	8.500	11.589	5.023	10.434	16.000	14.247	2.859
เห็ดจาวมะพร้าว	51.500	20.464	6.491	46.384	51.067	12.609	16.178
เห็ดโคนหลวง	-44.393	10.880	-25.994	35.196	-17.147	-14.449	-9.577
เห็ดถ่านเล็ก	-32.258	1.343	-14.844	1.011	-1.702	-23.479	12.113
เห็ดหอมดิน	7.500	0.331	0.773	0.790	9.600	0.109	3.988
เห็ดหาด	16.250	1.589	27.589	4.855	53.733	7.478	9.406
เห็ดเหลืองก่อ	19.625	0.728	15.979	1.808	8.933	4.803	25.658
เห็ดหูลัวะ	14.900	4.970	10.511	3.759	10.620	16.065	19.296
เห็ดแก่น	13.375	7.881	6.646	4.390	27.733	8.843	18.134

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ สิ่งหนึ่งที่คำนึงถึง คือ การอิงกับกรรมวิธีการปรุงอาหารของคนในท้องถิ่น ที่จะมีการปรุงอาหารโดยการนึ่ง การต้ม เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งกรรมวิธีการปรุงดังกล่าวจะมีการใช้น้ำในการปรุงเป็นหลัก ดังนั้นในการสกัดสารสำคัญงานวิจัยนี้จึงใช้น้ำเป็นตัวสกัด ผลการศึกษา พบฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งช่องปากคนในเห็ดจาวมะพร้าว และพบฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งปากมดลูกในเห็ดจาวมะพร้าวและเห็ดหาด แสดงว่า สารสำคัญที่มีฤทธิ์นี้ทั้งในเห็ดจาวมะพร้าวและเห็ดหาดเป็นสารที่สามารถละลายน้ำได้ ซึ่งคุณสมบัติความสามารถในการละลายน้ำได้เป็นคุณสมบัติสำคัญของสารเพื่อการซึมผ่านเข้าสู่ผนังกระเพาะอาหาร ภายหลังจากการรับประทานอาหาร ซึ่งสามารถพบในสารต้านมะเร็งกลุ่มเบต้ากลูแคน (Wasser, 2008) นอกจากนี้ในเห็ดจาวมะพร้าวนั้นมีการศึกษาพบว่า สารสกัดน้ำจากเห็ดจาวมะพร้าวสามารถลดขนาดก้อนมะเร็งตับในหนูขาวได้ (Ghassan และคณะ, 2018) ส่วนเห็ดหาดเป็นเห็ดที่มีสารโพลีแซคคาไรด์ช่วยแพร่กระจายเซลล์เม็ดเลือดขาว มีผลทำให้ระบบภูมิคุ้มกันทำงานได้ดีขึ้น (Yan-yan H., 2020)

ดังนั้น จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบเห็ดป่ากินได้ในพื้นที่จังหวัดน่าน คือ เห็ดจาวมะพร้าว และ เห็ดหาด เป็นเห็ด

ที่มีฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็ง และสามารถสกัดสารสำคัญนั้นได้ด้วยน้ำ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาในการจัดสรรให้ทุนวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยการแห่งชาติที่ให้การสนับสนุนงบประมาณด้านการวิจัยให้แก่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในการตรวจวิเคราะห์ฤทธิ์ความเป็นพิษต่อเซลล์มะเร็งชนิดต่างๆ

7. เอกสารอ้างอิง

- อรรถเกียรติ กาญจนพิบูลวงศ์, ภาณุวัฒน์ คำวังสง่า และ สุธิตา แก้วทา. (2563). รายงานสถานการณ์โรค NCDs เบาหวาน ความดันโลหิตสูง และปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง พ.ศ. 2562 (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์อักษรกราฟฟิคแอนดี้ดีไซน์.
- วินัย พอล. (2562). รู้จัก ”โรคมะเร็ง” ภัยร้ายที่เป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้นๆ. สืบค้น 10 มีนาคม 2563, จาก https://www.phyathai.com/article_detail/2886/th

- /รู้จัก “โรคมะเร็ง” ภัยร้ายที่เป็นสาเหตุการเสียชีวิตอันดับต้นๆ.
- วินัย กลิ่นหอม และ อุษา กลิ่นหอม. (2548). 57 **เห็ดเป็นยาแห่งป่าอีสาน**. กรุงเทพฯ: มูลนิธิสุขภาพไทย
- วันเพ็ญ บุญสวัสดิ์. (2552). **ผักผลไม้ต้านและป้องกันมะเร็ง**. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2563, จาก http://www.medinfo2.psu.ac.th/cancer/db/news_ca.phpMnewsID=79&typeID=19&form=5
- พรรณพร กุลมา. (2556). **เห็ดปรับปรุประทานได้ที่มีสรรพคุณทางยาในจังหวัดน่าน**. รายงานการประชุม งานประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. ครั้งที่ 6 ระหว่างวันที่ 15-17 พฤษภาคม 2556.
- Ghassan H. J., Ali I. Al-E and, Ibrahim H. M. (2018). **Immunomodulatory, apoptosis induction and antitumor activity of aqueous and methanolic wextract of Calvatia craniformis in mice transfected with murine hepatocellular carcinoma cells**. Open Access Macedonian Journal of Medical Science, Jul 20; 6 (7): 1206-1214.
- medthai. (2561). **7-เห็ดต้านมะเร็ง**. สืบค้นเมื่อ 10 มีนาคม 2564, จาก <http://www.medthai.com/7-เห็ดต้านมะเร็ง>
- Moradali, M.-F., Mostafavi, H., Ghods, S., and Hedjaroude, G.-A., (2007). **Immunomodulating and anticancer agents in the realm of macromycetes fungi (macrofungi)**. International Immunopharmacology. 7: 701-724.
- Wang, H.X., Liu, W.K., Ng, T.B., Ooi, V.E.C., and Chang, S.T., (1996). **The immunomodulatory and antitumor activities of lectin from the mushroom *Tricholoma mongolicum***. Immunopharmacology. 31: 205-211.
- Wasser, S.P., (2008). **Medicinal mushrooms as a source of antitumor and immunomodulating polysaccharides**. *Applied Microbiology and Biotechnology*60, 258274.
- Yan-yan H., Jia-Jia Y., Juan H., Dong-mei L. and, Ming-hua L. (2020). **Structure characterization of a novel *Lactarius volemus* Fr. Polysaccharide and its immunity activity in BALA/c mice**. Royal society of chemistry (10): 30254-30264.
- Zhang, G., Sun, J., Wang, H., and Ng, T.B., (2010). **Frist isolation and characterization of a novel lectin with potent antitumor activity from a *Russula* mushroom**. *Phytomedicine* 17: 775-781.
- Zhang, M., Cui, S.W., Cheung, P.C.K., and Wang, Q., (2007). **Antitumor polysaccharides from mushrooms: a review on their isolation process, structural characteristics and antitumor activity**. *Trends in Food Science & Technology*. 18:4-19.

ความหลากหลายและการกระจายตัวของแมลงน้ำในที่อยู่อาศัยต่างกัน กรณีศึกษาแม่น้ำปิง แม่น้ำแดง และแม่น้ำสา จังหวัดเชียงใหม่

Diversity and Distribution of Aquatic Insects in Different Microhabitat Types: A Case Study of Ping River, Maetaeng River and Sa River, Chiang Mai Province

รุ่งนภา ทากัน^{1,2*}, ศรีณย์ จินะเจริญ^{1,2} และทัตพร คุณประดิษฐ์^{1,2}

Rungnapa Tagun^{1,2*}, Saran Cheenacharoen^{1,2} and Tatporn Kunpradid^{1,2}

1 ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

2 ศูนย์เป็นเลิศด้านความหลากหลายทางชีวภาพในท้องถิ่น มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ ตำบลช้างเผือก อำเภอเมืองเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ 50300

1 Biology Department Faculty of Science and Technology, Chiang Mai Rajabhat University, T.Changhuak, Chiang Mai 50300

2 Centre of Excellence on Biodiversity Research and Implementation on Community. Chiang Mai Rajabhat University, T.Changhuak, Chiang Mai 50300

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บแมลงน้ำจากแม่น้ำสายสำคัญในจังหวัดเชียงใหม่ที่มีถิ่นอาศัยของแมลงน้ำที่แตกต่างกันในลุ่มน้ำปิง โดยได้ทำการศึกษาการกระจายตัวและความหลากหลายของแมลงทั้งหมด 34 จุดเก็บตัวอย่างในเดือนมีนาคม และกรกฎาคม 2562 ทำ 3 ซ้ำ (102 ตัวอย่าง) จาก 3 แม่น้ำ (แม่ปิง แม่แดง และแม่สา) ที่มีลักษณะถิ่นอาศัยของแมลงน้ำที่แตกต่างกัน (แม่ปิง; ซากใบไม้ทับถม, แม่แดง; พื้นท้องน้ำแบบผสม และแม่สา; ทราบ กรวด และโคลน) จากการศึกษาพบแมลงน้ำทั้งหมด 48,663 ตัว 83 วงศ์ และ 9 อันดับ พบว่าความหลากหลายและการกระจายตัวของแมลงน้ำสูงสุดที่น้ำแม่แดง ตามด้วยแม่ปิง และแม่สา ซึ่งผลการศึกษานี้สะท้อนให้เห็นว่าถิ่นที่อยู่หากมีน้อยย่อมส่งผลให้มีความหลากหลายของแมลงน้ำตาม และจากการวิเคราะห์จัดกลุ่มโดย Heatmap พบว่าแมลงน้ำมีความหลากหลายและกระจายตัวน้อยในน้ำแม่สา ซึ่งลำน้ำแม่สาเป็นลำน้ำที่มีการใช้กิจกรรมของมนุษย์ทำให้มีการปนเปื้อนของมลสารในแหล่งน้ำ เป็นสาเหตุทำให้แมลงน้ำกลุ่มที่มีความอ่อนไหวลดลงไป ดังนั้นผลการศึกษานี้จะเป็นส่วนหนึ่งของการก่อให้เกิดการดูแลแหล่งที่อยู่อาศัยของแมลงน้ำ และทำให้เข้าใจในเรื่องของผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ว่าส่งผลอย่างไรต่อกลุ่มแมลงน้ำ

คำสำคัญ: แมลงน้ำ ถิ่นอาศัย แม่น้ำปิง แม่น้ำแดง แม่น้ำสา

Abstract

This study investigated the distribution and diversity of aquatic insects, collected from 34 sites along three main streams from different microhabitats in the Ping river basin, for two months in March and July 2019. Three replicates were also conducted with 102 samples in three streams (MT, MP, and MS) with three microhabitat types (MP; leaf litter, MT; mixed substrate, MS; sand, gravel, and mud). As a result, 48,663 insects from 83 families, nine orders were recorded. The highest level of abundance and diversity of aquatic insects was at MT sites, followed by MP and MS sites. Our results revealed a severe decrease in the habitat, leading to a lower-level abundance and diversity of aquatic insects. Heatmap clustering and ordination analysis indicated shallow distribution and diversity levels at MS

sites. These sites were highly impacted by human and anthropogenic activities that caused the disappearance of sensitive aquatic insect taxa. These results highlighted the need to protect the stream habitats and improve understandings of how natural factors and human disturbances structured aquatic insect assemblages.

Keywords: Aquatic insects, Microhabitat, Ping River, Maeng River, Mae Sa River

1. บทนำ

น้ำแม่ปิง น้ำแม่แตง และน้ำแม่สาเป็นแม่น้ำสายสำคัญในจังหวัดเชียงใหม่ ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากแม่น้ำสายหลักทั้ง 3 สายจากการสร้างอาชีพต่าง ๆ การทำธุรกิจที่พริกน้ำ การใช้ลำน้ำเป็นแหล่งท่องเที่ยว เช่น แก่งกืด ปางช้าง รีสอร์ทต่าง ๆ ทำให้แม่น้ำทั้งสามสายได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงระบบนิเวศ เมื่อระบบนิเวศเสื่อมสภาพสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในระบบนิเวศแม่น้ำทั้งสามสายนี้ก็ได้รับผลกระทบตามไปด้วย โดยแมลงน้ำเป็นสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ใกล้แหล่งน้ำ อาศัยอยู่ในน้ำ พบได้ทั้งในบริเวณน้ำนิ่งและน้ำไหล มักพบเกาะ หรืออาศัยอยู่ตามพืชน้ำ ก้อนหิน หรือขอนไม้ในแหล่งน้ำ เป็นสัตว์ที่มีบทบาทสำคัญต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำโดยจะเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์อื่น ๆ ในห่วงโซ่อาหาร ในประเทศไทยและต่างประเทศ ได้มีการศึกษาการใช้แมลงน้ำเป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพน้ำ โดยใช้ดัชนีทางชีวภาพแบบต่าง ๆ อาทิ กลุ่ม EPT ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำ หรือ BMWP score ที่ให้คะแนนแมลงน้ำตามความทนทานออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Mustow, 2002; Blake & Rhanor, 2020; กิตติยา ถาวโรฤทธิ์, พงษ์พันธ์ สุขสุพันธ์ และ นฤมล แสงประดับ, 2560; Choosak, Thongjoo, & Chaichana, 2016) และพบว่าเมื่อน้ำแมลงน้ำใช้เป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำในปีที่ผ่านมา พบว่าคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง-ดี (รุ่งนภา ทากัน, 2549) ในแต่ทว่าในเรื่องของการศึกษาลึ้นที่อยู่อาศัยของแมลงน้ำนี้ยังมีน้อย

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเกิดความสนใจที่จะศึกษาในเรื่องความหลากหลายและการกระจายของแมลงน้ำควบคู่กับการศึกษาลึ้นที่อยู่อาศัยของแมลงน้ำในน้ำแม่ปิง อำเภอเชียงดาว จังหวัดเชียงใหม่ น้ำแม่แตง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่ และน้ำแม่สา อำเภอแม่ริม จังหวัดเชียงใหม่ ในฤดูแล้งเดือนมีนาคม และฤดูฝนเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2562 เพื่อนำข้อมูลของน้ำทั้ง 3 แหล่งที่ได้ไปเปรียบเทียบผลที่เกิดจากการสร้างสิ่งรบกวน หรือ

ทำกิจกรรมที่ต่างกันในแต่ละลำน้ำ อันจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ และสามารถนำไปเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาการฟื้นฟูสภาพแหล่งน้ำ และอนุรักษ์ทรัพยากรแหล่งน้ำเพื่อให้เกิดความอุดมสมบูรณ์ต่อสิ่งแวดล้อมในด้านต่าง ๆ ต่อไป

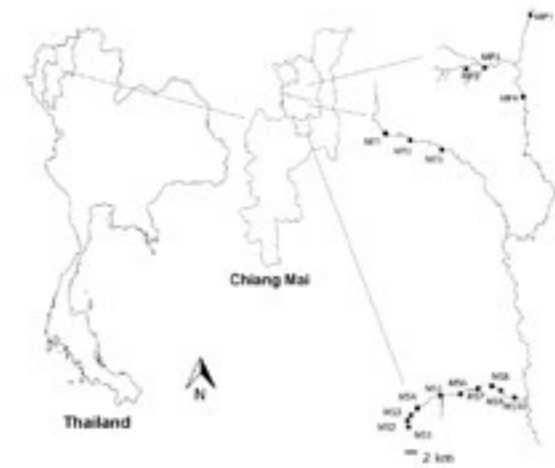
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แมลงน้ำเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังที่อาศัยอยู่ในน้ำ บางชนิดจะอาศัยอยู่ในน้ำตลอดชีวิต บางชนิดจะมีช่วงระยะเวลาการเจริญเติบโตที่อาศัยอยู่ในน้ำ ส่วนมากจะเป็นไข่ ตัวอ่อน และดักแด้ ตัวเต็มวัยจะอยู่บนบก ซึ่งแมลงน้ำมีความหลากหลายและจำนวนประชากรมากที่สุดในบรรดาสัตว์ที่มีบนโลก โดยประกอบไปด้วย 11 อันดับ ได้แก่ อันดับ Collembola อันดับ Ephemeroptera อันดับ Odonata อันดับ Plecoptera อันดับ Hemiptera อันดับ Megaloptera อันดับ Neuroptera อันดับ Trichoptera อันดับ Lepidoptera อันดับ Coleoptera และอันดับ Diptera โดยบางอันดับเป็นแมลงน้ำ และบางอันดับอาศัยริมฝั่งน้ำ ดังนั้นกลุ่มแมลงน้ำนี้สามารถพบได้ในทุกสถานที่ที่สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ได้ โคนอาศัยในบริเวณที่น้ำไหล พื้นใต้ล่างเป็นก้อนหิน หลายชนิดพบบริเวณแก่งที่น้ำไหลเร็วและใส โดยจะเกาะที่ก้อนหิน ในแหล่งน้ำไหลรูปร่างมักมีลักษณะแบนราบเพื่อป้องกันการถูกพัดพาไปกับกระแสน้ำ ในบริเวณแหล่งน้ำที่กระแสน้ำไหลช้า หลายชนิดมีการปรับตัวโดยการฝังตัวอยู่ในตะกอนดิน หรือสร้างปลอกหุ้มห่อลำตัวที่มีลักษณะเป็นรังช่วยในการป้องกันศัตรู (Costa, & Melo, 2008) ดังนั้นวิธีการเก็บแมลงน้ำจึงต้องมีการเก็บให้ครอบคลุมแหล่งที่อยู่อาศัย อาทิเช่น การใช้ pond net, D-frame net, Sweep net หรือการใช้ Surber sampler สำหรับการอาศัยอยู่ในน้ำ แมลงน้ำจำเป็นต้องอาศัยออกซิเจนที่อยู่ในน้ำ โดยการหายใจทางเหงือก (Konig, & Santos, 2013) แมลงน้ำมีความทนทาน

ต่อมลพิษในแหล่งน้ำแตกต่างกันออกไป ดังนั้นแมลงน้ำจึงนิยมนำมาใช้ในการเป็นดัชนีบ่งชี้มลภาวะทางน้ำได้

3. วิธีดำเนินการวิจัย

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี ในแต่ละจุดศึกษาทำการวัดพารามิเตอร์ 3 ครั้ง (3 จุด) จากสามลำน้ำดังภาพที่ 1 โดยเก็บจากบริเวณท้ายน้ำขึ้นไปยังต้นน้ำ รวมถึงอุณหภูมิและอากาศ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลาย (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ความเป็นกรดเบสของน้ำ (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) ปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำ (Total dissolved solid) และปริมาณ สารอาหารได้แก่ แอมโมเนียม-ไนโตรเจน (Ammonium; $\text{NH}_4^+\text{-N}$) โดยใช้วิธี Salicylate ในการวิเคราะห์ ไนเตรต-ไนโตรเจน (Nitrate-Nitrogen; $\text{NO}_3^-\text{-N}$) ใช้วิธี Cadmium reduction และออร์โธฟอสเฟต (Orthophosphate) ใช้วิธี Ascorbic acid ในการวิเคราะห์ ซึ่งวิธีการศึกษาคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีทั้งหมดนี้ใช้วิธีการตามมาตรฐานการวิเคราะห์คุณภาพน้ำและน้ำเสีย (APHA - American Public Health Association, 1998)



ภาพที่ 1 แสดงพื้นที่จุดเก็บตัวอย่าง 3 ลำน้ำ แม่ปิง แม่แตง และแม่สา

เก็บตัวอย่างแมลงน้ำใช้ D-frame net ความถี่ตาข่าย 500 ไมโครเมตร โดยเก็บริมฝั่งน้ำด้านซ้าย และขวา แบ่งเป็น 3 จุดย่อยในแต่ละด้าน จุดย่อยละประมาณ 3 นาที เพื่อให้ครอบคลุมทุกถิ่นที่อยู่ จากนั้นเก็บลงสู่ถุงพลาสติก และเติมด้วยแอลกอฮอล์ 70% นำตัวอย่างแมลงน้ำจำแนกได้ก๊อ

จุลทรรศน์สเตอริโอ Olympus SZ51 เพื่อจำแนกสัณฐานวิทยาให้ถึงระดับวงศ์ (Family) โดยใช้หนังสืออนุกรมวิธานจากนั้นนับจำนวน และบันทึกผล (Dudgeon, 1999; Merritt & Cummins, 1996; Sangpradub, & Boonsoong, 2006)

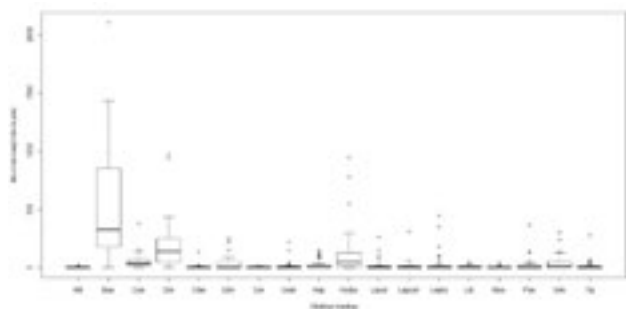
การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลแมลงน้ำ และคุณภาพน้ำทางกายภาพและเคมีรวมถึงลักษณะถิ่นที่อยู่อาศัยของสามลำน้ำที่ได้นำมาแสดงผลด้วย Boxplot เพื่อเปรียบเทียบดูความแตกต่าง และวิเคราะห์การจัดกลุ่มความเหมือนความแตกต่างในแต่ละจุดศึกษาด้วยการจัดกลุ่มแบบ Ward Linkage ด้วยวิธี cluster analysis รวมถึงศึกษาดัชนีความหลากหลายทางชีวภาพโดยใช้วิธี Shannon-Wiener Index ดัชนีความสม่ำเสมอในการกระจายตัวด้วยวิธี Pielou's Evenness Index (Liu *et al.*, 2016) และศึกษาอิทธิพลของปัจจัยทางด้านกายภาพ เคมีที่ส่งผลต่อการกระจายตัวของแมลงน้ำด้วยวิธี multivariate analysis ด้วยเทคนิค canonical corresponding analysis (Ter Braak, 1986; Nguyen *et al.*, 2014) การศึกษาความชุกชุมสัมพันธ์ของแมลงน้ำโดยการแสดงภาพด้วย Heat map โดยการวิเคราะห์ทั้งหมดใช้แพ็คเกจ Vegan โปรแกรม R studio (R core team version 3.3.1) (Liu *et al.*, 2019; Valerie, 2017)

4. ผลการวิจัย

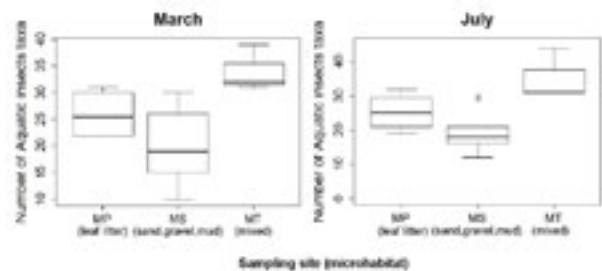
ความหลากหลายและการกระจายตัวของแมลงน้ำ

พบแมลงน้ำทั้งหมด 48,663 ตัว จาก 83 วงศ์ พบว่าแมลงน้ำในวงศ์ Baetidae ในอันดับของ Ephemeroptera หรือชีปะขาวมากที่สุด ตามด้วยหนอนริ้นน้ำจืด Chironomidae ในอันดับของ Diptera หรือแมลงสองปีก และตามด้วยแมลงหนอนปลอดน้ำในวงศ์ Hydropsychidae ในอันดับของ Trichoptera ดังแสดงใน Boxplot แสดงให้เห็นถึงความชุกชุม (Abundance) ของแมลงน้ำที่พบ



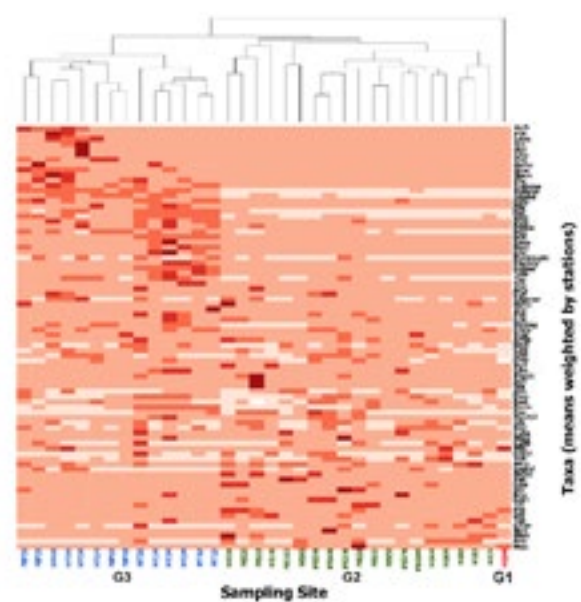
ภาพที่ 2 แสดงความชุกชุมของแมลงน้ำทั้งแม่ปึง แม่แดง และแม่สา

และเมื่อได้เปรียบเทียบลักษณะของถิ่นที่อยู่อาศัยของแมลงน้ำในสามลำน้ำและความหลากหลายนั้นพบว่าแมลงน้ำในลำน้ำแม่แดงมีความหลากหลายมากที่สุดที่ทั้งสองเดือนที่เก็บตัวอย่าง ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แสดงจำนวนวงศ์ที่พบในลำน้ำแม่ปึง แม่แดง และแม่สา ในเดือนมีนาคม และเดือนกรกฎาคม

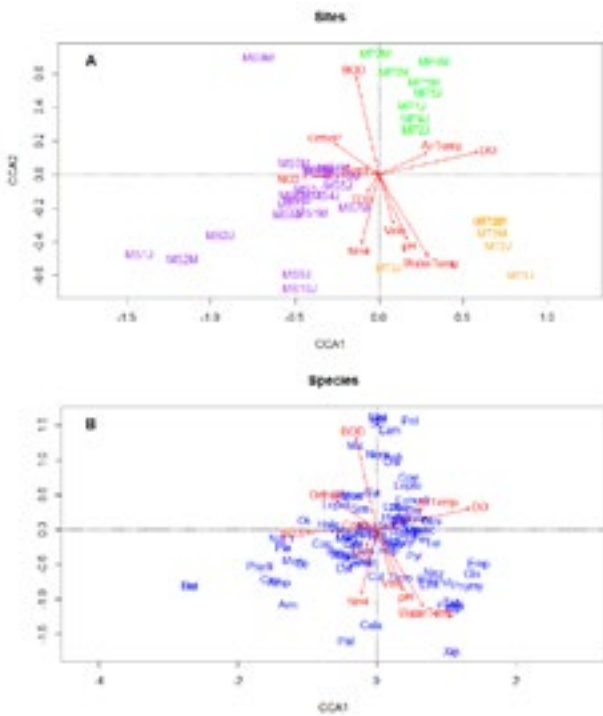
การจัดกลุ่มของความหลากหลายและการกระจายตัวโดยใช้ Heatmap และ cluster โดยสีเข้มจะมีปริมาณความชุกชุมของแมลงน้ำที่มากกว่าสีอ่อน พบว่าแมลงน้ำในกลุ่มแรกในสีแดง (G1) ประกอบด้วยจุดเก็บตัวอย่าง MS9M แม่สาจุดที่ 9 ในเดือนมีนาคมซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความชุกชุมต่ำที่สุด กลุ่มที่สองสีเขียว (G2) เป็นจุดที่มีความหลากหลายปานกลางนั้นคือทุกจุดเก็บของแม่สา และกลุ่มที่ 3 สีฟ้า (G3) คือจุดเก็บของน้ำแม่ปึงและแม่แดงที่มีความหลากหลายของแมลงน้ำสูง และมีกลุ่มของแมลงน้ำที่อ่อนไหวต่อสภาพแวดล้อมและมลพิษ นั่นคือแมลงเกาะหิน กลุ่มชีปะขาว และแมลงหนอนปลอกน้ำ



ภาพที่ 4 แสดงการแบ่งกลุ่มความหลากหลายของแมลงน้ำโดยจัดกลุ่มด้วย UPGMA algorithm และ SIMPROF test (p<0.05).

ความสัมพันธ์ระหว่างถิ่นที่อยู่อาศัยและปัจจัยทางกายภาพเคมี และแมลงน้ำ

จากการใช้สถิติในการดูความสัมพันธ์ของแมลงน้ำและปัจจัยทางกายภาพ และถิ่นที่อยู่อาศัยพบว่ามีความสอดคล้องกับการแบ่งกลุ่มของ Heatmap และนั่นคือแมลงน้ำในกลุ่มของแม่ปึง และแม่แดงอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ส่วนแมลงน้ำแม่สาจัดอยู่ในอีกกลุ่มหนึ่ง และแมลงน้ำในแม่สามีความสัมพันธ์กับปริมาณสารอาหาร ส่วนแมลงน้ำในแม่ปึงและแม่แดงมีความสัมพันธ์กับปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) อุณหภูมิในน้ำ (Water Temp) และอุณหภูมิอากาศ (Air Temp) ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 CCA (Canonical correlation analysis) แสดงการกระจายตัวของแมลงน้ำด้วยปัจจัยทางกายภาพและเคมี

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

แมลงน้ำที่พบจำนวนมากตัวในลำน้ำแม่ปิง แม่แตง และแม่สามากที่สุดคือกลุ่มของแมลงชีปะขาวเข็ม Baetidae และหนอนริ้นน้ำจืด Chironomidae เนื่องด้วยตัวอ่อนของแมลงน้ำทั้งสองชนิดนี้สามารถอยู่ในในถิ่นที่อยู่หลากหลายรูปแบบ (Konig & Santos, 2013) และเป็นแมลงน้ำที่มีความสำคัญกับห่วงโซ่อาหารที่กระจายอยู่แหล่งน้ำทั่วโลก (Sankarperumal and Pandian 1992). ดังนั้นจึงถือได้ว่าแมลงน้ำสองชนิดนี้เป็นตัวทั่วไปที่สามารถพบได้ทั่วโลกและพบในถิ่นที่อยู่อาศัยทุกชนิด (Schmitt, da Silva, Soares, Petrucio, & Sieglösch, 2019; Sueyoshi, Ishiyama, & Nakamura, 2016).

ในส่วนของความหลากหลายและการกระจายตัวของแมลงนั้นพบสูงสุดที่แม่แตง ตามด้วยแม่ปิงและแม่สาตามลำดับนั้นพบว่า แม่สาเป็นลำน้ำที่ประกอบด้วยทราย หิน และกรวดและพีชริมฝั่งหายไปอันเนื่องมาจากกิจกรรมริมฝั่ง แต่ลำน้ำแม่ปิงและแม่แตงนั้นมีความหลากหลายสูงเนื่องจากมีความหลากหลายชนิดของถิ่นอาศัยไม่ว่าจะเป็นกรวด ทราย หิน โคลน พีชริมฝั่ง หรือแม้แต่ซากใบไม้ทับถมจากต้นลำธาร ดังนั้นเมื่อมีความ

หลากหลายของถิ่นที่อาศัยย่อมเอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตสืบพันธุ์ของแมลงน้ำก่อให้เกิดความหลากหลายตามไปด้วย (Uno & Pneh, 2020).

เมื่อจัดกลุ่มแมลงน้ำพบว่าแบ่งเป็นสามกลุ่ม โดยจัดแบ่งแมลงน้ำออกเป็นแมลงที่บอกคุณภาพน้ำดีอ่อนไหวต่อมลพิษ แมลงน้ำที่อยู่ในคุณภาพน้ำปานกลาง และแมลงน้ำที่ทนทานอยู่ในที่สกปรกได้ โดยแมลงน้ำที่ทนทานนั้นพบว่าเป็นมวนน้ำในวงศ์ Micronectidae อันดับ Hemiptera ที่พบมากในลำน้ำแม่สา แมลงในวงศ์นี้อาศัยในน้ำที่กระแสน้ำไหลไม่แรงมาก โดยลำน้ำแม่สาพบว่ามีกรก้นทำผายเป็นระยะ ๆ ทำให้กระแสน้ำนั้นไหลช้าลง ส่งผลกระทบต่อปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงตาม และในน้ำตื้นพบว่าเป็นแมลงเกาะหินซึ่งเป็นแมลงที่อ่อนไหวต่อคุณภาพน้ำ อีกทั้งยังพบแมลงหนอนปลอกน้ำในวงศ์ Helicopsyhidae, Georidae, Glossosomatidae, Xiphocentronidae, Calamoceratidae, แมลงชีปะขาวในวงศ์ Ephemeraeidae, Ephemereleidae and Potamanthidae. (Blake & Rhanor, 2020; Harrison, 2014; Theodoropoulos, Karaouzas, Vourka, & Skoulidakis, 2020) โดยสอดคล้องที่ว่าลำน้ำแม่สามีถิ่นอาศัยที่หลากหลายน้อยดั่งนั้นเมื่อมีการปนเปื้อน หรือแหล่งน้ำถูกรบกวนจึงทำให้แมลงน้ำที่อ่อนไหวลดจำนวนลงไป แต่ในลำน้ำแม่แตง และแม่ปิงนั้นพบที่มีความหลากหลายของกลุ่ม EPT ซึ่งกลุ่มนี้บอกถึงคุณภาพน้ำดีและสะท้อนให้เห็นถึงถิ่นที่อยู่อาศัยที่หลากหลายและเหมาะสม (Alemneh *et al.*, 2017; Nguyen *et al.*, 2015)

จากงานวิจัยนี้จะเห็นได้ว่าแหล่งน้ำที่สำคัญของจังหวัดเชียงใหม่ นั้นถูกรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ส่งผลให้ความหลากหลายทางชีวภาพ ความหลากหลายชนิดของแมลงลดลง ซึ่งอาจก่อให้เกิดการสูญพันธุ์ ดังนั้นการท้าววิจัยนี้จะส่วนสร้างความตระหนัก และการวางแผนเพื่ออนุรักษ์ปกป้องพื้นที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตต่อให้เพื่อไม่ให้ความหลากหลายทางชีวภาพลดลง และอีกทั้งเพื่อเพิ่มสุขภาวะทางระบบนิเวศให้มั่นคงอีกต่อไปด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์เป็นเลิศด้านความหลากหลายทางชีวภาพเพื่อท้องถิ่น (BRIC) มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก สภาวิจัยแห่งชาติ ปี 2561 (วช.61)

7. เอกสารอ้างอิง

กิตติยา ถาวรโรฤทธิ์, พงษ์พันธ์ สุขสุพันธ์ และนฤมล แสงประดับ.

(2560). ความหลากหลายของแมลงชีปะขาว แมลงสโตนฟลาย และแมลงหนอนปลอกน้ำ ในเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าฮาลา-บาลา จังหวัดนราธิวาส. วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์, Vol.9 No.3 (2560). 149-161.

รุ่งนภา ทากัน. (2549). การใช้สัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังขนาดใหญ่ ประเภทพื้นท้องน้ำเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำทางชีวภาพของแม่น้ำปิง ปี 2547-2548. (วิทยาศาสตร์ มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่).

Alemneh, T., Ambelu, A., Bahrndorff, S., Mereta, S. T., Pertoldi, C., & Zaitchik, B. F. (2017). Modeling the impact of highland settlements on ecological disturbance of streams in Choke Mountain Catchment: Macroinvertebrate assemblages and water quality. *Ecological Indicators*, 73, 452-459. doi:10.1016/j.ecolind.2016.10.019

APHA - American Public Health Association. (1998). Standard methods for the examination of water and wastewater. 20th ed., Washington, 937 p.

Blake, C., & Rhanor, A. K. (2020). The impact of channelization on macroinvertebrate bioindicators in small order Illinois streams: insights from long-term citizen science research. *Aquatic Sciences*, 82(2). doi:ARTN 3510.1007/s00027-020-0706-4

Choosak, S., Thongjoo, C., & Chaichana, R. (2016). Ecological Roles of Commercial Mangrove Plantation Forests for Benthic Macroinvertebrate Communities in Thailand.

Applied Ecology and Environmental Research, 14(2), 421-432.

Costa, S. S., & Melo, A. S. (2008). Beta diversity in stream macroinvertebrate assemblages: among-site and among-microhabitat components. *Hydrobiologia*, 598, 131-138. doi:10.1007/s10750-007-9145-7

Dudgeon, D. (1999). Tropical Asian Streams – Zoobenthos, Ecology and Conservation." *Aquatic Insects*, 23(2), p. 167

Harrison, R. M. (2014). *Pollution: Casues, Effects and Control*. RSC Publishing: Royal Society of Chemistry.

Konig, R., & Santos, S. (2013). Chironomidae (Insecta: Diptera) of different habitats and microhabitats of the Vacacai-Mirim River microbasin, Southern Brazil. *Anais Da Academia Brasileira De Ciencias*, 85(3), 975-985. doi:Doi 10.1590/S0001-37652013000300010

Liu, S. R., Xie, G. X., Wang, L. Z., Cottenie, K., Liu, D. X., & Wang, B. X. (2016). Different roles of environmental variables and spatial factors in structuring stream benthic diatom and macroinvertebrate in Yangtze River Delta, China. *Ecological Indicators*, 61, 602-611.

Liu, W., Xu, M. Z., Zhao, N., Zhou, X. D., Pan, B. Z., Tian, S. M., & Lei, F. K. (2019). River health assessment of the Yellow River source region, Qinghai-Tibetan Plateau, China, based on tolerance values of macroinvertebrates. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(10), 10251-10262. doi:10.1007/s11356-018-04110-0

- Merrit, R. W., & Cummins, K. W. (1996). An introduction to the aquatic insects of North America. 3rd ed. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Pub. Co.
- Mustow, S. E. (2002). Biological monitoring of rivers in Thailand: use and adaptation of the BMWP score. *Hydrobiologia*, 479(1), 191-229. doi:10.1023/A:1021055926316
- Nguyen, H. H., Everaert, G., Gabriels, W., Hoang, T. H., & Goethals, P. L. M. (2014). A multimetric macroinvertebrate index for assessing the water quality of the Cau river basin in Vietnam. *Limnologia*, 45, 16-23. doi:10.1016/j.limno.2013.10.001
- Nguyen, T. H. T., Boets, P., Lock, K., Ambarita, M. N. D., Forio, M. A. E., Sasha, P., . . . Goethals, P. L. M. (2015). Habitat suitability of the invasive water hyacinth and its relation to water quality and macroinvertebrate diversity in a tropical reservoir. *Limnologia*, 52, 67-74. doi:10.1016/j.limno.2015.03.006
- RStudio Team (2020). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, PBC, Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- Sangpradub, N. & B. Boonsoong. (2006). Identification of freshwater invertebrates of the Mekong River and its tributaries. Mekong River Commission, Vientiane, Lao P.D.R
- Sankarperumal, G. & Pandian, T. J. (1992). Larval abundance of *Chironomus circumdatus* in relation to biotic and abiotic factors. *Hydrobiologia* 246: 205-212.
- Schmitt, R., da Silva, A. L. L., Soares, L. C. P. D., Petrucio, M. M., & Siegloch, A. E. (2019). Influence of microhabitat on diversity and distribution of Ephemeroptera, Plecoptera, and Trichoptera in subtropical forest streams. *Studies on Neotropical Fauna and Environment*. doi:10.1080/01650521.2019.1704984
- Sharifinia, M., Mahmoudifard, A., Namin, J. I., Ramezani, Z., & Yap, C. K. (2016). Pollution evaluation in the Shahrood River: Do physico-chemical and macroinvertebrate-based indices indicate same responses to anthropogenic activities? *Chemosphere*, 159, 584-594. doi:10.1016/j.chemosphere.2016.06.064
- Subramanian, K. A., & Sivaramakrishnan, K. G. (2005). Habitat and microhabitat distribution of stream insect communities of the Western Ghats. *Current Science*, 89(6), 976-987.
- Sueyoshi, M., Ishiyama, N., & Nakamura, F. (2016). beta-diversity decline of aquatic insects at the microhabitat scale associated with agricultural land use. *Landscape and Ecological Engineering*, 12(2), 187-196. doi:10.1007/s11355-015-0283-1
- Ter Braak, C. J. F. (1986). Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 97(5), 1167-1179.
- Theodoropoulos, C., Karaouzas, I., Vourka, A., & Skoulidakis, N. (2020). ELF - A benthic macroinvertebrate multi-metric index for the assessment and classification of hydrological alteration in rivers. *Ecological Indicators*, 108. doi:UNSP 10571310.1016/j.ecolind.2019.105713
- Uno, H., & Pneh, S. (2020). Effect of source habitat spatial heterogeneity and species diversity on the temporal stability of aquatic-to-terrestrial subsidy by emerging aquatic insects.

Ecological Research, 35(3), 474-481.

doi:10.1111/1440-1703.12125

Valerie, D. (2017). *Data Treatment in Environmental Sciences: Multivaried Approach*. ISTE pree Ltd, London Elsevier

ผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ที่มีต่อความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาหญิงสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

Effects of Applied Nine Square Training on Cardiovascular Endurance and Body Fat Percentage of Female Student's Sport and Health Sciences, Rajamangala University of Technology Isan

กฤตณัฐ พุฒิชนสมบัติ* จารุวรรณ พวงมาลา ชลธิชา พลขุนทด อนุชน ชอบจิตร
อารีญา ศรีคำวัง และเอกชัย นิรอรัมย์

Krissanat Putthithanasombat*, Charuwan Puangmala, Cholthicha Pholkhuntod,
Anuchon Chobjit, Areeya Srikhumwang and Aekkachai Niroram.

คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
744 ถนนสุรนารายณ์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan,
Nakhon Ratchasima. 744 Suranarai Road, Nai Muang, Muang, Nakhon Ratchasima, 30000
*Email: aekkalak.pu@rmuti.ac.th, 095-235-5998

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ที่มีต่อความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาหญิง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาหญิงสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จำนวน 30 คน มีอายุระหว่าง 18-21 ปี กลุ่มตัวอย่างได้มาด้วยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ทำการวัดความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตจากนั้นแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 15 คน ได้แก่ กลุ่มควบคุม ไม่ได้รับการฝึก ส่วนกลุ่มทดลองทำการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ จำนวน 10 ท่า ทุกวันจันทร์ พุธ และวันศุกร์ เป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ จากนั้นวัดความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันของกลุ่มตัวอย่างก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 ผลการศึกษาพบว่า การฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ ทำให้ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตดีขึ้นแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายไม่แตกต่างกัน

คำสำคัญ : ตารางเก้าช่อง ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิต เปอร์เซ็นต์ไขมัน ออกกำลังกาย

Abstract

The purpose of this study was to examine the effects of applied nine square training on cardiovascular endurance and body fat percentage of female students at Rajamangala University of Technology, ISAN. Thirty female students in Sport and Health Sciences were selected by purposive sampling, aged between 18-21 years old. They were divided into two groups based on their cardiovascular endurance. The control group did not receive any treatment, whereas the experimental group practiced ten poses of nine square training programs three times a week for eight weeks. This study showed that the application of nine square exercises improved cardiovascular endurance with statistically significant at the 0.05 level, while body fat percentage was not significantly different.

Keyword: Nine square, Cardiovascular Endurance and Body Fat Percentage, Exercise.

1. บทนำ

การมีสุขภาพดีทั้งกายและใจ เป็นสิ่งที่ทุกคนพึงปรารถนา การมีสุขภาพที่ดีมีได้หมายความว่าความแข็งแรงแต่การไม่เจ็บป่วยหรือปราศจากโรคภัยเท่านั้น หากยังครอบคลุมถึงการมีสุขภาพสมบูรณ์แข็งแรงของร่างกาย จิตใจ อารมณ์ และสังคม สอดคล้องกับ ดร.ณวรรณ สุขสม (2561: 1) กล่าวว่า การมีสุขภาพดี เป็นสิทธิขั้นพื้นฐานของมนุษย์ที่ทุกคนปรารถนา การพัฒนาทักษะส่วนบุคคลเพื่อการมีสุขภาพดีของตนเองและสังคมเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็น การสร้างเสริมสุขภาพเป็นกระบวนการเพิ่มสมรรถภาพทางกายให้บุคคลสามารถดำรงชีวิตได้อย่างเป็นปกติสุข อย่างไรก็ตาม การมีสมรรถภาพทางกายที่ดี จะช่วยให้การปฏิบัติกิจวัตรประจำวันมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังนั้น สมรรถภาพทางกายจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นต่อการดำรงชีวิตประจำวัน

คอร์บิน และคณะ (Corbin et al, 2013) ได้ให้ความหมายของสมรรถภาพทางกายไว้ว่า สมรรถภาพทางกาย หมายถึง ความสามารถของร่างกายในการทำหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับ สุขภาพ (Health Related Physical Fitness) มีปัจจัยหรือองค์ประกอบ 5 ด้าน ได้แก่ (1) ความอดทนของหัวใจและหลอดเลือด (Cardiovascular Endurance) (2) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscular Endurance) (3) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscular Strength) (4) ความอ่อนตัวหรือความยืดหยุ่นของข้อต่อ

(Flexibility) และ (5) ส่วนประกอบของร่างกาย (Body Composition) หากพิจารณาถึงความสำคัญของสมรรถภาพทางกาย พบว่า ความความอดทนของหัวใจและหลอดเลือดหรือความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตมีความสำคัญอันดับแรกที่มีผลต่อการดำรงชีวิต ทำให้สามารถปฏิบัติกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันได้โดยปราศจากความเหนื่อยล้า

ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular Endurance) เป็นความสามารถในการทำงานของหัวใจ เซลล์เม็ดเลือด หลอดเลือด ร่วมกับระบบหายใจ เพื่อทำหน้าที่ขนส่งสารอาหารและออกซิเจนไปยังกล้ามเนื้อ เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อในการใช้พลังงานไปสำหรับการออกกำลังกาย (จตุรงค์ เหมรา. 2561: 7) เพราะฉะนั้น การออกกำลังกายจึงมีส่วนช่วยให้ความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตดีขึ้น แต่ทว่าเมื่อพิจารณาถึงการดำเนินชีวิตของมนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันพบว่า วิธีการดำเนินชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมค่อนข้างมาก อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของโลก เช่น ด้านเศรษฐกิจ สังคม ตลอดจนความเชื่อมโยงด้านเทคโนโลยีกับการใช้ชีวิตประจำวัน ทำให้ประชาชนมีกิจกรรมทางกายหรือออกกำลังกายกันน้อยลง กิจกรรมการออกกำลังกายมีหลากหลายรูปแบบ เช่น การเดิน วิ่ง ปั่นจักรยาน รำมวยจีน ว่ายน้ำ หรือแม้กระทั่งกิจกรรมการเคลื่อนไหวร่างกายด้วยตารางเก้าช่อง

เจริญ กระบวนรัตน์ (2552 : 21) กล่าวว่า ตารางเก้าช่อง คือ เครื่องมือที่คิดค้นขึ้นในเบื้องต้น

เพื่อนำไปสู่การพัฒนาปฏิสัมพันธ์ในการเรียนรู้และการรับรู้สิ่งงานของสมอง ช่วยประสานความสัมพันธ์ระหว่างระบบประสาทและกล้ามเนื้อ เพื่อกระตุ้นและพัฒนาปฏิกิริยาความเร็วในการปฏิบัติทักษะการเคลื่อนไหว ความเร็วในการคิดและการตัดสินใจให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นให้เกิดการพัฒนาสมองทั้งซีกซ้ายซีกขวาควบคู่กันไป ด้วยการพัฒนามาจากรูปแบบการเคลื่อนไหวที่เป็นพื้นฐานเบื้องต้นของมนุษย์ เริ่มจากรูปแบบและขั้นตอนการเคลื่อนไหวที่ง่ายไปสู่การเคลื่อนไหวที่ยากและพัฒนาการเคลื่อนไหวจากช้าไปสู่การเคลื่อนไหวที่รวดเร็ว ชับซ้อนหลากหลายรูปแบบและหลากหลายทิศทางมากยิ่งขึ้น หากพิจารณาจากข้อมูลเบื้องต้นพบว่า ตารางเก้าช่องมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาทักษะการเคลื่อนไหวผ่านการเรียนรู้ของสมองเป็นสำคัญ

นอกจากการฝึกตารางเก้าช่องจะช่วยพัฒนาสมองและทักษะการเคลื่อนไหวแล้ว คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจในประเด็นต่าง ๆ ด้วยเหตุนี้ จึงได้ทำการศึกษาผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ที่มีต่อความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาหญิงสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการศึกษาผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ที่มีต่อความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาหญิงสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งได้จัดลำดับหัวข้อแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ดังนี้ (1) ความหมายและความสำคัญของสมรรถภาพทางกาย (2) องค์ประกอบของสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ (Health Related Physical Fitness) (3) ผล

การออกกำลังกายที่มีต่อความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิต (4) ผลการออกกำลังกายที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย และ (5) ความสำคัญ หลักการฝึก และประโยชน์ของการฝึกตารางเก้าช่อง ซึ่งจะกล่าวถึงแต่ละหัวข้อตามลำดับ

กรมพลศึกษา (2562: 1) ได้ให้คำนิยามของสมรรถภาพทางกายไว้ดังนี้ สมรรถภาพทางกาย (Physical Fitness) หมายถึง สภาวะของร่างกายที่อยู่ในสภาพที่ดี ช่วยให้บุคคลสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลดปัจจัยเสี่ยงปัญหาด้านสุขภาพ การออกกำลังกายเสริมสร้างความสมบูรณ์แข็งแรงให้แก่ร่างกายบุคคลที่มีสมรรถภาพทางกายดีจะสามารถปฏิบัติกิจกรรมในชีวิตประจำวัน เช่น การออกกำลังกาย เล่นกีฬา และการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างดี สอดคล้องกับ สนธิยา สีสละมาต (2557: 8) ที่ได้กล่าวว่า สมรรถภาพทางกาย คือ การมีสภาพสรีรวิทยาที่ช่วยให้บุคคลสามารถประกอบกิจกรรมชีวิตประจำวันได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือการมีสภาพสรีรวิทยาพื้นฐานสำหรับความสมบูรณ์ทางการกีฬา จากความหมายดังกล่าว สมรรถภาพทางกายจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับ สุขภาพ (Health Related Physical Fitness) และสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับทักษะกีฬา (Skill Related Physical Fitness) คณะผู้วิจัยขอกล่าวถึงเพียงสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพเท่านั้น

กรมพลศึกษา (2562: 2-3) ระบุถึงองค์ประกอบสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพ (Health Related Physical Fitness) มี 5 ด้าน ได้แก่ (1) ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle Strength) เป็นความสามารถของกล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อที่สร้างแรงเพื่อต่อต้านกับแรงต้านทานได้ ดังนั้น ความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ จึงเป็นปัจจัยพื้นฐานในการประกอบกิจกรรมทุกประเภท รวมถึงการเคลื่อนไหวในชีวิตประจำวันและการเล่นกีฬาหรือออกกำลังกาย (2) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle Endurance) เป็นความสามารถของ

กล้ามเนื้อหรือกลุ่มกล้ามเนื้อในการออกแรงทำงานซ้ำ ๆ ได้อย่างต่อเนื่องยาวนาน ความอดทนของกล้ามเนื้อสามารถพัฒนาได้ โดยการเพิ่มจำนวนครั้งในการปฏิบัติกิจกรรม ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อายุเพศ ระดับสมรรถภาพทางกาย และชนิดของการออกกำลังกาย (3) ความอ่อนตัวหรือความยืดหยุ่นของเอ็น ข้อต่อและกล้ามเนื้อ (Flexibility) คือ ความสามารถในการทำงานของกล้ามเนื้อ และข้อต่อต่าง ๆ ของร่างกายที่จะยืดออกและเคลื่อนไหวได้เต็มช่วงการเคลื่อนไหว (Range of Motion: ROM) การยืดเหยียดของกล้ามเนื้อทำได้ทั้งแบบอยู่กับที่ (Static Stretching) โดยปฏิบัติทำยืดกล้ามเนื้อค้างไว้ 15-30 วินาที และการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบเคลื่อนไหว (Dynamic Stretching) (4) สัดส่วนของร่างกาย (Body Composition) คือ ปริมาณสัมพันธ์ของกล้ามเนื้อ ไขมัน กระดูกและอวัยวะส่วนอื่น ๆ ของร่างกาย และ (5) ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular Endurance) คือ ความสามารถของระบบไหลเวียนและระบบหายใจในการนำออกซิเจนไปใช้ขณะมีกิจกรรมทางกาย ออกกำลังกายหรือเล่นกีฬา การพัฒนาระบบนี้ต้องมีการเคลื่อนไหวร่างกายระยะเวลาติดต่อกันมากกว่า 30 นาทีขึ้นไป

สำหรับผลการออกกำลังกายที่มีต่อความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตนั้น สนธยา สีละมาต (2560: 20-21) กล่าวว่า การออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอจะส่งผลให้กล้ามเนื้อหัวใจมีขนาดใหญ่ขึ้น (Hypertrophy) แรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบตัวแต่ละครั้งเพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้น อัตราการเต้นของหัวใจจะลดลงประมาณ 10-15 ครั้งต่อนาที สอดคล้องกับ ดรณวรรณ สุขสม (2561: 143) กล่าวว่า การออกกำลังกายสำหรับการสร้างเสริมสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิต ส่วนใหญ่เป็นการออกกำลังกายแบบแอโรบิก เมื่อทำการออกกำลังกายแบบแอโรบิกแบบซ้ำ ๆ จะส่งผลให้ความสามารถในการขนส่งและใช้ออกซิเจนได้ดีขึ้น

นอกจากนั้น การออกกำลังกายที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย ดรณวรรณ สุขสม (2561: 153) พบว่าการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นเวลา 30-

60 นาที ระดับความหนักปานกลาง (Moderate Intensity) อย่างสม่ำเสมอ ช่วยให้ลดน้ำหนักตัวได้ ทำนองเดียวกัน สนธยา สีละมาต (2557: 327) กล่าวว่า การออกกำลังกายเพื่อลดน้ำหนัก ควรเป็นการออกกำลังกายที่สนับสนุนให้ร่างกายมีการใช้ไขมันเป็นพลังงานขณะออกกำลังกาย โดยการออกกำลังกายแบบต่อเนื่อง (Continuous Exercise) หรือ แบบ มี ช่วง พั ก (Intermittent Exercise) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการออกกำลังกายเพื่อลดน้ำหนักได้ เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการออกกำลังกายระหว่างแบบต่อเนื่องและแบบมีช่วงพักที่ระดับความหนักของการออกกำลังกายเท่ากัน (ความหนักระดับต่ำถึงปานกลาง) จะมีการเผาผลาญไขมันขณะออกกำลังกายไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อกำหนดให้ความหนักของการออกกำลังกายสูงขึ้น การออกกำลังกายแบบมีช่วงพักจะเผาผลาญไขมันต่ำกว่า กิจกรรมการออกกำลังกายมีหลากหลายรูปแบบ อาทิ การเดิน (Walking) การวิ่ง (Running) การเต้นแอโรบิก (Aerobic Dance) รวมถึงการฝึกเคลื่อนไหวร่างกายในตารางเก้าช่อง (Nine Square Exercise)

เจริญ กระบวนรัตน์ (2552 : 21) ผู้คิดค้นรูปแบบการออกกำลังกายด้วยตารางเก้าช่อง กล่าวว่า ตารางเก้าช่อง คือ เครื่องมือที่คิดค้นขึ้นในเบื้องต้นเพื่อนำไปสู่การพัฒนาปฏิสัมพันธ์ในการเรียนรู้ และการรับรู้สั่งงานของสมอง ช่วยประสานความสัมพันธ์ระหว่างระบบประสาท และกล้ามเนื้อ เพื่อกระตุ้น และพัฒนาปฏิริยาความเร็วในการปฏิบัติทักษะการเคลื่อนไหว ความเร็วในการคิด และการตัดสินใจให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นให้เกิดการพัฒนาสมองทั้งซีกซ้ายและซีกขวาควบคู่กันไป ด้วยการพัฒนามาจากรูปแบบการเคลื่อนไหวที่เป็นพื้นฐานเบื้องต้นของมนุษย์ เริ่มจากรูปแบบและขั้นตอนการเคลื่อนไหวจากง่ายไปสู่การเคลื่อนไหวที่ยากขึ้น และพัฒนาการเคลื่อนไหวจากช้าไปสู่การเคลื่อนไหวที่รวดเร็วซับซ้อนหลากหลายรูปแบบและหลากหลายทิศทางมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้สมองได้รับการกระตุ้น ตลอดจนสามารถ

พัฒนาการรับรู้ เรียนรู้ และเชื่อมโยงข้อมูลที่ถูกจัดลำดับความสัมพันธ์ได้อย่างถูกต้องตามแบบแผนของรูปแบบการเคลื่อนไหวที่กำหนดไว้ เปรียบเสมือนเป็นการสร้างแผนที่หรือกำหนดรูปแบบขั้นตอนการทำงานให้สมอง (Brain Mapping) เพื่อนำไปสู่กระบวนการรับรู้เรียนรู้สั่งงาน พัฒนาปฏิสัมพันธ์ทางด้านความคิด รวมทั้งทักษะกลไกการเคลื่อนไหวของร่างกาย (Psychomotor Skill) อย่างเป็นระบบ

ดังนั้น การพยายามกระตุ้นให้ร่างกายได้มีโอกาสปฏิบัติกิจกรรม หรือเข้าร่วมการปฏิบัติกิจกรรมเคลื่อนไหวรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งหรือหลายรูปแบบอย่างเป็นระบบ ตามลำดับขั้นตอน จะช่วยนำไปสู่การปรับตัวและการพัฒนาสมองด้วยการเรียนรู้ทักษะกลไกการเคลื่อนไหว (Motor Skills Learning) ซึ่งจะมีผลต่อการเจริญเติบโต และพัฒนาการของสมอง โดยเฉพาะเด็กที่มีอายุอยู่ในระหว่าง 4 ถึง 10 ปี จะมีพัฒนาการและอัตราการเจริญเติบโตของสมองสูงสุด รวมทั้งมีพัฒนาการและความเปลี่ยนแปลงทางด้านทักษะ ความสัมพันธ์ในการเคลื่อนไหวอย่างมากในช่วงอายุ 8-13 ปี หากได้รับการฝึกหรือการเรียนรู้อย่างถูกต้องตามลำดับขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นยังพบว่า การฝึกตารางเก้าช่องยังมีประโยชน์ด้านอื่น ๆ อีก โดยจะกล่าวในลำดับต่อไป

ประโยชน์ของการฝึกตารางเก้าช่อง

การฝึกตารางเก้าช่องอย่างสม่ำเสมอจะช่วยให้ผู้ฝึกได้รับประโยชน์ ดังนี้

1. ช่วยพัฒนาการรับรู้เรียนรู้การสั่งงานของระบบประสาทและกล้ามเนื้อ
2. ช่วยพัฒนาทักษะการใช้มือและเท้าในการเคลื่อนไหวทรงตัว
3. ช่วยพัฒนาความแข็งแรงและความสัมพันธ์ในการเคลื่อนไหว
4. ช่วยพัฒนาระบบพลังงานและการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย

5. ช่วยปรับความสมดุลของฮอร์โมนในร่างกาย
6. ช่วยพัฒนาทักษะการคิดอย่างเป็นระบบ การคิดอย่างมีเหตุผล
7. ช่วยพัฒนารูปแบบการเรียนรู้ให้มีความหลากหลายได้คุณภาพ
8. ช่วยพัฒนาบุคลิกภาพ ความมั่นใจ ความภาคภูมิใจในตัวเอง
9. ช่วยพัฒนา และเสริมสร้างสมาธิในการรับรู้เรียนรู้ให้เกิดประสิทธิภาพ

จากการศึกษาแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง คณะผู้วิจัยจึงได้กำหนดกรอบแนวคิดการวิจัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ที่มีต่อความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย โดยตั้งสมมติฐานของการวิจัยไว้ว่า ผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ ทำให้ความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของกลุ่มที่ได้รับการฝึกดีกว่ากลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึก

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ที่มีต่อความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาหญิงมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาหญิงสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จำนวน 30 คน มีอายุระหว่าง 18-21 ปี กลุ่มตัวอย่างได้มาด้วยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) กลุ่มตัวอย่างทุกคนสมัครใจและเซ็นหนังสือแสดงความยินยอมเพื่อเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ ทำการวัดความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิต โดยการยืนยกเข่าขึ้นและลงเป็นเวลา 3 นาที (กรมพลศึกษา 2562 : 19) จากนั้นนำค่าที่ได้มาเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย เพื่อทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 15 คน ได้แก่ กลุ่มควบคุม

ไม่ได้รับการฝึก ส่วนกลุ่มทดลอง ทำการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ จำนวน 10 ท่า ได้แก่ (1) ท่าแยกชิด (2) ท่าเดินหน้า-ถอยหลัง (3) ท่าตัววีหงาย (4) ท่าตัววีคว่ำ (5) ท่าตัวอักษรวีหงาย-วีคว่ำ (6) ท่าซ้าวหลามตัด (7) ท่าตัวอักษรเอ็กซ์ (8) ท่าซซซซซ่า (9) ท่าก้าวไขว้ด้านหน้าแบบเล็ก และ (10) ท่าก้าวไขว้ด้านหน้าแบบใหญ่ (ท่าฝึกตารางเก้าช่อง จำนวน 10 ท่า ดัดแปลงมาจากศาสตราจารย์ ดร.เจริญ กระบวนรัตน์) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทุกวันจันทร์ พุธ และวันศุกร์ เวลา 17.00 - 18.00 น. คณะผู้วิจัยทำการวัดความอดทนระบบไหลเวียนโลหิต (Cardiovascular Endurance) โดยให้ยืนยกเข้าขึ้นลง 3 นาที วิธีปฏิบัติ ได้แก่ (1) ให้กลุ่มตัวอย่างยืนตรงแยกเท้ากว้างเท่าช่วงไหล่หรือช่วงสะโพก และมือทั้งสองข้างจับที่บริเวณเอว (2) ให้กลุ่มตัวอย่างแต่ละคนงอข้อสะโพกและข้อเข่ายกขาขึ้น โดยให้ต้นขาขนานกับพื้น (ข้อเข่างอทำมุมกับสะโพก 90 องศา) และ (3) เมื่อได้ยินสัญญาณ “เริ่ม” ให้กลุ่มตัวอย่างทำการยกเข้าขึ้นลงสลับด้านขวาและด้านซ้ายให้ครบทั้งสองข้าง จึงนับเป็น 1 ครั้ง ปฏิบัติต่อเนื่องกันให้ได้จำนวนครั้งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ไปจนครบ 3 นาที (ดังรูปที่ 1) คณะผู้วิจัยทำการนับและบันทึกจำนวนครั้งที่กลุ่มตัวอย่างทำได้ถูกต้องเท่านั้น



รูปที่ 1 วิธีการยืนยกเข้าขึ้นและลง 3 นาที

(กรมพลศึกษา. 2562 : 19)

สำหรับวิธีการวัดหาเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย (Body Fat Percentage) ใช้เครื่องมือวัดความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง (Lang skinfold Body Fat Caliper) โดยทำการวัดความหนาของไขมันใต้ผิวหนัง จำนวน 4 ตำแหน่ง ได้แก่ (1) บริเวณด้านหน้าแขนท่อนบน (Biceps) (2) บริเวณด้านหลังแขนท่อนบน (Triceps) (3) บริเวณสะบักหลัง (Subscapular) และ (4) บริเวณเหนือกระดูกสะโพก (Suprailiac) จากนั้นบันทึกค่าความหนาของไขมัน ทั้ง 4 ตำแหน่ง (มีหน่วยเป็นมิลลิเมตร) และนำมารวมกันแล้วหาค่าเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกายของกลุ่มตัวอย่าง โดยทำการวัดความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของกลุ่มตัวอย่างทุกคนก่อนการฝึก หลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 เพื่อเปรียบเทียบผลการฝึกระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง

4. ผลการวิจัย

การศึกษามผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ที่มีต่อความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาหญิงสาขาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ดังตารางที่ 1) และเมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายระหว่างกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 8 พบว่า ไม่แตกต่างกัน (ดังตารางที่ 2) จึงสรุปได้ว่า การฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์จำนวน 10 ท่า ช่วยให้มีความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตดีขึ้น แต่ทว่าไม่สามารถช่วยลดเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของกลุ่มตัวอย่างได้

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตระหว่างกลุ่ม ควบคุม และกลุ่มทดลองหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลัง การฝึกสัปดาห์ที่ 8

ระยะเวลา	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	t	p
สัปดาห์ที่ 4					
กลุ่มควบคุม (การฝึก)	15	129.07	21.80	-2.534	0.017 *
กลุ่มทดลอง (การฝึก)	15	149.27	21.86		
สัปดาห์ที่ 8					
กลุ่มควบคุม (การฝึก)	15	129.27	21.47	-6.068	0.000 *
กลุ่มทดลอง (การฝึก)	15	196.27	23.95		

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย ระหว่างกลุ่มควบคุมและ กลุ่มทดลองหลังการฝึกสัปดาห์ที่ 4 และหลังการฝึก สัปดาห์ที่ 8

ระยะเวลา	จำนวน	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบน	t	p
สัปดาห์ที่ 4					
กลุ่มควบคุม (การฝึก)	15	31.25	3.68	0.727	0.473
กลุ่มทดลอง (การฝึก)	15	30.15	4.56		
สัปดาห์ที่ 8					
กลุ่มควบคุม (การฝึก)	15	31.59	3.53	1.775	0.087
กลุ่มทดลอง (การฝึก)	15	28.33	5.68		

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลการฝึกตารางเก้าช่องแบบ ประยุกต์ที่มีต่อความอดทนระบบไหลเวียนโลหิตและ เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาหญิงสาขา วิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมนักคลีसान จำนวน 30 คน มีอายุระหว่าง 18-21 ปี แบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 15 คน ได้แก่ กลุ่มควบคุม ไม่ได้รับการฝึก ส่วนกลุ่มทดลอง ทำการฝึก ตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ จำนวน 10 ท่า (ท่าฝึกตาราง เก้าช่อง จำนวน 10 ท่า ดัดแปลงมาจากศาสตราจารย์ ดร.เจริญ กระบวนรัตน์) เป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทุกวันจันทร์ พุธ และวันศุกร์ เวลา 17.00 - 18.00 น. ผลการศึกษา

พบว่า การฝึกตารางเก้าช่องแบบประยุกต์ทำให้ความ อดทนของระบบไหลเวียนโลหิตของกลุ่มตัวอย่างดีขึ้น สอดคล้องกับ นภสร นีละไพจิตร (2560 : บทคัดย่อ) ได้ ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลการเดินแอโรบิกด้วยตาราง เก้าช่องที่มีต่อความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิตและ เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกาย ผลการศึกษาพบว่า การเดิน แอโรบิกด้วยตารางเก้าช่อง ทำให้ความอดทนของระบบ ไหลเวียนเลือด ของนักศึกษามหาวิทยาลัยศิลปากรดีขึ้น สอดคล้องกับ สุชารัตน์ วงศ์ษา (2559 : บทคัดย่อ) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบผลของโปรแกรมการเดิน แอโรบิกแบบตารางเก้าช่องและแบบสแต็ปแอโรบิกที่มีต่อ สมรรถภาพทางกลไกของนักศึกษาชั้นที่ 1 คณะ ศึกษาศาสตร์ สถาบันการพลศึกษาวิทยาเขตลำปาง พบว่า สมรรถภาพทางกลไกรวมทั้งความอดทนระบบไหลเวียน โลหิตของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่มดีขึ้น ส่วนเปอร์เซ็นต์ ไขมันในร่างกายของกลุ่มตัวอย่างในการวิจัยไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะรูปแบบหรือวิธีการฝึกตารางเก้าช่องแบบ ประยุกต์ จำนวน 10 ท่า มีรูปแบบการฝึกในแต่ละท่าดังนี้ เช่น ท่าแยกขิด กำหนดให้กลุ่มตัวอย่างทำให้ได้เร็วที่สุด หรือออกแรงเคลื่อนไหวด้วยความหนัก (Intensity) สูงสุด ในระยะเวลา 30 วินาทีต่อหนึ่งเซตและพัก 30 วินาที นั้น ไม่สอดคล้องกับจุดประสงค์ของการออกกำลังกายเพื่อลด เปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายที่ต้องออกกำลังกายด้วยความ หนักระดับต่ำถึงความหนักระดับปานกลาง สอดคล้องกับ ดร.ณรรณ สุขสม (2561: 153) กล่าวว่า การออกกำลังกายแบบ แอโรบิกเป็นเวลา 30-60 นาทีที่ความหนัก ระดับปานกลางอย่างสม่ำเสมอ สามารถช่วยลดน้ำหนักได้ สอดคล้องกับ สนธยา สีละมาต (2557: 319) กล่าวว่า การใช้พลังงานขณะออกกำลังกายขึ้นอยู่กับความหนัก และระยะเวลาของการออกกำลังกาย การออกกำลังกายที่ ความหนักต่ำ การใช้พลังงานส่วนใหญ่จะได้มาจากการเผา ผลาญไขมัน สำหรับการออกกำลังกายที่มีความหนักสูง พลังงานส่วนใหญ่จะได้รับมาจากการสลายไกลโคเจนใน กล้ามเนื้อ ดังนั้น การเพิ่มขึ้นของความหนักในการออก กกำลังกาย จึงเปลี่ยนจากการเผาผลาญสารอาหารจาก ไขมันเป็นคาร์โบไฮเดรตแทน จากการศึกษาวิจัยนี้ จึงทำให้ไม่ สามารถลดน้ำหนักได้ เพราะฉะนั้น หากต้องการออก

กำลังกายเพื่อลดน้ำหนักให้ได้ผลดี ควรกำหนดความหนัก โดยคำนวณหาชีพจรเป้าหมายของการออกกำลังกายที่ 60-70% ของอัตราการเต้นหัวใจสูงสุด (Maximum Heart Rate) และใช้ระยะเวลาในการออกกำลังกายแต่ละครั้ง ตั้งแต่ 45 นาทีขึ้นไป

6. กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ ได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและสำนึกในความกรุณาเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นอกจากนี้ คณะผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 ท่าน ได้แก่ (1) ดร.จิรเดช ออย่าเสียดิษฐ์ อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การออกกำลังกายและการกีฬา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุดรธานี (2) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดิศพล บุปผาชาติ อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี และ (3) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภาคภูมิ พิสิฐ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจสอบเครื่องมือในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณนักศึกษาหญิงสาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีทั้ง 30 คน ที่กรุณาสละเวลาอันมีค่าเข้าร่วมโครงการวิจัยครั้งนี้ ทำให้การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงลงด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

กรมพลศึกษา. (2562). **แบบทดสอบและเกณฑ์มาตรฐาน**

สมรรถภาพทางกายของนักเรียนระดับมัธยมศึกษา (อายุ 13 – 18). สำนักวิทยาศาสตร์การกีฬากรมพลศึกษา. กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา.

จตุรงค์ เหมรา. (2561). **หลักการและการปฏิบัติการทดสอบสมรรถภาพทางกาย**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เจริญ กระบวนรัตน์. (2552). **ตาราง 9 ช่องกับการพัฒนาสมอง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์บริษัทสินธนาถือปี่เซ็นเตอร์.

ดร.ณรรณ สุขสม. (2561). **การออกกำลังกายเพื่อสุขภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นภสร นีละไพจิตร. (2560). **ผลการเดินแอโรบิกด้วยตาราง 9 ช่อง ที่มีต่อความอดทนของระบบไหลเวียนเลือดและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษามหาวิทยาลัยศิลปากร**. มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.

สนธยา สีละมาต. (2557). **กิจกรรมทางกายเพื่อสุขภาพ**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สนธยา สีละมาต. (2560). **หลักการฝึกกีฬาสำหรับผู้ฝึกสอนกีฬา**. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สุชาร์ตน์ วงศ์ษา และคณะ. (2559). **ผลของโปรแกรมการเดินแอโรบิกแบบตาราง 9 ช่องและแบบสตีปแอโรบิกที่มีต่อสมรรถภาพทางกลไกและเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายของนักศึกษาชั้นปีที่ 1 คณะศึกษาศาสตร์สถาบันการพลศึกษาวิทยาเขตลำปาง**. วิทยานิพนธ์ศึกษาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาพลศึกษา คณะศึกษาศาสตร์. มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ.

Corbin, C., et al. (2013). **Concept of Physical Fitness**. 7th ed. New York: McGraw-Hill.

การศึกษาปริมาณก๊าซโอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในสถานการณ์การแพร่ระบาดของ ของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

Study the Concentration of Ozone and Nitrogen oxide during the Pandemic of Coronavirus disease 2019

วาสนา กระจายสี*¹ และ พรรณทิภา ตีตพิณ*²
Wassana Krajaysri*¹ and Phantipha Deedphin*²

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 398 หมู่ 9 ถ. สวรรค์วิถี ตำบลปากน้ำโพ อ.เมือง นครสวรรค์ 60000
Nakhon Sawan Rajabhat University 398 Moo 9 Sawan Withi Road, Paknampo Subdistrict, Mueang Nakhon Sawan District 60000
wassana311241@gmail.com, 092-5600139

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของก๊าซโอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ระหว่างเดือนมีนาคม - มิถุนายน 2563 ที่มีการใช้มาตรการต่าง ๆ ในการป้องกันการแพร่ระบาดของโรค เช่น ห้ามออกนอกเคหะสถาน มีการจัดให้ทำงานที่บ้าน ซึ่งเกี่ยวข้องกับกิจกรรมที่เป็นแหล่งกำเนิดของก๊าซโอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ โดยใช้ข้อมูลก๊าซโอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ จากเว็บไซต์กรมควบคุมมลพิษ จำนวนทั้งหมด 6 สถานี ได้แก่ สถานีปากน้ำ จังหวัดสมุทรปราการ สถานีหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี สถานีมาบตาพุด จังหวัดระยอง สถานีช้างเผือก จังหวัดเชียงใหม่ สถานีปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ และสถานีริมถนนดินแดง กรุงเทพมหานคร นำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลช่วงเดียวกันของปี 2562 ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณก๊าซโอโซนเฉลี่ยเท่ากับ 5.2 ± 0.004 พีพี และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เฉลี่ยเท่ากับ 0.76 ± 0.03 พีพี เนื่องจาก การขนย้ายผลิตภัณฑ์เพื่อการกระจายสินค้าจำหน่ายในช่วงโควิดทำให้การจราจรหนาแน่น ก่อให้เกิดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์และก๊าซโอโซนเพิ่มจากปี 2562

คำสำคัญ: โอโซน, ไนโตรเจนไดออกไซด์, โรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

Abstract

The objective of this research was to study the concentration of Ozone and Nitrogen dioxide in the air during the Coronavirus disease 2019 pandemic outbreak between March – June 2021 when people were asked to save themselves away to prevent the spread of disease, such as staying home as imposing curfews and asked for working from home cooperatively. As regards doing so, it would relate to the source of Ozone and Nitrogen dioxide gas. Therefore, this research data was gathered to compare back to the same year before from the website of the Pollution Control Department. Six stations of the Pollution Control Department were studied, Pak Nam Station Samut Prakan, Na Phra Lan Station Saraburi, Map Ta Phut Station Rayong, Chang Phueak Station Chiang Mai, Pak Nam Pho Station Nakhon Sawan, and the Din Daeng roadside station Bangkok. The data collected showed that the amount of Ozone in the air was increased equal to 5.02 ppb at the average, so does the amount of Nitrogen Dioxide at the average of 0.76 ppb due to the transportation of products distribution during the COVID outbreak, causing heavy traffic. It means there is considered the more amount of ozone and nitrogen dioxide concentration from 2019.

Keywords : Ozone, Nitrogen Dioxide, Coronavirus Disease 2019

1. บทนำ

ปัจจุบันมลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสำคัญปัญหาหนึ่งที่ทั่วโลกต่างให้ความสำคัญ เนื่องจากมลพิษทางอากาศส่งผลกระทบต่อทั้งทางตรงและทางอ้อมแก่มนุษย์ เช่น ส่งผลทางตรงต่อสุขภาพ ก่อให้เกิดโรคระบบทางเดินหายใจ โรคหัวใจ และโรคมะเร็งปอดส่งผลทางอ้อมต่อผลผลิตทางการเกษตรโดยทำให้การเจริญเติบโตของพืชผิดปกติ ทำให้ผลผลิตลดลง (ธีรพล คังคะเกตุ, 2560) โดยมลพิษทางอากาศที่ส่งผลทั้งทางตรงและทางอ้อมที่สำคัญ ได้แก่ ก๊าซโอโซน (O_3) และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ (NO_2) ซึ่งก๊าซ 2 ตัวนี้เกิดจากการเผาไหม้เชื้อเพลิง ทั้งในยานพาหนะ ก๊าซนี้สามารถทำปฏิกิริยากับก๊าซโอโซนในอากาศได้ง่ายและยังมีบทบาทสำคัญในการเกิดปฏิกิริยาในชั้นบรรยากาศเป็นผลทำให้เกิดหมอกควัน

ซึ่งในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนมิถุนายนได้มีการระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ดังนั้นจึงมีมาตรการการป้องกันวิกฤตการณ์ จากโรคติดเชื้อไวรัส โคโรนา 2019 ให้ประชาชนกักตัวเพื่อลดการแพร่เชื้อในช่วงที่เกิดสถานการณ์ทำให้กิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การเดินทางหรือภาคอุตสาหกรรมลดลง(สยามพร ศิรินาวิน, 2563) ผู้วิจัยเป็นนักศึกษาศาสาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์จึงมีความสนใจที่จะศึกษาค่าปริมาณของก๊าซโอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ในช่วงสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 เพื่อทราบถึง กิจกรรมต่างๆ ที่ทำนั้น สามารถทำให้ก๊าซโอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ลดลงได้จริงหรือไม่

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซโอโซน

โอโซนมีสองบทบาทที่ตรงข้ามกันโดยบทบาทที่ดีจะอยู่ในชั้นบรรยากาศสตราโตสเฟียร์ เป็นโอโซนที่มีประโยชน์มีหน้าที่ห่อหุ้มโลกและดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ซึ่งมีพลังงานสูงมาก และโอโซนที่เป็นก๊าซมลพิษจะอยู่ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ที่มนุษย์อาศัยอยู่ เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่าย โดยมีแสงแดดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา สารอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้มีแหล่งกำเนิดทั้งจากยานพาหนะโรงไฟฟ้า โรงงานอุตสาหกรรม คลังน้ำมัน สถานีบริการน้ำมัน และการขนส่งน้ำมันเชื้อเพลิง และยังมีส่วนหนึ่งระเหยจากพืช ป่าไม้ ไร่ นา ก๊าซโอโซนในธรรมชาตินั้นมีอยู่แล้วในปริมาณที่เหมาะสมแต่เมื่อมีปริมาณสูงขึ้น ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์เนื่องจากโอโซนมีฤทธิ์กัดกร่อน ก่อให้เกิดการระคายเคืองตาและระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจและเยื่อต่างๆ ความสามารถในการทำงานของปอดลดลง เหนื่อยเร็ว โดยเฉพาะในเด็ก คนชรา และคนที่เป็โรคปอดเรื้อรังอีกทั้งส่งผลกระทบต่อพืช สัตว์และสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันปริมาณโอโซนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และความเข้มข้นสูงสุดมักเกิดในช่วง ฤดูร้อน (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554)

2.2 ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์จัดเป็นสารมลพิษทุติย-ภูมิ (secondary pollutant) หมายถึง สารมลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นในบรรยากาศโดยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างสารมลพิษปฐมภูมิ หรือกับกลุ่มของสารที่ปรากฏอยู่ในบรรยากาศ ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เป็นก๊าซประเภทเดียวกับก๊าซที่มีปฏิกิริยาสูงที่เรียกว่า ออกไซด์ของไนโตรเจน ก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์เป็นสารมลพิษทางอากาศ และเป็นส่วนสำคัญต่อการเกิดโอโซน ในชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อเชื้อเพลิงถูกเผาไหม้มีอุณหภูมิสูง ยานพาหนะและโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานผลิตเครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีผลกระทบต่อระบบการมองเห็น และผู้ที่มีอาการหอบหืดหรือโรคเกี่ยวกับทางเดินหายใจ เมื่อก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์รวมตัวกับไอน้ำ จะเกิดเป็นกรดไนตริก ซึ่งมีฤทธิ์กัดกร่อนวัสดุต่าง ๆ เป็นสาเหตุของปัญหาฝนกรด นอกจากนี้ยังพบว่า ก๊าซชนิดนี้มีผลทำให้ผลผลิตทางการเกษตรบางชนิดลดลง (สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง, 2554)

2.3 การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019

เนื่องจากการกำหนดมาตรการจำนวนมากเพื่อป้องกันการแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ในงานวิจัยนี้จึง

สนใจเฉพาะมาตรการที่อาจส่งผลกระทบต่อปริมาณก๊าซไอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ในระหว่างเดือน มีนาคม - มิถุนายน ดังนี้

วันที่ 18 มีนาคม พ.ศ. 2563 สรุปผลการประชุมคณะกรรมการบริหารสถานการณ์การแพร่ระบาดของโรคติดเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 ครั้งที่ 1 และมาตรการเร่งด่วนในการป้องกันวิกฤตการณ์จากโรคติดเชื้อไวรัส โคโรนา 2019 ได้มีมาตรการดังนี้

- ปิดสถานที่เสี่ยงต่อการระบาดที่มีคนแออัดเปียดเสียดง่ายต่อการแพร่เชื้อ เช่น สนามมวย สนามกีฬา สถานบันเทิงและสถานบริการต่าง ๆ

- จัดการเรียนการสอนสถาบันการศึกษาและปรับเปลี่ยนเป็นการสอนออนไลน์เป็นระยะเวลา 14 วัน

- จัดกิจกรรมที่มีการเคลื่อนย้ายคนข้ามจังหวัดของหน่วยงานที่มีคนจำนวนมาก

- ส่งเสริมให้ใช้ระบบอินเตอร์เน็ตเช่น ประชุมทางไกลทำงานที่บ้านทดแทนภาวะปกติ

วันที่ 21 มีนาคม พ.ศ. 2563 พบการเพิ่มขึ้นของผู้ติดเชื้อในกรุงเทพมหานครอย่างรวดเร็ว กรมควบคุมโรค สำนักงานเลขาธิการของคณะกรรมการ โรคติดต่อแห่งชาติจึงขอความร่วมมือจากหน่วยงานดำเนินการดังนี้

- ลดความแออัดของผู้โดยสารโดยจัดที่นั่งให้เว้นระยะห่างเพื่อลดโอกาสการแพร่เชื้อ

วันที่ 22 มีนาคม - 12 เมษายน พ.ศ. 2563 ปิดสถานที่ในพื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นการชั่วคราว เช่น ร้านอาหาร สวนสนุก ตลาด สนามกอล์ฟ สถานศึกษา โรงมหรสพ

วันที่ 2 เมษายน พ.ศ. 2563 พบผู้ติดเชื้อเพิ่มสูงขึ้น วันที่ 3 เมษายน พ.ศ. 2563 นายกรัฐมนตรีออกกำหนดตามพระราชกำหนดฉุกเฉินเพื่อควบคุมสถานการณ์โดยประกาศ เคอร์ฟิว ทั่วประเทศ เพื่อควบคุมการระบาดและลดการสัญจรของประชาชน ประกาศข้อกำหนดห้ามบุคคลออกนอกเคหสถานตั้งแต่เวลา 22.00 - 04.00 น. ซึ่งนอกจากเวลาที่กำหนดสามารถทำกิจกรรมได้ปกติแต่ยังคงพึงระวังการติดเชื้ออย่างเคร่งครัด

วันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2563 มีประกาศเพิ่มเวลาเคอร์ฟิวถึงวันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2563

วันที่ 1 พฤษภาคม - 31 พฤษภาคม พ.ศ. 2563 มีประกาศคลายล็อคดาวน์ (ลดเวลากักตัว)เป็นเวลา 22.00 - 05.00 น. วันที่ 1 มิถุนายน - 14 มิถุนายน พ.ศ. 2563 มีประกาศคลายล็อคดาวน์ (ลดเวลากักตัว) เป็นเวลา 23.00 - 05.00 น. (พระราชบัญญัติโรคติดต่อ, 2558)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลก๊าซไอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

ข้อมูลก๊าซไอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ได้จากเว็บไซต์ของกรมควบคุมมลพิษ

<http://aqmthai.com/aqi.php> โดยกรมควบคุมมลพิษตรวจวัดก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์โดยใช้หลักการตรวจวัดแบบ Chemiluminescence และตรวจวัดก๊าซไอโซนโดยใช้หลักการตรวจวัดแบบ UV Absorption โดยเป็นข้อมูลระหว่างเดือน มีนาคม - เดือนมิถุนายน 2562 และ 2563

3.2 สถานีตรวจวัดมลพิษทางอากาศ 6 สถานี ได้แก่

- สถานีที่ 1 (ST1) สถานีปากน้ำ จังหวัดสมุทรปราการ มีฐานเศรษฐกิจส่วนใหญ่ อยู่ในภาคอุตสาหกรรมและภาคพาณิชย์กรรม โดยเฉพาะอุตสาหกรรมการผลิต ยานยนต์ ชิ้นส่วนยานยนต์ อุปกรณ์เครื่องจักร ผลิตภัณฑ์โลหะ เคมีภัณฑ์ พลาสติก เครื่องใช้ไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์

- สถานีที่ 2 (ST2) สถานีหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี เป็นสถานประกอบการโรงโม่ บดหรือย่อยหิน และเหมืองหิน ตั้งอยู่ค่อนข้างหนาแน่นมากที่สุดในประเทศไทย ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดฝุ่นละออง

- สถานีที่ 3 (ST3) สถานีมาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นที่ตั้งของนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ 5 แห่ง รวมถึงโรงแยกก๊าซธรรมชาติ โรงกลั่นน้ำมัน โรงผลิตปิโตรเคมี โรงไฟฟ้า โรงผลิตเหล็ก และเป็นแหล่งอุตสาหกรรมหนักที่มีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง

- สถานีที่ 4 (ST4) สถานีช้างเผือก จังหวัดเชียงใหม่ เป็นจังหวัดที่มีการคมนาคมอย่างหนาแน่น และเป็นเมืองใหญ่อันดับต้น ของประเทศไทย และยังมีภูเขาอีกเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดไฟป่าอยู่อย่างเป็นประจำ

- สถานีที่ 5 (ST5) สถานีปากน้ำโพ จังหวัด นครสวรรค์ เป็นจังหวัดที่เป็นเส้นทางการคมนาคม การเดินทาง ติดต่อกับจังหวัดต่างๆ ทำให้มียานพาหนะสัญจรไปมา ค่อนข้างมาก

- สถานีที่ 6 (ST6) สถานีดินแดง กรุงเทพมหานคร เป็นแหล่งการค้า การบริการ และแหล่งที่อยู่อาศัยหนาแน่นมาก

3.3 ช่วงเวลาที่ทำการศึกษา

แบ่งช่วงเวลาที่ทำการศึกษาออกเป็น 4 ช่วง ตาม มาตรการต่าง ๆ ในการป้องกันการแพร่ระบาดของโรคที่ แตกต่างกัน ระหว่างเดือนมีนาคม – มิถุนายน โดยแบ่งช่วงดังนี้ ช่วงที่ 1 ตั้งแต่ 18 มีนาคม – 2 เมษายนเป็นช่วงเริ่มใช้มาตรการ ปิดสถานที่ที่มีความเสี่ยงสูง เช่น สถานบันเทิง สถานศึกษา

ช่วงที่ 2 ตั้งแต่ 3 เมษายน – 30 เมษายนเป็นช่วงประกาศใช้ มาตรการล็อกดาวน์ (22.00 – 04.00 น.)

ช่วงที่ 3 ตั้งแต่ 1 พฤษภาคม – 31 พฤษภาคมเป็นช่วงคลาย มาตรการล็อกดาวน์ (22.00 – 05.00 น.)

ช่วงที่ 4 ตั้งแต่ 1 มิถุนายน – 14 มิถุนายน เป็นช่วงคลาย มาตรการล็อกดาวน์ (23.00 – 05.00 น.)

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้

นำข้อมูลก๊าซไอโซน และก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ที่ ได้มาแบ่งตามช่วงเวลา เพื่อหาค่าเฉลี่ยของก๊าซที่เกิดขึ้น แล้วนำ ข้อมูลมาเปรียบเทียบโดยใช้สถิติทดสอบ T – test

4. ผลการทดลอง

4.1 เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซไอโซนระหว่าง ปี 2562 และ 2563 ซึ่งมีสถานการณ์ระบาดของโรคติดเชื้อโคโรนา 2019 พบว่า

- ช่วงที่ 1 สถานี ST1 ลดลง 2.07 พีพีบี ST 2 เพิ่มขึ้น 6.21พีพีบี ST 3 เพิ่มขึ้น 16.66 พีพีบี ST 4 ลดลง 5.6 พีพีบี ST 5 ลดลง 9.9 พีพีบี และ ST 6 เพิ่มขึ้น 16.4 พีพีบี

- ช่วงที่ 2 สถานี ST 1 เพิ่มขึ้น 10.52 พีพีบี ST 2 เพิ่มขึ้น 4.71 พีพีบี ST 3 เพิ่มขึ้น 22.71 พีพีบี ST 4 เพิ่มขึ้น 0.97 พีพีบี ST 5 ลดลง 9.72 พีพีบี และ ST 6 เพิ่มขึ้น 15.67 พีพีบี

- ช่วงที่ 3 สถานี ST 1 เพิ่มขึ้น 3.45 พีพีบี ST 2 เพิ่มขึ้น 9.01 พีพีบี ST 3 เพิ่มขึ้น 10.44 พีพีบี ST 4 ลดลง 4.56 พีพีบี ST 5 ลดลง 4.28 พีพีบี และ ST 6 เพิ่มขึ้น 14.29 พีพีบี

- ช่วงที่ 4 สถานี สถานี ST 1 เพิ่มขึ้น 16.09 พีพีบี ST 2 เพิ่มขึ้น 6.05 พีพีบี ST 3 เพิ่มขึ้น 15.86 พีพีบี ST 4 ลดลง 1.55 พีพีบี ST 5 ลดลง 4.09 พีพีบี ST 6 ลดลง 2.7 พีพีบี

4.2. . เมื่อเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ระหว่างปี 2562 และ 2563 ซึ่งมีสถานการณ์ระบาดของโรคติดเชื้อโคโรนา 2019 พบว่า

- ช่วงที่ 1 สถานี ST 1 ลดลง 3.89 พีพีบี ST 2 ลดลง 6.07 พีพีบี ST 3 เพิ่มขึ้น 4.27พีพีบี ST 4 ลดลง 0.51 พีพีบี ST 5 ลดลง 5.85 พีพีบี และ ST 6 เพิ่มขึ้น 0.87 พีพีบี

- ช่วงที่ 2 สถานี ST 1 เพิ่มขึ้น 3.55 พีพีบี ST 2 เพิ่มขึ้น 0.98 พีพีบี ST 3 เพิ่มขึ้น 6.03 พีพีบี ST 4 ลดลง 2.05 พีพีบี ST 5 ลดลง 2.32 พีพีบี และ ST 6 เพิ่มขึ้น 14.15 พีพีบี

- ช่วงที่ 3 สถานี ST 1 ลดลง 2.22 พีพีบี ST 2 ลดลง 1.08 พีพีบี ST 3 เพิ่มขึ้น 0.49 พีพีบี ST 4 ลดลง 3.3 พีพีบี ST 5 ลดลง 0.82 พีพีบี และ ST 6 เพิ่มขึ้น 12.44 พีพีบี

- ช่วงที่ 4 สถานี ST 1 ลดลง 1.23 พีพีบี ST 2 ลดลง 4.25 พีพีบี ST 3 ลดลง 2.43 พีพีบี ST 4 ลดลง 0.28 พีพีบี ST 5 หาดต่างค่าเฉลี่ยไม่ได้ ST 6 เพิ่มขึ้น 11.07 พีพีบี

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาปริมาณก๊าซไอโซนและก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ปี 2562 และ 2563

5.1 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซไอโซน

สถานี ST1 สถานีปากน้ำ จังหวัดสมุทรปราการ เป็นแหล่งอุตสาหกรรม ช่วงที่ 1 มีการลดปริมาณของก๊าซไอโซน เมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากเป็นช่วงแรกของโรคติดเชื้อโคโรนา 2019 ทำให้ปริมาณก๊าซลดลงเท่ากับ 2.07 พีพีบี และในช่วงที่ 2 3 และ 4 มีการเพิ่มปริมาณของก๊าซไอโซน เมื่อเทียบกับปี 2562 ทำ

ให้ปริมาณก๊าซเพิ่มเท่ากับ 10.5 พีพีบี 3.45 พีพีบี และ 16.09 พีพีบี ตามลำดับ

สถานี ST2 สถานีหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี เป็นสถานประกอบการโรงไหมหิน เหมืองแร่ โดยช่วงที่ 1 2 3 และ 4 มีปริมาณของก๊าซไอโซนเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากสถานประกอบการโรงไหมหิน และเหมืองแร่ ไม่มีการหยุดสถานประกอบการในช่วงสถานการณ์ ทำให้ปริมาณก๊าซเพิ่มเท่ากับ 6.21 พีพีบี 4.71 พีพีบี 9.01 พีพีบี และ 6.05 พีพีบีตามลำดับ

สถานี ST3 สถานีมาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ 1 ใน 5 ของประเทศไทย โดยช่วงที่ 1 2 3 และ 4 มีปริมาณของก๊าซไอโซนเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากเป็นนิคมอุตสาหกรรม ทำให้ปริมาณก๊าซเพิ่มเท่ากับ 16.66 พีพีบี 22.71 พีพีบี 10.44 พีพีบี และ 15.86 พีพีบีตามลำดับ

สถานี ST4 สถานีเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ มีการเกิดไฟฟ้าอยู่เป็นจำนวนมาก และการเผาพื้นที่การเกษตรตามฤดูกาล ประกอบกับสภาพภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศ จึงทำให้เกิดการสะสมของมลพิษ โดยช่วงที่ 3 มีปริมาณของก๊าซไอโซนเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อน ทำให้เกิดไฟฟ้าอยู่บ่อยครั้ง ทำให้ปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.97 พีพีบี ตามลำดับ

สถานี ST5 สถานีปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ เป็นเส้นทางคมนาคม ซึ่งในช่วงเวลาที่เกิดสถานการณ์โรคติดเชื้อโควิด 2019 ทำให้การจราจรลดลง โดยช่วงที่ 1 2 3 และ 4 มีปริมาณของก๊าซไอโซนลดลง เมื่อเทียบกับปี 2562 ทำให้ปริมาณก๊าซลดลงเท่ากับ 9.9 พีพีบี 9.72 พีพีบี 4.28 พีพีบี และ 4.09 พีพีบี ตามลำดับ

สถานี ST6 สถานีดินแดง กรุงเทพมหานคร เป็นเส้นทางจราจรที่หนาแน่น การขนส่ง และเป็นแหล่งเศรษฐกิจ โดยช่วงที่ 1 2 3 มีปริมาณของก๊าซไอโซนเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากประชาชนไม่สามารถที่จะใช้บริการของรถสาธารณะได้ จึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นเท่ากับ 16.4 พีพีบี 15.67 พีพีบี 14.29 พีพีบี ตามลำดับ และในช่วงที่ 4 มีการลดลงของปริมาณก๊าซเท่ากับ 2.7 พีพีบี

5.2 ผลการศึกษาปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์

สถานี ST1 สถานีปากน้ำ จังหวัดสมุทรปราการ เป็นแหล่งอุตสาหกรรม ช่วงที่ 1 3 และ 4 มีการลดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากเป็นช่วงแรกของโรคติดเชื้อโควิด 2019 ทำให้ปริมาณก๊าซลดลงเท่ากับ 3.89 พีพีบี 2.22 พีพีบี และ 1.23 พีพีบี ตามลำดับและในช่วงที่ 2 มีการเพิ่มปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อเทียบกับปี 2562 ทำให้ปริมาณก๊าซเพิ่มเท่ากับ 3.55 พีพีบี

สถานี ST2 สถานีหน้าพระลาน จังหวัดสระบุรี เป็นสถานประกอบการโรงไหมหิน เหมืองแร่ ช่วงที่ 1 3 และ 4 มีการลดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อเทียบกับปี 2562 เท่ากับ 6.07 พีพีบี 1.08 พีพีบีและ 4.25 พีพีบี ตามลำดับและในช่วงที่ 2 มีการเพิ่มปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อเทียบกับปี 2562 เท่ากับ 0.98 พีพีบี

สถานี ST3 สถานีมาบตาพุด จังหวัดระยอง เป็นนิคมอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ 1 ใน 5 ของประเทศไทย โดยช่วงที่ 1 2 และ 3 มีปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากเป็นนิคมอุตสาหกรรม ทำให้ปริมาณก๊าซเพิ่มเท่ากับ 4.27 พีพีบี 6.03 พีพีบี และ 0.49 พีพีบี ตามลำดับและในช่วงที่ 4 มีการลดปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เมื่อเทียบกับปี 2562 เท่ากับ 2.43 พีพีบี

สถานี ST4 สถานีเชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ มีการเกิดไฟฟ้าอยู่เป็นจำนวนมาก และการเผาพื้นที่การเกษตรตามฤดูกาล ประกอบกับสภาพภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศ จึงทำให้เกิดการสะสมของมลพิษ และยังเป็นเมืองใหญ่ที่มีการจราจรหนาแน่น แต่ในช่วงสถานการณ์โรคติดเชื้อโควิด 2019 ไม่มีการใช้รถใช้ถนน จึงทำให้ปริมาณก๊าซลดลงในช่วงที่ 1 2 3 และ 4 มี เมื่อเทียบกับปี 2562 เท่ากับ 0.51 พีพีบี 2.05 พีพีบี 3.3 พีพีบี และ 0.28 พีพีบี

สถานี ST5 สถานีปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์ เป็นเส้นทางคมนาคม ซึ่งในช่วงเวลาที่เกิดสถานการณ์โรคติดเชื้อโควิด 2019 ทำให้การจราจรลดลง โดยช่วงที่ 1 2 และ 3 มีปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ลดลง เมื่อเทียบกับปี 2562 ทำให้ปริมาณก๊าซลดลงเท่ากับ 5.58 พีพีบี 2.32 พีพีบี 0.82 พีพีบี

และ 4.09 พีพีบี ตามลำดับ ในช่วงที่ 4 ในเว็บไซต์กรมควบคุมมลพิษไม่มีการรายงานค่า ไม่มีผลต่างค่าเฉลี่ย

สถานี ST6 สถานีดินแดง กรุงเทพมหานคร เป็นเส้นทางจราจรที่หนาแน่น การขนส่ง และเป็นแหล่งเศรษฐกิจ โดยช่วงที่ 1 2 3 และ 4 มีปริมาณของก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปี 2562 เนื่องจากการระบาดของโรคติดเชื้อโคโรนา 2019 ทำให้มีการใช้รถส่วนตัวมากกว่า จึงเป็นสาเหตุทำให้ปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.87 พีพีบี 14.15 พีพีบี 12.44 พีพีบี และ 11.07 พีพีบี ตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์อนุวัฒน์ แสงอ่อน และอาจารย์ทุกท่านประจำสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมที่ให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะพร้อมทั้งช่วยตรวจสอบปรับปรุงและแก้ไขรายงานการวิจัยเล่มนี้อย่างดีมาโดยตลอดจนกระทั่งทำให้การวิจัยครั้งนี้สำเร็จและสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ทางคณะผู้จัดทำยังได้รับความช่วยเหลือจากเพื่อนสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ที่ให้การสนับสนุนและให้คำปรึกษาในเรื่องต่างๆกับวิจัยครั้งนี้คณะผู้จัดทำขอขอบคุณในความอนุเคราะห์และความร่วมมือที่ดี

7. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. (2563). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย พ.ศ. 2550. [ออนไลน์], เข้าถึงได้จาก <http://www.pcd.go.th/count.> (สืบค้นวันที่:10 มิถุนายน 2563).

กรมควบคุมมลพิษ. (2555). สถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางอากาศและเสียง. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง

กรมควบคุมมลพิษ. (2554). รั้วรอบทิศ มลพิษทางอากาศ. สำนักจัดการคุณภาพอากาศและเสียง.

ธีรพล คังคะเกตุ. (2560). โอโซนมีคุณแต่ก็ให้โทษ. วารสารสิ่งแวดล้อม Environmental Journal. กรุงเทพมหานคร. สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม.

พัฒนา มูลพฤกษ์. (2545). การป้องกันและควบคุมมลพิษ. กรุงเทพมหานคร : ชิงมาดีไซน์กราฟฟิค จำกัด

วินัย มีแสง. (2558). เอกสารประกอบการสอนวิชามลพิษทางอากาศ. กรุงเทพมหานคร. คณะวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรธานี.

สมพร ศิรินาวิน. (2563). โควิด-19 ความรู้สู่ปัญญาพัฒนาการปฏิบัติ. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://www.tmwa.or.th/download/covid19book.pdf> (สืบค้นวันที่:28 มีนาคม 2564).

สำนักวิชาการ สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. (2558)มลพิษทางอากาศ การบริหารจัดการ สิ่งแวดล้อมของไทย.เอกสารวิชาการอิเล็กทรอนิกส์.[ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://www.parliament.go.th/library>(สืบค้นวันที่: 20 มิถุนายน 2563).

อมร ลีลารัศมี. (2563). เรื่องน่ารู้เกี่ยวกับ COVID-19 จากโรคติดเชื้อไวรัส SARS-CoV-2. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <https://tarf.mi.th/images/PDF/Covid-19-MD-AmomUpdate.pdf> (สืบค้นวันที่:15 มิถุนายน 2563).

แหล่งกำเนิดไนโตรเจนไดออกไซด์ในประเทศไทยจากข้อมูลดาวเทียม. (2562). องค์การการสาธารณสุขประยชน์ นานาชาติ.

ตารางที่ 1 ผลต่างค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซไอโซนปี 2562 กับ 2563

สถานี	ผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซไอโซนปี 2562 กับ 2563			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4
ST 1	-2.07	+10.52	+3.45	+16.09
ST 2	+6.21	+4.71	+9.01	+6.05
ST 3	+16.66	+22.71	+10.44	+15.86
ST 4	-5.6	+0.97	-4.56	-1.55
ST 5	-9.9	-9.72	-4.28	-4.09
ST 6	+16.4	+15.67	+14.29	-2.7
รวม	2.92 ±15.78	7.47 ±16.35	4.73 ±14.26	4.94 ±11.54

หมายเหตุ+ หมายถึง มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปี 2562

- หมายถึง มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับปี 2563



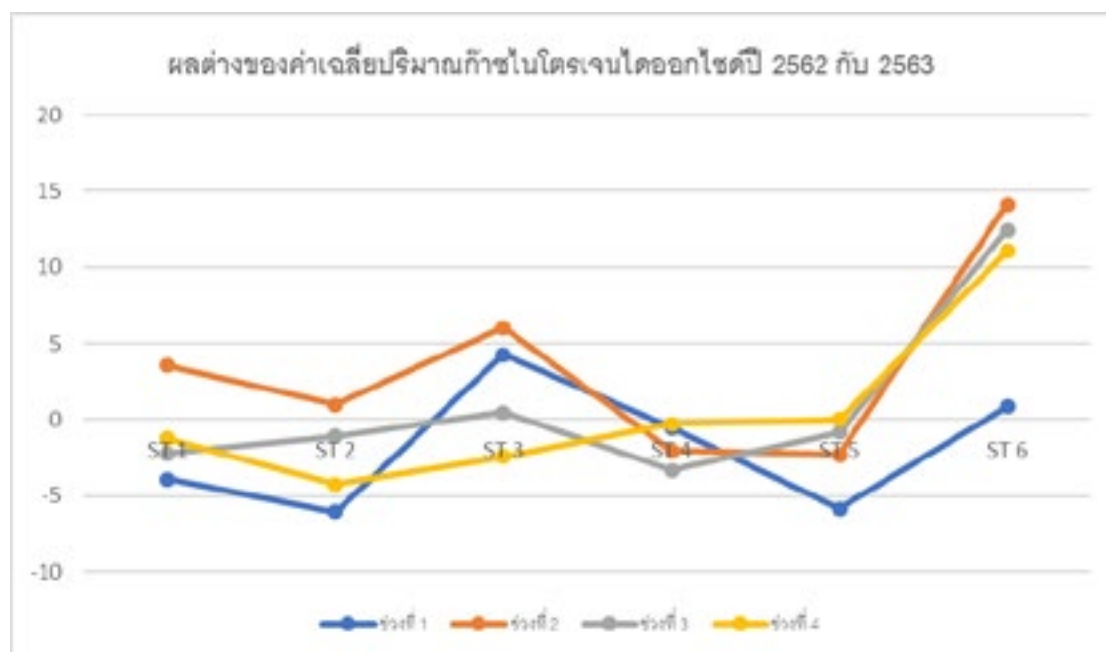
ตารางที่ 2 ผลต่างค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ปี 2562 กับ 2563

สถานี	ผลต่างของค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ปี 2562 กับ 2563			
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3	ช่วงที่ 4
ST 1	-3.89	+3.55	-2.22	-1.23
ST 2	-6.07	+0.98	-1.08	-4.25
ST 3	+4.27	+6.03	+0.49	-2.43
ST 4	-0.51	-2.05	-3.3	-0.28
ST 5	-5.85	-2.32	-0.82	-*
ST 6	+0.87	+14.15	+12.44	+11.07
รวม	-1.86 ±7.6	3.39 ±8.3	0.92 ±7.3	0.58 ±6.0

หมายเหตุ+ หมายถึง มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับปี 2562

- หมายถึง มีค่าลดลง เมื่อเทียบกับปี 2563

* ปริมาณก๊าซไนโตรเจนไดออกไซด์ ในช่วงที่ 4 ของ สถานี ST5 (สถานีปากน้ำโพ จังหวัดนครสวรรค์) ในเว็บไซต์กรมควบคุมมลพิษไม่มีการรายงานค่า ไม่มีผลต่างค่าเฉลี่ย



การศึกษาสมบัติเบื้องต้นของถ่านไบโอชาร์ที่ผลิตด้วยวิธีแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น Study of basic properties on biochar from gasification type Updraft

สุริยงค์ ประชาเขียว^{1*}, กนกพงษ์ ศรีเที่ยง, สรายุทธ บุญช่วย และ ณฐมน ททรัพย์บุญโต²

Suriyong Prachakiew^{1*}, Kanokpong Srithiang, Sarayut boonchuay
and Nathamon Supbunto²

^{1*}คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

²คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย

99 หมู่ที่ 10 ต.ทรายขาว อ.พาน จ.เชียงราย 57120

¹Faculty of Sciences and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai

²Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai

99 M.10 Sai Khao, Pan, Chiang Rai, Thailand, 57120

*E-mail: langmu@mutl.ac.th, 062-8898878

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านชีวภาพด้วยไพโรไลซิส ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลขึ้น เพื่อเพิ่มกระบวนการคาร์บอนในดิน ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะและองค์ประกอบทางเคมี ให้ได้ซึ่งถ่านไบโอชาร์มีคุณสมบัติเหมาะสมในการกักเก็บคาร์บอนลงในดินและการนำมาประยุกต์ใช้ปรับปรุงดินในทางการเกษตร โดยทำการทดสอบชีวมวลจากฟางข้าวและ ชังต้นข้าวโพด พบว่าร้อยละการเกิดเป็นถ่านจากแบบเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น ได้จำนวนถ่านไบโอชาร์ ร้อยละ 30 และ 60 ตามลำดับ โดยหนัก ซึ่งไม่มีความแตกต่างจากการผลิตถ่านไบโอชาร์โดยทั่วไป การวิเคราะห์ทางด้านเคมีพบว่า สารประกอบในถ่านไบโอชาร์ได้คือ คาร์บอน (Carbon) ออกซิเจน (Oxygen) แร่ควอตซ์ (Quartz : SiO₂) แร่ซิลิไท์ (KCl) เป็นส่วนหลัก ซึ่งฟางข้าวมีคาร์บอนสะสมร้อยละ 80.37 และชังต้นข้าวโพดร้อยละ 60.17 ถ่านไบโอชาร์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง pH ของฟางข้าวและชังต้นข้าวโพด โดยมีค่าเฉลี่ย 8.25 และ 8.19 การทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่าถ่านไบโอชาร์มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอยู่ที่ร้อยละ 80-90 ดังนั้นถ่านไบโอชาร์จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นส่วนผสมกับดินในการเตรียมปลูกพืช เนื่องจากสามารถเก็บกักคาร์บอนได้และยังสามารถดูดซับน้ำได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: ถ่านชีวภาพ, กระบวนการไพโรไลซิสแบบช้า, แก๊สซิฟิเคชัน

Abstract

This research is to study the feasibility of machine development to produce biochar with pyrolysis Up-flow gasification. Increasing soil carbonization processes that affect the change in nature and chemical composition to biochar is suitable for storing carbon in the soil and Improving the soil in agriculture. By testing biomass from rice straw and corn plants, Results in the Percentage of charcoal from up-flowing gas stove type get 25 and 30 percent of biochar by weight, which is no different From a conventional machine. Which is no different from the production of biochar leaves; Chemical analysis showed that the compounds in biochar are carbon, oxygen, quartz, SiO₂, and Sil white (KCl). Which rice straw contains 80.37% of accumulated carbon and corn plants 60.17%. Biochar has the pH

value of rice straw and corn plants with an average of 8.25 and 8.19 Water absorption at 80-90 percent. Biochar is suitable as a soil ingredient for plant preparation because it can store carbon and absorb water very well.

Keywords: Biochar, Slow Pyrolysis Process, Gasification processes

1. บทนำ

ถ่านไบโอชาร์ หรือ ไบโอชาร์ (Biochar) คือ วัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากการให้ความร้อนมวลชีวภาพ (biomass) โดยไม่ใช้ออกซิเจน หรือใช้น้อยมาก เรียกกระบวนการนี้ว่าการแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) ซึ่งมีสองวิธีหลักๆ คือการแยกสลายอย่างรวดเร็วและอย่างช้า การผลิตไบโอชาร์ด้วยวิธีการแยกสลายอย่างช้าที่อุณหภูมิเฉลี่ย 500 องศาเซลเซียส จะได้ผลผลิตของไบโอชาร์มากกว่า 50% แต่จะใช้เวลาเป็นชั่วโมง ซึ่งต่างจากวิธีการแยกสลายอย่างรวดเร็วที่อุณหภูมิเฉลี่ย 700 องศาเซลเซียส ซึ่งใช้เวลาเป็นวินาที ผลผลิตที่ได้จะเป็นน้ำมันชีวภาพ (bio-oil) 60% แก๊สสังเคราะห์ (syngas) ได้แก่ H_2 , CO และ CH_4 รวมกัน 20% และ ไบโอชาร์ 20% [1-2]

ชีวมวล (Biomass) คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ สารอินทรีย์เหล่านี้ได้มาจากพืชและสัตว์ต่าง ๆ เช่น เศษไม้ ขยะ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร การใช้งานชีวมวลเพื่อทำให้ได้พลังงานอาจจะทำโดยนำมาเผาไหม้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ได้ไปใช้ในกระบวนการผลิตไฟฟ้าทดแทนพลังงานจากฟอสซิล (เช่น น้ำมัน) ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัดและอาจหมดลงได้ ชีวมวลเหล่านี้มีแหล่งที่มาต่าง ๆ กัน อาทิ พืชผลทางการเกษตร (agricultural crops) เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (agricultural residues) ไม้และเศษไม้ (wood and wood residues) หรือของเหลือจากอุตสาหกรรมและชุมชน ดังนั้น ถ่านไบโอชาร์มีประโยชน์ในการดูดซับคาร์บอนและการดูดซับน้ำ จึงเหมาะสำหรับนำมาปรับปรุงพืชที่ต้องการคาร์บอนและการดูดซับน้ำได้ดี เนื่องจากถ่านคาร์บอนมีความพรุนสูง [3]

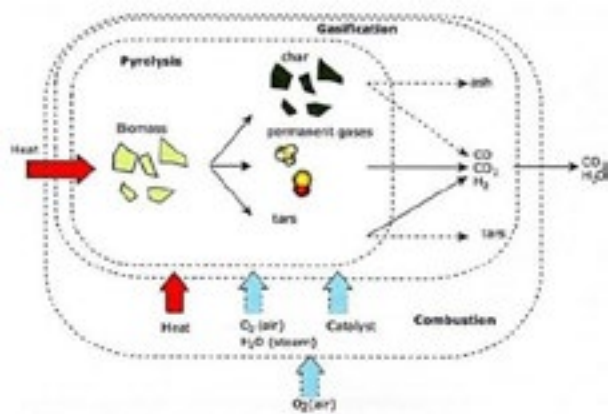
ดังนั้นผู้วิจัยทำการศึกษากการผลิตถ่านไบโอชาร์ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้เทคนิคแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อเพิ่มกระบวนการคาร์บอนในดิน ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะ

และองค์ประกอบทางเคมีของถ่านไบโอชาร์ ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จาก ชังต้นข้าวโพด ฟางข้าว ให้ได้ซึ่งถ่านไบโอชาร์มีคุณสมบัติเหมาะสมในการกักเก็บคาร์บอนลงดิน และการนำมาประยุกต์ใช้ปรับปรุงดินในทางการเกษตร โดยทางผู้วิจัยจะออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตถ่านไบโอชาร์อย่างง่ายด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน และทดสอบสมบัติเบื้องต้นของถ่านไบโอชาร์ สำหรับการใช้งานในการเกษตร

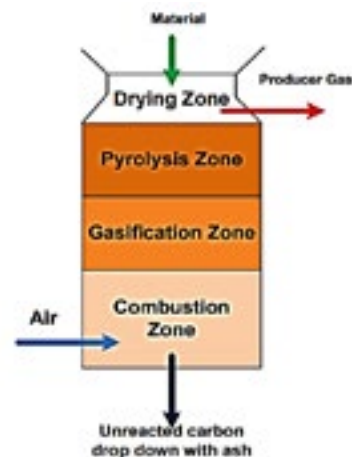
2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

แก๊สซิฟิเคชัน เป็นเทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปก๊าซเชื้อเพลิง (fuel gases) โดยอาศัยกระบวนการทางเคมี ความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในสภาวะจำกัดปริมาณอากาศ เมื่อให้ความร้อนแก่ชีวมวลร่วมกับเทคนิคการจำกัด ปริมาณอากาศ (air) หรือออกซิเจน (oxygen, O_2) หรือไอน้ำ (steam) เพื่อให้เกิดสภาวะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วน ที่ต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการเผาไหม้เชื้อเพลิงอย่างสมบูรณ์ ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน (hydrocarbon) ในรูปของแข็งและก๊าซซึ่งประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (carbon monoxide, CO) ก๊าซไฮโดรเจน (hydrogen, H_2) ก๊าซมีเทน (methane, CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (carbon dioxide, CO_2) ก๊าซไนโตรเจน (nitrogen, N_2) และก๊าซอื่นๆ เรียกว่าโปรดิวเซอร์ก๊าซ (producer gas) กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวลเป็นกระบวนการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ดังนั้น ปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะมีความซับซ้อนและสามารถเกิดผลิตภัณฑ์หรือก๊าซหลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของชีวมวลและเทคนิคในการจำกัดปัจจัยต่างๆผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้ไม่ได้มีเพียงแต่ก๊าซเชื้อเพลิงเท่านั้น ยังมีของแข็งและสิ่งเจือปนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมดได้แก่ ถ่านชาร์ (char) เถ้า (ash) น้ำมัน

ดิน (tar) และไอน้ำ (รูปที่ 1) เป็นต้น โดยแบ่งเตาเผาแก๊ส ดังนี้ [4]



รูปที่ 1 กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจากชีวมวล [5]



รูปที่ 2 เตาแก๊สซิฟิเคชันชนิดไหลขึ้น (Updraft Gasifier) [4]

เตาแก๊สซิฟิเคชันชนิดไหลขึ้น (Updraft Gasifier) เป็นเตาผลิตก๊าซชีวมวลที่ใช้ตั้งแต่เริ่มแรก และเป็นแบบที่ง่ายที่สุด มีลักษณะดังรูปที่ 2 เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของเตา อากาศจะถูกดูดผ่านตะแกรง เข้ามา ทางด้านล่าง บริเวณเหนือตะแกรงขึ้นไปจะมีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงเกิดขึ้น บริเวณนี้เรียกว่าโซน การเผาไหม้เมื่ออากาศผ่านเข้าไปในโซน การเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ก๊าซที่ผ่านออกจากโซนการเผาไหม้ จะมีอุณหภูมิสูงและเมื่อเข้าไปในโซนรีดักชัน ก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำทำปฏิกิริยากับ ก๊าซคาร์บอนที่มีอยู่อย่างเหลือเฟือ ในบริเวณนี้ได้ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์และไฮโดรเจน หลังจากนั้นก๊าซที่ได้จะไหล เข้าสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในชั้น ชีวมวล และกลั่นสลายในช่วงอุณหภูมิ 200-500°C ต่อจากนั้นก๊าซที่ยังคงมีอุณหภูมิสูง จะไหลเข้า สู่อุปกรณ์ขึ้น และระเหยน้ำที่อยู่ในชีวมวลเหล่านี้จึงทำให้ก๊าซที่ออกจากเตามีอุณหภูมิต่ำลง

ข้อดีของเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้นนี้ คือ ส่วนประกอบไม่ซับซ้อนเชื้อเพลิงเผาไหม้ได้มากและก๊าซที่ออกมาจากเตาผลิตก๊าซจะมีอุณหภูมิไม่สูง

ข้อเสียที่สำคัญของเตาผลิตก๊าซชีวมวลแบบอากาศไหลขึ้น คือก๊าซที่ผลิตได้จะมีคุณภาพต่ำ เนื่องจากมีน้ำมันดินและเขม่า ปะปนอยู่เป็นจำนวนมาก

ความหนาแน่น (Density) [6] คืออัตราส่วนของมวลต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งเป็นสมบัติพื้นฐานทางกายภาพของสสาร โดยวัตถุที่มีมวลในหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่กำหนดมากเท่าไร ยิ่งแสดงให้เห็นว่าวัตถุดังกล่าวมีความหนาแน่นมากเท่านั้น นอกจากนี้ ความหนาแน่นยังแปรผันตามมวลอะตอม (Atomic Mass) ของธาตุหรือมวลโมเลกุลของสารประกอบ การทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) สูตรคำนวณความหนาแน่น

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

โดยที่ ρ คือความหนาแน่นของถ่าน kg/m^3

m คือมวลของถ่าน kg

V คือปริมาตร m^3

การทดสอบการดูดซึมน้ำจากการทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ หรือเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของวัสดุ โดยในการทดสอบจะต้องนำชิ้นทดสอบไปอบด้วยอุณหภูมิ $50 \pm 2^\circ\text{C}$ เป็นเวลาที่ 24 ชั่วโมง จากนั้นนำชิ้นทดสอบออกมาทิ้งให้เย็นตัวโดยใช้สารดูดความชื้น เมื่อชิ้นทดสอบเย็นตัวนำไปชั่งน้ำหนักก่อนแช่น้ำ และแช่ชิ้นทดสอบในน้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำชิ้นทดสอบขึ้นมาเช็ดให้แห้ง แล้วชั่งน้ำหนักหลังแช่น้ำกลับ คำนวณเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหรือเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำได้จากสมการสูตรการดูดซึมของถ่าน

$$\% \text{ การดูดซึมน้ำของถ่าน} = \frac{W' - W_s}{W_s} \times 100 \quad (2)$$

โดยที่ W' คือน้ำหนักของถ่านหลังจากแช่น้ำ (g)
 W_s คือน้ำหนักของถ่านที่อบแห้ง (g)

ความหนาแน่นของสารขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความดัน โดยทั่วไปการเปลี่ยนแปลงปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อสารที่เป็นสถานะของแข็งและของเหลวเพียงเล็กน้อย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กฤษณา และ กฤษณา (2558) [7] ทำการศึกษาผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียล (Factorial in CRD) ประกอบด้วย 2 ปัจจัย ปัจจัยที่หนึ่ง คือ พันธุ์ข้าว ได้แก่ พันธุ์ปทุมธานี 1 และ กข. 49 และปัจจัยที่สอง คือ ปริมาณของถ่านชีวภาพ มี 3 ระดับ ได้แก่ 0 3 และ 4 กก./บ่อ จากการทดลอง พบว่าถ่านชีวภาพไม่มีผลต่อความสูงของต้นข้าวทั้งสองสายพันธุ์ เมื่ออายุ 30 และ 60 วันหลังปลูก แต่ปริมาณถ่านชีวภาพมีผลต่อจำนวนต้นตอกอ เมื่อต้นข้าวมีอายุ 60 วันหลังปลูก โดยข้าวพันธุ์ปทุมธานี 1 มีจำนวนต้นตอกอมากที่สุดและต้นข้าวที่ได้รับถ่านชีวภาพปริมาณ 4 กก./บ่อ มีจำนวนต้นตอกอมากที่สุด และให้น้ำหนักผลผลิตเมล็ดมากกว่าต้นข้าวที่ได้รับถ่านชีวภาพปริมาณ 3 และ 0 กก./บ่อ ตามลำดับ

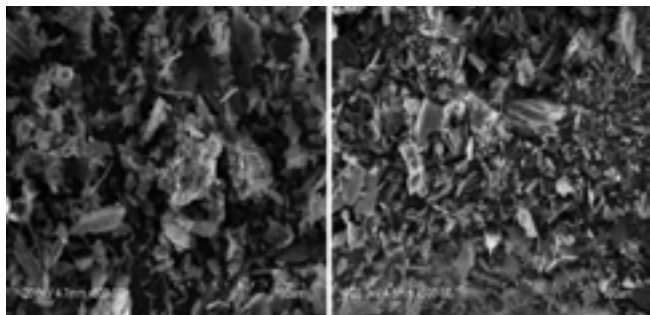
ศิริลักษณ์, (2556) [8] ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาการเจริญรู้การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อถ่ายทอดความรู้เชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วมเรื่องการใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน ในอัตราส่วนปุ๋ยหมักและถ่านชีวภาพในอัตราส่วน 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 ตามลำดับ ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนปุ๋ยหมักต่อถ่านชีวภาพ 50:50 ให้ผลผลิตเช่นเดียวกับแปลงที่ใช้ปุ๋ยหมักอย่างเดียว ขณะที่อัตราส่วน 75:25 ให้ผลผลิตดีกว่าแปลงที่ใส่ปุ๋ยหมักอย่างเดียว

Tang, j (2013) [9] ได้ศึกษาเกี่ยวกับไบโอชาร์ที่เกิดจากการสลายตัวทางความร้อนของชีวมวล ผ่านกระบวนการไพโรไล

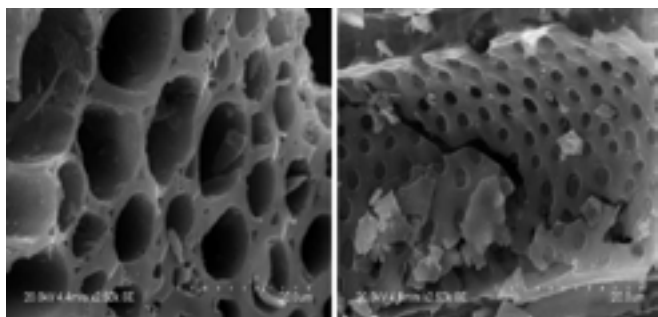
ซิส มีความสามารถในการกักเก็บคาร์บอนในดินไว้และยังช่วยกำจัดของเสียรวมไปถึงการฟื้นฟูสภาพดิน โดยที่ไบโอชาร์เกิดจากการนำชีวมวลไปเผาในระบบไพโรไลซิสที่อุณหภูมิต่างๆ ซึ่งถ้าเป็นอุณหภูมิสูงจะส่งผลให้ผิวและโครงสร้างภายในของไบโอชาร์ สามารถกักเก็บคาร์บอนได้มาก และมีความสามารถในการดูดซับสารพิษสูง

อรสา, (2549) [10] ทำการศึกษาเมื่อมี CO₂ เพิ่มขึ้น จะทำให้พืชเติบโตและมีปริมาณเพิ่มขึ้นเพราะพืชใช้ CO₂ ในการสังเคราะห์แสงเพื่อสร้างอาหาร และเมื่อพืชมีปริมาณเพิ่มขึ้นก็จะช่วยดูดซับ CO₂ เพิ่มขึ้น ทำให้ CO₂ ในชั้นบรรยากาศมีปริมาณลดลง อย่างไรก็ตาม วังจร 3 (CO₂-พืช-เศษวัสดุจากพืช-การย่อยสลายโดยธรรมชาติ) และวังจร 4 (CO₂-พืช-เศษวัสดุจากพืช-เผา) เป็น วังจร บวก ซึ่งมีการทำงานแล้วส่งผลให้ CO₂ เพิ่มขึ้น ทำให้วังจร 1 ไม่สามารถรักษาระดับความสมดุลได้ กล่าวคือ เมื่อ ปริมาณ พืช เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณเศษวัสดุจากพืชเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้เกิดการย่อยสลายโดยธรรมชาติมากขึ้น ส่งผลให้เกิด CO₂ มากขึ้น (วังจร 3) ในระบบการเกษตรจะมีการเผาเศษวัสดุเหล่านี้ก่อนทำการเกษตรแต่ละครั้ง ส่งผลให้ปริมาณ CO₂ เพิ่มขึ้น (วังจร 4) วังจร 2 (CO₂-พืช-เศษวัสดุจากพืช-การแยกสลายด้วยความร้อน-ไบโอชาร์-carbon sink) เป็นวังจรลบที่ช่วยให้ CO₂ ลดลงด้วยการตัดวงจรการเผาเศษวัสดุจากพืชและการย่อยสลายโดยธรรมชาติ มาสู่การนำเศษวัสดุดังกล่าวมาแยกสลายด้วยความร้อน (pyrolysis) จะได้ไบโอชาร์ ซึ่งไบโอชาร์จะดึงคาร์บอนจากเศษวัสดุพืชมาเก็บไว้ เมื่อนำไบโอชาร์ไปใส่ในดิน จะเป็นการกักเก็บคาร์บอนในดิน (Carbon sink) ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าคาร์บอนนี้มีคุณสมบัติเสถียร ไม่ทำปฏิกิริยากับสารใด ๆ และสามารถอยู่ในสภาพเดิมได้เป็นเวลายาวนานนับ 1000 ปี (IBI,2008)

รัตถชล, กัญจน์นรี และอรณพ (2560) [11] ได้ศึกษาสมบัติของไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษข้าวโพด และศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน ไบโอชาร์ได้จากการใช้เตาผลิตแบบแอนิลา โดยใช้เศษข้าวโพดเลี้ยงสัตว์เป็นวัตถุดิบในการผลิต สมบัติของไบโอชาร์ที่ศึกษาได้แก่ สัมพันธภาพของพื้นผิวด้วยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ขนาดของช่องว่าง



รูปที่ 3 พื้นผิวของไบโอชาร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 500 เท่า [11]



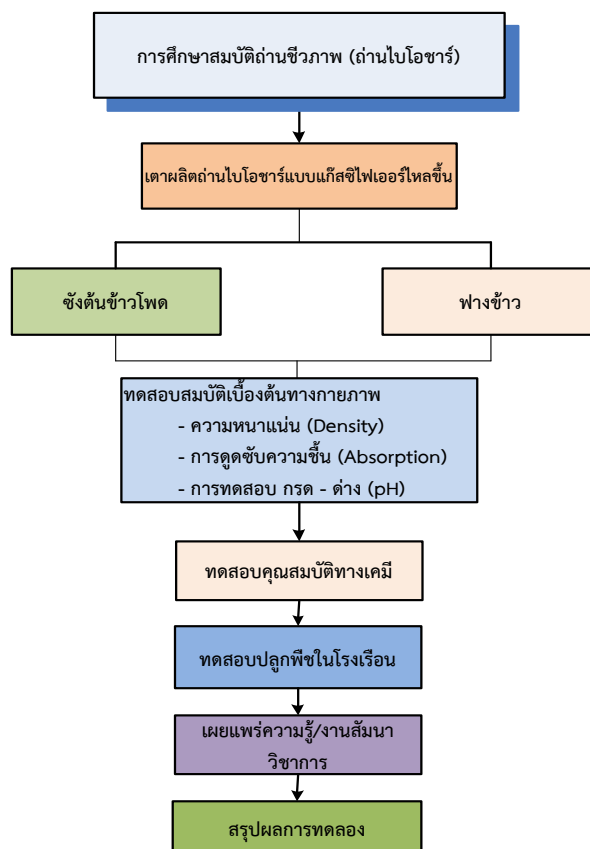
รูปที่ 4 พื้นผิวของไบโอชาร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 2,500 เท่า [11]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การแยกสลายด้วยความร้อน (Pyrolysis) มีการดำเนินการอยู่ 2 วิธี คือ การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า (Slow Pyrolysis) และแบบเร็ว (Fast Pyrolysis) การแยกสลายด้วยความร้อนแบบช้า คือ การเผาไหม้ด้วยการแยกสลายสารอินทรีย์แบบช้า ๆ ใช้ระยะเวลาเป็นชั่วโมง และใช้อุณหภูมิระหว่าง 350-600 °C ในสถานะที่ไม่มีออกซิเจน ส่วนการแยกสลายด้วยความร้อนแบบเร็วจะใช้ระยะเวลาในการเผาไหม้เป็นวินาที ในกระบวนการเผาไหม้มีเครื่องมือและอุปกรณ์ควบคุมการทำงานทุกขั้นตอน ใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 500-1,000 °C ซึ่งทั้ง 2 วิธีการนี้ จะได้ผลผลิตแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ 1. ส่วนที่เป็นน้ำมัน (Bio-Oil) 2. ส่วนที่เป็นแก๊ส (Bio-Gas) และ 3. ส่วนที่เป็นถ่านชีวภาพ (Bio-char) ซึ่งปริมาณผลผลิตที่ได้นี้จะแตกต่างกันตามชีวมวลที่ใช้ในการผลิต

ผลิตถ่านไบโอชาร์ ด้วยกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้เทคนิคแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อเพิ่มกระบวนการคาร์บอนในดิน ที่มีผล

ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของถ่านไบโอชาร์ ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร จาก ชังต้นข้าวโพด และฟางข้าว ให้ได้ซึ่งถ่านไบโอชาร์ เมื่อได้ถ่านไบโอชาร์จะนำมาทดสอบสมบัติเบื้องต้นเช่น ความหนาแน่น การดูดซับความชื้น การทดสอบ pH และการหาองค์ประกอบทางด้านเคมีของถ่านไบโอชาร์ มีวิธีการดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

อุปกรณ์ ในการทดลองได้มีการพัฒนาเตาแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลขึ้น โดยใช้ชีวมวลจากฟางข้าวและชังต้นข้าวโพด ซึ่งมีการวัดอุณหภูมิโดยใช้ตาตาล็อกเกอร์ 4 ช่อง สายเทอร์โมคัปเปิลชนิด เค ติดตั้งดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ชีวมวลจากฟางข้าวและซังต้นข้าวโพด



รูปที่ 7 รูปเตาแก๊สซิไฟเออร์ที่พัฒนา



(ก)

(ข)

รูปที่ 8 (ก) ถ่านไบโอชาร์จากซังต้นข้าวโพด

(ข) ถ่านไบโอชาร์จากฟางข้าว

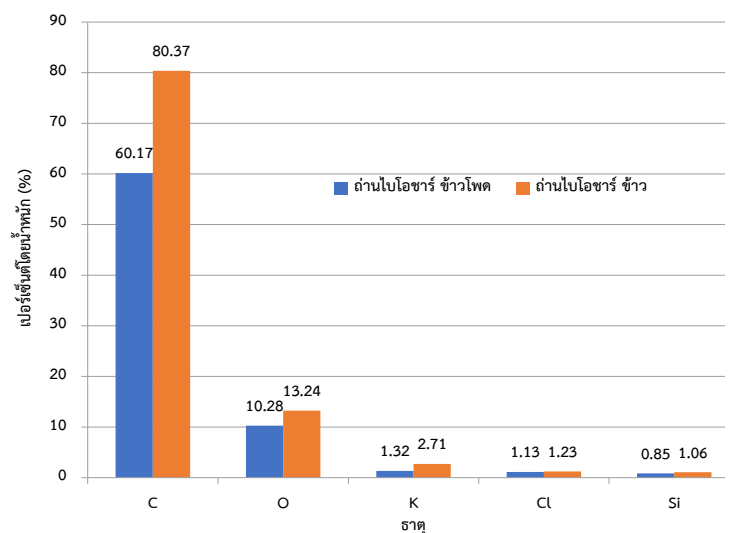
4. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านชีวภาพด้วยไพโรไลซิส ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เพื่อเพิ่มกระบวนการคาร์บอนในดิน ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพ ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ซังต้นข้าวโพด ฟางข้าว และอื่นๆ ให้ได้ซึ่งถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติเหมาะสมในการกักเก็บคาร์บอนลงในดินและการนำมาประยุกต์ใช้ปรับปรุงดินในการเกษตร โดยทางผู้วิจัยจะออกแบบและพัฒนาเครื่องผลิตถ่านชีวภาพอย่างง่าย ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ซึ่งจะได้ถ่านไบโอชาร์

4.1 การผลิตถ่านไบโอชาร์จากเตาแก๊สซิไฟเออร์ไหลขึ้น จากการทดสอบ เตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น (Updraft Gasifier) พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 500-600 องศาเซลเซียส มีทำการทดสอบตัวอย่างเชื้อเพลิงจากชีวมวลจากฟางข้าวและซังต้นข้าวโพด พบว่าร้อยละการเกิดเป็นถ่านจากแบบเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น ได้จำนวนถ่านไบโอชาร์ ร้อยละจากฟางข้าวร้อยละ 30 และซังข้าวโพดร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชีวมวลที่นำมาใช้ในการผลิตถ่านไบโอชาร์ เนื่องจากแต่ละชนิดมีความหนาแน่นแตกต่างกัน อุณหภูมิที่ใช้ในการเผามีความใกล้เคียงกันเฉลี่ย 300-600 องศาเซลเซียส แบบเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น (Downdraft Gasifier)

4.2 การทดสอบสมบัติเบื้องต้นของถ่าน

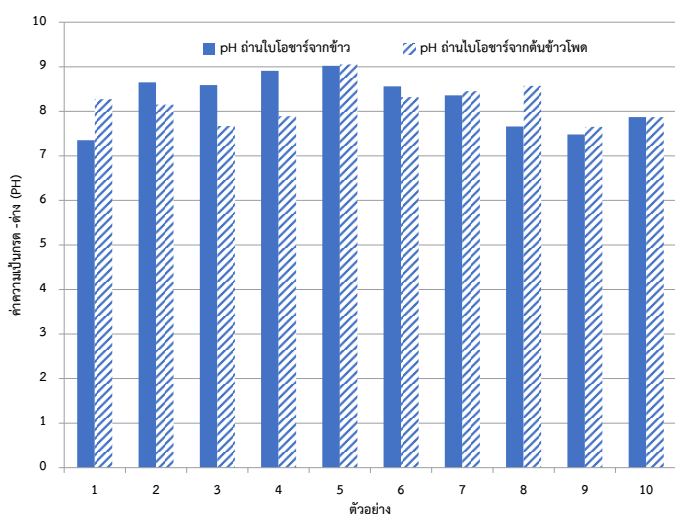
ถ่านชีวภาพไบโอชาร์ จากการทดสอบตัวอย่างไบโอชาร์ และนำมาวิเคราะห์ทางด้านเคมีด้วยวิธี XRD (X-Ray Diffraction) พบว่า สารประกอบในถ่านไบโอชาร์ได้คือ คาร์บอน (Carbon) ออกซิเจน (Oxygen) แร่ควอตซ์ (Quartz : SiO₂) แร่ซิลิเกต (KCl)



รูปที่ 9 แสดงค่าธาตุในองค์ประกอบของถ่านไบโอชาร์

ถ่านชีวภาพไบโอชาร์ จากการทดสอบตัวอย่างไบโอชาร์ทางด้านเคมี pH ความเป็นกรดและเป็นด่าง ซึ่งถ่านไบโอชาร์ (Biochar-Biological Charcoal) หรือถ่านชีวภาพ ซึ่งได้จากกระบวนการแยกสลายมวลชีวภาพด้วยความร้อน หรือการเผา

ใหม่ เช่น การเผาวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร นำมาใช้สำหรับปรับปรุงดินเพื่อใช้ในการปลูกพืช ความเป็นกรดเป็นด่าง (Acidic-alkaline compose) โดยใช้เครื่องมือวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH meter) พบว่า ถ่านไบโอชาร์ทั้งสองมีความเป็นเบส ของฟางข้าวและซังต้นข้าวโพด โดยมีค่าเฉลี่ย pH 8.25 และ 8.19 ตามลำดับ



รูปที่ 9 แสดงค่าความเป็นกรดเป็นด่างของถ่านไบโอชาร์

จากรูปที่ 9 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง pH จะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการนำมาใช้งานสามารถนำมาใช้งานในการปรับสภาพความเป็นกรดของดินที่ใช้ในการเพาะปลูกพืชได้ ซึ่งจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืช ที่มีความเหมาะสมกับดินที่ปรับปรุง

ทำการทดสอบความร้อนด้วยเครื่องมือวิทยาศาสตร์ เครื่องบอมบ์แคลอรีมิเตอร์ (Bomb Calorimeter) พบว่าถ่านไบโอชาร์ ที่ผลิตได้มีองค์ประกอบพื้นฐานเช่น ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณสารระเหย และคาร์บอนคงตัว อยู่ในระดับใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ได้ค่าความร้อนเฉลี่ยอยู่ในช่วงในช่วง 15 – 20 MJ/kg โดยซังต้นข้าวโพดจะให้พลังงานที่สูงกว่าเฉลี่ย 17.32 MJ/kg รองลงมาจะเป็นฟางข้าว 15.32 MJ/kg

การทดสอบความหนาแน่นของถ่านไบโอชาร์ฟางข้าว และซังต้นข้าวโพด พบว่ามีความหนาแน่นของ 23.92 kg/m³ และ 20.91 kg/m³ ซึ่งมีค่าความหนาแน่นที่น้อย

การทดสอบการดูดซึมน้ำจากการทดสอบเพื่อหาค่าการดูดซึมน้ำ โดยการนำมาแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำส่วนผสมของถ่านมาใช้กับทรายในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน พบว่า ถ่านไบโอชาร์เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 80-90

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตถ่านชีวภาพด้วยไพโรไลซิส ด้วยกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลขึ้น เพื่อเพิ่มกระบวนการเก็บคาร์บอนในดิน สำหรับปรับปรุงดินและการเตรียมดินปลูกพืช ซึ่งได้ทำการศึกษาถ่านไบโอชาร์ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะและองค์ประกอบทางเคมีของถ่านชีวภาพ ที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ซังต้นข้าวโพด ฟางข้าว การผลิตถ่านไบโอชาร์จากเตาแก๊สซิไฟเออร์ไหลขึ้น จากการทดสอบ เตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น (Updraft Gasifier) พบว่าร้อยละการเกิดเป็นถ่านจากแบบเตาแก๊สซิไฟเออร์ชนิดไหลขึ้น ได้จำนวนถ่านไบโอชาร์ จากฟางข้าวร้อยละ 30 และซังข้าวโพดร้อยละ 60 โดยน้ำหนัก จากการทดสอบตัวอย่างไบโอชาร์ และนำมาวิเคราะห์ทางด้านเคมีพบว่า สารประกอบในถ่านไบโอชาร์ได้คือ คาร์บอน (Carbon) ออกซิเจน (Oxygen) แร่ควอตซ์ (Quartz : SiO₂) แร่ซิลิไท์ (KCU) เป็นส่วนหลัก ทดสอบความเป็นกรด ความเป็นเบส โดยมีค่าเฉลี่ย pH 8.25 และ 8.19 ตามลำดับ การทดสอบการดูดซึมน้ำ พบว่า ถ่านไบโอชาร์มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอยู่ที่ร้อยละ 80-90 ดังนั้น ถ่านไบโอชาร์จึงเหมาะที่จะนำมาเป็นส่วนผสมกับดินในการเตรียมปลูกพืช เนื่องจากมีคาร์บอนในปริมาณที่สูงและยังมีแร่ธาตุต่างๆ ที่จำเป็นต่อพืชและตัวถ่านไบโอชาร์เองมีความพรุนสูง จึงเหมาะที่จะใช้ดูดซับน้ำได้เป็นอย่างดี ตัวถ่านมีความเป็นเบส ควรใช้ในการปรับสภาพดินที่เป็นกรดได้ด้วย ถ้าเราผสมบดตีเบื้องต้นถ่านไบโอชาร์จากฟางข้าวและซังต้นข้าวโพด จึงมีความเหมาะสมในการนำมาใช้งานในแปลงเกษตร

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่ได้สนับสนุนงบประมาณแผ่นดิน ประจำปี 2562 ในกรณีนี้ขอขอบคุณ ฝ่ายการสนับสนุนด้านสถานที่ บุคลากร และอุปกรณ์สำหรับการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Winsley, P. (2007). "Biochar and bioenergy production for climate change mitigation." *New Zealand Science Review*, 64,1 : 5-10

[2] Zafar, S. 2008. Biochar and its Role in Mitigating Climate Change (Online). Available: http://news.mongabay.com/2008/1217zafar_biochar.html. (Accessed 20 Jan.2013).

[3] Thebangkokinsight, (2564) ชีวมวล (Biomass) พลังงานสีเขียวเป็นมิตรต่อโลก. สืบค้น 12 มีนาคม 2564, จาก <https://www.thebangkokinsight.com/558298/>

[4] วีรชัย อัจหาญ, นิวัฒน์ คงกะพี้, กฤษกร รั้วสมบัติ, ปภัส ชนะโรค และ ทิพย์สุภินทร์ หินชูย.(2551). การศึกษาต้นแบบโรงไฟฟ้าชีวมวลขนาดเล็กสำหรับชุมชน การประเมินประสิทธิภาพและผลกระทบด้านมลพิษ. วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. ปีที่ 40 เล่มที่ 2.

[5] Puig-Arnau, M., Bruno, J.C., Coronas, A., (2010) Review and analysis of biomass gasification models. *Renewable and sustainable energy reviews* 14 2841-2851.

[6] ASTM E873 (2019) Standard Test Method for Bulk Density of Densified Particulate Biomass Fuels

[7] กฤษณา บุญศิริ และ กฤษณา ชูช่วย (2558) ผลของถ่านชีวภาพต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตข้าว, ว. วิทยาศาสตร์เกษตร ปีที่ 46 ฉบับที่ 3 (พิเศษ) กันยายน-ธันวาคม 2558 หน้า 165-168

[8] ศิริลักษณ์ ศิริสิงห์ (2556) ได้ทำงานวิจัยเรื่อง การพัฒนาการเรียนรู้การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร, วารสารเกษตรแห่งชาติ ฉบับที่ 7 ปี พ.ศ.2556 หน้า 69-70

[9] Jingchun Tang, Wenying Zhu, Rai Kookana, Arata Katayama, (2013). Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil, *Journal of Bioscience and Bioengineering* 116(6)

[10] อรสา สุขสว่าง, (2549) 2549. Biochar Technology. เอกสารประกอบการสัมมนาวิชาการ

เรื่อง เทคโนโลยีถ่านชีวภาพ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ

[11] รัตชล อ่างมณี, กัญจน์รี ช่วงฉ่ำ และอรณพ หอมจันทร์. (2560). สมบัติของไบโอชาร์ที่ผลิตจากเศษข้าวโพดและศักยภาพในการใช้เป็นวัสดุปรับปรุงดิน. วารสารวิจัยและพัฒนาโดยลงกรรม ในพระบรมราชูปถัมภ์ สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 12 หน้า 53 – 63.

ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากของเสียในชุมชนที่มีต่อการเจริญเติบโตและออกดอกของมะลิลา The efficiency of Bioextract Fermented from community waste affects the growth and flower production of jasmine.

สุวรรณีย์ ยุคันธร , ทัดติยา บุญมี , และ ชำมะเลียง เชาว์ธรรม

Suwunnee Yukanthon , Thadtiya Bunmee , Chammaleng Chaothum

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 398 หมู่ 9 ถนนสวรรคคีรี ตำบลนครสวรรค์ตก อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ 60000
Nakhon Sawan Rajabhat University 398 Moo 9 Sawanvithi Road Nakhon Sawan Tok Subdistrict, Mueang District,
Nakhon Sawan Province 60000

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ได้ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากของเสียอินทรีย์ในชุมชน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นมะลิลา ภายในพื้นที่ ตำบลบ้านแก่ง อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ระหว่างเดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 6 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) น้ำหมักชีวภาพสูตรเปลือกดอกกรัก 2) น้ำหมักชีวภาพสูตรเปลือกสับปะรด 3) น้ำหมักชีวภาพสูตรกล้วยสุก 4) น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืช 5) น้ำหมักชีวภาพสูตรมูลสัตว์ 6) ชุดควบคุม ผลการศึกษาพบว่าน้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืช ส่งผลให้ต้นมะลิลามีการเจริญเติบโตด้านความสูงมากที่สุด เท่ากับ 28.79 เซนติเมตร และให้ดอกมากที่สุดตลอดระยะเวลา 4 เดือน เท่ากับ 266 ดอก ความยาวดอกตูมเฉลี่ยเท่ากับ 1.47 เซนติเมตร น้ำหนักดอกสดเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 กรัม จำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 40.92 ใบต่อต้น

คำสำคัญ: มะลิลา น้ำหมักชีวภาพ การเจริญเติบโต

Abstract

This study investigated the effects of bio-fermented water from organic waste in the community on the growth and yield of jasmine trees in the area of Ban Kaeng Sub-district, Mueang District, Nakhon Sawan Province Between November 2019 and October 2020. The randomized complete block design (RCBD) experiments were used with 6 treatments, 4 repetitions, including 1) bioextract fermented from dahlia bark, 2) bioextract fermented from pineapple peel, 3) bioextract fermented from ripe banana, 4) bioextract fermented from mixed vegetable shoots, 5) bioextract fermented from manure, and 6) control group. As a result, the tallest jasmine tree was found in the bioextract fermented with vegetable shoots (28.79 centimeters) and exhibited the showed the highest flowering along 4 months. The 266 flowers bud length was in length of 1.47 centimeters with fresh flower weight of 0.15 grams. The greatest number of leaves was 40.92 per plant.

Keywords: Jasmine Bio-fermented growth

1. บทนำ

ตำบลบ้านแก่ง อำเภอเมืองนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์ มีเนื้อที่ประมาณ 23,450 ไร่ ประชากรในตำบลบ้านแก่ง ส่วนใหญ่มีการประกอบอาชีพเกษตรกร เช่น ทำไร่ ทำนา เลี้ยงสัตว์ ทำสวนผัก สวนผลไม้ การประกอบอาชีพนอกจากอาชีพการเกษตร ได้แก่ ค้าขาย รับจ้าง และรับราชการ คิดเป็นร้อยละได้ดังนี้ อาชีพการเกษตรร้อยละ 60 อาชีพรับจ้างร้อยละ 25 อาชีพอุตสาหกรรมในครัวเรือนร้อยละ 7 อาชีพค้าขายร้อยละ 4 รับราชการร้อยละ 3 อาชีพเลี้ยงสัตว์ร้อยละ 1 ซึ่งการประกอบอาชีพเกษตรกรส่วนใหญ่ คือ การทำสวนดอกกรัก และดอกมะลิเป็นอาชีพหลัก (องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแก่ง, 2559)

มะลิเป็นพืชในสกุล *Jasminum sambac* (L.) Aiton วงศ์ Oleaceae ส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดในเขตร้อน พืชสกุลมะลิทั่วโลกมีประมาณ 200 ชนิด ในประเทศไทยพบไม่น้อยกว่า 31 ชนิด มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น บางชนิดมีชื่อท้องถิ่น มะลิที่พบทั่วไป เช่น มะลิลา มะลิซ้อน มะลิยอด มะลิฉัตร มะลิพิบูล มะลิเขี้ยว หรือมะลิกำแดง มะลิงาช้าง มะลิพวง มะลิวัลย์ พุทธชาติ และปันหยี ส่วนที่นิยมปลูกเป็นการค้าคือ มะลิลา ลักษณะเป็นไม้พุ่มกิ่งเลื้อย กิ่งอ่อนมีขน ใบเป็นใบเดี่ยว ขอบใบเรียบ ปลายใบแหลม หรือป้าน ฐานใบกลม ก้านใบสั้น ใบออกแบบตรงกันข้าม ออกดอกที่ปลายยอดอ่อน ดอกเป็นช่อ มี 3-5 ดอก ดอกกลางช่อจะบานก่อน กลีบเลี้ยงมีลักษณะเป็นเส้นแหลม กลีบดอกติดกันเป็นหลอด ตอนบนของกลีบแยกเป็น 5-9 กลีบ ปลายกลีบมน สีดอกขาวมีกลิ่นหอม (ชนพร ขจรผล และคณะ, 2557) ปัญหาในการผลิตดอกมะลิที่สำคัญ คือ ปริมาณผลผลิตที่ได้ไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดจึงมีการนำสารเคมีมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตของต้นมะลิ เพื่อเร่งการเจริญเติบโตของต้นมะลิและให้ปริมาณดอกมากเพียงพอ

การใช้สารเคมีจึงเข้ามามีบทบาทสำคัญยิ่งในการรักษาและเพิ่มผลผลิตของดอก มะลิ รวมทั้งให้มีคุณภาพตรงตามความต้องการของตลาด ถึงแม้สารเคมีจะมีประโยชน์ในการป้องกันและกำจัดศัตรูพืชได้ผลอย่างรวดเร็วแต่ในขณะเดียวกัน สารเคมีก็มีอันตรายร้ายแรงหากใช้อย่างไม่ถูกวิธีปัญหาการใช้สารเคมีนับเป็นปัญหาที่สำคัญมาก ประการหนึ่งส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม และนับวันจะทวีความรุนแรงมากขึ้น เนื่องจาก

เกษตรกรนิยมใช้อย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มว่าจะใช้เพิ่มขึ้นจากการที่เกษตรกรส่วนใหญ่มีการปฏิบัติเกี่ยวกับการใช้สารเคมีที่ไม่ถูกต้อง การป้องกันและแก้ไขปัญหาดังกล่าวควรเริ่มที่ตัวเกษตรกรจึงจะทำให้ ปัญหาสารเคมีที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อมลดน้อยลงได้ แนวคิดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดศัตรูพืชในการผลิตมะลิโดยเน้นการเลือกใช้สารเคมี การอ่านฉลาก และการปฏิบัติตามคำแนะนำอย่างเคร่งครัด จะช่วยป้องกัน และทำให้เกษตรกรปลอดภัยเมื่อต้องปฏิบัติงาน เกี่ยวข้องกับสารเคมี ป้องกันกำจัดศัตรูพืช (กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวง เกษตรและสหกรณ์, 2557)

กระบวนการผลิตมะลิในประเทศไทย เกษตรกรจำนวนมากคำนึงถึงความปลอดภัยของสภาพแวดล้อม และสุขภาพจึงได้หันกลับมาทำการเกษตรแบบเกษตรธรรมชาติ ซึ่งมักนิยมใช้ปุ๋ยอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยชีวภาพ และน้ำหมักชีวภาพ โดยน้ำหมักชีวภาพเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เกษตรกรสามารถนำมาใช้ในการเพาะปลูก เพื่อช่วยเพิ่มคุณภาพผลผลิตของพืช และยังเป็นการนำวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ ที่มีอยู่ในพื้นที่มาทำให้เกิดประโยชน์ และสามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลงด้วย (วิณารัตน์, ม.ป.ป.)) ซึ่งตำบลบ้านแก่ง อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ เป็นหนึ่งในพื้นที่ที่มีการทำเกษตรประเภทสวนดอกกรัก และดอกมะลิ ประกอบเป็นอาชีพโดยก่อนที่จะนำดอกกรักขายออกสู่ตลาดได้นั้นจะต้องทำการแกะเปลือกดอกกรักออก และยังมีของเสียชีวภาพเหลือใช้ภายในชุมชนชนิดต่าง ๆ ที่ทิ้งไว้โดยเปล่าประโยชน์ เช่น กล้วยสุก เปลือกสับปะรด มูลสัตว์ ยอดพืชจากข้างทาง ส่วนพื้นที่ที่มีการทำการเกษตรประเภทสวนดอกมะลิ มีการใช้สารเคมีในการทำเกษตรจึงเป็นการเพิ่มต้นทุนและเพิ่มสารพิษตกค้างสู่สิ่งแวดล้อม

ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพของของเสียชีวภาพเหลือใช้ภายในชุมชนมาทำให้เกิดประโยชน์โดยการนำมาเป็นส่วนประกอบของน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของมะลิ ซึ่งสามารถนำไปให้เกิดประโยชน์ในด้านผลผลิตต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

น้ำหมักชีวภาพ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวสีน้ำตาลโดยการสกัดอินทรีย์ วัตถุจากพืช ผักและผลไม้

โดยวิถีธรรมชาติ ส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตในระดับครัวเรือนและชุมชน โดยใช้เทคโนโลยีการผลิตพื้นบ้าน และมีสูตรและรูปแบบการผลิตที่แตกต่างกันไป อาทิเช่น การใช้จุลินทรีย์ในท้องถิ่น การใช้จุลินทรีย์เตรียมเฉพาะ การใช้น้ำตาล น้ำอ้อย น้ำผึ้ง กากน้ำตาล ร่วมในกระบวนการผลิต เป็นต้น อีกทั้งมีการเผยแพร่การใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ ด้านสุขภาพ การเกษตรและสิ่งแวดล้อม สำหรับข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์น้ำหมักชีวภาพที่มีอยู่ในปัจจุบันส่วนใหญ่จะเป็นข้อมูลทางด้านการเกษตรและสิ่งแวดล้อม แต่สำหรับ การบริโภคยังพบปัญหาสำคัญได้แก่ ประชาชนยังขาดความรู้ ความเข้าใจ ขาดข้อมูลทาง วิทยาศาสตร์ในเรื่องของกระบวนการผลิต การบรรจุ การเก็บรักษา และการตรวจสอบคุณภาพ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำหมักชีวภาพ เพื่อให้มีความปลอดภัย และ เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้บริโภคอย่างแท้จริง (ผศ.ดร. ไชยวัฒน์ ไชยสุต, 2553)

ดอกมะลิ ชื่อวิทยาศาสตร์ : *Jasminum Sambac* (L.) Aiton ชื่อสามัญ : Arabian jasmine วงศ์ : Oleaceae มะลิเป็นดอกไม้สีขาวที่มีกลิ่นหอมสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น เก็บดอกมาร้อยเป็นพวงมาลัยทำเป็นดอกไม้แห้ง หรือนำมาสกัดทำน้ำมันหอมระเหยนอกจากนี้ส่วนต่าง ๆ เช่น ดอกสด ดอกแห้ง ใบสด ต้น ราก สามารถนำมาใช้เป็นพืชสมุนไพรรักษาโรคได้ มีลักษณะต้นเป็นไม้พุ่ม ไม้เลื้อย และไม้รอเลื้อยมีทั้งชนิดใบเดี่ยว และใบรวม การจัดเรียงตัวของใบมีทั้งแบบใบอยู่ตรงกันข้าม ใบแบบสลับกัน ดอกมีสีขาว กลีบดอกมีทั้งชั้นเดียว และหลายชั้นเป็นดอกเดี่ยว และดอกช่อดอกจะออกจากยอดหรือข้างกิ่ง ส่วนมากมีกลีบเลี้ยง 4-9 กลีบ กลีบดอกมี 4-9 กลีบ โดยปกติดอกจะเริ่มบานในเวลาบ่าย และร่วงในวันรุ่งขึ้น มะลิจะให้ดอกมากในฤดูร้อน และฤดูฝนผลผลิตจะลดต่ำลงในช่วงฤดูหนาว (สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, ม.ป.ป)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษามูลของน้ำหมักชีวภาพจากของเสียชีวภาพภายในชุมชน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมะลิลา วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design

(RCBD) จำนวน 6 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ประกอบด้วยสูตรน้ำหมักชีวภาพดังนี้

- กรรมวิธีที่ 1 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรเปลือกดอกกรัก
- กรรมวิธีที่ 2 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรเปลือกสับประรด
- กรรมวิธีที่ 3 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรกล้วยสุก
- กรรมวิธีที่ 4 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืช
- กรรมวิธีที่ 5 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรมูลสัตว์
- กรรมวิธีที่ 6 คือ ชุดควบคุม

ทำการทดลองระหว่างเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2562 ถึงเดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

3.1 การปลูกและการดูแลรักษา นำต้นพันธุ์มะลิลาจำนวน 24 ต้น ปลูกลงแปลงโดยใช้ระยะปลูก 1 x 1 เมตร ปลูกแบบแถวเดี่ยว หน้ากว้าง 4 ต้น และยาวเป็นแถว ๆ ละ 6 ต้น ทำการรดน้ำต้นละ 1,000 มิลลิลิตร ทุกวันวันละ 2 ครั้ง เช้า-เย็น



รูปที่ 1 แปลงปลูกมะลิลา

3.2 การทำน้ำหมักชีวภาพ นำเอาของเสียชีวภาพแต่ละสูตรจำนวนสูตรละ 3 กิโลกรัม นำมาสับหรือหั่นให้ละเอียด โดยสูตรเปลือกดอกกรักจะใช้ส่วนของเปลือกทั้งหมด สูตรเปลือกสับประรดจะนำมาสับให้ละเอียด สูตรกล้วยจะใช้ทั้งลูกนำมาหั่นให้ละเอียด สูตรยอดพืชจะใช้ส่วนยอดผักบุ้ง 1 กิโลกรัม ร่วมกับยอดกระถิน 1 กิโลกรัม และยอดกระเฉดน้ำ 1 กิโลกรัม และทำการสับให้ละเอียด สูตรมูลสัตว์ใช้มูลวัวตากแห้ง นำมาใส่ถังพลาสติกสำหรับทำการหมักแต่ละสูตร ใส่สับประรด 200 กรัม และเติมน้ำเปล่าสะอาดปริมาตร 10 ลิตร เติมหิวเชื้อจุลินทรีย์ EM ปริมาณ 200 กรัม พ.ด2 25 กรัม ทำการผสมคลุกเคล้าส่วนประกอบให้เข้ากัน ปิดฝาดังให้สนิท หมักทิ้งไว้ 2 เดือน ในเวลาของการหมักให้ทำการเปิดฝาดังเพื่อคนน้ำหมักทุก 7 วัน และทำการเปิดฝาดังวันละ 2 ครั้ง เช้า - เย็น เพื่อให้ก๊าซที่

เกิดขึ้นระหว่างการหมักมีการระบายออกบ้าง หลังจากนั้นปิดฝาถึงสนิทเพื่อป้องกันแมลงเข้ามาวางไข่ ในการทดสอบประสิทธิภาพปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 5 สูตร และชุดควบคุมดังนี้ โดยมีการให้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพทั้ง 5 สูตร ต้นละ 1 : 500 (ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพ : น้ำสะอาด) นำปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพไปฉีดพ่นให้กับต้นมะลิลาทุก ๆ สัปดาห์ โดยจะทำการฉีดพ่น 100 มิลลิลิตรทั่วต้นมะลิลา

3.3 การบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ผล บันทึกผลการทดลองด้านการเติบโตและผลผลิตมะลิลาดังต่อไปนี้

3.3.1 วัดจากความสูงต้น (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนต้นจนถึงปลายยอดทุก ๆ 7 วันเป็นเวลา 12 สัปดาห์

3.3.2 จำนวนดอกต่อต้น เก็บ และนับจำนวนดอกทั้งหมดต่อต้นโดยเก็บทุกวันเป็นเวลา 12 สัปดาห์

3.3.3 หาค่าเฉลี่ยน้ำหนักดอกตูม (กรัม)

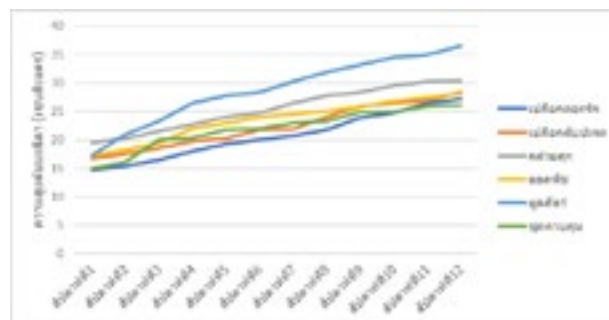
3.3.4 หาค่าเฉลี่ยความยาวดอกตูม (เซนติเมตร)

3.3.5 จำนวนใบต่อต้น ทำการนับจำนวนใบทั้งหมดทุก ๆ 7 วันเป็นเวลา 12 สัปดาห์

4. ผลการวิจัย

1. วัดความสูงของต้นมะลิลาทุก ๆ 7 วันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ การเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นมะลิลาดังแต่โคนต้นจนถึงปลายยอด พบว่าต้นมะลิลาที่พ่นด้วยน้ำหมักชีวภาพสูตรมูลสัตว์มีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 28.79 เซนติเมตร รองลงมาคือน้ำหมักชีวภาพสูตรกล้วยสุก น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืช น้ำหมักชีวภาพสูตรเปลือกสับปะรด และชุดควบคุมมีความสูงเท่ากับ 25.46, 23.47, 22.35 และ 21.95 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพสูตรเปลือกดอกกรักมีความสูงน้อยที่สุดเท่ากับ 20.73

เซนติเมตร



รูปที่ 2 แสดงการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นมะลิลาดังแต่โคนต้นจนถึงปลายยอด

2. จำนวนดอกต่อต้น เก็บและนับจำนวนดอกทั้งหมดต่อต้นโดยเก็บทุกวันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ จำนวนดอกของมะลิที่มีการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืชให้จำนวนดอกมากที่สุดเท่ากับ 266 ดอก รองลงมา คือ การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรมูลสัตว์ สูตรเปลือกสับปะรด สูตรกล้วยสุก สูตรเปลือกดอกกรักมีจำนวนดอกเท่ากับ 245, 225, 208, 198 ดอก ตามลำดับ ชุดควบคุมให้จำนวนดอกน้อยที่สุดเท่ากับ 125 ดอก ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (ชนพร ขจรผล และคณะ, 2557) กล่าวว่า เนื่องจากในยอดพืช และใบพืชแก่จะพบสารควบคุมการเจริญเติบโต (ออกซิน) ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชหลายด้าน เช่น ควบคุมการขยายเซลล์ การยึดตัวของเซลล์ ส่งเสริมการออกดอก เพิ่มการติดผล

ชุดทดลอง	ค่าเฉลี่ย				
	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	จำนวนใบต่อต้น	จำนวนดอกต่อต้น	น้ำหนักดอก (กรัม)	ความยาวดอก (เซนติเมตร)
1. มูลสัตว์	28.79	33.83	4.08	0.14	1.47
2. กล้วยสุก	25.46	28.48	4.69	0.13	1.46
3. ยอดพืช	23.47	30.67	4.33	0.15	1.39
4. กล้วยสุก	22.35	40.92	5.54	0.15	1.36
5. ชุดควบคุม	21.95	35.19	5.00	0.15	1.44
6. ชุดควบคุม	21.95	32.69	2.60	0.10	1.10

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยของความสูงของต้น (เซนติเมตร) จำนวนใบต่อต้น จำนวนดอกต่อต้น น้ำหนักดอก (กรัม) และความยาวดอก (เซนติเมตร) ของต้นมะลิลาที่ได้รับน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่ระยะเวลา 12 สัปดาห์

3. หาค่าเฉลี่ยน้ำหนักดอกตูม การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืช สูตรมูลสัตว์ สูตรกล้วยสุกมีการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยดอกดีที่สุดเท่ากัน คือ 0.15 กรัม รองลงมา คือ สูตรเปลือกดอก

รัก และสูตรเปลือกสับปะรด มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักดอก คือ 0.14 และ 0.13 กรัม และชุดควบคุม มีการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยดอกน้อยที่สุดเท่ากับ 0.10 กรัม

4. หาค่าเฉลี่ยความยาวดอกตูม การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรเปลือกดอกกรัก มีความยาวดอกดอกตูมดีที่สุดเท่ากับ 1.47 เซนติเมตร รองลงมา คือ สูตรเปลือกสับปะรด สูตรมูลสัตว์ สูตรกล้วยสุก และสูตรยอดพืชมีความยาวดอกตูมเท่ากับ 1.46, 1.44, 1.39 และ 1.36 เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งชุดควบคุมให้ความยาวดอกตูมน้อยที่สุดเท่ากับ 1.10 เซนติเมตร

5. จำนวนใบต่อต้น ทำการนับจำนวนใบทั้งหมดทุก ๆ 7 วันเป็นเวลา 12 สัปดาห์ การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืชมีจำนวนใบต่อต้นมากที่สุดเท่ากับ 40.92 ใบ รองลงมา คือ สูตรมูลสัตว์ สูตรเปลือกดอกกรัก ชุดควบคุม และสูตรกล้วยสุกมีจำนวนใบเท่ากับ 35.19, 33.83, 32.69 และ 30.67 ใบ ซึ่งการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรเปลือกสับปะรดมีจำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 28.28 ใบ



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 การเจริญเติบโตของต้นมะลิลาในสัปดาห์ที่ 1 (ก) และการเจริญเติบโตของต้นมะลิลาในสัปดาห์ที่ 12 (ข)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากของขยะอินทรีย์ในชุมชน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นมะลิลาพบว่า การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรมูลสัตว์มีความสูงต้น และการเจริญเติบโตดีที่สุด เนื่องจากมูลโคซึ่งมีธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับพืชคือ N (1.91 เปอร์เซ็นต์), P₂O₅ (0.56 เปอร์เซ็นต์) และ K₂O (1.40 เปอร์เซ็นต์) (บัญชา รัตนีพู, 2555) จึงทำให้น้ำหมักชีวภาพสูตรมูลสัตว์มีการเจริญเติบโตดีที่สุดเมื่อเทียบกับน้ำหมักชีวภาพสูตรอื่น ๆ น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืชมีผลต่อการ

ผลิตดอก และจำนวนใบ สอดคล้องกับ (Hopkins and Huner, 2004) ออกซินเป็นฮอร์โมนพืชตัวแรกที่ถูกค้นพบ ซึ่งจะพบในทุกส่วนของพืช โดยเฉพาะใน เนื้อเยื่อส่วนกำลังมีการเจริญเติบโต เช่น ส่วนของปลายยอด ปลายราก ตายอด และ เมล็ดที่กำลังงอก จึงมีการแตกใบ และแตกออกเพิ่มขึ้น

น้ำหมักชีวภาพแต่ละสูตรมีผลต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของมะลิลา แต่การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืชเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากให้ผลผลิตจำนวนดอก และจำนวนใบได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณงานวิจัยของคุณธนพร ขจรผล และคณะที่ทำให้มีแนวคิดในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ และ แม่ พี่ น้อง เพื่อน ๆ อาจารย์ในสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่กรุณาควบคุมการศึกษาตลอดจนให้แนวคิดคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2557). การใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องปลอดภัย. สืบค้นจาก <http://www.doae.go.th/library/html/detail/chemsafe/index.htm>

ไชยวัฒน์ ไชยสุต. (2553). ชุดหนังสือ น้ำหมักชีวภาพ. ปทุมธานี: ศูนย์หนังสือ สวทช. สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ.

ธนพร ขจรผล, เบญจมาพร สิมมา, วิมลนันท์ กันเกตุ และชลธิรา แสงศิริ. (2557). ผลของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเติบโตและผลผลิตของมะลิลา. วารสารวิชาการเกษตร (คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร).

บัญชา รัตนีพู. (2555). ปุ๋ยอินทรีย์กับการปรับปรุงดินเสื่อมสภาพ. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏวราชนครินทร์.

วิณรัตน์ มุลรัตน์, สมชาย ชดตระกูล, และอัญชลี จาละ. (ม.ป.ป). ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้ น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้. กรุงเทพฯ : ภาควิชา

เทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ. (ม.ป.ป). *การ
ปลูกมะลิ*. กองส่งเสริมพืชสวน กรมส่งเสริมการเกษตร.

องค์การบริหารส่วนตำบลบ้านแก่ง. (2559). ข้อมูล
สภาพทั่วไปของตำบลบ้านแก่ง อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์.
สืบค้นจาก <https://www.bankaenglocal.go.th>

Hopkins, W.G. and N.P.N Huner. 2004.
Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons,
Inc. 244 p

ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของต้นพุทปลูกต้นพุท (*Gardenia jasminoides*)

The efficacy of bio-fermented water on the growth of gardenia plants.

ทัตติยา บุญมี , สุวรรณิ ยุคันธร และ ชำมะเลียง เชาว์ธรรม

Thadtiya Bunmee , Suwannee Yukanthon and Chammaleng Chaothum

มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ 398 ม.9 ถ.สวรรค์วิถี ต. นครสวรรค์ตก อ. เมือง จ.นครสวรรค์ 60000

Nakhon Sawan Rajabhat University 398 Moo 9 Sawanwithi Road, Nakhon Sawan Tok Subdistrict, Mueang District,

Nakhon Sawan Province 60000

บทคัดย่อ

การศึกษารังนี้มุ่งประสงค์เพื่อศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นพุท ภายในพื้นที่ ตำบลหนองพยอม อำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร ระหว่างเดือนสิงหาคม - ตุลาคม พ.ศ. 2563 วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 6 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ได้แก่ 1) น้ำหมักชีวภาพสุตรกลีบบัว 2) น้ำหมักชีวภาพสุตรฟักทอง 3) น้ำหมักชีวภาพสุตรยอดพีช 4) น้ำหมักชีวภาพสุตรมะละกอ 5) น้ำหมักชีวภาพสุตรหยวกกล้วย 6) ชุดควบคุม ผลการศึกษาพบว่าน้ำหมักชีวภาพสุตรหยวกกล้วย ส่งผลให้ต้นพุทมีการเจริญเติบโตด้านความสูงมากที่สุดเท่ากับ 40.85 เซนติเมตร และน้ำหมักชีวภาพสุตรยอดพีชให้ดอกมากที่สุดตลอดระยะเวลา 4 เดือน เท่ากับ 87 ดอก ความยาวดอกตูมเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 เซนติเมตร น้ำหนักดอกสดเฉลี่ยเท่ากับ 0.56 กรัม จำนวนใบเฉลี่ยเท่ากับ 75.23 ใบต่อต้น

คำสำคัญ: ต้นพุท น้ำหมักชีวภาพ การเจริญเติบโต

Abstract

This study aimed to study the effect of bio-fermented juice on the growth and yield of gardenia trees in Nong Phayom Sub-district, Taphan Hin District. Pichit Province During August - October 2020. The randomized complete block design (RCBD) experiments were performed in 4 repetitions of 1) Bio-fermented juice from lotus petal, 2) Bio-fermented juice from pumpkin, 3) bio-fermented juice from vegetable shoots, 4) bio-fermented juice from papaya, 5) bio-fermented juice from banana stalk and 6) control group. The results showed that the bio-fermented juice from banana stalk affects on gardenia growth (40.85 centimeters), significantly. However, the bio-fermented juice from vegetable shoots exhibited the most flowering over the period of 4 months (87 flowers) with the average bud length of 0.29 centimeters, and the average fresh flower weight of 0.56 gram. The average number of leaves was 75.23 leaves per plant.

Keywords: bio-fermented gardenia the growth

1. บทนำ

ต้นพุด (*Gardenia jasminoides* Ellis.) เป็นพืชที่อยู่ในสกุล *Gardenia* มีอยู่ทั่วโลกประมาณ 140 ชนิดและเป็นพรรณไม้พื้นเมืองลักษณะเป็นไม้พุ่มเตี้ย ออกผลเป็นฝักรูปกระบอกแหลมโค้ง นิยมนำมาบูชาพระ ร้อยมาลัย และมีสรรพคุณทางยา คือ ลดไข้ ขับพยาธิ และแก้โรคผิวหนัง ทำให้มีความต้องการทางตลาดเป็นนออย่างมาก เกษตรกรส่วนใหญ่จึงนิยมใช้ปุ๋ยเคมีจำนวนมากเพื่อเพิ่มผลผลิตของดอกพุด แต่มากเกินไปความต้องการของต้นพุดจึงทำให้เกิดปัญหาดินเสื่อมสภาพจากสารเคมีตกค้าง และทำให้ต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น ถึงแม้สารเคมีจะมีประโยชน์ในการป้องกัน และกำจัดศัตรูพืชได้ผลอย่างรวดเร็วแต่ในขณะเดียวกัน สารเคมีก็มีอันตรายร้ายแรงหากใช้อย่างไม่ถูกวิธีปัญหาการใช้สารเคมีนับเป็นปัญหาที่สำคัญมากประการหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อมนุษย์ และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเกษตรกรนิยมนำมาใช้อย่างแพร่หลาย และมีแนวโน้มว่าจะใช้เพิ่มขึ้น

ดังนั้นการนำวัสดุที่เหลือใช้มาทำน้ำหมักชีวภาพเพื่อใช้ทดแทนสารเคมีเป็นการลดต้นทุนการผลิตในจังหวัดพิจิตร บางส่วนเป็นเกษตรกรที่ทำนาข้าวเป็นจำนวนมากซึ่งในนั้นคืออำเภอตะพานหิน จังหวัดพิจิตร เนื่องจากดอกบัวได้รับความนิยมนำไปบูชาพระ ดอกบัวถือเป็นดอกไม้ที่เราสามารถนำไปใช้เพื่อรักษาโรคและป้องกันโรคภัยต่าง ๆ ได้ทุกส่วนตั้งแต่ดอกบัว เมื่อบัว รากบัว ไหลบัว สายบัว ใบบัว เกสรบัว และตีบัว เพราะแต่ละส่วนของดอกบัวล้วนอุดมไปด้วยสารอาหารสำคัญอย่างเส้นใยอาหาร น้ำตาล วิตามินบี หลายชนิด เกลือแร่ต่าง ๆ คลอโรฟิลล์ แคลเซียม เหล็ก โซเดียม สังกะสี ได้ แต่จะมีบางส่วนที่ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ แต่ส่วนใหญ่จะนำมาใช้ในพิธีกรรมสำคัญต่าง ๆ และทำให้มีเศษเหลือของส่วนประกอบดอกบัวเป็นจำนวนมาก ส่งกลิ่นเหม็นเมื่อทิ้งไว้เป็นเวลานานหลายวันทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสิ่งมีชีวิตบริเวณใกล้เคียงอีก

ทั้งยังเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและพาหะนำโรค เช่น โรคท้องร่วง โรคตาแดง ผู้วิจัยซึ่งเป็นนักศึกษาศาสาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จึงมีแนวคิดที่จะนำเศษเหลือส่วนประกอบของดอกบัว ฟักทอง ยอดพืช มะละกอ และหยวกกล้วย มาทดลองทำน้ำหมักชีวภาพแบบฉีดพ่นให้พืช หรือราดลงดินร่วมกับพืชผักที่มีในท้องถิ่นเพื่อนำมาใช้กับต้นพุดเป็นการนำวัสดุเหลือจากชุมชนมาทำให้เกิดประโยชน์ และเป็นการลดของเสียภายในชุมชน และลดต้นทุนการผลิตของเกษตรกรอีกทั้งผลผลิตที่ได้ยังมีความปลอดภัยด้วย ตลอดจนเป็นแนวทางมุ่งสู่เกษตรอินทรีย์ที่เป็นทางเลือกสำคัญในการผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองตลาดในประเทศที่พัฒนาแล้วในอนาคต (พรรณนีย์, 2546) ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพสูตรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตของดอกพุดซึ่งสามารถนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านการผลิตได้ต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

น้ำหมักชีวภาพ (Bio-Extract) น้ำหมักชีวภาพ คือ การนำเอาพืช ผัก ผลไม้ สัตว์ชนิดต่าง ๆ มาหมักกับน้ำตาลทำให้เกิดจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จำนวนมากซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จะไปช่วยย่อยสลายธาตุอาหารต่าง ๆ ที่อยู่ในพืช มีคุณค่าในแร่ธาตุอาหารพืชเมื่อถูกย่อยสลาย โดยกระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรียหรือจุลินทรีย์สารต่าง ๆ จะถูกปลดปล่อยออกมา เช่น โปรตีน กรดอะมิโน กรดอินทรีย์ ธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง จุลธาตุ ฮอร์โมนเร่งการเจริญเติบโต วิตามิน ซึ่งพืชสามารถนำไปใช้ในการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในความเป็นจริงแล้ว น้ำหมักชีวภาพไม่ได้มีประโยชน์เฉพาะในด้านการทำการเกษตรแต่เพียงอย่างเดียว การเกษตรเป็นเพียงส่วนย่อยของสิ่งแวดล้อมเท่านั้น เราสามารถนำเอาน้ำหมักชีวภาพไปดับกลิ่นเหม็นต่าง ๆ ไปปรับสภาพในแม่น้ำลำคลองหรือปรับสภาพแวดล้อมได้อีกมากมาย (สุภารัตน์ เสาวโค, 2550)

บัวหลวงเป็นพืชน้ำ ที่จัดเป็นไม้ดอกในเขตร้อนของทวีปเอเชีย มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nelumbo nucifera* Gaertn. จัดอยู่ในวงศ์ Nelumbonaceae มีชื่อสามัญ Lotus, Sacred lotus, East Indian lotus มีชื่อเรียกแตกต่างกันไปตามท้องถิ่น เช่น บุนนทริก บุนนทริก ปทุม ปัทมา สัตตบุษย์บัวฉัตรขาว สัตตบงกช บัวฉัตรชมพู เป็นต้น (จันทรวรรณ แสงแขและเพชรรัตน์ตรงต่อศักดิ์, 2548)

บัวหลวงมีลักษณะทางพฤกษศาสตร์ คือ ลำต้น มีทั้งเป็นเหง้าอยู่ในดิน และเป็นไหลอยู่เหนือดินใต้น้ำ ลักษณะของเหง้าเป็นท่อนยาว มีปล้องสีเหลืองอ่อนจนถึงสีเหลือง มีความแข็งแรงน้อย หากตัดตามขวางจะเห็นเป็นรูปกลม ๆ อยู่หลายรูป โดยส่วนของไหลจะเป็นส่วนเจริญไปเป็นต้นใหม่ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในดินเหนียว ในระดับน้ำ ลึก 30-50 เซนติเมตร และสามารถขยายพันธุ์ด้วยวิธีการใช้เมล็ดหรือวิธีการแยกไหล (สุดารัตน์ ทอมหวล, ม.ป.ป.)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากของเสียชีวภาพเหลือใช้ภายในชุมชนและขยะอินทรีย์ในชุมชน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นพุด วางแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 6 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ ประกอบด้วยสูตรน้ำหมักชีวภาพดังนี้

- สูตรที่ 1 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรกลีบบัว
- สูตรที่ 2 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรมะละกอสุก
- สูตรที่ 3 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืช
- สูตรที่ 4 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรฟักทอง
- สูตรที่ 5 คือ น้ำหมักชีวภาพสูตรหยวกกล้วย
- สูตรที่ 6 คือ ชุดควบคุม

ทำการทดลองระหว่างเดือนสิงหาคม - เดือนตุลาคม พ.ศ. 2563 เป็นระยะเวลา 12 สัปดาห์

3.1 การปลูกและการดูแลรักษาต้นพุดทำการจัดหาพันธุ์ต้นพุด จำนวน 40 ต้น นำต้นพุดลงในกระถางที่จัดเตรียมไว้สำหรับปลูกต้นพุดครั้งนี้จำนวน 1,000 มิลลิลิตร/หลุม วันละสองครั้ง เข้าเวลา 08.00 น. และเย็นเวลา 17.00 เป็นเวลา 3 เดือน



3.2 การทำน้ำหมักชีวภาพจากของเหลือในชุมชน นำกลีบดอกบัว ฟักทอง ยอดพืช มะละกอ หยวกกล้วย มาล้างด้วยน้ำเปล่าเพื่อชะล้างยางหรือสิ่งสกปรกออก นำมาหั่นขนาด 3 เซนติเมตร แบ่งออกเป็น 5 ถัง ดังนี้

- ถังที่ 1 กลีบดอกบัว 3 กิโลกรัม สับปะรด 500 กรัม หัวเชื้ออีเอ็ม 200 กรัม พด.2 25 กรัม น้ำเปล่า 10 ลิตร
 - ถังที่ 2 ฟักทอง 3 กิโลกรัม สับปะรด 500 กรัม หัวเชื้ออีเอ็ม 200 กรัม พด.2 25 กรัม น้ำเปล่า 10 ลิตร
 - ถังที่ 3 ยอดพืช 3 กิโลกรัม สับปะรด 500 กรัม หัวเชื้ออีเอ็ม 200 กรัม พด.2 25 กรัม น้ำเปล่า 10 ลิตร
 - ถังที่ 4 มะละกอ 3 กิโลกรัม สับปะรด 500 กรัม หัวเชื้ออีเอ็ม 200 กรัม พด.2 25 กรัม น้ำเปล่า 10 ลิตร
 - ถังที่ 5 หยวกกล้วย 3 กิโลกรัม สับปะรด 500 กรัม หัวเชื้ออีเอ็ม 200 กรัม พด.2 25 กรัม น้ำเปล่า 10 ลิตร
- แต่ละถังของปุ๋ยหมักให้นำวัสดุผสมให้เข้ากันและปิดฝาภาชนะให้สนิท ทำการคนหรือเขย่าภาชนะที่หมัก ทุก 7 วัน พร้อมกับเปิดฝาลงวันละ 2 ครั้ง เข้าเย็น เป็นเวลา 6 สัปดาห์



3.3 การบันทึกข้อมูลและวิเคราะห์ผล บันทึกผลการทดลองด้านการเติบโตและผลผลิตดอกพุดดังต่อไปนี้

3.3.1 วัดจากความสูงต้น (เซนติเมตร) โดยวัดจากโคนต้นจนถึงปลายยอดทุก ๆ 7 วันเป็นเวลา 12 สัปดาห์

3.3.2 จำนวนดอกต่อต้น เก็บ และนับจำนวนดอกทั้งหมดต่อต้นโดยเก็บทุกวันเป็นเวลา 12 สัปดาห์

3.3.3 หาค่าเฉลี่ยน้ำหนักดอกตูม (กรัม)

ตามลำดับ ซึ่งชุดควบคุมมีความสูงน้อยที่สุดเท่ากับ 27.81 เซนติเมตร สอดคล้องกับ นิรนาม (2546) ที่รายงานว่าการที่เกษตรกรนำน้ำหมักชีวภาพฉีดพ่นให้แก่พืช พืชจะได้รับทั้งสารอาหาร สารควบคุมการเจริญเติบโต และธาตุอาหาร โดยเฉพาะธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมพร้อม ๆ กัน ซึ่งมีผลช่วยส่งเสริมในด้านการเจริญเติบโตให้แก่พืชมากกว่าการได้รับสารอาหารสารควบคุมการเจริญเติบโต หรือธาตุอาหารเพียงอย่างเดียว

2. จำนวนดอกต่อต้น (4 เดือน)

จำนวนดอกของต้นพุดที่มีการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืชให้จำนวนดอกมากที่สุดเท่ากับ 87 ดอก รองลงมา คือ การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรกลีบบัว สูตรฟักทอง สูตรมะละกอ สูตรหยวกกล้วยมีจำนวนดอกเท่ากับ 75.00,57.00,42.00,28.00 ชุดควบคุมให้จำนวนดอกน้อยที่สุดเท่ากับ 26.00 ดอก ซึ่ง Hopkins and Huner (2004) ตัวเล็ก กล่าวไว้ เนื่องจากในยอดพืชและพืชใบแก่จะพบสารควบคุมการเจริญเติบโต (ออกซิเจน) ชนิดหนึ่งซึ่งสร้างขึ้นเองโดยธรรมชาติ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตของพืชในหลายด้าน เช่นควบคุมการขยายเซลล์ การยึดตัวของเซลล์ ส่งเสริมดอก เพิ่มการติดผล

3.3.4 หาค่าเฉลี่ยความยาวดอกตูม (เซนติเมตร)

3.3.5 จำนวนใบต่อต้น ทำการนับจำนวนใบทั้งหมดทุก ๆ 7 วันเป็นเวลา 12 สัปดาห์

4. ผลการวิจัย

1. ความสูงของต้นพุด

การเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นพุดตั้งแต่โคนต้นจนถึงปลายยอด พบว่าต้นพุดที่พ่นด้วยน้ำหมักชีวภาพสูตรหยวกกล้วยมีความสูงมากที่สุดเท่ากับ 40.85 เซนติเมตร รองลงมาคือ น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืช น้ำหมักชีวภาพสูตรมะละกอ น้ำหมักชีวภาพสูตรฟักทอง น้ำหมักชีวภาพสูตรกลีบบัว และชุดควบคุมมีความสูงเท่ากับ 36.74,35.72,35.66 และ 34.68 เซนติเมตร

3. ค่าเฉลี่ยน้ำหนักดอก

การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืชมีการเพิ่มน้ำหนักเฉลี่ยต่อดอกดีที่สุดเท่ากับ 0.56 กรัม รองลงมา คือ การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรกลีบบัว สูตรฟักทอง สูตรมะละกอ สูตรหยวกกล้วย มีค่าน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 0.49,0.37,0.28,0.22 กรัม และการใช้ชุดควบคุมมีการเพิ่มน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 0.18 กรัม

4. ความยาวดอกตูม

การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืชให้ความยาวดอกตูมดีที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 เซนติเมตร รองลงมา คือ สูตรหยวกกล้วย มีความยาวดอกตูมเฉลี่ยเท่ากับ 0.29 เซนติเมตร และการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรกลีบบัว สูตรฟักทอง สูตรมะละกอ ชุดควบคุมให้ความยาวดอกตูมน้อยที่สุดเท่ากัน คือ 0.27 เซนติเมตร

5. จำนวนใบ

การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพืชให้จำนวนใบมากที่สุดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 75.23 ใบ รองลงมา คือ สูตรมะละกอ สูตรฟักทอง สูตรหยวกกล้วย สูตรกลีบบัว มีจำนวนเฉลี่ยต่อต้นเท่ากับ 74.08,66.17,65.31,65.08 ใบ และการใช้ชุดควบคุมมีการเพิ่มจำนวนใบน้อยที่สุดเท่ากับ 53.79 ใบ

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

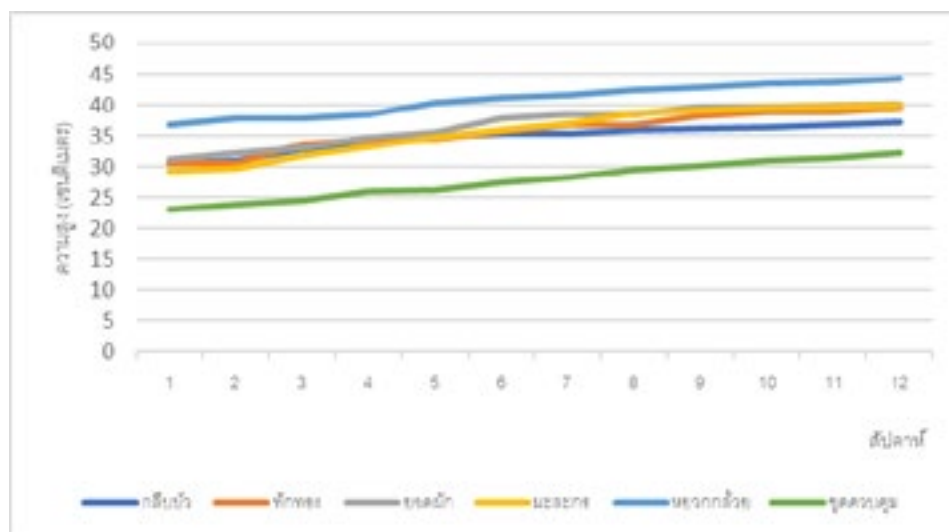
จากการศึกษาผลของน้ำหมักชีวภาพจากของขยะอินทรีย์ในชุมชน ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นมะลิ พบว่าการใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพีชมีความสูงต้น และการเจริญเติบโตดีที่สุด น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพีชมีผลต่อการผลิตดอก และจำนวนใบ สอดคล้องกับ (Hopkins and Huner, 2004) ออกซินเป็นฮอร์โมนพืชตัวแรกที่ถูกค้นพบ ซึ่งจะพบในทุกส่วนของพืช โดยเฉพาะใน เนื้อเยื่อส่วนกำลังมีการเจริญเติบโต

ส่วนของปลายยอด ปลายราก ตายอด และเมล็ดที่กำลังงอก จึงมีการแตกใบ และแตกออกเพิ่มขึ้น

น้ำหมักชีวภาพทุกสูตรมีผลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของต้นพุท แต่การใช้น้ำหมักชีวภาพสูตรยอดพีชเหมาะสมที่สุดกับต้นพุทเนื่องจากให้ความสูง จำนวนดอก น้ำหนักดอก ความยาวดอกตูม และจำนวนใบ จำนวนใบในสัปดาห์สุดท้ายของการทดลองอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ส่งผลให้มีจำนวนใบต่อต้นเพิ่มขึ้น และทำให้ผลผลิตดอกมากที่สุดเมื่อเทียบกับกรรมวิธีอื่น ๆ

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโตของต้นพุทเมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพตลอด 12 สัปดาห์

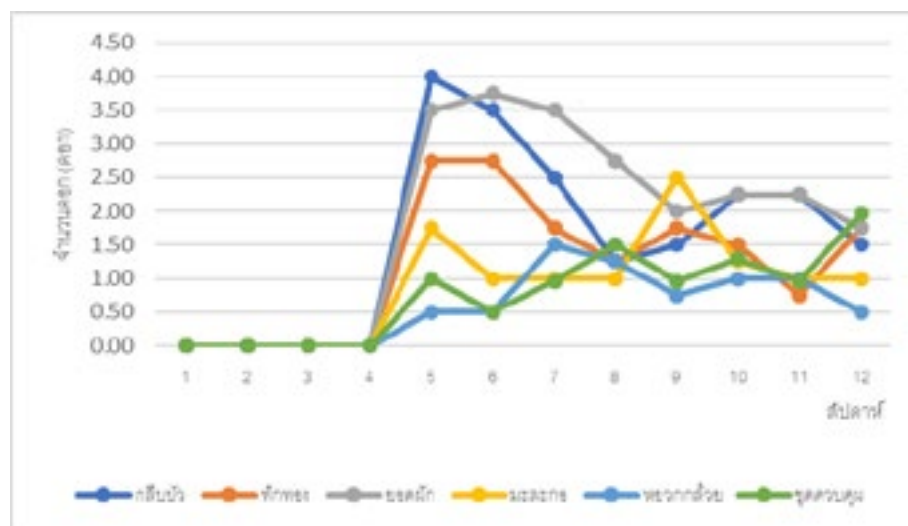
สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
กลีบบัว	30.63	31	32.75	33.5	35	35.25	35.25	36	36.25	36.45	36.78	37.25
ฟักทอง	30.5	30.5	33.75	34.25	34.5	35.75	36.75	36.75	38.17	38.77	38.87	39.4
ยอดผัก	31.15	32.25	33	34.75	35.5	37.75	38.5	38.5	39.78	39.75	39.9	40.05
มะละกอ	29.25	29.75	31.75	33.25	34.75	36	37	38.75	39	39.5	39.68	39.93
หยวกกล้วย	36.75	37.75	37.75	38.5	40.25	41.25	41.5	42.5	42.73	43.38	43.6	44.25
ชุดควบคุม	23	24	24.5	26	26.25	27.5	28.25	29.5	30.1	30.88	31.45	32.3



รูปที่ 1 กราฟแสดงการเจริญเติบโตของต้นพุทตั้งแต่โคนต้นจนถึงปลายยอด

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยจำนวนดอกของต้นพุทเมื่อได้รับน้ำหมักตลอด 12 สัปดาห์

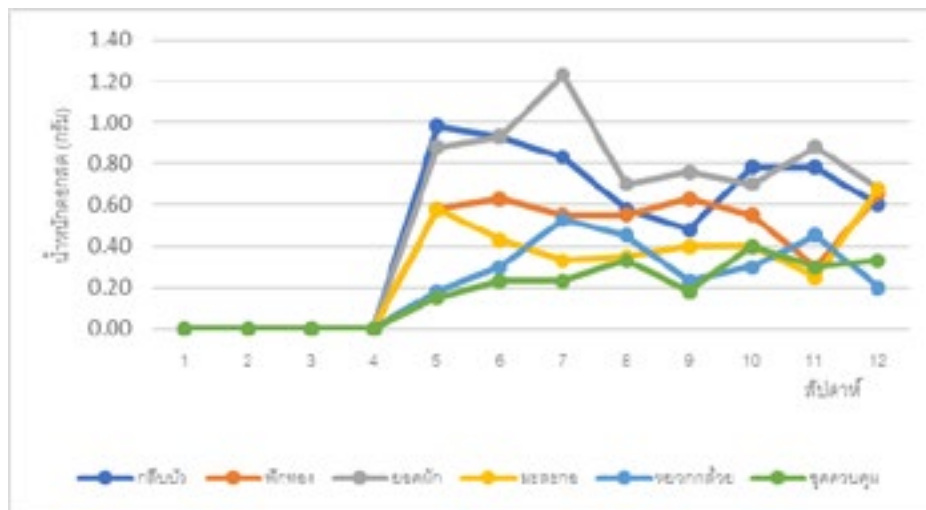
สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
กลีบบัว	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00	3.50	2.50	1.25	1.50	2.25	2.25	1.50
ฟักทอง	0.00	0.00	0.00	0.00	2.75	2.75	1.75	1.25	1.75	1.50	0.75	1.75
ยอดผัก	0.00	0.00	0.00	0.00	3.50	3.75	3.50	2.75	2.00	2.25	2.25	1.75
มะละกอ	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	1.00	1.00	1.00	2.50	1.25	1.00	1.00
หยวกกล้วย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.50	1.50	1.25	0.75	1.00	1.00	0.50
ชุดควบคุม	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.50	0.96	1.50	0.96	1.29	0.96	1.96



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของจำนวนดอกของต้นพุทตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์

ตารางที่ 3 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยของน้ำหนักดอกพุทเมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพ

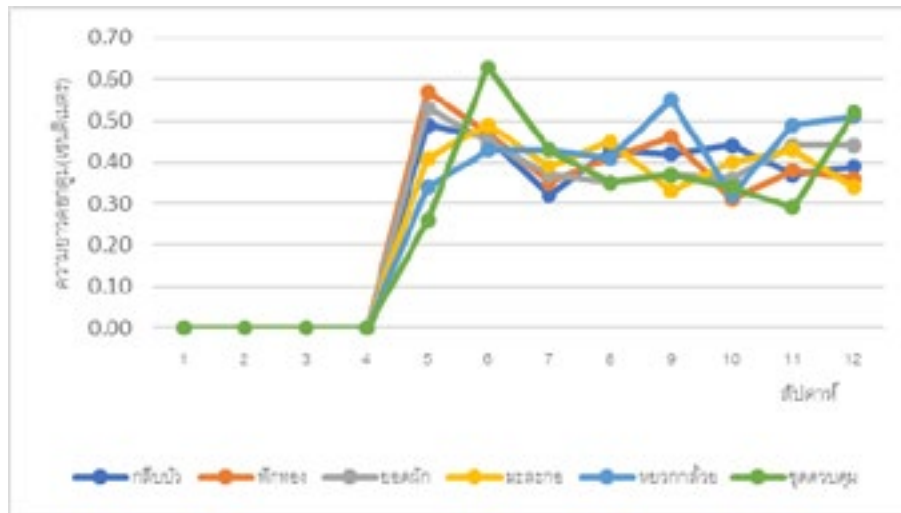
สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
กลีบบัว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.98	0.93	0.83	0.58	0.48	0.78	0.78	0.60
ฟักทอง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.63	0.55	0.55	0.63	0.55	0.30	0.65
ยอดผัก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.88	0.93	1.23	0.70	0.76	0.70	0.88	0.68
มะละกอ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.43	0.33	0.35	0.40	0.40	0.25	0.68
หยวกกล้วย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.30	0.53	0.45	0.23	0.30	0.45	0.20
ชุดควบคุม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.23	0.23	0.33	0.18	0.40	0.30	0.33



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของน้ำที่รดรดของน้ำหนักดอกพุดตลอด 12 สัปดาห์

ตารางที่ 4 ตารางค่าเฉลี่ยความยาวดอกตูมตั้งแต่โคนดอกจนถึงปลายดอก

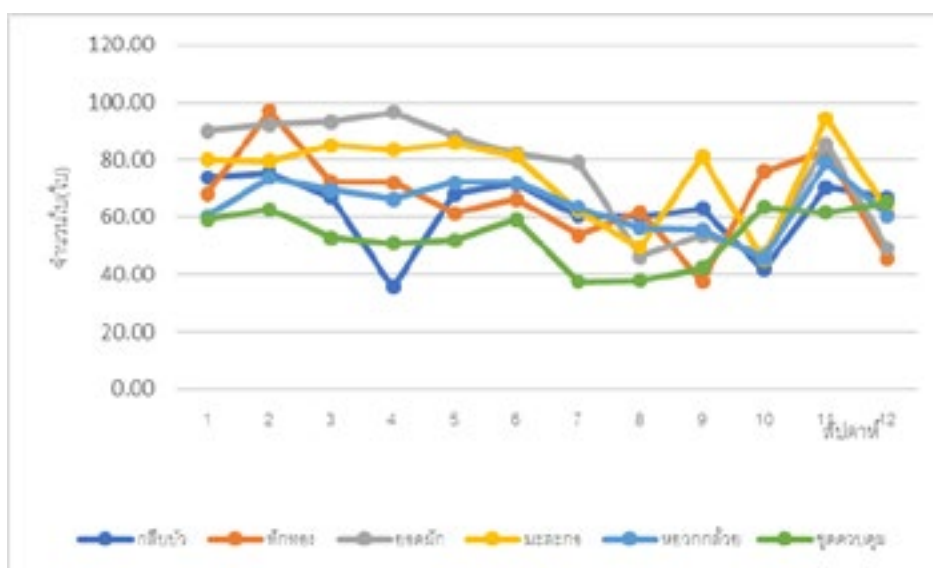
สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
กลีบบัว	0.00	0.00	0.00	0.00	0.49	0.46	0.32	0.43	0.42	0.44	0.37	0.39
ฟักทอง	0.00	0.00	0.00	0.00	0.57	0.47	0.35	0.41	0.46	0.31	0.38	0.36
ยอดผัก	0.00	0.00	0.00	0.00	0.53	0.45	0.37	0.35	0.37	0.36	0.44	0.44
มะละกอ	0.00	0.00	0.00	0.00	0.41	0.49	0.39	0.45	0.33	0.40	0.43	0.34
หยวกกล้วย	0.00	0.00	0.00	0.00	0.34	0.43	0.43	0.41	0.55	0.32	0.49	0.51
ชูดควมคุม	0.00	0.00	0.00	0.00	0.26	0.63	0.43	0.35	0.37	0.34	0.29	0.52



รูปที่ 4 กราฟแสดงความยาวดอกตูมของต้นพืชเมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพตลอด 12 สัปดาห์

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยจำนวนใบของต้นพืชเมื่อได้รับน้ำหมักชีวภาพตลอดระยะเวลา 12 สัปดาห์

สัปดาห์ที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
กลีบบัว	74.00	75.50	67.00	35.50	68.00	71.75	60.25	60.25	63.00	41.75	70.25	66.75
ฟักทอง	68.00	97.00	72.25	72.00	61.25	66.25	53.75	61.75	37.50	76.00	82.75	45.50
ยอดผัก	90.00	92.25	93.25	96.50	88.25	82.25	79.00	46.00	53.75	47.00	85.50	49.00
มะละกอ	80.00	79.50	85.00	83.50	85.75	81.25	62.00	49.50	81.00	45.25	94.50	61.75
หยวกกล้วย	60.50	73.75	69.50	66.25	72.00	72.00	63.25	56.25	55.50	45.75	79.00	60.50
ชูดควมคุม	59.00	62.75	52.75	50.75	52.00	59.00	37.25	37.75	42.25	63.25	61.50	65.25



รูปที่ 5 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของจำนวนใบของต้นพืชตลอด 12 สัปดาห์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณงานวิจัยของคุณธนพร ขจรผล และคณะที่ทำให้มีแนวคิดในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ และ แม่ พี่ น้อง เพื่อน ๆ อาจารย์ในสาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่กรุณาควบคุมการศึกษาตลอดจนให้แนวคิดคำแนะนำในการดำเนินงานวิจัย รวมถึงแก้ไขปัญหาต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำวิจัยในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

ฉัตรนาม. 2546. ฮอโมนพืช และธาตุอาหารพืชในน้ำหมักชีวภาพ. กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 260 หน้า.

_____. 2542. อิทธิพลของสารเคมีต่อการออกดอกของมะลิลาในฤดูหนาว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 134 หน้า.

พรรณนีย์วิชชาชู. 2546. น้ำหมักชีวภาพใช้แล้วพืชโตได้ดีจริงหรือ?. จดหมายข่าวผลิตใบ. 16 หน้า

ธนพร ขจรผล, เบญจมาพร สิมมา, วิมลนันท์ กันเกต และชลธิรา แสงศิริ. (2557). ผลของปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพที่มีผลต่อการเติบโตและผลผลิตของมะลิลา. วารสารวิชาการเกษตร (คณะทรัพยากรธรรมชาติและอุตสาหกรรมเกษตร).

วิณรัตน์ มุลรัตน์, สมชาย ชคตระการ และอัญชลีจาละ. ไม่ระบุปี. ประสิทธิภาพของน้ำหมักชีวภาพจากเศษปลาที่ใช้น้ำกากส่าเหล้าทดแทนกากน้ำตาลต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของผักกวางตุ้งฮ่องเต้. ภาควิชาเทคโนโลยีการเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ. 70 น

กรมส่งเสริมการเกษตรกระทรวงเกษตรและสหกรณ์(2557). การใช้สารกำจัดศัตรูพืชอย่างถูกต้องปลอดภัย. สืบค้นจาก <http://www.doae.go.th/library/html/detail/chemsafe/index.htm>

Hopkins, W.G. and N.P.N. Huner. 2004. Introduction to plant physiology. John Wiley & Sons, Inc. 244 p.

การพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติด : กรณีศึกษา สถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ A Forecasting Number of Drug Cases: Case Study Maejo Police Station Chiang Mai Province

จิรวรรณ แซ่เล่า* และ วิศรุต วาจาชื่น
Jeerawan Saelao* and Witsarut Wachachuen

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ หนองหาร สันทราย เชียงใหม่ 50290
Division of Mathematics, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, 50290, Thailand
*jeerawan_s@mju.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดของสถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ โดยใช้ข้อมูลสถิติรายเดือนของจำนวนคดียาเสพติด จำนวน 53 ค่า (พฤษภาคม พ.ศ. 2559 – กันยายน พ.ศ. 2563) สำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วย 3 วิธีการเปรียบเทียบกัน ได้แก่ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล และวิธีปรับให้เรียบของโฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวก และใช้ข้อมูลสถิติรายเดือนของจำนวนคดียาเสพติด จำนวน 5 ค่า (ตุลาคม พ.ศ. 2563 – กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2564) สำหรับวัดประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ จากผลการวิจัยพบว่าการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดของสถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ มีค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เท่ากับ 29.99 วิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลเท่ากับ 31.02 และวิธีปรับให้เรียบของโฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวกเท่ากับ 34.04 ซึ่งทั้งสามวิธีอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม และสามารถนำผลการพยากรณ์ที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผน และจัดเตรียมกำลังตำรวจในการจับกุมคดียาเสพติดของพื้นที่ดังกล่าว

คำสำคัญ : การพยากรณ์ จำนวนคดียาเสพติด วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล วิธีปรับให้เรียบของโฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวก

Abstract

This research aims to forecast the number of drug cases of MaeJo Police Station in Chiangmai. The monthly statistics of the number of drug cases. 53 values (May 2016 – September 2020) for creating a forecasting model by 3 methods follow as moving average method, Smoothing exponential method and with a Holt-Winters' Additive Seasonal method respectively. The monthly statistics on the number of drug cases. 5 values (October 2020 – February 2021) for measuring the performance of forecast subjects by calculating the average of absolute error percentages. According to the findings, the number of drug cases of Maejo Police Station was predicted. The minimum average absolute error percentage of moving average method is equal 29.09 %, Smoothing exponential Method equal 31.02% and Holt-Winters' Additive Seasonal method equal to 34.04 % which all of method are

appropriate and the forecast results can be used as a guide to planning and equip police forces to arrest drug cases in the area.

Keywords: Forecasting, The number of drug cases, Moving average method, Smoothing exponential Method, Holt-Winters' additive seasonal smoothing method

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันในเขตพื้นที่รับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ มีจำนวนคดียาเสพติดเป็นจำนวนมากขึ้น เพื่อเป็นการวางแผนการจัดเตรียมกำลังตำรวจในการควบคุมดูแลไม่ให้เกิดการกระทำความผิดประเภทยาเสพติดขึ้น จึงต้องมีการนำการพยากรณ์เข้ามาช่วย ผู้วิจัยจึงได้มีการรวบรวมข้อมูลจำนวนคดียาเสพติดรายเดือนในเขตพื้นที่รับผิดชอบของสถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคม 2559 จนถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2564 และนำข้อมูลมาทำการวิเคราะห์ส่วนประกอบของอนุกรมเวลาพบว่าข้อมูลดังกล่าวเป็นข้อมูลที่มีอิทธิพลของแนวโน้ม และอิทธิพลของฤดูกาลที่ไม่เพิ่มขึ้นตามเวลา และในปัจจุบันได้มีงานวิจัยที่ใช้ศึกษาเกี่ยวกับวิธีการพยากรณ์แบบอนุกรมเวลาหลายงานวิจัย อาทิ เช่น งานวิจัยของสมรวย อภิชาติบุตรพงศ์ (2558) ได้พัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการจับกุมคดียาเสพติดและพยากรณ์ปริมาณการจับกุมยาเสพติดในพ.ศ. 2558 ผลการวิจัยพบว่าการพัฒนาตัวแบบการพยากรณ์ปริมาณการจับกุมคดียาเสพติด ด้วยวิธีอนุกรมเวลาแบบแยกส่วน เป็นวิธีสร้างตัวแบบที่เหมาะสมที่สุด ชม ปานตา และยุภาวดี สำราญฤทธิ์ (2560) ได้ศึกษาการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์ โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ทางสถิติหลายวิธี ผลการพยากรณ์แสดงให้เห็นว่าวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์แบบคูณ ที่กำหนดค่า $\alpha = 0.429$ $\beta = 0$ และ $\gamma = 0.001$ ให้ค่าคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยหรือ MSE เท่ากับ 3227.13 ซึ่งมีค่าต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับการพยากรณ์แบบแยกส่วนประกอบ และแบบบ็อกซ์-เจนกินส์ เฉลิมชาติ ธีระวิริยะ (2561) ได้ทำการเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์สำหรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในจังหวัดนครพนม ผลการพยากรณ์โดยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ เมื่อใช้โปรแกรม Minitab 16 ในการคำนวณที่กำหนดค่า $\alpha = 0.5$

$\beta = 0.2$ และ $\gamma = 0$ ได้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ หรือ MAPE เท่ากับ 3 % จารุเดช โตจำศิลป์ และสิทธิพร พิมพ์สกุล (2561) ได้สร้างตัวแบบการพยากรณ์เพื่อการวางแผนการสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้าด้วยเทคนิคการปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียล ผลการวิจัยโดยวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ มีเปอร์เซ็นต์ค่าเฉลี่ยความแม่นยำของการพยากรณ์สินค้าล่วงหน้าอยู่ในช่วง 71%-88% ซึ่งเปอร์เซ็นต์ความแม่นยำอยู่ในโซน Parity (60-90%) หมายความว่าความแม่นยำของการพยากรณ์อยู่ในระดับที่แข่งขันกับบริษัทอื่นๆ ได้ ศิริลักษณ์ หล่อพันธ์มณีและคณะ (2562) ได้ทำการศึกษา รูปแบบของการกระทำความผิดของเด็กและเยาวชน เพื่อคาดการณ์การกระทำความผิดซ้ำของเด็กและเยาวชน โดยการประยุกต์ใช้อัลกอริธึมปัญญาประดิษฐ์ (AI : Artificial Intelligence) ผลการวิจัยพบว่าการพยากรณ์มีปัจจัย 6 สาเหตุที่มีผลต่อการกระทำความผิดของเด็กและเยาวชน และผลการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริธึมมีดังนี้ ค่าความถูกต้องคิดเป็นร้อยละ 97.80 ค่าความแม่นยำ คิดเป็นร้อยละ 97.80 และค่าความระลึก คิดเป็นร้อยละ 100 จากที่กล่าวมาข้างต้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์ที่จะศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดจำนวน 3 วิธี ได้แก่ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีการปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล และวิธีปรับเรียบของโฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวก มาช่วยในการสร้างตัวแบบพยากรณ์ และวัดประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ จากนั้นนำวิธีการที่ให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดมาทำการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดของสถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ล่วงหน้าแบบระยะปานกลาง 5 เดือน เพื่อใช้ในการวางแผนการจัดเตรียมกำลังตำรวจในการควบคุมดูแลไม่ให้เกิดการกระทำความผิดประเภทยาเสพติดขึ้นต่อไปในอนาคต

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method)

เป็นวิธีการที่ใช้หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาที่กำหนดโดยนำชุดข้อมูลล่าสุดแทนที่ชุดข้อมูลเก่าที่สุดแล้วทำการหาค่าเฉลี่ยใหม่ในแต่ละช่วง ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถใช้งานได้ง่ายและเหมาะกับการพยากรณ์ระยะสั้นถึงปานกลาง โดยมีสมการที่ใช้คำนวณ ดังนี้ (ซัชชญา เสริมพงษ์พันธ์, 2560)

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^n A_{t-i}}{n} \quad (1)$$

โดยที่ t แทน ช่วงเวลา

n แทน จำนวนข้อมูลที่จะคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

A_{t-i} แทน ค่าจริงในช่วงเวลา $t-i$

F_t แทน ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลา t

2.2 วิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential Smoothing Method)

เป็นวิธีการปรับข้อมูลอนุกรมเวลาโดยใช้สัมประสิทธิ์การปรับเรียบ (α) ในการให้ความสำคัญของข้อมูลแบบเอกซ์โปเนนเชียล ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือใช้ข้อมูลน้อยและเป็นวิธีการที่นิยมมากอีกวิธีหนึ่งในปัจจุบันในการพยากรณ์ระยะสั้นถึงปานกลาง โดยมีสมการที่ใช้คำนวณ ดังนี้ (ปิยมาส กล้าแข็ง)

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (2)$$

โดยที่ F_t แทน ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลา t

F_{t-1} แทน ค่าพยากรณ์ในช่วงเวลา $t-1$

A_{t-1} แทน ค่าจริงในช่วงเวลา $t-1$

α มีค่าเท่ากับ $0 \leq \alpha \leq 1$

2.3 วิธีปรับให้เรียบของโฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวก (Holt-Winters' Additive Seasonal Smoothing)

วิธีปรับให้เรียบของโฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวกหรือเรียกอีกแบบว่า วิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลแบบโฮลท์และวินเทอร์ หรือวิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลสามครั้ง (Triple Exponential Smoothing) วิธีนี้เป็นวิธีการพยากรณ์ที่เหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีอิทธิพลของแนวโน้ม และอิทธิพลของฤดูกาลที่ไม่เพิ่มขึ้นตามเวลา ใช้พยากรณ์ระยะสั้นถึงปานกลาง ข้อมูลควรอยู่ในรูปรายเดือน ราย สัปดาห์หรือรายวัน ถ้าเป็นข้อมูลรายเดือนต้องมีข้อมูลอย่างน้อย 36 ค่าขึ้นไป โดยมีสมการที่เกี่ยวข้องดังนี้

ระดับหรือฐานปัจจุบันของอนุกรม

$$L_t = \alpha(D_t S_{t-p}) + (1-\alpha)(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (3)$$

องค์ประกอบแนวโน้ม

$$T_t = \beta(L_t - L_{t-1}) + (1-\beta)T_{t-1} \quad (4)$$

องค์ประกอบฤดูกาล

$$S_t = \gamma(D_t - L_t) + (1+\gamma)S_{t-1} \quad (5)$$

สมการในการพยากรณ์ คือ

$$F_{t+n} = (L_t + nT_t)S_{t-p} \quad (6)$$

โดยให้ F_{t+n} คือ ค่าพยากรณ์ ณ เวลา $t+n$

L_t คือ ค่าระดับหรือฐานของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

T_t คือ ค่าแนวโน้มของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

S_t คือ ค่าฤดูกาลของอนุกรมเวลา ณ เวลา t

D_t คือ ค่าอุปสงค์ ณ เวลา t

α คือ ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างข้อมูลกับค่าพยากรณ์มีค่าระหว่าง 0-1

β คือ ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างแนวโน้มจริงกับค่าประมาณแนวโน้ม มีค่าระหว่าง 0-1

γ คือ ค่าคงที่ที่ทำให้เรียบระหว่างค่าฤดูกาลจริงกับค่าประมาณฤดูกาล มีค่าระหว่าง 0-1

p คือ จำนวนฤดูกาลในอนุกรมเวลา เช่น ฤดูกาลสำหรับ 1 ปีอาจเป็นเดือน ($p = 12$) หรือสัปดาห์ ($p = 52$) เป็นต้น

n คือ ช่วงเวลาที่ต้องการพยากรณ์

2.4 การวัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (Forecasting Error)

วิธีที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์จะอาศัยหลักการง่ายๆ คือการเปรียบเทียบระหว่างค่า พยากรณ์ที่คำนวณได้กับข้อมูลจริงในช่วงเวลา t หากค่า พยากรณ์มีค่าคลาดเคลื่อนมาก อาจหมายถึงวิธีการที่ใช้ยังไม่เหมาะสม หรืออาจจำเป็นต้องเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์บางค่าให้เหมาะสม งานวิจัยนี้จะใช้วิธีวัดความคลาดเคลื่อนด้วยวิธีคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE)

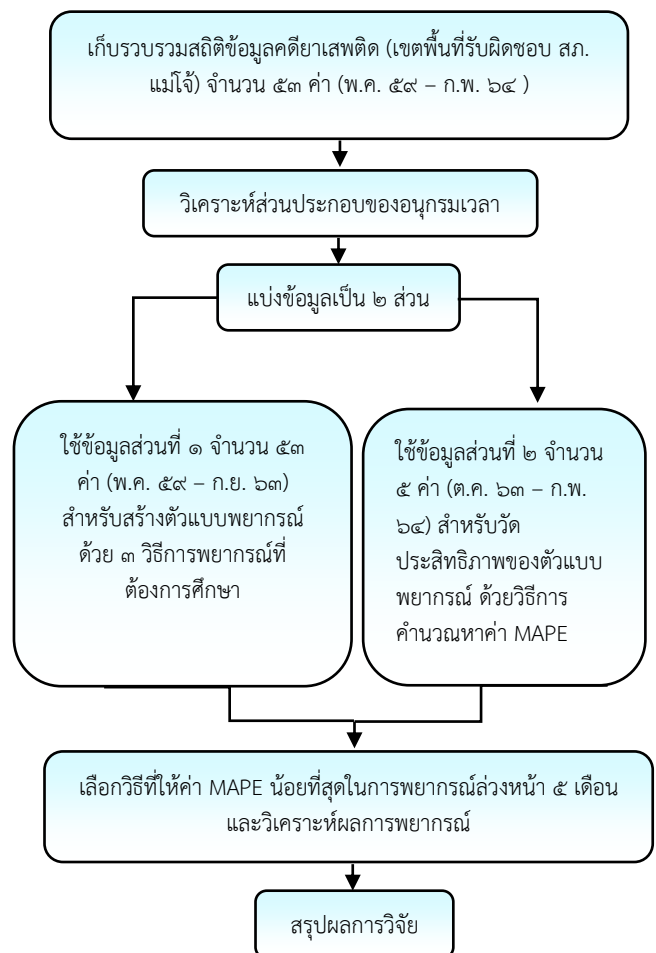
$$MAPE = \left[\frac{\sum \left| \frac{\text{ค่าจริง} - \text{ค่าพยากรณ์}}{\text{ค่าจริง}} \right|}{\text{จำนวนข้อมูล}} \right] \times 100$$

โดยเกณฑ์ของ Lewis, C.D. (1982) กล่าวว่า ถ้าค่า MAPE มีค่าน้อย หมายความว่า การพยากรณ์มีความแม่นยำสูง ซึ่งมีเกณฑ์ในการเปรียบเทียบค่า MAPE คือ $MAPE < 10\%$ ถือว่า การพยากรณ์นั้นมีความแม่นยำ มาก $MAPE = 10-20\%$ ถือว่า การพยากรณ์นั้นดี $MAPE = 20-50\%$ ถือว่า การพยากรณ์นั้นใช้ได้ $MAPE > 50\%$ ถือว่า การพยากรณ์นั้นไม่มีความแม่นยำ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดของสถานีตำรวจภูธรแม่ใจ จังหวัดเชียงใหม่ โดยมีการรวบรวมข้อมูลของจำนวนคดียาเสพติดรายเดือน ทั้งหมดจำนวน 58 ค่า (พฤษภาคม 2559 - กุมภาพันธ์ 2564) และนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบของอนุกรมเวลาทำให้ทราบว่า ข้อมูลนี้เป็นข้อมูลที่อิทธิพลของแนวโน้ม และอิทธิพลของฤดูกาลที่ไม่เพิ่มขึ้นตามเวลา จากนั้นจึงมีการแบ่งข้อมูลเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ 1 จำนวน 53 ค่า (พฤษภาคม 2559 - กันยายน 2563) ใช้สำหรับสร้างตัวแบบพยากรณ์ด้วยวิธีการพยากรณ์ 3 วิธี ได้แก่ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 6 เดือน วิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลโดยใช้สัมประสิทธิ์การปรับเรียบ $\alpha = 0.4$ และวิธีปรับให้เรียบของโฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวกโดยใช้ $\alpha = 0.13$, $\beta = 1$, $\gamma = 1$ และส่วนที่ 2 จำนวน 5 ค่า (ตุลาคม 2563 - กุมภาพันธ์ 2564) ใช้สำหรับวัด

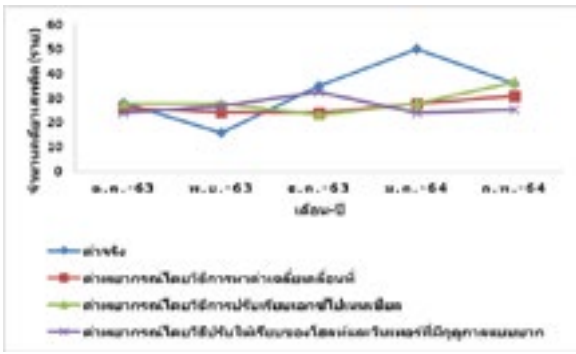
ประสิทธิภาพของตัวแบบพยากรณ์ ด้วยวิธีการคำนวณหาค่า MAPE และเมื่อพบว่าวิธีใดมีค่า MAPE น้อยที่สุด จะได้นำวิธีนั้นไปใช้ในการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดรายเดือนแบบระยะปานกลางล่วงหน้า 5 เดือน (มีนาคม 2564 - กรกฎาคม 2564) และสรุปผลการวิจัยที่ได้ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

4. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดำเนินการวิจัย ได้ผลการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าพยากรณ์ด้วยวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล และวิธีปรับให้เรียบของโฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวก ในช่วงเดือน ตุลาคม 2563 - กุมภาพันธ์ 2564 ดังรูปที่ 2

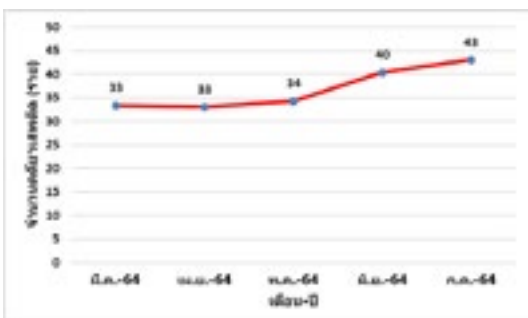


รูปที่ 2 กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับข้อมูลพยากรณ์ และได้ผลการวัดประสิทธิภาพของตัวแบบการพยากรณ์ด้วยวิธีการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์หรือค่า MAPE จากผลการเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับข้อมูลพยากรณ์ (ตุลาคม 2563 – กุมภาพันธ์ 2564) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบค่า MAPE

เดือน-ปี	ค่าจริง	ค่าพยากรณ์โดยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่	ค่าพยากรณ์โดยวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียล	ค่าพยากรณ์โดยวิธีปรับให้เรียบของไฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวก
ต.ค.-๖๓	๒๘	๒๖	๒๘	๒๘
พ.ย.-๖๓	๑๖	๒๔	๒๘	๒๗
ธ.ค.-๖๓	๓๕	๒๔	๒๓	๓๒
ม.ค.-๖๔	๕๐	๒๘	๒๘	๒๔
ก.พ.-๖๔	๓๖	๓๑	๓๗	๒๕
MAPE		๒๙.๙๙	๓๑.๐๒	๓๔.๐๔

พบว่าทุกวิธีการพยากรณ์ให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์อยู่ในเกณฑ์ที่การพยากรณ์นั้นใช้ได้สำหรับพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดของสถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ แต่วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 6 เดือน ให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดเป็น 29.99 เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลโดยใช้สัมประสิทธิ์การปรับเรียบ $\alpha=0.4$ และวิธีปรับให้เรียบของไฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวกโดยใช้ $\alpha=0.13$, $\beta=1$, $\gamma=1$ งานวิจัยนี้จึงได้มีการนำวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 6 เดือน ไปใช้ในการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดรายเดือนแบบระยะปานกลางล่วงหน้า 5 เดือน (มีนาคม 2564 – กรกฎาคม 2564) ได้ผลดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟแสดงการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติดรายเดือนแบบระยะปานกลางล่วงหน้า 5 เดือน ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 6 เดือน

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การพยากรณ์จำนวนของคดียาเสพติดในเขตพื้นที่รับผิดชอบ สถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ 6 เดือน ให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เท่ากับ 29.99 ซึ่งน้อยที่สุดและอยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการปรับเรียบเอกซ์โปเนนเชียลโดยใช้สัมประสิทธิ์การปรับเรียบ $\alpha=0.4$ และวิธีปรับให้เรียบของไฮลท์และวินเทอร์ที่มีฤดูกาลแบบบวกโดยใช้ $\alpha=0.13$, $\beta=1$, $\gamma=1$ และเมื่อนำไปใช้ในการพยากรณ์จำนวนของคดียาเสพติดรายเดือนแบบระยะปานกลางล่วงหน้า 5 เดือน (มีนาคม 2564 – กรกฎาคม 2564) พบว่าในอนาคตจะมีจำนวนคดียาเสพติดแต่ละเดือนเป็น 33 33 34 40 และ 43 รายตามลำดับ โดยสถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปช่วยในการวางแผนการจัดเตรียมกำลังตำรวจเพื่อควบคุมดูแลไม่ให้เกิดการกระทำความผิดประเภทยาเสพติดขึ้นต่อไปในอนาคต ซึ่งหากต้องการลดความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ควรมีการเพิ่มเติมจำนวนของข้อมูลให้มากยิ่งขึ้น หรือมีการวิเคราะห์ปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการพยากรณ์จำนวนคดียาเสพติด : กรณีศึกษา สถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากสถานีตำรวจภูธรแม่โจ้ และทุนสนับสนุนการวิจัยและการนำเสนอผลงานจากสาขาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

7. เอกสารอ้างอิง

จารุเดช โตจำศีลป์ และสิทธิพร พิมพ์สกุล. (2561). ตัวแบบการพยากรณ์เพื่อการวางแผนการสั่งซื้อสินค้าล่วงหน้าด้วยเทคนิคการปรับเรียบแบบเอกซ์โปเนนเชียล. *วารสาร*

วิศวกรรมลาดกระบัง (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2561), 35(2), 22-32.

เฉลิมชาติ ชีระวิริยะ. (2560). การเปรียบเทียบวิธีการพยากรณ์ สำหรับความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าในจังหวัด นครพนม. *วารสารมหาวิทยาลัยนเรศวร (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2560)*, 25(4), 124-137.

ชม ปานตา และยูภาวดี สำราญฤทธิ์. (2560). การพยากรณ์ ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในจังหวัดนครสวรรค์โดยใช้ เทคนิค การพยากรณ์ทางสถิติ. *วารสารวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ (วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 2560)*, 9(10), 127-142.

ชัชชญา เสริมพงษ์พันธ์. (2560). การคาดการณ์ความต้องการใช้ ปูนซีเมนต์ในประเทศไทย (วิทยานิพนธ์ปริญญา มหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. สืบค้นจาก http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/2017/TU_2017_5902031359_7307_6133.pdf

ปิยมาส กล้าแข็ง. การคาดการณ์ Forecast. สืบค้น 2 กุมภาพันธ์ 2564, จาก http://www.elcls.ssru.ac.th/piyamas_kl/pluginfile.php/25/block_html/content/Chapter4_Forecast.pdf

ศิริลักษณ์ หล่อพันธ์มณี, ศิริพร ฉิมพลี, วิชชา ฉิมพลี, วัชรกรรณ์ เนตรหาญ และณรงค์ฤทธิ์ ภิรมย์นง. (2562). การพยากรณ์รูปแบบของการกระทำความผิดซ้ำของเด็กและเยาวชน. *วารสารนวัตกรรมการศึกษาเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน*, 1(1), 80-94

สมรวย อภิชาติบุตรพงศ์. (2558). การพัฒนาตัวแบบพยากรณ์ ปริมาณการจับกุมคดียาเสพติด. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา “การวิจัยเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน”* ๓ - ๔ กันยายน ๒๕๕๘

Lewis, C.D. 1982. Industrial and business forecasting methods : a practical guide to exponential smoothing and curve fitting. London ; Boston : Butterworth Scientific

การคาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย A Forecasting the Number of Legal Cases of Aliens in Northern Thailand

จีรวรรณ แซ่เล่า* และ ชลธิดา ปัญจะรักษ์
Jeerawan Saelao* and Cholthida Panjarak

สาขาวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ หนองหาร สันทราย เชียงใหม่ ๕๐๒๙๐
Division of Mathematics, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, ๕๐๒๙๐, Thailand
*jeerawan_s@mju.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้ข้อมูลสถิติรายเดือนของจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวของกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ จำนวน ๓๐ ค่า (มกราคม ๒๕๖๑ – มิถุนายน ๒๕๖๒) สำหรับสร้างตัวแบบคาดการณ์ด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล และใช้ข้อมูลสถิติรายเดือนของจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวของกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ จำนวน ๖ ค่า (กรกฎาคม ๒๕๖๓ – ธันวาคม ๒๕๖๓) สำหรับวัดประสิทธิผลของตัวแบบคาดการณ์ด้วยการคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error : MAPE) จากผลการวิจัยพบว่า การคาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ให้ MAPE เป็น ๗๐.๘๙ และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลที่สัมประสิทธิ์การปรับเรียบที่ α เท่ากับ ๐.๑ ให้ MAPE น้อยที่สุดเป็น ๘๔.๔๐ เมื่อเปรียบเทียบกับทุก α ซึ่งสรุปได้ว่า MAPE ของวิธีหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่น้อยกว่าวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลเท่ากับ ๑๓.๕๑ จึงได้นำวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มาคาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวแบบระยะสั้น ๑ เดือน โดยพบว่าในเดือนมกราคม พ.ศ. ๒๕๖๔ จะมีจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวเป็น ๒๐ คดี ซึ่งเพิ่มขึ้นจากเดือนธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๓ และสามารถนำไปเป็นแนวทางในการวางแผนและจัดเตรียมกำลังตำรวจในการจับกุมคนต่างด้าวที่เข้ามากระทำความผิดในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยในอนาคตได้

คำสำคัญ : การคาดการณ์ จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าว วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์

Abstract

The research aims to predict the number of alien legal cases in northern Thailand. 30 monthly statistics of the number of alien legal cases of Immigration Division 5 (January 2018 – June 2019) for creating a forecast model with the method of finding the moving average and how to smooth the economic and using the monthly statistical data of the number of alien legal cases of immigration enforcement 5 is 6 values (July 2020 – December 2020) for measuring the effectiveness of the forecast model by calculating Mean Absolute Percent Error (MAPE). From the result found that the prediction of alien legal cases with moving average give the MAPE 70.89%. For exponential smoothing with coefficient ($\alpha = 0.1$) the minimum absolute error for every α equal to 84.4%. It can be found that, the different of MAPE of moving average less than exponential smoothing method equal to 13.51%. The moving average method is used to predict the number of alien legal cases in short term 1 month. The result found that January 2021 the number of alien legal cases is approximately 20 cases which increase from december 2020. The propose model is use to be a guideline for planning and prepare the police for arrest the criminal alien in northern area of Thailand in the future.

Keywords: Forecasting, number of alien legal cases, Moving average method, Exponential smoothing method, Mean Absolute Percent Error

๑. บทนำ

เนื่องจากในช่วงเวลาที่ผ่านมาเศรษฐกิจของประเทศไทยมีการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในภาคเหนือก็มีการเติบโตของเศรษฐกิจและมีการขยายตัวของกิจการอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้สถานประกอบการต้องการแรงงานที่จะเข้ามาทำงานให้สถานประกอบการนั้นๆ และประกอบกับค่าแรงของประเทศไทยสูงกว่าประเทศเพื่อนบ้าน จึงทำให้มีคนต่างด้าวเข้ามาทำงานในประเทศไทยเป็นจำนวนมาก ซึ่งจากข้อมูลในปี พ.ศ. ๒๕๖๑ - พ.ศ. ๒๕๖๓ ของกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ พบว่าในภาคเหนือมีคนต่างด้าวเข้ามาทำงาน ๖๓๙,๔๓๕ คน จากจำนวน ๗,๖๓๘,๒๕๐ คน ของทั้งประเทศ คิดเป็นร้อยละ ๘.๓๗ ทั้งต่างด้าวที่เข้ามาแบบถูกกฎหมายและผิดกฎหมาย ทำให้สำนักงานตำรวจตรวจคนเข้าเมือง ๕ ต้องติดตามและตรวจสอบดูแลต่างด้าวที่เข้ามาในภาคเหนือ พร้อมทั้งสืบหาต่างด้าวที่กระทำความผิด อาทิเช่น ลักลอบเข้ามาแบบผิดกฎหมาย ฝ่าฝืน พ.ร.ก.ฉุกเฉิน เป็นต้น เพื่อจับกุมตัวพร้อมทั้งส่งดำเนินคดี บางรายถูกส่งตัวกลับประเทศต่อไป ประกอบกับงานวิจัยของลักขณา ฤกษ์เกษม (๒๕๕๘) ได้ศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการคาดการณ์สำหรับการคาดการณ์ความต้องการการใช้ผ้าสำหรับการผลิตชุดปฏิบัติการสำหรับห้องสะอาด ได้แก่ เพื่อหาวิธีการคาดการณ์ล่วงหน้าที่เหมาะสมที่สุด วิธีการคาดการณ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี ๔ วิธี คือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method) วิธีปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing Method) ง่าย วิธีการคาดการณ์แบบฤดูกาลของวินเตอร์ และวิธีการคาดการณ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย ซึ่งจากผลการวิจัย พบว่าวิธีการคาดการณ์ที่ให้อารมณ์ที่เหมาะสมที่สุด คือวิธีการคาดการณ์โดยการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ที่น้อยที่สุด และสุดท้าย ผุดผาด (๒๕๖๒) ได้ศึกษาแนวทางการคาดการณ์จำนวนผู้มารับบริการเครื่อง GC-MS ปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๒-๒๕๖๓ โดยวิธีการคาดการณ์แบบอนุกรมเวลา ใช้เทคนิคค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่แบบง่าย เทคนิคปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลแบบง่าย พบว่า เทคนิคปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลแบบง่าย ค่าปรับเรียบเท่ากับ ๐ มีค่าความคลาดเคลื่อนต่ำที่สุด จากการคาดการณ์โดยเทคนิคปรับเรียบแบบเอกซ์โพเนนเชียลแบบง่าย คาดว่าจะมีผู้มารับบริการในปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๒-๒๕๖๓ อย่างน้อย ๔๗ รายต่อปีงบประมาณ และงานวิจัยของบุญชัย แซ่ลี และ สุภรชัย วรรัตน์ (๒๕๖๒) ได้ศึกษาและสร้างสมการการพยากรณ์ยอดขายอาหารสัตว์ โดยใช้หลักการคาดการณ์แบบอนุกรมเวลา ๓ วิธีคือ วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ วิธีการปรับเรียบแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลซ้ำสองครั้ง และประยุกต์ใช้การแยกส่วนแบบผสม ค่าดัชนีแนวโน้ม ค่าดัชนีฤดูกาล และค่าดัชนี

เหตุการณ์ผิดปกติ พบว่าการคาดการณ์แบบประยุกต์ใช้การแยกส่วน ค่าดัชนีแนวโน้ม ค่าดัชนีฤดูกาล และค่าดัชนีเหตุการณ์ผิดปกติ (T x S x I) มีความเหมาะสมที่สุด ที่ค่าความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เท่ากับร้อยละ ๒๔.๖% จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้ทำวิจัยจึงสังเกตเห็นถึงปัญหาดังกล่าว และสนใจที่จะศึกษาเปรียบเทียบการคาดการณ์หาจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย โดยใช้วิธีการคาดการณ์ที่มีประสิทธิภาพ ๒ วิธีคือ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method) และวิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing Method) เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่าวิธีใดให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุด จะได้นำวิธีการนั้นมาช่วยในการคาดการณ์ระยะสั้น ๑ เดือน และนำผลการคาดการณ์ดังกล่าวไปช่วยในการวางแผนและจัดเตรียมกำลังตำรวจในการจับกุมคนต่างด้าวที่เข้ามากระทำความผิดในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยต่อไปในอนาคต

๒. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

๒.๑ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average Method)

เป็นวิธีการที่ใช้หาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปตามช่วงเวลาที่กำหนดโดยนำชุดข้อมูลล่าสุดแทนที่ชุดข้อมูลเก่าที่สุดแล้วทำการหาค่าเฉลี่ยใหม่ในแต่ละช่วง ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถใช้งานได้ง่ายและเหมาะกับการคาดการณ์ระยะสั้น โดยมีสมการที่ใช้คำนวณ ดังนี้ (ซัชชญา เสริมพงษ์พันธ์, ๒๕๖๐)

$$F_t = \frac{\sum_{i=1}^n A_{t-i}}{n} \quad (๑)$$

โดยที่ t แทน ช่วงเวลา

n แทน จำนวนข้อมูลที่จะคำนวณค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่

A_{t-i} แทน ค่าจริงในช่วงเวลา $t - i$

F_t แทน ค่าคาดการณ์ในช่วงเวลา t

๒.๒ วิธีการปรับเรียบเอ็กซ์โพเนนเชียล (Exponential Smoothing Method)

เป็นวิธีการปรับข้อมูลอนุกรมเวลาโดยใช้สัมประสิทธิ์การปรับเรียบ (α) ในการให้ความสำคัญของข้อมูลแบบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือใช้ข้อมูลน้อยและเป็นวิธีการที่นิยมมากอีกวิธีหนึ่งในปัจจุบันในการคาดการณ์ระยะสั้นถึงปานกลาง โดยมีสมการที่ใช้คำนวณ ดังนี้ (ปิยมาส กล้าแข็ง)

$$F_t = F_{t-1} + \alpha(A_{t-1} - F_{t-1}) \quad (2)$$

โดยที่ F_t แทน ค่าคาดการณ์ในช่วงเวลา t

F_{t-1} แทน ค่าคาดการณ์ในช่วงเวลา $t-1$

A_{t-1} แทน ค่าจริงในช่วงเวลา $t-1$

α มีค่าเท่ากับ $0 \leq \alpha \leq 1$

๒.๓ การวัดประสิทธิภาพของการคาดการณ์

การวัดประสิทธิภาพของการคาดการณ์สามารถวัดได้จากค่าความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์ ซึ่งวิธีที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์จะอาศัยหลักการง่ายๆ คือการเปรียบเทียบระหว่างค่าคาดการณ์ที่คำนวณได้จากข้อมูลจริงในช่วงเวลา t งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีวัดความคลาดเคลื่อนด้วยวิธีคำนวณค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ (Mean Absolute Percent Error: MAPE) ในการวัดประสิทธิภาพของการคาดการณ์ โดยมีสูตรในการคำนวณดังต่อไปนี้ (รุ่งนภา ศรีประโคน, ๒๕๕๗)

$$MAPE = \left[\frac{\sum \frac{|\text{ค่าจริง} - \text{ค่าคาดการณ์}|}{\text{ค่าจริง}}}{\text{จำนวนข้อมูล}} \right] \times 100 \quad (3)$$

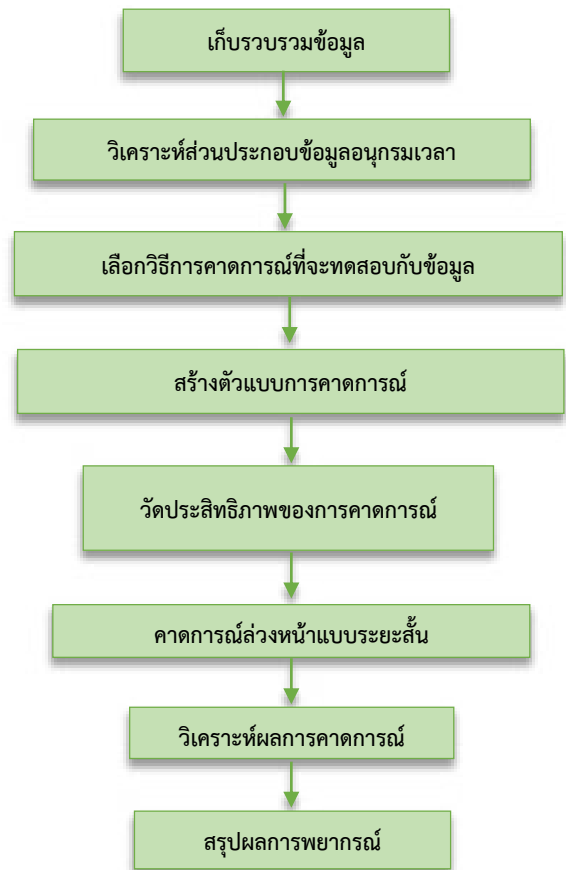
โดยถ้าค่า MAPE มีค่าน้อย หมายความว่า การคาดการณ์มีความแม่นยำสูง

๓. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติรายเดือนของจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวของกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ จำนวน ๓๖ ค่า (มกราคม ๒๕๖๑ - ธันวาคม ๒๕๖๓) ซึ่งข้อมูลแสดงได้ ดังตารางที่ ๑ และนำมาวิเคราะห์ส่วนประกอบของข้อมูลอนุกรมเวลา เพื่อเลือกวิธีการคาดการณ์ที่จะทดสอบกับข้อมูล โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกศึกษาวิธีการคาดการณ์ ๒ วิธี มาเปรียบเทียบกัน คือ วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล ซึ่งวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลจะมีการพิจารณาที่ $\alpha = 0, 0.1, 0.2, \dots, 1$

ตารางที่ ๑ ข้อมูลรายเดือนของจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวของกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ (มกราคม ๒๕๖๑ - ธันวาคม ๒๕๖๓)

เดือน	จำนวนคดีทางกฎหมาย (คดี)		
	พ.ศ. ๒๕๖๑	พ.ศ. ๒๕๖๒	พ.ศ. ๒๕๖๓
มกราคม	๑๑	๓	๙
กุมภาพันธ์	๒	๑๖	๙๔
มีนาคม	๑	๒	๙๙
เมษายน	๐	๙	๑๑
พฤษภาคม	๙	๐	๘
มิถุนายน	๑๗	๕	๑๓
กรกฎาคม	๓	๑	๒๕
สิงหาคม	๐	๒	๗
กันยายน	๑	๑๒	๑๔
ตุลาคม	๑๖	๑๘	๑๖
พฤศจิกายน	๑๓	๑๙	๓๖
ธันวาคม	๕๑	๔	๘



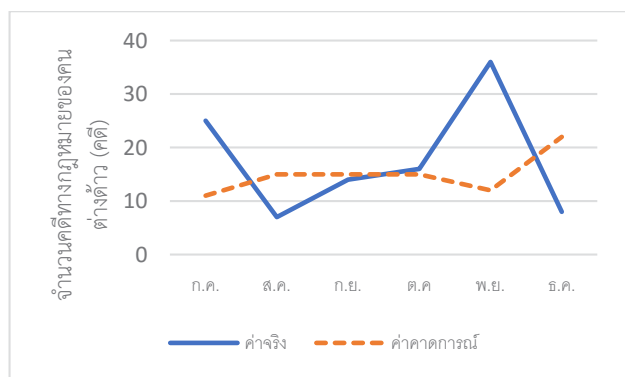
รูปที่ ๑ ขั้นตอนดำเนินการวิจัย

จากนั้นได้ทำการสร้างตัวแบบคาดการณ์จากทั้ง ๒ วิธี กับข้อมูลสถิติรายเดือนของจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวของกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ จำนวน ๓๐ ค่า (มกราคม ๒๕๖๑ - มิถุนายน ๒๕๖๒) และใช้ข้อมูลรายเดือนของจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวจำนวน ๖ ค่า (กรกฎาคม ๒๕๖๓

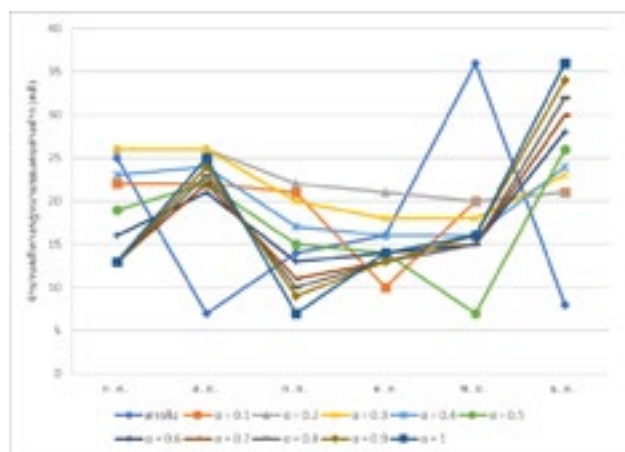
- ธันวาคม ๒๕๖๓) สำหรับวัดประสิทธิภาพของตัวแบบ คาดการณ์ด้วยการคำนวณค่า MAPE เมื่อทราบว่าวิธีการ คาดการณ์ใดให้ค่า MAPE น้อยที่สุด ก็จะนำวิธีการนั้นมาทำการ คาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวล่วงหน้าแบบ ระยะสั้น ๑ เดือน (มกราคม ๒๕๖๔) จากนั้นทำการวิเคราะห์ และสรุปผลการคาดการณ์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม Microsoft Excel เวอร์ชัน ๒๐๑๖ มาเป็นเครื่องมือในการ ดำเนินการวิจัย ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวแสดงได้ดังรูปที่ ๑

๔. ผลการวิจัย

จากการดำเนินการวิจัยตามขั้นตอนดำเนินการวิจัย ได้ ผลการวิจัยในการเปรียบเทียบค่าจริงกับค่าคาดการณ์ด้วยวิธี ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลในช่วงเดือน กรกฎาคม ๒๕๖๓ - ธันวาคม ๒๕๖๓ ดังรูปที่ ๒ และรูปที่ ๓



รูปที่ ๒ กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับข้อมูล คาดการณ์โดยใช้วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (ก.ค. ๖๓ - ธ.ค. ๖๓)



รูปที่ ๓ กราฟแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับข้อมูล คาดการณ์โดยใช้วิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลที่ $\alpha = 0, 0.1, 0.2, \dots, 1$ (ก.ค. ๖๓ - ธ.ค. ๖๓)

และเมื่อวัดประสิทธิภาพของตัวแบบการคาดการณ์ด้วยวิธีการ คำนวณหาค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์หรือค่า

MAPE จากผลการเปรียบเทียบข้อมูลจริงกับข้อมูลคาดการณ์ (กรกฎาคม ๒๕๖๓ - ธันวาคม ๒๕๖๓) พบว่าการคาดการณ์ จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ย เคลื่อนที่ ให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์เป็น ๗๐.๘๙ และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลที่สัมประสิทธิ์การ ปรับเรียบที่ α เท่ากับ ๐.๑ ให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความ ผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดเป็น ๘๔.๔๐ เมื่อเปรียบเทียบกับทุก α ดังตารางที่ ๒

ตารางที่ ๒ เปรียบเทียบค่า MAPE

	α	MAPE
วิธีปรับเรียบ เอกซ์โพเนนเชียล	๐	๘๗.๕๑
	๐.๑	๘๔.๔๐
	๐.๒	๙๖.๔๖
	๐.๓	๙๔.๗๑
	๐.๔	๘๗.๙๗
	๐.๕	๙๓.๘๙
	๐.๖	๑๒๖.๑๓
	๐.๗	๑๐๕.๙๗
	๐.๘	๑๑๓.๗๐
	๐.๙	๑๒๐.๙๘
๑	๑๒๘.๘๗	
วิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่		๗๐.๘๙

ซึ่งทำให้งานวิจัยนี้เลือกวิธีค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่มาใช้ในการ คาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวล่วงหน้าแบบ ระยะสั้น ๑ เดือน (มกราคม ๒๕๖๔) และได้ผลการคาดการณ์ว่า ในเดือนมกราคม พ.ศ. ๒๕๖๔ จะมีจำนวนคดีทางกฎหมายของ คนต่างด้าวเป็น ๒๐ คดี ซึ่งเป็นค่าที่เพิ่มขึ้นจากเดือนธันวาคม พ.ศ. ๒๕๖๓

๕. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการเปรียบเทียบผลการคาดการณ์จำนวนคดีทาง กฎหมายของคนต่างด้าวของกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ ระหว่างวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล พบว่าการคาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่าง ด้าวด้วยวิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ให้ค่าเฉลี่ยของร้อยละความ ผิดพลาดสัมบูรณ์เป็น ๗๐.๘๙ และวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียล ที่สัมประสิทธิ์การปรับเรียบที่ α เท่ากับ ๐.๑ ให้ค่าเฉลี่ยของ ร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์น้อยที่สุดเป็น ๘๔.๔๐ เมื่อ

เปรียบเทียบกับทุก α ซึ่งสรุปได้ว่าค่าเฉลี่ยของร้อยละความผิดพลาดสัมบูรณ์ของวิธีหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่น้อยกว่าวิธีปรับเรียบเอกซ์โพเนนเชียลเท่ากับ ๑๓.๕๑ ทำให้งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการหาค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ไปคาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวของกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ ล่วงหน้าแบบระยะสั้น ๑ เดือน พบว่าในเดือนมกราคม พ.ศ. ๒๕๖๔ จะมีจำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวเพิ่มขึ้นเป็น ๒๐ คดี ซึ่งกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ สามารถนำข้อมูลดังกล่าวไปช่วยในการวางแผนและจัดเตรียมกำลังตำรวจในการจับกุมคนต่างด้าวที่เข้ามากระทำความผิดในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทยต่อไปได้ในอนาคต และเพื่อลดความคลาดเคลื่อนให้น้อยลง ควรมีการเพิ่มเติมข้อมูลให้มากขึ้น หรือเพิ่มเติมการวิเคราะห์ปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

๖. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการคาดการณ์จำนวนคดีทางกฎหมายของคนต่างด้าวในเขตพื้นที่ภาคเหนือของประเทศไทย สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลจากกองบังคับการตรวจคนเข้าเมือง ๕ และทุนสนับสนุนการวิจัยและการนำเสนอผลงานจากสาขาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

๗. เอกสารอ้างอิง

- ชัชชญา เสริมพงษ์พันธ์. (๒๕๖๐). การคาดการณ์ความต้องการใช้ปูนซีเมนต์ในประเทศไทย (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
สืบค้นจาก http://ethesisarchive.library.tu.ac.th/thesis/๒๐๑๗/TU_๒๐๑๗_๕๕๐๒๐๓๑๓๕๕_๗๓๐๗_๖๑๓๓.pdf
- บุญชัย แซ่ลี และ ศุภรัชชัย วรรัตน. (๒๕๖๒). การศึกษาเทคนิคการคาดการณ์แบบอนุกรมเวลาที่เหมาะสม กรณีศึกษา: โรงงานผลิตอาหารสัตว์. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, ๙(๒), ๕๔-๗๐. สืบค้นจาก ThaiJO <https://ph๐๑.tci-thaijo.org>
- ปิยมาส กล้าแข็ง. การคาดการณ์ Forecast. สืบค้น ๒ กุมภาพันธ์ ๒๕๖๔, จาก http://www.elcls.ssu.ac.th/piyamas_kl/pluginfile.php/๒๕/block_html/content/Chapter๔_Forecast.pdf
- รุ่งนภา ศรีประโค. (๒๕๕๗). การลดปริมาณการขาดแคลนสินค้า โดยใช้เทคนิคการพยากรณ์ กรณีศึกษา บริษัท ไอเซิล (ประเทศไทย) จำกัด (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต).

- กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต. สืบค้นจาก <http://libdoc.dpu.ac.th/thesis/๑๕๐๕๕๑.pdf>
- ลักขณา ฤกษ์เกษม. (๒๕๕๘). การคาดการณ์ความต้องการสินค้าสำหรับการวางแผนการผลิต : กรณีศึกษาการผลิตชุดสะอาด. *วารสารปาริชาติ*, ๒๘(๓), ๒๙๑-๓๐๔. สืบค้นจาก ThaiJO <https://www.tci-thaijo.org>
- สุดใจ ผุดผาด. (๒๕๖๒). การคาดการณ์จำนวนผู้รับบริการเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรมิเตอร์ ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. *วารสารวิชาการ ปชมท*, ๘(๓): ๑๗ - ๒๕. สืบค้นจาก <http://webopac.lib.buu.ac.th>

พิษเฉียบพลันและพิษกึ่งเรื้อรังของโลหะหนัก (ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี) ที่มีผลต่อหนอนแดง (*Chironomus kiiensis*)

Acute Toxicity and Sub-Chronic of Heavy Metals (Cu, Fe, Zn) Effects to Red Worms (*Chironomus kiiensis*)

หทัยรัตน์ สูดตา^{1*} ณรงค์ วีระไวทยะ¹ สุชาติ อิงธรรมจิตร² และ บุญเสฐียร บุญสูง³

Hatairat SUDTA^{1*} Narong VEERAVAITAYA¹ Suchart INGTHAMJITR² Boonsatien BOONSOONG³

¹ ภาควิชาชีววิทยาประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

² ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

³ ภาควิชาสัตววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Department of Fishery Biology, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok

² Department of Aquaculture, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok

³ Department of Zoology, Faculty of Science, Kasetsart University, Bangkok

* E-mail Hatairat_st@windowslive.com, Tel. 0851248650

บทคัดย่อ

การศึกษาพิษเฉียบพลันของโลหะหนัก (ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี) โดยวิธี static bioassay ต่อหนอนแดง (*Chironomus kiiensis*) ระยะที่ 3 พบว่าการตายของหนอนแดงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักเพิ่มขึ้น โดยตะกั่วมีความเป็นพิษต่อหนอนแดงสูงที่สุด รองลงมาคือ ทองแดง และ สังกะสี โดยมีค่า ความเข้มข้นที่ทำให้หนอนแดงตายร้อยละ 50 (LC₅₀) ที่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 6.57 11.48 และ 14.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และที่ 96 ชั่วโมง เท่ากับ 0.05 3.82 และ 6.39 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และเมื่อทดสอบพิษกึ่งเรื้อรังของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี ต่อระยะปาก (โครงสร้างส่วน Mentum) ของหนอนแดง พบว่ามีความผิดปกติในโครงสร้างส่วนของ Mentum อย่างมีนัยสำคัญ (P<0.05) ในระดับความเข้มข้นของทองแดงตั้งแต่ 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป ในระดับความเข้มข้นของตะกั่วตั้งแต่ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และในระดับความเข้มข้นของสังกะสีตั้งแต่ 6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ขึ้นไป โดยความผิดปกติที่ตรวจพบเป็นแบบ Split teeth และ Missing teeth

คำสำคัญ: พิษเฉียบพลัน พิษกึ่งเรื้อรัง โลหะหนัก (ทองแดง ตะกั่ว สังกะสี) หนอนแดง

Abstract

Acute toxicity of heavy metals (Cu, Pb, Zinc) effects to red worms (*Chironomus kiiensis*) was examined by using static bioassay, which experiment on third-instar stage. The third – instar larvae were used in the experiment. It was found that the mortality of larvae increased correlate with an increase of heavy metals concentration. Pb caused the highest toxic to red worms, while followed by Cu and zinc. The lethal concentration of Pb, Cu and zinc were at 50% population of the tested

organisms (LC₅₀) in 48 hours were found to be 6.57, 11.48 and 14.74 mg/L, respectively while, in 96 hours were found to be 0.05, 3.82 and 6.39 mg/L, respectively. Moreover, the semi-chronic toxicity testing of Cu, Pb and Zn toxicity were effective to the oral appendage (Mentum) character of the red worms. Furthermore, it was revealed that there was a significant abnormality in the mentum fragmental structure ($P < 0.05$) with Cu concentrations from ≥ 2.0 mg/L or more, in Pb concentrations from ≥ 1.0 mg/L and Zn concentrations of ≥ 6.0 mg/L or more. Finally, the detected abnormalities characters were split teeth and missing teeth.

Keywords: Acute Toxicity, Sub-Chronic, Heavy Metals (Cu, Pb, Zn), *Chironomus* sp.

1. บทนำ

ปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักในระบบนิเวศทางน้ำเป็นปัญหาที่สำคัญของประเทศไทย เนื่องจากการนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะในด้านการเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม ซึ่งส่งผลทำให้คุณภาพน้ำเสื่อมโทรมลงทำให้มีผลต่อการใช้ประโยชน์ของมนุษย์รวมถึงเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะหากเกิดการปนเปื้อนในสัตว์น้ำที่ใช้บริโภคและเป็นสินค้าส่งออกของประเทศจะส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์รวมถึงผลกระทบต่อเนื่องถึงการค้าระหว่างประเทศอีกด้วย (รดาวรรณ, 2549)

โลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี เป็นวัตถุอันตรายที่ใช้ในอุตสาหกรรมของประเทศไทย โดยทองแดงนำมาใช้ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ใช้ผลิตลวดสายไฟ ท่อน้ำ นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเคมีทางการเกษตร สารกำจัดศัตรูพืชและสัตว์รบกวนต่างๆ การทำสีย้อม เป็นต้น สำหรับตะกั่วเป็นวัตถุอันตรายที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายประเภท ได้แก่ แบตเตอรี่ โลหะบัดกรี ใช้ในอุตสาหกรรมสังกะสีออกไซด์ ซึ่งเป็นสารประกอบของสังกะสีที่มีสภาพเป็นแข็งหรือผง ใช้ในอุตสาหกรรมยาง สี เซรามิก ยา เครื่องสำอาง และอาหารสัตว์ และใช้ในอุตสาหกรรมถ่านไฟฉาย เป็นต้น กิจกรรมดังกล่าวส่งผลให้มีการแพร่กระจายของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี เข้าสู่สิ่งแวดล้อมมากขึ้น ซึ่งเราอาจได้รับทองแดงจากการหายใจ การน้ำดื่ม การบริโภคอาหารในชีวิตประจำวัน โลหะหนักที่

ละลายน้ำได้ยังมีความเป็นพิษต่อสัตว์น้ำทั้งในลักษณะพิษเฉียบพลันและพิษเรื้อรัง และยังสามารถสะสมในห่วงโซ่อาหารได้อีกด้วย (Polprasert, *et al.*, 1980)

ปัจจุบันข้อมูลการประเมินความเสี่ยงและการประเมินผลกระทบทางนิเวศวิทยาของโลหะหนักในประเทศไทยยังมีจำกัดโดยเฉพาะข้อมูลการศึกษาด้านนิเวศพิษวิทยาของสิ่งมีชีวิตในท้องถิ่นทำให้ข้อมูลส่วนใหญ่ที่ใช้อ้างอิงและนำมาพัฒนาข้อมูลมาตรฐานคุณภาพน้ำ และคุณภาพตะกอนดินท้องถิ่น รวมถึงใช้ในการหนดค่าความปลอดภัยของโลหะหนักต่อสัตว์น้ำเป็นข้อมูลจากต่างประเทศแถบยุโรปหรืออเมริกา ซึ่งข้อมูลที่นำมาใช้อาจไม่เหมาะสมเนื่องจากสภาพแวดล้อมและชนิดของสิ่งมีชีวิตที่แตกต่างกันของแต่ละพื้นที่จึงอาจทำให้สิ่งมีชีวิตในแต่ละพื้นที่สามารถทนทานและตอบสนองต่อสารมลพิษได้แตกต่างกันได้ ดังนั้นการศึกษาข้อมูลผลกระทบของสารมลพิษต่อสิ่งมีชีวิตในท้องถิ่นจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมาก

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาการปนเปื้อนของโลหะหนักดังกล่าวในระบบนิเวศทางน้ำเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบต่อสัตว์น้ำจำพวก กุ้ง ปู หอย จะมีการสะสมโลหะทองแดงในปริมาณที่สูงกว่าสัตว์น้ำอื่น ๆ โดยสังเกตว่าเลือดจะมีสีน้ำเงินหอยนางรมที่มีการสะสมทองแดงมากจะทำใหหอยออก และ Mantle มีสีเขียวคล้ำผิดปกติ (Bryan *et al.*, 1977) ส่วน

พิษของตะกั่วที่มีต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลา ทำให้การเจริญเติบโตของ เซลล์เยื่อบุผิวหนังและเหงือกถูกทำลาย และจะไปจับกับเมือกสะสมบริเวณเหงือกของปลา ทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนออกซิเจนลดลงความเป็นพิษของสังกะสีที่มีต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลาจะเข้าไปทำลายเหงือกปลาเมื่อผลต่อการวางไข่และตัวอ่อนของปลาทำให้การเจริญเติบโตของตัวอ่อนอยู่ที่ระดับ 0.4 mg/L สามารถฆ่าตัวอ่อนหอยได้ และที่ระดับความเข้มข้น 10 mg/L จะเป็นพิษต่อปลาและหอย 2 ฝา (Portmann, 1972)

ดังนั้นการประเมินผลกระทบของโลหะหนักในระบบทางนิเวศทางน้ำจึงเป็นเรื่องที่จำเป็น โดยปัจจุบันแนวทางการประเมินความเสี่ยงและผลกระทบทางนิเวศวิทยาเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ยิมนำมาใช้ในการประเมินความเสี่ยงและผลกระทบของสารมลพิษต่าง ๆ โดยเป็นการนำวิธีทางชีวภาพเข้ามาใช้โดยการใช้องค์ที่มีชีวิตที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นในการติดตามและประเมินผลกระทบของสารมลพิษควบคู่กับวิธีทางเคมีซึ่ง วิธีนี้สามารถใช้ง่าย สะดวก ประหยัดและถูกต้องมากกว่าการใช้วิธีเคมีอย่างเดียว (นฤมล, 2542)

หนอนแดงเป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ในกลุ่ม Chironomid ซึ่งนิยมนำมาใช้ในการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมทั้งในน้ำและตะกอนดินท้องน้ำ (นาตยา และคณะ, 2553 ; Ibarhim *et al.*, 1998) เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ใช้เป็นสัตว์สำหรับใช้ในการบ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมได้ดี คือ มีบทบาทสำคัญในระบบนิเวศทางน้ำอาศัยอยู่ในแหล่งน้ำทั่วไป จำแนกลักษณะได้ง่าย สามารถเตรียมตัวอย่างได้ จำนวนมาก เพิ่มมวลชีวภาพได้ง่าย มีข้อมูลลักษณะทางนิเวศวิทยาเพียงพอ มีความแปรปรวนในระดับยีนน้อย มีความสำคัญทางด้านเศรษฐกิจ และสามารถเพาะเลี้ยงได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ (ลัดดา, 2541; Taenzler *et al.*, 2007) อีกทั้งยังเป็นอาหารของปลาหลายชนิดที่อาศัยในน้ำจืด การที่ปลากินหนอนแดงเป็นอาหารจึงทำให้เกิดการสะสมในห่วงโซ่อาหารได้ ซึ่งได้มีงานวิจัยรายงานว่า การสะสมสารในสิ่งมีชีวิตเป็นตัวบ่งชี้ถึง

ปริมาณความเป็นพิษที่มีการตอบสนองในสิ่งมีชีวิตก่อนจะเกิดการตาย ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินอันตรายของสารพิษต่อสิ่งแวดล้อม

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เพื่อใช้สิ่งมีชีวิตในห้องปฏิบัติการประเมินความเสี่ยงทางนิเวศวิทยาของโลหะหนักต่อสัตว์น้ำ โดยทำการศึกษาลักษณะของหนอนแดงชนิด *Chironomus kiiensis* ซึ่งเป็นสิ่งมีชีวิตที่มีความสำคัญในระบบนิเวศของประเทศไทยโดยใช้วิธีชีววิเคราะห์แบบต่าง ๆ ในการศึกษาซึ่งข้อมูลที่ได้จากการศึกษานี้จะใช้เป็นแนวทาง (Guideline) และเป็นเครื่องมือในการติดตามทางชีวภาพ (Biomonitoring) และประกอบการประเมินความเสี่ยงของโลหะหนักต่อระบบนิเวศทางน้ำรวมถึงใช้เป็นข้อมูลในการทบทวนมาตรฐานคุณภาพน้ำและตะกอนดินท้องน้ำเพื่อใช้ประกอบการจัดการทรัพยากรน้ำของประเทศไทยต่อไป

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 พิษเฉียบพลัน ของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ต่อหนอนแดง *C. kiiensis* ทำการศึกษาด้วยวิธี Static bioassay โดยใช้หนอนแดงในระยะที่ 3 ในการทดลอง และหาระดับความเป็นพิษเฉียบพลันในระยะเวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยทำการทดลองที่ความเข้มข้น 0, 2.5, 5, 10, 20 และ 50 mg/L โดยในแต่ละความเข้มข้น จะมีจำนวน 5 ซ้ำ และ 2 ชุดควบคุม (Control) ในแต่ละซ้ำใช้หนอนแดงจำนวน 30 ตัว ในการทดลอง ในระหว่างการทดลองให้อาหารและมีการให้อากาศตลอดการทดลอง สังเกตลักษณะอาการของหนอนแดงแล้วนับจำนวนที่ตายและนำออกจากขวดแก้วทันทีที่สังเกตเห็นและทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้วิธีโพรบิท (Probit method) (Finney, 1947) ทั้งนี้ใช้ Priprobit version 1.63 เป็นโปรแกรมในการคำนวณและวิเคราะห์ค่า LC₅₀ (Sakuma, 1998)

3.2 พิษกึ่งเรื้อรัง ของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ที่มีผลต่อหนอนแดง *C. kiiensis* ทำการทดลองโดยนำหนอนแดงไปใส่ในขวดแก้วที่มีความเข้มข้นของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี 5 ระดับความเข้มข้น คือ 0, 1, 2, 4 และ 6

mg/L นาน 48 ชั่วโมง จากนั้นนำมาศึกษาความผิดปกติในส
วนรยางคปาก โดยผ่าตัดเพื่อแยกเอาสวนหัว (Head
capsule) นำไปแช่ในสารละลาย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์
เข้มข้น 10% เป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง เพื่อที่จะทำให้สวน
ของเนื้อเยื่อที่ติดอยู่หลุดออกและใส่ชิ้น จากนั้นล้างด้วยน้ำ
กรอง 3 ครั้ง และนำไปแช่ในเอทานอลเพื่อดึงเอาน้ำออก
จากเนื้อเยื่อ แล้วนำเอาสวนของ Head capsule ไปปลด
งบนแผ่นสไลด์โดยเอาด้าน Ventral ขึ้นด้านบน และทำการ
ตรวจสอบความผิดปกติภายใต้กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Zeiss
stemi 2000-C พร้อมถ่ายภาพโดยใช้โปรแกรม Motic
images Plus 2.0 วิเคราะห์ความผิดปกติโดยใช้ เกณฑ์ใน
การจำแนกความผิดปกติของ Park and Kwak (2008),
Al-Shami *et al.*, (2010)

4. ผลการวิจัย

4.1 พิษฉับพลันของโลหะหนัก (ทองแดง ตะกั่ว
สังกะสี) ที่มีผลต่อ หนอนแดง (*C. kiiensis*)

จากข้อมูลการทดลองที่ได้นำมาคำนวณหาค่า
LC₅₀ ที่ 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง โดยใช้วิธี Probit
analysis พบว่า LC₅₀ ของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี
พบว่า ตะกั่วมีความเป็นพิษต่อหนอนแดงสูงที่สุด รองลงมา
คือ ทองแดง และ สังกะสี โดยมีค่า LC₅₀ ที่ 24 ชั่วโมง
เท่ากับ 8.33 12.58 และ 32.05 mg/L ตามลำดับ และค่า
LC₅₀ ที่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 6.57 11.48 และ 14.74 mg/L
ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

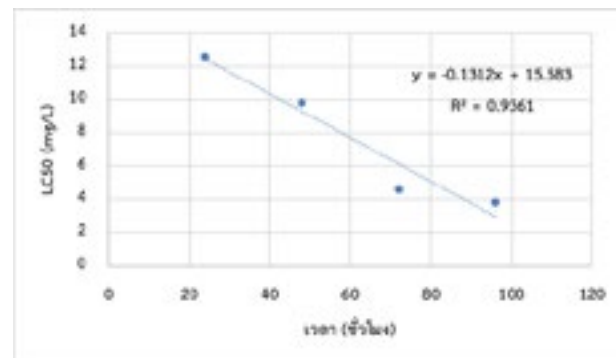
ตารางที่ 1 ค่า LC₅₀ ของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี

ต่อ *C. kiiensis* ที่ 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

Time	LC ₅₀		
	Cu mg/L	Pb mg/L	Zn mg/L
24 hours	12.58	8.33	32.05
48 hours	9.84	6.57	14.74
72 hours	4.60	1.05	11.83

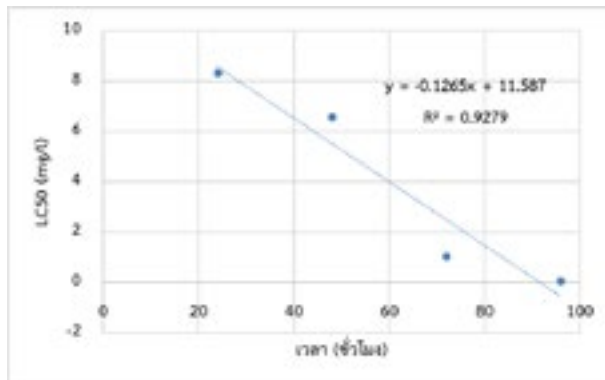
96 hours	3.82	0.05	6.39
----------	------	------	------

ความเป็นพิษของทองแดงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ
เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ต่อหนอนแดงมีค่าลดลง
เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า LC₅₀ ณ เวลา 24, 48, 72. และที่
96 ชั่วโมง เท่ากับ 12.58, 9.84, 4.60 และ 3.82 มิลลิกรัม
ต่อลิตร ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และรูปที่ 1) โดยสมการการ
ถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ชั่วโมง) กับค่า
LC₅₀ คือ $y = -0.1312x + 15.583$ โดยมีค่า $R^2 =$
0.9361



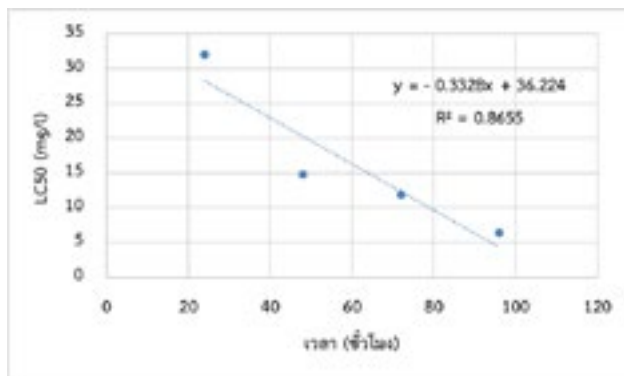
รูปที่ 1 ความเป็นพิษของทองแดงในรูปแบบ LC₅₀ (mg/L) ต่อ
C. kiiensis ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ความเป็นพิษเฉียบพลันของตะกั่วที่ความเข้มข้น
ต่าง ๆ ณ เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ต่อหนอนแดงมี
ค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า LC₅₀ ณ เวลา 24, 48,
72 และที่ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 8.33, 6.57, 1.05 และ
0.05 (mg/L) ตามลำดับ (ตารางที่ 1 และรูปที่ 2) โดย
สมการการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา
(ชั่วโมง) กับค่า LC₅₀ คือ $y = -0.1265x + 11.587$ โดยมี
ค่า $R^2 = 0.9279$



รูปที่ 2 ความเป็นพิษของตะกั่วในรูป LC₅₀ (mg/L) ต่อ *C. kiiensis* ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

ความเป็นพิษเฉียบพลันของสังกะสีที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ณ เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง ต่อหนอนแดงมีค่าลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยที่ค่า LC₅₀ ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง มีค่าเท่ากับ 32.05, 14.74, 11.83 และ 6.399 mg/L ตามลำดับ (ตารางที่ 1 รูปที่ 3) โดยสมการการถดถอยที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลา (ชั่วโมง) กับค่า LC₅₀ คือ $y = -0.3328x + 36.224$ โดยมีค่า $R^2 = 0.8655$



รูปที่ 3 ความเป็นพิษของสังกะสีในรูป LC₅₀ (mg/L) ต่อ *C. kiiensis* ที่เวลา 24, 48, 72 และ 96 ชั่วโมง

4.2 พิษกึ่งเรื้อรัง ของทองแดง ตะกั่ว สังกะสี ที่มีผลต่อ *C. kiiensis*

เมื่อเทียบผิดปกติในโครงสร้างส่วนของ Mentum ของกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม พบว่าหนอนแดงมีความผิดปกติในโครงสร้างส่วนของ Mentum อย่างมีนัยสำคัญ ($P < 0.05$) ในระดับความเข้มข้นของทองแดงตั้งแต่ 2.0 (mg/L) ขึ้นไป ในระดับความเข้มข้นของตะกั่วตั้งแต่ 1.0 (mg/L) และในระดับความเข้มข้นของสังกะสีตั้งแต่ 6.0 (mg/L) ขึ้นไป โดยความผิดปกติที่ตรวจพบเป็นแบบ Split teeth และ Missing teeth (รูปที่ 4)

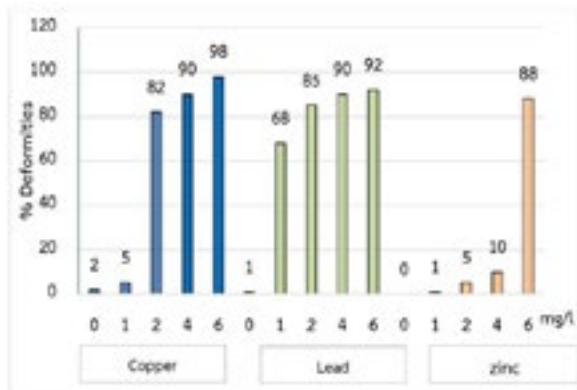


โครงสร้างปกติของ Mentum ของ *C. kiiensis*



รูปที่ 4 ความผิดปกติของ Mentum ที่ตรวจพบ ใน *C. kiiensis*

เมื่อพิจารณาร้อยละความผิดปกติ ในโครงสร้างของ Mentum ที่ระดับความเข้มข้น 0, 1, 2, 4 และ 6 mg/L พบความผิดปกติที่เกิดจากทองแดงร้อยละ 2, 5, 82, 90 และ 98 ตามลำดับ พบความผิดปกติที่เกิดจากตะกั่วร้อยละ 1, 68, 85, 90 และ 92 ตามลำดับ และพบความผิดปกติที่เกิดจากสังกะสีร้อยละ 0, 1, 5, 10 และ 88 ตามลำดับ (รูปที่ 5)



รูปที่ 5 ร้อยละความผิดปกติของ *C. kiensis* กับระดับ

ความเข้มข้นต่าง ๆ ของทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพิษเฉียบพลันของโลหะหนักต่อหนอน *C. kiensis* ในครั้งนี้พบว่า ตะกั่วมีความเป็นพิษสูงสุด รองลงมาคือทองแดงและสังกะสี เนื่องจากในช่วงเวลาที่เท่ากันตะกั่วมีค่าร้อยละการตายสะสมสูงกว่าทองแดงและสังกะสีอีกทั้งมี ค่า LC_{50} ที่ 24 และ 48 ชั่วโมงเท่ากับ 8.33 และ 6.56 mg/L ซึ่งต่ำกว่าทองแดงและสังกะสีในขณะที่ทองแดงมีค่าเท่ากับ 12.57 และ 9.83 mg/L ส่วนสังกะสีมีค่าเท่ากับ 32.05 และ 14.74 mg/L ตามลำดับ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของ วฤชา และดวงพร (2552) ซึ่งทำการศึกษาค่าความเป็นพิษของตะกั่วและทองแดงที่มีต่อไส้เดือนน้ำ *Limnodrilus hoffmeisteri* พบว่าผลการศึกษา มีความสอดคล้องกัน โดยตะกั่วมีความเป็นพิษสูงกว่าทองแดง

Prapimpan and Allen (1987) ทำการทดสอบความเป็นพิษเฉียบพลันของทองแดงต่อหนอนแดง *C. decorus* พบว่าที่ความเข้มข้นของทองแดงที่ 0.05 – 1.0 mg/L ตัวอ่อนสามารถเพิ่มจำนวนได้ แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของทองแดงมากกว่า 1.0 mg/L มีผลทำให้จำนวนตัวอ่อนของแมลงลดลง และความหลากหลายของสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินลดลง ส่งผลกระทบต่อสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดินและระบบนิเวศเสียสมดุล โดยพิษเฉียบพลันเป็นผลมาจากการเพิ่มความเข้มข้นของโลหะหนัก ในขณะที่ความเข้มข้นที่เพิ่มมากขึ้นจะไม่มีผลแบบเรื้อรัง แต่

มีผลทำให้อัตราการตายเพิ่มมากขึ้น (Haarich et al., 1993)

จากการทดสอบพิษเรื้อรังแสดงให้เห็นว่าในระดับความเข้มข้นที่ 1 mg/L ตะกั่ว สามารถทำให้โครงสร้างรยางค์ปากของหนอนแดง (ส่วน Mentum) เกิดความผิดปกติใน Mentum ชนิด Split teeth และ Missing teeth สูงถึง 68 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ ทองแดงและสังกะสี พบความผิดปกติเพียง 5 และ 1 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และยังพบความผิดปกติสูงขึ้นเมื่อค่าความเข้มข้นของโลหะหนักสูงขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้พิษเรื้อรังดังกล่าวยังมีผลต่อสัตว์พื้นท้องน้ำชนิดอื่น ๆ เช่น ไส้เดือนน้ำ มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะรูปร่างภายนอกและการตอบสนองทางพฤติกรรมเมื่อได้รับพิษของตะกั่วและทองแดง (วฤชา และดวงพร, 2552)

ดังนั้นความผิดปกติของ Mentum จากพิษกึ่งเรื้อรังของปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว ทองแดง และสังกะสี) ต่อหนอนแดง จึงเป็นเกณฑ์ที่เหมาะสมเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อสารพิษของหนอนแดงได้ดีทั้งในห้องปฏิบัติการ (มันทนา, 2558) และใช้เป็นตัวชี้วัดปริมาณโลหะหนักในแหล่งน้ำตามธรรมชาติ บริเวณพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรม

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัย ประเภทบัณฑิตศึกษา ปี 2559 จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

7. เอกสารอ้างอิง

นฤมล แสงประดับ . 2542. นาฬิกาสัตว์หน้าดินทางเลือกของการดูแลและเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำ โดยชุมชนท้องถิ่น. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 27 (24): 279-287.

นาตยา เต็มราม, ยุพดี ชัยสุขสันต์, วรณชไม การถนัด และสมพร ประเสริฐสูงสกุล. 2553. พิษเฉียบพลันของซิงค์ออกไซด์ต่อหนอนแดง Acute Toxicity of

- Zinc Oxide to *Chironomus calipterus* (Kieffer). วารสารสงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 18 (2): 9-16.
- มันทนา โต๊ะแบ. 2558. ความเป็นพิษของเตลตามพรินต่อพัฒนาการและความผิดปกติในส่วนรยางค์ปากของหนอนแดง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- รัตวรณ์ ศิลปโกชากุล. 2549. รายงานสถานการณ์ปัจจุบันของระเบียบว่าด้วยสารเคมีของสหภาพยุโรป. กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.
- ลัดดา วงศ์รัตน์. 2541. แพลงก์ตอนพืช. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- วฤชา กาญจนอักษรและดวงพร ภู่มกา. 2552. พิษเฉียบพลันของตะกั่วและทองแดงที่มีต่อไส้เดือนน้ำ *Limnodrilus hoffmeisteri*. ใน การประชุมวิชาการ ม.อ.ภูเก็ตวิจัย (ครั้งที่ 2) สหวิทยาการเพื่อการพัฒนาอย่างยั่งยืน.
- Al-Shami, S., Rawi, C.S.M., Nor, S.A.M., Ahmad, A.H. and Ali, A. 2010. Morphological deformities in *Chironomus* spp. (Diptera: Chironomidae) larvae as a tool for impact assessment of anthropogenic and environmental stresses on three river in the Juru River System, Penang, Malaysia. *Physiological Ecology*. 39(1), 210-222
- Bryan, G.W., G.W. Potts and G.R. Forster. 1977. Heavy metals in the gastropod mollusk: *Liotis tuberculata* (L.). *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* 67: 379-390.
- Finney, D.J., Ed. 1947. *Probit Analysis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Haarich, M., W. Kienz, and M. Krause. 1993. Heavy metal distribution in different compartments of the northern North Sea and adjacent areas. *Deutsche Hydrographische Zeitschrift* 45, 313-336 (1993).
- Ibrahim, H., R. Kheir, S. Helmi, J. Lewis and M. Crane. 1998. Effects of Organophosphorus, Carbamate, Pyrethroid and Organochlorine Pesticides, and a Heavy Metal on Survival and Cholinesterase Activity of *Chironomus riparius* Meigen. *Environmental Contamination and Toxicology*. 60:448-455
- Park, K. and Kwak, I. 2008. Characterization of heat shock protein 40 and 90 in *Chironomus Riparius* larvae: Effect of di (2-ethylhexyl) phthalate exposure on gene expressions and mouthpart deformities. *Chemosphere*. 74, 89-95.
- Prapimpan Kosalwat, Allen W. Knight. 1987. Chronic toxicity of copper to a partial life cycle of the midge, *Chironomus decorus*. *Environmental Contamination and Toxicology*. 1987 (16): 283-290.
- Polprasert, C., B.N. Lohani, S. Mattamara, S. Vongvisessomjai, S. Traichaiyaporn, N. David and S. Suthirawat. 1980. Heavy metals, DDT and PCBs in the Upper Gulf of Thailand. Phasell, Reserch Report No. 125.AIT, Bangkok
- Portmann, J.E. 1972. “Marine pollution in Japan”. P.624. In M. Mario (ed.). *Marine Pollution and sea Lift*. Food and Agriculture Organization of the United Nation, London.
- Taenzler, V., Eric, B., Michael, D., Verena, P. and W.

Lennart. 2007) Chironomids: suitable test organisms for risk assessment investigations on the potential endocrine disrupting properties of pesticides. Ecotoxicology 16: 221-230.

Sakuma, M. 1998. Probit analysis of preference data. Applied Entomology and Zoology. 33 (3): 339-347. DOI : <https://doi.org/10.1303/aez.33.339>

การประเมินและคัดเลือกสายพันธุ์ฟักทองที่ต้านทานต่อโรคเหี่ยว จากเชื้อรา *Fusarium oxysporum*

Evaluation and Selection of Pumpkin Lines against Fusarium Wilt Caused by *Fusarium oxysporum*

กิตติพันธ์ เพ็ญศรี^{1*} ศิริพร อ่ำทอง¹ และ ปนัดดา คิดถึงคุณ²

Kittiphan Phensri^{1*} Siriporn Amthong¹ and Panadda kidtuekung²

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 202 ม.17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 200 ม.17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

¹ Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Pichai, Muang, Lampang.

² Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna, Pichai, Muang, Lampang.

*E-mail kit_kittiphan@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 0821633135

บทคัดย่อ

เชื้อรา *Fusarium oxysporum* เป็นสาเหตุหลักของโรคเหี่ยวในฟักทอง จึงนำมาทดสอบความสามารถของเชื้อราที่มีผลต่ออัตราการงอก ความยาวของราก และความสูงของฟักทองในระยะต้นกล้า พบว่า อัตราการงอกของฟักทองโดยแช่เมล็ดฟักทองด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา 20 นาที มีอัตราการงอกมากที่สุดที่ 96.00 % ด้านความยาวรากของต้นฟักทองในระยะเวลา 7 วัน พบว่า การแช่เมล็ดด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ มีความยาวรากมากที่สุดที่ 13.43 เซนติเมตร ด้านความสูงของต้นฟักทองในระยะเวลา 7 วัน พบว่า การแช่เมล็ดฟักทองด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา 10 นาที มีความสูงของต้นมากที่สุดที่ 9.16 เซนติเมตร ในการศึกษาและประเมินการเกิดโรคเหี่ยวที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* ในฟักทองแต่ละพันธุ์ พบว่า ฟักทองพันธุ์ทองล้านนา 1 มีกรรมวิธีที่ 2 ทำให้เกิดโรคมามากที่สุด มีระดับการเกิดโรคที่ 86.50 % รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่ 4, 3 และ 1 ระดับการเกิดโรคที่ 78.10, 61.11 และ 26.33 % ตามลำดับ ในฟักทองพันธุ์ทองล้านนา 2 มีกรรมวิธีที่ 2 ทำให้เกิดโรคมามากที่สุด มีระดับการเกิดโรคที่ 95.40 % รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 1 ระดับการเกิดโรคที่ 91.66, 85.55 และ 28.16 % ตามลำดับ และในฟักทองพันธุ์ทองล้านนา 4 มีกรรมวิธีที่ 2 ทำให้เกิดโรคมามากที่สุด มีระดับการเกิดโรคที่ 84.55 % รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่ 4, 3 และ 1 ระดับการเกิดโรคที่ 71.28, 60.88 และ 23.25 % ตามลำดับ

คำสำคัญ: โรคเหี่ยวในฟักทอง, เชื้อรา *Fusarium oxysporum*, การประเมินโรค, การคัดเลือกสายพันธุ์

Abstract

Fusarium oxysporum is the primary cause of pumpkin wilt. The study was conducted to test the ability of the disease effect on germination, root length and the height of the pumpkin in the seedling stage. The results were revealed that the soaked pumpkin seeds with suspended fungus spores for 20 minutes had the highest germination rate at 96.00 % . The root length of pumpkin plants in 7 days showed that the soaked seeds in sterilized water had largest root length at 13.43 cm. The height of the pumpkin plants in 7 days showed that the soaked pumpkin seeds with suspended fungus spores for 10 minutes had

the highest plant height at 9.16 cm. The evaluation and selection of pumpkin lines against fusarium wilt caused by *Fusarium oxysporum* therefore; this revealed that the disease was caused by Thong Lanna 1. The Thong Lanna 1 pumpkin with the second method was the highest rate with 86.50 % to cause the disease, followed by method 4, 3 and 1 that caused disease level at 78.10, 61.11 and 26.33 % , respectively. Moreover, the thong Lanna 2 for method 2 caused the highest-level diseases at 95.40 % , followed by method 3, 4 and 1 that caused disease level at 91.66, 85.55 and 28.16 % , respectively. Finally, Thong Lanna 4 in the method 2 also was created the highest disease level at 84.55% , followed by method 4, 3 and 1 that caused disease level at 71.28, 60.88 and 23.25 % , respectively.

Keywords: fusarium wilt, *Fusarium oxysporum*, disease evaluation, selection of variety

1. บทนำ

ฟักทองเป็นพืชวงศ์ Cucurbitaceae มีถิ่นกำเนิดอยู่ในเขตแห้งแล้งแถบอเมริกากลาง ภาคเหนือของเม็กซิโก และภาคตะวันตกของอเมริกาเหนือ สามารถปลูกได้ทั้งในเขตร้อนและเขตแห้งแล้ง (งามเนตร, 2556) ในประเทศไทยพบการปลูกฟักทองได้ในทุกภูมิภาค ฟักทองเจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทราย อากาศแห้ง มีความชื้นในดินพอสมควร ดินมีความเป็นกรดเล็กน้อย อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตคือ 18-27 องศาเซลเซียส ไม่ทนต่อสภาพหนาวจัด ฝนตกชุก และไม่ต้านทานต่อโรคจากเชื้อรา แบคทีเรีย ไวรัสหลากหลายชนิด (รุ่งรัตน์, 2535)

สาเหตุหลักการลดลงของปริมาณและคุณภาพผลผลิตของฟักทอง คือโรคเหี่ยว (Fusarium wilt) ซึ่งมีเชื้อสาเหตุมาจาก *Fusarium oxysporum* f. sp. momordicae โดยมีรายงานการลดลงของฟักทองที่เกิดโรครังร้อยละ 30 – 50 (Tamilselvi and Pugalendhi, 2015) เชื้อเหล่านี้จะเข้าทำลายต้นฟักทองได้ทุกระยะการเจริญเติบโต ในระยะกล้าอาการส่วนใหญ่จะแสดงอาการคล้ายกัน คือจะทำให้ต้นกล้าหักพับล้มและแห้งตายคล้าย damping-off ในต้นโต อาจเกิดอาการชะงักหยุดการเจริญเติบโต เหลือง เหี่ยวเฉา และแห้งตายทั้งต้น โดยเชื้อจะเข้าทำลายส่วนโคนหรือราก แล้วไปเจริญอยู่ภายในท่อน้ำเลี้ยง (xylem) ก่อให้เกิดการอุดตันขึ้นกับท่อดังกล่าว

ต้นฟักทองจะค่อยๆ เหี่ยวลงทีละน้อย โดยในตอนแรกจะเหี่ยวเฉพาะเวลากลางวันที่อากาศร้อน และจะกลับมาสดขึ้นอย่างเดิมในตอนกลางคืน อาการจะค่อยๆทวีความรุนแรงขึ้น ใบที่เหี่ยวจะเกิดอาการไหม้และแห้งขึ้นที่บริเวณขอบ ต่อมาเนื้อใบที่เหลือจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นสีเหลือง แล้วแห้งในที่สุดเมื่อเกิดการเหี่ยวอย่างถาวร ฟักทองก็จะตายทั้งต้น โดยทั้งหมดนี้ใช้เวลาตั้งแต่ 10 – 20 วัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมความรุนแรงของเชื้อและพันธุ์ของฟักทอง ต้นที่แสดงอาการเหล่านี้เมื่อถอนขึ้นจากดินแล้วผ่าต้นออกดูจะเห็นเชื้อรา *Fusarium* เจริญเติบโตอุดตันอยู่ในท่อ xylem สำหรับต้นที่เหี่ยวตายบางครั้งจะพบแผลสีน้ำตาลแดง เกิดขึ้นที่บริเวณโคนต้นและราก ในกรณีที่มีความชื้นสูงจะปรากฏเส้นใยและสปอร์ หรือโคนเดี่ยวของเนื้อสีชมพูให้เห็นอยู่ทั่วไปบริเวณแผลดังกล่าว สำหรับรากอาจถูกทำลายจนเสียหายทั้งหมด โดยจะเห็นได้จากเมื่อถอนต้นขึ้นมา รากส่วนใหญ่จะขาดหลุดติดอยู่ในดิน (ไทยเกษตรศาสตร์, 2560) ที่กล่าวมาทั้งหมดนี้เป็นอาการที่มีลักษณะคล้ายกันในพืชตระกูลแตงเกือบทุกชนิด แต่ก็มีบางอาการที่แตกต่างกันออกไปบ้าง เช่น ในแตงแคนทาลูป เมื่อเริ่มมีอาการโรคเหี่ยว ที่ลำต้นหรือเถาอาจมีแผลเป็นเส้นขีดยาวๆ หรือเกิดเป็นแผลแยกออกพร้อมทั้งมียางเหนียวๆ สีเหลืองอ่อนซึ่งเป็นน้ำเลี้ยงของต้นซึมออกมา ในฟักทองนอกจากอาการเหี่ยวและแผลที่ต้นและรากแล้ว ลูกหรือผลที่มีอยู่อาจถูกเชื้อเข้า

ทำลายด้วย ทำให้เกิดอาการเน่าเสียทั้งลูก และส่งผลต่อผลผลิตและคุณภาพของฟักทองอีกด้วย

ในการศึกษาเชื้อราสาเหตุที่ก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในฟักทอง และการประเมินสายพันธุ์ฟักทองที่มีความสามารถในการต้านทานโรคเหี่ยวจากเชื้อ *Fusarium oxysporum* จะเป็นประโยชน์ในการคัดเลือกพันธุ์ และปรับปรุงพันธุ์ฟักทองที่มีลักษณะความต้านทานโรคเหี่ยวได้ต่อไปในอนาคต

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Fusarium Fries เป็นราจัดอยู่ใน subdivision Deuteromycotina, form-class Hyphomycetes, form-order Tuberculariales, form-family Tuberculariaceae *Fusarium* เป็นราอาศัยในดิน พบได้ทั่วไปทุกแห่ง (Gams, 2007) เชื้อรา *Fusarium* สาเหตุโรคพืชเป็นพวกที่เข้าทำลายและทำให้เกิดโรคทางระบบท่อลำเลียงของพืช ทำให้เกิดโรคเน่าในหัว เหง้า และรากพืช และเป็นสาเหตุโรคพืชที่สำคัญ ซึ่งระบาดทำความเสียหายแก่ พืชไร่ พืชหัว พืชผัก ไม้ดอกไม้ประดับ และไม้ผลทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว โรคสำคัญในต่างประเทศที่เกิดจากรา *Fusarium* และทำความเสียหายมากได้แก่ โรคเหี่ยวในกล้วย (Panama wilt) โรคเหี่ยวของมะเขือเทศ พริก ฝ้าย ถั่วลิสง ถั่วเหลือง ถั่วลิ้นเต่า หัวหอม มันฝรั่ง กล้วย ส้ม แอปเปิล และฟักทอง ในประเทศไทยพบราสกุลนี้หลายชนิดกระจายอยู่ทั้งในดินและพืชมากกว่าชนิดอื่นโดยเป็นสาเหตุของโรคในพืชที่สำคัญหลายชนิด ได้แก่ ธัญพืชเมืองหนาว ฝ้าย ถั่วลิสง หัวหอม กะหล่ำปลี แตงโม มะเขือเทศ พริก และฟักทอง แต่โรคที่พบว่า เชื้อรา *Fusarium* ทำความเสียหายให้กับพืชในประเทศไทยมากที่สุด คือ โรคเหี่ยว (*Fusarium wilt disease*) กับพืชล้มลุก และพืชผักหลาย ๆ ชนิด และโรคผลเน่า (*Fusarium fruit rot*) ที่มีการระบาดทำความเสียหายให้กับผลผลิตพืชเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะกับพืชตระกูลแตง ที่มีการขยายพื้นที่ปลูกเพื่อจำหน่ายในประเทศไทย และส่งออกจำหน่ายยังต่างประเทศในต่างประเทศมี รายงานการเข้าทำลายของเชื้อ *Fusarium* ในพืชตระกูลแตงหลายชนิดด้วยกัน เช่น *F. oxysporum*

สาเหตุโรค *fusarium wilt* แม้ที่ผ่านมาได้มีรายงานการศึกษาโรคที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium* ในประเทศไทยไว้บ้างแล้ว (อภิรัชต์ และคณะ, 2545) แต่ก็ยังเป็นข้อมูลที่สามารถอธิบายได้เพียงบางส่วนหรือช่วงระยะเวลาหนึ่งเท่านั้น ซึ่งในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการปลูกพืชพันธุ์ที่คล้ายคลึงกับพันธุ์ต่างประเทศมาปลูกเป็นการค้า ซึ่งพืชเหล่านี้มีรายงานการพบโรคเหี่ยวจากเชื้อราสกุล *Fusarium* อยู่เสมอ ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการวางแผนการศึกษาเพื่อรวบรวมข้อมูลว่าปัจจุบันประเทศไทย มีเชื้อรา *Fusarium* ชนิด (species) ใหม่เกิดขึ้นเป็นสาเหตุของโรคเหี่ยวเกิดขึ้นหรือไม่ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้นทำให้เชื้อราสาเหตุโรคพืชมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป และความเสียหายของผลผลิตเนื่องจากเชื้อราโรคพืชจึงเกิดเป็นประจำทุกปี และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการศึกษาหาสายพันธุ์พืชที่ต้านทานต่อโรคจากเชื้อรา ทำการคัดเลือกพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์พืชให้ต้านทานต่อโรค เพื่อประโยชน์สูงสุดแก่เกษตรกรผู้ปลูกพืช ในการลดการใช้สารเคมีป้องกันกำจัดโรคพืช และให้ได้ผลผลิตและมีคุณภาพตามความต้องการของผู้บริโภคและตลาด

(สมควร และคณะ, 2559) ได้ทำการประเมินความต้านทานของแตงไทย และเมล่อนพันธุ์การค้าต่อเชื้อโรคเหี่ยวจากเชื้อรา *Fusarium* ซึ่งมีสาเหตุจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum* f. sp. *Melonis* (Form) เป็นโรคสำคัญชนิดหนึ่งที่ทำให้เมล่อนเสียหายทั่วโลก รวมถึงประเทศไทย งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บรวบรวมและแยกเชื้อรา *Fusarium* จากแหล่งปลูกพื้นที่ต่าง ๆ และประเมินการตอบสนองต่อโรคเหี่ยว โดยวิธีปลูกเชื้อในแตงไทย (pickling melon หรือ *Cucumis melo* Conormon Mak.) จำนวน 13 ตัวอย่าง (accessions) laun T024 T079 T094 T0101 TC170 T0199 T0207 TO211 T0212 T0239 SK1 RS4 un:wS4 และเมล่อนพันธุ์การค้า (*Cucumis melo* L.) จำนวน 4 พันธุ์ ได้แก่ KUE KUG KUH และ KUK วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ จำนวน 3 ซ้ำ ๆ ละ 20 ต้น รวม 60 ต้น วิเคราะห์ค่าความรุนแรงการติดเชื้อ (disease severity)

Lauli square root-transformed was least-squares analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบค่าความรุนแรงการติดเชื้อระหว่างตัวอย่างด้วยวิธี Bonferroni multiple comparison : test ผลการทดลองแสดงว่าแดงไทย 13 ตัวอย่างอ่อนแอต่อเชื้อรา *Fusarium* ส่วนเมล็ดอ่อนพันธุ์การค้ำนี้มีเฉพาะพันธุ์ "KUE" ที่ต้านทานต่อเชื้อโรคเหี่ยวจากเชื้อรา *Fusarium*

(วัชร และคณะ, 2557) ได้ทำการประเมินสายพันธุ์มะเขือเทศรับประทานสดผลใหญ่ต่อโรคเหี่ยวจากเชื้อ *Fusarium wilt (Fusarium oxysporum f.sp. lycopersicirace 2)* โรคเหี่ยวเป็นปัญหาสำคัญสำหรับการผลิตมะเขือเทศทั่วโลก การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินพันธุ์มะเขือเทศพันธุ์ดีและพันธุ์ที่มีรายงานต้านทานต่อโรคเหี่ยวจากหลายแหล่งรวบรวมเชื้อพันธุ์กรรม โดยทดลองในช่วงเดือนมีนาคม - เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2556 ที่แปลงทดลอง เรือนทดลอง และห้องปฏิบัติการ ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ใช้มะเขือเทศทั้งหมด 46 สายพันธุ์ แบ่งต้นกล้าของทุกพันธุ์เป็น 2 กลุ่ม แต่ละกลุ่มวางแผนการทดลองแบบ randomized complete block design แบ่งเป็นมะเขือ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาเชื้อรา *F. oxysporum* สายพันธุ์ที่ก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในฟักทอง

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *F. oxysporum* สาเหตุของโรคเหี่ยวฟักทอง ซึ่งได้รับความอนุเคราะห์จากศูนย์บริหารศัตรูพืชวิถีชีวภาพ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ที่เจริญบนอาหาร potato dextrose agar (PDA) จำนวน 1 ไอโซเลท โดยตรวจดูลักษณะสปอร์ ก้านชูสปอร์ และการเจริญของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดเลนส์ประกอบ

การทดสอบความสามารถของเชื้อรา *Fusarium oxysporum* ที่มีผลต่ออัตราการงอก ความยาวของราก และความสูงของฟักทองในระยะต้นกล้า

ทดสอบ 44 สายพันธุ์ และใช้พันธุ์ I3R-1 เป็นพันธุ์ต้านทานตรวจสอบ และพันธุ์ Bonny Best เป็นพันธุ์อ่อนแอเปรียบเทียบโดยกลุ่มแรกทดสอบในสภาพโรงเรือนเพื่อประเมินการตอบสนองต่อเชื้อรา *Fusarium oxysporum f.sp. lycopersicirace 2 (KK6 isolate)* ทดสอบกรรมวิธีละ 20 ต้น และกลุ่มที่ 2 ประเมินผลผลิตและลักษณะคุณภาพทางพืชสวนที่เปลี่ยนแปลงปลูก ทดสอบ 3 ซ้ำ ๆ ละ 15 ต้น จากการศึกษา พบว่า มะเขือเทศรับประทานสดผลใหญ่ที่นำมาทดสอบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติในทุกระดับความต้านทาน มีระดับต้านทานต่อโรคเหี่ยว (R) จำนวน 6 สายพันธุ์ คือ KKU-T44048, KKU-T44170, KKU-T44189, KKU-T44197, KKU-T44198 และ Walter และต้านทานในระดับปานกลาง (MR) จำนวน 6 สายพันธุ์ คือ KKU-T11008, KKU-T44012, KKU-T44018, KKU-T44078-2, KKU-T44195 และ KKU-T17036 ตามลำดับ นอกจากนี้ยัง พบว่า เชื้อพันธุ์กรรมที่ให้ผลผลิตสูง คือ KKU-T24006, Thomas, Prefect D91, และ KKU-T34063 โดยให้ผลผลิต 3,280, 2,970, 2,600 และ 2,500 กรัม/ต้น ตามลำดับ

ศึกษาอัตราความงอกของเมล็ดฟักทอง ความยาวของราก และความสูงของต้นกล้าฟักทอง โดยมีวิธีในการศึกษาวิจัย 4 วิธี คือ 1. วิธีควบคุม (control) 2. วิธีแช่สปอร์แขวนลอยเชื้อรา 10 นาที 3. วิธีแช่สปอร์แขวนลอยเชื้อรา 20 นาที 4. วิธีแช่สปอร์แขวนลอยเชื้อรา 30 นาที โดยนำเมล็ดของฟักทองมาล้างทำความสะอาด จากนั้นนำไปศึกษาตามวิธีการวิจัย ได้แก่ วิธีการควบคุมด้วยน้ำกลั่น และจุ่มในสปอร์สารแขวนลอยของเชื้อรา *F. oxysporum* จำนวน 1 ไอโซเลท ความเข้มข้น 1.0×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร เป็นเวลา 10, 20 และ 30 นาที ตามลำดับ เปรียบเทียบกับการแช่ในน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อที่เป็นชุดควบคุม จัดบันทึกผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

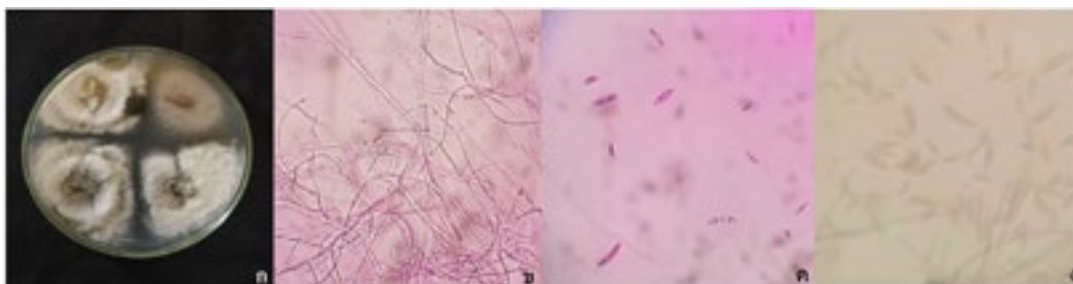
การศึกษาและประเมินการเกิดโรคเหี่ยวที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* ในฟักทองแต่ละพันธุ์

เพาะเมล็ดพืชทองพันธุ้ ทองล้านนา 1 ทองล้านนา 2 และทองล้านนา 4 ลงในถาดเพาะต้นกล้าเตรียมเชื้อรา *F. oxysporum* สายพันธุ์ที่ก่อให้เกิดโรคเหี่ยว บนอาหารวุ้น PDA แล้วเตรียมสปอร์แขวนลอยของเชื้อราในน้ำกลั่นหนึ่งฆ่าเชื้อ ที่มีความเข้มข้น 1.0×10^6 สปอร์ต่อมิลลิลิตร นำต้นกล้าพืชทองอายุ 21 วัน มาล้างราก แล้วแช่ในสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *F. oxysporum* สายพันธุ์ที่ก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในพืชทอง โดยแยกตามกรรมวิธีต่าง ๆ ซึ่งมีดังนี้ วิธีที่ 1 ใช้น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อเป็น control วิธีที่ 2 แช่ต้นกล้าพืชทองใน *F. oxysporum* ที่เจือจางแล้ว เป็นเวลา 10 นาที กรรมวิธีที่ 3 แช่ต้นกล้าพืชทองใน *F. oxysporum* ที่เจือจางแล้ว เป็นเวลา 20 นาที และวิธีที่ 4 แช่ต้นกล้าพืชทองใน *F. oxysporum* ที่เจือจางแล้ว เป็นเวลา 30 นาที สายพันธุ์ละ 10 ต้นแยกตามกรรมวิธี จากนั้นนำมาปลูกลงในกระถางดินที่เตรียมไว้ โดยแยกตามวิธี ดูแล การเจริญเติบโตของพืชทอง และบันทึกข้อมูลการเกิดโรค หลังการย้ายปลูกทุก ๆ 7 วัน จนครบ 28 วันหลังปลูก

4. ผลการวิจัย

การศึกษาเชื้อรา *F. oxysporum* สายพันธุ์ที่ก่อให้เกิดโรคเหี่ยวในพืชทอง

ลักษณะของเชื้อรา *Fusarium oxysporum* ที่ทำให้เกิดโรคเหี่ยวในพืชทอง พบว่า เชื้อราที่สามารถแยก



รูปที่ 1 ลักษณะของเชื้อรา *Fusarium oxysporum* บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA (ก) และภายใต้กล้องจุลทรรศน์ (ข, ค, ง)

การทดสอบความสามารถของเชื้อรา *Fusarium oxysporum* ที่มีผลต่ออัตราการงอก ความยาวของราก และความสูงของพืชทองในระยะต้นกล้า

ศึกษาอัตราการงอกของเมล็ดพืชทอง ความยาวของราก และความสูงของต้นกล้าพืชทอง โดยมีวิธีใน

เมื่อพบว่า เชื้อรา *F. oxysporum* ทำให้เกิดโรคกับพืชทองที่นำมาทดสอบ ตรวจสอบและบันทึกผลระดับการเกิดโรคในพืชที่ทดสอบ โดยการบันทึกผลระดับการเกิดโรคบนพืชทองใช้วิธีการ ดังนี้

ระดับความรุนแรงของโรคเหี่ยวพืชทองเรียกว่าระดับต้นพืชทอง ระดับ 1 หมายถึง ไม่แสดงอาการเหี่ยวของโรค ระดับ 2 หมายถึง ใบแสดงอาการเหี่ยวประมาณ 1-2 ใบ ระดับ 3 หมายถึง ยอดเริ่มแสดงอาการเหี่ยว ระดับ 4 หมายถึง ต้นพืชแสดงอาการเหี่ยวทั้งต้น ระดับ 5 หมายถึง ต้นเหี่ยวและแห้งตาย

หลังจากที่บันทึกผลระดับการแสดงการเกิดโรค นำผลการทดลองที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแล้วนำมาจัดกลุ่มระดับความรุนแรง Disease Severity Index (DSI) เป็น 4 กลุ่มดังนี้ DSI 1 คือ ไม่สามารถก่อให้เกิดโรค (non-pathogenic) DSI 3.50 คือ เกิดโรคในระดับต่ำ (low virulent) DSI >3.50-4.50 คือ เกิดโรคในระดับปานกลาง (moderate virulent) DSI > 4.50 คือเกิดโรคในระดับที่รุนแรง (high virulent) (Sibounnavong, 2012)

ได้บนอาหารเลี้ยงเชื้อ PDA ลักษณะโคโลนี สร้าง aerial mycelium สีชมพูอ่อน เส้นใยเชื้อราเจริญเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อใช้เวลา 14 วัน ลักษณะบริเวณด้านล่างโคโลนีสีเหลืองอ่อน และสร้างมาโครโคนีเดียจำนวนมาก (รูปที่ 1)

การศึกษาวิจัย 4 วิธี พบว่า อัตราการงอกของพืชทองโดยแช่เมล็ดด้วยกรรมวิธีที่แช่เมล็ดพืชทองด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา 20 นาที มีอัตราการงอกมากที่สุดคือ 96.00 % รองลงมา คือ กรรมวิธีที่แช่เมล็ดพืชทองด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา 10 นาที มีอัตราการงอก

83.00 % และกรรมวิธีที่ควบคุม โดยการแช่เมล็ดด้วยน้ำ
นึ่งฆ่าเชื้อ มีอัตราออก 80.00 % และกรรมวิธีที่แช่เมล็ด
ฟักทองด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา 30 นาที มีอัตรา
การงอกน้อยสุด 73.00 %

ด้านความยาวรากของต้นฟักทองในระยะเวลา
7 วัน กรรมวิธีที่ควบคุม แช่เมล็ดด้วยน้ำนึ่งฆ่าเชื้อ มีความ
ยาวรากมากที่สุด คือ 13.43 เซนติเมตร รองลงมา คือ
กรรมวิธีที่แช่เมล็ดฟักทอง ด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา
มีความยาวราก 10.67 เซนติเมตร กรรมวิธีที่แช่เมล็ด
ฟักทองด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา 10 นาที มีความ
ยาวราก 7.97 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แช่เมล็ดฟักทอง
ตารางที่ 1 แสดงลักษณะการเจริญเติบโตของฟักทอง ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ด ความยาวราก และความสูงของต้น
ของฟักทองในระยะต้นกล้า

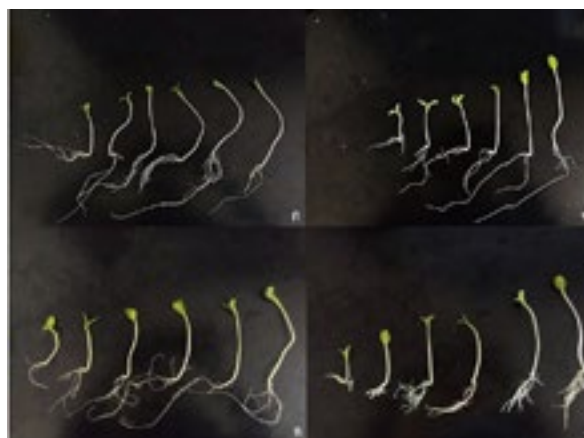
ด้วยสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา 30 นาที มีความยาวราก
น้อยที่สุด 4.53 เซนติเมตร

ด้านความสูงของต้นฟักทองในระยะเวลา 7 วัน
พบว่า กรรมวิธีที่แช่เมล็ดฟักทองด้วยสปอร์แขวนลอยของ
เชื้อรา 10 นาที มีความสูงของต้นมากที่สุด คือ 9.16
เซนติเมตร รองลงมา คือ กรรมวิธีควบคุมแช่เมล็ดด้วยน้ำ
นึ่งฆ่าเชื้อ 9.07 เซนติเมตร กรรมวิธีที่แช่เมล็ดฟักทองด้วย
สปอร์แขวนลอยของเชื้อรา 20 นาที มีความสูง 8.46
เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แช่เมล็ดฟักทองด้วยสปอร์
แขวนลอยของเชื้อรา 30 นาที ซึ่งมีความสูงน้อยที่สุด คือ
6.36 เซนติเมตร (ตารางที่ 1 , รูป ที่ 2)

กรรมวิธี	ลักษณะการเจริญเติบโตของฟักทอง		
	การงอกของเมล็ด (%)	ความยาวราก (ซม.)	ความสูงต้น (ซม.)
กรรมวิธีควบคุม	80c	13.43a	9.07
แช่สปอร์แขวนลอยเชื้อรา 10 นาที	83b	7.97c	9.16
แช่สปอร์แขวนลอยเชื้อรา 20 นาที	96a	10.67b	8.46
แช่สปอร์แขวนลอยเชื้อรา 30 นาที	73d	4.53d	6.36
F-test	**	**	ns
c.v. (%)	11.75	13.72	24.95

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($P \leq 0.01$)



รูปที่ 2 ความยาวของรากฟักทองในระยะต้นกล้าของแต่ละกรรมวิธี (ก = กรรมวิธีควบคุม, ข = แช่สปอร์
แขวนลอยเชื้อรา 10 นาที, ค = แช่สปอร์แขวนลอยเชื้อรา 20 นาที, ง = แช่สปอร์แขวนลอยเชื้อรา 30 นาที)

การศึกษาและประเมินการเกิดโรคเหี่ยวที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* ในฟักทองแต่ละพันธุ์

จากการศึกษาและประเมินการเกิดโรคเหี่ยวแยกตามกรรมวิธีต่าง ๆ และพันธุ์ฟักทอง พันธุ์ทองล้านนา 1 ทองล้านนา 2 และทองล้านนา 4 หลังจากการย้ายปลูก 28 วัน พบว่า ฟักทองพันธุ์ทองล้านนา 1 มีกรรมวิธีที่ 2 ทำให้เกิดโรคมามากที่สุด มีระดับการเกิดโรคที่ 86.50 % รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่ 4, 3 และ 1 ระดับการเกิดโรคที่ 78.10, 61.11 และ 26.33 % ตามลำดับ ในฟักทองพันธุ์

ทองล้านนา 2 มีกรรมวิธีที่ 2 ทำให้เกิดโรคมามากที่สุด มีระดับการเกิดโรคที่ 95.40 % รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่ 3, 4 และ 1 ระดับการเกิดโรคที่ 91.66, 85.55 และ 28.16 % ตามลำดับ และในฟักทองพันธุ์ทองล้านนา 4 มีกรรมวิธีที่ 2 ทำให้เกิดโรคมามากที่สุด มีระดับการเกิดโรคที่ 84.55 % รองลงมาเป็นกรรมวิธีที่ 4, 3 และ 1 ระดับการเกิดโรคที่ 71.28, 60.88 และ 23.25 % ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงผลการประเมินระดับการเกิดโรคเหี่ยวของฟักทอง (ทองล้านนา 1, 2 และ 4) ที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* หลังจากการย้ายปลูก 28 วัน

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางด้านสถิติ ($P \leq 0.01$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางด้านสถิติ ($P \leq 0.05$)

กรรมวิธี	ระดับการเกิดโรคเหี่ยวของฟักทอง (%)		
	ทลน 1	ทลน 2	ทลน 4
กรรมวิธี 1 (ควบคุม)	26.33C	28.16C	23.25C
กรรมวิธี 2 (แช่เชื้อรา Fusarium 10 นาที)	86.50a	95.40a	84.55a
กรรมวิธี 3 (แช่เชื้อรา Fusarium 20 นาที)	61.11b	91.66ab	60.88b
กรรมวิธี 4 (แช่เชื้อรา Fusarium 30 นาที)	78.10ab	85.55b	71.28ab
F-test	**	*	**
C.V.(%)	22.35	27.56	24.89

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา *Fusarium oxysporum* เมื่อทำการแยกเชื้อราสาเหตุโรคเหี่ยวจากต้นฟักทองที่แสดงอาการเหี่ยว ซึ่งได้เชื้อราที่แสดงอาการของโรคเหี่ยว ที่มีลักษณะโคโคนีสีชมพูอมส้ม เมื่อศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อราภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบเส้นใยของเชื้อรามีผนังกัน สีใส และพบลักษณะของโคนิเดียของเชื้อรา 3 ชนิด คือ macroconidia microconidia และ chlamydospore ซึ่งสอดคล้องงานวิจัยของ (วิพรพรรณ, 2560) ที่จำแนกว่าเป็นเชื้อรา *Fusarium oxysporum* เมื่อนำมาทดสอบความสามารถในการก่อโรคเหี่ยวโดยการปลูกเข้ากับเมล็ด

ฟักทอง พบว่าต้นกล้าฟักทองแสดงอาการเหี่ยวและรากเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาล และเมื่อทำการทดสอบกับพันธุ์ฟักทอง พันธุ์ทองล้านนา เพื่อประเมินการความต้านทานโรคเหี่ยว พบว่าพันธุ์ทองล้านนา 4 มีอัตราการเกิดโรคน้อยที่สุด รองลงมาเป็น พันธุ์ทองล้านนา 1 และทองล้านนา 2 ตามลำดับ โดยเมล็ดฟักทองที่ผ่านการแช่ในสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *F. oxysporum* เป็นเวลา 10 นาที สามารถก่อให้เกิดโรคเหี่ยวของฟักทองที่ระดับความรุนแรงสูงสุดคือต้นฟักทองมีอาการเหี่ยว และแห้งตาย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ (ร่มสุรีย์ และคณะ, 2559) ที่ศึกษาการเกิดโรคเหี่ยวเหี่ยวเหลืองที่เกิดจากเชื้อรา *F. oxysporum* และทำการทดสอบการเกิดโรคและประเมิน

ความต้านทานโรคเหี่ยว ซึ่งพบว่า เชื้อรา *F. oxysporum* สายพันธุ์ที่คัดเลือกได้ มีระดับความรุนแรงของการเกิดโรคเหี่ยว สูงที่สุด ที่ทำให้ต้นพืชแสดงอาการเหี่ยว โดยใบที่เหี่ยวจะเกิดอาการไหม้และแห้งขึ้นที่บริเวณขอบใบ ต่อมาเมื่อใบที่เหลืองจะเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ใบแห้ง และต้นแห้งตาย

จากการประเมินและคัดเลือกสายพันธุ์พืชทองที่ต้านทานต่อโรคเหี่ยวจากเชื้อรา *F. oxysporum* ในครั้งนี้ สามารถคัดเลือกพืชทองพันธุ์ทองล้านนา 4 ที่มีความต้านทานต่อโรคที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถนำพันธุ์จากการวิจัยในครั้งนี้ไปศึกษาเปรียบเทียบพันธุ์กับพันธุ์การค้าเพิ่มเติม เพื่อทดสอบความต้านทานโดยเปรียบเทียบกับพันธุ์ที่อ่อนแอต่อโรค และพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคอีกครั้ง เพื่อยืนยันผลการวิจัย และสามารถนำไปใช้ในกระบวนการปรับปรุงพันธุ์ทองให้ต้านทานต่อโรคเหี่ยวจากเชื้อรา *F. oxysporum* ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่อง “การประเมินและคัดเลือกสายพันธุ์พืชทองที่ต้านทานต่อโรคเหี่ยวจากเชื้อรา *Fusarium oxysporum*” ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากโครงการวิจัยเพื่อบูรณาการการเรียนการสอนร่วมกับงานวิจัยและบริการวิชาการ “ทุนวิจัย HANDS-ON ประจำปี 2563” โดยได้รับความอนุเคราะห์เชื้อพันธุ์กรรมพืชทองที่ใช้ในการวิจัย จากศูนย์พันธุ์กรรมพืช สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร และนักศึกษาระดับปริญญาตรีที่ร่วมทำงานวิจัย เพื่อใช้ประกอบการศึกษาในรายวิชาปัญหาพิเศษหลักสูตรปริญญาตรี สาขาพืชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

7. เอกสารอ้างอิง

งามเนตร รอบรู้. (2556). พืชทอง. สืบค้น 9 มีนาคม 2564, จาก <http://ngamnat.blogspot.com/20130201archive.html>
ไทยเกษตรศาสตร์. (2560). โรคครากเน่าที่เกิดกับแตงชนิดต่าง ๆ. สืบค้น 25 มีนาคม 2564, จาก <https://www.thaikasetsart.com/โรคครากเน่า/>

ร่วมสุรีย์ มนต์รีภักดี และสร้อยยา ฌ ลำปาง. (2559). ประสิทธิภาพของเชื้อแอกติโนไมซีสต์ในการควบคุมเชื้อรา. วารสารวิชาการเกษตร ปีที่ 34 ฉบับที่ 2. 184-195.
รุ่งรัตน์ เหลืองนทีเทพ. (2535). พืชเครื่องเทศและสมุนไพร. ภาควิชาพัฒนาตารางและเอกสารวิชาการ (161 น). กรมการฝึกหัดครู, กรุงเทพฯ ฯ.
วัชรนา นาทา, วีระศักดิ์ ศักดิ์ศิริรัตน์ และสุชีลา เตชะวงศ์เสถียร. (2557). การประเมินสายพันธุ์มะเขือเทศรับประทานสดผลใหญ่ต่อโรคเหี่ยวเหลืองจากเชื้อ *Fusarium wilt (Fusarium oxysporum f.sp.lycopersicirace 2)*. แก่นเกษตร 42 ฉบับพิเศษ 3. 830-834.
วิพรพรรณ เนืองเม็ก และวรวุฒิ อ้ายดวง. (2560). การทดสอบประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดเชื้อราในการควบคุมเชื้อรา *Fusarium oxysporum* สาเหตุโรคเหี่ยวของแคนตาลูป. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์ ปีที่ 4 ฉบับที่ 2. 52-55
สมควร บุญศรีบุญกุล, เฉอมมาลย์ วงศ์ชาวจันทร์, ปริญญา จุลกะและธานี ศรีวงศ์ชัย. (2559). การประเมินความต้านทานของแตงไทยและเมล่อนพันธุ์การค้าต่อเชื้อโรคเหี่ยวฟิวซาเรียมสายพันธุ์ 1. วารสารวิทยเกษตร 47. 164-170.
อภิรัชต์ สมฤทธิ์, พัฒนา สนธิรัตน์, นิยม ไช้มุก และธารทิพย์ ภาสบุตร. 2545. รวบรวมและจำแนกชนิดเชื้อราสกุล *Fusarium* สาเหตุโรคชนิดต่าง ๆ ของพืชเศรษฐกิจ. รายงานผลงานวิจัยประจำปี กลุ่มงานวิทยาไมโคร กองโรคพืชและจุลชีววิทยา กรมวิชาการเกษตร จตุจักร กรุงเทพฯ.
Gams, W. (2007). Compendium of Soil Fungi. 2nd ed. 672 p.
Sibounnavong, P., Cynthia, C.D., Kanokmedhakul, S. and Soyong, K. (2012). Disease Severity Index (DSI). Journal of Agricultural Technology 4(1). 89-99.
Tamilselvi N.A., Jansirani P., Pugalendhi L., (2015). Estimation of heterosis and combining ability for earliness and yield characters in pumpkin. African Journal of Agricultural Research 10(16). 1904-1912.

ผลของระยะเวลาเตรียมน้ำไมโครนาโน-บับเบิลสำหรับใช้เตรียมอาหารเพาะเลี้ยง
ในชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจุ่มชั่วคราวต่อการเจริญและพัฒนาของว่านนางค่อม
Effect of Preparation Time of Micro Nano-Bubble Water Using in Prepared
Medium of Temporary Immersion Bioreactor on Growth and Development
of Brisbane Lily (*Euryclis amboinensis* Lindl)

นุชศิวิ ลุนศรีทอง^{1*} ศิริพรรณ สارينทร์² เพียงพิมพ์ ชิดบุรี³ และ อภิชาติ ชิดบุรี⁴
Nuchsiwa Lunsritong^{1*} Siripun Sarin², Piengpim Chidburee³ and Aphichat Chidburee⁴

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

²ภาควิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

³สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

⁴สถาบันวิจัยเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

¹Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lamphang, Lamphang Province, 52000

²Department of Microbiology and Parasitology, Faculty of Medical Science, Naresuan University, Phitsanulok Province, 65000

³Department of Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna Lamphang Lamphang 52000

⁴Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lamphang, Rajamangala University of Technology Lanna, Lamphang Province, 52000

*Corresponding author : nuchsiwa_lu62@live.rmutl.ac.th, 0979708491

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาเตรียมน้ำไมโครนาโนบับเบิล (Micro-Nano Bubble; MNB) สำหรับใช้เตรียมอาหารเพาะเลี้ยงในชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจุ่มชั่วคราว (Temporary Immersion Bioreactor; TIB) ต่อการเจริญและพัฒนาของว่านนางค่อม ทำการทดลองโดยเตรียมน้ำ MNB ที่ระยะเวลา 5, 10 และ 15 นาที เปรียบเทียบกับน้ำที่ไม่ผ่านการเตรียม (ชุดควบคุม) หลังจากนั้นนำไปเตรียมน้ำในชุดไบโอรีแอคเตอร์ MS ที่เติมสารละลาย BA ปริมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร BA (6-Benzyladenine; BA) แล้วนำไปเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อว่านนางค่อมในชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจุ่มชั่วคราว หลังจากทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่า น้ำ MNB ที่เตรียมเป็นระยะเวลา 5, 15 นาที และน้ำที่ไม่ผ่านการเตรียมให้น้ำหนักสดของชิ้นส่วนมากที่สุด และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) คือ 0.17 ± 0.01 , 0.22 ± 0.02 และ 0.22 ± 0.02 กรัม ตามลำดับ ส่วนน้ำ MNB ที่เตรียมเป็นระยะเวลา 15 นาทีและน้ำที่ไม่ผ่านการเตรียมมีเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นส่วนกว้างที่สุดที่ และมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) คือ 0.71 ± 0.03 เซนติเมตร นอกจากนี้ น้ำ MNB ที่เตรียมเป็นระยะเวลา 5 นาที มีค่าความเขียวของใบ (SPAD Index) มากที่สุด เท่ากับ 8.09 ± 1.34 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำไมโครนาโนบับเบิลสามารถใช้ในการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงว่านนางค่อมในชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจุ่มชั่วคราวได้

คำสำคัญ : ไมโครนาโน-บับเบิล ไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว ว่านนางค่อม

Abstract

The purpose of the study was to compare the preparation time of the Micro-Nano Bubble (MNB) water using in prepared medium of Temporary Immersion Bioreactor (TIB) on growth and development of Brisbane Lily (*Eurycles amboinensis* Lindl.). The experiments included the MNB water at the preparation time of 5, 10, and 15 minutes and the unprepared water (control). Then the prepared MNB water was used to make the MS medium supplemented with 2 mg/l BA (6-Benzyladenine) for culturing the Brisbane Lily in the TIB system. After cultivation for 4 weeks, the results showed that the MNB at preparation time of 5, 15 min and the unprepared water gave higher fresh weight of explant than others (0.17 ± 0.01 , 0.22 ± 0.02 and 0.22 ± 0.02 g, respectively). The MNB at preparation time of 15 min and the unprepared water exhibited the highest diameter of explant about 0.71 ± 0.03 cm. while the MNB at preparation time of 5 min achieved the highest SPAD Index of leaf greenness (8.09 ± 1.34). It can be concluded that the MNB water can use to prepare the MS medium for plant culturing in the TIB system.

Keywords : Micro Nano-Bubble, Temporary Immersion Bioreactor, Brisbane Lily

1. บทนำ

ว่านนางคัม หรือว่านผู้เฒ่าเฝ้าบ้าน บัววัน และ Brisbane lily เป็นไม้ดอกประเภทหัวเมืองร้อนชนิดหนึ่งที่ใช้เป็นไม้กระถางในประเทศไทยมาเป็นเวลานาน เนื่องจากเป็นพืชที่มีใบ และดอกสวยงาม ดอกบานติดกับต้น ก้านช่อดอกยาวตรงและแข็งแรง ดอกมีสีขาว และนอกจากเป็นไม้ตัดดอกด้วย (กาญจนา, 2543; McMzkin, 1993) การขยายพันธุ์ว่านนางคัมโดยปกติใช้วิธีการผ่าแบ่งหน่อ ทำให้สามารถขยายเพิ่มจำนวนได้น้อยและล่าช้า ดังนั้น การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นวิธีการขยายพันธุ์พืชวิธีหนึ่งที่ยากเพิ่มได้จำนวนมากในระยะเวลาที่รวดเร็ว ด้วยการนำชิ้นส่วนของพืชที่ยังมีชีวิตอยู่ ได้แก่ ปลายยอด ตาข้าง ก้านช่อดอก ใบ ก้านใบ ลำต้น อับละอองเกสร เมล็ด เป็นต้น มาเพาะเลี้ยงลงบนอาหารสังเคราะห์ในสภาพปลอดเชื้อที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิและแสง โดยชิ้นส่วนของพืชนั้นสามารถเจริญเติบโตและพัฒนาไปเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ซึ่งมีทั้ง ส่วนใบ ลำต้น และรากที่สามารถย้ายออกปลูกในสภาพธรรมชาติได้ (เพชรรัตน์, 2556) และเมื่อได้ทำการเพาะเลี้ยงโดยใช้ระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราว (Temporary Immersion Bioreactor; TIB) ที่มีข้อดี คือสามารถควบคุมการปนเปื้อนเวลาทำงานขั้นตอนต่างๆ

ในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ เช่น การตัดเนื้อเยื่อ การเปลี่ยนถ่ายอาหาร การเตรียมภาชนะและอุปกรณ์ต่างๆ อีกทั้งสามารถทำงานได้สะดวกและรวดเร็ว นอกจากนี้ในระบบไบโอรีแอคเตอร์สามารถเพิ่มขึ้นได้ 4-5 เท่า จึงทำให้จำนวนต่อพื้นที่เพิ่มขึ้นและสามารถลดพื้นที่ของห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อลงได้ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นระบบไบโอรีแอคเตอร์ จึงเป็นระบบการขยายพันธุ์พืชจำนวนมากในเวลาที่รวดเร็ว สามารถนำมาใช้ในระบบการผลิตต้นพืชระดับอุตสาหกรรมได้ (ชนกิจ และคณะ, 2555) นอกจากนี้ในปัจจุบันเทคโนโลยีไมโครนาโน-บับเบิลเป็นเทคโนโลยีฟองอากาศที่มีอนุภาคขนาดเล็กมากระดับไมโครเมตรหรือนาโนเมตร (รุ่งระวี ทองดอนเอ, ม.ป.ป.) แต่ฟองอากาศแบบไมโครบับเบิลจะลอยขึ้นสู่อากาศอย่างรวดเร็ว และทำให้อนุมูลอิสระ (Free radical) ที่อยู่ระหว่างพื้นผิวของฟองอากาศ ซึ่งเป็นอะตอมหรือโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่เป็นคู่ที่อยู่ในวงรอบอะตอม จะถูกสร้างขึ้นมา เมื่อไมโครบับเบิลแตกออกในน้ำ (Thonglek, 2017) ขณะที่นาโนบับเบิลจะยังคงอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน ไมโครนาโน-บับเบิลเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นวิธีการทำให้เกิดฟองก๊าซขนาดเล็กในวัสดุหรือสสารตัวกลาง มีการรายงานการใช้ประโยชน์ที่หลากหลายเช่นการทำให้

น้ำเสียเป็นน้ำบริสุทธิ์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำ การฆ่าเชื้อ การทำน้ำให้ใส การทำความสะอาดของน้ำที่ปนเปื้อน การกระตุ้นการงอกของเมล็ดและการส่งเสริมกิจกรรมทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิต อื่นๆ (Oshita and Liu, 2013) ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงได้ให้ความสนใจการนำเทคโนโลยีไมโครนาโน-บับเบิลมาร่วมกับเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ด้วยการเตรียมน้ำไมโครนาโน-บับเบิลในระยะเวลาต่างๆ สำหรับการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของเนื้อเยื่อพืช

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ประเทศไทยเป็นผู้นำด้านการผลิตและส่งออกไม้ดอกไม้ประดับที่สำคัญและมีชื่อเสียงในตลาดโลก แหล่งผลิตที่สำคัญอยู่ในพื้นที่เขตภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ซึ่งไม้ดอกไม้ประดับเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนต่อพื้นที่สูง สามารถสร้างรายได้ที่มั่นคงให้แก่เกษตรกรและประเทศ แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 12 รัฐบาลส่งเสริมการปรับเปลี่ยนการผลิตสินค้าเกษตรไปสู่สินค้าเกษตรชนิดใหม่ตามศักยภาพของพื้นที่ และความต้องการของตลาดเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาความเข้มแข็งทางด้านเศรษฐกิจในระดับครัวเรือนและระดับภาค โดยเฉพาะการผลิตพืชในกลุ่มไม้ดอกไม้ประดับ เพราะเป็นพืชที่ให้ผลตอบแทนต่อพื้นที่สูง อีกทั้งในปัจจุบันผลิตไม้ดอกไม้ประดับที่ผลิตภายในภูมิภาคไม่เพียงพอต่อความต้องการของตลาดท้องถิ่น นักท่องเที่ยว และประเทศเพื่อนบ้านใกล้เคียง ทำให้ต้องมีการนำเข้าผลผลิตจากภูมิภาคอื่นมาทดแทน (สำนักงานส่งเสริมและการจัดการสินค้าเกษตร, 2563) และจากแนวคิดนี้พบว่าไม้ดอกประเภทหัวเป็นพืชกลุ่มหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากประเทศไทยมีไม้ดอกไม้ประดับประเภทหัวอยู่หลายชนิด เช่น กลัวยี่ไม้ดิน ปทุมมา กระเจียว ชิงแดง เป็นต้น ซึ่งในต่างประเทศถือเป็นพืชในกลุ่ม exotic plant ดังนั้นการพัฒนาการผลิตไม้ดอกไม้ประดับประเภทหัวจึงควรเน้น งานทางด้านการพัฒนาพันธุ์และการขยายพันธุ์ (พิศิษฐ์ วรอุไร, 2534) คัดฟอร์มดอก ความแน่นช่อดอก

จำนวนดอก เพื่อให้มีศักยภาพเพียงพอสำหรับการผลิตเชิงการค้า



รูปที่ 1 ลักษณะดอกและลำต้นของว่านนางค่อม (ดำรง สีนานุรักษ์, 2561)

ว่านนางค่อม ลำต้นและหัว เป็นพรรณไม้ล้มลุกที่มีลำต้นใต้ดินลักษณะคล้ายหอมหัวใหญ่ เนื้อในหัวมีสีขาว ส่วนที่โผล่ขึ้นเหนือผิวดินคือก้านใบ ใบกลมใหญ่คล้ายใบพิททอง ก้านใบยาว พื้นใบหนา เห็นรอยทางชัดเจนสีเขียว ต้นๆ หนึ่งมีหลายใบดอก ก้านดอกแทงขึ้นมาจากกลางกอชูก้านสูง ดอกสีขาว มีกลีบดอก 6 กลีบ เกสรดอกสีเหลืองกลิ่นหอม (วุฒิพงษ์ ฮามวงศ์, 2557) การแทงช่อดอกขึ้นมาเหนือดินในเดือนเมษายน ดอกเจริญเติบโตไปจนถึงเดือนพฤษภาคม การเจริญเติบโตทางใบเริ่มหลังจากดอกบาน ต้นทั้งภายในเดือนพฤศจิกายนและหัวพักตัวจากเดือนธันวาคมถึงเดือนมีนาคม ว่านนางค่อมเริ่มสร้างดอกในช่วงต้นเริ่มทิ้งใบโดยที่ตาที่ปลายยอดของหัวเจริญไปเป็นช่อดอก (วัชรภรณ์ พวงแก้ว และ ฉันทนา สุวรรณธาดา, 2543) ปัจจุบันเทคโนโลยีที่ใช้ในการขยายพันธุ์พืชที่ได้จำนวนมากในระยะเวลาที่รวดเร็ว คือ การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นวิธีการขยายพันธุ์พืชวิธีหนึ่ง ด้วยการนำชิ้นส่วนของพืชที่ยังมีชีวิตอยู่ ได้แก่ ปลายยอด ตาข้าง ก้านช่อดอก ใบ ก้านใบ ลำต้น อับละอองเกสร เมล็ด เป็นต้น มาเพาะเลี้ยงลงบนอาหารสังเคราะห์ในสภาพปลอดเชื้อที่มีการควบคุมสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ และแสง โดยชิ้นส่วนของพืชนั้นสามารถเจริญเติบโตและพัฒนาไปเป็นต้นพืชที่สมบูรณ์ ซึ่งมีทั้ง ส่วนใบ ลำต้น และรากที่สามารถย้ายออกปลูกใน

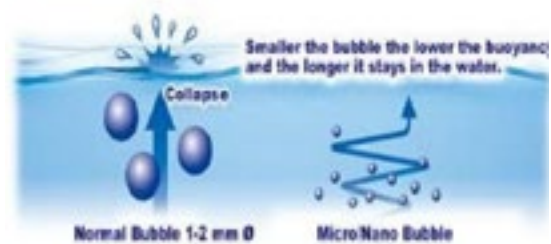
สภาพธรรมชาติได้ (เพชรรัตน์ จันทรทิณ, 2556) เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชได้มีการพัฒนาไปอย่างกว้างขวาง มีการค้นพบเทคนิคใหม่ๆ อีกมากมาย ซึ่งสามารถทำการเพาะเลี้ยงพืชเซลล์เดี่ยว และโปรโตพลาสต์ ของพืชได้หลายชนิด รวมถึงการนำเทคโนโลยีชีวภาพ เช่น การถ่ายยีนในพืชเข้ามารวมด้วย โดยใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเป็นพื้นฐาน จึงทำให้เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมีบทบาทสำคัญ ต่อวิทยาการแขนงอื่นๆ เช่น ชีวเคมี พันธุศาสตร์ การปรับปรุง พันธุ์พืช โรคพืช และเภสัชศาสตร์ เป็นต้น (รังสฤษดิ์ กาวีตะ, 2545)



รูปที่ 2 การขยายพันธุ์อานางคัมที่เลี้ยงในระบบไบโอรีแอคเตอร์แบบจมชั่วคราว

นอกจากนี้ก็มีเทคโนโลยีที่น่าสนใจ คือ ระบบไบโอรีแอคเตอร์แบบจมชั่วคราว (temporary immersion bioreactor; TIB) เป็นระบบเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชแบบกึ่งอัตโนมัติ ที่มีการให้อาหารเหลวในการเพาะเลี้ยงเป็นช่วงเวลาเพื่อไม่ให้ต้นพืชจมอยู่ในอาหารเหลวตลอดเวลา ระบบนี้มีการพัฒนาและใช้กันอย่างแพร่หลายมากขึ้น (Berthouly & Etienne, 2005) ซึ่งมีหลักการทำงาน คือ มีภาชนะแยกระหว่างอาหารกับชิ้นส่วนของพืชออกเป็น 2 ภาชนะ และเชื่อมด้วยท่อซิลิโคน โดยการให้อาหารแก่ชิ้นส่วนพืชนั้นใช้แรงดันอากาศดันอาหารจากภาชนะใส่อาหารไปยังภาชนะเลี้ยงต้นพืชเพื่อให้พืชได้รับอาหารเหลวเพียงชั่วคราว เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดจะใช้แรงดันดันอาหารกลับสู่ภาชนะเก็บอาหารเช่นเดิม ซึ่งสภาพภายในขวดต้องเป็นสภาพที่

ปลอดเชื้อ ดังนั้นอากาศที่ผ่านเข้าออกในระบบไบโอรีแอคเตอร์ จะถูกกรองด้วยแผ่นกรองอากาศ (Alvard & Teisson, 1993) ทำให้พรรณไม้น้ำเจริญเติบโตได้เร็วกว่าเพิ่มปริมาณต้นพันธุ์ได้มากในระยะเวลาที่น้อยกว่าระบบการเลี้ยงแบบเดิม (Berthouly & Etienne, 2005) ช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดการฉ่ำน้ำของต้นพืชและสามารถเปลี่ยนอาหารได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่ต้องมีการย้ายขวด



รูปที่ 3 แสดงลักษณะฟองอากาศขนาดเล็กระดับไมโครและนาโนเมตร (Heather, 2019) วันที่ 22 พฤศจิกายน 2561

เทคโนโลยีไมโคร-นาโนบับเบิลเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการทำให้เกิดฟองก๊าซขนาดเล็กในสารตัวกลาง เช่น น้ำ ลักษณะของฟองที่ผลิตได้จะมีขนาดตั้งแต่ 10-50 ไมครอน. มีขนาดเล็กมากไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คงตัวอยู่ได้นานกว่าฟองอากาศทั่วไป และสามารถนำมาใช้ในการฆ่าเชื้อก่อโรคในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ (รุ่งระวี ทองดอนเอ, ม.ป.ป.)

ปัจจุบันได้มีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโคร-นาโนบับเบิลไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ การเกษตรกรรม การบำบัดน้ำเสีย อุตสาหกรรมแปรรูปอาหารและเครื่องดื่ม ทางทางการแพทย์ สุขภาพและความงาม (รุ่งระวี ทองดอนเอ, ม.ป.ป.) นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าไมโคร-นาโนบับเบิลสามารถกระตุ้นการงอกของข้าวโพดหวานทำให้งอกได้เร็วกว่าการรดด้วยน้ำเปล่า (Sritontip et. al., 2017) และการให้น้ำไมโคร-นาโนบับเบิลมีผลทำให้ความสูงของลำต้นและมีความยาวรากมากกว่าน้ำเปล่า ซึ่งไมโคร-นาโนบับเบิลสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดและกระตุ้นการกระบวนการทางสรีรวิทยาของพืช ทำให้พืชมีการ

เจริญเติบโตที่ดี เนื่องจากมีปริมาณออกซิเจนในน้ำเพิ่มขึ้น (Oshita and Liu, 2013) และมีการทดลองน้ำ ไมโคร-นาโนบับเบิลสามารถกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวและการเจริญเติบโตของต้นกล้าได้ (Ikeura et. al., 2014) ซึ่งผลของไมโคร-นาโนบับเบิลอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการของเอนไซม์ α -amylase ทำให้พืชมีการงอกที่ดีขึ้น ซึ่งเอนไซม์ α -amylase มีผลต่อการงอกของเมล็ดพืช (Davies, 2004) นอกจากนี้ไมโคร-นาโนบับเบิลมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและอากาศเข้าสู่เมล็ดได้ดีกว่าน้ำเปล่า (Oshita and Liu, 2013)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมน้ำด้วยเครื่องไมโคร นาโน-บับเบิล

นำน้ำกลั่นปริมาตร 1,000 มิลลิลิตร บรรจุในขวดดูแลนเข้าเครื่องปั๊มทำฟองอากาศขนาดเล็ก (ไมโครนาโน-บับเบิล ; อัตราการไหลของน้ำ 1.7 ลิตรต่อนาที การไหลของฟองอากาศ 0.1 ลิตรต่อนาที อัตราการไหลของอากาศ 0.25-0.4 ลิตรต่อนาที กำลังไฟฟ้า 45 วัตต์ ศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงสูงพลาสมาและไมโครนาโนบับเบิลเพื่อการเกษตรขั้นสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา รุ่นที่ 3) (ดังรูปที่ ก) โดยทำการปั๊มน้ำในระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ ใช้เวลา 5, 10 และ 15 นาที (ดังรูปที่ ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4 เครื่องไมโคร นาโน-บับเบิล (ก)

และน้ำที่เตรียม MNB มีลักษณะฟองอากาศในน้ำ (ข)

การเตรียมอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อ

ทำการดูน้ำที่ปั๊มเตรียมไว้ในขวดของแต่ละกรรมวิธี (กรรมวิธีที่ 1-3) เป็นส่วนผสมของการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยใช้สูตรอาหารแบบ MS ที่เติมสารละลาย BA ปริมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับความเป็นกรดเป็นด่างให้ได้ 5.7 และเติม Plant Tissue Culture Contamination Control (PTC³) ปริมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้นดูดใส่ในขวดดูแรนขนาด 200 มิลลิลิตร ใส่ข้อต่อฝาขวดโดยหมุนให้แน่นและพันด้วยแผ่นพาราฟิน ส่วนกรรมวิธีที่ 4 (ชุดควบคุม) เตรียมอาหารเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ โดยใช้สูตรอาหาร MS (1962) ที่เติม BA ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับความเป็นกรดเป็นด่างให้ได้ 5.7 ทำการนึ่งฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งไอน้ำความดันสูง (autoclave) ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางเมตร เป็นเวลา 15 นาที

ศึกษาผลของระยะเวลาเตรียมน้ำไมโครนาโน-บับเบิลสำหรับอาหารเพาะเลี้ยงในชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจมชั่วคราวต่อการเจริญและพัฒนาของว่านนางคัม

วางแผนการทดลองวิจัยแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design : CRD) มี 4 กรรมวิธีๆ ละ 5 ซ้ำ โดยศึกษาระยะเวลาการเตรียมน้ำไมโครนาโน-บับเบิล ทำการเลือกหัวว่านนางคัมที่เพาะเลี้ยงในสภาพปลอดเชื้อ โดยเลี้ยงด้วยอาหารสูตร MS อายุ 8 สัปดาห์ จำนวน 5 ยอด โดยเลือกขนาดของหัวว่านนางคัมที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ทำการตัดเนื้อเยื่อว่านนางคัมในตู้ปลอดเชื้อ โดยเลือกทำการตัด 1 หัว ต่อ 1 ชิ้นส่วน ตัดให้มีขนาด 0.5 เซนติเมตร นำชิ้นส่วนว่านนางคัมที่ตัดเสร็จใส่ลงไปในขวดดูแรน จากการเตรียมอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อในแต่ละกรรมวิธี โดยใส่จำนวน 5 ชิ้นส่วนต่อ 1 ขวดดูแรน แล้วปิดปากขวดและพันด้วยแผ่นพาราฟินนำไปเลี้ยงบนเครื่องชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจมชั่วคราว อุณหภูมิ 24±2 องศาเซลเซียส ให้แสง 16 ชั่วโมงต่อวัน

เป็นเวลา 4 สัปดาห์ ทำการบันทึกปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO: Dissolved Oxygen) (มิลลิกรัมต่อลิตร) และความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำก่อนและหลังผ่านเครื่องไมโครนาโน-บับเบิล หลังจากทำการเพาะเลี้ยง 4 สัปดาห์ ได้แก่ ความสูงของลำต้น (เซนติเมตร; วัดจากโคนต้นไปยังปลายยอดที่ออกแล้ว) จำนวนยอดใหม่ จำนวนใบ ความกว้าง-ใบ ความยาวใบ เส้นผ่าศูนย์กลาง จำนวนราก ความยาว-ราก น้ำหนักสด การวัดคลอโรฟิลล์ในใบพืช (SPAD) Chlorophyll ความเป็นกรดเป็นด่าง และปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (Least Significant Difference) ด้วยการใช้โปรแกรม Minitab 18

4. ผลการวิจัย

จากการทดลองเมื่อทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 4 สัปดาห์ (ตารางที่ 1) พบว่า อาหารเพาะเลี้ยงในชุดไปโอรีแอเตอร์มีค่าความเป็นกรด-ด่าง (Potential of hydrogen; pH) ไม่มีความแตกต่างกันในทุกกรรมวิธี อยู่ในช่วง 5.34 ± 0.014 – 5.52 ± 0.04 ส่วนปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (Dissolved Oxygen; DO) ของอาหารเพาะเลี้ยงที่ใช้น้ำ MNB ที่ระยะเวลา 5 และ 15 นาที มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และมีปริมาณมากที่สุด คือ 5.19 ± 0.21 และ 5.49 ± 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ที่ใช้น้ำ MNB ที่ระยะเวลา 10 นาที มีปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำที่เปลี่ยนแปลงจากก่อนทำการเพาะเลี้ยงมีค่า DO ที่ 5.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ลดลงเป็น 4.70 ± 0.32 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องด้วยออกซิเจนได้ถูกนำไปใช้ต่อการหายใจของพืช ดังนั้นปริมาณของออกซิเจนที่เหมาะสมในน้ำควรมีค่า ไม่ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร (มันสิน ตันจุลเวศม์ และมันรักษ์ ตันจุลเวศม์, 2547)

สำหรับการเจริญและพัฒนาของวุ้นนางคุ้มในการทดลอง พบว่า ทุกกรรมวิธีมีจำนวนยอดต่อชิ้นส่วน

ที่ไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 1.00 ± 0.00 - 1.28 ± 0.13 ยอดต่อชิ้นส่วน เช่นกันกับความสูงของชิ้นส่วนในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน อยู่ในช่วง 3.13 ± 0.27 - 3.36 ± 0.30 เซนติเมตร (ตารางที่ 2) ส่วนน้ำหนักสดของชิ้นส่วน พบว่า ชิ้นส่วนที่เลี้ยงในอาหารที่เตรียมน้ำ MNB ระยะเวลา 5 และ 15 นาที กับน้ำที่ไม่ผ่านการเตรียม (ชุดควบคุม) มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.01$) และมีน้ำหนักมากที่สุด คือ 0.17 ± 0.01 , 0.22 ± 0.02 และ 0.22 ± 0.02 กรัม ตามลำดับ นอกจากนี้เส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นส่วนโดยที่เลี้ยงในอาหารที่เตรียมน้ำ MNB ระยะเวลา 15 นาที กับน้ำที่ไม่ผ่านการเตรียม มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และมีขนาดมากที่สุดที่เท่ากัน คือ 0.17 ± 0.03 เซนติเมตร (รูปที่ 2) นอกจากนี้ชิ้นส่วนที่เลี้ยงมีค่าความเขียวของใบมากที่สุด เมื่อเลี้ยงในอาหารที่เตรียมน้ำ MNB ระยะเวลา 5 นาที คือ 8.09 ± 1.34 ส่วนกรรมวิธีอื่นมีค่าความเขียวของใบที่ไม่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 4.16 ± 0.66 - 5.26 ± 0.61 และค่าปริมาณคลอโรฟิลล์ เอ, บี และ รวมในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 3) โดยที่ลักษณะสีของชิ้นส่วนในแต่ละกรรมวิธี ดังรูปที่ 3 การใช้น้ำ MNB สามารถช่วยทำให้มีอัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มขึ้นตามที่ Jiang et al. (2016) รายงานว่า ปริมาณของ DO ที่เพิ่มขึ้นสามารถช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตพืชผลผลิต และคุณภาพของผล

ตารางที่ 1 ผลของระยะเวลาการเตรียมน้ำด้วยเครื่องไมโครนาโน-บับเบิล ในอาหารเพาะเลี้ยงชุดไบโอรีแอกเตอร์แบบจมชั่วคราวต่อคุณสมบัติของน้ำ

ระยะเวลาการเตรียมน้ำ ไมโครนาโน-บับเบิล (MNB) (นาท)	คุณสมบัติของน้ำ			
	ก่อนเตรียมทำการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ		หลังเตรียมเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อได้ 4 สัปดาห์	
	ความเป็นกรด เป็นด่าง (pH)	ปริมาณออกซิเจนที่ ละลายอยู่ในน้ำ (DO) (มก./ล.)	ความเป็นกรด เป็นด่าง (pH)	ปริมาณออกซิเจนที่ ละลายอยู่ในน้ำ (DO) (มก./ล.)
5	5.79	5.17	5.49±0.01 ^{ns}	5.19±0.21ab ^{1/}
10	5.78	5.29	5.52±0.04	4.70±0.32b
15	5.79	5.39	5.34±0.14	5.49±0.01a
น้ำที่ไม่ผ่านการเตรียม (ชุดควบคุม)	5.76	4.73	5.38±0.01	4.76±0.09b

หมายเหตุ

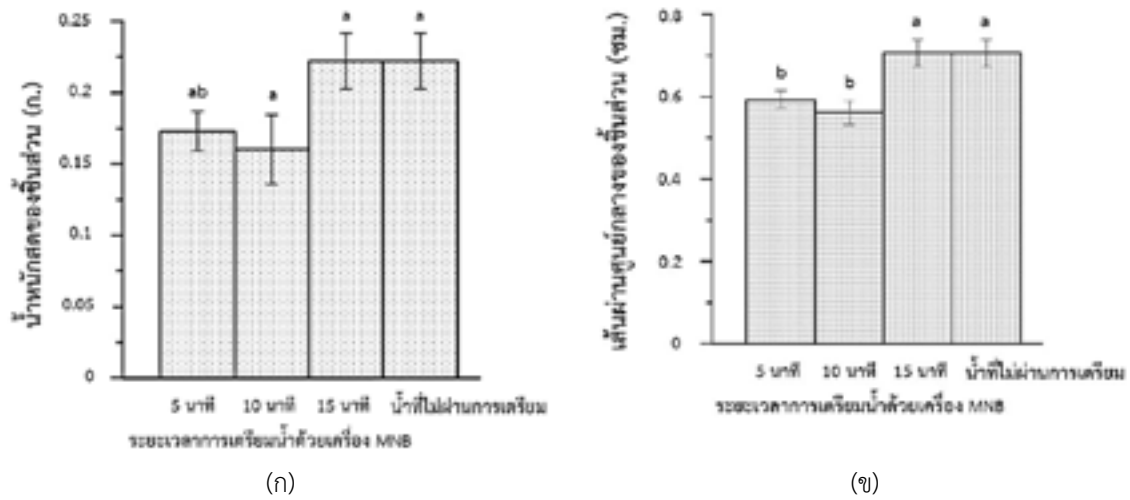
- ^{1/} ค่าเฉลี่ยมีอักษรเหมือนกันในคอลัมน์นี้ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% (P<0.05)
- ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Mean±SE, n=20); ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (not significant)

ตารางที่ 2 ผลการระยะเวลาการเตรียมน้ำไมโครนาโน-บับเบิล ในอาหารเพาะเลี้ยงชุดไบโอรีแอกเตอร์แบบจมชั่วคราวต่อเจริญของจำนวนยอดและความสูง

ระยะเวลาการเตรียมน้ำ ไมโครนาโน-บับเบิล (MNB) (นาท)	จำนวนยอดต่อชิ้นส่วน	ความสูงของชิ้นส่วน(ซม.)
5	1.00±0.00 ^{ns}	3.35±0.32 ^{ns}
10	1.08±0.05	3.36±0.30
15	1.26±0.14	3.13±0.27
น้ำที่ไม่ผ่านการเตรียม (ชุดควบคุม)	1.28±0.13	3.41±0.30

หมายเหตุ

- ค่าเฉลี่ย±ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของค่าเฉลี่ย (Mean±SE, n=20); ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ (not significant)



รูปที่ 5 น้ำหนักสดของชิ้นส่วน (ก) และเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นส่วน (ข) ที่เลี้ยงในอาหารแต่ละกรรมวิธีเมื่อครบระยะเวลา 4 สัปดาห์

ตารางที่ 3 ผลการระยะเวลาการเตรียมน้ำไมโครนาโน-บับเบิล ในอาหารเพาะเลี้ยงชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจมน้ำต่อค่าความเขียวของใบและปริมาณคลอโรฟิลล์

ระยะเวลาการเตรียมน้ำด้วยเครื่องไมโครนาโน-บับเบิล (MNB) (นาที)	ค่าความเขียวของใบ (SPAD index)	ปริมาณคลอโรฟิลล์ในชิ้นส่วน (ก./ตร.ม.)		
		เอ	บี	รวม
5	8.09±1.34a ^{1/}	0.0056±0.0008 ^{ns}	0.0051±0.0007 ^{ns}	0.0027±0.0004 ^{ns}
10	5.26±0.61b	0.0077±0.0044	0.0073±0.0042	0.0040±0.0023
15	4.16±0.66b	0.0063±0.0031	0.0047±0.0024	0.0022±0.0011
น้ำที่ไม่ผ่านการเตรียม (ชุดควบคุม)	5.16±0.57b	0.0073±0.0034	0.0057±0.0028	0.0027±0.0013

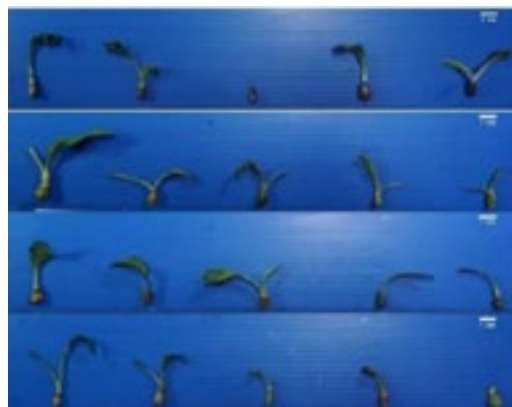
ระยะเวลาการเตรียมน้ำด้วยไมโครนาโน-บับเบิล

5 นาที

10 นาที

15 นาที

น้ำที่ไม่ผ่านการเตรียม



5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำไมโคร-นาโนบับเบิล (MNB) สามารถใช้ในการเตรียมอาหารเพาะเลี้ยงว่านนางค่อมในชุดไบโอรีแอคเตอร์แบบจุ่มชั่วคราวได้ มีการเจริญและพัฒนาของเนื้อเยื่อได้โดยน้ำ MNB ที่เตรียมระยะเวลา 15 นาที มีน้ำหนักสดและเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นส่วนที่มากที่สุด แต่ไม่แตกต่างกับการใช้น้ำที่ไม่ผ่านการเตรียม ดังนั้น การศึกษาการใช้น้ำ MNB ในการเตรียมอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อว่านนางค่อมด้วยการเตรียมอาหารสูตร MS ที่เติมสารละลาย BA ปริมาณ 2 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถใช้น้ำที่ไม่ผ่านการเตรียมทดแทนได้ ทำให้ลดการใช้เทคโนโลยีในงานวิจัยและเกิดนวัตกรรมที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา และสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มทร.ล้านนา ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือ ไมโคร นาโน-บับเบิลและห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในการดำเนินการทดลองครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

กาญจนา สุทธิกุล. (2543). *ผลของสารเคมีต่อคุณภาพหลังการเก็บเกี่ยวของดอกว่านนางค่อมและกระเจียว* (วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์). มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

ดำรง สีนานุรักษ์. (2561). *แนววิธีปลูกว่านนางค่อม*. https://www.sentangsedtee.com/farming-trendy/article_81043

ธนกิจ แก่นเกษ นพมณี โทปัญญานนท์ และจาดุพงศ์ วาฤทธิ. (2555). การออกแบบและการปรับปรุงห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อรองรับระบบไบโอรีแอคเตอร์จุ่มชั่วคราวขนาดใหญ่. ใน *การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรเกษตรแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13. วันที่ 4-5 เมษายน 2555. จังหวัดเชียงใหม่.*

พิศิษฐ์ วรอุไร. (2534). เทคโนโลยีผลิตหัวพันธุ์ไม้ตัดดอกประเภทหัว. ใน *เทคโนโลยีการผลิตไม้ดอกไม้ประดับ, สมาคมไม้ดอกไม้ประดับแห่งประเทศไทย. (พิมพ์ครั้งที่ 1). (น. 51-53).*

เพชรรัตน์ จันทรทิณ. (2556). *เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชเพื่อการเกษตร* (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยกรุงเทพมหานครบุรี .

มันสิน ตัณกุลเวศม์ และมันรัชช์ ตัณกุลเวศม์. 2547. *เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย* (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รังสฤษดิ์ กาวีตะ. (2545). *การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช : หลักการและเทคนิค* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รุ่งระวี ทองดอนเอ. (ม.ป.ป.). *เทคโนโลยีไมโครนาโน-บับเบิลกับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ*. สืบค้น 18 กุมภาพันธ์ 2564, จาก https://webs.rmutl.ac.th/assets/upload/files/2017/11/20171105093459_40143.pdf

วัชรภรณ์ พวงแก้ว และ ฉันทนา สุวรรณธาดา. (2543). *วงจรกิจกรรมเติบโตของว่านนางค่อม. วารสารเกษตร, 16 (3), 231-235.*

วุฒิพงษ์ ฮามวงศ์. (2557). *ว่านนางค่อม* (พิมพ์ครั้งที่ 1). สกลนคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร.

สำนักงานการส่งเสริมและการจัดการสินค้าเกษตร. (2563). *คู่มือโครงการส่งเสริมการเกษตรประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2563 โครงการส่งเสริมการปรับเปลี่ยนการผลิตสินค้าเกษตรไปสู่สินค้าชนิดใหม่ตามศักยภาพพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (ไม้ดอกไม้ประดับ)*. http://www.agriman.doae.go.th/63_Website_Project_63/08_Flower_Nothern_East.pdf

Alvard D, Côte, F. & Teisson, C. (1993). Comparison of methods of liquid medium culture for banana micropropagation: Effects of

- temporary immersion of explants. *Plant Cell Tiss Organ Cult.* 32(1) , 55– 60.
<https://doi.org/10.1007/BF00040116>
- Berthouly, M & Etienne, H.. (2005). *Temporary immersion system: A new concept.* In Hvoslef-Eide, A. K. and W. Preil. (Eds.), *Liquid culture system for in vitro plant propagation.* Dordrecht : Springer, 165-195.
- Davies, P.J. (2004). *A. Introduction: the plant hormones: their nature, occurrence and functions* In P. J. Davies (Edited), *Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*. Kluwer Academic Publishers.
- Heather. (2021, May 1).The Effects of NanoBubble Hydrotherapy Brochure. <https://www.thewhitewatercompany.com/post/effects-of-nanobubble-hydrotherapy>
- Ikeura, H., Kobayashi F. & Tamaki, M.. (2014). Hydropriming treatment of rice seeds with microbubble water. *Journal of Agricultural Science.* 6(6):189-194.
- Jiang, C. Y., S. M. Zhao et al. (2016). Effect of micro/ nano bubble water on growth, yield and quality of lettuce under substrate cultivation. *IAEJ*, 25(3): 1-8.
- McMakin, P. D. (1993). *Flowering Plants of Thailand. A Field Guide.* White Lotus Co., Ltd., Bangkok. 141 p.
- Oshita, S. & Liu, S. (2013). Nanobubble characteristics and its application to agriculture and foods. *Proceedings of AFHW 2013. International Symposium on Agri-Foods for Health and Wealth August 5-8, 2013, Golden Tulip Sovereign Hotel, Bangkok, Thailand.*
- Sritontip, C., Dechthummarong, C., Thonglek, V. & Phonsaeng, W.. (2017). Effects of high voltage plasma and micro/nano bubbles on seed germination and growth of crop under hydroponic system. In *the 2nd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture* (RMUTL ISHPMNB 2017). 26 – 27 July 2017, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.
- Thonglek, V. 2017. Evolution of Micro/ Nano Bubbles Distributions. In *the 2nd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture* (RMUTL ISHPMNB 2017). 26 – 27 July 2017, Rajamangala University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.

การศึกษาความหลากหลายของเชื้อราเอนโดไฟต์รากข้าวจากแปลงนาที่มีการใช้สารเคมี และการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค

Study on the Diversity of Endophytic Fungi from Chemical Practiced Rice Fields and their Antagonistic Activities *in vitro*

ศิริพร อ่ำทอง¹ ภริดา เสตะพันธุ์² และ พงศ์ยุธ นวลบุญเรือง^{1*}

Siriporn Amthong¹ Pharida Setaphun² and Phongyuth Nualbunruang^{1*}

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 202 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

¹ Agricultural Technology Research Institute Rajamangala University of Technology Lanna 202 Moo 17 Pichai Muang Lampang 52000

² Faculty of Science and Agricultural Technology Rajamangala University of Technology Lanna Lampang 200 Moo 17 Pichai Muang
Lampang 52000

*E-mail phongyuth@rmutl.ac.th, Tel.0817836212

บทคัดย่อ

การศึกษาแยกเชื้อราเอนโดไฟต์จากรากข้าวในแปลงนาที่มีการใช้สารเคมีเพื่อคัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟต์ที่มีประสิทธิภาพในส่งเสริมการเจริญเติบโตและควบคุมโรคข้าว การศึกษาในครั้งนี้พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากรากข้าวจำนวน 2 ชนิดคือเชื้อราและเชื้อแบคทีเรียสามารถจำแนกตามลักษณะทางสัณฐานวิทยา พบเชื้อราจำนวน 35 ไอโซเลต และเชื้อแบคทีเรียจำนวน 53 ไอโซเลต ทำการคัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟต์และจัดกลุ่มได้ 8 ไอโซเลต ทำการทดสอบการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา *Rhizoctonia solani* *Fusarium moniliforme* และ *Biopolaris oryzae* พบว่า เชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม *Trichoderma* RF2 มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคทั้ง 3 ชนิดมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้งมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เชื้อราเอนโดไฟต์ การศึกษาความหลากหลาย ข้าว

Abstract

This study aims to examine the isolation of endophytic fungi from rice roots in chemical practiced rice fields to select the effective endophytic fungi in promoting growth and control of rice diseases. In this study, the growth of two types of microorganisms from rice roots, fungi and bacteria, can be classified by morphological characteristics which 35 isolates and 53 isolates were found. Endophytic fungi were selected and grouped into 8 isolates. The antagonistic activities *in vitro* of *Rhizoctonia solani*, *Fusarium moniliforme* and *Biopolaris oryzae* were studied by using Dual culture method. The results were revealed that *Trichoderma* RF2 were effective in inhibiting the growth of all 3 pathogenic with a percentage of inhibition of more than 90 percent.

Keywords: Endophytic Fungi, Diversity, Rice.

1. บทนำ

ปัจจุบันการปลูกข้าวในประเทศพบปัญหาโรคที่เกิดจากเชื้อราระบาดอย่างแพร่หลายเชื้อราสามารถแพร่ระบาดได้อย่างรวดเร็วโดยการผ่านทางลม น้ำ แมลงพาหะ และพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรใช้ปลูกส่วนมากเป็นสายพันธุ์ที่อ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืช ในสภาวะที่มีอากาศเย็นและความชื้นในอากาศสูง เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อรา ซึ่งเมื่อข้าวเกิดโรค ทำให้ผลผลิตของข้าวที่ได้ออกมาไม่มีคุณภาพ ถูกตัดราคาจากโรงสี ทำให้เกษตรกรที่ปลูกข้าวได้รับผลกระทบโดยตรงจากการขายข้าวที่ไม่ได้ราคาทั้งนี้ปัจจัยในการผลิตข้าวเพื่อให้ข้าวที่มีคุณภาพดีนั้นมีราคาที่สูง เกษตรที่เป็นรายย่อยมักประสบปัญหาขาดทุนจากการปลูกข้าว เมื่อผลผลิตของข้าวได้รับความเสียหายจากโรคที่เกิดจากเชื้อรา

โรคของข้าวที่เกิดจากเชื้อราที่พบการระบาดในประเทศไทยที่สร้างความเสียหายให้กับการปลูกข้าวที่สำคัญโรคคือ โรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าว (Leaf brown spot) ที่เกิดจากเชื้อรา *Helminthosporium oryzae* หรือ *Bipolaris oryzae* ซึ่งสามารถเข้าทำลายต้นข้าวได้ทุกระยะของการเจริญเติบโต และพันธุ์ข้าวที่เกษตรกรนิยมใช้ปลูกส่วนใหญ่คือ พันธุ์ปทุมธานี พันธุ์สุพรรณบุรี 1 พันธุ์สุพรรณบุรี 90 พันธุ์ชัยนาท 1 และพันธุ์พิษณุโลก 2 ซึ่งพันธุ์ข้าวเหล่านี้มีความอ่อนแอต่อการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคพืชชนิดนี้ เมื่อมีการปลูกกันอย่างกว้างขวางและปลูกติดต่อกันเวลานานหลายปี รวมไปถึงสภาวะที่เหมาะสมจึงทำให้การระบาดของโรคนี้เพิ่มความรุนแรงมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเชื้อราสาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลของข้าวก็เป็นหนึ่งในเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดต่าง (Dirty-panicle) ซึ่งเชื้อราสามารถเข้าทำลายข้าวได้ตั้งแต่ระยะเวลาที่ข้าวตั้งท้อง จนถึงออกรวงระยะนี้ทำให้เมล็ดข้าวได้รับความเสียหายผลผลิตลดลง นอกจากนี้โรคกาบใบแห้ง (Sheath Blight) ที่เกิดจากเชื้อรา *Rhizoctonia solani* ยังส่งผลต่อการเจริญเติบโตของข้าว ซึ่งเชื้อราชนิดนี้สามารถพักตัวอยู่ในดินและเข้าทำลายข้าวได้ตลอดฤดูปลูก

ราเอนโดไฟต์ (endophytic fungi) หมายถึง ราที่อาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อพืชโดยไม่ทำให้พืช แสดงอาการของโรค และราบางชนิดยังช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืชและความเครียดจาก สิ่งแวดล้อม ทำให้พืชอาศัยทนต่อสภาวะ

แวดล้อมที่ไม่เหมาะสมได้ (Atugala and Deshapriya, 2015) เชื้อราเอนโดไฟต์เป็นราที่อาศัยอยู่ในต้นพืชโดยไม่ก่อให้เกิดอาการของโรคใดๆ กับพืช โดยน้อยที่สุดในช่วงหนึ่งของวงจรชีวิตอยู่ในลักษณะที่พึ่งพาอาศัยกันแบบภาวะสมชีพ ปัจจุบันราเอนโดไฟต์จัดเป็นอีกแหล่งทางเลือกที่สามารถสร้างสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพชนิดใหม่ที่มีประสิทธิภาพและให้ผลผลิตค่อนข้างสูงในช่วงระยะเวลาสั้น โดยราเอนโดไฟต์สามารถคัดแยกได้จากส่วนต่างๆ ของพืช เช่น ลำต้น ใบ ดอก ราก และส่วนอื่น ๆ ของพืชสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพที่เชื้อราสร้างคือ สารเมแทบอลิทุติยภูมิที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพที่หลากหลายได้แก่ การต้านอนุมูลอิสระ ต้านแบคทีเรีย ต้านเชื้อรา ต้านไวรัส และต้านมะเร็งซึ่งสารเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ในทางการแพทย์ การเกษตร และอุตสาหกรรมอื่น ๆ ได้ (ประไพพิศ, 2560) ข้าวเป็นแหล่งของเชื้อราเอนโดไฟต์ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคข้าวหลายชนิด เช่น โรคใบไหม้ของข้าวที่เกิดจากเชื้อรา *Magnaporthe oryzae*, *Rhizoctonia solani*, *Fusarium moniliforme*, และโรคขอบใบแห้งของข้าวที่เกิดจากเชื้อแบคทีเรีย *Xanthomonas oryzae* นอกจากนี้เชื้อราเอนโดไฟต์มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรครากข้าวได้แล้วนั้น ยังสามารถลดการเกิดโรคของข้าวในระยะต้นกล้าคือ อาการกล้าเน่าในระยะต้นกล้าที่มีสาเหตุมาจากอาการโรคเมล็ดต่าง รวมไปถึงความสามารถในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าวโดยการเพิ่มความยาวของราก ความสูงของต้น น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งของต้น และผลผลิตของข้าวให้เพิ่มมากขึ้น

สำหรับการศึกษารังนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์บริเวณรากข้าวที่ส่งเสริมการเจริญเติบโต และควบคุมโรคข้าวได้

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การควบคุมโรคข้าวโดยชีววิธีปัจจุบันเป็นที่ยอมรับและนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในการนำมาใช้ในการจัดการโรคพืชแบบผสมผสาน หรือการผลิตพืชแบบอินทรีย์ เนื่องจากเป็นวิธีที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำไปใช้ในการควบคุมโรคได้อย่างยั่งยืนในอนาคต การใช้เชื้อราเอนโดไฟต์ในการควบคุมโรคพืชได้มีการศึกษาเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากเชื้อราอาศัยอยู่ในเนื้อเยื่อพืชแบบพึ่งพาอาศัยกันโดยไม่ก่อให้เกิดโรคกับพืช และมีประโยชน์กับพืชหลายด้าน คือ การส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืช การทนต่อสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสม การแข่งขันการเจริญเติบโต การต้านทานต่อศัตรูพืชทั้งโรคและแมลง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การคัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟต์จากรากที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคข้าว

ทำการเก็บตัวอย่างรากข้าวจากแปลงนาเกษตรกรที่มีการใช้สารเคมีในพื้นที่อำเภองาว จังหวัดลำปาง จำนวน 10 ตัวอย่าง ทำการแยกเชื้อราเอนโดไฟต์จากรากข้าวด้วยเทคนิค Tissue Transplanting บนอาหาร PDA บ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน ตรวจการเจริญของเส้นใยเชื้อราและทำการแยกเชื้อให้ได้เชื้อบริสุทธิ์ (Pure Culture)

2. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราเอนโดไฟต์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค

ทำการคัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟต์จากรากข้าวจำนวน 8 ไอโซเลต ได้แก่ RF1 RF2 RF3 RF4 RF5 RF6 RF7 และ RF8 ซึ่งเป็นราเอนโดไฟต์ ในกลุ่มกลุ่มเชื้อรา *Pennocillium sp.* กลุ่มเชื้อรา *Trichoderma sp.* กลุ่มเชื้อรา *Rhizoctonia sp.* และกลุ่ม Unknown (ตารางที่ 1) นำมาทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคข้าวจำนวน 3 ชนิด คือ *Rhizoctonia solani* สาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าว เชื้อรา *Fusarium moniliforme (F. fujikuroi)* สาเหตุโรคยอดฟักดาบของข้าว และเชื้อรา *Bipolaris oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลและโรคเมล็ดต่างของข้าวด้วยวิธี Dual culture โดยวางเส้นใยเชื้อราสาเหตุโรคและเชื้อราเอนโดไฟต์ ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร บนอาหาร PDA ให้มีระยะห่างระหว่างกัน 5 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุมที่วางเส้นใยเชื้อราเอนโดไฟต์และเชื้อราสาเหตุโรค บ่มที่อุณหภูมิห้อง ทำการวัดรัศมีการเจริญของเชื้อรา วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การยับยั้งการเจริญของเส้นใยเชื้อรา

$$\% \text{ การยับยั้ง} = (Ct - T) / Ct \times 100$$

เมื่อ Ct คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของกรรมวิธีควบคุม

และ T คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของกรรมวิธีทดลอง

4. ผลการวิจัย

1. การคัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟต์จากรากที่มีประสิทธิภาพยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคข้าว

จากการทดสอบการเจริญของเชื้อราเอนโดไฟต์ที่แยกจากรากข้าวและตรวจดูลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อภายใต้กล้องจุลทรรศน์ ลักษณะการเจริญของเส้นใย สีของเส้นใย และลักษณะของโคโลนีบนอาหารเลี้ยงเชื้อ พบการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์จากรากข้าว 2 ชนิด คือ เชื้อราและแบคทีเรีย โดยแยกเชื้อราได้ 35 ไอโซเลต ได้แก่เชื้อราเส้นใยสีขาวอมส้ม 10 ชนิด จัดเป็นกลุ่มของ *Fusarium sp.* จำนวน 3 กลุ่ม เชื้อราเส้นใยสีขาว สปอร์สีเขียว 25 ชนิด จัดเป็นกลุ่มของ *Trichoderma sp.* จำนวน 5 กลุ่ม เชื้อราเส้นใยสีเขียวขี้ม้า 1 ชนิด จัดเป็นกลุ่ม *Penicillium sp.* จำนวน 1 กลุ่ม เส้นใยสีขาว 25 ชนิด จัดเป็นกลุ่มของ *Rhizoctonia sp.* จำนวน 5 กลุ่ม แบคทีเรียจำนวน 53 ไอโซเลต ได้แก่โคโลนีสีขาว 47 ชนิด จัดเป็นกลุ่ม *Bacillus sp.* จำนวน 3 กลุ่ม โคโลนีสีส้ม 14 ชนิด จัดเป็นกลุ่ม Unknown จำนวน 4 กลุ่ม (ตารางที่ 2)

2. การทดสอบประสิทธิภาพของเชื้อราเอนโดไฟต์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค

จากการทดสอบความสามารถของเชื้อราเอนโดไฟต์ต่อการยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคข้าว โดยทดสอบกับเชื้อราสาเหตุโรคข้าว 3 ชนิด คือเชื้อรา *R. solani* เชื้อรา *F. moniliforme (F. fujikuroi)* และเชื้อรา *B. oryzae* พบว่าเชื้อราทั้ง 8 ไอโซเลตนี้สามารถสร้างเส้นใยเจริญคลุมทับเชื้อราสาเหตุโรคข้าวและมีการสร้างสารปฏิชีวนะ (Clear zone) กับเชื้อราสาเหตุโรคซึ่งให้ผลการทดสอบดังนี้ ในเชื้อรา *R. solani* เชื้อราไอโซเลตที่ RF2 RF3 RF4 RF5 RF6 สามารถยับยั้งการเจริญของ *R. solani* ได้มากที่สุด ส่วนเชื้อรา *F. moniliforme (F. fujikuroi)* เชื้อราในกลุ่ม RF1 RF2 RF3 RF4 RF5 RF7 RF8 สามารถยับยั้งการเจริญของ *F. moniliforme (F. fujikuroi)* มากที่สุดและสำหรับเชื้อ *B. oryzae* เชื้อราในกลุ่ม RF2 RF3 RF6 RF7 RF8 มีการยับยั้งเจริญของเชื้อรา *B. oryzae* ได้มากที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบการยับยั้งในเชื้อราทั้ง 3 ชนิดพบว่ากลุ่ม RF2 สามารถยับยั้งเชื้อราสาเหตุโรคของข้าวได้สูงสุดคือมากกว่า 90% (ตารางที่ 2)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองแยกราเอนโดไฟต์ได้ทั้งหมด 35 ไอโซเลต จากตัวอย่างข้าวจำนวน 10 ตัวอย่าง พบว่าเมื่อทำการคัดเลือกสายพันธุ์จำนวน 8 ไอโซเลต พบว่าทั้ง 8 สายพันธุ์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อรา *Rhizoctonia solani* สาเหตุโรคกาบใบแห้งของข้าว เชื้อรา *Fusarium. moniliforme* (*F. fujikuroi*) สาเหตุโรคยอดฝักดาบของข้าว และเชื้อรา *Bipolaris oryzae* สาเหตุโรคใบจุดสีน้ำตาลและโรคเมล็ดดำของข้าว โดยสายพันธุ์ RF2 RF3 RF4 และ RF7 สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราทั้ง 3 ชนิดได้สูงสุด มีการรายงานประสิทธิภาพของราเอนโดไฟต์ในการควบคุมโรคไหม้ของข้าวที่มี *Magnaporthe oryzae* เป็นเชื้อสาเหตุ ผลการทดลองพบว่า มี 5 ไอโซเลตที่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งรา *M. oryzae* สูงกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ได้แก่ FL02, FL11, FL19, FR46 และ FR55 โดยมีเปอร์เซ็นต์การยับยั้ง เท่ากับ 71 100 58 56 และ 55 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์ยับยั้งสูงสุด จัดจำแนกเป็น *Daldinia eschscholtzii* (FL11) (กานต์ และ อนันต์, 2559) และยังมีรายงานว่า จากการแยกราเอนโดไฟต์ได้ทั้งหมด 126 ไอโซเลตจากนาข้าวจังหวัดอยุธยา ในจำนวนนี้มี 3 ไอโซเลต ที่มีความสามารถในการยับยั้งรา *Pyricularia grisea* (Sacc.) สาเหตุโรคไหม้ข้าว คือ SK18-1s PM19-3s และ TR31 มีค่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งเท่ากับ 51.43 44.29 และ 51.43±0.00 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ทำให้ราเอนโดไฟต์ทั้ง 8 กลุ่มที่ได้ทำการคัดเลือกมานี้ น่าสนใจต่อการนำไปประยุกต์ใช้ด้านการ ควบคุมโรคของข้าวแบบชีววิธีต่อไปผสมผสาน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จิระเดช แจ่มสว่าง ห้องปฏิบัติการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี ภาควิชาโรคพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์สำหรับทำการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- Atugala, D.M., and N. Deshappriya. (2015). Effect of endophytic fungi on plant growth and blast disease incidence of two traditional rice varieties. *Journal of the National Science Foundation of Sri Lanka*. 43(2), 173–187.
- กานต์ จิตสุวรรณ์รักษ์ และอนันต์ วงเจริญ. (2559). ผลของเชื้อราเอนโดไฟต์ต่อการควบคุมโรคไหม้ของข้าว (*Oryza sativa* L.) แก่นเกษตร. 44(ฉบับพิเศษ), 232-237
- จตุพร บุญผดุงกุล ศิราภรณ์ ชื่นบาล ฐปน ชื่นบาล ศรีกาญจนา คล้ายเรือง และศุภจิตา อ่าทอง. (2562), การคัดเลือกแบคทีเรียตรึงไนโตรเจนอิสระเพื่อส่งเสริมการเจริญเติบโตของข้าว. *Naresuan Phayao Journal* Vol.12 No. 2, May – August. 32 – 40.
- ชนินทร ดวงสะอาด. (2545). การควบคุมโรคยอดฝักดาบของข้าวที่เกิดจากเชื้อรา *Fusarium moniliforme* Sheldon โดยเชื้อราเอนโดไฟต์ในข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.
- ประไพพิศ อินเสน. (2560). สารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากราเอนโดไฟต์. *EAU HERITAGE JOURNAL Science and Technology* Vol. 11 No. 2 May – August. 26 – 39.
- พฤทธิกร ศุภพล และ อุมมี แวงบุญ. (2561), ประสิทธิภาพของราเอนโดไฟต์ในการยับยั้งเชื้อสาเหตุโรคไหม้ของข้าว. *บทความงานวิจัยวารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*. ปีที่ 26 ฉบับที่ 2 มีนาคม – เมษายน 2561
- สายทอง แก้วฉาย. (2557). การศึกษาเชื้อราเอนโดไฟต์จากใบข้าวหอมกระดังงาและคุณสมบัติการเป็นเชื้อราปฏิปักษ์. *วารสาร นราธิวาสราชนครินทร์* ปีที่ 6 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2557. : 112 - 120
- อนันต์ วงเจริญ. (2557). การคัดเลือกเชื้อราเอนโดไฟต์จากข้าว (*Oryza sativa* L.) ที่มีประสิทธิภาพยับยั้งราสาเหตุโรคข้าว. *วารสารแก่นเกษตร* 42(3) : 385-396

ตารางที่ 2 ชนิดของเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากรากข้าว

ตัวอย่างรากข้าว	ชนิดของจุลินทรีย์	ลักษณะ	จำนวน	หมายเหตุ
แปลงนาที่ 1	รา	เส้นใยสีขาวอมส้ม	2	กลุ่ม <i>Fusarium</i> sp.
	รา	เส้นใยสีขาว สปอร์สีเขียว	9	กลุ่ม <i>Trichoderma</i> sp.
	แบคทีเรีย	โคโลนีสีขาว	3	กลุ่ม <i>Bacillus</i> sp.
แปลงนาที่ 2	รา	เส้นใยสีขาวอมส้ม	2	กลุ่ม <i>Fusarium</i> sp.
	รา	เส้นใยสีเขียวขี้ม้า	1	กลุ่ม <i>Penicillium</i> sp.
	แบคทีเรีย	โคโลนีสีส้ม	1	Unknown
แปลงนาที่ 3	รา	เส้นใยสีขาวอมส้ม	3	กลุ่ม <i>Fusarium</i> sp.
	แบคทีเรีย	โคโลนีสีขาว	19	กลุ่ม <i>Bacillus</i> sp.
แปลงนาที่ 4	รา	เส้นใยสีขาว	7	กลุ่ม <i>Rhizoctonia</i> sp.
	รา	เส้นใยสีขาว สปอร์สีเขียว	4	กลุ่ม <i>Trichoderma</i> sp.
แปลงนาที่ 5	รา	เส้นใยขาว	5	กลุ่ม <i>Rhizoctonia</i> sp.
	แบคทีเรีย	โคโลนีสีขาว	31	กลุ่ม <i>Bacillus</i> sp.
แปลงนาที่ 6	แบคทีเรีย	โคโลนีสีส้ม	4	Unknown
	รา	เส้นใยขาว	4	กลุ่ม <i>Rhizoctonia</i> sp.
แปลงนาที่ 7	รา	เส้นใยสีขาว สปอร์สีเขียว	8	กลุ่ม <i>Trichoderma</i> sp.
	รา	เส้นใยขาว	4	กลุ่ม <i>Rhizoctonia</i> sp.
แปลงนาที่ 8	แบคทีเรีย	โคโลนีสีส้ม	6	Unknown
	รา	เส้นใยสีขาว สปอร์สีเขียว	2	กลุ่ม <i>Trichoderma</i> sp.
แปลงนาที่ 9	รา	เส้นใยสีขาว สปอร์สีเขียว	5	กลุ่ม <i>Trichoderma</i> sp.
	รา	เส้นใยสีขาว	5	กลุ่ม <i>Rhizoctonia</i> sp.
แปลงนาที่ 10	แบคทีเรีย	โคโลนีสีส้ม	4	Unknown

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพของเชื้อราเอนโดไฟต์ในการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรค

กลุ่มของเชื้อรา	การยับยั้งการเจริญ (%)		
	<i>R. solani</i>	<i>F. moniliforme</i>	<i>B. oryzae</i>
RF1	50.00b	58.33ab	25.00c
RF2	100.00a	91.00a	91.67a
RF3	100.00a	75.00a	83.34ab
RF4	100.00a	75.00a	50.00bc
RF5	58.33b	58.33ab	50.00bc
RF6	75.00ab	25.00b	75.00ab
RF7	100.00a	66.67ab	75.00ab
RF8	58.33b	66.67ab	75.00ab
F-test	Ns	ns	**
C.V.(%)	17.99	51.72	58.11

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($P \leq 0.01$)



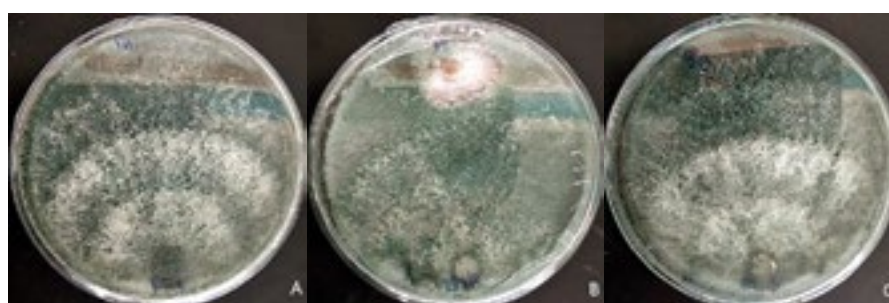
รูปที่ 1 แสดงการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคกับเชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม RF1

A : *Rhizoctonia solani*+RF1 B : *Fusarium moniliforme*+RF1/2 C : *Bipolaris oryzae*+RF1



รูปที่ 2 แสดงการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคกับเชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม RF2

A : *Rhizoctonia solani*+RF2 B : *Fusarium moniliforme*+RF2/2 C : *Bipolaris oryzae*+RF2/3



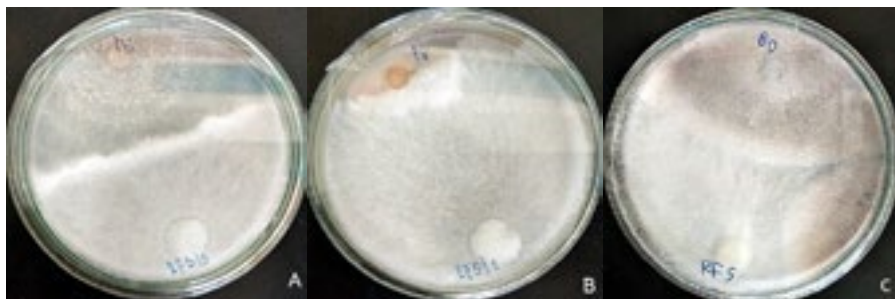
รูปที่ 3 แสดงการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคกับเชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม RF3

A : *Rhizoctonia solani*+RF3 B : *Fusarium moniliforme*+RF2/2 C : *Bipolaris oryzae*+RF3



รูปที่ 4 แสดงการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคกับเชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม RF4

A : *Rhizoctonia solani*+RF4/3 B : *Fusarium moniliforme*+RF4/2 C : *Biopolaris oryzae*+RF4/1



รูปที่ 5 แสดงการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคกับเชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม RF5

A : *Rhizoctonia solani*+RF5/3 B : *Fusarium moniliforme*+RF5/2 C : *Biopolaris oryzae*+RF5



รูปที่ 6 แสดงการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคกับเชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม RF6

A : *Rhizoctonia solani*+RF6 B : *Fusarium moniliforme*+RF6/2 C : *Biopolaris oryzae*+RF6

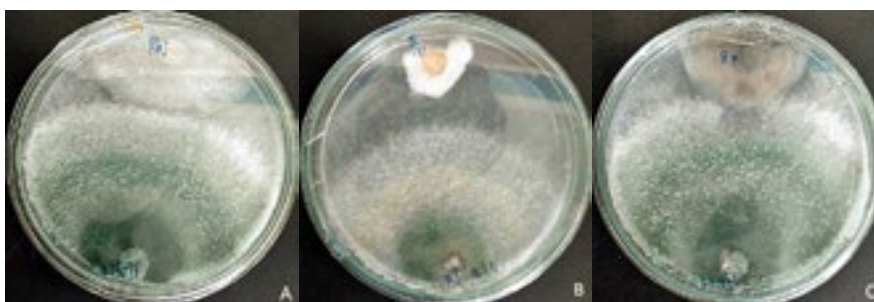


รูปที่ 7 แสดงการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคกับเชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม RF7

A : *Rhizoctonia solani*+RF7

B : *Fusarium moniliforme*+RF7/2

C: *Bipolaris oryzae*+RF7



รูปที่ 8 แสดงการยับยั้งการเจริญของเชื้อราสาเหตุโรคกับเชื้อราเอนโดไฟต์กลุ่ม RF8

A : *Rhizoctonia solani*+RF8/3

B : *Fusarium moniliforme*+RF8/2

C: *Bipolaris oryzae*+RF8/1

ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการเกิดโรคเมล็ดต่าง Efficacy of Antagonistic Microorganism on Growth of Rice and Dirty Panicle Disease Incidence.

ศิริพร อ่ำทอง¹ สุพร อ่อนแก้ว² และ พงศ์ยุทธ นวลบุญเรือง^{1*}
Siriporn Amthong¹ Suporn Onkeaw² and Phongyuth Nualbunruang^{1*}

1 สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา 202 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

2 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

1 Agricultural Technology Research Institute Rajamangala University of Technology Lanna 202 Moo 17 Pichai Muang Lampang 52000

2 Faculty of Science and Agricultural Technology Rajamangala University of Technology Lanna Lampang 200 Moo 17 Pichai Muang
Lampang 52000

*E-mail amthong56@gmail.com, Tel.0882903171

บทคัดย่อ

การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวและการเกิดโรคเมล็ดต่างโดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างจากพื้นที่เพาะปลูกข้าวที่ ตำบลเสด็จ อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง ทำการแยกเชื้อราสาเหตุโรค ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อรา ประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการงอกของข้าวที่เกิดโรคเมล็ดต่าง การเจริญเติบโตและการเกิดโรคของข้าวที่ปลูกในเรือนปลูกพืช ทดลอง โดยนำเมล็ดข้าวที่เกิดโรคเมล็ดต่างมาแช่เมล็ดข้าวในกรรมวิธีต่างๆ คือ น้ำนึ่งฆ่าเชื้อ สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เชื้อแบคทีเรีย ปฏิปักษ์ จากการทดลองพบตัวอย่างเมล็ดข้าวที่เก็บได้พบความรุนแรงของโรคเมล็ดต่างอยู่ในช่วง 15 – 75% เชื้อราที่แยกได้จากเมล็ดข้าวที่ แสดงอาการเมล็ดต่าง พบเชื้อราสาเหตุโรค 3 ชนิด คือ เชื้อรา *Fusarium semitectum* จำนวน 2 ไอโซเลท เชื้อรา *Bipolaris oryzae* จำนวน 2 ไอโซเลท และเชื้อรา *Curvularia lunata* จำนวน 1 ไอโซเลท ผลการศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการงอกของ ข้าวพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตการเจริญเติบโตของข้าวในระยะต้นกล้าเมื่อเทียบกับกรรมวิธีควบคุม และเมื่อพ่น ต้นข้าวด้วยเชื้อรา *B. oryzae* ในระยะข้าวแตกกอ ตั้งท้อง และออกรวง พบว่าระดับความรุนแรงของโรค 42.80 – 49.90% ดัชนีการเกิด โรค 45.20 – 54.60% และระดับการเกิดโรคเมล็ดต่าง 3-4 ซึ่งทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ

คำสำคัญ: จุลินทรีย์ปฏิปักษ์ โรคเมล็ดต่างของข้าว แบคทีเรียปฏิปักษ์ เชื้อราปฏิปักษ์

Abstract

The objective of this study was to investigate the effectiveness of antagonistic microorganism on the growth of rice and dirty panicle kernels were conducted by collecting samples from rice cultivation areas at Sadet Subdistrict, Muang District, Lampang. The isolation of pathogenic fungi and fungal morphology were examined. Antagonistic microorganisms on growth of rice were studied in 4 treatments by using sterilized water, fungicide, antagonistic bacteria and antagonistic fungi and recorded the growth data of rice. It was found that the rice seed samples showed the severity of in the range of 15 - 75%. The study on rice growth parameters and the disease

severity were carried out in glass house with treatments, sterilized water, fungicide, antagonistic bacteria and antagonistic fungi. The results were revealed that, three types of pathogenic fungi were found, consisting of 2 isolates of *Fusarium semitectum*, 2 isolates of *B. oryzae*, and 1 isolate of *Curvularia lunata*. The antagonistic microorganism produced no significant result on growth parameters of seedlings compared with the control method. Moreover, the study on the growth and disease incidence and severity of rice grown in the greenhouse was found that the severity of the disease was 42.80 –49.90%, disease index was 45.20 – 54.60% and the infection level of disease were 3-4.

Keywords: Antagonistic Microorganism, Dirty Panicle, Antagonistic Bacteria, Antagonistic Fungi

1. บทนำ

โรคเมล็ดต่างของข้าว (Dirty Panicle) มีสาเหตุมาจากเชื้อราหลายชนิดที่เข้าทำลายเมล็ดข้าวได้แก่ *Bipolaris oryzae* Breda de Haan., *Curvularia lunata* (Wakk) Boed., *Fusarium semitectum* Berk & Rav., *Sarocladium oryzae* Sawada., *Cercospora oryzae* I. Miyake และ *Trichoconis padwickii* Ganguly เป็น เป็นโรคที่ก่อให้เกิดความเสียหายต่อผลผลิตของข้าว ตลอดจนคุณภาพการขัดสี โรคนี้มักพบการระบาดรุนแรงกับข้าวพันธุ์ที่ไม่ต้านทาน โดยเฉพาะข้าวที่ปลูกเป็นข้าวนาปรัง พบในระยะข้าวออกดอกมีอากาศร้อนในช่วงบ่าย และมีฝนตกชุกในช่วงเย็น และค่า สภาพอากาศในแปลงนาที่มีความชื้นสูงเหมาะสมต่อการเข้าทำลายของเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดต่าง (เอกสงวน, 2547) รวงข้าวที่ถูกเชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดต่างเข้าทำลาย จะมีทั้งเมล็ดที่เต็มและเมล็ดลีบบนเมล็ดข้าวพบจุดสีน้ำตาลดำ บางเมล็ดมีลายสีน้ำตาลทั้งเมล็ด บางเมล็ดลีบ และเมล็ดมีสีเทาอมชมพูทั้งเมล็ด ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดมีเชื้อหลายชนิดที่เข้าทำลายเมล็ดได้ จึงทำให้อาการที่เกิดบนเมล็ดมีลักษณะแตกต่างกัน การเข้าทำลายมักพบในระยะที่ดอกข้าวเริ่มโผล่ออกจากกาบหุ้มรวง จนถึงระยะที่เมล็ดข้าวเริ่มสร้างนํ้ามัน หลังจากนั้นประมาณ 2-3 สัปดาห์ หรือระยะใกล้เก็บเกี่ยว ลักษณะอาการเมล็ดต่างจะปรากฏเด่นชัดขึ้น (สมคิด, 2532 ; ดารา และคณะ, 2545) เมื่อรวงข้าวเกิดอาการเมล็ดต่างสามารถสร้างความเสียหายให้กับผลผลิตของข้าว เมื่อนำเมล็ดไปสีเป็นข้าวสาร ส่งผลให้มีจำนวนเมล็ดที่แตกหักสูง ปริมาณและคุณภาพการขัดสีลดลง (ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, 2539) ในปัจจุบันเกษตรกรนิยมปลูกข้าวโดยลดการใช้สารเคมี การควบคุม

โรคพืชโดยชีววิธีจึงมีบทบาทมากขึ้นในระบบการปลูกข้าวแบบอินทรีย์ที่มีการลดใช้สารเคมี โดยหันมาใช้สารจากธรรมชาติหรือการเลือกใช้สิ่งมีชีวิตมาช่วยในการควบคุมโรคและแมลงศัตรูพืช ทั้งนี้เพื่อลดความเสี่ยงจากการใช้สารเคมี รวมไปถึงการปลูกพืชเพื่อส่งออก แนวทางการควบคุมโรคโดยชีววิธี คือการเลือกใช้จุลินทรีย์ปฏิปักษ์สายพันธุ์ที่ได้ผ่านการคัดเลือกสายพันธุ์มาแล้วมาใช้ในการควบคุมโรค ได้แก่ เชื้อแบคทีเรียบาซิลลัส (*Bacillus spp.*) และเชื้อราไตรโคเดอร์มา (*Trichoderma spp.*) ซึ่งเป็นจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ที่มีประสิทธิภาพในการควบคุมโรคพืช (Nakkeeran, 2005)

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ที่ช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตและประเมิณความต้านทานต่อการเกิดโรคเมล็ดต่างของข้าวที่ปลูกด้วยเชื้อรา *Bipolaris oryzae* ในสภาพเรือนปลูกพืชทดลอง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การป้องกันกำจัดศัตรูพืชโดยชีววิธีก็เป็นกรรมวิธีหนึ่งในการจัดการศัตรูพืชแบบผสมผสาน เพื่อการจัดการโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ป้องกันการรื้อยของสารเคมีรวมทั้งพิษตกค้างในอาหาร เพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์เข้าไปครอบครองพื้นที่ก่อนที่เชื้อสาเหตุโรคจะเข้าทำลาย เพื่อกระตุ้นหรือชักนำให้พืชสร้างความต้านทานต่อการเข้าทำลายของเชื้อสาเหตุโรคพืช ซึ่งการปฏิบัติดังกล่าวจะลดการใช้สารเคมีได้ และลดการระบาดของโรคอย่างรุนแรงได้ ซึ่งวิธีดังกล่าวควรได้ศึกษาเพื่อใหสามารถนำมาใช้ในการจัดการควบคุมโรคเมล็ดต่างของข้าว โดยการดัดแปลงหรือพัฒนาให้มีความเหมาะสมต่อสภาพ

การผลิตข้าว อันจะเป็นทางเลือกให้เกษตรกรสามารถเลือกและเพิ่มมูลค่าของผลผลิตที่ปราศจากพืชตกค้าง

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การสำรวจและเก็บตัวอย่างโรคเมล็ดต่างของข้าว

สำรวจและเก็บตัวอย่างจากพื้นที่เพาะปลูกข้าวที่ตำบลเสด็จ อำเภอมือง จังหวัดลำปาง จำนวน 10 ตัวอย่าง ในระยะใกล้เก็บเกี่ยวโดยสุ่มตัวอย่างในรูปแบบตัว Z แต่ละจุดห่างกัน 10 เมตร สุ่มเก็บจุดละ 10 รวง พร้อมกาบใบ เก็บรักษาตัวอย่างเมล็ดโดยการตากตัวอย่างให้แห้งสนิท เก็บเมล็ดและกาบใบข้าวใส่กระดาษแข็งในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำมาแยกเชื้อราเพื่อนำไปศึกษาต่อไป

2. การแยกเชื้อราสาเหตุโรคและการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

นำเมล็ดข้าวที่แสดงอาการต่างแยกเชื้อราด้วยวิธีการวางเมล็ดข้าวบนกระดาษขึ้น (Blotter method) โดยทำการสุ่มเมล็ดข้าวจากตัวอย่าง นำไปล้างด้วย Clorox 10% เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นล้างด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ 3 นาที แลวนำมาวางบนกระดาษที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้ว เมื่อเมล็ดแห้ง นำไปวางบนจานเลี้ยงเชื้อที่มีกระดาษเพาะเมล็ดที่ชุ่มน้ำ จำนวน 15 เมล็ด ทั้งหมด 7 ซ้ำ แลวนำไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน นำมาตรวจดูภายใต้กล้องสเตอริโอ โดยตรวจสอบทุกเมล็ดและจำแนกชนิดของเชื้อราด้วยลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยการทำสไลด์กึ่งถาวร ตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาของเชื้อราโดยการเขี่ยสวตต่างๆ ของเชื้อราที่เจริญบนเมล็ด ไตแก ลักษณะกานชูโคนินเดีย (conidiophores) และโคนินเดีย (conidia) สี จำนวนเซลล์ของโคนินเดียที่เป็นลักษณะจำเพาะของแต่ละจีโนสและสปอร์ส ภายใต้กล้องจุลทรรศน์แบบ 2 มิติ (compound microscope)

3. การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการงอกของข้าวที่เกิดโรคเมล็ดต่าง

นำเมล็ดข้าวที่เกิดโรคเมล็ดต่างจำนวน 400 เมล็ด แซ่เมล็ดข้าวในกรรมวิธีต่าง ๆ กรรมวิธีละ 100 เมล็ด คือ น้ำนิ่งฆ่าเชื้อ สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ และเชื้อราปฏิปักษ์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วบ่มในกล่องเพาะเมล็ดที่มีกระดาษชำระชุ่มน้ำเป็นแล้ว 7 วัน แล้วบันทึกข้อมูลการ

เจริญเติบโตของเมล็ดข้าว ความสูงของต้น ความยาวของราก และอัตราการงอกของเมล็ดข้าว

4. การศึกษาการเจริญเติบโตและการเกิดโรคของข้าวที่ปลูกในเรือนปลูกพืชทดลอง

นำเมล็ดข้าวที่เกิดโรคเมล็ดต่างมาแช่เมล็ดข้าวในกรรมวิธีต่าง ๆ กรรมวิธีละ 100 เมล็ด คือ น้ำนิ่งฆ่าเชื้อ สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ และเชื้อราปฏิปักษ์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำเมล็ดข้าวเพาะในถาดเพาะเมื่อกล้าข้าวมีอายุ 15 วัน ย้ายต้นข้าวไปปลูกในกระถางพลาสติก

เตรียมเชื้อรา *B. oryzae* โดยการคัดเลือกเชื้อราที่มีอัตราการเจริญบนอาหาร PDA และจำนวนสปอร์ที่สร้าง จากนั้นนำมาเพิ่มปริมาณโดยการเลี้ยงเชื้อราบนเมล็ดข้าวที่ผ่านการนิ่งฆ่าเชื้อเพื่อให้เชื้อราสร้างสปอร์ บ่มที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 14 วัน จากนั้นนำสปอร์แขวนลอยของเชื้อรามาปรับความเข้มข้นสปอร์ต่อมิลลิลิตร

การปลูกเชื้อในระยะข้าวแตกกอ ปลูกเชื้อโดยการพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อราที่ความเข้มข้น 10^5 สปอร์ต่อมิลลิลิตร พ่นลงบนใบข้าว การปลูกเชื้อราในระยะข้าวตั้งท้องพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อราบริเวณกาบใบหุ้มรวงข้าว และการปลูกเชื้อราในระยะข้าวออกดอกพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อราบนรวงข้าว

การประเมินโรคเมล็ดต่างของข้าวในระยะเก็บเกี่ยวเปรียบเทียบกับกรรมวิธีควบคุม วิเคราะห์ความรุนแรงของโรคเมล็ดต่าง โดยการหาดัชนีการเกิดโรค และเปรียบเทียบลักษณะที่แสดงออกสำหรับการประเมินโรคในโรงเรือน ตามเกณฑ์การประเมินโรคเมล็ดต่างบนรวงข้าวดังนี้

- ระดับ 0 ไม่พบการทำลายของโรค
- ระดับ 1 พื้นที่รวงถูกทำลายน้อยกว่า 1 %
- ระดับ 2 พื้นที่รวงถูกทำลาย 1-5 %
- ระดับ 3 พื้นที่รวงถูกทำลาย 6-25 %
- ระดับ 4 พื้นที่รวงถูกทำลาย 26-50 %
- ระดับ 5 พื้นที่รวงถูกทำลาย 51-100 %

ตารางที่ 1 แสดงดัชนีการเกิดโรคมะลิต่างของข้าวและลักษณะการแสดงออกทางฟีโนไทป์

Disease index (%)	Phenotype
0	Highly resistant (HR)
1-10	Resistant (R)
11-25	Moderately resistant (MR)
26-50	Moderately susceptible (MS)
51-75	Susceptible (S)
76-100	Highly susceptible (HS)

4. ผลการวิจัย

1. การสำรวจและเก็บตัวอย่างโรคมะลิต่างของข้าว

การสำรวจและเก็บตัวอย่างโรคมะลิต่างของข้าวจากแปลงนาปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรในพื้นที่ตำบลเสด็จ อำเภอมือง จังหวัดลำปาง จำนวน 10 จุด ตัวอย่างเมล็ดข้าวที่เก็บได้พบความรุนแรงของโรคมะลิต่างอยู่ในช่วง 15 – 75% ทุกตัวอย่างพบระดับความรุนแรงของโรคมะลิต่างที่แตกต่างกัน

2. การแยกเชื้อราสาเหตุโรคและการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา

เชื้อราที่แยกได้จากเมล็ดข้าวที่แสดงอาการโรคมะลิต่างพบเชื้อราสาเหตุโรค 3 ชนิด ประกอบด้วย เชื้อรา *F. semitectum* จำนวน 2 ไอโซเลท เชื้อรา *B. oryzae* จำนวน 2 ไอโซเลท และเชื้อรา *C. lunata* จำนวน 1 ไอโซเลท (รูปที่ 1)

3. การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการงอกของข้าวที่เกิดโรคมะลิต่าง

กรรมวิธีที่ใช้เชื้อราปฏิปักษ์แข่งเมล็ดข้าว ส่งผลให้ข้าวมีการงอก 98.00% ซึ่งมีค่าไม่แตกต่างกับกรรมวิธีควบคุมที่แข่งเมล็ดด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อ การใช้เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์แข่งเมล็ดทำให้ข้าวมีการงอก 91.00% และกรรมวิธีการควบคุมที่แข่งเมล็ดด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อข้าวเมล็ดข้าวงอก 99.00% กรรมวิธีที่แข่งเมล็ดด้วยสารเคมีเมล็ดข้าวงอก 99.00%

การเกิดโรคกล้าเนาของต้นข้าว พบว่า กรรมวิธีที่แข่งเมล็ดข้าวด้วยแบคทีเรียปฏิปักษ์มีการเกิดโรคกล้าเนาสูงที่สุดคือ 8.60% กรรมวิธีที่แข่งเมล็ดข้าวด้วยเชื้อราปฏิปักษ์มีการเกิดโรคกล้าเนา 1.60% กรรมวิธีที่แข่งเมล็ดข้าวด้วยสารเคมีมีการเกิดโรค

กล้าเนา 1.00% และกรรมวิธีควบคุมที่แข่งเมล็ดด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อมีการเกิดโรคกล้าเนา 1.00% (ตารางที่ 2)

ความสูงของกล้าข้าวในกรรมวิธีที่แข่งเมล็ดด้วยเชื้อราปฏิปักษ์มีความสูงกล้าข้าวมากที่สุดคือ 6.60 เซนติเมตร รองลงมาคือการแข่งขันเมล็ดด้วยแบคทีเรียปฏิปักษ์ต้นกล้าข้าวสูง 6.08 เซนติเมตร กรรมวิธีควบคุมที่แข่งเมล็ดด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อต้นกล้ามีความสูง 6.06 เซนติเมตร และกรรมวิธีที่แข่งเมล็ดสารเคมีมีความสูงของกล้าข้าวน้อยที่สุดคือ 4.62 เซนติเมตร ในส่วนของความยาวราก กรรมวิธีที่แข่งเมล็ดด้วยเชื้อราปฏิปักษ์มีความยาวรากมากที่สุดคือ 8.50 เซนติเมตร รองลงมาคือกรรมวิธีที่แข่งเมล็ดด้วยเชื้อแบคทีเรียมีความยาวราก 7.92 เซนติเมตร ซึ่งมีความยาวรากเทียบเท่ากับกรรมวิธีที่แข่งเมล็ดด้วยสารเคมีที่มีความยาวราก 7.92 เซนติเมตร และกรรมวิธีควบคุมที่แข่งเมล็ดด้วยน้ำนิ่งฆ่าเชื้อมีความยาวรากน้อยที่สุดคือ 7.55 เซนติเมตร (รูปที่ 2)

4. การศึกษาการเจริญเติบโตและการเกิดโรคของข้าวที่ปลูกในเรือนปลูกพืชทดลอง

การพ่นต้นข้าวด้วยสารเคมีต้นข้าวมีความสูงมากที่สุดคือ 94.94% รองลงมาคือกรรมวิธีควบคุมต้นข้าวมีความสูง 91.39% กรรมวิธีที่พ่นต้นข้าวด้วยเชื้อราปฏิปักษ์ต้นข้าวมีความสูง 87.47% และกรรมวิธีที่พ่นต้นข้าวด้วยแบคทีเรียปฏิปักษ์ต้นข้าวมีความสูง 87.21% ตามลำดับ ในส่วนของความยาวรากพบว่าการพ่นต้นข้าวด้วยเชื้อราปฏิปักษ์มีความยาวรากมากที่สุด 27.25% รองลงมาคือการใช้แบคทีเรียปฏิปักษ์มีความยาวราก 21.00% การใช้สารเคมีมีความยาวราก 19.30% และกรรมวิธีควบคุมมีความยาวราก 10.70% ตามลำดับ ในส่วนของความยาวใบ กรรมวิธีควบคุมมีความยาวใบมากที่สุดคือ 61.22% การใช้สารเคมีมีความยาวใบ 55.55% การใช้เชื้อราปฏิปักษ์มีความยาวใบ 54.44% และการใช้แบคทีเรียปฏิปักษ์มีความยาวใบ 53.66% ตามลำดับ จำนวนต้นตอกกรรมวิธีควบคุมมีจำนวนต้นตอกมากที่สุดคือ 4.67% รองลงมาคือการใช้แบคทีเรียปฏิปักษ์ 3.58% การใช้เชื้อราปฏิปักษ์ 3.44% และการใช้สารเคมีมีจำนวนต้นตอกน้อยที่สุดคือ 2.98% ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

หลังการพ่นสปอร์แขวนลอยของเชื้อรา *B. oryzae* ให้กับต้นข้าวในระยะแตกกอ ระยะตั้งท้อง และระยะออกรวง สุ่มตัวอย่างข้าวแต่ละกรรมวิธีทำการประเมินการเกิดโรค จำนวน 10 ตัวอย่าง/กรรมวิธี (ตารางที่ 4,5) พบว่าในแต่ละกรรมวิธีมี

ระดับความรุนแรงของการเกิดโรคเมล็ดต่าง และดัชนีการเกิดโรคเมล็ดต่างมีค่าไม่แตกต่างกัน โดยที่ระดับความรุนแรงของการเกิดโรคเมล็ดต่างมีค่าระหว่าง 42.80-49-90% และดัชนีการเกิดโรคเมล็ดต่างมีค่าระหว่าง 45.20-54.60% ซึ่งทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ระดับการเกิดโรคเมล็ดต่างอยู่ในระดับการเกิดโรคที่ระดับ 3 และ 4 และลักษณะการแสดงออกทางฟีโนไทป์อยู่ระหว่าง Moderately susceptible (MS) - Susceptible (S) คือ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ตัวอย่างที่ทำการทดลองนั้นเป็นลักษณะของข้าวที่มีความอ่อนแอต่อการเกิดโรคเมล็ดต่างของข้าว (ตารางที่ 6)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตและการเกิดโรคเมล็ดต่างของข้าว โดยทำการสำรวจและเก็บตัวอย่างโรคเมล็ดต่างของข้าวจากแปลงนาปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ของเกษตรกรในพื้นที่ตำบลเสด็จ อำเภอมือง จังหวัดลำปาง จำนวน 10 ตัวอย่างพบว่าทุกตัวอย่างพบระดับความรุนแรงของโรคเมล็ดต่างที่แตกต่างกัน ซึ่งมีรายงานว่ามีการระบาดมากขึ้นในภาคเหนือ ซึ่งการระบาดมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และปริมาณน้ำฝนรวม (อัญชลี และคณะ 2560) เชื้อราที่แยกได้จากเมล็ดข้าวที่แสดงอาการเมล็ดต่าง พบเชื้อราสาเหตุโรค 3 ชนิด ประกอบด้วย เชื้อรา *F. semitectum* จำนวน 2 ไอโซเลท เชื้อรา *B. oryzae* จำนวน 2 ไอโซเลท และเชื้อรา *C. lunata* จำนวน 1 ไอโซเลท การศึกษาประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการงอกของข้าวพบว่าเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ในกรรมวิธีต่างๆ คือ น้ำนึ่งฆ่าเชื้อ สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ พบว่าทั้ง 4 กรรมวิธีไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตในแง่ของการงอกของเมล็ด ความสูงต้นและความยาวราก แต่แบคทีเรียปฏิปักษ์ ทำให้เกิดการตายของต้นมากกว่ากรรมวิธีอื่น อาจจะเป็นเนื่องมาจากการทดลองนี้ใช้เมล็ดที่มีอาการของโรคต่างและแบคทีเรียปฏิปักษ์ไม่ได้ส่งเสริมการเจริญของต้น ทำให้ต้นกล้าติดเชื้อตายมากกว่ากรรมวิธีอื่นๆ และ การศึกษาการเจริญเติบโตและการเกิดโรคของข้าวที่ปลูกในเรือนปลูกพืชทดลองในกรรมวิธีต่างๆ คือ น้ำนึ่งฆ่าเชื้อ สารเคมีป้องกันกำจัดเชื้อรา เชื้อแบคทีเรียปฏิปักษ์ พบว่าการใช้เชื้อราปฏิปักษ์และแบคทีเรียปฏิปักษ์ มีการเจริญเติบโต

น้อยกว่า การใช้สารเคมีและ กรรมวิธีควบคุม ในแง่ของความสูง ความยาวใบและการแตกออกระดับความรุนแรงของการเกิดโรคเมล็ดต่าง และดัชนีการเกิดโรคเมล็ดต่างมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งทุกกรรมวิธีมีค่าไม่แตกต่างทางสถิติ ระดับการเกิดโรคเมล็ดต่างอยู่ในระดับการเกิดโรคที่ระดับ 3 และ 4 และลักษณะการแสดงออกทางฟีโนไทป์อยู่ระหว่าง Moderately susceptible (MS) - Susceptible (S) ซึ่งอาจจะเป็นเพราะข้าวหอมมะลิ 105 มีลักษณะที่ต้านทานต่อโรคเมล็ดต่างของข้าวที่เกิดจากเชื้อรา *B. oryzae*

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.จิระเดช แจ่มสว่าง ห้องปฏิบัติการควบคุมโรคพืชโดยชีววิธี ภาควิชาโรคพืช มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์สำหรับทำการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- ดารา เจตนะจิตร, นงรัตน์ นิลพานิชย์, ปากเพียร อรัญนารถ, วิจิต ศิริสันธนะ, วิชชุดา รัตนกาญจน์, รัชมี ฐิติเกียรติพงศ์, เยาวภา ดันตวานิช, วันชัย โรจนหัสติน และจรรยา อารยาพันธ์. (2545). คู่มือโรคข้าว. สมาคมนักโรคพืชแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ. 47 หน้า.
- ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี. (2539). ข้าว: ความรู้คู่ชาวนา. เอกสารวิชาการ. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, กรุงเทพฯ. 191 หน้า
- สมคิด ดิสภาพร. (2532). ชาวนาปราบโรคข้าว. กลุ่มงานวิจัยโรคข้าวและธัญพืชเมืองหนาว. กรมวิชาการเกษตร. กรุงเทพฯ
- อัญชลี ดาคำ และคณะ (2560) สำรองการระบาดของโรคเมล็ดต่างของข้าว ความหลากหลายของเชื้อสาเหตุและประสิทธิภาพของสารป้องกันกำจัดเชื้อราสาเหตุโรคในเขตภาคเหนือ
<http://brrd.ricethailand.go.th/images/pdf/2560/seminarrice2060/nan2560/17.pdf>

Nakkeeran, S. , Renukadevi. P, and Marimulthu, T.
(2005)

Antagonistic potentiality of *Trichoderma*
viride

and assessment of its efficacy for the
management of cotton root rot. Plant
Protection 38: 209 - 225.



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างของสปอร์เชื้อราสาเหตุโรคเมล็ดต่าง

(1) *Fusarium semitectum* (2) *Biopolaris oryzae* (3) *curvularia lunata*



รูปที่ 2 ความสูงและความยาวรากของต้นอ่อนข้าว

A: น้ำนิ่งฆ่าเชื้อ (กรรมวิธีควบคุม) B: เมตาแลกซิล C: แบคทีเรียปฏิชีวนะ D: เชื้อราปฏิชีวนะ

ตารางที่ 2 ผลของเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญของกล้าข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

กรรมวิธี	การเจริญเติบโตระยะต้นกล้า			
	การงอกของเมล็ด (%)	จำนวนต้นตาย (%)	ความสูงต้น (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)
ควบคุม	99.00	1.00 ^b	6.06	7.55
สารเคมี	99.00	1.00 ^b	4.62	7.92
แบคทีเรียปฏิปักษ์	91.00	8.60 ^a	6.08	7.92
เชื้อราปฏิปักษ์	98.00	1.00 ^b	6.60	8.50
F-test	Ns	**	ns	Ns
C.V. (%)	8.92	272.05	24.8	18.17

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางที่ 3 ผลของเชื้อจุลินทรีย์ปฏิปักษ์ต่อการเจริญเติบโตของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105

กรรมวิธี	การเจริญเติบโตของต้นข้าว			
	ความสูงลำต้น (เซนติเมตร)	ความยาวราก (เซนติเมตร)	ความยาวใบ (เซนติเมตร)	จำนวนต้น/กอ
ควบคุม	91.39 ^{ab}	10.70 ^c	61.22 ^a	4.67 ^a
สารเคมี	94.94 ^a	19.30 ^b	55.55 ^b	2.98 ^b
แบคทีเรียปฏิปักษ์	87.21 ^b	21.00 ^a	53.66 ^b	3.58 ^b
เชื้อราปฏิปักษ์	87.47 ^b	27.25 ^a	54.44 ^b	3.44 ^b
F-test	Ns	**	**	**
c.v. (%)	95.24	69.78	7.56	58.25

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางที่ 4 แสดงการประเมินรวงข้าวที่พบโรคเมล็ดต่าง

ลำดับ	รวงข้าว	การเกิดโรคเมล็ดต่าง			
		%ระดับความรุนแรงของโรค	ระดับ	ดัชนีการเกิดโรค (%)	Phenotype
1	KDML 105/1	36	3	42	MS
2	KDML 105/2	67	4	72	S
3	KDML 105/3	30	3	28	MS
4	KDML 105/4	35	3	38	MS
5	KDML 105/5	35	3	38	MS
6	KDML 105/6	36	3	40	MS
7	KDML 105/7	35	3	38	MS
8	KDML 105/8	44	3	50	MS
9	KDML 105/9	45	3	50	MS
10	KDML 105/10	65	4	56	S
11	KDML 105/11	40	3	36	MS
12	KDML 105/12	38	3	34	MS
13	KDML 105/13	68	4	60	S
14	KDML 105/14	63	4	52	S
15	KDML 105/15	40	3	46	MS
16	KDML 105/16	38	3	44	MR
17	KDML 105/17	34	3	36	MS
18	KDML 105/18	36	3	42	MS
19	KDML 105/19	70	4	62	S
20	KDML 105/20	64	4	58	S

ตารางที่ 5 การประเมินรวงข้าวที่พบโรคเมล็ดต่าง

ลำดับ	รวงข้าว	การเกิดโรคเมล็ดต่าง			
		%ระดับความรุนแรงของโรค	ระดับ	ดัชนีการเกิดโรค (%)	Phenotype
21	KDML 105/21	40	3	36	MS
22	KDML 105/22	40	3	46	MS
23	KDML 105/23	63	5	52	S
24	KDML 105/24	45	3	50	MS
25	KDML 105/25	38	3	44	MS
26	KDML 105/26	45	3	50	MS
27	KDML 105/27	45	3	50	MS
28	KDML 105/28	68	4	60	S
29	KDML 105/29	40	3	48	MS
30	KDML 105/30	36	3	40	MS
31	KDML 105/31	85	5	80	HS
32	KDML 105/32	40	3	46	MS
33	KDML 105/33	35	3	40	MS
34	KDML 105/34	48	4	56	S
35	KDML 105/35	70	4	66	S
36	KDML 105/36	45	4	52	S
37	KDML 105/37	45	4	52	S
38	KDML 105/38	40	3	48	MS
39	KDML 105/39	45	4	52	S
40	KDML 105/40	46	4	54	S

ตารางที่ 6 ระดับความรุนแรงของโรค ดัชนีการเกิดโรค ระดับการเกิดโรคเมล็ดต่าง และลักษณะทางฟีโนไทป์ของข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ได้รับการพ่นเชื้อราสาเหตุโรค

กรรมวิธี	การเกิดโรคเมล็ดต่าง			
	%ระดับความรุนแรง	%ดัชนีการเกิดโรค	Level	Phenotype
ควบคุม	42.80	45.20	3	MS
สารเคมี	49.10	47.00	3	MS
แบคทีเรียปฏิปักษ์	46.00	47.60	3	MS
เชื้อราปฏิปักษ์	49.90	54.60	4	S
F-test	ns	ns		
CV.(%)	29.13	21.36		

หมายเหตุ ns ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \geq 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติ ($P \leq 0.01$)

ผลของระยะเวลาเตรียมน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการฆ่าเชื้อชิ้นส่วนกุหลาบ สำหรับเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ

Effect of Preparation time of Micro/Nano Bubble Water on Sterilization of Rose Explant for Tissue Culture

อรัทัย แสงมณีจร^{1*}, ศิริพรรณ สารินทร์², เพ็ญพิมพ์ ชิดบุรี³ และ อภิชาติ ชิดบุรี⁴

Orathai Saengmaneejarat^{1*}, Siripun Sarin², Piengpim Chidburee³ and Aphichat Chidburee⁴

¹คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

²ภาควิชาจุลชีววิทยาและปรสิตวิทยา คณะวิทยาศาสตร์การแพทย์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 65000

³สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาลำปาง จังหวัดลำปาง 52000

⁴สถาบันวิจัยเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดลำปาง 52000

¹Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University
of Technology Lanna Lampang, Lampang Province, 52000

²Department of Microbiology and Parasitology, Faculty of Medical Science, Naresuan University, Phisanulok Province, 65000

³Department of Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology
Lanna Lampang Lampang 52000

⁴Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang,
Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang Province, 52000

*Corresponding author : Orathai_sa62@live.rmutl.ac.th ,0637518472

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบระยะเวลาเตรียมน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (Micro-Nano Bubble; MNB) ต่อการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนตาข่ายกุหลาบพันธุ์ “Royal Baccara” ทำการทดลองโดยเตรียมน้ำ MNB ที่ระยะเวลา 10 ,15 และ 20 นาที และเตรียมน้ำ MNB ทั้งสามระยะเวลาที่เติมคลอโรกซ์ร้อยละ 10 เปรียบเทียบกับน้ำกลั่นที่เติมคลอโรกซ์ร้อยละ 10 (ชุดควบคุม) ผลการทดลองพบว่า ในทุกกรรมวิธีไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยมีการปนื้อนเชื้อราร้อยละ 10 – 35 แบคทีเรียร้อยละ 5 – 30 อัตรารอดของชิ้นส่วนตาข่ายร้อยละ 45 – 75 และมีการแตกตาข่ายร้อยละ 45 – 75 และพบว่า การเตรียมน้ำ MNB ที่ระยะเวลา 20 นาทีอย่างเดียวก่อนมีความสูงของยอดมากที่สุด (1.57 ± 0.02 เซนติเมตร) ส่วน การเตรียมน้ำ MNB ที่ระยะเวลา 15 นาทีอย่างเดียวก่อนให้ความกว้างทรงพุ่มมากที่สุด (2.69 ± 0.07 เซนติเมตร) นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อเยื่อชิ้นส่วนตาข่ายไม่ถูกทำลาย และมีความเขียว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ สามารถใช้การฆ่าเชื้อชิ้นส่วนกุหลาบได้

คำสำคัญ : น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์, โซเดียมไฮโปคลอไรท์, การฟอกฆ่าเชื้อ, ชิ้นส่วนกุหลาบ

Abstract

The purpose of this study was to compare the preparation time of the micro/nano bubble (MNB) water on sterilization of rose explant var “Royal Baccara”. The experiments included the MNB water at the preparation of 10, 15 and 20 minutes, the different times (10, 15 and 20 mins) added with

10% Clorox and the distilled water supplemented with 10% Clorox as a control. The results showed that there were no significant different between the treatments in the percentage of fungi (10-35 %) and bacteria contamination (5-30%), the percentage of explant survive (45-75%) and the percentage of the new initiated shoots (45-75%). However, the highest of shoot height (1.57 ± 0.02 cm.) obtained at the MNB water preparation time of 20 min only and the highest of the canopy width (2.69 ± 0.07 cm.) achieved at the MNB water preparation time of 15 min only. The treated explants also showed no tissue damage and green. It can be concluded that the MNB water is useful to sterilize the explant of rose.

Keywords: Water Micro/Nano bubble ,sodium hypochloride : NaOCl ,Disinfection ,Rose Piece

1. บทนำ

เทคโนโลยีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชใช้ในการขยายพันธุ์พืชเพื่อให้ได้ต้นพันธุ์จำนวนมาก ในเวลาอันรวดเร็ว คือขยายพันธุ์พืชแบบไม่อาศัยเพศ โดยใช้ชิ้นส่วนของพืชขนาดเล็ก อาทิ เช่น ชิ้นส่วนยอด ปลายยอด ใบ ราก ดอก หรือเซลล์ นอกจากนี้ต้นที่ได้ยังปราศจากโรค เมื่อนำไปปลูกจึงได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี และมีปริมาณที่มากพอตามความต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ ตลอดจนใช้เป็นวิธีการเก็บรักษา และรวบรวมพันธุ์พืชเพื่อการอนุรักษ์เชื้อพันธุ์ที่ต้านทานต่อโรคและพัฒนาพันธุ์ใหม่ๆ (Gould et al., 1991; Kyte and Kley, 1999) ในกระบวนการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช ขั้นตอนที่สำคัญ คือ การฆ่าเชื้อโรค เป็นการทำให้ชิ้นส่วนพืชปราศจากเชื้อจุลินทรีย์เนื่องจากในสภาพธรรมชาติแล้ว ส่วนต่างๆ ของพืชมีเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ ปนเปื้อน เช่น เชื้อรา หรือแบคทีเรีย เป็นต้น อันเป็นตัวการสำคัญของการปนเปื้อน (Contamination) ในอาหารเพาะเลี้ยง ทำให้ชิ้นส่วนพืชเน่าตาย ปัจจุบันมีสารเคมีหลายชนิด และวิธีการต่างๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาดชิ้นส่วนพืชให้อยู่ในสภาพปลอดเชื้อ ซึ่งสามารถเลือกใช้สารเคมีชนิดต่างๆ ในความเข้มข้นที่เหมาะสม เช่น แคลเซียมไฮโปคลอไรต์ (calcium hypochloride :CaOCl₂), โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (sodium hypochlorite : NaOCl), ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide :H₂O₂) และเมอคิวริกคลอไรด์ (mercuric chloride :HgCl₂) เป็นต้น ซึ่งสารฟอกฆ่าเชื้อที่นิยมใช้มากที่สุด คือโซเดียมไฮโปคลอไรต์ มีชื่อทางการค้าคือ คลอโรอกซ์ (clorox) โดยควรหยดสารจับใบ (surfactant) เพื่อช่วยให้สารฟอกฆ่าเชื้อเข้าไปที่ผิวของเนื้อเยื่อที่ไม่เรียบหรือมีขนได้ดีขึ้น เช่น tween-2 (polyoxyethylene sorbitan monolaurate) ความเข้มข้น 0.05% หรือประมาณ 1-2 หยด (รังสฤษดิ์, 2540) ซึ่งสารเคมีเหล่านี้หากใช้ในปริมาณที่มากเกินไป อาจเกิดอันตรายต่อเนื้อเยื่อพืชได้

เทคโนโลยีไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (micro/nano bubble; MNB) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการพัฒนาจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งเป็นวิธีการทำให้เกิดฟองก๊าซ ขนาดเล็ก ในวัสดุหรือสารตัวกลาง เช่น น้ำ ลักษณะของ

ฟองอากาศที่เกิดขึ้นมีขนาดตั้งแต่ 0.1-100 ไมโครเมตร ลักษณะของ ฟองอากาศขนาดเล็กนี้สามารถกระจายตัวในน้ำ ได้อย่างหนาแน่น การใช้งานที่มีประสิทธิภาพของไมโคร/นาโนบับเบิลส์ จะมีการรายงานการใช้ประโยชน์ ที่หลากหลายเช่นการทำให้น้ำเสียเป็นน้ำบริสุทธิ์ การปรับปรุงคุณภาพน้ำ การฆ่าเชื้อ การทำน้ำให้ใส การทำความสะอาดของน้ำที่ปนเปื้อน การกระตุ้นการงอกของเมล็ดและการส่งเสริมกิจกรรมทางสรีรวิทยาของสิ่งมีชีวิต อื่นๆ (Oshita and Liu, 2013) มีรายงานการวิจัย พบว่าน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ 5 นาที สามารถทำให้เมล็ดค่านางอกได้เพิ่มขึ้นหลังจากเพาะ 4 และ 5 วัน การเจริญเติบโตของต้นกล้า พบว่าน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ 3 และ 5 นาที มีความสูงของต้นมากที่สุด และมีผลทำให้ต้นกล้ามีความยาวรากมากกว่าการรดด้วยน้ำเปล่า ชิติ และคณะ (2561) มีรายงานวิจัยการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) เพื่อหาวิธีในการลดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในพืช พบว่าการใช้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ในผักได้จริง สอดคล้องกับรายงานของ อสมมา และวราภา (2560) ด้วยคุณสมบัติเฉพาะของ ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ช่วยลดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนในเนื้อเยื่อพืช ทำให้สารฆ่าเชื้อที่ใช้มีโอกาสทำลายจุลินทรีย์ได้ดีกว่า (Klintham et al., 2017) จึงให้ผลดีทั้งในแง่ของการลดจุลินทรีย์ และลดปริมาณการใช้สารเคมี

โดยในพืชที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ ได้แก่ กุหลาบ (*Rosa hybrids*) ปัจจุบันมีการจัดจำแนกประเภทของกุหลาบที่มีมูลค่าทางเศรษฐกิจ ได้แก่ กุหลาบตัดดอก (Hybrid Tea) กุหลาบพวง (Floribunda) กุหลาบแกรนด์ฟลอรา (Grandiflora) กุหลาบหนู (Miniature) และกุหลาบเลื้อย (Climber) (สุปรานี, 2541 ; โสระยา, 2544 ; สุธานี, 2539) โดยกุหลาบพันธุ์ Royal Baccara ดอกมีสีแดง เป็นลูกผสมระหว่างพันธุ์ Meibuito x Ambassador จัดอยู่ในกลุ่มกุหลาบตัดดอก เป็นพันธุ์ที่มีความแข็งแรง และทนทานต่อโรค (วัชระ เกตุเพชร และอดิสร กระแสชัย, 2556)

งานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของระยะเวลาการเตรียมน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ต่อการพอกฆ่าเชื้อขึ้นส่วนกุหลาบพันธุ์ Royal Baccara สำหรับการขยายพันธุ์ด้วยวิธีการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อให้ได้ปริมาณต้นจำนวนมาก

2.แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กุหลาบพันธุ์ “Royal Baccara” สีแดงเป็นพันธุ์ของโครงการหลวง ชื่อวิทยาศาสตร์ *Rosa spp. and hybrid* ลักษณะ ต้นเป็นพุ่ม ดอกบานสีแดงเข้ม กลีบเป็นก้านห้อยซ้อนกัน 35-40 กลีบ กลีบนอกโค้งห้อยเมื่อบานเต็มที่ แข็งแรง ทนโรค และเป็นพันธุ์กุหลาบตัดดอก (วชิระ เกตุเพชร และ อติสร กระแสชัย, 2556)

MNB technology เป็น เทคโนโลยีที่กำเนิดจากประเทศญี่ปุ่น ซึ่งได้มีการวิจัย และพัฒนาต่อเนื่องมาถึงปัจจุบัน MNB technology จัดเป็นเทคโนโลยีที่สะอาด ปลอดภัย เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และมีศักยภาพในการประยุกต์ใช้งานได้ หลากหลายสาขา อาทิ เช่น ด้านอุตสาหกรรมอาหาร ด้านการแพทย์ และการเกษตร โดย มีรายงานว่า น้ำที่มี ฟองก๊าซขนาดเล็ก (MNB) มีประสิทธิภาพในการล้างทำความสะอาด และรักษาความสดของพืชผัก ส่วนอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์ (Aquaculture) ในฟาร์มเลี้ยงกุ้งมีการนำ MNB technology เข้ามาช่วย สามารถช่วยเพิ่มคุณภาพและปริมาณของผลผลิตที่ยังสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดหรือการดูแล คุณภาพน้ำที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงกุ้งหรือสัตว์น้ำชนิดอื่นๆ ได้ (Oshita & Liu, 2013) สำหรับการเพาะปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน (Hydroponics) ในเรื่องของคุณภาพของน้ำจัดได้ว่าเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญ จึง มีรายงานว่า การนำ MNB technology เข้าไปช่วยในการปลูกพืชแบบไม่ใช้ดิน สามารถเพิ่มปริมาณค่าการละลายของก๊าซในน้ำได้ทำให้น้ำที่ใช้เพาะปลูกมีคุณสมบัติที่ดีส่งผลให้ผลผลิตมีการเจริญเติบโตหรือมีคุณภาพที่ดีตามมาด้วย (Takahashi, 2005)

นอกจากนี้ มีรายงานของ อีร์ภัทร อินทร์ทอง และคณะ (2560) หาประสิทธิภาพของการใช้สารละลายพลาสมา และไมโคร บับเบิลส์ ต่อการเจริญของเชื้อ *Penicillium digitatum* พบว่าการใช้น้ำ พลาสมา ร่วมกับไมโคร บับเบิลส์ เป็นเวลา 15 นาที และ 30 นาที ให้ผลดีกว่าในการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *P. digitatum* เมื่อ เปรียบเทียบกับการใช้พลาสมา หรือไมโคร บับเบิลส์ อย่างเดียวซึ่ง ประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อของน้ำพลาสมา

ร่วมกับไมโคร บับเบิลส์ จะเพิ่มขึ้นโดยสัมพันธ์กับค่า pH ที่ลดลง และ ORP ที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังสังเกตการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซลล์ โดยตรวจสอบภายใต้กล้องจุลทรรศน์ พบว่าเส้นใย และสปอร์ของเชื้อราได้รับความเสียหายจากการได้รับน้ำพลาสมา ร่วมกับน้ำไมโคร บับเบิลส์ สอดคล้องกับงานวิจัยของ ญัฐชัย พงษ์ประเสริฐ และคณะ (2555) ผลของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดไมโคร และนาโน ร่วมกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ต่อการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนตลอดจนการรักษาคุณภาพในผักสลัดตัดแต่งพร้อมบริโภค พบว่า ฟองอากาศขนาดไมโคร และนาโน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนได้ดีกว่าการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 100 ppm และยังพบว่า ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อใช้ฟองอากาศขนาดไมโคร และนาโน ร่วมกับการใช้สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้น 50 ppm

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมน้ำด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์

นำน้ำกลั่นปริมาตร 1,000 มล. ในขวดดูแลนเข้าเครื่องปั๊มทำฟองอากาศขนาดเล็ก (ไมโครนาโนเมตร-บับเบิล ; air FBs (KVM-01 ; water flow rate 1.7 L/min, air flow rate 0.1 L/min, operation pressure 0.25-0.4 MPa and 45W pump, having air nano bubbles in the range of 10E9 bubbles/mL with a peak around 200 nm (ดังรูปที่ 1ก) โดยทำการปั๊มน้ำในระยะเวลาที่แตกต่างกัน คือ ใช้เวลา 10, 15 และ 20 นาที (ดังรูปที่ 1ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 เครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (ก) และลักษณะฟองอากาศในน้ำที่ผ่านเครื่อง (ข)

การเตรียมชิ้นส่วนกุหลาบพันธุ์ Royal Baccara

เลือกชิ้นส่วนบริเวณข้อบนกิ่งช่อดอกที่มีส่วนของตาข้าง ให้มีขนาดประมาณ 3 ซม. หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยสบู่เหลว และตามด้วยล้างน้ำสะอาด ต่อมานำชิ้นส่วนที่ได้ล้างด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 90 % เชย่าเป็นระยะเวลา 3 วินาที แล้วย้ายชิ้นส่วนบนกระดาดที่ขลุ่

ศึกษาผลระยะเวลาในการเตรียมน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ต่อการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนกุหลาบ

ทำการวางแผนการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ (Completely Randomized Design: CRD) มี 7 กรรมวิธีๆ ละ 20 ซ้ำ ศึกษาระยะเวลาเตรียมน้ำไมโคร/นาโน-บับเบิลส์ ได้แก่ 10, 15 และ 20 นาที และใน ระดับของระยะเวลาเตรียมน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ร่วมกับผสม 10% คอลรีอกซ์ โดยเปรียบเทียบกับน้ำกลั่นปกติ ที่ผสม 10% คอลรีอกซ์ (ชุดควบคุม; control) โดยในแต่ละกรรมวิธีทำการฟอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนกุหลาบ ที่ได้เตรียมไว้ เชย่าเป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นทำการตัดเนื้อเยื่อบริเวณส่วนของตาที่ข้อบนกิ่งกุหลาบให้มีขนาดประมาณ 0.5x0.5 ซม. แล้วนำไปวางบนอาหารสูตร MS (1962) เติม 3% น้ำตาล แล้วนำไปเลี้ยงบนชั้นในหึ่งเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อที่มีอุณหภูมิ 22±2 °ซ ให้ความเข้มแสง 25 ไมโครโมล.ตร.ม⁻¹.วินาที⁻¹ เป็นเวลา 16 ชั่วโมงต่อวัน การบันทึกข้อมูล ได้แก่ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (DO: Dissolved Oxygen)(มก./ล.) และความเป็น กรด-ด่าง (pH) ของน้ำ ก่อนและหลังผ่านเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ หลังจากทำการเพาะเลี้ยงบันทึกข้อมูลทุกวันเป็นระยะเวลา 14 วัน ได้แก่ เปอร์เซ็นต์การเกิดการปนเปื้อนของเชื้อรา และแบคทีเรีย เปอร์เซ็นต์อัตราการรอดของชิ้นส่วน เปอร์เซ็นต์การแตกตายของชิ้นส่วนกุหลาบ ความสูงเฉลี่ยของยอดใหม่ (ซม.) และความกว้างของทรงพุ่มของยอดใหม่ (ซม.) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี LSD (Least Significant Difference) ด้วยการใช้โปรแกรม Minitab รุ่น 18

4. ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำเมื่อผ่านเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ที่ระยะเวลาแตกต่างกันที่ใช้สำหรับการฟอกฆ่าเชื้อ

ระยะเวลาการเตรียมน้ำด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (นาที)	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ (มก./ล.)
10	5.90	8.80
15	6.50	9.45
20	6.85	9.60
น้ำกลั่นปกติ	7.26	7.43

จากตารางที่ 1 พบว่า น้ำกลั่นปกติมีความเป็นกรดเป็นด่าง คือ 7.26 แต่เมื่อนำไปเตรียมน้ำด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ในระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 10, 15 และ 20 นาที มีความเป็นกรดเป็นด่าง คือ 6.85, 6.50 และ 5.90 ตามลำดับ การเตรียมน้ำในระยะเวลาที่สั้นทำให้น้ำกลั่นมีสภาพเป็นกรดมากกว่าที่ระยะเวลานาน โดยปกติน้ำที่ผ่านให้เป็นไมโครบับเบิลส์ (microbubble, MBs) และนาโนบับเบิลส์ (nanobubble, NBs) มีความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 2-12 เป็นการแตกตัวของ hydroxyl ions (OH₋) กับ hydrogen ions (H⁺) (Ohgaki et al, 2010) สอดคล้องกับรายงานของ ชิตติ และคณะ (2561) การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจน อุณหภูมิ ค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้ามีปริมาณเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาการทำงานของเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ส่วนค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) ของน้ำมีค่าที่ลดลง เมื่อใช้เวลายาวนานขึ้นโดยมีลักษณะของน้ำที่เป็นก

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อน และจำนวนวันที่เกิดการปนเปื้อนของชิ้นส่วนกุหลาบในแต่ละกรรมวิธีที่หลังจากการเพาะเลี้ยง

ระยะเวลาการเตรียมน้ำด้วยไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (นาที)	ผสม 10% คลอโรกซ์	% ของการเกิดปนเปื้อน		จำนวนวันที่เกิดการปนเปื้อนหลังจากทำการเพาะเลี้ยง	
		เชื้อรา	แบคทีเรีย	เชื้อรา	แบคทีเรีย
10	ไม่ผสม	35±0.48 ^{ns}	20±0.41 ^{ns}	10.43±1.21 ^{ns}	11.75±1.03 ^{ns}
	ผสม	10±0.30	30±0.47	12.50±1.50	12.00±1.21
15	ไม่ผสม	20±0.41	5±0.22	10.00±0.58	14.00±0.00
	ผสม	35±0.48	20±0.41	9.29±0.29	11.75±0.75
20	ไม่ผสม	15±0.36	20±0.41	11.33±1.45	11.25±0.95
	ผสม	30±0.47	20±0.41	10.50±0.67	12.25±1.11
น้ำกลั่นปกติผสม 10% คลอโรกซ์ (ชุดควบคุม)		25±0.44	30±0.47	10.60±0.98	11.83±1.01

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

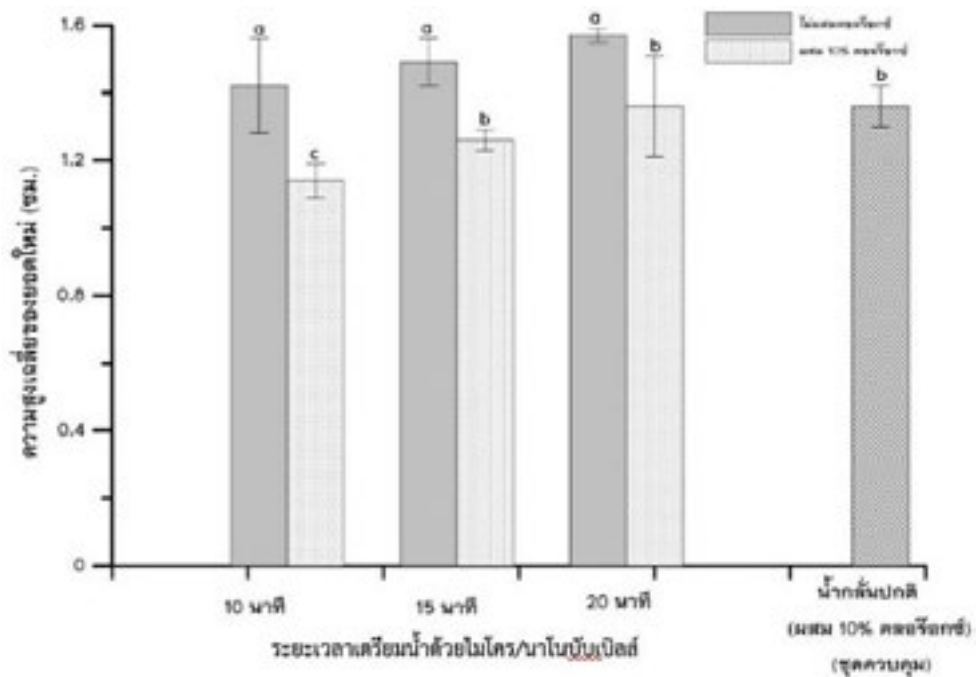
จากตารางที่ 2 พบว่า เปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของชิ้นส่วนจากเชื้อราและแบคทีเรีย พร้อมทั้งจำนวนวันที่เกิดการปนเปื้อนของชิ้นส่วนในแต่ละกรรมวิธีหลังจากการเพาะเลี้ยง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ของการรอดชีวิตของชิ้นส่วน และ เปอร์เซ็นต์ของการแตกยอดใหม่จากชิ้นส่วนในแต่ละกรรมวิธี เมื่อทำการเพาะเลี้ยงได้ 14 วัน

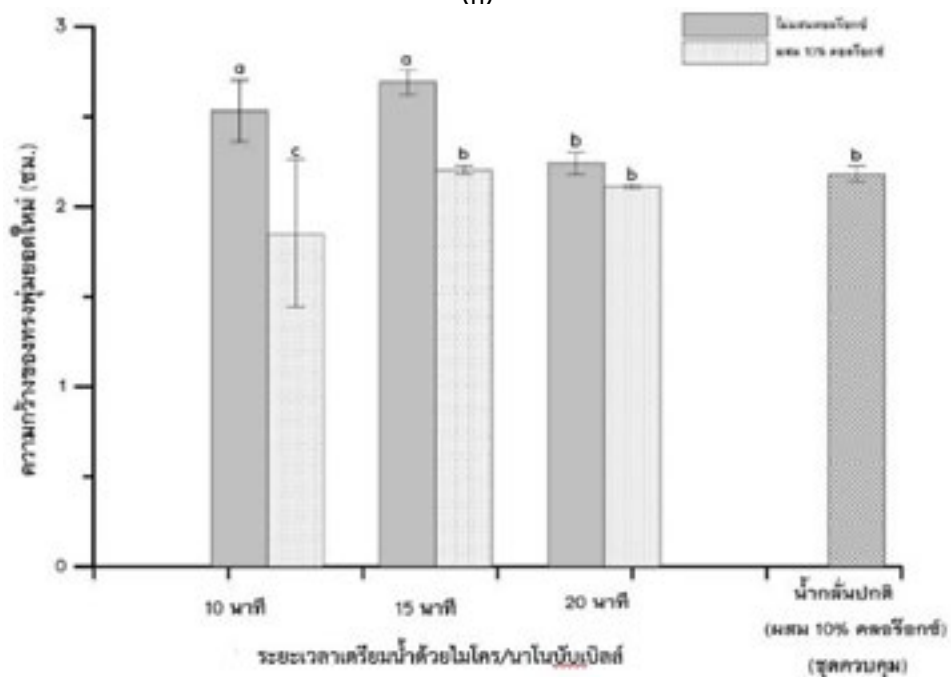
ระยะเวลาการเตรียมน้ำด้วยไมโคร/นาโนบับเบิลส์ (นาที)	ผสม 10% คลอโรกซ์	% ของการรอดชีวิตของชิ้นส่วน	% ของการแตกยอดใหม่จากชิ้นส่วน
10	ไม่ผสม	45±0.51 ^{ns}	45±0.51 ^{ns}
	ผสม	60±0.50	35±0.48
15	ไม่ผสม	75±0.44	75±0.44
	ผสม	45±0.51	45±0.51
20	ไม่ผสม	65±0.48	55±0.51
	ผสม	50±0.51	50±0.51
น้ำกลั่นปกติผสม 10% คลอโรกซ์ (ชุดควบคุม)		45±0.51	45±0.51

หมายเหตุ ns = ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ

จากตารางที่ 3 พบว่า เปอร์เซ็นต์ของการรอดชีวิตของชิ้นส่วน และเปอร์เซ็นต์ของการแตกยอดใหม่จากชิ้นส่วนในแต่ละกรรมวิธีหลังจากการเพาะเลี้ยง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

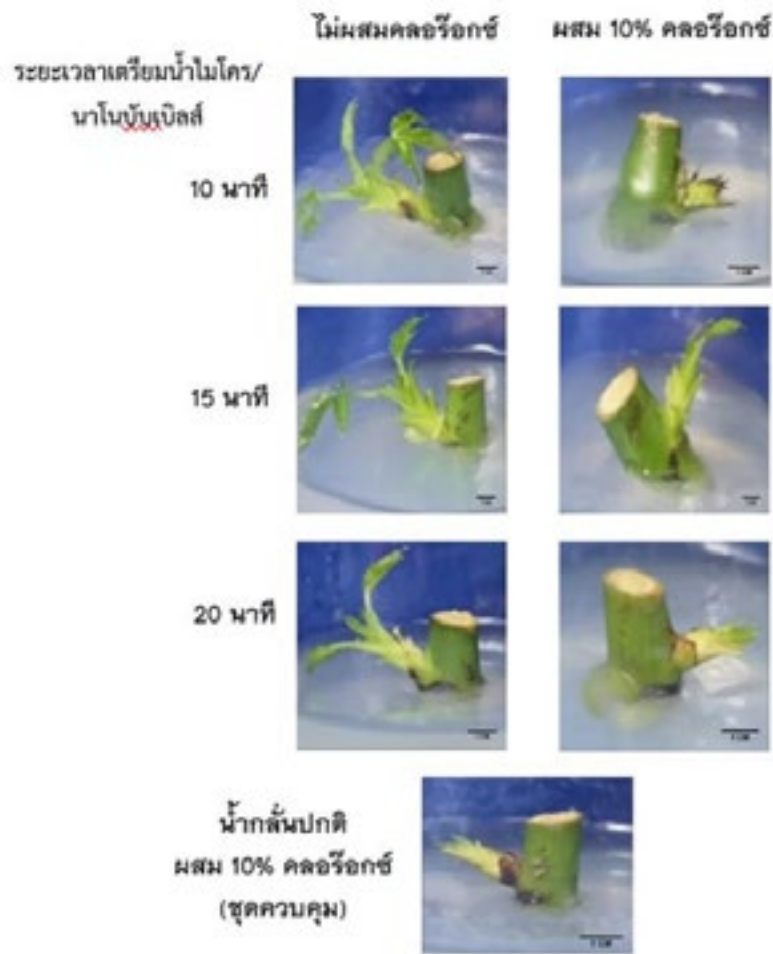


(ก)



(ข)

รูปที่ 2 ความสูงของยอดใหญ่กลาง (ก) และความกว้างของทรงพุ่มยอดใหม่ (ข) ของกุหลาบในแต่ละกรรมวิธี เมื่อทำการเพาะเลี้ยงได้ 14 วัน



รูปที่ 3 ลักษณะการเจริญ และพัฒนาของยอดใหม่จากชิ้นส่วนกุหลาบแต่ละกรรมวิธี เมื่อทำการเพาะเลี้ยงได้ 14 วัน (แถบ = 1 ซม.)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

สำหรับเปอร์เซ็นต์การปนเปื้อนของชิ้นส่วนจากเชื้อราและแบคทีเรีย พร้อมทั้งจำนวนวันที่เกิดการปนเปื้อนของชิ้นส่วนในแต่ละกรรมวิธีหลังจากการเพาะเลี้ยง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน (ดังตารางที่ 2) เช่นเดียวกับ เปอร์เซ็นต์ของการรอดชีวิตของชิ้นส่วน และ เปอร์เซ็นต์ของการแตกยอดใหม่จากชิ้นส่วน (ดังตารางที่ 3) สอดคล้องกับรายงานวิจัย ของ ณัฐชัย และคณะ (2555) พบว่า ผลของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี ฟองอากาศขนาดไมโคร และนาโนร่วมกับการใช้ สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ต่อการลดปริมาณ เชื้อจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนตลอดจนการรักษาคุณภาพในผัก สลัดตัดแต่งพร้อมบริโภคร พบว่า ฟองอากาศขนาดไมโคร

และนาโน มีประสิทธิภาพในการลดปริมาณ เชื้อจุลินทรีย์ ที่ปนเปื้อนได้ดีกว่าการล้างด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ความเข้มข้น 100 มก./ล. และยังพบว่า ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อ ใช้ฟองอากาศขนาดไมโคร และนาโนร่วมกับการใช้ สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่ความเข้มข้น 50 มก./ล.

ส่วนความสูงของยอดใหม่ และความกว้าง ทรงพุ่มของยอดใหม่ หลังจากทำการเพาะเลี้ยงได้ 14 วัน (ดังรูปที่ 2 (ก) และ (ข) ตามลำดับ) พบว่า มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยที่ความสูงของยอดใหม่ที่มี ค่าเฉลี่ยมากที่สุดในกรรมวิธีที่เตรียมน้ำด้วยไมโคร/นาโนบับเบิลส์ เป็นเวลา 10, 15 และ 20 นาที คือ $1.42 \pm$

0.14, 1.49 ± 0.07 และ 1.57 ± 0.02 ซม. ตามลำดับ ส่วนความกว้างทรงพุ่มของยอดใหม่ที่มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด ในกรรมวิธีที่เตรียมน้ำด้วยไมโคร/นาโนบับเบิลส์ เป็นเวลา 10 และ 15 นาที คือ 2.53 ± 0.17 และ 2.69 ± 0.07 ซม. ตามลำดับ สอดคล้องกับรายงานวิจัยของ ชิติ และ คณะ (2561) ได้ประยุกต์ใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้าพบว่าน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ 5 นาที สามารถทำให้เมล็ดคะน้างอกได้เพิ่มขึ้นหลังจากเพาะ 4 และ 5 วัน การเจริญเติบโตของต้นกล้าพบว่าน้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ที่ระยะเวลา 3 และ 5 นาที เพิ่มความสูงของต้นมากที่สุด และการให้น้ำไมโคร/นาโนบับเบิลส์ มีผลทำให้ต้นกล้ามีความยาวรากมากกว่าการรดด้วยน้ำเปล่า

นอกจากนี้พบว่าลักษณะของชิ้นส่วนตายอดกุหลาบที่ผ่านการเตรียมน้ำด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ที่ระยะเวลา 10, 15 และ 20 นาที มีตายอด และใบอ่อนสีเขียว บริเวณโคนมีสีเขียว เนื้อเยื่อตายอดอาการที่ไม่ซ้ำ แต่มีส่วนผสมของสารละลายโซเดียม ไฮโปคลอไรด์ ความเข้มข้น 10% ทำให้ชิ้นส่วนเนื้อเยื่อบริเวณตาข้าง เกิดการซ้ำเป็นสีน้ำตาลอ่อน และตายอดแตกช้า (ดังรูปที่ 3) สอดคล้องกับงานวิจัยของ อสมมา และ วราภา, 2560 ได้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดละเอียดหรือ ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ร่วมกับสารฆ่าเชื้อเพื่อหาวิธีในการลดจุลินทรีย์ที่ปนเปื้อนตามธรรมชาติในผัก พบว่าการใช้น้ำที่มีฟองละเอียดล้างผักให้ผักมีความสด ส่วนการล้างร่วมกับสารฆ่าเชื้อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำลายจุลินทรีย์ สามารถยืดอายุของผักได้ดีกว่าการล้างด้วยน้ำปกติ

ดังนั้นจากการวิจัย พบว่า ระยะเวลาการเตรียมน้ำด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ที่ 15 นาที สามารถพอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนของกุหลาบได้ดีมีเปอร์เซ็นต์ของการรอดชีวิต และเปอร์เซ็นต์การแตกยอดใหม่ นอกจากการใช้น้ำที่เตรียมผ่านเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ ในระยะเวลา 10, 15 และ 20 นาที สามารถทำการพอกฆ่าเชื้อชิ้นส่วนเนื้อเยื่อของกุหลาบได้ผล ไม่แตกต่างกับใช้น้ำที่เตรียมด้วยเครื่องไมโคร/นาโนบับเบิลส์ผสมคลอรีน 10% และ ที่ใช้น้ำกลั่น ปกติผสมคลอรีน 10%

นอกจากนี้ลักษณะของยอดใหม่มีสีเขียว ไม่มีสีน้ำตาลจากบนชิ้นส่วนที่จากการทำลายของสารคลอรีน

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (มทร.ล้านนา) และสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มทร.ล้านนา ที่ได้สนับสนุนเครื่องมือไมโคร/นาโนบับเบิลส์ และห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืชในการดำเนินการทดลองครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- ชิติ ศรีรัตนพิทย์, วิเชียร ผลแสง, วิษณุ ทองเล็ก, ชาญชัย เตชธรรมรงค์ และศิโยชิ โยชิตาว่า. (2561). การประยุกต์ใช้ไมโคร/นาโนบับเบิลส์ต่อการงอก และการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้า. วารสารมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 49 (1), 37-41.
- ณัฐชัย พงษ์ประเสริฐ, นพรัตน์ ทัดมาลา และวาริช ศรีละออง. (2555). การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดนาโนและไมโครร่วมกับสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรด์เพื่อลดปริมาณเชื้อจุลินทรีย์และรักษาคุณภาพของผักกาดหอมตัดแต่งพร้อมบริโภค, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 43(พิเศษ), 61-64.
- ธีรภัทร อินทร์ทอง, นรพนธ์ วิเชียรสาร, อีรวรรณ บุญวรรณ และกานดา หวังชัย. (2560). ประสิทธิภาพของ การใช้สารละลายพลาสมาและไมโคร/บับเบิลส์ ต่อการเจริญของเชื้อ *Penicillium digitatum*, วารสาร วิทยาศาสตร์เกษตร., 48(พิเศษ), 113-116.
- ประภาพร พงษ์ไทย และสิริแซ พงษ์สวัสดิ์. (2553). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อและการชักนำให้กุหลาบหนูออกดอกในหลอดทดลอง, การประชุมวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล, ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ.
- เปี่ยมพร ศรีประทัย. (2563). คู่มือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ งานวิจัยพัฒนาด้านสวนป่าและอุตสาหกรรมไม้

- สำนักวิจัยพัฒนาการจัดการป่าไม้เศรษฐกิจอย่างยั่งยืน, กรุงเทพฯ.
- พจนาน นาควัชระ. (2558). กุหลาบ : Rose. บ้านและสวน. อัมรินทร์พรินตึง แอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด.
- มาลินี ยูวานานนท์. (2563, 23 กันยายน). สถานการณ์สินค้าเกษตร สสจ. กุหลาบตัดดอก. สืบค้น วันที่ 10 ธันวาคม 2563, จาก <http://www.agriman.doae.go.th/home/news/2563/65-66.pdf>.
- รุ่งระวี ทองดอนเอ. (2560). เทคโนโลยีไมโคร/นาโนบับเบิลส์กับการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา, พิษณุโลก.
- รังสฤษฎ์ กาวีดิษฐ์. (2540). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช : หลักการและเทคนิค. สำนักพิมพ์วิทยาศาสตร์เกษตร, 49(พิเศษ), 37-41.
- รัตนา ขามฤทธิ์ และอนัญญา กิ่งหลักเมือง. (2561). ผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตต่อการชักนำให้เกิดต้นและรากจากการเพาะเลี้ยงข้อกุหลาบหนูในสภาพหลอดทดลอง, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 49 (พิเศษ), 287-290.
- วชิระ เกตุเพชร และอดิสร กระแสชัย. (2556). กุหลาบพันธุ์ใหม่, วารสารโครงการหลวง., 7(12), 31-35.
- ศิวพงศ์ จำรัสพันธุ์. (2546). การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏอุดรธานี.
- อภิวัฒน์ คำสิงห์. (2562). เทคโนโลยีชาวบ้าน. สืบค้น วันที่ 10 ธันวาคม 2563, จาก <https://www.sentangsedtee.com>.
- อสมมา แพพิพัฒน์ และวราภา มหากาญจนกุล. (2560). การลดจำนวนจุลินทรีย์ในผักสดด้วยการล้างในน้ำฟองอากาศขนาดละเอียดร่วมกับโซเดียมไฮโปคลอไรท์, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร., 48(3), 118-120.
- Kyte, L. And J. Kleyn. 1999. Plants from Test Tube. Timber press., Inc., Oregon. 24 p.
- Murashige, T. and F. Skoog. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. Plant Physiology. 15: 437-497.
- Klintham P., S. Tongchitpakdee, W. Chinsirikul and W. Mahakarnchanakul. 2017. Combination of microbubbles with oxidizing sanitizers to eliminate Escherichia coli and Salmonella Typhimurium on Thai leafy vegetables. Food Control 77: 260-269.
- Takahashi, M. (2007, August 16). Method of forming nanobubbles. Retrieved 10 December 2020 from <https://freepatentsonline.com>

การพัฒนาระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ A development of equipment management system and disbursement of material in Faculty of Nursing, Chiang Mai University

นรินทร์ จิวิตัน^{1*}, อรสา สิริษากมล² และ ณัฐพงษ์ คำปัน³

Narin Jiwitan^{1*}, Orasa Sirasakamol² and Nattapong Kumpan³

1 สาขาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มทร. ล้านนา. ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

2 วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และระบบควบคุมอัตโนมัติ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร. ล้านนา. ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

3 สาขาพยาบาลศาสตรมหาบัณฑิต คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มทร. ล้านนา. ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่

ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail) : Narin Jiwitan, narin@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบจัดการการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ช่วยสนับสนุนการทำงานของเจ้าหน้าที่พัสดุของคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในด้านงานการจัดการรายการพัสดุ การจัดทำใบเบิกพัสดุ การการคัดแยก ตรวจสอบรายการพัสดุที่ซ้ำกันในใบเบิกพัสดุ การรวบรวมรายการใบเบิกพัสดุเพื่อนำมาทำเป็นใบสั่งซื้อ การออกรายงาน จากการศึกษาและพัฒนาระบบพบว่าระบบสามารถทำงานได้จริงตามความต้องการของผู้ใช้ สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ และใช้สถิติในการวิเคราะห์ความพึงพอใจต่อการใช้งานพบว่า ผลการประเมินระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่มีต่อระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทั้ง 3 ด้าน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย ($X = 3.87$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D = 0.89$) แสดงว่าระบบสารสนเทศที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้งานอยู่ในระดับมาก ผ่านเกณฑ์การประเมินและสามารถนำไปใช้งานได้ ผลการประเมินระบบสารสนเทศโดยเจ้าหน้าที่พัสดุ คณะพยาบาลศาสตร์ที่มีต่อระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทั้ง 3 ด้าน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย ($X = 4.39$) และ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D = 59$)

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศ, การเบิกจ่ายพัสดุ, คณะพยาบาลศาสตร์, มหาวิทยาลัย

Abstract

The objective of this research was to develop an online parcel reimbursement management system of the Faculty of Nursing Chiang Mai University to help support the work of the staff responsible for the Faculty of Nursing, Chiang Mai University. The system package helps create, manage, sort, count, and duplicate a bill of lading and it also helps make the purchase order reports. The findings revealed the full access of the system and met the needs of the users' purposes. Moreover, the satisfaction toward 3 aspects of the system by the experts was considered very satisfied ($X = 3.87$) with a standard deviation at 0.89 (S.D.). It was indicated that the system developed by the researcher was effective, and it is ready to be accessed. It was found that the results from the staff's satisfaction toward the system were also effective at a very satisfied with 4.39 mean score ($X = 4.39$) and the standard deviation at 59 (S.D. = 59).

Keywords: Information system, Parcel disbursement, Faculty of Nursing, University

1. บทนำ

คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เป็นสถาบันการศึกษาพยาบาลศาสตร์ในสังกัดของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ตั้งอยู่ภายในบริเวณโรงพยาบาลมหาราชนครเชียงใหม่ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีหน่วยงานในการบริหารต่างๆ เช่น หน่วยงานพัฒนาเทคโนโลยี หน่วยงานนโยบายและแผน หน่วยงานงานการเรียนรู้ทางการพยาบาล และยังมีหน่วยงานที่สำคัญคือ หน่วยงานการคลังและพัสดุ เป็นหน่วยงานหลัก และหน่วยงานสำคัญในด้าน การจัดหา - จัดซื้อ การควบคุมและ จำหน่ายพัสดุของคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่ออำนวยความสะดวกในการบริหารจัดการพัสดุต่างๆ การปฏิบัติการ การจัดซื้อจัดหาเป็นไตรมาส เมื่อเปิดไตรมาสเจ้าหน้าที่ในหน่วยงานแต่ละหน่วยงานจะทำการรวบรวมข้อมูลความต้องการการใช้งานพัสดุในแต่ละหน่วยงาน เพื่อจัดทำรายการใบเบิกพัสดุ โดยการจัดทำใบเบิกพัสดุนั้น เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานแต่ละหน่วยงานจะได้รับรายการพัสดุในรูปแบบของไฟล์ Excel ที่มีรายการพัสดุอยู่จำนวนมาก และฟอร์มในการจัดทำรายการใบเบิกพัสดุ เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานแต่ละหน่วยงานจะนำรายการพัสดุที่หน่วยงานต้องการใช้งาน มาเทียบข้อมูลที่อยู่ในไฟล์ Excel เพื่อนำรหัสรายการ ชื่อรายการพัสดุ มาทำรายการใบเบิกพัสดุ เมื่อเจ้าหน้าที่หน่วยงานจัดทำรายการใบเบิกพัสดุเสร็จจะนำรายการใบเบิกให้ดูไปยังหัวหน้าหน่วยงานเพื่อให้หัวหน้าหน่วยงานตรวจสอบความถูกต้องของรายการพัสดุและเซ็นอนุมัติการจัดทำรายการใบเบิกพัสดุของหน่วยงาน เมื่อหัวหน้าหน่วยงานทำการอนุมัติเสร็จแล้ว เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานแต่ละหน่วยงานจะนำรายการใบเบิกพัสดุพร้อมลายเซ็นอนุมัติรายการใบเบิกพัสดุไปให้เจ้าหน้าที่พัสดุตรวจสอบความถูกต้องของรายการใบเบิกพัสดุ จากนั้นเจ้าหน้าที่รวบรวมรายการใบเบิกพัสดุของแต่ละหน่วยงานที่ผ่านการเซ็นอนุมัติจากหัวหน้าหน่วยงานแล้วไปให้เลขาสมบัติ (หรือผู้ได้รับอำนาจในการอนุมัติรายการใบเบิกพัสดุ) ทำการตรวจสอบรายการใบเบิกพัสดุและเซ็นอนุมัติการจัดทำรายการใบเบิกพัสดุ เมื่อเจ้าหน้าที่พัสดุได้รับการอนุมัติรายการใบเบิกพัสดุจากเลขาสมบัติ (หรือผู้ได้รับอำนาจในการอนุมัติใบเบิกพัสดุ) เจ้าหน้าที่พัสดุจะทำการรวบรวมรายการใบเบิกพัสดุของแต่ละหน่วยงานนำมาแยกประเภทและตรวจนับรายการพัสดุที่ซ้ำกันทำเป็นสรุป

รายการใบเบิกพัสดุ โดยการจัดทำสรุปรายการใบเบิกพัสดุนั้น เจ้าหน้าที่พัสดุจะทำการรวบรวมใบเบิกพัสดุของแต่ละหน่วยงานนำมาแยกประเภทแล้วตรวจนับจำนวนรายการที่ซ้ำกัน เมื่อเจ้าหน้าที่พัสดุทำสรุปรายการใบเบิกพัสดุเสร็จเจ้าหน้าที่พัสดุจะติดต่อบริษัท ห้างร้าน เพื่อเสนอราคา จากนั้นบริษัท ห้างร้านจะส่งใบเสนอราคามาถึงหน่วยงานพัสดุ เมื่อเจ้าหน้าที่พัสดุได้รับใบเสนอราคาแล้วเจ้าหน้าที่พัสดุจะทำการตรวจสอบใบเสนอราคาและพิจารณาเพื่อเลือกบริษัท ห้างร้าน เพื่อจัดทำใบสั่งซื้อพัสดุ จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการซื้อพัสดุ เมื่อเจ้าหน้าที่พัสดุได้รับพัสดุตามรายการสั่งซื้อแล้วทำการตรวจสอบรายการพัสดุต่างๆว่าตรงตามรายการสั่งซื้อหรือไม่ เมื่อทำการตรวจรายการพัสดุเสร็จเจ้าหน้าที่พัสดุนำรายการพัสดุต่างๆ ไปแจกจ่ายตามหน่วยงาน แต่ละหน่วยงานในคณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากการทำไปสอบถามข้อมูลทางหน่วยงานการคลังและพัสดุ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จากขั้นตอนในการจัดทำใบเบิกพัสดุ เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานแต่ละหน่วยงานจะได้รับรายการพัสดุในรูปแบบของไฟล์ Excel ที่มีรายการพัสดุอยู่เป็นจำนวนมาก และฟอร์มในการจัดทำรายการใบเบิก เจ้าหน้าที่ในหน่วยงานแต่ละหน่วยงาน จะนำรายการพัสดุที่หน่วยงานต้องการใช้งานมาเทียบข้อมูลที่อยู่ในไฟล์ Excel เพื่อนำรายการพัสดุ มาจะทำใบเบิกพัสดุ ซึ่งเกิดความยุ่งยากในการเปรียบเทียบรายการพัสดุ และต้องค้นหารายการพัสดุที่มีจำนวนมากในไฟล์ Excel ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน ในการจัดทำใบสั่งซื้อนั้นเจ้าหน้าที่พัสดุจะทำการรวบรวมรายการใบเบิกพัสดุของแต่ละหน่วยงานมาแยกประเภท ตรวจนับรายการพัสดุที่ซ้ำกันและแยกรายการพัสดุตามองค์กรที่จัดหาสินค้า (ซีพีพลายเออร์) ส่งผลให้กระบวนการสั่งซื้อพัสดุเป็นไปอย่างล่าช้า

จากปัญหาข้างต้นดังนั้นจึงมีความต้องการในการพัฒนาระบบ จัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ซึ่งจะพัฒนาเป็นระบบ web application responsive design เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งานระบบดังกล่าวสามารถ การจัดทำใบเบิกพัสดุ การรวบรวมรายการใบเบิกพัสดุเพื่อนำมาทำเป็นใบสั่งซื้อ ดูประวัติใบเบิกย้อนหลัง แสดงสถานะการจัดทำใบเบิก ระบบที่สามารถส่งอีเมลอัตโนมัติไปยังเจ้าหน้าที่ประจำหน่วยงานเพื่อจัดทำใบเบิกได้

สามารถนำเอาประวัติใบเบิกที่เคยทำอยู่แล้วนำมาทำเป็นใบเบิกใหม่อีกครั้งหนึ่ง สามารถนำเอาเลขครุภัณฑ์แปลงให้อยู่ในรูปของ QR Code เพื่อให้สามารถตรวจสอบรายละเอียดรายการครุภัณฑ์ได้

ผู้วิจัยคาดว่าระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ ที่จะพัฒนาขึ้นนั้นจะช่วยให้การจัดการข้อมูล การจัดทำรายการใบเบิกพัสดุ การจัดทำใบรายการใบสั่งซื้อพัสดุ สามารถดำเนินการได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นรวมถึงมีความถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว ลดความซ้ำซ้อน เพิ่มประสิทธิภาพให้กับงาน และทันต่อเวลา

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- 2) เพื่อประเมินความพึงพอใจต่อการใช้งานระบบระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

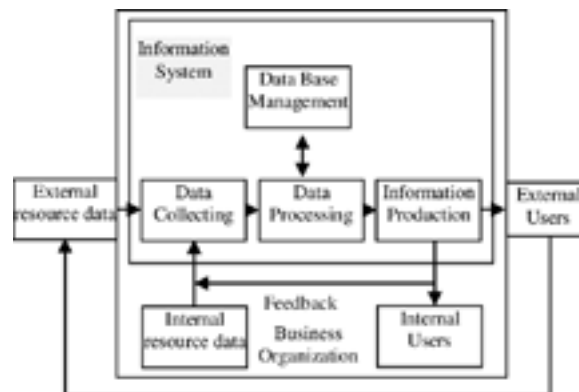
ผลที่คาดว่าจะได้รับทางตรง คือ ได้ระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลที่คาดว่าจะได้รับทางอ้อม คือ ระบบดังกล่าวจะสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพด้านการจัดเก็บข้อมูล เปรียบเทียบ และวิเคราะห์ข้อมูล รวมถึงสามารถบริหารจัดการอย่างเป็นระบบมากยิ่งขึ้น

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบสารสนเทศ (Information System)

ระบบสารสนเทศ หมายถึง ระบบที่มีการนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในการรวบรวม จัดเก็บ หรือจัดการกับข้อมูลข่าวสารเพื่อให้ข้อมูลนั้นกลายเป็นสารสนเทศที่ดี สามารถนำไปใช้ในการประกอบการตัดสินใจได้ในเวลาอันรวดเร็วและถูกต้อง โดยกระบวนการของระบบสารสนเทศ มีหลักการเบื้องต้นมีตัวอย่าง ดังรูปที่ 1 กระบวนการของระบบสารสนเทศ



รูปที่ 1 กระบวนการของระบบสารสนเทศ

2.2 ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System)

ระบบจัดการฐานข้อมูล คือซอฟต์แวร์สำหรับบริหารและจัดการฐานข้อมูล เปรียบเสมือนสื่อกลางระหว่างผู้ใช้และโปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฐานข้อมูล ซึ่งมีหน้าที่ช่วยให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้ง่ายสะดวกและมีประสิทธิภาพ การเข้าถึงข้อมูลของผู้ใช้ อาจเป็นการสร้างฐานข้อมูล การแก้ไขฐานข้อมูล หรือการตั้งคำถามเพื่อให้ได้ข้อมูลมาโดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องรับรู้เกี่ยวกับรายละเอียดภายในโครงสร้างของฐานข้อมูล เปรียบเสมือนเป็นสื่อกลางระหว่างผู้ใช้และโปรแกรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้ฐานข้อมูลซึ่งต่างจากระบบแฟ้มข้อมูลที่หน้าที่เหล่านี้จะเป็นหน้าที่ของโปรแกรมเมอร์ ซึ่งระบบจัดการฐานข้อมูลที่นิยมใช้กันในปัจจุบัน ได้แก่ Oracle, Microsoft SQL Server และ MySQL เป็นต้น

2.3 การสร้างเว็บแอปพลิเคชันด้วย Laravel Framework

Laravel Framework เป็นเฟรมเวิร์คภาษาพีเอชพีที่ถูกรอกแบบมาเพื่อการออกแบบและพัฒนาเว็บแอปพลิเคชันที่อยู่ในรูปแบบเอ็มวีซี (MVC) ซึ่งเป็นรูปแบบการพัฒนาแอปพลิเคชันที่เป็นระบบแบบแผน และมีการแยกองค์ประกอบของระบบเป็นส่วน ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการพัฒนาทำให้รหัสคำสั่งมีความเป็นระเบียบมีการแบ่งแยกหมวดหมู่ที่ชัดเจน พัฒนาโดยทีมของ Taylor Otwell ปัจจุบันเป็นเฟรมเวิร์คที่เปิดให้ใช้งานได้ฟรีในรูปแบบของซอฟต์แวร์แบบเปิด (Open source) Laravel Framework ได้รับความนิยมอย่างมากในปัจจุบัน ทำให้มีนักพัฒนาอยู่ทั่วโลก ด้วยลักษณะเด่นหลายประการของ Laravel

เช่น เมื่อติดตั้งเฟรมเวิร์คแล้วจะมีแพ็คเกจ (Package) ของระบบที่ถูกติดตั้งมาด้วย ทำให้นักพัฒนาสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่ต้องเริ่มต้นใหม่ ประหยัดเวลาในการพัฒนาเว็บแอปพลิเคชัน ซึ่งการสร้างไฟล์ที่จำเป็น เช่น การสร้างโมเดล หรือ สร้างคอนโทรลเลอร์สามารถใช้คำสั่ง CLI ทำให้ลดระยะเวลาและจำนวนรหัสคำสั่งน้อยลง

2.4 การบริหารพัสดุ

การบริหารพัสดุ เป็นกระบวนการดำเนินการให้ได้มาซึ่งสิ่งของด้วยวิธีการจัดหาพัสดุเพื่อสนับสนุนและสนองความต้องการในการปฏิบัติงานของหน่วยงานให้ดำเนินไปตามเป้าหมายอย่างมีประสิทธิภาพมีประสิทธิผล และประหยัดกิจกรรมดังกล่าวครอบคลุมถึงสิ่งต่าง ๆ อย่างกว้างขวางนับตั้งแต่การวางแผน การกำหนดความต้องการ การจัดหา การควบคุม การบำรุงรักษา และการจำหน่าย รวมทั้งต้องปฏิบัติตามกฎระเบียบ คำสั่งที่หน่วยงานราชการได้กำหนดไว้อย่างเคร่งครัด

2.5 การจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์

การจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ คือระบบงานที่จัดทำขึ้นเพื่อให้หน่วยงานภาครัฐและเอกชนสามารถเข้าถึงแหล่งข้อมูลการจัดซื้อจัดจ้าง และพัสดุภาครัฐได้อย่างรวดเร็ว ถูกต้อง ครบถ้วน ทัวถึง เป็นศูนย์ข้อมูลการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐที่มีระบบบริหารจัดการรหัสสินค้าและบริการภาครัฐ เก็บข้อมูลของหน่วยจัดซื้อและข้อมูลผู้ค้าสำหรับการจัดซื้อจัดจ้างรูปแบบต่าง ๆ เชื่อมต่อข้อมูลกับแหล่งข้อมูลภายนอกที่เกี่ยวข้องและเป็นต้นแบบการประมวลด้วยระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ครบกระบวนการจัดซื้อจัดจ้างภาครัฐ โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความโปร่งใส ลดปัญหาการทุจริตคอร์รัปชัน ลดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานตามระเบียบ ลดความซ้ำซ้อนการบันทึกข้อมูล ซึ่งฝ่ายบริหารสามารถติดตามข้อมูลได้ตลอดเวลา (online real time) ในระบบรวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการเร่งรัดติดตามการใช้จ่ายงบประมาณได้

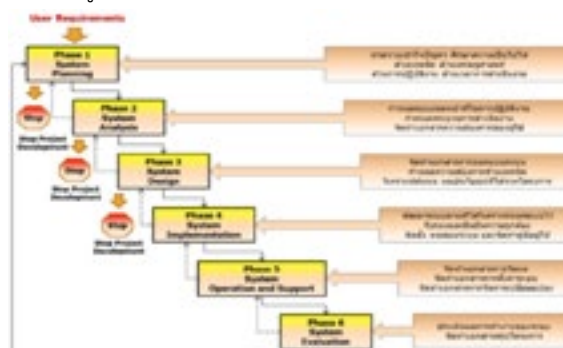
2.6 มาตรฐานประมาณค่าของลิเคิร์ท

ลักษณะของมาตรฐานประมาณค่าของลิเคิร์ทประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ 1) ส่วนที่เป็นข้อความคำถามหรือสถานการณ์ที่กำหนด มักจะมีลักษณะสอบถามความคิดเห็น ความรู้สึก หรือทัศนคติ หรือพฤติกรรมที่ แสดงออกของบุคคลที่ต้องการวัด ซึ่งข้อความดังกล่าวอาจเป็นได้ทั้งทางบวก

หรือทางลบ เช่น กายภาพบำบัดมีประโยชน์สำหรับประชาชนระดับใด ขณะเดินท่านมีความรู้สึกปวดระดับใด เป็นต้น 2) ส่วนที่เป็นคำตอบ มักเป็นการกำหนดค่าระดับความรู้สึก ความคิดเห็น ทัศนคติ หรือพฤติกรรมที่แสดงออก มาตราส่วนประมาณค่าของลิเคิร์ทจะกำหนดคำตอบเป็น 5 ระดับ ในระดับสนับสนุนถึงระดับไม่สนับสนุน ระดับเห็นด้วยถึงระดับไม่เห็นด้วย เป็นต้น ซึ่งมาตราส่วนลิเคิร์ท อาจใช้ตัวเลขแสดงการจำแนกระดับพฤติกรรมได้ 5 ระดับคือ 5, 4, 3, 2, 1 โดยให้ 5 หมายถึง ความรู้สึกหรือพฤติกรรมที่แสดงออกมากในระดับมาก และลดลงเรื่อยๆจนถึงระดับ 1 ซึ่งหมายถึงระดับน้อย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานการวิจัยใช้ Adapt Waterfall Model ซึ่งเป็นไปตาม The SDLC and SIXMA an essay on which is which and why เนื่องจากมีการพัฒนาออกมาเป็นระยะและสามารถกลับไปแก้ไขงานในขั้นตอนก่อนหน้าได้ ดังรูปที่ 2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานการวิจัย

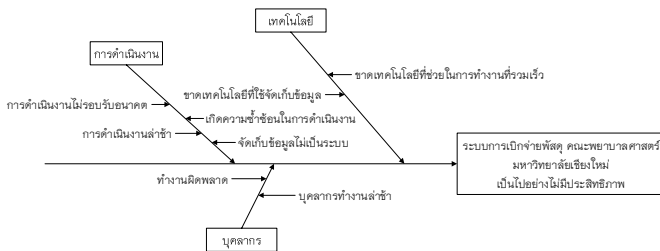


รูปที่ 2 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานการวิจัย

ก่อนดำเนินการวิจัยผู้วิจัยได้ทำการเข้าไปศึกษาความเป็นไปได้ของของการพัฒนาระบบ (Phase 1) ทั้งทางด้านเทคนิค ด้านความคุ้มค่า รวมถึงระยะเวลาการปฏิบัติงานที่จะส่งผลให้งานวิจัย หรือ โครงการจะบรรลุวัตถุประสงค์ตามเป้าหมายที่กำหนดไว้

จากขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานการวิจัย ผู้วิจัยจะเข้าไปทำความเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นของการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ (Phase 1) ในรูปที่ 3 และได้ผลลัพธ์ออกมา ดังรูปที่ 3 ปัญหาที่เกิดขึ้น

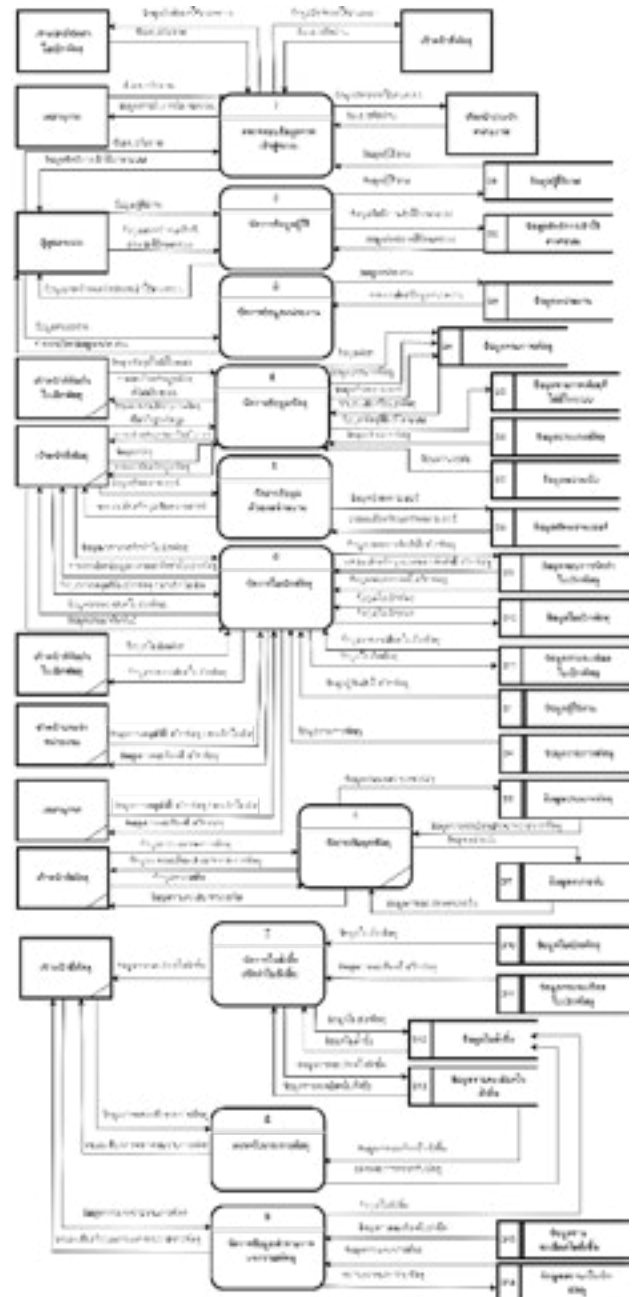
ของการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่



รูปที่ 3 ปัญหาที่เกิดขึ้นของการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

โดยทำการจัดเก็บข้อมูลจริงจากเจ้าหน้าที่พัสดุ คณะพยาบาลแล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยกำหนดขอบเขตและกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในร้านเพื่อให้ได้เอกสารความต้องการของผู้ใช้ (User Requirement Specification) พร้อมทั้งประเมินผลก่อนดำเนินการในขั้นตอนถัดไป

หลักจากนั้นผู้วิจัยจึงนำเอกสารความต้องการของผู้ใช้ที่ผ่านการตรวจสอบจากเจ้าหน้าที่พัสดุ คณะพยาบาล ไปทำการออกแบบ (Phase 3) โดยทำการเขียนแผนภาพบริบท (Context Diagram) แผนภาพกระแสข้อมูล (Data Flow Diagram) ดังรูปที่ 4 พร้อมทั้งออกแบบฐานข้อมูล (ER - Diagram) ออกแบบหน้าจอ ออกแบบรายงาน เพื่อให้ได้เอกสารการออกแบบระบบ (Detail Design System) ทั้งหมด



รูปที่ 4 แผนภาพกระแสข้อมูลระบบเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

(Phase4) นักเขียนโปรแกรม (Programmer) จะนำเอกสารการออกแบบระบบไปเขียนโปรแกรมตามที่วิเคราะห์และออกแบบไว้ พร้อมทั้งทดสอบระบบอย่างละเอียด (Phase 5) ก่อนนำระบบที่เสร็จสมบูรณ์ไปติดตั้งภายใน คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

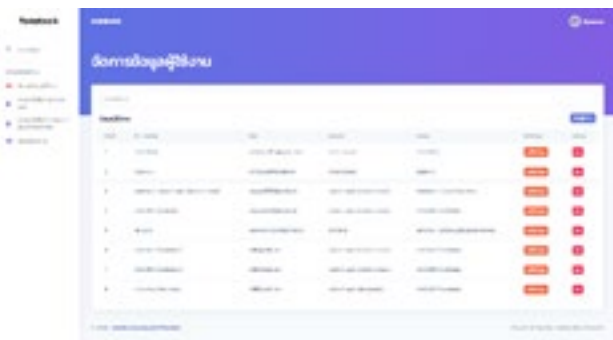
และขั้นตอนสุดท้ายของการวิจัย ผู้วิจัยได้ทำการประเมินผลการดำเนินงานที่เกิดขึ้น (Phase 6) และทำการแก้ไขระบบ กรณีที่เกิดปัญหาขึ้น

4. ผลการวิจัย

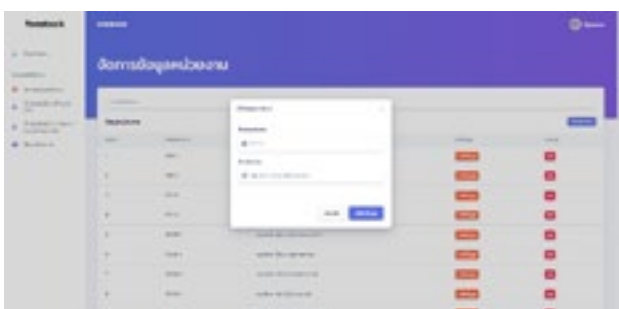
4.1 ผลการพัฒนาระบบ

การจัดทำวิจัยการพัฒนาระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ มีผลการดำเนินงานแบ่งตามผู้ใช้ ทั้งหมด 5 ระดับ ดังนี้

4.1.1 ส่วนการทำงานของผู้ดูแลระบบ สามารถจัดการข้อมูลผู้ใช้งานระบบ ดังรูปที่ 5 จัดการข้อมูลหน่วยงาน และ รูปที่ 6 จัดการข้อมูลสิทธิ์ผู้จัดทำใบเบิกพัสดุ



รูปที่ 5 หน้าจอจัดการข้อมูลผู้ใช้งาน



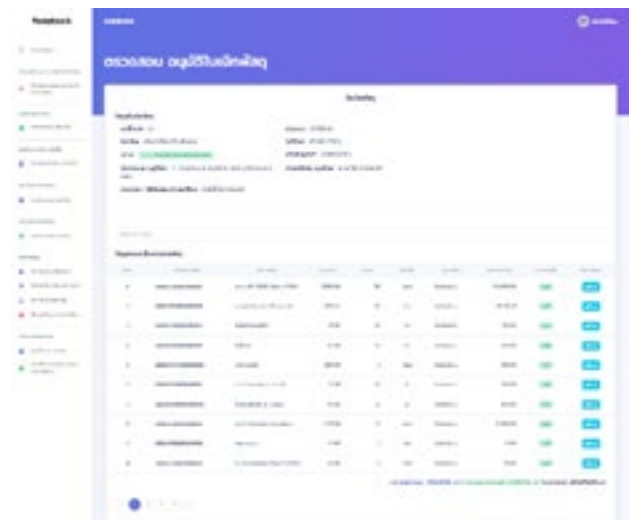
รูปที่ 6 หน้าจอจัดการข้อมูลหน่วยงาน

4.1.2 ส่วนการทำงานของเจ้าหน้าที่พัสดุ สามารถจัดการช่วงเวลาในการจัดทำใบเบิกพัสดุ รวมทั้งตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุและยังสามารถดูประวัติช่วงเวลาการตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุ จัดการข้อมูลใบสั่งซื้อ ดังรูปที่ 7 โดยสามารถแสดงแยกตามองค์กรจัดหาสินค้า (ซัพพลายเออร์) จัดการข้อมูลหน้าประชาสัมพันธ์ข่าวสารต่าง ๆ ไปยังผู้ใช้งาน ดังรูป 7

หน้าจอจัดการช่วงเวลาในการจัดทำใบเบิกพัสดุ และรูปที่ 8 หน้าจอตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุ



รูปที่ 7 หน้าจอจัดการช่วงเวลาในการจัดทำใบเบิกพัสดุ



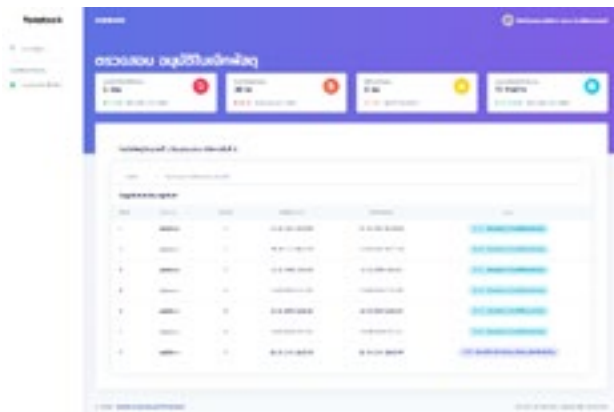
รูปที่ 8 หน้าจอตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุ

4.1.3 ส่วนการทำงานของเจ้าหน้าที่จัดทำใบเบิก ประจำหน่วยงาน สามารถสร้างใบเบิกพัสดุตามหน่วยงานที่เจ้าหน้าที่จัดทำใบเบิกพัสดุประจำหน่วยงานได้รับมอบหมาย ดังรูปที่ 9



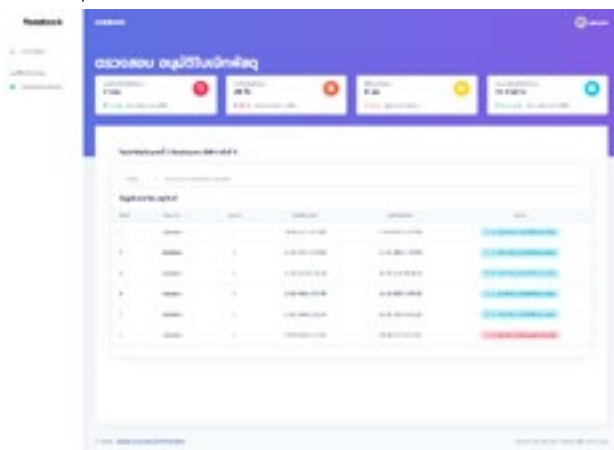
รูปที่ 9 หน้าจอบันทึกข้อมูลการขอเบิกสินค้า

4.1.4 ส่วนการทำงานของหัวหน้า ประจำหน่วยงาน สามารถตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุและยังสามารถดูประวัติช่วงเวลาการตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุได้ ระดับหัวหน้าหน่วยงาน ดังรูปที่ 10 หน้าจอตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุ



รูปที่ 10 หน้าจอตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุ

4.1.5 ส่วนการทำงานของเลขานุการ (หรือผู้ได้รับอำนาจในการอนุมัติใบเบิก) สามารถตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุและยังสามารถดูประวัติช่วงเวลาการตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุได้ ระดับเลขานุการ ดังรูปที่ 11 หน้าจอตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุ



รูปที่ 11 หน้าจอตรวจสอบและอนุมัติใบเบิกพัสดุ

4.2 การประเมินผลความพึงพอใจ

การประเมินผลความพึงพอใจจากใช้งานระบบดังกล่าวและได้ทำการการวิเคราะห์ผลจากจากแบบสอบถาม แบ่งออกเป็นผู้ดูแลระบบจำนวน 1 คน ผู้ตอบแบบประเมินที่เป็นพนักงานจำนวน 2 คน ผู้ตอบแบบประเมินที่เป็นสมาชิกจำนวน 15 คน ผู้ตอบแบบ

ประเมินที่เป็นเจ้าหน้าที่พัสดุคณะพยาบาล จำนวน 32 คน โดยมีการกำหนดค่าระดับคะแนนความพึงพอใจ ดังนี้

ระดับความพึงพอใจ	คะแนน
มากที่สุด	5
มาก	4
ปานกลาง	3
น้อย	2
ปรับปรุง	1

และใช้เกณฑ์แปลความหมายค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถามมาตราส่วนประมาณค่า ดังนี้

คะแนนระหว่าง	ความหมาย
4.50 - 5.00	หมายถึง พึงพอใจมากที่สุด
3.50 - 4.49	หมายถึง พึงพอใจมาก
2.50 - 3.49	หมายถึง พึงพอใจปานกลาง
1.50 - 2.49	หมายถึง พึงพอใจน้อย
1.00 - 1.49	หมายถึง ควรปรับปรุง

1) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศ โดยผู้เชี่ยวชาญทางเทคโนโลยีสารสนเทศ

หัวข้อการประเมิน	\bar{x}	S.D.	แปลผล
1. ด้านความสามารถทำงานตรงตามความต้องการ (Functional Requirement Evolution)	4.00	0.58	มาก
2. ด้านความถูกต้องของระบบ (Function Evolution)	3.67	1.16	มาก
3. ด้านการใช้งานโปรแกรม (Usability Evolution)	3.97	0.94	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้าน	3.87	0.98	มาก

ผลการประเมินระบบ โดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่มีต่อระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ทั้ง 3 ด้าน มี

ประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย ($X = 3.87$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D = 0.89$) แสดงว่าระบบสารสนเทศที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้งานอยู่ในระดับมาก ผ่านเกณฑ์การประเมินและสามารถนำไปใช้งานได้

2) ผลการประเมินประสิทธิภาพของระบบสารสนเทศ

โดยเจ้าหน้าที่พัสดุ คณะพยาบาล

หัวข้อการประเมิน	\bar{x}	S.D.	แปรผล
1. ด้านการออกแบบหน้าจอ ติดต่อกับผู้ใช้	4.42	0.50	มาก
2. ด้านการประมวลผลและการแสดงผล	4.36	0.59	มาก
3. ด้านลักษณะโดยรวมของระบบสารสนเทศ	4.38	0.60	มาก
ค่าเฉลี่ยรวมทั้ง 3 ด้าน	4.39	0.59	มาก

ผลการประเมินระบบสารสนเทศโดยกลุ่มเจ้าหน้าที่พัสดุ คณะพยาบาล ที่มีต่อระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทั้ง 3 ด้าน มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ย ($X = 4.39$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ($S.D = 0.59$) แสดงว่าระบบสารสนเทศที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีระดับความพึงพอใจต่อการใช้งานของผู้ใช้ อยู่ในระดับมาก ผ่านเกณฑ์การประเมินและสามารถนำไปใช้งานได้

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการดำเนินงานข้างต้น การพัฒนาระบบจัดการเบิกจ่ายพัสดุออนไลน์ คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ สามารถนำไปใช้งานได้จริง สามารถนำไปใช้ในการสนับสนุน การทำงานผู้ใช้ สามารถจัดทำรายการใบเบิกพัสดุ การจัดทำใบรายการใบสั่งซื้อพัสดุ สามารถดำเนินการได้สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นรวมถึงมีความถูกต้อง สะดวก รวดเร็ว ลดความซ้ำซ้อน เพิ่มประสิทธิภาพให้กับงาน โดยระบบดังกล่าวนี้มีการทำงานอยู่ 5 ระดับคือ

1) ผู้ดูแลระบบ สามารถลงชื่อเข้าสู่ระบบ สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัว สามารถกำหนดสิทธิในการเข้าใช้ระบบ

สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลผู้ใช้ระบบ สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไข ข้อมูลหน่วยงานได้

2) เจ้าหน้าที่พัสดุ สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้ สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลรายการพัสดุได้ สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขข้อมูลองค์กรที่จัดหาสินค้า (ซัพพลายเออร์) ได้ สามารถเปิด - ปิดรอบการจัดทำใบเบิกพัสดุได้ (เปิดรอบการจัดทำใบเบิกพัสดุ) สามารถแจ้งประชาสัมพันธ์ผ่าน อีเมล ไปยังเจ้าหน้าที่ประจำหน่วยงานเพื่อจัดทำใบเบิก สามารถรวบรวมใบเบิก รายการพัสดุ เพื่อจัดทำใบสั่งซื้อพัสดุได้ สามารถทำการพิมพ์ใบสั่งซื้อได้ สามารถตรวจรับรายการพัสดุจากการสั่งซื้อได้ สามารถทำการแจกจ่ายพัสดุไปยังหน่วยงานต่าง ๆ ได้

3) เจ้าหน้าที่จัดทำใบเบิก ประจำหน่วยงาน สามารถลงชื่อเข้าสู่ระบบ สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัว สามารถเพิ่ม ลบ แก้ไขรายการใบเบิกพัสดุ สามารถดูรายการพัสดุ สามารถเพิ่ม รายการพัสดุได้ (รายการพัสดุที่ไม่มีในระบบ) สามารถดูสถานะใบเบิกพัสดุ สามารถพิมพ์ใบเบิกพัสดุ สามารถดูประวัติใบเบิก สามารถพิมพ์ใบสั่งซื้อและสามารถดูประวัติใบสั่งซื้อ

4) หัวหน้า ประจำหน่วยงาน สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัว สามารถตรวจสอบใบเบิกพัสดุและอนุมัติใบเบิกพัสดุ สามารถยกเลิกใบเบิกพัสดุ (ตีกลับเพื่อแก้ไขรายการใบเบิกพัสดุ) สามารถอธิบายเหตุผลในการยกเลิกใบเบิกพัสดุ สามารถดูสถานะใบเบิกพัสดุ สามารถพิมพ์รายงานใบเบิกพัสดุและสามารถดูประวัติใบเบิกพัสดุ

5) เลขานุการ (หรือผู้ได้รับอำนาจในการอนุมัติใบเบิกพัสดุ) สามารถแก้ไขข้อมูลส่วนตัวได้ สามารถตรวจสอบใบเบิกพัสดุและใบเบิกสามารถยกเลิกใบเบิกพัสดุได้ (ตีกลับเพื่อแก้ไขรายการใบเบิกพัสดุ) สามารถอธิบายเหตุผลในการยกเลิกใบเบิกพัสดุ สามารถดูสถานะใบเบิกพัสดุและสามารถดูประวัติใบเบิกพัสดุ

อภิปรายผลการวิจัย

ผู้วิจัยได้พัฒนาระบบให้ดำเนินงานพัสดุได้ครอบคลุม กระบวนการพัสดุ ตามพระราชบัญญัติจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560 และระเบียบกระทรวงการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560 ประกอบด้วย ด้านการขอซื้อขอจ้างพัสดุ การสั่งซื้อสั่งจ้าง การ

ตรวจรับ การเบิกจ่ายเงิน การจัดทำทะเบียน การเบิกจ่าย การตรวจสอบ การบำรุงรักษา และการจำหน่ายพัสดุ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของมนตรี อินทร์แก้ว ซึ่งได้พัฒนาระบบฐานข้อมูลงานพัสดุ สำนักวิทยบริการมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานพัสดุ ให้สามารถรวบรวมข้อมูลสารสนเทศด้านการพัสดุอยู่ในระบบเดียวกัน สามารถประมวลผลและวิเคราะห์ข้อมูลสารสนเทศมาใช้ประโยชน์ในการบริหารจัดการงานพัสดุและงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ ทำให้เจ้าหน้าที่พัสดุและผู้เกี่ยวข้องสามารถดำเนินงานพัสดุได้ถูกต้องตามพระราชบัญญัติการจัดซื้อจัดจ้าง และการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560 และระเบียบกระทรวงการคลังว่าด้วยการจัดซื้อจัดจ้างและการบริหารพัสดุภาครัฐ พ.ศ. 2560

ผู้วิจัยได้ประเมินประสิทธิภาพของระบบจากผู้เชี่ยวชาญในด้านต่าง ๆ และ ประเมินคุณภาพต่อการใช้งานระบบสารสนเทศที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพก่อนนำไปใช้งานอยู่ในระดับมาก ผ่านเกณฑ์การประเมินและสามารถนำไปใช้งานได้ ซึ่งมีผลการวิจัยสอดคล้องกับ งานวิจัยของ อำนาจวิทย์ หมุ่มศิลป์ พัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการบริหารครุภัณฑ์คอมพิวเตอร์ด้วย Quick Response Code ได้ทำการประเมินคุณภาพจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่า ในส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.3 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 ส่วน การทำงานของระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.7 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47และค่าเฉลี่ย ความพึงพอใจจากผู้ใช้งานจำนวน 15 ท่าน พบว่าค่าเฉลี่ยในส่วนการติดต่อกับผู้ใช้งาน 4.39 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.62 ส่วนการทำงานของระบบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.44 และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.57 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบมีการตอบสนองด้านการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและยังสามารถทำงานได้ตามตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาเป็นอย่างดียิ่งจาก คณะพยาบาลศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ได้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำในการจัดทำวิจัยเพื่อบรรลุล่วงวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยให้เสร็จสมบูรณ์ ส่งผลให้เกิดความเข้าใจและให้ข้อมูลต่าง ๆ ในการพัฒนาระบบในครั้งนี้ ตลอดจนให้ความร่วมมือในเรื่องของการจัดหาเอกสาร รายละเอียด ข้อมูลตัวอย่างต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการพัฒนาระบบมา

7. เอกสารอ้างอิง

- จันทร์หา เนืองมหา. (2557). *ระบบงานพัสดุคณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย มหาสารคาม*. (ปริญญาานิพนธ์ระดับปริญญาบัณฑิต). มหาสารคาม:มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- จิรภรณ์ มิตรแสง. (2559). *การพัฒนาระบบบันทึกเวลาเรียน ด้วยอาร์เอฟไอดีและคิวอาร์โค้ด*. (ปริญญาานิพนธ์ระดับปริญญาบัณฑิต). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นภัทร รัตนาคินทร์. (2558). *การพัฒนาเว็บไซต์ด้วยภาษา PHP*. สืบค้น 3 พฤษภาคม 2563, จาก <http://www.justusers.net>
- มนตรี อินทร์แก้ว. (2560). *ระบบฐานข้อมูลงานพัสดุนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี* (ปริญญาานิพนธ์ระดับปริญญาบัณฑิต). ปัตตานี:สำนักวิทยบริการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตปัตตานี .
- วรรณิ ศรีเพ็ญ. (2538). *ปัญหาการบริหารพัสดุของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ* (รายงานผลการวิจัย). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- อดิศักดิ์ พวงสมบัติ. (2555). *ระบบยืม-คืนครุภัณฑ์ด้วยบาร์โค้ดสองมิติ*(ปริญญาานิพนธ์ระดับปริญญาบัณฑิต). เชียงใหม่ : บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ผลกระทบของสารเคลือบโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย สำหรับกระดาษคราฟท์

Effect of Mung Bean Protein Coating Incorporated with Cinnamon Bark Essential Oil on Kraft Paper

นันทญา อ่อนบุญ¹ นิตศน์ ทิพย์โสตนัยนา^{1*} และธนธร ทองสัมฤทธิ์¹
Nanchaya Onboon¹ Nitus Tipsotnaiyana^{1*} and Tanatorn Tongsumrith¹

1 ภาควิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
126 ถ.ปราชูทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

1 Department of Printing and Packaging Technology, Faculty of Industrial Education and Technology,
King Mongkut's University of Technology Thonburi. 126 Pracha Uthit Rd., Bang Mod, Thung Khru, Bangkok 10140

*nitus.tip@mail.kmutt.ac.th, 02-470-8578

บทคัดย่อ

ในการศึกษานี้ได้จัดเตรียมสารเคลือบกระดาษคราฟท์สองชนิดคือสารละลายโปรตีนถั่วเขียวเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และสารละลายโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันเปลือกอบเชยร้อยละ 3 โดยปริมาตร พบว่าการผสมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยกับโปรตีนถั่วเขียวเพื่อเคลือบบนกระดาษคราฟท์ไม่ส่งผลต่อน้ำหนักมาตรฐานและความหนาของกระดาษคราฟท์อย่างมีนัยสำคัญ ลักษณะพื้นผิวของกระดาษเคลือบทั้งสองให้ผลที่ไม่แตกต่างกันซึ่งได้รับการศึกษาโดยใช้เครื่องมือ SEM นอกจากนี้จากการสังเกตโดยเครื่องมือ FT-IR พบว่าการเคลือบสารเคลือบทั้งสองส่งผลต่อพันธะเซลลูโลสในกระดาษเกิดการเปลี่ยนแปลง และการผสมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยส่งผลต่อพันธะของโปรตีนเล็กน้อยแต่ไม่ส่งผลต่อพันธะเซลลูโลส การวิเคราะห์สารระเหยจากกระดาษคราฟท์ที่ถูกเคลือบด้วยโปรตีนถั่วเขียวผสมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยถูกศึกษาเพิ่มเติมด้วยวิธี GCMS พบสารระเหยซินนามาลดีไฮด์ในปริมาณร้อยละ 78.60 ของสารที่พบทั้งหมด ผลการวิจัยทั้งหมดนี้ยืนยันว่าโปรตีนถั่วเขียวผสมน้ำมันหอมระเหยอบเชยสามารถเคลือบกระดาษคราฟท์ได้ โดยสามารถศึกษาเพิ่มเติมด้านสมบัติด้านการซึมผ่านไอน้ำ สมบัติเชิงกล และการยอมรับของผู้บริโภคเพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ต่อไป

คำสำคัญ: โปรตีนถั่วเขียว, น้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย, สารเคลือบ, กระดาษคราฟท์

Abstract

In this study, two types of the coating were prepared, 3% w/v of mung bean protein and mung bean protein incorporated with 3% v/v of cinnamon bark essential oil. After testing two types of coating with Scanning Electron Microscope (SEM), it was found that the composition of the coating has no significant difference toward the standard weight and the thickness of the craft paper. When analyzing its chemical

characteristic, the results from Infrared Transformed Spectroscopy (FT-IR) showed that both coatings do not affect the cellulose bonds. However, there was a slight effect on protein bonds on the kraft paper. Another investigation was made with the paper coating with mung bean protein 3% v/v and cinnamon bark essential oil using the GCMS method. It was found that there is 78.60 percent of the compound cinnamaldehyde of all volatile compounds. It can be claimed that mung bean protein with cinnamon bark essential oil can coat on the kraft paper. The prospective study shall be developed to find out the water vapor transmission quality, mechanical properties, and consumer acceptance for the future development of the packaging.

Keywords: Mung bean protein., Cinnamon bark essential oil., Coating, Kraft paper.

1. บทนำ

ปัจจุบันเกิดความกังวลด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากการจำกัดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ รวมถึงต้นทุนปิโตรเลียมที่อาจจะสูงขึ้นในอนาคต ส่งผลให้วัสดุทดแทนมีความน่าสนใจมากขึ้นสำหรับวัสดุบรรจุภัณฑ์ โดยเฉพาะวัสดุทดแทนจากโปรตีนและวัสดุทดแทนจากพอลิแซ็กคาไรด์[1] พลาสติกผลิตจากวัสดุทดแทนโปรตีนจะมีสมบัติเชิงกลที่ดีกว่าผลิตจากวัสดุทดแทนจากพอลิแซ็กคาไรด์[2]

นอกจากฟิล์มที่ผลิตจากโปรตีนแล้วนั้น มีหลายงานวิจัยได้ศึกษาสารเคลือบจากโปรตีนเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงกลของกระดาษ หรือการยืดอายุของอาหาร เช่น การศึกษาสมบัติทางกลของกระดาษและกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยโปรตีนเวย์ไอโซเลต โปรตีนเวย์เข้มข้น และโปรตีนข้าวสาลีกลูเตน[1] การศึกษาประสิทธิภาพของสารเคลือบเวย์โปรตีนปรับปรุงด้วยแลคโตเพอร์ออกซิเดสและแอลฟา-โทโคฟีรอลในการยืดอายุของเนื้อปลาไค้ระหว่างแช่เย็น[3] การศึกษาความต้านทานการระเหยและสมบัติเชิงกลของกระดาษที่เคลือบด้วยโปรตีนถั่วเหลือง[4] เป็นต้น พืชที่ใช้ในการศึกษาฟิล์มหรือสารเคลือบจากโปรตีนนั้นควรเป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนที่สูง เช่น ถั่วเหลือง ข้าวสาลี ถั่วลิสง เป็นต้น ถั่วเขียวเป็นพืชที่น่าสนใจอีกชนิดหนึ่ง เพราะมีปริมาณโปรตีนเป็นส่วนประกอบมากถึงร้อยละ 25-30[2] ทั้งยังเป็นพืชหลักที่ผลิตในประเทศไทย แต่งานวิจัยเกี่ยวกับฟิล์มและสารเคลือบที่ผลิตจากโปรตีนถั่วเขียวนั้นยังไม่แพร่หลายมากนัก เพราะแม้โปรตีนจากถั่วเขียวจะสามารถ

ผลิตเป็นฟิล์มชีวภาพได้ แต่ฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียวมีสมบัติต้านทานแรงดึงที่ต่ำ ความยืดต่ำ และสมบัติการต้านทานไอน้ำต่ำ เมื่อเทียบกับฟิล์มจากโปรตีนถั่วเหลือง[5,6] การปรับปรุงสมบัติเชิงกลและสมบัติการต้านทานไอน้ำของฟิล์มจากโปรตีนมีหลายวิธี เช่น การเติมแป้ง[6] การเติมน้ำมัน[7] เป็นต้น การเติมน้ำมันหอมระเหยจากธรรมชาติลงในโปรตีนก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยปรับปรุงสมบัติการต้านทานไอน้ำของฟิล์มจากโปรตีนได้ ทั้งยังมีสมบัติการต้านทานจุลชีพที่มีประสิทธิภาพ[8] น้ำมันหอมระเหยจากอบเชยเป็นสารกันบูดตามธรรมชาติที่มีส่วนประกอบหลักคือซินนามาลดีไฮด์[9]

ดังนั้นผู้จัดทำโครงการงานได้เห็นถึงความสำคัญจึงมีการจัดทำผลของการเคลือบกระดาษด้วยโปรตีนถั่วเขียวและผลของการเคลือบกระดาษด้วยโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย โดยศึกษาสมบัติทางกายภาพ โดยใช้กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์และใช้ความเข้มข้นของน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยเป็น 3% โดยปริมาตร

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

Gällstedt, et al.[1] ได้ศึกษาสมบัติทางกลและการต้านทานการผ่านก๊าซของกระดาษและกระดาษแข็งที่เคลือบด้วยเกลือโคโดซาน-อะซิติก (โคโดซาน), โปรตีนเวย์ไอโซเลต, โปรตีนเวย์เข้มข้น และโปรตีนข้าวสาลีกลูเตนพบว่าโปรตีนช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของกระดาษ

Cheappimolchai, et al.[5] ได้ศึกษาเกี่ยวกับความเหมาะสมของโปรตีนถั่วเขียวในการผลิตเป็นฟิล์มที่

สามารถย่อยสลายได้เทียบกับโปรตีนถั่วเหลือง พบว่าฟิล์มจะมีค่าความต้านทานแรงดึงลดลงเมื่อปริมาณกลีเซอรอลเพิ่มขึ้น แต่ค่าร้อยละการยืดตัวและการซึมผ่านของไอน้ำเพิ่มขึ้น

Bahram, et al.[8] ได้พัฒนาฟิล์มจากเวย์โปรตีน โดยเติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.8 และ 1.5 โดยปริมาตร ศึกษาผลกระทบของน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยต่อโครงสร้างระดับจุลภาค สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติทางด้านต้านทานการเติบโตของจุลินทรีย์ พบว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ลดการซึมผ่านของไอน้ำของฟิล์มได้ร้อยละ 38.03 และลดสมบัติการละลายน้ำของฟิล์มได้ร้อยละ 29.4 ฟิล์มที่เติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยจะมีค่าพลังงานพื้นผิวน้อยกว่าน้ำ สำหรับการเติมน้ำมันหอมระเหยจากอบเชยร้อยละ 1.5 ฟิล์มจะสามารถต้านทานจุลินทรีย์ได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบและยังสามารถต้านทานเชื้อราได้ดี

Thawien Bourtoom[10] ได้ศึกษาผลกระทบของค่าความเป็นกรดต่าง อุณหภูมิ และเวลาในการให้ความร้อนสำหรับสารละลายเตรียมฟิล์มต่อสมบัติของฟิล์มโปรตีนจากถั่วเขียว พบว่าที่ pH ของสารละลายเท่ากับ 9.5 และอุณหภูมิของสารละลายเตรียมฟิล์มเท่ากับ 75 องศาเซลเซียส ฟิล์มมีค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (5.70-6.051 MPa) มีค่าระยะยืดที่จุดขาดต่ำที่สุด (32.06-40.08%) มีค่าความต้านทานน้ำต่ำที่สุด (11.37-16.91 g.mm/m².day.kPa) ฟิล์มละลายน้ำน้อยที่สุด (7.53-39.43%) นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มโปรตีนจากถั่วเขียวมีสีเข้มขึ้นและมีสีเหลืองมากขึ้นเมื่อเพิ่มความเป็นกรดต่างและเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายเตรียมฟิล์ม

รัตนินา จินดาพรรณ, จิรนาถ บุญคง และจิรศักดิ์ แก้วเกิด[11] ได้ศึกษาการผลิตฟิล์มโปรตีนจากถั่วเขียวโดยการเตรียมสารละลายโปรตีนถั่วเขียวเข้มข้น 6% W/V ที่ความกรดต่างของสารละลายเตรียมฟิล์มคือ 7, 8 และ 9 ร่วมกับอัตราส่วนของปริมาณโปรตีนจากถั่วเขียวต่อปริมาณของกลีเซอรอลที่ 100:0, 70:30, 60:40 และ 50:50 พบว่า

สภาวะที่เหมาะสมกับการผลิตฟิล์มจากโปรตีนถั่วเขียว คือ ความเป็นกรดต่างของสารละลายเตรียมฟิล์มเท่ากับ 9 และอัตราส่วนของสารละลายโปรตีนถั่วเขียวต่อปริมาณของกลีเซอรอลเป็น 70:30 ฟิล์มที่ได้มีสมบัติอัตราการซึมผ่านของไอน้ำเท่ากับ 0.0010 กรัม/ตารางเมตร/ชั่วโมง การต้านทานแรงดึงขาดเท่ากับ 4.0537 นิวตัน และสามารถต้านทานน้ำนานมากกว่า 200 ชั่วโมง จากนั้นได้นำฟิล์มโปรตีนจากถั่วเขียวดังกล่าวมาทดลองบรรจุเครื่องปรุงรสขมิ้นสำเร็จรูปพบว่าฟิล์มสามารถปิดผนึกด้วยความร้อนได้ และสามารถเก็บรักษาเครื่องปรุงรสได้นาน 3 เดือน และสามารถละลายได้ในน้ำเดือดภายในเวลา 90 วินาที

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเตรียมสารเคลือบกระดาษ

1.1 สารเคลือบจากโปรตีนถั่วเขียว

เตรียมสารละลายโปรตีนจากถั่วเขียวเข้มข้นร้อยละ 3 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร คนสารละลายจนผงโปรตีนละลาย เติมน้ำโซเดียมไฮดรอกไซด์จนสารละลายมีความเป็นกรดต่างเป็น 9.5 จากนั้นเติมกลีเซอรอลในอัตราส่วนโปรตีนถั่วเขียวต่อกลีเซอรอลเป็น 70:30 นำสารละลายไปให้ความร้อนพร้อมกวนสารละลายตลอดเวลา จนกระทั่งสารละลายมีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กวนสารละลายต่ออีก 25 นาที ปลอ่ยสารละลายไว้ที่อุณหภูมิห้องจนสารละลายมีอุณหภูมิประมาณ 40 องศาเซลเซียส นำสารละลายไปเคลือบบนพื้นผิว

1.2 สารเคลือบจากโปรตีนถั่วเขียวผสมน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกอบเชย

เตรียมสารละลายตามข้อ 1.1 หลังกวนสารละลายที่ 80 องศาเซลเซียส ครบ 25 นาที ไปเติม Tween 80 ร้อยละ 0.2 โดยปริมาตรต่อปริมาตร กวนสารละลาย 30 นาที จากนั้นเติมน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกอบเชยร้อยละ 3 โดยปริมาตรต่อปริมาตร กวนสารละลาย 30 นาที จากนั้นนำสารละลายไปเคลือบบนพื้นผิว

2. การเคลือบสารเคลือบกระดาษ

นำเครื่องฟนสารเคลือบไปต่อกับเครื่องปั๊มลมปรับแรงดันที่ชุดกรองลมเป็น 2 bar จากนั้นนำสารเคลือบข้อ 1 ใส่ในถ้วยใส่สารฟน ฟนสารเคลือบลงบนกระดาษโดยเว้นระยะห่างระหว่างเครื่องฟนสารเคลือบและผิวกระดาษประมาณ 15 เซนติเมตร จากนั้นวางไว้ที่อุณหภูมิจนกว่าสารเคลือบจะแห้ง เมื่อสารเคลือบแห้งดีแล้ว นำกระดาษเคลือบวางไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วจึงนำไปทดสอบ

3. ทดสอบสมบัติทางโครงสร้างและกายภาพ

1. น้ำหนักมาตรฐาน (ตามมาตรฐาน TAPPI T 410) บันทึกค่า นำมาคำนวณหาน้ำหนักมาตรฐานตามสูตร น้ำหนักมาตรฐาน (g/m^2) = น้ำหนักกระดาษ (g) / พื้นที่กระดาษ (m^2)

2. ความหนา โดยตัดกระดาษขนาด 4x12 เซนติเมตรตามแนวแกนกระดาษจำนวนอย่างน้อย 10 แผ่น วัดความหนาแผ่นละ 5 จุด บันทึกค่า

3. ลักษณะพื้นผิวของกระดาษ ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope: SEM) โดยตัดกระดาษให้สามารถใส่เครื่องทดสอบได้ นำไปกระดาษเคลือบด้วยทองคำก่อนนำไปวิเคราะห์ภายใต้สภาวะสุญญากาศ และกำหนดค่าแรงดันเร่ง (accelerating voltage) เป็น 15 กิโลโวลต์ (kV)

บันทึกภาพ และวิเคราะห์ผล

4. วิเคราะห์ลักษณะทางเคมี ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) บันทึกและวิเคราะห์ผล

5. วิเคราะห์สารระเหยจากกระดาษ ด้วยเครื่อง Gas Chromatograph-Mass Spectrometer, GCMS โดยใช้วิธี Solid phase microextraction (SPME) ดูดซับสารระเหยเหนือกระดาษที่อุณหภูมิห้อง ฉีดสารระเหยเข้าสู่เครื่องโดยส่วนของ GC คือใช้คอลัมน์ DB-5ht (Agilent j&w 122-5731) ตั้งอัตราการไหลของก๊าซฮีเลียมเข้าคอลัมน์เป็น 1 มิลลิลิตรต่อนาที ตั้งโปรแกรมอุณหภูมิเตาอบเริ่มต้น 40 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที เพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร็ว 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีจนถึงอุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส ส่วน MS อุณหภูมิของ ion source เป็น 230 องศาเซลเซียส ในระบบ electron impact ionization (EI) ให้ผลเป็น total ion chromatogram (TIC) ในระบบ scan mode ใช้ช่วงของ Mass 35 ถึง 550 AMU (atomic mass unit) ประมวลผลเปรียบเทียบสเปกตรัม (spectrum) ที่ได้กับฐานข้อมูล Wiley 7n.1 library บันทึกและวิเคราะห์ผล

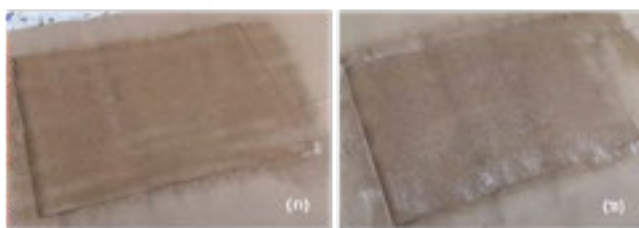
4. ผลการวิจัย

1. น้ำหนักมาตรฐานและความหนา



รูปที่ ๑ ลักษณะสารเคลือบ

(ก)สารเคลือบโปรตีนถั่วเขียว (ข)สารเคลือบโปรตีนถั่วเขียวผสมน้ำฉ่ำหอมระเหยเปลือกอบเชย



รูปที่ ๒ ลักษณะกระดาษเคลือบ (ก)coated paper A (ข)coated paper B

ตารางที่ 1 น้ำหนักมาตรฐานและความหนาของกระดาษคราฟท์

ประเภทกระดาษ	น้ำหนักมาตรฐาน (กรัม/ตารางเมตร)	ความหนา (มิลลิเมตร)
uncoated paper	108±1.48 ^a	0.16±0.00 ^a
coated paper A	113±1.48 ^b	0.17±0.00 ^b
coated paper B	114±1.65 ^b	0.18±0.01 ^b

*ข้อมูลที่แสดงในตารางเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน, ^{a,b} หมายถึงหากตัวอักษรต่างกันภายในคอลัมน์เดียวกันแสดงถึงค่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (significant difference) (p<0.05)

จากการทดสอบพบว่าค่าน้ำหนักมาตรฐานและความหนาของกระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยโปรตีนถั่วเขียว (coated paper A) และกระดาษคราฟท์ที่เคลือบด้วยโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย (coated paper B) มีค่าที่สูงกว่ากระดาษคราฟท์ที่ไม่ผ่านการเคลือบ (uncoated paper) โดย coated paper B มีค่าสูงที่สุด ตามด้วย coated paper A และ uncoated paper ตามลำดับ แต่ coated paper A และ coated paper B มีค่าน้ำหนักมาตรฐานและความหนาไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) แสดงว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยส่งผลต่อน้ำหนักมาตรฐานและความหนาเพียง

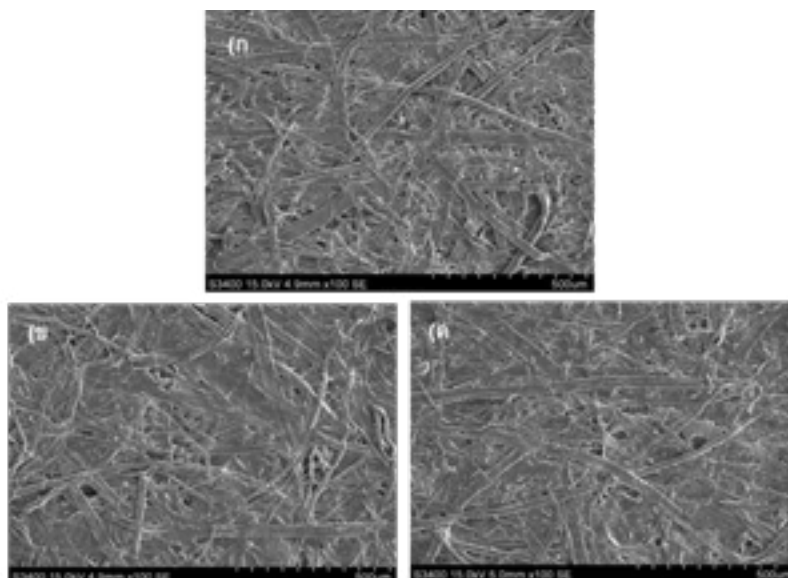
เล็กน้อยเท่านั้น ดังตารางที่ 1

2. ลักษณะพื้นผิวของกระดาษ

จากการทดสอบโดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลดังรูปที่ 3 พบว่าพื้นผิวของ uncoated paper ปรากฏเส้นใยกระดาษชัดเจนมากกว่า coated paper A และ coated paper B และลักษณะพื้นผิวของ coated paper A และ coated paper B ไม่แตกต่างกัน

3. วิเคราะห์ลักษณะทางเคมี

จากการทดสอบด้วยเทคนิค FTIR ได้ผลดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงสเปกตรัมของ uncoated paper (รูปที่ 4(ก)), coated paper A (รูปที่ 4(ข)) และ coated paper B (รูป



รูปที่ 3 ลักษณะพื้นผิวกระดาษจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของ (ก) uncoated paper, (ข) coated paper A และ (ค) coated paper B

ที่ 4(ค)) แสดง peak ใกล้เคียงกัน คือที่ wavenumber 3331, 3273 และ 3274 cm^{-1} ตามลำดับ, peak ที่ wavenumber 2898, 2923 และ 2923 cm^{-1} ตามลำดับ และ peak ที่ wavenumber 1027, 1026 และ 1026 cm^{-1} ตามลำดับ โดย peak มีการเปลี่ยนแปลงจาก 3331, 2898 และ 1027 cm^{-1} เป็น 3273, 2923 และ 1026 cm^{-1} ตามลำดับ โดยลักษณะทางเคมีของ coated paper A และ coated paper B แสดง peak ที่ wavenumber 1633 และ 1632 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งไม่พบใน uncoated paper 4. วิเคราะห์สารระเหยจากกระดาษที่เคลือบด้วยโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย

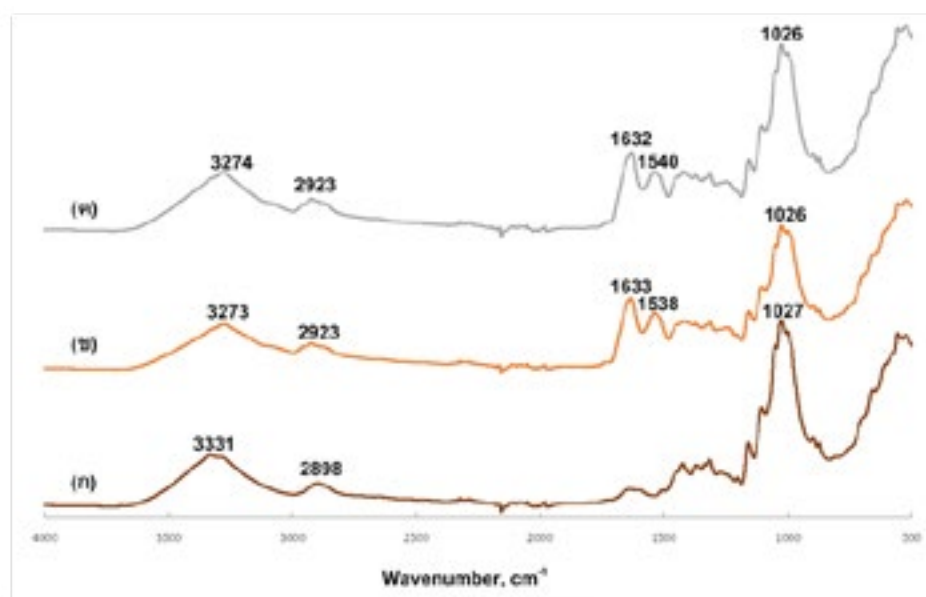
จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ GCMS ได้ผลดังตารางที่ 2 และรูปที่ 5 แสดงว่าสารที่ระเหยออกจาก coated paper B พบสาร cinnamaldehyde สูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 78.60 ของสารระเหยที่พบทั้งหมด ตามด้วย beta-caryophyllene ร้อยละ 7.30 และ eugenol ร้อยละ 6.10 ตามลำดับ

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลลักษณะพื้นผิวแสดงว่าโครงสร้างเส้นใย

กระดาษถูกปกคลุมและเติมเต็มช่องว่างระหว่างเส้นใยด้วยสารเคลือบโปรตีนถั่วเขียว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อต้านทานไอน้ำของกระดาษ[10] ลักษณะพื้นผิวของกระดาษที่ผ่านการเคลือบทั้ง 2 ชนิดมีลักษณะไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการเติมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยลงไปโปรตีนถั่วเขียวไม่ส่งผลต่อลักษณะพื้นผิวหลังเคลือบของกระดาษคราฟท์

จากการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีพบว่ากระดาษทั้ง 3 ชนิดแสดง peak ที่อยู่ในช่วงของ O-H functional group (3700–3000 cm^{-1}), peak ที่อยู่ในช่วงของ C-H functional group (3000–2700 cm^{-1}) และ peak ที่อยู่ในช่วงของ C-O functional group (1500–900 cm^{-1}) ซึ่ง peak เหล่านี้แสดงถึงโครงสร้างของเซลลูโลสในกระดาษคราฟท์[11] การเปลี่ยนแปลง peak หลังจากการเคลือบด้วยโปรตีนถั่วเขียวแสดงว่าการเคลือบนั้นส่งผลต่อโครงสร้างของเซลลูโลสในกระดาษคราฟท์ กระดาษคราฟท์ที่เคลือบทั้ง 2 ชนิดพบพีคที่ปรากฏในช่วงการสั่นแบบ stretching ของ C=O หรือช่วงของ amide I (1600–1690 cm^{-1}) และ peak ที่ wavenumber 1538 และ 1540 cm^{-1} ตามลำดับ ซึ่งเป็นพีคที่ปรากฏในช่วงการสั่นแบบ bending ของ N- H และช่วงการสั่นแบบ stretching ของ C-N หรือช่วงของ



รูปที่ 4 สเปกตรัมการสั่นแบบ FTIR ของกระดาษ (a) uncoated paper (b) coated paper A และ (c) coated paper B

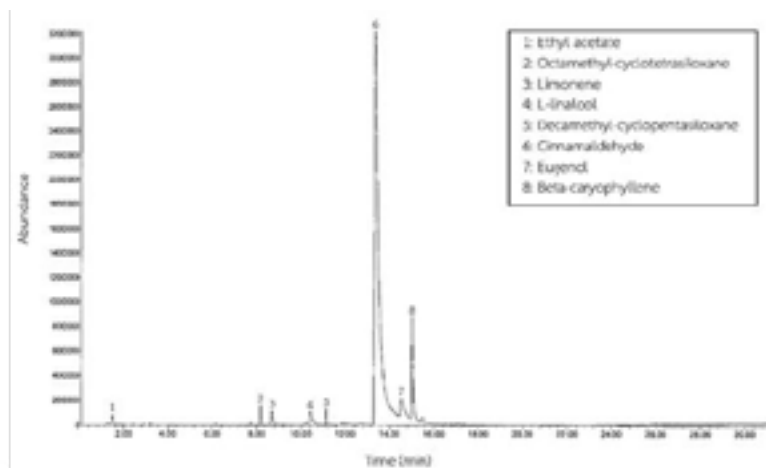
amide II (1480–1575 cm^{-1}) ซึ่ง peak เหล่านี้แสดงถึงโครงสร้างโปรตีนในสารเคลือบบนกระดาษ สเปกตรัมของ coated paper A และ coated paper B ปรากฏ peak ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นการเติมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย ไม่มีผลต่อตำแหน่ง peak ที่ปรากฏ อย่างไรก็ตามการเติมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยทำให้ peak เปลี่ยนแปลงเลขคลื่นจาก 1633 cm^{-1} เป็น 1632 cm^{-1} และเปลี่ยนแปลงจาก 1538 cm^{-1} เป็น 1540 cm^{-1} แสดงว่าการเติมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยอาจทำปฏิกิริยากับสายโซ่พอลิเปปไทด์ของโปรตีนถั่วเขียว[12,13]

จากการวิเคราะห์สารระเหยจากกระดาษที่เคลือบด้วยโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยพบสารระเหย cinnamaldehyde ในปริมาณสูงเนื่องจากเป็นองค์ประกอบหลักที่ให้กลิ่นของน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย ส่วนองค์ประกอบอื่นที่พบ เช่น แคริโอฟิลลิน ยูจีนอล เป็นองค์ประกอบที่พบได้ปริมาณน้อยในน้ำมันหอมระเหยจากเปลือกอบเชย[14, 15]

จากการทดลองทั้งหมดพบว่าสารเคลือบจากโปรตีนถั่วเขียวและสารเคลือบจากโปรตีนถั่วเขียวผสมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยสามารถเคลือบกระดาษกราฟได้

ตารางที่ 2 สารระเหยออกจากกระดาษเคลือบด้วยโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย

ลำดับ	retention time (นาที)	องค์ประกอบ	%Area
1	1.50	ethyl acetate	0.46
2	8.16	octamethyl-cyclotetrasiloxane	0.56
3	8.69	limonene	1.12
4	10.41	l-linalool	1.83
5	11.14	decamethyl-cyclopentasiloxane	0.35
6	13.37	cinnamaldehyde	78.60
7	14.54	eugenol	6.10
8	15.01	beta-caryophyllene	7.30



รูปที่ 5 โครมาโตแกรมของสารที่ระเหยจากกระดาษเคลือบด้วยโปรตีนถั่วเขียวผสมกับน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชย จากการทดสอบ GCMS

โดยให้ลักษณะพื้นผิวกระดาษเหมือนกัน ส่งผลต่อพันธะเซลลูโลสในกระดาษเหมือนกัน และกระดาษที่เคลือบโปรตีนถั่วเขียวผสมน้ำมันหอมระเหยเปลือกอบเชยมีสารระเหยที่ให้กลิ่นเฉพาะ ดังนั้นควรศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อกลิ่นของสารระเหยดังกล่าว ทั้งยังต้องศึกษาผลกระทบต่อเชิงกลและความสามารถในการซึมผ่าน เพื่อพัฒนาเป็นบรรจุภัณฑ์ในลำดับต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิทัศน์ ทิพย์โสตนัยนา และดร.ธนธร ทองสัมฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา งานวิจัยที่คอยให้คำแนะนำตลอดจนปรับปรุงและแก้ไข ปัญหาต่าง ๆ ระหว่างดำเนินงานด้วยความเอาใจใส่ ขอขอบคุณผู้ดูแลและจัดการห้องปฏิบัติการทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และอำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือในห้องปฏิบัติการ ขอขอบพระคุณบิดามารดาตลอดจนบุคคลที่ให้ความช่วยเหลือที่ผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมดในที่นี้ ผู้วิจัยจึงขอขอบคุณทุกท่านไว้ในโอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- Gällstedt, M., Brottman, A. and Hedenqvist M.S., 2005, “Packaging-related properties of protein- and chitosan-coated Paper”, **Packaging technology and science** [Electronic], 2005, Vol. 18, No. 4, pp. 161-170, Available: Academia [2020, January 30].
- Nangin, et al., 2009, “Comparison of properties of mung bean (*Vigna radiata*) protein isolate films at different pH”, **Journal of tropical agriculture and food science** [Electronic], 2009, Vol. 37, No. 2, pp. 179-185, Available: semanticscholar [2020, January 30].
- Shokri, S. and Ehsani, A., 2017, “Efficacy of whey protein coating incorporated with lactoperoxidase and a-tocopherol in shelf life extension of Pike-Perch fillets during refrigeration”, **LWT - Food science and technology** [Electronic], 2017, Vol. 85, pp. 225-231, Available: Science direct [2020, February 10].
- Park, H.J., Kim, S.H., Lim, S.T., Shin, D.H., Choi, S.Y. and Hwang, T., 2015, “Grease resistance and mechanical properties of Isolated soy protein-coated paper”, **Journal of the American oil chemists' society** [Electronic], 2015, Vol. 77, No. 3, pp. 269-273, Available: Researchgate [2020, February 12].
- Wimolrat Cheappimolchai, Ishikawa, Y., Intabon, K. and Maekawa T., 2002, “Production of Biodegradable Films from Mungbean and Soy Proteins (Part 1)”, **Agricultural facilities** [Electronic], 2000, Vol. 31, No. 2, pp. 87-94, Available: J-STAGE [2020, February 7].
- Wimolrat Cheappimolchai, Intabon, K., Ishikawa, Y. and Maekawa T., 2000, “Production of Biodegradable Films from Mungbean and Soy Proteins (Part 2)”, **Journal South African statistical journal** [Electronic], 2002, Vol. 33, No. 2, pp. 91-101, Available: J-STAGE [2020, February 7].
- Vachiraya, L. and Patcharin R., 2018, “Modifying the properties of whey protein isolate

- edible film by incorporating palm oil and glycerol” , **Songklanakarın journal of science and technology** [Electronic], 2018, Vol. 40, No. 1, pp. 243-249, Available: Researchgate [2020, January 30]
8. Bahram, S., Rezaei, M., Soltani, M., Kamali, A., Ojagh S.M. and Abdollahi, M., 2012, “Whey protein concentrate edible film activated with cinnamon essential oil”, **Journal of food processing and preservation** [Electronic], 2014, Vol. 38, No. 3, pp. 1251-1258, Available: Researchgate [2020, February 12].
9. Ojagh, S.M., Rezaei, M., Razavi, S.H. and Hosseini, S.M.H., 2010, “Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water”, **Food chemistry** [Electronic], 2010, Vol. 122, pp.161-166, Available: Science direct [2020, February 11].
10. Han, J. H. and Krochta, J. M., 2001, “Physical Properties and Oil Absorption of Whey-Protein-Coated Paper”, **Journal of food science** [Electronic], 2001, Vol. 66, No. 2, pp. 294-299, Available: Researchgate [2020, October 23].
11. Munajad, A., Subroto, C., and Suwarno, S., 2018, “Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy analysis of transformer paper in mineral oil-paper composite insulation under accelerated thermal aging”, **Energies** [Electronic], 2018, Vol. 11 (2) , pp. 1-12, Available: Researchgate [2021, March 14].
12. Moghadam, M., Salami, M., Mohammadian, M., Khodadad, M., and Emam-Djomeh, Z., 2020, “Development of antioxidant edible films based on mung bean protein enriched with pomegranate peel”, **Food hydrocolloids** [Electronic], 2020, Vol. 104, pp. 1-8, Available: Science direct [2020, June 23].
13. Kong, J., and Yu, S., 2007, “Fourier transform infrared spectroscopic analysis of protein secondary structures”, **Acta Biochimica et Biophysica Sinica** [Electronic], 2007, Vol. 39, No. 8, pp. 545-559, Available: Oxford academic [2021, March 15].
14. สุขาดา ไชยสวัสดิ์, ม.ป.ป., **อโรมาเธอร่าปี** [Online], Available: <https://digital.lib.kmutt.ac.th/magazine/issue1/article/aroma.html>, [21 พฤศจิกายน 2563].
15. Singh, G., Maurya, S., deLampasona, M.P., and Catalan, C.A.N., 2007, “A comparison of chemical, antioxidant and antimicrobial studies of cinnamon leaf and bark volatile oils, oleoresins and their constituents”, **Food and Chemical Toxicology** [Electronic], 2007, Vol. 45, pp.1650-1661, Available: Science direct [2021, March 10]

การสกัดเพคตินจากเปลือกสับปะรดสำหรับเคลือบผิวส้มเขียวหวาน เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา

Extraction of pectin from pineapple peel for tangerine coating to extend shelf life

กมลวรรณ มีทอง^{1*}, พิชญ์ชนินทร์ อุ๋นทอง^{1*} และ ดร.วชิราภรณ์ เขียวมั่ง²

Khamolwan Mithong^{1*}, Pichanin Unthong^{1*} and Dr.Wachiraporn Kheowmung²

¹สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
148/1 ม.2 ต.หาดจิว อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000

¹สาขาวิชาเคมี คณะครุศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์
69/2 ม.4 ต.ผาจุก อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์ 53000

²หลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์

¹Faculty of Education, Uttaradit Rajabhat University

148/1 Moo 2, Tambon Had Ngiew, Amphoe Mueang, Uttaradit 53000

¹Faculty of Education, Uttaradit Rajabhat University

69/2 Moo 4, Tambon Phajuk, Amphoe Mueang, Uttaradit 53000

²Faculty of Science and Technology, Uttaradit Rajabhat University

*E-mail: u60031520142@uru.ac.th, 097-9951726

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกสับปะรดพันธุ์ห้วยมุ่นในจังหวัดอุตรดิตถ์โดยใช้วิธีการสกัดด้วยตัวทำละลายและศึกษาผลของการยืดอายุหลังจากการนำเพคตินที่สกัดได้ไปเคลือบผิวส้มเขียวหวานพันธุ์สายน้ำผึ้ง สภาวะที่ได้ทำการศึกษาในการสกัด ได้แก่ อัตราส่วนของผงเปลือกสับปะรดแห้งต่อน้ำกลั่น (1:20 , 1:30 และ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (1.5, 2.0 และ 2.5) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด (60, 70, 80 และ 90 องศาเซลเซียส) และเวลาที่ใช้สกัด (55, 65 และ 75 นาที) จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินคือ อัตราส่วนของผงเปลือกสับปะรดแห้งต่อน้ำกลั่นเท่ากับ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 2 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 65 นาที ณ สภาวะที่เหมาะสม ร้อยละผลผลิตของเพคตินเท่ากับ 6.10 และหลังจากนำเพคตินที่ได้ไปเคลือบผิวส้มเขียวหวาน เป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าปริมาณกรดแอสคอร์บิก ค่าความเป็นกรด-เบส และน้ำหนักผลส้มเขียวหวานที่ได้รับการเคลือบผิวด้วยเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้รับการเคลือบผิว

คำสำคัญ: การสกัดด้วยตัวทำละลาย เคลือบผิว เปลือกสับปะรด เพคติน ส้มเขียวหวาน

Abstract

The objectives of this research were to study the optimal condition in pectin extract from pineapple peels cv. Huay-Mun in Uttaradit province using the solvent extract and to study the result of shelf life-extending from pectin-coated, Tangerine cv. Sai Nam Pueng. The parameters during the extraction process were the ratios of dry pineapple peels to distilled water (1:20, 1:30, and 1:40 g/mL) pH (1.5, 2.0 and 2.5), the extraction temperature (60, 70, 80 and 90 °C), and the extraction time (55, 65 and 75 min). The study found that the optimal conditions in pectin extraction were the ratios of dry pineapple peels to distilled water were 1:40 g/mL, pH 2, extraction temperature of 70 °C, and extraction time of 65 min. The percentage yield of pectin under the optimal condition was 6.10. After 7 days of pectin-coated tangerine, the result of the shelf life-extending was found that the amount of ascorbic acid, pH value, and the weight of tangerine was less change than uncoated Tangerines.

Keywords: Solvent extraction Coated Pineapple peel Pectin Tangerine

1. บทนำ

ปัจจุบันส้มเขียวหวานเป็นผลไม้ที่ได้รับความนิยมในการบริโภคอย่างมาก มีเปลือกบาง เนื้อหวาน เหมาะกับการคั้นดื่ม ซึ่งส้มเขียวหวานก็มีหลายสายพันธุ์ด้วยกัน ในการเก็บรักษาผลส้มหลังการเก็บเกี่ยวและการขนส่งนั้น มักจะเกิดปัญหาการสูญเสียคุณภาพ ซึ่งมีสาเหตุหลายประการ ได้แก่ การสูญเสียน้ำ การเข้าทำลายของโรค แมลง และสัตว์ต่าง ๆ ระหว่างการเก็บเกี่ยว การขนส่ง และการวางจำหน่าย การสูญเสียจะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเหี่ยว และผิดรูปทรง การเคลือบผิวด้วยสารเคลือบผิวจะช่วยให้ลดการสูญเสียน้ำและป้องกันการเกิดโรคได้

สารเคลือบผิวช่วยลดอัตราการคายน้ำออกจากผิวของผลและลดอัตราการหายใจ แต่การเคลือบผิวทำให้เกิดการลดอัตราแลกเปลี่ยนก๊าซภายในและภายนอกผล ปริมาณก๊าซออกซิเจนภายในผลลดลง เนื่องจากถูกนำไปใช้ในกระบวนการหายใจ มีการสะสมของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นภายในผล การเก็บรักษาผลไม้ที่ผ่านการเคลือบผิวไว้ในสภาพอุณหภูมิสูงหรือเก็บรักษานานเกินไปจะทำให้เกิดกระบวนการหายใจแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นทำให้เกิดเอทานอล ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากกระบวนการดังกล่าวสะสมในผล ทำให้คุณภาพและรสชาติเสียไป จาก

การศึกษางานวิจัย พบว่าสารสกัดจากเปลือกส้มแปรรูปมีสารเพคตินที่สามารถเคลือบผิวและยืดอายุของพืชและผลไม้ได้ และสารสกัดจากเปลือกส้มแปรรูปสามารถยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ (ไซคซี ยีร์กุลเกียรติ, 2559) ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำเปลือกส้มแปรรูปพันธุ์ห้วยมุ่นที่ไม่ถูกนำไปใช้งาน และอาจก่อให้เกิดขยะทางชีวภาพมาใช้ในการสกัดเพคตินเพื่อเป็นสารเคลือบผิวและเป็นการลดขยะทางชีวภาพ

สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มแปรรูป แล้วจะตรวจสอบผลการยืดอายุ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ค่าพีเอช และน้ำหนักผลของผลส้มเขียวหวาน หลังจากเคลือบไว้ด้วยสารเคลือบผิวจากเปลือกส้มแปรรูปเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ และเป็นอีกทางเลือกของเกษตรกรหรือผู้ประกอบการในการเลือกใช้สารเคลือบผิวจากธรรมชาติ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่า เพคตินจะถูกพบในบริเวณเปลือกส้มแปรรูป สามารถทำการสกัดเพคตินออกมาจากเปลือกส้มแปรรูปได้โดยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยทำการสกัดที่สภาวะที่เหมาะสม เพื่อให้ได้ร้อยละผลผลิตของเพคตินมากที่สุด ซึ่งการสกัดด้วยตัวทำละลาย

จะเข้าไปทำลายผนังเซลล์ของพืชทำให้ได้เพคตินออกมา ซึ่งเพคตินเป็นสารประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ มีสมบัติในการเคลือบผิวและยืดอายุของพืชและผลไม้ได้ ร้อยละผลผลิตของเพคติน

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ทำการเตรียมเปลือกสับปะรด

เปลือกสับปะรดพันธุ์หัวมุ่น จากจังหวัดอุดรดิตถ์ ประเทศไทย นำเปลือกสับปะรดไปล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นหั่นเปลือกสับปะรดเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วนำเปลือกสับปะรดที่หั่นไปล้างด้วยน้ำไหล จากนั้นนำเปลือกสับปะรดไปอบแห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อเปลือกสับปะรดแห้งแล้วนำไปคบเป็นผงละเอียดด้วยเครื่องบดสาร แล้วร่อนด้วยตะแกรง ขนาด 60 mesh จากนั้นเติมสารละลายเอทานอล เข้มข้นร้อยละ 85 ในผงเปลือกสับปะรด ในอัตราส่วนเปลือกสับปะรด 1 ส่วนต่อสารละลายเอทานอล 3 ส่วน (1:3) โดยซังผงเปลือกสับปะรด 200 กรัม ลงในบีกเกอร์ (ขนาด 1000 มิลลิลิตร) เติมสารละลายเอทานอล 600 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน นำสารผสมระหว่างเปลือกสับปะรดกับเอทานอลไปให้ความร้อนในเครื่องกวนสารให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที แล้วคนสารอย่างต่อเนื่อง แล้วนำสารผสมที่ให้ความร้อนแล้ว ไปอบแห้งในตู้อบจนแห้ง จากนั้นนำสารผสมที่แห้งแล้วไปคบด้วยเครื่องบดสาร แล้วเก็บใส่ถุงซิปล็อคนำไปไว้ในโถดูดความชื้น

3.2 ทำการสกัดเพคตินจากเปลือกสับปะรด โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัด

3.2.1 อัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับปะรดกับตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

ตัวทำละลายที่ใช้สกัดเพคตินจากเปลือกสับปะรดในการวิจัยครั้งนี้ คือ น้ำกลั่น โดยมีขั้นตอน ดังนี้ กำหนดอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับปะรดต่อน้ำกลั่นทั้งหมด 3 อัตราส่วน ได้แก่ 1:20, 1:30 และ 1:40 กรัมต่อ

มิลลิลิตร ซังผงเปลือกสับปะรด 5.0000 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นปริมาตร 150 มิลลิลิตร แล้วปรับค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายให้พีเอช 2.0 ด้วยกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.25 โมลาร์ นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส คนอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 65 นาที

3.2.2 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

ปรับค่าความเป็นกรด - เบส ด้วยกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.25 โมลาร์ โดยมีขั้นตอน ดังนี้ เลือกอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับปะรดต่อน้ำกลั่นที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยซังผงเปลือกสับปะรด 6.0000 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 240 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ 1.5 2.0 และ 2.5 โดยเลือกทำที่พีเอช 2.0 เป็นลำดับแรก นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส คนอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 65 นาที

3.2.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด

เลือกอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับปะรดต่อน้ำกลั่นที่เหมาะสม ได้แก่ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยซังผงเปลือกสับปะรด 6.0000 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 240 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่เหมาะสมด้วยกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.25 โมลาร์ที่เหมาะสม ได้แก่ พีเอช 2.0 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิทั้งหมด 4 ค่า ได้แก่ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยเลือกทำการสกัดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นลำดับแรก แล้วคนอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 65 นาที

3.2.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด

เลือกอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับปะรดต่อน้ำกลั่นที่เหมาะสม ได้แก่ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร โดยซังผงเปลือกสับปะรด 6.0000 กรัม ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่น ปริมาตร 240 มิลลิลิตร ปรับค่าความเป็นกรด-เบสของสารละลายที่เหมาะสมด้วยกรดซัลฟูริก เข้มข้น 0.25 โมลาร์ ได้แก่ พีเอช 2.0 นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิที่เหมาะสม ได้แก่ 70 องศาเซลเซียส คนอย่างต่อเนื่อง โดยใช้เวลาในการสกัดทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ 55 65 และ 75 นาที

3.3 ทำการเคลือบผิวส้มเขียวหวานด้วยเพคตินจากเปลือกส้มแปะรด

นำผลส้มเขียวหวานล้างทำความสะอาดด้วยน้ำประปา แล้วนำมาเคลือบผิวซึ่งจะเคลือบผิวส้มเขียวหวานทั้งหมด 3 ผล ด้วยสารเคลือบผิวเพคติน โดยการฉีดพ่น ผึ่งให้ผิวแห้งและนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 7 วัน เปรียบเทียบกับผลส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิว

3.4 ทำการวิเคราะห์ผลก่อนและหลังการเคลือบผิวส้มเขียวหวานด้วยเพคตินจากเปลือกส้มแปะรด

3.4.1 ชั่งน้ำหนัก

ชั่งน้ำหนักผลส้มเขียวหวานก่อนเคลือบผิวโดยใช้เครื่องชั่งละเอียดแบบทศนิยม 4 ตำแหน่ง และชั่งน้ำหนักอีกครั้งเมื่อเคลือบผิวครบ 7 วัน คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก

3.4.2 ค่าการวัดสี

นำส้มเขียวหวานที่ผ่านการเคลือบผิวและส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิวหลังจากที่เก็บรักษาไว้ครบ 7 วัน ไปวัดสีของผิวส้มเขียวหวานด้วยเครื่องวัดสี การวัดสีเปลือกของผลส้มเขียวหวานทำการวัดบริเวณจุดกึ่งกลางของผล ผลละ 3 จุด แล้วบันทึกผล โดยการวัดสีค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดสีจะเป็นค่า L^* , a^* , b^* , c^* และ h^*

3.4.3 การวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

นำน้ำส้มคั้นจากส้มเขียวหวานที่จะเคลือบผิววัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ด้วยเครื่องวัดค่าพีเอชก่อนที่จะทำการเคลือบผิว และวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) อีกครั้งหลังจากที่เคลือบผิวแล้วครบ 7 วัน เปรียบเทียบกับน้ำส้มคั้นจากส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิว

3.4.4 การไทเทรตหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก

วิเคราะห์หาปริมาณวิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิกในน้ำส้มคั้นหลังจากที่เคลือบผิวแล้ว 7 วัน ด้วยวิธีการไทเทรตกับสารละลายไอโอดีน โดยใช้น้ำแ่งเป็นอินดิเคเตอร์ ทำโดยปิเปตน้ำส้มคั้น (ส้มเขียวหวานที่ผ่านการเคลือบผิว) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 15 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำแ่ง ปริมาตร 1 มิลลิลิตร แล้วนำไปไทเทรตด้วยสารละลายไอโอดีน จนถึงจุดยุติสารละลายจะ

เปลี่ยนสีจากสีส้มเป็นสีคราม บันทึกปริมาตรของสารละลายไอโอดีนที่ใช้ ทำการไทเทรตซ้ำอีก 2 ครั้ง บันทึกผล แล้วคำนวณหาปริมาณกรดแอสคอร์บิก จากนั้นทำการทดลองซ้ำ แต่เปลี่ยนเป็นน้ำส้มคั้นจากส้มเขียวหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

3.4.5 ระยะเวลาการยืดอายุ

ระยะเวลาการยืดอายุของส้มเขียวหวานจะพิจารณาจากผลของการสูญเสีย น้ำหนัก การวัดสีของผิวส้มเขียวหวาน การวัดค่าความเป็นกรด-เบส (pH) และการไทเทรตหาปริมาณกรดแอสคอร์บิกก่อนและหลังเคลือบผิว โดยส้มเขียวหวานที่ผ่านการเคลือบผิวครบ 7 วัน จะมีการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก ค่าการวัดสี ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) และปริมาณกรดแอสคอร์บิก ที่น้อยกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ผ่านการเคลือบผิว

4. ผลการวิจัย

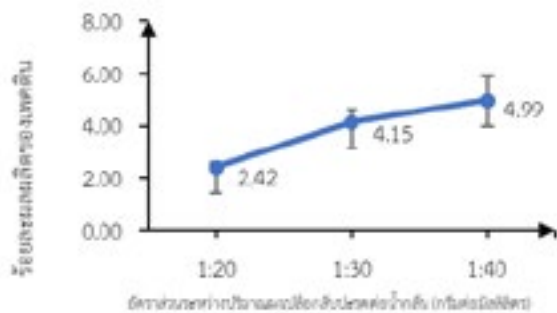
1. ลักษณะผงเปลือกส้มแปะรด

จากการเตรียมเปลือกส้มแปะรดด้วยขั้นตอนการเตรียมเปลือกส้มแปะรด ผงเปลือกส้มแปะรดมีลักษณะเป็นผงละเอียด สีเหลืองอมน้ำตาล

2. สภาพที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มแปะรด

2.1 อัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกส้มแปะรดกับตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด

ปริมาณเพคตินและร้อยละผลผลิตของเพคตินเมื่อสกัดด้วยอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกส้มแปะรดต่อตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด (น้ำกลั่น) แตกต่างกัน 3 อัตราส่วน ได้แก่ 1:20, 1:30 และ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร เมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลผลิตของเพคตินกับอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกส้มแปะรดต่อน้ำกลั่นจะได้กราฟ ดังรูปที่ 1

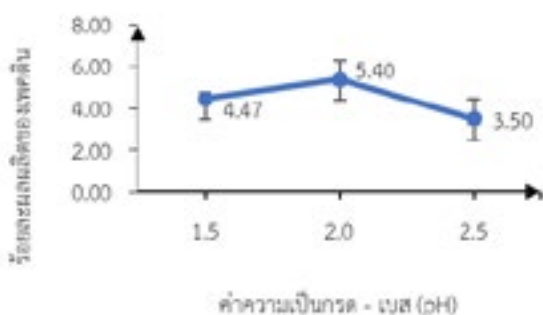


รูปที่ 1 ร้อยละผลผลิตของพืชเมื่อสักรด้วยอัตราส่วนของผงเปลือกสับปะรดแห้งต่อน้ำกลั่นในอัตราส่วนที่ต่างกัน

จากรูปที่ 1 จะเห็นได้ว่า ร้อยละผลผลิตของพืชที่สักรได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับปะรดกับน้ำกลั่นที่ใช้สักรในปริมาณที่มากขึ้น โดยอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับปะรดต่อน้ำกลั่นที่สักรพืชออกมาได้ปริมาณมากที่สุด คือ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร มีร้อยละผลผลิตของพืชเท่ากับ 4.99

2.2 ค่าความเป็นกรด - เบส (pH)

ปริมาณพืชและร้อยละผลผลิตของพืชเมื่อสักรด้วยค่าความเป็นกรด - เบส (pH) ที่แตกต่างกัน 3 ค่า ได้แก่ 1.5 2.0 และ 2.5 เมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลผลิตของพืชกับค่าความเป็นกรด - เบสจะได้กราฟ ดังรูปที่ 2



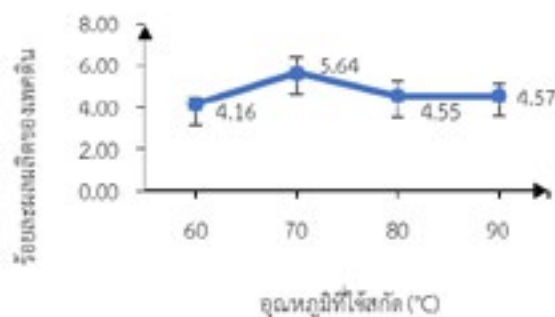
รูปที่ 2 ร้อยละผลผลิตของพืชเมื่อสักรด้วยค่าความเป็นกรด - เบสที่ต่างกัน

จากรูปที่ 2 จะเห็นว่าร้อยละผลผลิตพืชที่สักรได้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มค่า pH ในการสักรพืชจาก pH 1.5 เป็น 2.0 และเมื่อเพิ่มค่า pH เป็น 2.5 ร้อยละผลผลิตเพ

คตินที่สักรได้มีค่าลดลง ซึ่งเปลือกสับปะรดที่สักรที่ pH 2.0 ได้ร้อยละผลผลิตของพืชมากที่สุด คือ 5.40

2.3 อุณหภูมิที่ใช้ในการสักร

ปริมาณพืชและร้อยละผลผลิตของพืชเมื่อสักรด้วยอุณหภูมิที่ใช้สักรที่ต่างกัน 4 อุณหภูมิ ได้แก่ 60 องศาเซลเซียส 70 องศาเซลเซียส 80 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส เมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลผลิตของพืชกับอุณหภูมิที่ใช้สักรจะได้กราฟ ดังรูปที่ 3

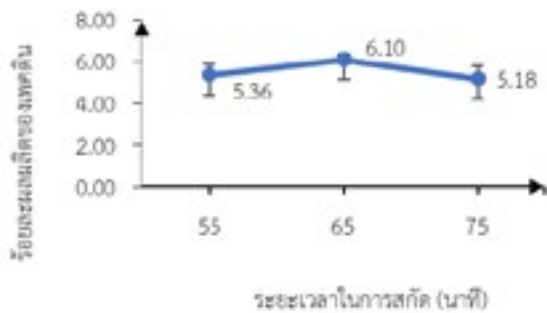


รูปที่ 3 ร้อยละผลผลิตของพืชเมื่อสักรที่อุณหภูมิต่างกัน

จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าร้อยละผลผลิตพืชที่สักรได้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสักรจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ร้อยละผลผลิตพืชที่สักรได้มีค่าลดลง ซึ่งอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สักรได้ร้อยละผลผลิตของพืชมากที่สุด คือ 5.64

2.4 ระยะเวลาที่ใช้ในการสักร

ปริมาณพืชและร้อยละผลผลิตของพืชเมื่อสักรด้วยระยะเวลาที่ใช้สักรที่ต่างกัน 3 ค่า ได้แก่ 55 นาที 65 นาที และ 75 นาที เมื่อนำข้อมูลมาพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละผลผลิตของพืชกับระยะเวลาที่ใช้สักรจะได้กราฟ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ร้อยละผลผลิตของเพคตินเมื่อสกัดที่ระยะเวลาต่างกัน

จากรูปที่ 4 จะเห็นว่า ร้อยละผลผลิตเพคตินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดจาก 55 นาที เป็น 65 นาที และเมื่อเพิ่มระยะเวลาเป็น 75 นาที ร้อยละผลผลิตเพคตินที่สกัดได้มีค่าลดลง ซึ่งเปลือกสับปะรดที่สกัดที่ระยะเวลา 65 นาที ได้ร้อยละผลผลิตของเพคตินมากที่สุดคือ 6.10

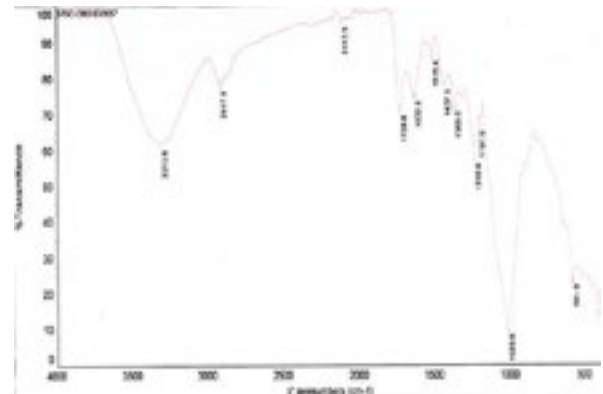
3. การวิเคราะห์คุณลักษณะของเพคตินที่สกัดได้

3.1 ร้อยละผลผลิตของเพคติน

ปริมาณเพคตินสูงสุดที่สกัดได้จากเปลือกสับปะรด ณ สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่อัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับปะรดต่อน้ำกลั่น ได้แก่ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร ที่ค่าความเป็นกรด - เบส (pH) ที่ 2.0 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และระยะเวลา 65 นาที จะได้ปริมาณเพคตินเท่ากับ 0.3661 กรัม และเมื่อคำนวณหาร้อยละผลผลิตของเพคตินมีค่าเท่ากับ 6.10

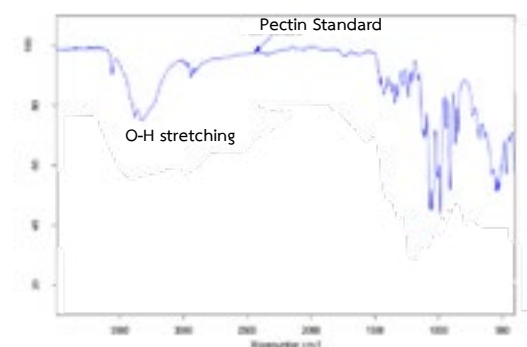
3.2 เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (FTIR)

เมื่อนำเพคตินที่สกัดได้ ณ สภาวะที่เหมาะสมไปวิเคราะห์คุณภาพด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรสโคปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) จะได้เอฟทีไออาร์สเปกตรัม (FTIR spectrum) ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของเพคตินที่สกัดจากเปลือกสับปะรด

จากรูปที่ 5 เมื่อทำการวิเคราะห์หามุ่ฟังก์ชันในโครงสร้างของเพคตินที่สกัดได้ จะพบว่ามียุคปรากฏอยู่ที่เลขคลื่น 3313.6 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นที่แสดงถึง O-H bond พิกที่ 2917.9 cm^{-1} แสดงถึง C-H bond สำหรับพิกที่ตำแหน่ง 1728.8 cm^{-1} เป็นพิกที่แสดงถึง C=O bond ซึ่งเป็นพันธะที่บ่งชี้ว่ามีหมู่อะซิติล (-COCH₃) อยู่ในโครงสร้างของเพคตินที่สกัดได้ พิกที่ 1632.8 cm^{-1} , 1515.4 cm^{-1} 1236.9 cm^{-1} และ 1197.9 cm^{-1} แสดงถึง -O- bond, C-H bond C-O-H bond และ C-O bond ตามลำดับ (Huang Guolin *et al*, 2012)



รูปที่ 6 เอฟทีไออาร์สเปกตรัมของเพคตินมาตรฐาน

เมื่อเทียบ FTIR spectrum ของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกสับปะรด (รูปที่ 5) กับ FTIR spectrum ของเพคตินมาตรฐาน พบว่ามีรูปแบบทางโครงสร้างคล้ายกัน

4. ผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการเคลือบผิวส้มเขียวหวาน ด้วยเพคตินจากเปลือกสับปะรด

4.1 ชั่งน้ำหนัก

ผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิวสูญเสียน้ำหนัก ซึ่งมากกว่าผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวด้วยเพคตินจากเปลือกสับปะรดที่สูญเสียน้ำหนัก (ดังตารางที่ 5)

4.2 สีผิวผลส้มเขียวหวาน

ค่า L^* ของสีผิวผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิว และเคลือบผิวมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ค่า a^* ของสีผิวของผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่ามากกว่าผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว

ค่า b^* ของสีผิวของผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิวและเคลือบผิวมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ค่า c^* ของสีผิวของผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิวและที่เคลือบผิวมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ค่า h^* ของสีผิวของผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าน้อยกว่าผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว

4.3 ค่าความเป็นกรด-เบส (pH)

ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของน้ำส้มคั้นที่ไม่ได้เคลือบผิวหลังจากเก็บรักษาครบ 7 วัน มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.69 ซึ่งไม่แตกต่างกับค่าพีเอชของน้ำส้มคั้นที่เคลือบผิว ที่มีค่าพีเอชเท่ากับ 4.52 โดยพบว่าค่าพีเอชเพิ่มขึ้นจากวันแรกที่เก็บรักษาเล็กน้อย (ดังตาราง 5)

4.4 ปริมาณกรดแอสคอร์บิก

ปริมาณกรดแอสคอร์บิกในน้ำส้มคั้นที่ไม่ได้เคลือบผิว มีค่าเท่ากับ 0.0253 กรัม ซึ่งน้อยกว่าเพียงเล็กน้อยกับปริมาณของกรดแอสคอร์บิกในน้ำส้มคั้นที่เคลือบผิวด้วยเพคติน คือมีค่าเท่ากับ 0.0283 (ดังตาราง 5)

4.5 ระยะเวลาการยืดอายุ

ระยะเวลาการยืดอายุจะพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ค่าการวัดสี ค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณกรดแอสคอร์บิก จะได้ว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าสูญเสียน้ำหนักมากกว่าส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว ค่าการวัดสีผิวของผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวมีสีผิวที่สดกว่าสีผิวผลส้ม

เขียวที่ไม่ได้เคลือบผิว ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ของส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิวมีค่าพีเอชที่มากกว่าส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว และปริมาณของกรดแอสคอร์บิกของส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่มากกว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิว

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ค่าการวัดสีผิว ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) และปริมาณกรดแอสคอร์บิก ของส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวและส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิว

ผลการวิเคราะห์	เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนัก (%)	ค่าการวัดสีผิว					pH		ปริมาณกรดแอสคอร์บิก (g)
		L*	a*	b*	c*	h*	วันแรก	วันที่ 7	
เคลือบผิว	2.83	60.99	3.56	51.09	53.03	91.29	4.42	4.52	0.0283
ไม่เคลือบผิว	7.5	60.36	11.08	59.17	53.67	78.42	4.63	4.69	0.0253

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคติน ปัจจัยที่ได้ทำการทดลอง ได้แก่ อัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับประรดต่อตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) อุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด จากการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณผงเปลือกสับประรดต่อตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัด นั่นคือน้ำกลั่น พบว่า ร้อยละผลผลิตของเพคตินที่สกัดได้แปรผกผันกับอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับประรดต่อน้ำกลั่น โดยร้อยละผลผลิตของเพคตินที่ได้มีค่ามากที่สุด เมื่อใช้อัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับประรดต่อน้ำกลั่นที่ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร และร้อยละผลผลิตของเพคตินที่ได้มีค่าลดลง เมื่อลดอัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือกสับประรดต่อน้ำกลั่น จากกราฟผลการทดลอง (ดังรูปที่ 1) สามารถคาดการณ์ได้ว่าแนวโน้มของอัตราส่วนระหว่างผงเปลือกสับประรดกับตัวทำละลายที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ได้ตะกอนของเพคตินเพิ่มขึ้นด้วย

จากการทดลองเพื่อหาค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดพบว่า ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-เบส จาก 1.5 เป็น 2.0 และเมื่อเพิ่มค่าความเป็นกรด-เบส เป็น 2.5 ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าลดลง เพราะค่าความเป็นกรด-เบสต่ำ การเกิดเจลจะเพิ่มมากขึ้น ทำให้มีปริมาณเพคตินสูง (ปฐมพงษ์ และคณะ, 2559) การสกัดเพคตินที่ pH ต่ำ จะมี

ปริมาณไฮโดรเจนไอออนอยู่ในระบบสูงจึงเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสมากขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนสารประกอบเพคตินที่ไม่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ ทำให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีปริมาณสูง แต่เมื่อค่าความเป็นกรด-เบส เพิ่มสูงขึ้น มีความเป็นกรดสูงมาก ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ที่ลดลงนี้ส่งผลต่อการย่อยสลายเพคตินบางส่วนไป โดยปกติความร้อนรวมกับฤทธิ์ของกรดจะทำให้ส่วนประกอบภายในผนังเซลล์ละลายออกมา การใช้ความเป็นกรด-เบสต่ำและอุณหภูมิสูงอาจทำลายโครงสร้างของเพคตินได้ (จริญญา อับดุลสลาม และคณะ, 2560) และจากการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ที่เหมาะสมที่สุดในการสกัดเพคตินคือ 2.0

จากการทดลองเพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดพบว่า ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจาก 60 องศาเซลเซียส เป็น 70 องศาเซลเซียส และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส และ 90 องศาเซลเซียส ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าลดลง เพราะการใช้อุณหภูมิต่ำ (<60 องศาเซลเซียส) เพคตินที่อยู่ในรูปโปรโตเพคตินจะออกมาได้น้อยจึงส่งผลให้ได้ปริมาณเพคตินต่ำ การสกัดที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จะให้ผลผลิตสูงสุด เนื่องจากอุณหภูมิมิระดับนี้สามารถทำลายโครงสร้างของผนังเซลล์ได้อย่างทั่วถึงทำให้เพคตินที่อยู่ในผนังเซลล์สลายตัวออกมาได้มาก แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการสกัดสูงขึ้นเป็น 80-100 องศาเซลเซียส ปริมาณเพคตินที่สกัดได้จะลดลงอย่างต่อเนื่อง เพราะการใช้อุณหภูมิสูงส่งผลให้เพคตินที่มีพอลิเมอร์สายยาวถูกย่อย

สลาย ทำให้เพคตินไม่สามารถสลายเป็นเจลได้ เมื่อตกตะกอนด้วยเอทานอลจึงไม่เกิดเป็นเจลทำให้มีปริมาณของเพคตินต่ำ

จากการทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการสกัดพบว่า ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้สกัดจาก 55 นาที เป็น 65 นาที และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการสกัดเป็น 75 นาที ปริมาณเพคตินที่สกัดได้มีค่าลดลง ดังนั้น ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินคือ 65 นาที แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดมากขึ้นปริมาณของเพคตินจะลดลง เนื่องจากเมื่อใช้ระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาดีเอสเทอร์ริฟิเคชัน (Deesterification) ได้มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณเพคตินที่สกัดได้ลดลง (ธานี ตรีกุลอินทรีย์, 2533)

จากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดทั้ง 4 ปัจจัยที่กล่าวไปข้างต้น สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจากเปลือกส้มแปะคือ อัตราส่วนระหว่างผงเปลือกส้มแปะต่อน้ำกลั่น ได้แก่ 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความเป็นกรด-เบส (pH) ที่ 2.0 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 65 นาที พบว่า ปริมาณเพคตินที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.3661 กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตของเพคตินเท่ากับ 6.10

จากการทำการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันในโครงสร้างของเพคตินที่สกัดได้ ด้วยวิธี FTIR จะพบว่า มีพีคปรากฏอยู่ที่เลขคลื่น 3313.6 cm^{-1} ซึ่งเป็นเลขคลื่นที่แสดงถึง O-H bond พีคที่ 2917.9 cm^{-1} แสดงถึง C-H bond สำหรับพีคที่ตำแหน่ง 1728.8 cm^{-1} เป็นพีคที่แสดงถึง C=O bond ซึ่งเป็นพันธะที่บ่งชี้ว่ามีหมู่อะซิติล (-COCH₃) อยู่ในโครงสร้างของเพคตินที่สกัดได้ พีคที่ 1632.8 cm^{-1} , 1515.4 cm^{-1} 1236.9 cm^{-1} และ 1197.9 cm^{-1} แสดงถึง -O- bond, C-H bond C-O-H bond และ C-O bond ตามลำดับ (Huang Guolin et al, 2012) ซึ่งโดยทั่วไปโมเลกุลเพคติน มีองค์ประกอบหลัก คือ กรดกาแล็กทูโรนิก หมู่เมทิลอิสระ หมู่เอสเทอร์ และหมู่อีเทอร์ โดยมีการแสดงการดูดกลืนพลังงานที่ตำแหน่งเลขคลื่นของสารเหล่านี้ ได้แก่ กรดคาร์บอกซิลิก จะแสดงหมู่แอลกอฮอล์ (O-H) ที่ให้แถบกว้าง และความเข้มสูงมากในช่วง 2400-3400 cm^{-1} หมู่คาร์บอนิล

(C=O) ให้แถบที่มีความเข้มสูงในช่วง 1680-1820 cm^{-1} เอสเทอร์ (C-O) ให้แถบที่มีความเข้มปานกลางถึงเข้ม ในช่วง 1000-1300 cm^{-1} ซึ่งอาจมีมากกว่าหนึ่งแถบ อีเทอร์ (C-O-C) ให้แถบเดียวในย่าน 1085-1150 cm^{-1} (จตุพล หาญดี และคณะ, 2016) และเมื่อเทียบ FTIR spectrum ของเพคตินที่สกัดได้จากเปลือกส้มแปะ (รูปที่ 5) กับ FTIR spectrum ของเพคตินมาตรฐาน (รูปที่ 6) ซึ่งมีความคล้ายคลึงกัน จึงสามารถยืนยันได้ว่าตัวอย่างที่สกัดได้จากเปลือกส้มแปะในสภาวะต่าง ๆ คือเพคติน

จากการทดลองเคลือบผิวส้มเขียวหวานด้วยเพคตินที่สกัดจากเปลือกส้มแปะเพื่อยืดอายุส้มเขียวหวาน โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนัก ค่าการวัดสีผิว ค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณกรดแอสคอร์บิก พบว่า ผลการวิเคราะห์ผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวด้วยเพคตินสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิว และเมื่อระยะเวลาการเก็บรักษานานขึ้น ผลส้มเขียวหวานจะสูญเสียน้ำหนักเพิ่มสูงขึ้น กลไกหลักของการสูญเสียน้ำหนักคือ เกิดจากการสูญเสียน้ำ ซึ่งสารเคลือบผิวจะสามารถลดการระเหยของน้ำได้ ทำให้ผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวด้วยเพคตินสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิว (दनัย บุญยเกียรติ และคณะ, 2552)

จากผลการวิเคราะห์วัดค่าสีผิวผลส้มเขียวหวาน พบว่า ค่า L* และค่า c* ของสีผิวผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงว่า ความสว่างและความเข้ม (ตามลำดับ) ของสีผิวผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกัน ค่า a* ของสีผิวผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งหมายความว่า ผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวมีค่า a* ที่เข้าใกล้แกนสีเขียว ส่วนผลส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิวมีค่า a* ไปในทางแกนสีแดง ค่า b* ของสีผิวผลส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิวมีค่ามากกว่าค่า b* ของสีผิวผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว ซึ่งหมายความว่า สีผิวผลส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิวมีค่า b* ที่เข้าใกล้แกนสีเหลืองมากกว่าสีผิวผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิว ค่า h* ของสีผิวผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวและไม่เคลือบผิวมีค่าที่แสดงสี

แท้จริงของวัตถุในช่วงที่ต่างกันอย่างชัดเจน แสดงว่า สีส้มผลส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบผิวมีค่า h^* ที่ช่วง 45-90 องศา แสดงสีผสมแดงถึงสีเหลือง ส่วนสีส้มผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวมีค่า h^* ที่ช่วง 90-135 องศา แสดงสีเหลืองถึงเหลืองเขียว (दनัย บุญเกียรติ และคณะ, 2552) ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากค่า L^* a^* b^* c^* และ h^* พบว่า ผลส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวด้วยเพคตินจากเปลือกสับปะรดมีสีที่สดมากกว่าผลส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิว

จากผลการวิเคราะห์วัดค่าความเป็นกรด-เบสของ ส้มเขียวหวานพบว่า ค่าความเป็นกรด-เบสของผล ส้มเขียวหวานมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วงแรกและเพิ่มขึ้น เล็กน้อยในช่วงหลังของการเก็บรักษา เมื่อเก็บรักษาไว้เป็น เวลานานขึ้นค่าความเป็นกรด-เบสของผลส้มเขียวหวานมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งอาจจะเป็นเพราะผลส้มเป็น ผลไม้ประเภทบ่มไม่สุก (Non-climacteric) ดังนั้นใน ระหว่างการสุกจึงมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-เบส น้อยมาก (दनัย บุญเกียรติ และคณะ, 2552)

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดแอสคอร์บิกของ ส้มเขียวหวานพบว่า ปริมาณ กรดแอสคอร์บิกของ ส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวและผลส้มเขียวหวานที่ไม่เคลือบ ผิวมีค่าไม่แตกต่างกัน เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญต่อปริมาณ กรดแอสคอร์บิกคือ อุณหภูมิในการเก็บรักษา โดย อุณหภูมิสูงจะทำให้ส้มมีปริมาณกรดแอสคอร์บิกที่ลดลง (दनัย บุญเกียรติ และคณะ, 2552)

จากผลการวิเคราะห์ก่อนและหลังการเคลือบผิว ส้มเขียวหวานด้วยเพคตินจากเปลือกสับปะรดเพื่อศึกษา ระยะเวลาในการยืดอายุ พบว่า เปอร์เซ็นต์การสูญเสีย น้ำหนัก ค่าการวัดสีผิว ค่าความเป็นกรด-เบส และปริมาณ กรดแอสคอร์บิกของส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวด้วยเพคติน ที่สกัดจากเปลือกสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยกว่า ส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิว ซึ่งแสดงว่าส้มเขียวหวานที่ เคลือบผิวด้วยเพคตินจากเปลือกสับปะรดสามารถยืดอายุ ของส้มเขียวหวานได้

สรุปผลการวิจัย

1. การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพคตินจาก เปลือกสับปะรด

การสกัดเพคตินที่อัตราส่วนผงเปลือกสับปะรด (กรัม) : น้ำกลั่น (มิลลิลิตร) คือ 1:20 1:30 และ 1:40 ที่ค่า ความเป็นกรดเบส คือ 1.5 2.0 และ 2.5 ที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส และที่เวลา 55 65 และ 75 นาที จากสภาวะที่เหมาะสมที่ให้ปริมาณเพคตินสูงสุด คือ การสกัดเพคตินที่อัตราส่วนระหว่างปริมาณผงเปลือก สับปะรดต่อน้ำกลั่น 1:40 กรัมต่อมิลลิลิตร ค่าความเป็น กรด-เบส 2.0 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 65 นาที ที่สภาวะนี้ร้อยละผลผลิตของเพคตินมีค่าเท่ากับ 6.10

2. การศึกษาผลของการยืดอายุ ปริมาณกรดแอสคอร์บิก ค่าความเป็นกรดเบส ค่าการวัดสี และน้ำหนักผลของผล ส้มเขียวหวานหลังเคลือบด้วยสารเคลือบผิวจากเปลือก สับปะรด

การศึกษาระยะเวลาในการยืดอายุ พบว่า ปริมาณ กรดแอสคอร์บิก ค่าความเป็นกรด-เบส ค่าการวัดสี และ น้ำหนักผลของผลส้มเขียวหวานหลังเคลือบด้วยสาร เคลือบผิวจากเปลือกสับปะรดมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อย กว่าส้มเขียวหวานที่ไม่ได้เคลือบผิว จึงสรุปได้ว่า ส้มเขียวหวานที่เคลือบผิวด้วยเพคตินจากเปลือกสับปะรด สามารถยืดอายุของส้มเขียวหวานได้

6. กิตติกรรมประกาศ

การดำเนินการวิจัยในครั้งนี้ สำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ ได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.วชิรา-ภรณ์ เขียวมั่ง อาจารย์ที่ปรึกษา ด้วยการให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ รวมทั้งความรู้ ความเข้าใจเป็นอย่างดี ตลอดทั้งตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนการศึกษา ค้นคว้าปัญหาพิเศษฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณหลักสูตรเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่ให้ความ อนุเคราะห์ในด้านต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาการทำงานวิจัย นี้

ขอขอบพระคุณ บุคลากร หลักสูตรเคมี คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ที่อำนวยความสะดวกทางด้านสถานที่และอุปกรณ์ รวมทั้ง

ช่วยประสานงานในด้านเอกสารงานราชการในการติดต่อ
หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานวิจัยนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- กิตติชัย บรรจง และจรัญญา อับดุลสลาม. (2560).
ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการสกัดเพคตินจากลูก
ตาลสุกด้วยน้ำโดยไม่ปรับพีเอช. *วารสาร
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (สาขา
วิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี)*, 9(18), 24-34.
- จตุพล หาญดี, วิชัย เสริมผล และวราวุธ ณะมูล.
(2559).
การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดเพกติน
จากเปลือกมะกรูด. *การประชุมวิชาการเสนอ
ผลงานวิจัยบัณฑิตศึกษา ระดับชาติและนานาชาติ
2559*, 401-408. คณะวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา.
- โชคชัย ธีรกุลเกียรติ. (2559). *สารสกัดธรรมชาติเพื่อใช้
ยับยั้งการเกิดสีน้ำตาลในผักและผลไม้*. สืบค้น 28
สิงหาคม 2563, จาก <https://www.rdi.ku.ac.th>
- दनัย บุญยเกียรติ, นิธิยา รัตนานนท์ และพิมพ์ใจ สีหะ
นาม. (2552). *โครงการการพัฒนาสูตรสาร
เคลือบผิวผลส้มพันธุ์สายน้ำผึ้ง และการทดสอบ
เชิงพาณิชย์*. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- ปฐมพงษ์ เทียงเพชร, รัตรี บุนี และภาณุมาศ อุ้นสมัย.
(2559, 22 ธันวาคม). สภาวะที่เหมาะสมในการ
สกัดเพคตินจากเปลือกส้มโอด้วยกรดไฮโดรคลอ
ริก. *การประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัย
ราชภัฏกำแพงเพชร*, 3(2), 339-346. คณะ
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏ
กำแพงเพชร.
- G. Huang, J. Shi, K. Zhang and X. Huang. (2012).
Application of Ionic Liquids in the
Microwave- Assisted Extraction of Pectin
from Lemon Peels. *Journal of Analytical
Methods in Chemistry*, 1-8.



ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

กลุ่ม 3 : งานวิจัยสาขาเทคโนโลยีเกษตร
และอาหาร

การเอนแคปซูเลชันสารสกัดจากมะเกี๋ยงโดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง Encapsulation Of Crude Extracts from Makiang by Freeze Drying

นริศรา วิชิต^{1*} หยาดฝน ทนงการกิจ² จีระพล ปันคำ¹ และสุภาพรรณ ถิ่นถาน¹
Narissara Wichit^{1*} Yardfon Tanongkankit² Jeerapon Pankam¹ and Supaphan Tintan¹

¹ คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ 202 ถ.ช้างเผือก ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

² คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

¹ Faculty of Agricultural Technology, Chiang Mai Rajabhat University

202 Chang Puak road, Chang Puak, Muang District, Chiang Mai, 50300

² Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

63 Sansai-Phrao Road, Nonghan, Sansai District, Chiang Mai, 50290

*narissara_wic@cmru.ac.th, 083-5777958

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเก็บกักแอนโธไซยานินจากสารสกัดมะเกี๋ยงโดยใช้เทคนิคเอนแคปซูเลชันด้วยวิธีการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยใช้มอลโทเด็กซ์ทรีน (DE10) เป็นสารห่อหุ้มในปริมาณ 10, 20 และ 30% โดยมวลต่อปริมาตรตามลำดับ ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของผงมะเกี๋ยง ได้แก่ ร้อยละผลผลิต ค่าสี ปริมาณความชื้น ปริมาณน้ำอิสระ ความสามารถในการละลาย ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ) และประสิทธิภาพการเก็บกักแอนโธไซยานิน (ร้อยละ) พบว่าการเติมมอลโทเด็กซ์ทรีนปริมาณ 30% โดยมวลต่อปริมาตร ผงมะเกี๋ยงที่ได้มีสมบัติที่ดีคือ ปริมาณผลิตภัณฑ์ผงร้อยละ 86.67 ± 0.25 ให้ผงสีชมพูที่มีค่าสี L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 52.45 ± 0.05 , 21.56 ± 0.08 และ 2.12 ± 0.02 ตามลำดับ มีปริมาณความชื้น 4.27 ± 0.04 % ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.25 ± 0.00 ความสามารถในการละลายสูงถึง 87.81 ± 0.30 % ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ 66.34 ± 0.23 % และประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลชันของแอนโธไซยานินที่เก็บกักได้คือ 68.05 ± 0.43 % ซึ่งผงมะเกี๋ยงที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารต่อไปได้

คำสำคัญ: เอนแคปซูเลชัน, มะเกี๋ยง, การทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

Abstract

The aim of this research was to encapsulate anthocyanin from Makiang extracted using encapsulation technique by freeze drying. Maltodextrin (DE10) was applied for wall material at 10, 20 and 30 % (w/v) concentrations. The physical and chemical properties, %yield, color in CIE system, moisture content, water activity, solubility, antioxidant activity and encapsulation efficiency were examined. The effect of concentration of encapsulating agent showed that 30%(w/v) of maltodextrin (DE10) had the highest %yield of 86.67 ± 0.25 and the encapsulated anthocyanin powder from Makiang had a pinkish color. Color values in L*, a* and b* of anthocyanin powder were 52.45 ± 0.05 , 21.56 ± 0.08 and 2.12 ± 0.02 , respectively. The moisture content and water activity (aw) were 4.27 ± 0.04 % and 0.25 ± 0.00 , respectively. Makiang powder had high solubility at 87.81 ± 0.30 % and the encapsulation efficiency was 68.05 ± 0.43 %. It has a potential for applications in food production systems, especially as an added value to food products.

Keywords: Encapsulation, Makiang, Freeze Drying

1. บทนำ

มะเกี๋ยง (*Cleistocalyx nervosum* var. *Paniala*) เป็นพืชอนุรักษ์ตามโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืช อันเนื่องมาจากพระราชดำริ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ทรงมีพระราชประสงค์ที่จะให้ช่วยกันอนุรักษ์พืชพื้นเมืองของประเทศไทยไว้ไม่ให้สูญพันธุ์ ซึ่งมะเกี๋ยงพบได้ใกล้แหล่งชุมชนทางภาคเหนือตอนบนของไทย นิยมนำไปบริโภคทั้งในรูปผลสด และผลิตภัณฑ์แปรรูป เช่น น้ำพร้อมดื่ม ไวน์ และไอศกรีม เป็นต้น (สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง, 2545) สารสีแดงบริเวณผิวของผลมะเกี๋ยง จากการวิเคราะห์ของ Jansom *et al.* (2008) พบว่า สารดังกล่าว คือ cyanidin 3-glucoside เป็นแอนโธไซยานินที่มีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดในกลุ่มของแอนโธไซยานิน จากผลทางเภสัชวิทยาพบว่าผลมะเกี๋ยงมีแอนโธไซยานิน ซึ่งเป็นสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) โพลีฟีนอล (Polyphenol) และแทนนิน (Tannins) แอนโธไซยานินเป็นรงควัตถุชนิดหนึ่งที่ละลายในน้ำ เป็นสารที่ให้ทั้งสีส้ม สีแดง สีม่วง และสีน้ำเงิน จึงมีประสิทธิภาพสำหรับใช้เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ ถูกนำมาใช้ในอาหาร เพื่อแต่งสีผลิตภัณฑ์อาหาร จึงทำให้ความต้องการใช้สีจากธรรมชาติเพิ่มมากขึ้น

เทคนิคเอนแคปซูเลชันเป็นกระบวนการในการกักเก็บสารประกอบต่างๆ ที่สลายตัวได้ง่ายไว้ภายในระบบ โดยสารประกอบที่ถูกกักเก็บหรือห่อหุ้มจะเรียกว่า active หรือ core material เช่น วิตามิน แร่ธาตุ สารแอนติออกซิแดนท์ และสี เป็นต้น ส่วนสารที่นำมาห่อหุ้มจะเรียกว่า wall material (Tosaowaluk & Intipunya, 2008) ซึ่งในปัจจุบันมีการนำเทคนิคเอนแคปซูเลชันมาใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเพื่อทำให้มีการคงตัวของสารสำคัญในอาหาร และทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้นอีกทั้งยังสะดวกต่อการนำไปใช้งาน ลดความเสี่ยงในการใช้สารสำคัญ สามารถบริโภคในปริมาณที่ลดน้อยลง เนื่องจากสารสำคัญถูกทำให้มีขนาดเล็กและเข้มข้นมากขึ้น ดังนั้นจึงนำเทคนิคดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในการห่อหุ้มสารสำคัญที่มีในมะเกี๋ยง

สำหรับสารห่อหุ้มพื้นฐานที่นิยมใช้มากที่สุด ได้แก่ กลุ่มโบโอพอลิเมอร์ เช่น มอลโทเด็กซ์ทรินและกัมอารบิก เป็นคาร์โบไฮเดรตพอลิเมอร์ที่ได้จากการย่อยโมเลกุลของแป้งบางส่วนให้เป็นสายสั้นๆ ซึ่งจะมีกลูโคสอยู่ประมาณ 5-20 หน่วยต่อโมเลกุล โดยมีคุณสมบัติทั่วไปคือ มีค่าการละลายน้ำสูง ความหนืดต่ำ น้ำตาลน้อย อีกทั้งยังเป็นสารที่ไม่มีสีและกลิ่น สามารถปกป้องสารสำคัญจากการออกซิเดชันและมีราคาถูก

งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้กระบวนการเอนแคปซูชัน โดยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจากสารสกัดมะเกี๋ยง เพื่อที่จะเก็บรักษาคุณสมบัติของสารสีจากธรรมชาติไว้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เช่น ใช้เป็นสีผสมอาหารที่มีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคและคุณภาพดี และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าของมะเกี๋ยงที่มีการเน่าเสียอย่างรวดเร็ว พร้อมทั้งศึกษาปริมาณของมอลโทเด็กซ์ทรินที่เหมาะสมในกระบวนการเอนแคปซูเลชัน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

นำผลมะเกี๋ยงที่แช่แข็งอุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส มาละลายน้ำแข็ง ล้างทำความสะอาด รอสะเด็ดน้ำ จากนั้นทำการเอาเมล็ดออก นำเนื้อมะเกี๋ยงไปปั่นด้วยเครื่องปั่นจนละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน นำไปสกัดด้วยเอทานอลความเข้มข้น 80% ด้วยอัตราส่วนระหว่างเนื้อมะเกี๋ยงต่อตัวทำละลาย 1:5 (กรัม:มิลลิลิตร) นาน 24 ชั่วโมง กรองเอาเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำ

นำสารสกัดที่ได้ไปทำการเอนแคปซูเลชัน โดยใช้สารเอนแคปซูเลตติ้งคือ มอลโทเด็กซ์ทริน (DE10) ความเข้มข้น 10, 20 และ 30% โดยมวลต่อปริมาตร ผสมให้เข้ากัน นำไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง โดยนำสารสกัดที่ได้ไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 48 ชั่วโมง จากนั้นนำตัวอย่างไปเข้าเครื่องทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง เป็นเวลา 15 ชั่วโมง ผงมะเกี๋ยงที่ได้นำมาเก็บในถุงกันความชื้นที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำไปวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีดังนี้

ร้อยละผลผลิต (% yield) ของผลิตภัณฑ์ผงแห้งที่ได้ คำนวณจากสมการที่ (1)

$$\text{ร้อยละผลผลิต (\% yield)} = \frac{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างทั้งหมดหลังทำแห้ง} \times 100}{\text{น้ำหนักแห้งของตัวอย่างเริ่มต้นก่อนทำแห้ง}} \quad (1)$$

ค่าสี L*, a* และ b* นำผลิตภัณฑ์ผง วัตค่าสีด้วยเครื่องวัดค่าสี เลือกระบบ CIE L* a* b* ตัวอย่างละ 3 ซ้ำ โดย ค่า L* แทนค่าความสว่าง ค่า a* แทนค่าสีแดง เมื่อ (+) แทนค่าสีเขียว เมื่อ (-) และ ค่า b* แทนค่าสีเหลือง เมื่อ (+) แทนค่าสีน้ำเงิน เมื่อ (-) ทำการวัดค่าสีของตัวอย่าง อ่านผลการวัดค่าสีจากเครื่อง และบันทึกผลการวัดของแต่ละค่า ทำการวัดค่าทั้งหมด 3 ซ้ำ

ความสามารถในการละลาย (solubility) ด้วยวิธีของ Begum & Deka (2017)

เตรียมตัวอย่างผงแห้ง 1 กรัมเติมน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันนาน 30 นาที จากนั้นนำไปหมุนเหวี่ยงด้วยความเร็วรอบ 3000 rpm เป็นเวลา 10 นาที แยกเอาส่วนใสออก นำส่วนที่ไม่ละลายน้ำไปทำให้แห้งโดยอบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักแล้วคำนวณดังสมการที่ (2)

$$\text{ความสามารถในการละลาย (\%)} = \frac{\text{น้ำหนักของสารละลายส่วนใส} \times 4 \times 100}{\text{น้ำหนักของตัวอย่าง}} \quad (2)$$

ปริมาณความชื้น ด้วยวิธีของ AOAC (2000)
ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ด้วยเครื่องวัดค่า water activity
ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมด ด้วยวิธี pH differential ดัดแปลงตามวิธีของ Lee et al. (2005)

และ Muenkiang et al. (2015) คำนวณปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดในรูป cyanidin 3-glucoside ดังสมการที่ (3)

$$\text{ปริมาณแอนโทไซยานิน (mg/L)} = \frac{[(A \times MW \times DF \times 10^3)]}{(\epsilon \times l)} \quad (3)$$

โดย A = $(A_{520} - A_{700})_{pH1} - (A_{520} - A_{700})_{pH4.5}$
MW = น้ำหนักโมเลกุลของ cyanidine-3-glucoside เท่ากับ 499.2 g/mol
DF = dilution factor
 ϵ = molar extinction coefficient 26,900 (l/mol.cm)
l = ความกว้างของคิวเวต (cm)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ด้วยวิธี DPPH scavenging activity

ตามวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธีการของ Kim & Lee (2002) และ Lapnitipom et al. (2013) โดยนำสารละลายตัวอย่าง 50 ไมโครลิตร กับสารละลาย DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) (บริษัท sigma Aldrich ประเทศเยอรมัน) 2

มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันตั้งทิ้งไว้ในที่มืด 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 517 นาโนเมตร โดยใช้ น้ำกลั่นเติมสารละลาย DPPH เป็น blank standard และสารละลายตัวอย่างเติมเอทานอลเป็น blank sample จากนั้นนำมาคำนวณหาความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ ดังสมการที่ (4)

$$\text{ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (\% inhibition)} = \frac{\text{Blank Standard} - (\text{Sample} - \text{Blank Sample}) \times 100}{\text{Blank Standard}} \quad (4)$$

ประสิทธิภาพในการกักเก็บ (Encapsulation efficiency, EE) ตัดแปลงจากวิธีการของ Nafiunisa et al. (2017) โดยการนำปริมาณแอนโธไซยานินทั้งหมดใน

ไมโครแคปซูล และปริมาณแอนโธไซยานินที่ผิวไมโครแคปซูลที่สกัดได้ คำนวณตามสมการที่ (5)

$$\text{ประสิทธิภาพในการกักเก็บ (ร้อยละ)} = \frac{\text{ปริมาณแอนโธไซยานินในไมโครแคปซูล} - \text{ปริมาณแอนโธไซยานินที่ผิวไมโครแคปซูล}}{\text{ปริมาณแอนโธไซยานินในไมโครแคปซูล}} \quad (5)$$

การวิเคราะห์ค่าทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Design, CRD) และทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยทรีทเมนต์ด้วยวิธี Fisher's Least-Significant Difference (LSD) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Statistix 8.0

3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ และเคมีของสารสกัดจากมะเข็ญ พบว่ามีค่าสี L*, a* และ b* เท่ากับ 29.26±0.00, 4.32±0.00 และ -3.30±0.01 ตามลำดับ ซึ่งสารสกัดที่ได้มีสีชมพูเข้มจากสีของแอนโธไซยานิน จึงทำให้ค่าความสว่างเข้าใกล้ 0 นอกจากนี้สารสกัดที่ได้ยังมีปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ทั้งหมด 21.22±0.04 °Brix ดังแสดงในตารางที่ 1

สารแอนโธไซยานินที่พบในมะเข็ญ คือ cyanidin 3-glucoside ซึ่งเป็นแอนโธไซยานินที่มี

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระมากที่สุดในกลุ่มของแอนโธไซยานิน (Phakdee & Chaiprasart, 2018) ซึ่งพบว่าสารสกัดมะเข็ญที่ได้มีปริมาณแอนโธไซยานินมี 98.28±0.23 mg/100g และมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระได้ 65.78±1.52%

ผลของการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของมอลโทเด็กซ์ทรินในการเอนแคปซูลชันด้วยการแช่เยือกแข็งสารสกัดจากมะเข็ญ เมื่อนำสารสกัดจากมะเข็ญเติมมอลโทเด็กซ์ทริน (DE10) ปริมาณ 10%, 20% และ 30% โดยมวลต่อปริมาตร จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน ทำให้ปริมาณผลิตภัณฑ์ผง (% yield) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) ดังแสดงในตารางที่ 2 เนื่องจากมอลโทเด็กซ์ทรินเป็นสารช่วยทำแห้งและเมื่อปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่า Tg ของแอนโธไซยานินเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วยลดการเหนียวติดภายในห้องอบแห้งในระหว่างการทำแห้งจึงส่งผลให้ได้ปริมาณผงมากขึ้น

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของสารสกัดมะเข็ญ

สมบัติทางกายภาพ	
L*	29.26±0.00
a*	4.32±0.00
b*	-3.30±0.01
สมบัติทางเคมี	
ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (°Brix)	21.22±0.04

สมบัติทางกายภาพ	
pH	4.43±0.03
ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (mg/100 g)	98.28±0.23
ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (% inhibition)	65.78±1.52

จากตารางที่ 2 จะเห็นได้ว่าเมื่อวัดค่าสีของผงมะเขี๋ยงด้วยเครื่อง color meter แสดงออกมาในค่า L*, a* และ b* พบว่ามีค่า L* มีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลในผงมะเขี๋ยงที่ได้มีความสว่างเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่า a* จะลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับผลิตภัณฑ์ที่ได้ที่พบว่าความ

เป็นสีชมพูของผงมะเขี๋ยงลดลงเมื่อปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีนเพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยการใช้สารเอนแคปซูลเลตติ้งในปริมาณที่สูงขึ้น มีผลทำให้ความสว่างสูงขึ้นเนื่องจากสารเอนแคปซูลเลตติ้งมีสีขาว จึงส่งผลให้ผงมะเขี๋ยงที่ได้มีความสว่างเพิ่มขึ้น (Khunthaward & Sriputi, 2013)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของผงมะเขี๋ยง

ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีน	ร้อยละผลผลิต	L*	a*	b*
10%	77.53±0.40 ^c	48.57±0.08 ^b	26.65±0.01 ^a	2.41±0.04 ^b
20%	80.25±0.31 ^b	46.69±0.03 ^c	24.88±0.06 ^b	2.56±0.08 ^a
30%	86.67±0.25 ^a	52.45±0.05 ^a	21.56±0.08 ^c	2.12±0.02 ^c

*ตัวอักษรที่ต่างกันในกลุ่มเดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

จากการศึกษาปริมาณความชื้น และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) ในผงสารสกัดจากมะเขี๋ยงพบว่า มีปริมาณความชื้นอยู่ระหว่าง 4.27±0.04 ถึง 5.17±0.01 % และปริมาณน้ำอิสระอยู่ในช่วง 0.25±0.00 ถึง 0.31±0.00 ดังแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งค่าปริมาณน้ำอิสระจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณความชื้นเพื่อใช้บ่งบอกอายุการเก็บรักษาของอาหาร เนื่องจากน้ำในอากาศมีผลต่อการเสื่อมสีของอาหาร ซึ่งอาหารประเภทอบแห้งควรมีค่าปริมาณน้ำอิสระน้อยกว่า 0.6 และควรมีความชื้นไม่เกิน 12% (Suyalek et al., 2020) นอกจากนี้มอลโทเด็กซ์ทรีนมีสมบัติการดูดความชื้นต่ำ เมื่อใช้ในปริมาณสูงจึงช่วยทำให้ผงมะเขี๋ยงที่ได้มีความชื้นต่ำ ส่งผลให้ค่าความสามารถในการละลายสูงที่สุด โดยผงมะเขี๋ยงที่เติมมอลโทเด็กซ์ทรีน (DE10) ในปริมาณ 30 % (w/v) มีค่าการละลายสูงถึง 87.81±0.30%

ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลเลตติ้งสารสกัดจากมะเขี๋ยงด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง แสดงดังตารางที่ 3 พบว่า เมื่อใช้มอลโทเด็กซ์ทรีน (DE10) ปริมาณ 10% โดยมวลต่อปริมาตร ในการเอนแคปซูลเลตติ้งมีประสิทธิภาพการเอนแคปซูลเลตติ้งร้อยละ 64.12±0.32 และเมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีน ยิ่งทำให้ประสิทธิภาพในการเก็บกักแอมโมเนียไนโตรเจนสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เมื่อเพิ่มปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรีน (DE10) มากถึง 30 % โดยมวลต่อปริมาตร ประสิทธิภาพในการเก็บกักแอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าร้อยละ 68.05±0.43 เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น พบว่า ประสิทธิภาพการเอนแคปซูลเลตติ้งมีค่าค่อนข้างต่ำ อาจเนื่องมาจากการทำแห้งด้วยเทคนิคการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งเป็นวิธีการทำแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำมาก เมื่อเทียบกับการทำแห้งแบบพ่นฝอย ซึ่งที่สภาวะดังกล่าวทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนยังคงมีความคงตัวสูง และร่วมกับโครงสร้างของสารห่อหุ้มยึดเกาะกับโครงสร้างของ

สารแอนโทไซยานินกลายเป็นฟิล์มเพื่อปกป้องสารออกฤทธิ์จึง ทำให้การเอนแคปซูลเข้มข้นมีประสิทธิภาพสูงที่สุด นอกจากนี้มีมอลโทเด็กซ์ทรินที่เลือกใช้เป็นสารห่อหุ้มมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ซึ่งช่วยให้เกิดการป้องกันสารออกฤทธิ์ได้เป็นอย่างดี โดยมอลโท

เด็กซ์ทริน ดีอี ต่ำ มีความหนืดและ ค่า structure integrity เพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้เกิดการห่อหุ้มและกักเก็บสารออกฤทธิ์ได้มากกว่ามอลโทเด็กซ์ทริน ดีอี สูง (Labuschagne, 2018)

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีของผงมะเกี๋ยง

ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน	ปริมาณความชื้น (%)	ปริมาณน้ำอิสระ (a _w)	ความสามารถในการละลาย (%)	ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ (ร้อยละ)	ประสิทธิภาพการกักเก็บแอนโทไซยานิน (ร้อยละ)
10%	5.17±0.01 ^a	0.31±0.00 ^a	81.10±0.31 ^c	72.99±0.09 ^a	64.12±0.32 ^b
20%	4.63±0.02 ^b	0.28±0.01 ^b	83.35±0.34 ^b	67.99±0.29 ^b	65.69±1.50 ^b
30%	4.27±0.04 ^c	0.25±0.00 ^c	87.81±0.30 ^a	66.34±0.23 ^c	68.05±0.43 ^a

*ตัวอักษรที่ต่างกันในคอลัมน์เดียวกัน หมายถึงมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงมะเกี๋ยง มีค่าลดลงเมื่อปริมาณมอลโทเด็กซ์ทรินเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05) โดยพบว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของผงมะเกี๋ยง มีค่ามากกว่าความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากมะเกี๋ยง เนื่องจากการทำแห้งแบบเยือกแข็ง (Freeze drying) นั้นเป็นกระบวนการทำแห้งที่ใช้หลักการดึงเอาโมเลกุลของน้ำออกจากอาหาร โดยอาศัยการระเหยของน้ำจากสภาพของแข็งกลายเป็นไอ อาหารที่ต้องการทำแห้งโดยวิธีนี้จะถูกทำให้อยู่ในสภาพเยือกแข็ง การระเหยของน้ำเกิดขึ้นได้เนื่องจากความดันและอุณหภูมิในการทำแห้งที่อยู่ต่ำกว่าจุดวิกฤตของก๊าซ ของเหลว และของแข็ง หรือจุด Triple point ของน้ำหรือสารละลายในอาหาร ซึ่งการทำแห้งวิธีนี้สามารถรักษาคุณค่าทางอาหาร และคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ดีกว่าการทำแห้งแบบทั่วไป (วิจิตรและคณะ, 2560)

4. สรุปผล

ผงมะเกี๋ยงที่ใช้ปริมาณมอลโทเด็กซ์ทริน (DE10) 30% โดยมีมวลต่อปริมาตร เหมาะสมในการเอนแคปซูลชั้นสารสกัดจากมะเกี๋ยงด้วยการทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง

เนื่องจากสามารถกักเก็บสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพให้คงอยู่และทำให้ได้ผงมะเกี๋ยงมีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่ดีที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ โดยการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 ที่ให้การสนับสนุนงบประมาณการวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- วิจิตร เหลียวตระกูล, วชิรญา เหลียวตระกูล, ประพนอม สุขแก้ว และวิไลลักษณ์ สนวนมะลิ. (2560). *การทำปริมาณสารสำคัญและการทดสอบฤทธิ์ทางชีวภาพของเห็ดตับเต่าเพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารด้วยเทคนิคเอนแคปซูลเข้มข้น* (รายงานผลการวิจัย). นนทบุรี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ.
- สถาบันวิจัยและฝึกอบรมการเกษตรลำปาง. (2545). *มะเกี๋ยงพืชในโครงการอนุรักษ์*. ลำปาง: ศิลปะการพิมพ์.

- AOAC. (2000). *Official Methods of Analysis of AOAC International*. Volume 2: Food Composition, Additives, Natural Contaminants. (17th ed.). The Association of Official Analytical Chemist, Gaithersburg, MD, USA
- Begum, Y.A. & Deka, S.C. (2017). Stability of Spray-Dried Microencapsulated Anthocyanins Extracted from Culinary Banana Bract. *International Journal of Food Properties*, 20(12), 3135-3148.
<http://www.tandfonline.com/loi/ljfp20>
- Fukumoto, L.R. & Mazza, G. (2000). Assessing Antioxidant and Prooxidant Activities of Phenolic Compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 3597-3604.
- Jansom, C., Bhamarapravati, S. & Itharat, A. (2008). Major anthocyanin from ripe berries of *Cleistocalyx nervosum* var. *paniala*. *Thammasat Medical Journal*. 8(3).
- Khunthaward, A. & Sripui, J. (2013). Effects of Encapsulation by Spray Drying on Physical Properties of Mamao (*Antidesma thwaitesianum*) Powder. Graduate Research Conference, Khon Kaen University, 386-391.
- Kim, D.O. & Lee, C.Y. (2002). Extraction and Isolation of Polyphenolics, Current Protocols in Food Analysis Chemistry, R.E. Wrolstad., New York.
- Labuschagne, P. (2018). Impact of Wall Material Physicochemical Characteristics on the Stability of Encapsulated Phytochemicals: A Review. *Food Research International*, 107, 227-247.
- Lapnitiporn, S., Laohakunjit, N. & Kerdchoechuen, O. (2013). Encapsulation of Cashew Apple Juice by Spray Drying Technique. *Agricultural Science Journal*, 44(2), 21-24.
- Lee, J. , Durst, R. & Wrolstad, R. (2005) . Determination of Total Monomeric Anthocyanin Pigment Content of Fruit Juices, beverage, natural colorants, and Wines by The pH Different method : Collaborative Study. *Journal of AOAC International*. 88(5), 1269-1278.
- Muenkiang, A. , Varith, J. , Narkprasom, N & Narkprasom, K. (2015). Optimal Conditions for Anthocyanins Extraction from Makiang (*Cleistocalyx nervosum* var. *paniala*) Using Microwave – Assisted Extraction. The 36th National Graduate Research Conference, Maejo University, 422-429.
- Nafiunisa, A. , Aryanti, N. , Wardhani, D. H. & Kumoro, A.C. (2017). Microencapsulation of Natural Anthocyanin from Purple Rosella Calyces by Freeze Drying. *International Conference on Science and Applied Science* 2017, 1- 8. doi: 10.1088/1742-6596/909/1/012084.
- Phakdee, N. & Chaiprasart, P. (2018). Study on Quality and Anthocyanin of Maliang. *Agricultural Science Journal*, 49(3) , 178-181.
- Suyalek, S. , Jaturonglumlert, S. , Amornlerdpison, D., Narkprasom, N. & Narkprasom, K. (2020). Encapsulation of Crude Extracts from Banana (*Musa X paradisca*) Flowers by Spray Drying. *Burapha Science Journal*, 25(2), 448-463.
- Tosaowaluk, Y. & Intipunya, P. (2008) . Co-encapsulation of Natural Colour and

Honey Crystals by Drying Methods. The 5th
Kasetsart University Kamphaeng Saen
Campus Conference, 927-934.

การศึกษาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ไข่น้ำแผ่นอบกรอบปรุงรส A Study of The Production of Seasoned Sheet from *Wolffia Globosa L.* (*Lemnaceae*)

ธนัชฐา เกษมณี^{1*} กิตติศักดิ์ อ่ำมา¹ เกกิงศักดิ์ ภูสิทธิอัคคโชติ¹ เปมิกา สมหวัง² และ ชนิดา เขินแก้ว²

Tanitta Gatemune^{1*} Kittisak Umma¹ Thakerngsak Pusitthiakkachot¹

Pemika Somwang² and Chanida Kherkaew²

1 สาขาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

128 ถ.ห้วยแก้ว ต.ช้างเผือก อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50300

2 สาขาวิชาการผลิตและนวัตกรรมอาหาร วิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

98 ม.8 ต.ป่าป้อ อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ 50220

1 Department of Science, Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna,

128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand 50300

2 Food Production and Innovation Program, College of Integrated Science and Technology, Rajamangala University of

Technology Lanna, 98 Moo 8, Papong, Doi Saket, Chiang Mai, Thailand 50220

*E-mail: tanitta_ying@rmutl.ac.th, Tel: +66 5392 1444-2800

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแปรรูปผลิตภัณฑ์ไข่น้ำและศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไข่น้ำแผ่นอบกรอบปรุงรสชนิดต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์นี้ถูกเตรียมโดยการลวกไข่น้ำด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 1% (น้ำหนัก/ปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที แล้วปั่นรวมกับแป้งเปียกปริมาณ 5 กรัม ในน้ำ 100 กรัม จากนั้นสกรีนให้เป็นแผ่นและทำการอบแห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนภายใต้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ค่าสีโดยตัวแปร L^* a^* และ b^* มีค่าเท่ากับ 34.22, -6.11 และ 13.01 ตามลำดับ และมีค่าความชื้นเท่ากับ 8.04% หลังจากนั้นนำไข่น้ำแผ่นอบกรอบปรุงรสด้วยผงปรุงรสต่าง ๆ ได้แก่ รสต้นตำรับ (ตัวอย่างควบคุม) รสบาร์บีคิว และรสต้มยำ แล้วทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ด้วยแบบทดสอบ 5-point hedonic scale ผลการทดสอบจากกลุ่มผู้ทดสอบชิมจำนวน 30 คน พบว่ามีค่าเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 3.21, 3.27, และ 3.29 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง

คำสำคัญ: ไข่น้ำ, ไข่น้ำแผ่นอบกรอบปรุงรส, การยอมรับของผู้บริโภค

Abstract

This research aims to transform the production of seasoned sheets from *Wolffia globosa* and to study the consumers' acceptance of a variety of seasoned sheets from *Wolffia globosa*. These products were prepared by blanching the *Wolffia globosa* on brine 1% (w/v) at 90 °C for 5 minutes. Then blend the Soft-boiled *Wolffia globosa* with 5 g. of water roux and 100 g. of water to get the paste. The *Wolffia globosa* sheets were prepared by screening the paste and drying at 60 °C for 4 hours by using a hot air oven. The result of color analysis exhibited that color parameters as L*, a*, and b* are 34.22, -6.11 and 13.01, respectively, with humidity of 8.04%. After that, the seasoning powders which are original flavor (the control), BBQ flavor and Tom-Yum flavor, were added and mixed with the sheets. Testing the consumer acceptance on color, odor, taste, texture, and overall preference to products were conducted by using 5-point hedonic scale tested by 30 panelists. It was found that the average value of the observed sensory evaluation was 3.21, 3.27, and 3.29 which is at a medium level.

Keywords: *Wolffia globosa*, Seasoned Sheet from *Wolffia globosa*, consumer acceptance test

1. บทนำ

อาหารเป็นปัจจัยหลักในการดำรงชีพของมนุษย์ ทุกสังคมดำเนินชีวิตไปรูปแบบแตกต่างกัน ค่านิยมในการบริโภคก็แตกต่างกัน วิธีชีวิตการบริโภคของคนในชุมชนเมืองจะนิยมบริโภคอาหารประเภทอาหารจานด่วน (fast food) เลียนแบบแบบตะวันตก ซึ่งมีความเสี่ยงสูงในการที่จะทำให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บเนื่องจากการขาดสารอาหาร ส่วนคนในชุมชนชนบทจะเน้นบริโภคอาหารพื้นเมือง คืออาหารประจำภูมิภาคต่าง ๆ ที่แตกต่างกันตามลักษณะพืชพันธุ์ และสภาพภูมิประเทศ อาหารพื้นบ้านจะใช้พืชผักจากธรรมชาติตาม ไร่ นา เป็นวัตถุดิบ ไม่มีสารปรุงแต่งใด

ๆ ปลอดภัยต่อสุขภาพ อาหารพื้นบ้านไทยยังมีรสชาติที่อร่อย กลมกล่อม หลากหลายรส และยังเป็นเอกลักษณ์ที่บ่งชี้ถึงวัฒนธรรม และภูมิปัญญาของคนไทยในแต่ละท้องถิ่นที่สร้างสรรค์ ปรุงแต่งให้เป็นอาหารเพื่อสุขภาพ อาหารพื้นบ้านไทยจึงเป็นอาหารที่ได้สมดุลทางโภชนาการ อาหารพื้นบ้านล้านนาก็เช่นเดียวกัน ประกอบด้วยผักพื้นบ้านที่มีคุณค่าทางโภชนาการ ประกอบด้วยโปรตีนและวิตามินที่สำคัญ มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ [1]

พืชท้องถิ่นที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง อย่างเช่น ไข่น้ำ หรือ ผำ (ชื่อวิทยาศาสตร์: *Wolffia globosa*) มีการนำมาปรุงเป็นอาหารทางภาคอีสานและภาคเหนือของประเทศไทย



รูปที่ 1 ลักษณะของไข่น้ำหรือผำ (ก), (ข) ไข่น้ำตามแหล่งน้ำธรรมชาติ (ค), (ง) ไข่น้ำเป็นส่วนประกอบในการปรุงอาหาร [3]

เนื่องจากหาได้ง่ายตามแหล่งน้ำทางธรรมชาติ ไข่น้ำ เป็นพืชไม่มีราก มีลักษณะลำต้นเป็นก้อนกลม สีเขียวขนาดเล็ก ขนาดประมาณ 2 มิลลิเมตร เหมาะสำหรับเป็นอาหารทางเลือกสำหรับผู้ที่ต้องการโปรตีน อย่างเช่นกลุ่มผู้สูงอายุหรือกลุ่มผู้ที่ร่างกายไม่สามารถย่อยโปรตีนจากเนื้อสัตว์ ในประเทศไทยไข่น้ำสามารถเจริญเติบโตตามแหล่งน้ำธรรมชาติ มีคุณค่าทางโภชนาการสูง โดยไข่น้ำ 100 กรัม ให้พลังงาน 9 กิโลแคลอรี [2] [3] การจะนำมารับประทานให้ถูกสุขอนามัยก็สำคัญเช่นกัน บางคนเห็น

ไข่น้ำแล้วรังเกียจ ไม่กล้ารับประทาน เนื่องจากมีสีเขียวคล้ายตะไคร่น้ำ เมื่อนำไปทำอาหารแล้ว สีก็ยังไม่เปลี่ยน เช่น แกงคั่วผำ ไข่เจียวผำ เป็นต้น

ปัจจุบัน ไข่น้ำ เริ่มหายากในสภาพธรรมชาติ และผู้บริโภคไม่กล้ารับประทานด้วยเกรงว่าผำที่ได้จากแหล่งน้ำธรรมชาติไม่สะอาด เนื่องจากน้ำในธรรมชาติมีความสกปรกน่าเสียเพิ่มขึ้น อาจมีสารพิษ เชื้อโรคหรือไซยาไนด์ปนเปื้อน แม้จะมีการเพาะเลี้ยงกันบ้างแต่ก็ยังมีปริมาณน้อย การแปรรูปไข่น้ำหรือผำ จึงเป็นอีกทางเลือก

หนึ่งนี้อาจส่งเสริมให้มีการผลิตและการบริโภคไข่ไก่ ซึ่งมีคุณค่าทางอาหารสูงให้มากยิ่งขึ้น การถนอมและแปรรูปอาหารเป็นการกำจัด ยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์และสารพิษที่จุลินทรีย์สร้างขึ้น ทำให้อาหารสามารถเก็บรักษาได้นาน ลดปัญหาผลผลิตล้นตลาด การขาดแคลนอาหาร

มีอาหารบริโภคนอกฤดูกาล และสะดวกในการขนส่ง นอกจากนี้ยังทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ตามความต้องการของผู้บริโภคและเพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ [4]

ทั้งนี้คณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะแปรรูปไข่ไก่ โดยการทำให้เป็นแผ่นอบแห้งและปรุงรส โดยได้ทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งไข่ไก่แผ่น และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไข่ไก่แผ่นอบกรอบปรุงรส และมีการบูรณาการเข้ากับการเรียนการสอนในชั้นเรียนในรายวิชานวัตกรรมและเทคโนโลยี ให้นักศึกษาได้ฝึกคิด ฝึกทำจริง มีการประยุกต์กระบวนการสร้างนวัตกรรมไปใช้ในงานวิจัย และสร้างผลงานที่เป็นประโยชน์ต่อชุมชนให้สามารถนำไปต่อยอดได้

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การแปรรูปอาหาร (food processing) เป็นกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงสภาพของวัตถุดิบ ให้เป็นผลิตภัณฑ์อาหารอยู่ในสภาพที่เหมาะสม สะอาด และปลอดภัยต่อการบริโภค เป็นการถนอมอาหาร เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ใหม่ที่มีความหลากหลาย เพิ่มทางเลือก และเพิ่มมูลค่าให้กับวัตถุดิบ [5] ด้วยการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพทั้งในด้านสี กลิ่น รส เนื้อสัมผัส และยังคงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไว้ ป้องกันการเจริญของจุลินทรีย์ ไม่ให้อาหารเกิดการเน่าเสีย ด้วยการลดปริมาณความชื้นของผลิตภัณฑ์ และช่วยชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของอาหาร จากปฏิกิริยาต่าง ๆ เช่น การเหม็นหืน การเกิดสีน้ำตาล เป็นต้น [6] ซึ่งวิธีที่ง่ายและเป็นที่ยอมรับในการแปรรูปอาหาร คือ การทำให้แห้งด้วยความร้อนซึ่งบรรจุในภาชนะปิดสนิท เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาและรักษาคุณภาพของอาหารไว้ได้

ในการวิจัยครั้งนี้คณะผู้วิจัยได้ศึกษาการแปรรูปไข่ไก่ซึ่งเป็นพืชที่มีปริมาณโปรตีนสูงในท้องถิ่นสามารถนำมา

ประกอบอาหารคาวและอาหารหวานได้ ให้กลายเป็นไข่ไก่แผ่นอบกรอบปรุงรสซึ่งเป็นอีกหนึ่งอาหารทางเลือก และเพิ่มมูลค่าให้เป็นผลิตภัณฑ์ไข่ไก่ โดยการศึกษาการหาวิธีการที่เหมาะสมต่อการอบแห้งไข่ไก่แผ่น หลังจากนั้นทำการปรุงรสไข่ไก่แผ่นและทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ไข่ไก่แผ่นอบกรอบปรุงรส

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การเตรียมไข่ไก่แผ่น 1) นำไข่ไก่มาล้างทำความสะอาด ทำให้สะอาด น้ำ และล้างให้แห้ง 2) นำไข่ไก่ไปลวกในน้ำเกลือ (โซเดียมคลอไรด์, NaCl) ความเข้มข้น 3 ระดับ คือ 0%, 1%, และ 2% ของน้ำหนักต่อปริมาตร [7] เป็นเวลา 5 นาที โดยได้ทำการควบคุมอุณหภูมิน้ำเดือดให้มากกว่า 90 องศาเซลเซียส และใช้ไข่ไก่ที่ไม่ได้ผ่านการลวกในน้ำเกลือเป็นชุดควบคุม เมื่อลวกไข่ไก่ในน้ำเกลือที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ แล้วให้นำไข่ไก่มาแช่ในน้ำเย็นทันที หลังจากนั้น 3) นำไปปั่นให้ละเอียดรวมกับแป้งเปียก ซึ่งมีส่วนผสมของแป้งมันสำปะหลังกับแป้งข้าวเหนียว (อัตราส่วน 3:1) จำนวน 5 กรัม ผสมในน้ำ 100 กรัม เทลงบนกระดาษรองอบหนาพิเศษ โดยเกลี่ยให้หนาประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนภายใต้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง [8] เพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีความชื้นมาตรฐานเปียกไม่เกินร้อยละ 12 และทำการวิเคราะห์คุณภาพไข่ไก่แผ่น ดังนี้ ด้านปริมาณความชื้นของไข่ไก่แผ่นใช้วิธีตาม AOAC, 2000 [9] และวัดค่าสีของไข่ไก่แผ่น ($L^* a^*$ และ b^*) โดยใช้เครื่องวัดสีแบบสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ 3nh รุ่น NS820 สำหรับข้อ 1-3 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ หลังจากนั้นคัดเลือกไข่ไก่แผ่นที่เหมาะสมทำการปรุงรสด้วยผงปรุงรสรสต้นตำรับ รสบาร์บีคิว และรสต้มยำ ในสัดส่วนปริมาณที่เท่ากันคือ ผงปรุงรส 30 กรัม ต่อไข่ไก่แผ่น 500 กรัม และทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ไข่ไก่แผ่นอบกรอบปรุงรส ด้วยแบบทดสอบ 5 - point hedonic scale (1=น้อยที่สุด, 2=น้อย, 3=ปานกลาง, 4=มาก, 5=มากที่สุด) จากผู้ทดสอบชิมซึ่งเป็น

นักศึกษาอายุ 18-20 ปี จำนวน 30 คน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลของการลวกไข่น้ำในน้ำเกลือ ต่อคุณภาพของไข่น้ำแผ่น จากการทดลองลวกไข่น้ำในน้ำเกลือที่ความเข้มข้น 0%, 1% และ 2% ของน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 5 นาที โดยได้ทำการควบคุมอุณหภูมิ น้ำเดือดให้มากกว่า 90 องศาเซลเซียส และทำให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบในตู้อบลมร้อนภายใต้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ได้ลักษณะไข่น้ำแผ่นอบกรอบ ดังรูปที่ 2 (ก) ทำการตรวจวัดค่าสีและค่าความชื้นของไข่น้ำแผ่น แล้ววิเคราะห์ผลเพื่อหาสภาวะการลวกที่เหมาะสม สำหรับใช้ในกระบวนการผลิตไข่น้ำแผ่นอบกรอบ แสดงผลดังตารางที่ 1 พบว่าค่าสีของไข่น้ำ 4 ชุดการทดลอง ให้ผลค่าความสว่าง (L*) ค่าสีแดง (a*) และค่าสีเหลือง (b*) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ส่วนค่าความสว่าง (L*) ของไข่น้ำที่ผ่านการลวกที่ความเข้มข้นของน้ำเกลือต่าง ๆ กัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ และเมื่อพิจารณาค่า

ความชื้นของความเข้มข้นน้ำเกลือ 1 % จะมีค่าใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ไม่ผ่านการลวกในน้ำเกลือมากที่สุด คือมีค่าร้อยละของความชื้นเท่ากับ 8.04 ซึ่งมีความชื้นมาตรฐานเปียกไม่เกินร้อยละ 12 จึงได้พิจารณาหาสภาวะการลวกและได้คัดเลือกสภาวะการลวกที่ใช้ความเข้มข้นน้ำเกลือ 1 % และใช้เวลาลวกนาน 5 นาที ทั้งนี้การลวกในน้ำเกลือจะช่วยยับยั้งการกิจกรรมของเอนไซม์เปอร์ออกซิเดสของไข่น้ำลงได้

4.2 ผลการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อไข่น้ำ

แผ่นอบกรอบปรุงรส หลังจากการทดสอบผลของการลวกและขึ้นรูปไข่น้ำแผ่นอบกรอบแล้วทำการปรุงรสด้วยผงปรุงรส รสต้นตำรับ (ไม่ปรุงรส) รสบาร์บีคิว และรสต้มยำ ในสัดส่วนปริมาณที่เท่ากัน ได้ลักษณะดังรูปที่ 2 (ข) ผลทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ไข่น้ำแผ่นอบกรอบปรุงรส พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ มีค่าเฉลี่ยคุณภาพทางประสาทสัมผัสเท่ากับ 3.21, 3.27, และ 3.29 ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับปานกลาง

ตารางที่ 1 คุณภาพทางด้านกายภาพ ค่าความชื้น และค่าสี ของไข่น้ำที่ลวกในน้ำเกลือความเข้มข้นต่าง ๆ

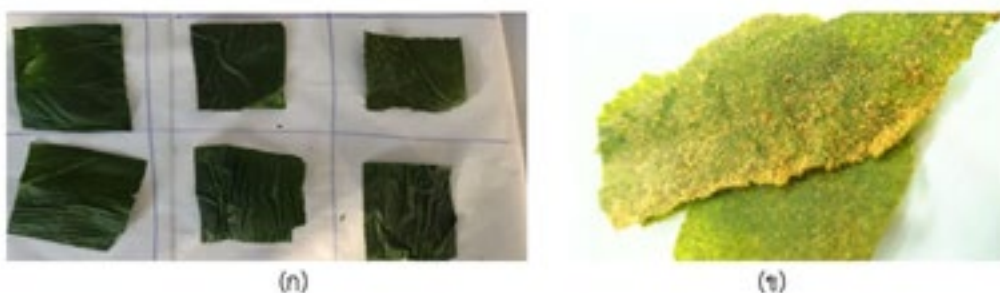
ความเข้มข้นของน้ำเกลือ (%)	ความชื้น (%)	ค่าสี		
		L*	a*	b*
ชุดควบคุม (ไม่ลวก)	7.55 ± 0.48 ^d	46.17 ± 1.41 ^a	0.43 ± 0.60 ^a	22.90 ± 0.93 ^a
0	8.35 ± 0.90 ^b	35.78 ± 1.28 ^b	-7.94 ± 0.49 ^b	15.43 ± 1.18 ^b
1	8.04 ± 0.58 ^c	34.22 ± 2.01 ^b	-6.11 ± 1.23 ^c	13.01 ± 2.81 ^c
2	8.73 ± 0.51 ^a	35.72 ± 2.23 ^b	-4.07 ± 0.94 ^d	12.42 ± 1.95 ^c

หมายเหตุ: ตัวอักษรในแนวตั้งที่ต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลทดสอบทางประสาทสัมผัสของไข่น้ำแผ่นที่ผ่านการอบกรอบ และปรุงรสต่าง ๆ กัน

ผลิตภัณฑ์ไข่น้ำแผ่นอบกรอบปรุงรส	คุณลักษณะที่ทดสอบ					ค่าเฉลี่ย
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัสในปาก	ความชอบโดยรวม	
รสต้นตำรับ (ไม่ปรุงรส) ^{ns}	3.33 ± 0.48	3.27 ± 0.58	3.17 ± 0.38	3.03 ± 0.18	3.23 ± 0.43	3.21 ± 0.44
รสบาร์บีคิว ^{ns}	3.33 ± 0.48	3.33 ± 0.55	3.10 ± 0.30	3.30 ± 0.47	3.30 ± 0.47	3.27 ± 0.46
รสต้มยำ ^{ns}	3.53 ± 0.51	3.43 ± 0.50	3.27 ± 0.45	3.00 ± 0.26	3.23 ± 0.43	3.29 ± 0.47

หมายเหตุ: ns หมายถึง ตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$)



รูปที่ 2 ลักษณะของใข้กล้วยน้ำ (ก) ใข้กล้วยน้ำแผ่นหลังอบแห้ง (ข) ใข้กล้วยน้ำแผ่นอบกรอบปรุงรส

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ใข้กล้วยน้ำแผ่นอบกรอบปรุงรสสามารถเตรียมโดยใช้วิธีการลวกด้วยน้ำเกลือความเข้มข้น 1 % และใช้เวลาลวกนาน 5 นาที หลังจากนั้นสกรีนให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 2 มิลลิเมตร อบในตู้อบลมร้อนภายใต้สภาวะการอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 4 ชั่วโมง จะได้ใข้กล้วยน้ำแผ่นสีเขียว ผลการวิเคราะห์ค่าสีด้วยเครื่องวัดสีอาหาร ในค่าของตัวแปร L^* , a^* และ b^* เท่ากับ 34.22, -6.11 และ 13.01 ตามลำดับ และค่าร้อยละของความชื้นเท่ากับ 8.04 ซึ่งมีความชื้นมาตรฐานเปียกไม่เกินร้อยละ 12 ผลทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อคุณลักษณะด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมต่อผลิตภัณฑ์ ใข้กล้วยน้ำแผ่นอบกรอบปรุงรส มีค่าอยู่ในระดับปานกลาง แสดงให้เห็นว่าสามารถนำใข้กล้วยน้ำมาทำเป็นแผ่นอบกรอบปรุงรสได้

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ เนื่องจาก ได้รับการสนับสนุนด้านงบประมาณจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณมาไว้ ณ ที่นี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สามารถ ใจเตี้ย. (2558). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการบริโภคอาหารพื้นบ้านของผู้สูงอายุในเขต

เมือง. วารสารวิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนี กรุงเทพมหานคร, 31(2), 1-8.

- [2] กรมอนามัย สำนักโภชนาการ. (2544). ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. สืบค้น 15 มีนาคม 2564, จาก http://nutrition.anamai.moph.go.th/images/files/nutritive_values_of_thai_foods.pdf
- [3] พิษเกษตร. (2559). ผ่า/ไข่ผ่า ประโยชน์ และสรรพคุณ ไข่ผ่า. สืบค้น 15 มีนาคม 2564, จาก <https://puechkaset.com/ไข่ผ่า/>
- [4] จันทน์ ธีรเวชเจริญชัย. (2560). การพัฒนาการถนอมและแปรรูปอาหารสุไทยแลนด์ 4.0. วารสารร่วมพฤษ มหาวิทยาลัยเกริก, 35(1), 56-70.
- [5] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนานนท์. (2554). วิชาการแปรรูปอาหาร. สืบค้น 15 มีนาคม 2564, จาก <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/3184/2011-food-processing-2011-วิชาการแปรรูปอาหาร>
- [6] ภัฏญานันท์ อุดรชน, กานต์พิชชา ซื่อหมื่อ, บุษบา มะโนแสน, สุภาวดี ศรีแย้ม และจิรัชต์ กันทะขู้. (2555). การศึกษาการแปรรูปน้ำพริกมะกอกป่าอบแห้ง. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., 35(1) (พิเศษ), 65-73.

- [7] บุญยกฤต รัตนพันธุ์, วชิระ สิงห์คง, เอนก หาลี และ
สุจิตตรา เทียงสันเทียะ. (2555). ผลของการ
ลวกดอกขี้เหล็กในน้ำเกลือต่อคุณภาพชาจาก
ดอกขี้เหล็ก. *RMUTP Research Journal*,
6(1), 81-87.
- [8] งาม แยมแสงสังข์ และอรภรณ์ บัวหลวง. (2550). *การ
อบแห้งสาหร่ายเกลียวทองระดับอุตสาหกรรม
ขนาดเล็ก* (รายงานผลการวิจัย). สงขลา:
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [9] AOAC, 2000, Official Method of Analysis of
AOAC international, Association of
Official Analytical Chemists, 17th ed. ,
Washington, DC.
- [10] วิลาสินี ดีปัญญา. (2555). *การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไข่น้ำ
(รายงานผลการวิจัย)*. เพชรบูรณ์: มหาวิทยาลัย
ราชภัฏเพชรบูรณ์.
- [11] เกริกชัย ชีระปฏิยุทธ์. (2552). *นวัตกรรมผลิตภัณฑ์
ผงผักปรุงรสโรยข้าวแคลเซียมสูงจากไข่น้ำ
(วอลฟี่เพีย กลอโบซ่า)* (รายงานผลการวิจัย).
กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เครื่องคัดแยกพริกสดด้วยการประมวลผลภาพ The Chili Sorting Machine Using Image Processing

อนุสรณ์ ยอดใจเพชร และ ณัฐพล อุ่นยั้ง
Anusorn Yodjaiphet and Natthpon Ounyoung

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนา เชียงราย 99 หมู่ 10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120
Rajamangala University of Technology Lanna Chiangrai : 99 Sai Khao, Pan, Chiang Rai, Thailand, 57120
Anusorn@rmut.ac.th, (+66) 866653086

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีส่งผลให้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กมีราคาถูกลงและสามารถหาซื้อได้ง่ายขึ้น อีกทั้งชุดคำสั่งสำหรับการพัฒนาการประมวลผลภาพที่เป็นซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์ซมีให้เลือกหลากหลายภาษา ดังนั้นการจะพัฒนาเครื่องจักรที่มีความสามารถนำการประมวลผลภาพที่ไม่ซับซ้อนขึ้นมาใช้งานจึงมีความเป็นไปได้ในปัจจุบัน งานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพที่มีหลากหลายในปัจจุบันมาสร้างเป็นเครื่องคัดแยกเม็ดพริกด้วยวิธีการจำแนกสี โดยเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถช่วยแก้ปัญหาให้แก่เกษตรกรในการลดค่าใช้จ่ายสำหรับการจ้างคนงานมาคัดแยกเม็ดพริก คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลผลจะใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ซื้อบอร์ดราคาเสิร์ฟาย การออกแบบโครงสร้างตัวเครื่องได้ออกแบบให้ใช้วัสดุที่ราคาสมเหตุสมผลและสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศไทย ผลจากการทดลองทำงานของเครื่องจักรคัดแยกเม็ดพริกที่อยู่บนสายพานลำเลียงให้ค่าผลความถูกต้องในการคัดแยกพริกเขียวและแดงประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์และใช้เวลาประมาณ 1 วินาทีต่อพริก 1 เม็ด แต่เนื่องข้อจำกัดทางกลไกส่งผลให้ค่าความถูกต้องในการคัดแยกลดลงเหลืออยู่ที่ 93 เปอร์เซ็นต์และใช้เวลาเพิ่มขึ้นประมาณ 2.5 วินาทีต่อการคัดแยกพริก 1 เม็ด

คำสำคัญ: การประมวลผลภาพ, โมเดลสี เฮสเอสวี, ภาษาไพทอน, โอเพนซีวี, เครื่องจักรอัตโนมัติ

Abstract

Currently, the advances in technology made the computer smaller, cheaper, and available in the Thailand market. The open-source software for image processing is available in a variety of languages. Therefore, it is possible to develop machines that apply simple image processing. This research is an example that applies image processing technologies to create a chili sorting machine using image processing. The developed machine can help farmers reduce the cost of hiring workers to sort the green chili. The developed machine uses the open-source instruction-set in python language for image processing. The computer used for processing is called a Raspberry Pi which is a small computer. The sorting machine is designed by using materials that have a reasonable price and can be purchased in Thailand. The accuracy of the color classifier experiment is approximately 95 percent and the processing time is approximately 1 second per chili. However, due to the mechanical limitation, the accuracy of the full process slightly decreased to 93 percent, and the processing time was 2.5 seconds per chili.

Keywords: Digital image processing, HSV color model, Python programming, OpenCV, Automation machine

1. บทนำ

ในปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีส่งผลให้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กมีราคาถูกและสามารถหาซื้อได้ง่ายขึ้น อีกทั้งชุดคำสั่งสำหรับการพัฒนาการประมวลผลภาพที่เป็นซอฟต์แวร์แบบโอเพนซอร์ซมีให้เลือกหลากหลายภาษา ดังนั้นการจะพัฒนาเครื่องจักรที่มีความสามารถในการประมวลผลภาพที่ไม่ซับซ้อนขึ้นมาใช้งานจึงเป็นไปได้ในปัจจุบัน งานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างของการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีการประมวลผลภาพที่มีหลากหลายในปัจจุบันมาสร้างเป็นเครื่องคัดแยกเมล็ดพริกด้วยวิธีการจำแนกสี โดยเครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถช่วยแก้ปัญหาให้แก่เกษตรกรในการลดค่าใช้จ่ายสำหรับการจ้างคนงานมาคัดแยกเมล็ดพริก ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดพริกหนุ่มสีเขียวมีราคาสูงและเป็นพริกที่ตลาดต้องการ ส่วนพริกสีแดงนั้นราคาจะถูกเพราะสภาพอากาศประเทศไทยเป็นเมืองร้อนทำให้พริกสีแดงนั้นเน่าเสียได้เร็ว เกษตรกรจึงจำเป็นต้องคัดแยกพริกก่อนส่งออกขาย เครื่องจักรที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้การประมวลผลภาพด้วยชุดคำสั่งโอเพนซอร์ซที่เป็นโอเพนซอร์ซที่พัฒนาด้วยภาษาไพธอน คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมวลผลจะใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ซื้อบอร์ดราสเบอร์รี่พาย เนื่องจากรุ่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีชิพที่มีประสิทธิภาพสูง, มีหน่วยความจำที่เพียงพอต่อการประมวลผลภาพ และ ทำงานบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ การออกแบบโครงสร้างตัวเครื่องได้ออกแบบให้ใช้วัสดุที่ราคาสมเหตุสมผลและสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศไทย

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การประมวลผลภาพ (Image processing)

การประมวลผลภาพวัตถุประสงค์ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนหรือคัดเลือกวัตถุที่สนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่ได้ไปวิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางการเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นจึงสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์และพัฒนาเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบว่าภาพ

ลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบอ่านรหัสไปรษณีย์อัตโนมัติ เพื่อคัดแยกปลายทางของจดหมายที่มีจำนวนมากในแต่ละวันโดยใช้ภาพถ่ายของรหัสไปรษณีย์ที่อยู่บนซอง ระบบเก็บข้อมูลรถที่เข้าและออกอาคารโดยใช้ภาพถ่ายของป้ายทะเบียนรถเพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย ระบบดูแลและตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนนโดยการนับจำนวนรถบนท้องถนนในภาพถ่ายด้วยกล้องวงจรปิดในแต่ละช่วงเวลา ระบบจำใบหน้าเพื่อเฝ้าระวังผู้ก่อการร้ายในอาคารสถานที่สำคัญ ๆ หรือระบบคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร เป็นต้น จะพบว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้ หากให้มนุษย์วิเคราะห์เองมักต้องใช้เวลาและใช้แรงงานสูง อีกทั้งหากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นจำนวนมาก ผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดอาการล้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์

2.2 แบบจำลองสีอาจีบี (RGB Color model)

เป็นแบบจำลองที่เฉพาะเจาะจงกับจอภาพคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอาจีบี (RGB) ได้ทำการสร้างสีต่างๆ ขึ้นโดยการใช้แหล่งกำเนิดแสงจำนวนสามสี ได้แก่ สีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) ที่เกิดการเรืองแสงที่มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามลำดับ ซึ่งแสงทั้งสามสีจะไม่เท่ากันในแต่ละอุปกรณ์ นอกเสียจากว่ามีคุณสมบัติของสารเรืองแสงและการตั้งค่าจอภาพ และสภาพแวดล้อมที่จอภาพคอมพิวเตอร์เหมือนกันทุกประการ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีค่าที่แตกต่างกันออกไปตามรูปที่ 1 (2564)



รูปที่ 1 แบบจำลองสีอาจีบี

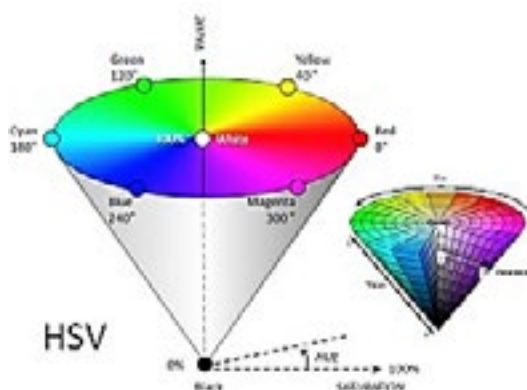
2.3 แบบจำลองสีเอชเอสวี (HSV)

เป็นแบบจำลองสีที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อเป็นทางเลือก โดยแบบจำลองสีเอชเอสวีแสดงไว้ในรูปที่ 2 จะให้ความหมายที่ตึกว่าเมื่อกล่าวถึง สีต่าง ๆ ในเชิงศิลปะ เช่น เมื่อพูดถึงสีเหลืองในทางศิลปะจะมีความแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาสีเหลืองอ่อน สีเหลืองแก่ หรือสีน้ำตาลว่ามีความแตกต่างกันอย่างไร จะพบว่าทุกสี คือสีเหลืองนั่นเอง ที่มีระดับความเข้มหรือมีความอิ่มตัวที่แตกต่างกัน ดังนั้นสีในแบบจำลองสีเอชเอสวี จึงให้ความรู้สึกที่เข้าใจได้มากกว่า สำหรับมนุษย์ซึ่งจำลองสีเอชเอสวี ประกอบด้วยสามส่วนคือ

H หมายถึง Hue หรือสีที่มีค่าที่แตกต่างกันออกไปตามความถี่ของแสง เช่น แดง เหลือง เขียว น้ำเงิน หรือม่วง เป็นต้น

S หมายถึง Saturation หรือความอิ่มตัวของ Hue นั้น ๆ เช่น สีแดง และสีชมพูคือสีแดงเพียงแต่สีชมพูมีความอิ่มตัวน้อยกว่า

V หมายถึง Value หรือค่าความสว่างของสี โดยที่ค่า Value ต่ำสุดหมายถึง สีดำ ไม่ว่าจะ Hue หรือ Saturation เท่าใด และค่า Value สูงสุดหมายถึง สีขาว ซึ่งเป็นสีที่สว่างที่สุดของ Hue และ Saturation นั้น ๆ เช่น Hue ใด ๆ มีค่า Saturation มีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ Value สูงที่สุดคือสีเหลืองและ Value ต่ำสุดคือสีดำ (2564)



รูปที่ 2 แบบจำลองสีเอชเอสวี

ระบบสีเอชเอสวีเป็นการพิจารณาสีโดยใช้ Hue, Saturation และ Value ซึ่ง Hue คือค่าสีของสีหลัก (แดง

เขียวและน้ำเงิน)ในทางปฏิบัติจะอยู่ระหว่าง 0 และ 255 ซึ่งถ้า Hue มีค่าเท่ากับ 0 จะแทนสีแดงและเมื่อ Hue มีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ สีก็จะเปลี่ยนแปลงไปตามสเปกตรัมของสีจนถึง 256 จึงจะกลับมาเป็นสีแดงอีกครั้ง ซึ่งสามารถแทนให้อยู่ในรูปขององศาได้ ดังนี้คือ สีแดง = 0 องศา สีเขียวเท่ากับ 120 องศา สีน้ำเงินเท่ากับ 240 องศา

2.4 ชุดคำสั่งโอเพนซีวี (OpenCV Library)

โอเพนซีวี (OpenCV) มาจากคำว่า Open Source Computer Vision เป็น ชุดคำสั่งไลบรารี (Library) ที่รวบรวมฟังก์ชันต่างๆสำหรับการประมวลผลภาพและคอมพิวเตอร์วิทัศน์ศาสตร์เอาไว้เป็นจำนวนมาก ไลบรารีนี้อยู่ภายใต้ใบอนุญาต BSD ซึ่งสามารถนำไปใช้พัฒนาโปรแกรมได้ฟรีทั้งทางด้านการศึกษาและทางการค้า นอกจากนี้ โอเพนซีวี ยังมีอินเตอร์เฟซที่หลากหลายรองรับการพัฒนาโปรแกรมบนภาษาโปรแกรมต่างๆ เช่น C/C++, Python, Java เป็นต้น และ โอเพนซีวี อีกทั้งยังสามารถรันได้ทั้งบน Window, Linux, Android, และ Mac (2564)

2.5 คอมพิวเตอร์ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi Computer)

ราสเบอร์รี่พาย (Raspberry Pi) ถูกพัฒนาขึ้นในปี 2549 ที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ ประเทศอังกฤษ โดยผู้พัฒนาสี่คนคือ อีเบน ฮัตตัน, ร็อบ มุลลินส์, แจ็ค แลง และ อลัน มายครอปท์ มีจุดมุ่งหมายที่จะให้ราสเบอร์รี่พายเป็นคอมพิวเตอร์ราคาย่อมเยา และสามารถศึกษาการทำงานของคอมพิวเตอร์พร้อมทั้งเขียนโปรแกรมได้ง่ายๆ ได้ทันที (2564)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้บอร์ด Raspberry Pi 3 ที่มีคุณสมบัติที่สำคัญของได้แก่ ซีพียู Quad-core 1.2 GHz ARM Cortex-A53 แบบ 64 bits, จีพียู Broadcom VideoCore IV และหน่วยความจำ LPDDR2-900 SDRAM ขนาด 1 GB

2.6 การประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อการตรวจสอบ

การประยุกต์ใช้งานการประมวลผลภาพเพื่อการตรวจสอบที่ผลทางการเกษตรนั้นได้ถูกพัฒนาไปใช้ในพืชหลายชนิดและหลายกระบวนการ อันได้แก่ สุรชาติ และ

คณะ (2559) ได้พัฒนาการจำแนกประเภทเมล็ดข้าวขาว ด้วยการประมวลผลภาพ, นพรุจ พัฒนสาร (2563) พัฒนาการประมวลผลภาพสำหรับการจำแนกคุณภาพมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์โดยการจำลองการมองเห็นของมนุษย์ด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก และ เสกสรร วินยางค์กุล (2563) พัฒนาการวัดระดับความเข้มของสีเมล็ดกาแฟ โดยการใช้การประมวลผลภาพแบบฮิสโทแกรม สำหรับการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ดกาแฟ เป็นต้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

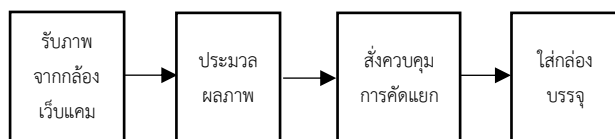
งานวิจัยนี้จะแบ่งการออกแบบเครื่องเป็นสองส่วน คือ การออกแบบทางฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ โดยมีลำดับการออกแบบดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบทางฮาร์ดแวร์

เริ่มทำการออกแบบแนวคิดและโครงสร้างของเครื่องจักรคัดแยกพริกหนุ่มด้วยวิธีการจำแนกสีจากการประมวลผลภาพด้วยโปรแกรมสามมิติ ทำให้ได้โครงสร้างหลักๆ ออกมาได้ดังรูปที่ 3

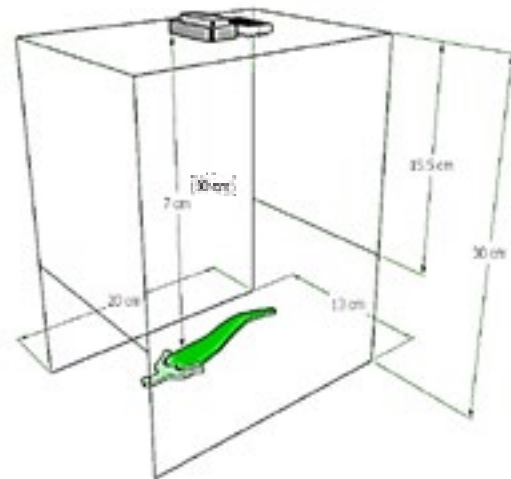


รูปที่ 3 แบบจำลองเครื่องจักรคัดแยกพริกหนุ่ม



รูปที่ 4 ลำดับการทำงานของเครื่องจักรคัดแยกพริกหนุ่ม

การรับภาพจากกล้องจะมีโครงสร้างการจัดวางกล้องดังแสดงไว้ในรูปที่ 5 โดยติดตั้งกล้องเว็บแคม Logitech รุ่น C170 มีความละเอียดการจับภาพ วิดีโอ 1024 x 768 พิกเซล สายพานที่ใช้ลำเลียงพริกกว้าง 13 cm ตัวโครงสร้างยาว 20 cm และสูง 30 cm โดยโครงสร้างที่วางกล้องจะวางครอบบนสายพาน จัดโครงสร้างให้ภายในมีแสงรบกวนจากภายนอกน้อยที่สุด และเพื่อให้กล้องรับภาพได้ต้องมีแหล่งกำเนิดแสงภายในโครงสร้าง ซึ่งได้เตรียมเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้หลอดแอลอีดีสีขาว จำนวน 25 หลอดเป็นแหล่งกำเนิดแสง ดังแสดงวงจรไว้ในรูปที่ 6



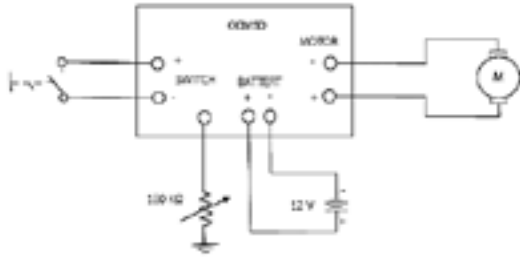
รูปที่ 5 โครงสร้างการจัดวางกล้อง



รูปที่ 6 วงจรแหล่งกำเนิดแสง

ในการลำเลียงพริกบนสายพานจะควบคุมความเร็วสายพานด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ CCM5D ที่เป็นวงจรควบคุมความเร็วของสายพานแบบสำเร็จรูป ใช้แหล่งพลังงานจากไฟตรง 12V มีสวิตช์เปิด-ปิด และสามารถปรับความเร็วได้

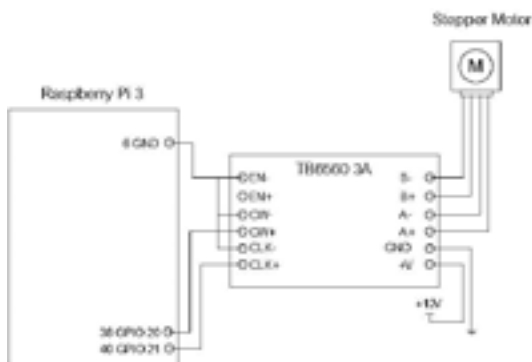
0-100% วงจรการต่อใช้งานโมดูล CCM5D จะแสดงไว้ในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การต่อวงจรควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียง

เมื่อพริกบนสายพานเคลื่อนผ่านกล้องระบบประมวลผลภาพจะประมวลผลว่าเป็นพริกชนิดใดและจะสั่งงานให้ส่วนควบคุมการตัดแยกพริกปิดพริกที่ต้องการลงกล้องบรรจุต่อไป

วงจรส่วนสั่งควบคุมการตัดแยกพริกออกแบบให้มีก้านปิดติดกับสแต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยวงจรควบคุมสแต็ปเปอร์มอเตอร์ประยุกต์ใช้โมดูลขับสแต็ปเปอร์ที่มีไอซีเบอร์ TB6560 เป็นตัวขับกระแส สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เข้ากับตัวสแต็ปเปอร์ได้หลากหลายรุ่น การควบคุมการหมุนของสแต็ปเปอร์มอเตอร์จะใช้สัญญาณจากขา GPIO 20 และ 21 ของบอร์ดราสเบอร์รี่พาย 3 เป็นตัวควบคุมดังแสดงในรูปที่ 8



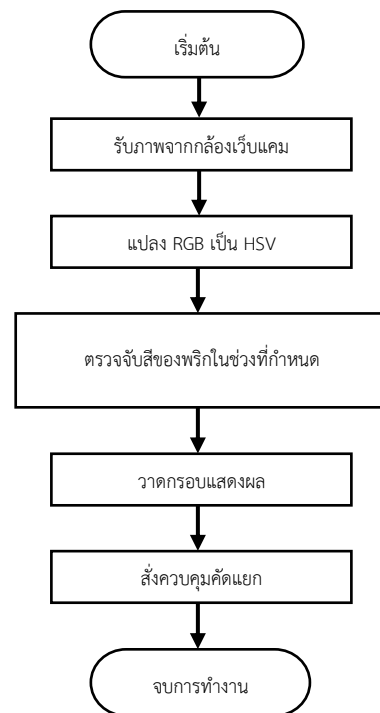
รูปที่ 8 วงจรขับสแต็ปเปอร์มอเตอร์

3.2 การออกแบบทางซอฟต์แวร์

ลำดับของการทำงานของเครื่องคัดแยกพริกจะเป็นไปตามโฟรชาตที่แสดงไว้ในรูปที่ 9 โดยมีลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมดังนี้

โปรแกรมจะเริ่มจากรับภาพจากกล้องเว็บแคม โดยประยุกต์ใช้ชุดคำสั่งของ OpenCV ในการรับภาพของช่องทางรับเข้าของคอมพิวเตอร์ ในงานนี้ได้ใช้กล้องเว็บแคม Logitech รุ่น C170 ปรับให้ลดความละเอียดของภาพ วิดีโอที่รับเข้ามาเหลือ 640 x 480 พิกเซล เนื่องจากการประมวลผลภาพนี้ไม่ต้องการรายละเอียดของรูปมาก อีกทั้งยังเพื่อลดการประมวลผลของซีพียูลงอีกด้วย

จากนั้นทำการแปลงภาพจาก RGB เป็น HSV เนื่องจากพริกที่ใช้ในการตรวจสอบนั้นสีของพริกมีความเหลื่อมล้ำกันโดยบางเม็ดสีเขียวเข้มและบางเม็ดสีเขียวอ่อน ซึ่งค่าสีของเม็ดที่เป็นเขียวอ่อนนี้เมื่อกระทบแสงสีขาวส่งผลให้ได้ค่าสีที่ใกล้เคียงกับสีแดงทำให้การคัดแยกเม็ดพริกผิดพลาด ดังนั้นเพื่อเป็นกรแก้ปัญหาจึงได้ปรับข้อมูลของภาพจาก RGB เป็น HSV เพื่อให้ค่าของสีของเม็ดพริกแยกกันได้อย่างชัดเจนแม้ว่าจะโดนผลกระทบจากแสงสีขาวหรือแสงจากภายนอกมารบกวน



รูปที่ 9 อัลกอริทึมตรวจสอบสี

เมื่อแปลงภาพเป็น HSV ก็เข้าส่วนของการตรวจจับสีของพริกในช่วงที่กำหนดเพื่อแยกว่าเป็นพริกสีเขียวหรือสีแดง และเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบการทำงานได้ จึงได้พัฒนาส่วนของการแสดงผลขึ้นมาให้มีการติกรอบเพื่อแสดงให้เห็นว่าพริกสีอะไรบนจอภาพหากเครื่องได้ต่อจอมอนิเตอร์เข้ากับบอร์ดราสเบอร์รี่พาย และสุดท้ายคือสิ่งควบคุมการคัดแยกพริกโดยโปรแกรมจะเป็นตัวสั่งงานบอร์ดขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์โดยตรงผ่านขา GPIO 20 และ 21 เพื่อแยกพริกเขียวลงกล่องบรรจุ

4. ผลการวิจัย

ผลการออกแบบและสร้าง ทางด้านฮาร์ดแวร์ได้เครื่องต้นแบบเหมือนที่ออกแบบไว้ดังแสดงในรูปที่ 10 ตัวเครื่องที่พัฒนาขึ้นมาจะยังไม่มีส่วนของการโหลดเม็ดพริกเข้าสายพานจะมีเฉพาะส่วนของการคัดแยกเท่านั้น

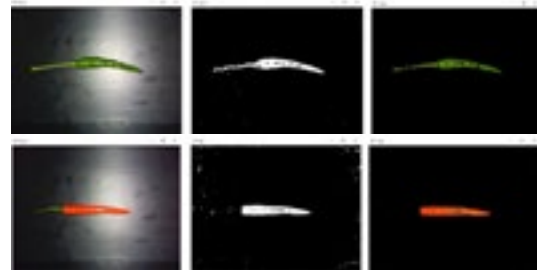
ผลการทำงานของเครื่องจักรคัดแยกพริกจะแยกผลการทำงานออกเป็น 1. ผลการทำงานโปรแกรมการประมวลผลสีเม็ดพริก 2. ผลทำงานโปรแกรมคัดแยกเม็ด และ 3. ผลการควบคุมการปิดเพื่อแยกเม็ดพริกด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ โดยผลการทำงานในแต่ละส่วนได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 10 เครื่องคัดแยกพริกด้วยวิธีการจำแนกสีจากการประมวลผลภาพ

4.1 ผลการทำงานโปรแกรมการประมวลผลสีเม็ดพริก

จากการปรับภาพ RGB เป็น HSV นั้น ส่งผลให้สามารถแยกสีออกจากกันได้ชัดเจน พร้อมทั้งแสงสีขาวจากพื้นหลังก็ไม่ส่งผลต่อการแยกสี จากรูปที่ 11 พริกเม็ดสีแดงพบว่าในส่วนของขั้วพริกที่เป็นสีเขียวนั้นได้ถูกแยกออกไปและเหลือแค่ส่วนที่ต้องวิเคราะห์คือตัวเม็ดพริกเท่านั้น



รูปที่ 11 ตรวจจับสีพริกสีเขียวและพริกแดง

4.2 ผลทำงานโปรแกรมคัดแยกเม็ด

วิธีการคัดแยกเม็ดพริกจะใช้หลักการง่ายๆคือใช้วิธีการนับจำนวนเม็ดสีของสีพริกว่ามีสีแดงหรือสีเขียวในพื้นที่มากกว่ากัน หากพื้นที่นั้นสีแดงมากก็ให้พิจารณาว่าเป็นพริกสีแดงและติกรอบแสดงผลบนหน้าจอมอนิเตอร์ ดังรูปที่ 12

การทดสอบความถูกต้องการทำงานจะวัดผลโดยใช้พริกสีแดงและสีเขียวจำนวนอย่างละ 50 เม็ด บันทึกระยะเวลาในการทำงานและความถูกต้องของการแยกสีได้ โดยค่าเฉลี่ยผลการทดสอบจำนวน 10 ครั้งแสดงไว้ในตารางที่ 1 พบว่าเวลาโดยประมาณของการคัดแยกทั้งสองชนิดเกือบ 2 วินาทีต่อเม็ด



รูปที่ 12 หน้าจอแสดงผลการตรวจจับสี
พริกสีเขียวและพริกแดง

4.3 ผลการควบคุมการปิดเพื่อแยกเม็ดพริก ด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์

ในส่วนนี้เป็นการทดสอบการทำงานทั้งระบบ โดยให้ด้วยสเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้ทำงานคัดแยกพริกสีเขียว ลงกล่องและปล่อยสีแดงไปทางปลายสายพาน โดยการ ทดสอบจะใช้เม็ดพริกสีแดงและเขียวอย่างละ 25 เม็ดแล้ว บันทึกระยะเวลาการทำงานและค่าความถูกต้อง โดยผล การทำงานเฉลี่ยจำนวน 10 รอบได้ แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการทำงานการคัดแยกสีของเม็ดพริกด้วยโปรแกรมประมวลผลภาพ

ชนิดพริก	ผลการทำงาน	
	เวลาทำงาน	ความถูกต้อง
1. พริกเขียว	92.7	100%
2. พริกแดง	81.8	88.8%

ตารางที่ 2 ผลการทำงานการคัดแยกสีของเม็ดพริกทั้งระบบ

เวลาทำงาน (วินาที)	ความถูกต้อง (%)	
	พริกแดง	พริกเขียว
125.3	95.6	91.6

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการดำเนินงานพบว่า การออกแบบ เครื่องจักรคัดแยกสามารถคัดแยกได้ความถูกต้องตาม ที่ ต้องการคือความถูกต้องประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ โดยการ ออกแบบไม่ซับซ้อนมากทั้งทางด้านฮาร์ดแวร์ และ ซอร์ฟแวร์ประมวลผลภาพ แต่ยังคงมีการปรับปรุง การทำงานทางกลให้ก้านปิดสัมพันธ์กับการประมวลผลภาพ เพื่อให้ทำงานได้เร็วขึ้นกว่าปัจจุบัน หรือปรับวงจรส่วน คัดแยกใหม่ให้ทำงานได้รวดเร็วกว่าสเต็ปเปอร์มอเตอร์ภายใน อนาคต

6. เอกสารอ้างอิง

- Wikipedia. (2564). RGB color space. สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2564, จาก https://en.wikipedia.org/wiki/RGB_color_space
- Wikipedia. (2564). HSL and HSV. สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2564, จาก https://en.wikipedia.org/wiki/HSL_and_HSV
- Opencv.org. (2564). Introduction. สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2564, จาก <https://docs.opencv.org/4.5.1/d1/dfb/intro.html>

Raspberrypi.org. (2564). Raspberry Pi hardware.

สืบค้น 22 กุมภาพันธ์ 2564, จาก

<https://www.raspberrypi.org/documentation/hardware/raspberrypi/README.md>

วิชัย พานิชย์สวย, สุมน ไวยบุญญา, พัชรพร ศุภกิจ, และ
รัตนากร หลวงแก้ว. (2562). การจำแนกประเภท
เมล็ดข้าวขาวด้วยการประมวลผลภาพ.

วารสารวิชาการและวิจัย, ปีที่ 10 ฉบับที่ 1

มีนาคม 2559, 1-14.

นพรุจ พัฒนสาร และ ญัฐวุฒิ ศรีวิบูลย์ (2562).

พัฒนาการประมวลผลภาพสำหรับการจำแนก

คุณภาพมะม่วงพันธุ์โชคอนันต์โดยการจำลองการ

มองเห็นของมนุษย์ด้วยวิธีการเรียนรู้เชิงลึก.

Journal of Information Science and

Technology (JIST), Vol. 10 No. 1 (2020),

24-29.

เสกสรรค์ วินยางค์กุล, กมลพรรณ จันทรา และนันทชัย

เต้จาทับ (2563). การวัดระดับความเข้มของสี

เมล็ดกาแฟ โดยการใช้การประมวลผลภาพแบบฮิสโท

แกรม สำหรับการแบ่งระดับเกรดของการคั่วเมล็ด

กาแฟ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, ปีที่ 22 ฉบับที่ 3

เดือนกันยายน-ธันวาคม 2563, 10 – 20.

การเตรียมสารประกอบพินอลิกและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารสกัด
พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

Preparations, Phenolic Compounds and Antioxidant Activities
of Polysaccharide Extracts from *Cordyceps Militaris*

วิจิตรา แดงปรก¹, วิวัฒน์ หวังเจริญ¹, ธีระพล เสนพันธุ¹, มงคล ธิรบุญยานนท์² และสุทธิดา สุทธิเลิศ^{1*}

Wichitra Daengprok, Wiwat Wangcharoen, Theerapol Senphan,
Mongkol Thirabunyanon and Sutthida Sutthilert

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมอุตสาหการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

²สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

Department of Food Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry,
Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

Department of Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: Sutthida_sutthilert2536@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเห็ดถั่งเช่าสีทองไปสกัดพอลิแซคคาไรด์ด้วยน้ำร้อนได้สารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้ 4 ตัวอย่าง พบว่ามีร้อยละของผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40.89– 41.64 ในส่วนของปริมาณพอลิแซคคาไรด์พบว่าตัวอย่างพบมีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ส่วนความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ได้แก่ DPPH, ABTS⁺, superoxide radical, hydroxyl radical, การวัดกิจกรรมการจับกับอนุมูลของเฟอร์รัส ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ และปริมาณสารประกอบพินอลิกทั้งหมด พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยพบว่าการนำเห็ดถั่งเช่าสีทองมาทำการสกัดไขมันออกก่อนสกัดและการใช้อัลตราซาวด์ช่วยในระหว่างสกัดสามารถทำให้สารสกัดหยาบที่ได้มีสมบัติในการต้านออกซิเดชันที่ดีขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สนใจที่จะศึกษาวิธีการเตรียมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณสารพินอลิกรวมและสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง

คำสำคัญ: สารออกฤทธิ์ทางยา เห็ดถั่งเช่าสีทอง อัลตราซาวด์ พอลิแซคคาไรด์

Abstract

The *C. militaris* mushroom sample was extracted with hot water to gain crude extracts of polysaccharides. The four samples of crude polysaccharide extracts were found. It showed that %yield of the 4 crude extract samples was not significantly different ($p > 0.05$), which were in the ranges of 40.89– 41.64%. The polysaccharides content of the 4 crude extract samples was significantly different ($p < 0.05$). The antioxidant properties including DPPH, ABTS⁺⁺, superoxide radical, hydroxyl radical, ferrous chelating ferric reducing power and total contents of phenolic compounds were found to be different ($p \leq 0.05$). It was found that the *C. militaris* mushroom crude polysaccharide extracts from defatted and ultrasonicated preparation had better antioxidant properties compared with those without defatted and sonicated preparation. Therefore, the objective of this research was to study preparations, phenolic compounds and antioxidant activities of polysaccharide extracts from *cordyceps militaris*.

Keywords: bioactive ingredients, *Cordyceps militaris*, ultrasound, polysaccharides

1. บทนำ

เห็ดถั่งเช่า (*Cordyceps* spp.) มีหลายชนิด แต่ชนิดที่เป็นที่รู้จักกันดีมีด้วยกัน 2 ชนิดคือเห็ดถั่งเช่าทิเบต (*Cordyceps sinensis*) และเห็ดถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) เห็ดถั่งเช่าทิเบตเป็นเห็ดธรรมชาติที่พบได้ในบริเวณเทือกเขาสูงแถบทิเบต มักเจริญบนตัวหนอน เป็นเห็ดที่มีราคาสูงมาก ปัจจุบันเห็ดถั่งเช่าทิเบตตามธรรมชาติมีจำนวนลดน้อยลงมาก นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงยังทำได้ค่อนข้างยากอีกด้วย (Huang et al., 2009) เห็ดถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) มีสรรพคุณทางยามากมาย ได้แก่ ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ด้านการอักเสบ ด้านมะเร็งและเนื้องอก ด้านออกซิเดชันและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยในเห็ดถั่งเช่าสีทองประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางยาหลายชนิด ได้แก่ คอร์โดเซปิน อะดีโนซีน คอร์ดีมินและพอลิแซคคาไรด์ เป็นต้น โดยสารประกอบคอร์โดเซปิน (3'-ดีออกซีอะดีโนซีน)

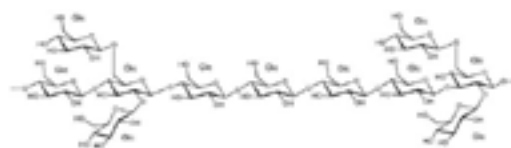
เห็ดถั่งเช่าสีทองเป็นแหล่งพอลิแซคคาไรด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ทางยาที่หลากหลาย จากการศึกษาพอลิแซคคาไรด์ในเห็ดที่รับประทานได้ส่วนมากไม่เป็นพิษ สามารถพัฒนาไปเป็นส่วนผสมอาหารฟังก์ชันและบำบัดรักษาและป้องกันการเกิดโรคได้ พอลิแซคคาไรด์ในถั่งเช่าสีทองพบว่ามีในปริมาณร้อยละ 3-8 ของน้ำหนักเห็ดถั่งเช่าแห้ง พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดมีประโยชน์ต่อร่างกายดังนี้ ด้านออกซิเดชัน ช่วยต้านการชรา ช่วยต้านการอักเสบ และช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Cheung et al., 2012) พบว่าการที่มีโปรตีนในพอลิแซคคาไรด์สกัดมีบทบาทในการเพิ่มความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ด โดยได้สกัด 2 วิธีคือใช้น้ำร้อน (hot water extraction; HWE) และใช้อัลตราโซนิก (ultrasonic-assisted extraction; UAE) พบว่าใช้อัลตราโซนิกมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าและมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตั้งนั้นในงานวิจัยนี้ได้สนใจที่จะศึกษาวิธีการเตรียมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองรวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวมและสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิแซคคาไรด์

พอลิแซคคาไรด์คือสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน โครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะเบต้า (1,3) ไกลโคซิดิก ส่วนพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์พืชมีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะเบต้า (1,4) ไกลโคซิดิก สำหรับสตาร์ชจะมีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะอัลฟา (1,4) ไกลโคซิดิก สายโซ่หลักส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มของ (1,2) อัลฟา-ดี-แมนโนไพราโนส สายกิ่งประกอบด้วย (1,3) (1,5) และ (1,6)-ดี-กาแลคโตไพราโนส และ (1,4)-ดี-แกแลคโตไพราโนส (ลัดดา, 2563) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างพอลิแซคคาไรด์ที่พบในเห็ดถั่งเช่าทิเบต Glc = Glucose (Nie et al., 2011)

และได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่พบว่าพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ดชนิดต่างๆ มีกิจกรรมทางชีวภาพในร่างกาย ทำให้มีการใช้พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าใช้เป็นยาสมุนไพรมาเป็นเวลายาวนาน มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ได้แก่ จับกับอนุมูลอิสระ สารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองมีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระที่ ดี ได้ แก่อนุมูล 1,1-diphenyl-2-picrylthrazyl (DPPH) อนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์และอนุมูล ABTS^{•+} นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการจับกับโลหะพวกเฟอร์รัส และรีดิวซ์เฟอริกได้ด้วย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดีสมิวเตส และเอนไซม์กลูตาไรโอนเปอร์ออกซิเดส (Chen et al., 2006; Li et al., 2003) ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิแซคคาไรด์สกัดจากเห็ด ได้แก่

องค์ประกอบและโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ พอลิแซคคาไรด์จะประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีตามธรรมชาติของเห็ดแต่ละชนิดจะมีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของพอลิแซคคาไรด์จากเห็ด วิธีการสกัดพอลิแซคคาไรด์จากดอกเห็ด และเส้นใยเห็ดตามปกติจะสกัดด้วยน้ำ สารละลายกรดหรือเบส สารละลายบัฟเฟอร์ ร่วมกับความร้อน สารสกัดที่ได้นำไปทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยวิธี *Sevage* คือใช้สารผสมระหว่างคลอโรฟอร์มกับ 1-บิวทานอลในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 แล้วโคเอโซลซิส ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ตามต้องการ ร้อยละของผลผลิตและกิจกรรมทางชีวภาพจะขึ้นกับวิธีการและสถานะในการสกัดที่ใช้ ได้แก่ อุณหภูมิ ชนิดของสารละลาย pH และระยะเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมด้วย (Mingyi et al., 2019)

2.2 สารประกอบพอลิฟินอล

ชนิดของกรดพีนอลิกที่พบในเห็ดถั่งเช่าสีทอง ได้แก่ กรด *p*-hydroxybenzoic acid (paraben) และ กรดซินนามิก โดยพบในปริมาณ 0.02 และ 0.11 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ

อนุมูลอิสระและสารต้านออกซิเดชัน (free radical and antioxidants)

อนุมูลอิสระ (free radical) เป็นโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่ (unpaired electron) ไม่มีความเสถียร มีความว่องไวมากต่อการเกิดปฏิกิริยาดังอิเล็กตรอนจากโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง ทำให้โมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงดังกล่าวเกิดความเสียหายได้ ถ้าเกิดในร่างกาย จะทำให้ร่างกายเกิดความเสียหายที่เนื้อเยื่อต่างๆ ส่งผลให้ร่างกายไม่แข็งแรง เกิดการอักเสบและเกิดโรคต่างๆ ได้ง่าย โดยเฉพาะโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง โรคความดันโลหิตสูง และโรคเบาหวาน เป็นต้น

อนุมูลอิสระในร่างกายอาจเกิดจากการได้รับจากอาหารโดยตรง หรือเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตพลังงานภายในเซลล์ จากกระบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism) ตามปกติของร่างกายในการเผาผลาญสารอาหาร กระบวนการทำลายสิ่งแปลกปลอม หรือกำจัดเชื้อโรคของเซลล์เม็ดเลือดขาว

และการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อ เป็นต้น ซึ่งจะมีอนุมูลอิสระเกิดมาด้วย เช่น สารประกอบออกซิเจน ไนโตรเจนและคลอรีน เป็นต้น ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่อื่น ๆ ต่อเนื่องกันไป และเกิดขึ้นในเซลล์ตลอดเวลา หรือเกิดจากสิ่งกระตุ้นภายนอกร่างกาย เช่น มลพิษในอากาศ แสงแดด คลื่นความร้อน รังสีแกมมา และยาบางชนิด เป็นต้น

กลุ่มอนุมูลอิสระออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน อนุมูลไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และอนุมูลไฮดรอกซิล เป็นต้น เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญของร่างกายตามปกติ สารกลุ่มนี้จะสามารถทำลายโมเลกุลของสิ่งมีชีวิตได้ ทำให้เซลล์เมมเบรนเกิดการเสียความคงตัวและเสียหาย ทำให้เกิดโรคต่างๆ ดังนั้นจึงเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ปกติร่างกายจะสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้โดยเอนไซม์ที่ร่างกายสร้างขึ้น เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดีสมิวเตสและกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส เป็นต้น หรือโดยสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ที่ได้รับจากอาหาร เช่น เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) วิตามินซีและวิตามินอี เป็นต้น แต่ถ้าหากร่างกายเสียสมดุลด้วยสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง เช่น ความเครียด ความเจ็บป่วย การขาดสารอาหารหรือการได้รับอาหารที่มีสารต้านออกซิเดชันน้อยเกินไป การติดเชื้อและมลพิษในอากาศ เป็นต้น ก็จะส่งผลให้ในร่างกายมีอนุมูลอิสระมากเกินไป (oxidative stress) ทำให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ ดังกล่าวขึ้นมาได้ ตัวอย่างเช่น เมื่ออนุมูลอิสระออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำในเลือด ทำให้เกิดเป็นไขมันชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำที่ถูกออกซิไดซ์ ทำให้เม็ดเลือดขาวชนิดแมคโครฟาจมาจับกินเกิดเป็นโฟมเซลล์เกาะอยู่ที่ผนังหลอดเลือด เมื่อมีจำนวนมากจะเกิดเป็นพลาครในหลอดเลือด ทำให้เกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis) สุดท้ายอาจทำให้หลอดเลือดแตกได้จนกระทั่งเป็นอัมพาต หรืออาจรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ เป็นต้น

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) คือสารที่ทำลาย และป้องกันอนุมูลอิสระ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่คือสารต้านออกซิเดชันที่เป็นเอนไซม์และสารต้าน

ออกซิเดชันที่ไม่ใช่เอนไซม์ สารต้านออกซิเดชันที่เป็นเอนไซม์ เช่น เปร้ออกไซด์ดีสมิวเตสและกลูตาไรโอน เปร้ออกซิเดส เป็นต้น สารต้านออกซิเดชันที่ไม่ใช่เอนไซม์ เช่น วิตามินซีและวิตามินอี เป็นต้น วิตามินซีหรือกรดแอสคอร์บิก มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดี จึงทำหน้าที่ต้านอนุมูลอิสระในเซลล์ และอวัยวะที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก วิตามินซีมีหมู่ไฮดรอกซี 2 หมู่ ที่แตกตัวให้ไฮโดรเจนได้ปฏิกิริยาโดยรวมคือ การให้อิเล็กตรอน 1 ตัว ร่วมกับอะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ เป็นการกำจัดหรือสลายอนุมูลอิสระคือ R• ให้เป็น RH จากการทำจذبนี้จะได้อนุมูลอิสระตัวใหม่ที่มีความไวต่ำคือ Asc- ส่วนวิตามินอีหรือโทโคฟีรอล เป็นวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมันจากโครงสร้างมีได้หลายไอโซเมอร์หรือรูปแบบ โดยวิตามินอีที่อยู่ในรูปแอลฟา-โทโคฟีรอล เป็นไอโซเมอร์ที่มี

ฤทธิ์สูงสุดจากบรรดาไอโซเมอร์ทั้งหมด วิตามินอีเป็นสารต้านอนุมูลที่สำคัญของเมมเบรนซึ่งมีลิพิดเป็นองค์ประกอบ โดยปกป้องไม่ให้เกิดปฏิกิริยาเปอร์ออกซิเดชันของลิพิด (Reis et al., 2013) สกัดให้ถึงเข้าสู่ห้องด้วยเมทานอล แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติทางด้านต่างๆ ของสารสกัดเมทานอล พบว่าสารสกัดเมทานอลที่ได้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยสามารถยับยั้งการออกซิเดชันของลิพิด มีสมบัติในการรีดิวซ์ และสามารถจับกับอนุมูลอิสระได้ ยับยั้งการเจริญของเชื้อแบคทีเรียและเชื้อราได้ดี สามารถยับยั้งการเติบโตของเซลล์เนื้องอกต่างๆ ได้ ได้แก่ เซลล์เนื้องอกชนิด MCF-7 (เต้านม), NCL-H460 (ปอด), HCT-15 (ลำไส้ใหญ่) และ HeLa (ปากมดลูก) เป็นต้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย



รูปที่ 2 กระบวนการสกัดพอลิแซคคาไรด์

1. ศึกษาสภาวะในสกัดพอลิแซคคาไรด์
นำเห็ดถั่งเช่าสีทองไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Wu et al., 2019) นาน 24 ชั่วโมง นำเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ไปบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดไฟฟ้า นำผงเห็ดที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช นำเห็ดถั่งเช่าสีทองผงมาสกัดไขมันออกโดยการสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ด้วยชุดกลั่นแบบ soxhlet ในอัตราส่วนของเห็ดผงต่อเอทานอลร้อยละ 80 เท่ากับ 1 ต่อ 100 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ใช้เวลาสกัดนาน 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ระเหยเอทานอลร้อยละ 80 แล้วนำกากที่ได้มาทำการสกัดซ้ำอีก 1 รอบ จะได้เห็ดถั่งเช่าสีทองที่สกัดไขมันออกแล้ว นำเห็ดถั่งเช่าสีทองผง 20 กรัม มาเติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร นำไป สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ใช้และไม่ใช้อัลตราซาวด์ แล้วทำไปแยกกากด้วยผ้าขาวบาง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 นำสารละลายใสที่กรองได้ ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) จะได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ตามต้องการ ทำ 3 ซ้ำ (replications) แล้วชั่งน้ำหนักสารสกัดที่ได้ คำนวณร้อยละของ ผลผลิตเปรียบเทียบกับน้ำหนักเห็ดถั่งเช่าสีทองผงเริ่มต้น

1. ปริมาณพอลิแซคคาไรด์

1.1 ปริมาณ polysaccharides ด้วยวิธี Phenol sulfuric acid assay (Dubois et al., 1956) หลักการ ในสารละลายกรดร้อนน้ำตาลกลูโคสถูกดึงน้ำออกทำให้เกิดสีน้ำตาลของสาร ไฮดรอกซีเมทิลเฟอิวรอล สารละลายมาตรฐานกลูโคส เข้มข้น 150 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร แล้ว เตรียมให้มีความเข้มข้นต่างๆ โดยนำมา 50-200 ไมโครลิตร มาเติมสารละลาย 2.5% phenol 950- 800 ไมโครลิตร สารละลายตัวอย่าง 200 ไมโครลิตร มาเติมสารละลาย 2.5%phenol 800 ไมโครลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางให้เย็น ประมาณ 20 นาที จะได้ สารละลายมีสีน้ำตาลออก เหลือง วัดค่า A 490 nm

1.2 ปริมาณ polysaccharides ด้วยวิธี Anthrone test ชั่ง anthrone 0.2 กรัม เติมน้ำใน H₂SO₄ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที นำตัวอย่าง จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำในสารละลาย anthrone 2.5 มิลลิลิตร

ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที จะได้ สารละลายมีสีเขียวออกน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ Glucose standard solution 0.5 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นต่างๆ

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC)

นำตัวอย่างจำนวน 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตรจากนั้นเติม Folin-ciocalteu reagent เจือจาง 10 เท่า ลงไป 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ที่ อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที เติมน้ำ 20% disodium carbonate solution ลงไป 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวางในอ่างน้ำอุ่นที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เมื่อครบเวลานำมาลดอุณหภูมิจนเท่า อุณหภูมิห้อง และ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 755 nm โดยใช้ น้ำกลั่น set zero

3. ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของ สารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง

3.1 DPPH radical scavenging assay ดัดแปลงจากวิธีของ (Yang et al., 2015) นำสารละลาย ตัวอย่างละลายในสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ให้มีเข้มข้น 0.4 0.6 0.8 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 0.1 mM DPPH (ละลายใน 95% เอทานอล) จำนวน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ 517 นาโนเมตร คำนวณค่าความสามารถในการยับยั้ง DPPH เปรียบเทียบกับกรดแอสคอร์บิกและโทรลอคซ์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวณค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.2 Improved ABTS radical cation decolorization assay (ABTS assay) เตรียม ABTS radical cation stock solution โดยชั่ง ABTS 0.0360 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และชั่ง K₂S₂O₈ 0.3784 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้น ผสม 7 mM ABTS 10 มิลลิลิตร กับ 140 mM K₂S₂O₈ 176 ไมโครลิตร ในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้น นำมาเจือจางด้วยน้ำ

กลั่นในอัตราส่วนของ ABTS radical cation stock solution : น้ำกลั่น 1:75 มิลลิลิตร ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายอนุมูล ABTS⁺ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันเบาๆ แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่มีดเป็นเวลา 6 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เปรียบเทียบกับ กรดแอสคอร์บิก และโทรลอกซ์เข้มข้น 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวนค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.3 superoxide radical scavenging assay ดัดแปลงจากวิธีของ(Yang et al., 2015) นำสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร มาเติมสารละลาย 0.1 M phosphate buffer, pH 7.2 จำนวน 1.0 มิลลิลิตร สารละลาย 2mM NADH จำนวน 1.0 มิลลิลิตร สารละลาย 0.5 mM NBT จำนวน 1.0 มิลลิลิตร และสารละลาย 0.03 mM PMS จำนวน 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 562 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เปรียบเทียบกับ กรดแอสคอร์บิกและโทรลอกซ์เข้มข้น 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวนค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.4 hydroxyl radical scavenging assay ทำตามวิธีของ(Yan et al., 2018) นำสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 0.2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 5mM FeSO₄ จำนวน 0.2 มิลลิลิตร และสารละลาย 1% (v/v) H₂O₂ จำนวน 0.2 มิลลิลิตร คนตลอดเวลา บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 60 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เปรียบเทียบกับ กรดแอสคอร์บิกและโทรลอกซ์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่าง

ความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวนค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.5 การวัดกิจกรรมการจับกับไอออนของเฟอรัส (ferrous-ion-chelating activity) ทำตาม (Zhang et al., 2013) นำสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มา 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 3.7 มิลลิลิตร และ 2.0 mM FeSO₄ 0.1 มิลลิลิตร และ 5.0 mM ferrozine 0.2 มิลลิลิตร ให้ทำปฏิกิริยา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 562 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็น positive control ใช้น้ำกลั่น เป็น blank นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวนค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.6 ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ (reducing power) ทำตามวิธีของ(Yen and Chen, 1995) นำสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เติม 0.2 M สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์, pH 6.6 จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมเพอร์ไอโซยานด์เข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) จำนวน 2.5 มิลลิลิตร ให้ทำปฏิกิริยาที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เติมกรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) จำนวน 2.5 มิลลิลิตร หมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที 10 นาที นำสารละลายส่วนใสมา 2.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายเฟอริกคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) จำนวน 0.5 มิลลิลิตร วางไว้ 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นแสดงว่า มีความสามารถในการรีดิวซ์ได้มากขึ้นใช้ กรดแอสคอร์บิกและโทรลอกซ์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในการทำกราฟมาตรฐาน ใช้น้ำกลั่นเป็น blank นำค่าที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน รายงานค่าเป็น AE (Ascorbic acid Equivalent) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และ TE (Trolox Equivalent) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

4. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

การดำเนินงานมีการทดลอง 3 ชั้น วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 (A) สกัดไขมันโดยใช้ชุดกลั่น Soxhlet (B) ไม่สกัดไขมัน และ 2 แบบ ประกอบด้วย 2.1) นำไป sonication ที่ 60°C 60 นาที 2.2) นำไปสกัดด้วยน้ำร้อน 60°C 60 นาที ใน water bath รวมทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง (treatments) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ $p < 0.05$ ด้วยโปรแกรม SPSS Version 16.0

4. ผลการวิจัย

1.1 ร้อยละของผลผลิตของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละผลผลิตของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่มีผลต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40.89– 41.64

ตารางที่ 1 ร้อยละของผลผลิตของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	ร้อยละของผลผลิต ^{ns}
ND-NU	40.890 ± 0.476
ND-U	41.268 ± 0.116
D-NU	41.189 ± 0.422
D-U	41.635 ± 0.461
A: defat	0.270
B: ultra	0.181
A*B	0.909

หมายเหตุ ns หมายถึง not significantly different ($p > 0.05$)

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์
D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์
A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์

1.2 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์

จากการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ในสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง ตารางที่ 2 เมื่อทดสอบปัจจัย ทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ ผ่านการสกัดและไม่ผ่านการสกัดไขมันออก และการใช้อัลตราซาวด์ช่วย และไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด พบว่ามีความแตกต่างกันทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ พบว่า ND-NU

ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้ทำการสกัดไขมันออกและไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีปริมาณพอลิแซคคาไรด์น้อยที่สุด ($p < 0.05$) โดย D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	% polysaccharides	% polysaccharides Anthrone
	Phenol sulfuric acid assay	test
ND-NU	6.5944 ± 0.02 ^a	6.9002 ± 0.03 ^a
ND-U	7.2264 ± 0.02 ^b	7.5214 ± 0.01 ^b
D-NU	8.7862 ± 0.01 ^c	8.9823 ± 0.02 ^c
D-U	10.2725 ± 0.01 ^d	10.358 ± 0.01 ^d
A: defat	0.000*	0.000*
B: ultra	0.000*	0.000*
A*B	0.000*	0.000*

หมายเหตุ^{abcd} = significantly different ($p \leq 0.05$) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์

1.3 Total contents of phenolic

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวมในสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองพบว่า เมื่อทดสอบปัจจัย ทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ ผ่านการสกัดและไม่ผ่านการสกัดไขมันออก และการใช้อัลตราซาวด์ช่วย และไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด พบว่ามีความ

แตกต่างกันทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 โดยสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ พบว่า ND-NU ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้ทำการสกัดไขมันออกและไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด ($p < 0.05$) ($0.483 \pm 0.001 \text{ mg/ml}$) โดย D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) ($0.579 \pm 0.003 \text{ mg/ml}$)

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	Total phenolic content
	(mg GAE/ ml of crude extract)
ND-NU	0.483 ± 0.001a
ND-U	0.524 ± 0.004 ^b
D-NU	0.552 ± 0.001 ^c
D-U	0.579 ± 0.003 ^d
A: defat	0.000*
B: ultra	0.000*
A*B	0.004*

หมายเหตุ^{abcd} = significantly different ($p \leq 0.05$) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ D-NU =
สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมัน
ออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตรา
ซาวด์ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัด
เห็ดถั่งเช่าสีทอง

สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่าง มาวัด
ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่
DPPH radical scavenging assay, Improved ABTS
radical cation decolorization assay, superoxide
radical scavenging assay, hydroxyl radical
scavenging assay, การวัดกิจกรรมการจับกับฮีโมโกลบินของ
เพอร์ออกไซด์ และค่าความสามารถในการรีดิวซ์ เมื่อทดสอบ
ปัจจัย ทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ ผ่านการสกัด และไม่ผ่าน
การสกัดไขมันออก และการใช้อัลตราซาวด์ช่วย และไม่
ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด พบว่ามีความแตกต่างกัน
ทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ได้ผล
การทดลองดังแสดงในตารางที่ 4-7 จากการทดสอบฤทธิ์
ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้
จากเห็ดถั่งเช่าสีทองด้วยวิธี DPPH radical scavenging
assay จากตารางที่ 4 พบว่า ND-NU ซึ่งเป็นตัวอย่างที่
สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้ทำการสกัดไขมันออกและ
ไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ และ D-NU ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัด
จากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ทำการสกัดไขมันออกและไม่ได้
ใช้อัลตราซาวด์ น้อยกว่า ND-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัด
จากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัล
ตราซาวด์ และ D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสี
ทองที่ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ ส่วน

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} พบว่า
โพลีแซคคาไรด์สามารถยับยั้งได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 0.547 \pm 0.001$
mg/ml) รองลงมาเป็นกรดแอสคอร์บิก ($IC_{50} = 0.557 \pm$
 0.001 mg/ml) และสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่ง
เช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดย D-U
ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัด
ไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมี
ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} ได้ดีที่สุด
($IC_{50} = 0.594 \pm 0.001$ mg/ml) ส่วนความสามารถในการ
จับกับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ พบว่ากรดแอสคอร์บิก
สามารถยับยั้งได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 0.585 \pm 0.001$ mg/ml)
รองลงมาเป็นโพลีแซคคาไรด์ ($IC_{50} = 0.600 \pm 0.002$ mg/ml)
และสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองตัวอย่าง
ที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดย D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่
สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและ
ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีความสามารถในการจับ
กับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 0.673 \pm$
 0.001 mg/ml) นอกจากนี้อนุมูลไฮดรอกซิลของสารสกัด
พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองพบว่ากรด
แอสคอร์บิกสามารถยับยั้งได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 0.551 \pm$
 0.002 mg/ml) รองลงมาเป็นโพลีแซคคาไรด์ ($IC_{50} = 0.600 \pm$
 0.002 mg/ml) และสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่ง
เช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดย D-U
ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัด
ไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมี
ความสามารถในการจับกับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด
($IC_{50} = 0.685 \pm 0.002$ mg/ml)

ตารางที่ 4 IC₅₀ ของ DPPH ABTS•+ ความสามารถในการจับกับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์และอนุมูลไฮดรอกซิลของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	IC ₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)			
	DPPH	ABTS ^{•+}	superoxide	hydroxyl
ND-NU	0.863 ± 0.037 ^b	0.948 ± 0.001 ^d	0.869 ± 0.001 ^d	1.115 ± 0.003 ^d
ND-U	0.634 ± 0.020 ^a	0.814 ± 0.002 ^c	0.826 ± 0.004 ^c	0.870 ± 0.002 ^c
D-NU	0.803 ± 0.029 ^b	0.762 ± 0.002 ^b	0.734 ± 0.000 ^b	0.757 ± 0.001 ^b
D-U	0.687 ± 0.033 ^a	0.594 ± 0.001 ^a	0.673 ± 0.001 ^a	0.685 ± 0.002 ^a
ascorbic acid	0.466 ± 0.000	0.557 ± 0.001	0.585 ± 0.001	0.551 ± 0.002
Trolox	0.450 ± 0.001	0.547 ± 0.001	0.600 ± 0.002	0.567 ± 0.001
A: defat	0.863 NS	0.000*	0.000*	0.000*
B: ultra	0.000 *	0.000*	0.000*	0.000*
A*B	0.030 *	0.000*	0.000*	0.000*

หมายเหตุ^{abcdef} = significantly different (p≤0.05) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
 ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้ อัลตราซาวด์
 D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์ IC₅₀ คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50

ความสามารถในการจับกับไอออนของเฟอร์รัสของ D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีค่าสูงที่สุด (IC₅₀=0.641 ± 0.002 mg/ml) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 IC₅₀ ของความสามารถในการจับกับไอออนของเฟอร์รัสของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	IC ₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ferrous chelating
ND-NU	0.926 ± 0.001 ^d
ND-U	0.799 ± 0.003 ^c
D-NU	0.685 ± 0.001 ^b
D-U	0.641 ± 0.002 ^a
EDTA	0.536 ± 0.000
A: defat	0.000*
B: ultra	0.000*
A*B	0.000*

หมายเหตุ^{abcde} = significantly different (p ≤ 0.05) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
 ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้ อัลตราซาวด์

D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์

EDTA = ethylenediaminetetraacetic acid

IC₅₀ คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้ง

อนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50

ความสามารถในการรีดิวซ์ของD-U ซึ่งเป็น ตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมัน ออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	ascorbic acid equivalent (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	Trolox equivalent (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)
ND-NU	0.259 ± 0.002 ^a	0.331 ± 0.002 ^a
ND-U	0.292 ± 0.002 ^b	0.369 ± 0.002 ^b
D-NU	0.292 ± 0.003 ^b	0.383 ± 0.003 ^c
D-U	0.305 ± 0.006 ^c	0.462 ± 0.005 ^d
A: defat	0.000*	0.000*
B:ultra	0.000*	0.000*
A*B	0.000*	0.000*

หมายเหตุ ^{abcd} = significantly different ($p \leq 0.05$) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้ อัลตราซาวด์
D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์

IC₅₀ คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้ง อนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 ศึกษาสถานะในสกัดพอลิแซคคาไรด์

จากการศึกษาสถานะในสกัดพอลิแซคคาไรด์ พบว่าร้อยละผลผลิตของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่มีผลต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40.89 – 41.64 โดยการใช้อัลตราซาวด์ช่วยและไม่ช่วยในการสกัด รวมทั้งการสกัดไขมันออกและไม่สกัดไขมันออก ไม่มีผลต่อร้อยละผลผลิต อาจเป็นเพราะเห็ดชนิดเดียวกันการใช้อัลตราซาวด์ช่วยและไม่ช่วยในการสกัดมีงานทดลองที่

พบว่าการสกัดที่ได้ผลผลิตต่างกันเพราะเป็นเห็ดคนละ ชนิดกันทำให้มีสมบัติทางกายภาพต่างกัน ลักษณะการกระจายตัวในน้ำที่ดีจะช่วยให้ได้ผลผลิตสูงกว่าการจับตัว เป็นก้อนในน้ำ ซึ่งทำให้สกัดยาก (Cheung et al., 2012) นอกจากนั้นยังมีงานทดลองที่พบว่าการใช้อัลตราซาวด์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดจะได้ผลถ้าผงเห็ดมีขนาดเล็กพอ (Sun et al., 2011) (โดยได้สกัดเบต้าแคโรทีนจาก เปลือกส้ม และผลผลิตจะเพิ่มขึ้นถ้าขนาดผงเล็กลง โดยถ้า เล็กกว่า 0.28 มิลลิเมตร ค่าผลผลิตที่ได้จะไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าเปรียบเทียบกับมากกว่า 0.28 มิลลิเมตร จะแตกต่างกัน ถ้าขนาดเล็กลงแล้ว การใช้อัลตราซาวด์ช่วยจะไม่มี ผลในการเพิ่มผลผลิต เพราะผนังเซลล์ได้ถูกทำลายไป เรียบร้อยแล้วจากการลดขนาด และมีพื้นที่ผิวมากพอแล้ว (Sun et al., 2011) ตามการทดลองนี้ได้บดจนเห็ดผง สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช หรือคือมีขนาด อนุภาคต่ำกว่า 0.25 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามในการ ทดลองนี้พบว่าการใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดในการ ทดลองนี้จะได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ที่มีความสามารถ

ในการต้านออกซิเดชันสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ (Cheung et al., 2012)

5.2 ศึกษาปริมาณพอลิแซคคาไรด์ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์รวมของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองพบว่าปริมาณพอลิแซคคาไรด์รวมที่ได้ มีความแตกต่างกัน เนื่องจากวิธีการสกัดมีความแตกต่างกัน คือ ผ่านการสกัด และไม่ผ่านการสกัดไขมันออก และการใช้อัลตราซาวด์ช่วย และไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด จึงพบว่ามีค่าแตกต่างกันทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ พบว่า ND-NU ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้ทำการสกัดไขมันออกและไม่ได้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีปริมาณพอลิแซคคาไรด์น้อยที่สุด ($p < 0.05$) โดย D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) โดยการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดของเห็ดถั่งเช่าสีทองมีผลต่อปริมาณพอลิแซคคาไรด์รวมของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ลักษณะ และคุณสมบัติเฉพาะทางเคมี รวมทั้งสภาพตัวของทั้งตัวทำละลายและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด สภาวะขั้นตอนและวิธีการ สกัดที่ทำให้ได้มาซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่างๆของเห็ดแตกต่างกัน เช่น ชนิดของตัวทำละลาย ระยะเวลา อุณหภูมิ ตลอดจนสิ่งรบกวนต่างๆ ในขั้นตอนการสกัด เป็นต้น งานวิจัยของ (Cheung et al., 2012) พบว่าการที่มีโปรตีนในพอลิแซคคาไรด์สกัดมีบทบาทในการเพิ่มความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ด โดยได้สกัด 2 วิธีคือใช้น้ำร้อน (hot water extraction; HWE) และใช้อัลตราโซนิค (ultrasonic-assisted extraction; UAE) พบว่าใช้อัลตราโซนิคมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าและมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าพินอลที่พบในเห็ด ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน หรือสารต้านอนุมูล

อิสระ (Ishikawa et al., 1984) การต้านและกำจัดอนุมูลอิสระเป็น หนึ่งในกลไกของการยับยั้งการเกิดและกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิด จากกระบวนการออกซิเดชันของลิพิด (lipid) วิธีการกำจัดสารนำมาใช้ในการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบหรือสารสกัดที่เฉพาะเจาะจง โดย ใช้ระยะเวลาการทดสอบสั้นและมีประสิทธิภาพ และพบว่าวิธีการและสภาวะการสกัดสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองสามารถสกัดปริมาณพินอลรวมได้ดี และส่งผลต่อประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชัน โดยผลของค่า IC50 เป็นตัวบ่งชี้ถึง ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของสาร ซึ่งในการ วิเคราะห์ได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยนำสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่าง มาวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ DPPH radical scavenging assay, improved ABTS radical cation decolorization assay, superoxide radical scavenging assay, hydroxyl radical scavenging assay, การวัดกิจกรรมการจับกับอออนของเฟอร์รัส และค่าความสามารถในการรีดิวซ์

DPPH radical และ ABTS radical cation scavenging assay เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างโดยกลไกการให้อิเล็กตรอนหรืออะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ซึ่ง ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงมากแสดงว่ามีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระได้มาก ABTS radical cation scavenging assay (Sanchez, 2017) superoxide radical scavenging assay เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างในการจับกับอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ ทำให้เมื่อเติมสาร nitroblue tetrazolium (NBT) ลงไปเพื่อจับกับอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ จะเกิดขึ้นน้อยทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง (Sanchez, 2017) hydroxyl radical scavenging assay เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการไปจับกับอออนของโลหะซึ่งเร่งการเกิดปฏิกิริยา Fenton ที่ทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (Zhang et al., 2013) ส่วนการวัดกิจกรรมการจับกับอออนของเฟอร์รัส เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการจับกับเฟอร์รัส

โดยสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างจะมีบทบาทขัดขวางการจับกับเฟอร์รัสของสารประกอบเฟอรอสีน ทำให้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเฟอร์รัส-เฟอรอสีนลดลง มักทำเปรียบเทียบกับสาร EDTA (Zhang *et al.*, 2013) ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกิจกรรมต้านออกซิเดชัน ดังนั้นสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่างได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4-7 จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าการสกัดไขมันออกไม่มีผลต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH แต่การสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ มีผลต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS+ ความสามารถในการจับกับอนุมูลซูเปอร์ ความสามารถในการจับกับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ และอนุมูลไฮดรอกซิลของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง การที่สารสกัดพอลิแซคคาไรด์แต่ละตัวอย่างมีค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่สูงในทุกการวิเคราะห์ เนื่องจากสารสกัดในการทดลองนี้เป็นการสกัดแบบหยาบทำให้สารสกัดที่ได้อยู่ในรูปของพอลิแซคคาไรด์ที่จับอยู่กับโปรตีน ซึ่งจะมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดีกว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับจากงานวิจัยของ (Zhang *et al.*, 2013) ได้ทำการสกัดดอกเห็ดถั่งเช่าสีทอง ด้วยการต้มในน้ำกลั่น เมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์การยับยั้งสูงถึงร้อยละ 70-80 ที่ความเข้มข้น 3.0-10.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยกรดแอสคอร์บิกที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน นอกจากนี้งานทดลอง (Cheung *et al.*, 2012) พบว่าในสารสกัดที่มีการใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีโปรตีนสูงกว่าที่สกัดโดยน้ำร้อนเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด โดยจากเห็ด 3 ชนิดที่ได้ทำการศึกษามีปริมาณโปรตีนในสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ของตัวอย่างที่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดและที่ไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดเท่ากับร้อยละ 33, 25, 34 และ 21, 15, 29 ตามลำดับ ส่วนงานทดลองของ Leung *et al.* (2009) พบว่าปริมาณโปรตีนในพอลิแซคคาไรด์มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าความสามารถใน

การต้านออกซิเดชัน โดยแสดงเป็นค่า Trolox equivalent antioxidant activity (TEAC) นอกจากนี้การใช้อัลตราซาวด์ยังเป็นการช่วยลดขนาดของโมเลกุล มีข้อมูลว่าขนาดของโมเลกุลที่เล็กลงหรือเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอาจจะมีผลทำให้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดีกว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า เช่นการศึกษาในโคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ (Tomida *et al.*, 2009) และอัลจินต (Zhao *et al.*, 2012) เป็นต้น

สรุป

ร้อยละของผลผลิตของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองพบว่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40.89– 41.64 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ตัวอย่างที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทอง โดยการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ DPPH radical scavenging assay, Improved ABTS radical cation decolorization assay, superoxide radical scavenging assay, hydroxyl radical scavenging assay, การวัดกิจกรรมการจับกับอออนของเฟอร์รัสและค่าความสามารถในการรีดิวซ์ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดไขมันออกก่อน ทั้งที่ใช้และไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีความสามารถในการจับกับอนุมูล DPPH ดีกว่าตัวอย่างสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้สกัดไขมันออกก่อนและไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด ($p \leq 0.05$) สารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดไขมันออกก่อนและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีความสามารถในการจับกับอนุมูล ABTS+, superoxide และ hydroxyl ดีกว่าตัวอย่างอื่น ($p < 0.05$) โดยมีค่า IC50 เท่ากับ 0.594 ± 0.001 , 0.673 ± 0.001 และ 0.685 ± 0.002 ตามลำดับ ความสามารถในการจับกับอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดไขมันออกก่อนและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีค่าดีที่สุด ($p < 0.05$) เมื่อ

เทียบกับตัวอย่างอื่น รองลงมาเป็นตัวอย่งที่สกัดไขมันออกก่อนและไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด และปริมาณฟีนอลรวมในสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองสีทองตัวอย่างที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) (0.842 ± 0.003 mg/ml)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

7. เอกสารอ้างอิง

Chen, J., Zhang, W., Lu, T., Li, J., Zheng, Y. & Kong, L. 2006. Morphological and genetic characterization of a cultivated *Cordyceps sinensis* fungus and its polysaccharide component possessing antioxidant property in H2 2 tumor-bearing mice. **Life Sciences**, 78(23), 2742-2748.

Cheung, Y.-C., Siu, K.-C., Liu, Y.-S. & Wu, J.-Y. 2012. Molecular properties and antioxidant activities of polysaccharide-protein complexes from selected mushrooms by ultrasound-assisted extraction. **Process Biochemistry**, 47(5), 892-895.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. t. & Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, 28(3), 350-356.

Li, S. P., Zhao, K. J., Ji, Z. N., Song, Z. H., Dong, T. T., Lo, C. K., Cheung, J. K., Zhu, S. Q. & Tsim, K. W. 2003. A polysaccharide isolated from *Cordyceps sinensis*, a

traditional Chinese medicine, protects PC12 cells against hydrogen peroxide-induced injury. **Life sciences**, 73(19), 2503-2513.

Mingyi, Y., Belwal, T., Devkota, H. P., Li, L. & Luo, Z. 2019. Trends of utilizing mushroom polysaccharides (MPs) as potent nutraceutical components in food and medicine: A comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, 92(94-110).

Nie, S.-P., Cui, S. W., Phillips, A. O., Xie, M.-Y., Phillips, G. O., Al-Assaf, S. & Zhang, X.-L. 2011. Elucidation of the structure of a bioactive hydrophilic polysaccharide from *Cordyceps sinensis* by methylation analysis and NMR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, 84(3), 894-899.

Reis, F. S., Barros, L., Calheta, R. C., Ćirić, A., Van Griensven, L. J., Soković, M. & Ferreira, I. C. 2013. The methanolic extract of *Cordyceps militaris* (L.) Link fruiting body shows antioxidant, antibacterial, antifungal and antihuman tumor cell lines properties. **Food and chemical toxicology**, 62(91-98).

Sun, Y., Liu, D., Chen, J., Ye, X. & Yu, D. 2011. Effects of different factors of ultrasound treatment on the extraction yield of the all-trans- β -carotene from citrus peels. **Ultrasonics Sonochemistry**, 18(1), 243-249.

Tomida, H., Fujii, T., Furutani, N., Michihara, A., Yasufuku, T., Akasaki, K., Maruyama, T., Otagiri, M., Gebicki, J. M. & Anraku, M. 2009. Antioxidant properties of some different molecular weight chitosans.

- Carbohydrate Research**, 344(13), 1690-1696.
- Wu, X.-f., Zhang, M. & Li, Z. 2019. Influence of infrared drying on the drying kinetics, bioactive compounds and flavor of *Cordyceps militaris*. **LWT**, 111(790-798).
- Yan, J.-K., Ding, Z.-C., Gao, X., Wang, Y.-Y., Yang, Y., Wu, D. & Zhang, H.-N. 2018. Comparative study of physicochemical properties and bioactivity of *Hericium erinaceus* polysaccharides at different solvent extractions. **Carbohydrate polymers**, 193(373-382).
- Yang, Q., Yin, Y., Yu, G., Jin, Y., Ye, X., Shrestha, A., Liu, W., Yu, W. & Sun, H. 2015. A novel protein with anti-metastasis activity on 4 T1 carcinoma from medicinal fungus *Cordyceps militaris*. **International journal of biological macromolecules**, 80(385-391).
- Yen, G.-C. & Chen, H.-Y. 1995. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. **Journal of agricultural and food chemistry**, 43(1), 27-32.
- Zhang, Z., Jin, Q., Lv, G., Fan, L., Pan, H. & Fan, L. 2013. Comparative study on antioxidant activity of four varieties of *F lammulina velutipes* with different colour. **International journal of food science & technology**, 48(5), 1057-1064.
- Zhao, X., Li, B., Xue, C. & Sun, L. 2012. Effect of molecular weight on the antioxidant property of low molecular weight alginate from *Laminaria japonica*. **Journal of Applied Phycology**, 24(2), 295-300.

การเตรียมสารประกอบพินอลิกและฤทธิ์การต้านออกซิเดชันของสารสกัด
พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

Preparations, Phenolic Compounds and Antioxidant Activities
of Polysaccharide Extracts from *Cordyceps Militaris*

วิจิตรา แดงปรก¹, วิวัฒน์ หวังเจริญ¹, ธีระพล เสนพันธ์¹, มงคล ธิรบุญยานนท์² และสุทธิดา สุทธิเลิศ^{1*}

Wichitra Daengprok, Wiwat Wangcharoen, Theerapol Senphan,
Mongkol Thirabunyanon and Sutthida Sutthilert

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิศวกรรมอุตสาหการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

²สาขาวิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่
63 หมู่ 4 ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

Department of Food Science and Technology, Faculty of Engineering and Agro-Industry,
Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

Department of Biotechnology, Faculty of Science, Maejo University, Chiang Mai, Thailand 50290

*Corresponding author: Sutthida_sutthilert2536@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเห็ดถั่งเช่าสีทองไปสกัดพอลิแซคคาไรด์ด้วยน้ำร้อนได้สารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้ 4 ตัวอย่าง พบว่ามีร้อยละของผลผลิตที่ได้ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40.89– 41.64 ในส่วนของปริมาณพอลิแซคคาไรด์พบว่าตัวอย่างพบที่มีความแตกต่างกัน ($p \leq 0.05$) ส่วนความสามารถในการต้านออกซิเดชัน ได้แก่ DPPH, ABTS⁺, superoxide radical, hydroxyl radical, การวัดกิจกรรมการจับกับอนุมูลของเฟอร์รัส ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ และปริมาณสารประกอบพินอลิกทั้งหมด พบที่มีความแตกต่างกัน โดยพบว่าการนำเห็ดถั่งเช่าสีทองมาทำการสกัดไขมันออกก่อนสกัดและการใช้อัลตราซาวด์ช่วยในระหว่างสกัดสามารถทำให้สารสกัดหยาบที่ได้มีสมบัติในการต้านออกซิเดชันที่ดีขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้สนใจที่จะศึกษาวิธีการเตรียมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณสารพินอลิกรวมและสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง

คำสำคัญ: สารออกฤทธิ์ทางยา เห็ดถั่งเช่าสีทอง อัลตราซาวด์ พอลิแซคคาไรด์

Abstract

The *C. militaris* mushroom sample was extracted with hot water to gain crude extracts of polysaccharides. The four samples of crude polysaccharide extracts were found. It showed that %yield of the 4 crude extract samples was not significantly different ($p > 0.05$), which were in the ranges of 40.89– 41.64%. The polysaccharides content of the 4 crude extract samples was significantly different ($p < 0.05$). The antioxidant properties including DPPH, ABTS⁺, superoxide radical, hydroxyl radical, ferrous chelating ferric reducing power and total contents of phenolic compounds were found to be different ($p \leq 0.05$). It was found that the *C. militaris* mushroom crude polysaccharide extracts from defatted and ultrasonicated preparation had better antioxidant properties compared with those without defatted and sonicated preparation. Therefore, the objective of this research was to study preparations, phenolic compounds and antioxidant activities of polysaccharide extracts from *cordyceps militaris*.

Keywords: bioactive ingredients, *Cordyceps militaris*, ultrasound, polysaccharides

1. บทนำ

เห็ดถั่งเช่า (*Cordyceps* spp.) มีหลายชนิด แต่ชนิดที่เป็นที่รู้จักกันดีมีด้วยกัน 2 ชนิดคือเห็ดถั่งเช่าทิเบต (*Cordyceps sinensis*) และเห็ดถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) เห็ดถั่งเช่าทิเบตเป็นเห็ดธรรมชาติที่พบได้ในบริเวณเทือกเขาสูงแถบทิเบต มักเจริญบนตัวหนอน เป็นเห็ดที่มีราคาสูงมาก ปัจจุบันเห็ดถั่งเช่าทิเบตตามธรรมชาติมีจำนวนลดน้อยลงมาก นอกจากนี้การเพาะเลี้ยงยังทำได้ค่อนข้างยากอีกด้วย (Huang et al., 2009) เห็ดถั่งเช่าสีทอง (*Cordyceps militaris*) มีสรรพคุณทางยามากมาย ได้แก่ ช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย ด้านการอักเสบ ด้านมะเร็งและเนื้องอก ด้านออกซิเดชันและยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยในเห็ดถั่งเช่าสีทองประกอบด้วยสารออกฤทธิ์ทางยาหลายชนิด ได้แก่ คอร์โดเซปิน อะดีโนซีน คอร์ดีมินและพอลิแซคคาไรด์ เป็นต้น โดยสารประกอบคอร์โดเซปิน (3'-ดีออกซีอะดีโนซีน)

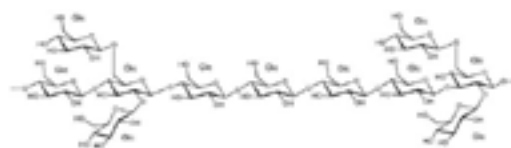
เห็ดถั่งเช่าสีทองเป็นแหล่งพอลิแซคคาไรด์ที่มีฤทธิ์ทางชีวภาพและฤทธิ์ทางยาที่หลากหลาย จากการศึกษาพอลิแซคคาไรด์ในเห็ดที่รับประทานได้ส่วนมากไม่เป็นพิษ สามารถพัฒนาไปเป็นส่วนผสมอาหารฟังก์ชันและบำบัดรักษาและป้องกันการเกิดโรคได้ พอลิแซคคาไรด์ในถั่งเช่าสีทองพบว่ามีในปริมาณร้อยละ 3-8 ของน้ำหนักเห็ดถั่งเช่าแห้ง พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดมีประโยชน์ต่อร่างกายดังนี้ ด้านออกซิเดชัน ช่วยต้านการชรา ช่วยต้านการอักเสบ และช่วยเสริมสร้างระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย (Cheung et al., 2012) พบว่าการที่มีโปรตีนในพอลิแซคคาไรด์สกัดมีบทบาทในการเพิ่มความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ด โดยได้สกัด 2 วิธีคือใช้น้ำร้อน (hot water extraction; HWE) และใช้อัลตราโซนิก (ultrasonic-assisted extraction; UAE) พบว่าใช้อัลตราโซนิกมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าและมีปริมาณโปรตีนสูงกว่า

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อตั้งนั้นในงานวิจัยนี้ได้สนใจที่จะศึกษาวิธีการเตรียมสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองรวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณสารฟีนอลิกรวมและสมบัติต้านออกซิเดชันของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 พอลิแซคคาไรด์

พอลิแซคคาไรด์คือสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเชิงซ้อน โครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะเบต้า (1,3) ไกลโคซิดิก ส่วนพอลิแซคคาไรด์ที่เป็นส่วนประกอบของเซลล์พืชมีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะเบต้า (1,4) ไกลโคซิดิก สำหรับสตาร์ชจะมีโครงสร้างเป็นพอลิเมอร์ของกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะอัลฟา (1,4) ไกลโคซิดิก สายโซ่หลักส่วนใหญ่ประกอบด้วยกลุ่มของ (1,2) อัลฟา-ดี-แมนโนไพราโนส สายกิ่งประกอบด้วย (1,3) (1,5) และ (1,6)-ดี-กาแลคโตไพราโนส และ (1,4)-ดี-แกแลคโตไพราโนส (ลัดดา, 2563) ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 โครงสร้างพอลิแซคคาไรด์ที่พบในเห็ดถั่งเช่าทิเบต Glc = Glucose (Nie et al., 2011)

และได้มีงานวิจัยจำนวนมากที่พบว่าพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ดชนิดต่างๆ มีกิจกรรมทางชีวภาพในร่างกาย ทำให้มีการใช้พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าใช้เป็นยาสมุนไพรมาเป็นเวลายาวนาน มีฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ได้แก่ จับกับอนุมูลอิสระ สารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองมีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระที่ ดี ได้ แก่อนุมูล 1,1-diphenyl-2-picrylhyrazyl (DPPH) อนุมูลไฮดรอกซิล อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์และอนุมูล ABTS^{•+} นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการจับกับโลหะพวกเฟอร์รัส และรีดิวซ์เฟอริกได้ด้วย ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ซูเปอร์ออกไซด์ดิสมิวเตส และเอนไซม์กลูตาไรโอนเปอร์ออกซิเดส (Chen et al., 2006; Li et al., 2003) ปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติของพอลิแซคคาไรด์สกัดจากเห็ด ได้แก่

องค์ประกอบและโครงสร้างของพอลิแซคคาไรด์ พอลิแซคคาไรด์จะประกอบด้วยน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว ซึ่งชนิดและปริมาณน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่มีตามธรรมชาติของเห็ดแต่ละชนิดจะมีผลต่อความสามารถในการต้านออกซิเดชันของพอลิแซคคาไรด์จากเห็ด วิธีการสกัดพอลิแซคคาไรด์จากดอกเห็ด และเส้นใยเห็ดตามปกติจะสกัดด้วยน้ำ สารละลายกรดหรือเบส สารละลายบัฟเฟอร์ ร่วมกับความร้อน สารสกัดที่ได้นำไปทำให้บริสุทธิ์ขึ้นโดยวิธี *Sevage* คือใช้สารผสมระหว่างคลอโรฟอร์มกับ 1-บิวทานอลในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 แล้วโคเอโซลซิส ทำแห้งแบบแช่เยือกแข็งจะได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ตามต้องการ ร้อยละของผลผลิตและกิจกรรมทางชีวภาพจะขึ้นกับวิธีการและสถานะในการสกัดที่ใช้ ได้แก่ อุณหภูมิ ชนิดของสารละลาย pH และระยะเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาวิธีการสกัดที่เหมาะสมด้วย (Mingyi et al., 2019)

2.2 สารประกอบพอลิฟินอล

ชนิดของกรดพีนอลิกที่พบในเห็ดถั่งเช่าสีทอง ได้แก่ กรด *p*-hydroxybenzoic acid (paraben) และกรดซินนามิก โดยพบในปริมาณ 0.02 และ 0.11 มิลลิกรัม/100 กรัม ตามลำดับ

อนุมูลอิสระและสารต้านออกซิเดชัน (free radical and antioxidants)

อนุมูลอิสระ (free radical) เป็นโมเลกุลที่มีอิเล็กตรอนไม่ครบคู่ (unpaired electron) ไม่มีความเสถียร มีความว่องไวมากต่อการเกิดปฏิกิริยาดังอิเล็กตรอนจากโมเลกุลที่อยู่ข้างเคียง ทำให้โมเลกุลที่อยู่ข้างเคียงดังกล่าวเกิดความเสียหายได้ ถ้าเกิดในร่างกาย จะทำให้ร่างกายเกิดความเสียหายที่เนื้อเยื่อต่างๆ ส่งผลให้ร่างกายไม่แข็งแรง เกิดการอักเสบและเกิดโรคต่างๆ ได้ง่าย โดยเฉพาะโรคไม่ติดต่อเรื้อรัง เช่น โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง โรคความดันโลหิตสูง และโรคเบาหวาน เป็นต้น

อนุมูลอิสระในร่างกายอาจเกิดจากการได้รับจากอาหารโดยตรง หรือเกิดจากปฏิกิริยาออกซิเดชันที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตพลังงานภายในเซลล์ จากกระบวนการเมทาบอลิซึม (metabolism) ตามปกติของร่างกายในการเผาผลาญสารอาหาร กระบวนการทำลายสิ่งแปลกปลอม หรือกำจัดเชื้อโรคของเซลล์เม็ดเลือดขาว

และการบาดเจ็บของเนื้อเยื่อ เป็นต้น ซึ่งจะมีอนุมูลอิสระเกิดมาด้วย เช่น สารประกอบออกซิเจน ไนโตรเจนและคลอรีน เป็นต้น ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาลูกโซ่อื่น ๆ ต่อเนื่องกันไป และเกิดขึ้นในเซลล์ตลอดเวลา หรือเกิดจากสิ่งกระตุ้นภายนอกร่างกาย เช่น มลพิษในอากาศ แสงแดด คลื่นความร้อน รังสีแกมมา และยาบางชนิด เป็นต้น

กลุ่มอนุมูลอิสระออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) ได้แก่ อนุมูลซูเปอร์ออกไซด์แอนไอออน อนุมูลไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์และอนุมูลไฮดรอกซิล เป็นต้น เป็นสารที่เกิดจากกระบวนการเผาผลาญของร่างกายตามปกติ สารกลุ่มนี้จะสามารถทำลายโมเลกุลของสิ่งมีชีวิตได้ ทำให้เซลล์เมมเบรนเกิดการเสียความคงตัวและเสียหาย ทำให้เกิดโรคต่างๆ ดังนั้นจึงเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อร่างกาย ปกติร่างกายจะสามารถกำจัดอนุมูลอิสระได้โดยเอนไซม์ที่ร่างกายสร้างขึ้น เช่น ซูเปอร์ออกไซด์ดีสมิวเตสและกลูตาไธโอนเปอร์ออกซิเดส เป็นต้น หรือโดยสารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) ที่ได้รับจากอาหาร เช่น เบต้า-แคโรทีน (β -carotene) วิตามินซีและวิตามินอี เป็นต้น แต่ถ้าหากร่างกายเสียสมดุลด้วยสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง เช่น ความเครียด ความเจ็บป่วย การขาดสารอาหารหรือการได้รับอาหารที่มีสารต้านออกซิเดชันน้อยเกินไป การติดเชื้อและมลพิษในอากาศ เป็นต้น ก็จะส่งผลให้ในร่างกายมีอนุมูลอิสระมากเกินไป (oxidative stress) ทำให้เกิดโรคไม่ติดต่อเรื้อรังต่างๆ ดังกล่าวขึ้นมาได้ ตัวอย่างเช่น เมื่ออนุมูลอิสระออกซิเจนเข้าทำปฏิกิริยากับไขมันชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำในเลือด ทำให้เกิดเป็นไขมันชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำที่ถูกออกซิไดซ์ ทำให้เม็ดเลือดขาวชนิดแมคโครฟาจมาจับกินเกิดเป็นโฟมเซลล์เกาะอยู่ที่ผนังหลอดเลือด เมื่อมีจำนวนมากจะเกิดเป็นพลาครในหลอดเลือด ทำให้เกิดภาวะหลอดเลือดแดงแข็ง (atherosclerosis) สุดท้ายอาจทำให้หลอดเลือดแตกได้จนกระทั่งเป็นอัมพาต หรืออาจรุนแรงจนถึงขั้นเสียชีวิตได้ เป็นต้น

สารต้านออกซิเดชัน (antioxidant) คือสารที่ทำลาย และป้องกันอนุมูลอิสระ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่คือสารต้านออกซิเดชันที่เป็นเอนไซม์และสารต้าน

1. ศึกษาสภาวะในสกัดพอลิแซคคาไรด์
นำเห็ดถั่งเช่าสีทองไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (Wu et al., 2019) นาน 24 ชั่วโมง นำเห็ดถอบแห้งที่ได้ไปบดให้เป็นผงด้วยเครื่องบดไฟฟ้า นำผงเห็ดที่ได้ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช นำเห็ดถั่งเช่าสีทองผงมาสกัดไขมันออกโดยการสกัดด้วยเอทานอลร้อยละ 80 ด้วยชุดกลั่นแบบ soxhlet ในอัตราส่วนของเห็ดผงต่อเอทานอลร้อยละ 80 เท่ากับ 1 ต่อ 100 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ใช้เวลาสกัดนาน 5 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ระเหยเอทานอลร้อยละ 80 แล้วนำกากที่ได้มาทำการสกัดซ้ำอีก 1 รอบ จะได้เห็ดถั่งเช่าสีทองที่สกัดไขมันออกแล้ว นำเห็ดถั่งเช่าสีทองผง 20 กรัม มาเติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร นำไป สกัดที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที ใช้และไม่ใช้อัลตราซาวด์ แล้วทำไปแยกกากด้วยผ้าขาวบาง กรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 4 นำสารละลายใสที่กรองได้ ไปทำแห้งแบบแช่เยือกแข็ง (freeze drying) จะได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ตามต้องการ ทำ 3 ซ้ำ (replications) แล้วชั่งน้ำหนักสารสกัดที่ได้ คำนวณร้อยละของ ผลผลิตเปรียบเทียบกับน้ำหนักเห็ดถั่งเช่าสีทองผงเริ่มต้น

1. ปริมาณพอลิแซคคาไรด์

1.1 ปริมาณ polysaccharides ด้วยวิธี Phenol sulfuric acid assay (Dubois et al., 1956) หลักการ ในสารละลายกรดร้อนน้ำตาลกลูโคสถูกดึงน้ำออกทำให้เกิดสีน้ำตาลของสาร ไฮดรอกซีเมทิลเฟอิวรอล สารละลายมาตรฐานกลูโคส เข้มข้น 150 ไมโครกรัมต่อ มิลลิลิตร แล้ว เตรียมให้มีความเข้มข้นต่างๆ โดยนำมา 50-200 ไมโครลิตร มาเติมสารละลาย 2.5% phenol 950- 800 ไมโครลิตร สารละลายตัวอย่าง 200 ไมโครลิตร มาเติมสารละลาย 2.5%phenol 800 ไมโครลิตร และกรดซัลฟูริกเข้มข้น 2.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางให้เย็น ประมาณ 20 นาที จะได้ สารละลายมีสีน้ำตาลออก เหลือง วัดค่า A 490 nm

1.2 ปริมาณ polysaccharides ด้วยวิธี Anthrone test ชั่ง anthrone 0.2 กรัม เติมน้ำใน H₂SO₄ 100 มิลลิลิตร ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที นำตัวอย่าง จำนวน 0.5 มิลลิลิตร เติมน้ำในสารละลาย anthrone 2.5 มิลลิลิตร

ทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที จะได้ สารละลายมีสีเขียวออกน้ำเงิน วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 625 ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ Glucose standard solution 0.5 มิลลิลิตร ที่ความเข้มข้นต่างๆ

2. ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด (TPC)

นำตัวอย่างจำนวน 0.2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 3 มิลลิลิตรจากนั้นเติม Folin-ciocalteu reagent เจือจาง 10 เท่า ลงไป 3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน วางทิ้งไว้ที่ อุณหภูมิห้องนาน 10 นาที เติมน้ำ 20% disodium carbonate solution ลงไป 0.6 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน นำไปวางในอ่างน้ำอุ่นที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เมื่อครบเวลานำมาลดอุณหภูมิจนเท่า อุณหภูมิห้อง และ วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 755 nm โดยใช้ น้ำกลั่น set zero

3. ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของ สารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง

3.1 DPPH radical scavenging assay

ดัดแปลงจากวิธีของ (Yang et al., 2015) นำสารละลาย ตัวอย่างละลายในสารละลายเอทานอลเข้มข้นร้อยละ 50 ให้มีเข้มข้น 0.4 0.6 0.8 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 2 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 0.1 mM DPPH (ละลายใน 95% เอทานอล) จำนวน 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน เก็บไว้ในที่มืด ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ 517 นาโนเมตร คำนวณค่าความสามารถในการยับยั้ง DPPH เปรียบเทียบกับกรดแอสคอร์บิกและโทรลอคซ์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวณค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.2 Improved ABTS radical cation decolorization assay (ABTS assay)

เตรียม ABTS radical cation stock solution โดยชั่ง ABTS 0.0360 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร และชั่ง K₂S₂O₈ 0.3784 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร หลังจากนั้น ผสม 7 mM ABTS 10 มิลลิลิตร กับ 140 mM K₂S₂O₈ 176 ไมโครลิตร ในขวดสีชา ตั้งทิ้งไว้ในที่มืดเป็นเวลา 16 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้น นำมาเจือจางด้วยน้ำ

กลั่นในอัตราส่วนของ ABTS radical cation stock solution : น้ำกลั่น 1:75 มิลลิลิตร ทำการบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายอนุมูล ABTS⁺ จำนวน 2.5 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 0.5 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันเบาๆ แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้องและที่มีดเป็นเวลา 6 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 734 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เปรียบเทียบกับ กรดแอสคอร์บิก และโทรลอกซ์เข้มข้น 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวณค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.3 superoxide radical scavenging assay ดัดแปลงจากวิธีของ(Yang et al., 2015) นำสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 1 มิลลิลิตร มาเติมสารละลาย 0.1 M phosphate buffer, pH 7.2 จำนวน 1.0 มิลลิลิตร สารละลาย 2mM NADH จำนวน 1.0 มิลลิลิตร สารละลาย 0.5 mM NBT จำนวน 1.0 มิลลิลิตร และสารละลาย 0.03 mM PMS จำนวน 0.1 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 5 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 562 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เปรียบเทียบกับ กรดแอสคอร์บิกและโทรลอกซ์เข้มข้น 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวณค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.4 hydroxyl radical scavenging assay ทำตามวิธีของ(Yan et al., 2018) นำสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 0.2 มิลลิลิตร เติมสารละลาย 5mM FeSO₄ จำนวน 0.2 มิลลิลิตร และสารละลาย 1% (v/v) H₂O₂ จำนวน 0.2 มิลลิลิตร คนตลอดเวลา บ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 60 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 510 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer เปรียบเทียบกับ กรดแอสคอร์บิกและโทรลอกซ์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่าง

ความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวณค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.5 การวัดกิจกรรมการจับกับอออนของเฟอรัส (ferrous-ion-chelating activity) ทำตาม (Zhang et al., 2013) นำสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มา 1 มิลลิลิตร ผสมกับน้ำกลั่น 3.7 มิลลิลิตร และ 2.0 mM FeSO₄ 0.1 มิลลิลิตร และ 5.0 mM ferrozine 0.2 มิลลิลิตร ให้ทำปฏิกิริยา 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 562 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ใช้ ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร เป็น positive control ใช้ น้ำกลั่น เป็น blank นำค่าที่ได้มา plot กราฟระหว่างความเข้มข้นกับค่าการดูดกลืนแสง หาสมการ regression คำนวณค่า IC₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

3.6 ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ (reducing power) ทำตามวิธีของ(Yen and Chen, 1995) นำสารละลายตัวอย่างเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เติม 0.2 M สารละลายฟอสเฟตบัฟเฟอร์, pH 6.6 จำนวน 2.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายโพแทสเซียมเพอร์ไอโซยานด์เข้มข้นร้อยละ 1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) จำนวน 2.5 มิลลิลิตร ให้ทำปฏิกิริยาที่ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที เติมกรดไตรคลอโรอะซิติกความเข้มข้นร้อยละ 10 (น้ำหนัก/ปริมาตร) จำนวน 2.5 มิลลิลิตร หมุนเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 5000 รอบต่อนาที 10 นาที นำสารละลายส่วนใสมา 2.5 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 2.5 มิลลิลิตร เติมสารละลายเฟอริกคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.1 (น้ำหนัก/ปริมาตร) จำนวน 0.5 มิลลิลิตร วางไว้ 10 นาที วัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 700 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง Spectrophotometer ค่าการดูดกลืนแสงที่เพิ่มขึ้นแสดงว่า มีความสามารถในการรีดิวซ์ได้มากขึ้นใช้ กรดแอสคอร์บิกและโทรลอกซ์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 1.0 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ในการทำกราฟมาตรฐาน ใช้ น้ำกลั่นเป็น blank นำค่าที่ได้มาเทียบกับกราฟมาตรฐาน รายงานค่าเป็น AE (Ascorbic acid Equivalent) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) และ TE (Trolox Equivalent) (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)

4. การวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

การดำเนินงานมีการทดลอง 3 ชั้น วางแผนการทดลองแบบ 2 x 2 Factorial in Completely Randomized Design (CRD) 2 ปัจจัย คือ ปัจจัยที่ 1 (A) สกัดไขมันโดยใช้ชุดกลั่น Soxhlet (B) ไม่สกัดไขมัน และ 2 แบบ ประกอบด้วย 2.1) นำไป sonication ที่ 60°C 60 นาที 2.2) นำไปสกัดด้วยน้ำร้อน 60°C 60 นาที ใน water bath รวมทั้งหมด 4 สิ่งทดลอง (treatments) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple Ranges Test (DMRT) ที่ $p < 0.05$ ด้วยโปรแกรม SPSS Version 16.0

4. ผลการวิจัย

1.1 ร้อยละของผลผลิตของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละผลผลิตของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่มีผลต่อร้อยละของผลผลิตที่ได้ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40.89– 41.64

ตารางที่ 1 ร้อยละของผลผลิตของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	ร้อยละของผลผลิต ^{ns}
ND-NU	40.890 ± 0.476
ND-U	41.268 ± 0.116
D-NU	41.189 ± 0.422
D-U	41.635 ± 0.461
A: defat	0.270
B: ultra	0.181
A*B	0.909

หมายเหตุ ns หมายถึง not significantly different ($p > 0.05$)

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์
D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์
A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์

1.2 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์

จากการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ในสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง ตารางที่ 2 เมื่อทดสอบปัจจัย ทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ ผ่านการสกัดและไม่ผ่านการสกัดไขมันออก และการใช้อัลตราซาวด์ช่วย และไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด พบว่ามีความแตกต่างกันทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ พบว่า ND-NU

ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้ทำการสกัดไขมันออกและไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีปริมาณพอลิแซคคาไรด์น้อยที่สุด ($p < 0.05$) โดย D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$)

ตารางที่ 2 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	% polysaccharides Phenol sulfuric acid assay	% polysaccharides Anthrone test
ND-NU	6.5944 ± 0.02 ^a	6.9002 ± 0.03 ^a
ND-U	7.2264 ± 0.02 ^b	7.5214 ± 0.01 ^b
D-NU	8.7862 ± 0.01 ^c	8.9823 ± 0.02 ^c
D-U	10.2725 ± 0.01 ^d	10.358 ± 0.01 ^d
A: defat	0.000*	0.000*
B: ultra	0.000*	0.000*
A*B	0.000*	0.000*

หมายเหตุ^{abcd} = significantly different ($p \leq 0.05$) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์

1.3 Total contents of phenolic

จากการวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลรวมในสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองพบว่า เมื่อทดสอบปัจจัย ทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ ผ่านการสกัดและไม่ผ่านการสกัดไขมันออก และการใช้อัลตราซาวด์ช่วย และไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด พบว่ามีความ

แตกต่างกันทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3 โดยสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ พบว่า ND-NU ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้ทำการสกัดไขมันออกและไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีสารประกอบฟีนอลิกน้อยที่สุด ($p < 0.05$) ($0.483 \pm 0.001 \text{ mg/ml}$) โดย D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) ($0.579 \pm 0.003 \text{ mg/ml}$)

ตารางที่ 3 ปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	Total phenolic content (mg GAE/ ml of crude extract)
ND-NU	0.483 ± 0.001a
ND-U	0.524 ± 0.004 ^b
D-NU	0.552 ± 0.001 ^c
D-U	0.579 ± 0.003 ^d
A: defat	0.000*
B: ultra	0.000*
A*B	0.004*

หมายเหตุ^{abcd} = significantly different ($p \leq 0.05$) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ D-NU =
สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมัน
ออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตรา
ซาวด์ ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัด
เห็ดถั่งเช่าสีทอง

สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่าง มาวัด
ความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่
DPPH radical scavenging assay, Improved ABTS
radical cation decolorization assay, superoxide
radical scavenging assay, hydroxyl radical
scavenging assay, การวัดกิจกรรมการจับกับฮีโมโกลบินของ
เพอร์ออกไซด์ และค่าความสามารถในการรีดิวซ์ เมื่อทดสอบ
ปัจจัย ทั้ง 2 ปัจจัยร่วมกัน คือ ผ่านการสกัด และไม่ผ่าน
การสกัดไขมันออก และการใช้อัลตราซาวด์ช่วย และไม่
ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด พบว่ามีความแตกต่างกัน
ทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) ได้ผล
การทดลองดังแสดงในตารางที่ 4-7 จากการทดสอบฤทธิ์
ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้
จากเห็ดถั่งเช่าสีทองด้วยวิธี DPPH radical scavenging
assay จากตารางที่ 4 พบว่า ND-NU ซึ่งเป็นตัวอย่างที่
สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้ทำการสกัดไขมันออกและ
ไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ และ D-NU ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัด
จากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ทำการสกัดไขมันออกและไม่ได้
ใช้อัลตราซาวด์ น้อยกว่า ND-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัด
จากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัล
ตราซาวด์ และ D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสี
ทองที่ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ ส่วน

ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} พบว่า
โพลีแซคคาไรด์สามารถยับยั้งได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 0.547 \pm 0.001$
mg/ml) รองลงมาเป็นกรดแอสคอร์บิก ($IC_{50} = 0.557 \pm$
 0.001 mg/ml) และสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่ง
เช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดย D-U
ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัด
ไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมี
ความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS^{•+} ได้ดีที่สุด
($IC_{50} = 0.594 \pm 0.001$ mg/ml) ส่วนความสามารถในการ
จับกับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ พบว่ากรดแอสคอร์บิก
สามารถยับยั้งได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 0.585 \pm 0.001$ mg/ml)
รองลงมาเป็นโพลีแซคคาไรด์ ($IC_{50} = 0.600 \pm 0.002$ mg/ml)
และสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองตัวอย่าง
ที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดย D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่
สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและ
ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีความสามารถในการจับ
กับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 0.673 \pm$
 0.001 mg/ml) นอกจากนี้อนุมูลไฮดรอกซิลของสารสกัด
พอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองพบว่ากรด
แอสคอร์บิกสามารถยับยั้งได้ดีที่สุด ($IC_{50} = 0.551 \pm$
 0.002 mg/ml) รองลงมาเป็นโพลีแซคคาไรด์ ($IC_{50} = 0.600 \pm$
 0.002 mg/ml) และสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่ง
เช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดย D-U
ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัด
ไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมี
ความสามารถในการจับกับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ได้ดีที่สุด
($IC_{50} = 0.685 \pm 0.002$ mg/ml)

ตารางที่ 4 IC₅₀ ของ DPPH ABTS•+ ความสามารถในการจับกับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์และอนุมูลไฮดรอกซิลของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	IC ₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)			
	DPPH	ABTS ⁺	superoxide	hydroxyl
ND-NU	0.863 ± 0.037 ^b	0.948 ± 0.001 ^d	0.869 ± 0.001 ^d	1.115 ± 0.003 ^d
ND-U	0.634 ± 0.020 ^a	0.814 ± 0.002 ^c	0.826 ± 0.004 ^c	0.870 ± 0.002 ^c
D-NU	0.803 ± 0.029 ^b	0.762 ± 0.002 ^b	0.734 ± 0.000 ^b	0.757 ± 0.001 ^b
D-U	0.687 ± 0.033 ^a	0.594 ± 0.001 ^a	0.673 ± 0.001 ^a	0.685 ± 0.002 ^a
ascorbic acid	0.466 ± 0.000	0.557 ± 0.001	0.585 ± 0.001	0.551 ± 0.002
Trolox	0.450 ± 0.001	0.547 ± 0.001	0.600 ± 0.002	0.567 ± 0.001
A: defat	0.863 NS	0.000*	0.000*	0.000*
B: ultra	0.000 *	0.000*	0.000*	0.000*
A*B	0.030 *	0.000*	0.000*	0.000*

หมายเหตุ^{abcdef} = significantly different (p≤0.05) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
 ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์
 D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์
 A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์
 IC₅₀ คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้งอนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50

ความสามารถในการจับกับไอออนของเฟอร์รัสของ D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีค่าสูงที่สุด (IC₅₀=0.641 ± 0.002 mg/ml) (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 IC₅₀ ของความสามารถในการจับกับไอออนของเฟอร์รัสของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	IC ₅₀ (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร) ferrous chelating
ND-NU	0.926 ± 0.001 ^d
ND-U	0.799 ± 0.003 ^c
D-NU	0.685 ± 0.001 ^b
D-U	0.641 ± 0.002 ^a
EDTA	0.536 ± 0.000
A: defat	0.000*
B: ultra	0.000*
A*B	0.000*

หมายเหตุ^{abcde} = significantly different (p ≤ 0.05) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
 ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์

D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์

EDTA = ethylenediaminetetraacetic acid

IC₅₀ คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้ง

อนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50

ความสามารถในการรีดิวซ์ของD-U ซึ่งเป็น ตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมัน ออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยมีค่าสูงที่สุด ($p \leq 0.05$) (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 6 ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง

ตัวอย่าง	ascorbic acid equivalent (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)	Trolox equivalent (มิลลิกรัม/มิลลิลิตร)
ND-NU	0.259 ± 0.002 ^a	0.331 ± 0.002 ^a
ND-U	0.292 ± 0.002 ^b	0.369 ± 0.002 ^b
D-NU	0.292 ± 0.003 ^b	0.383 ± 0.003 ^c
D-U	0.305 ± 0.006 ^c	0.462 ± 0.005 ^d
A: defat	0.000*	0.000*
B:ultra	0.000*	0.000*
A*B	0.000*	0.000*

หมายเหตุ ^{abcd} = significantly different ($p \leq 0.05$) in the same column.

ND-NU = ไม่สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์
ND-U = ไม่สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์
D-NU = สกัดไขมันออก, ไม่ใช้อัลตราซาวด์ และ D-U = สกัดไขมันออก, ใช้อัลตราซาวด์ A = สกัดไขมันออก B = ใช้อัลตราซาวด์

IC₅₀ คือความเข้มข้นของสารที่สามารถยับยั้ง อนุมูลอิสระได้ร้อยละ 50

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

5.1 ศึกษาสถานะในสกัดพอลิแซคคาไรด์

จากการศึกษาสถานะในสกัดพอลิแซคคาไรด์ พบว่าร้อยละผลผลิตของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่าง พบว่าวิธีการเตรียมตัวอย่างไม่มีผลต่อร้อยละของ ผลิตที่ได้ ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40.89 – 41.64 โดยการใช้อัลตราซาวด์ช่วยและไม่ช่วยในการสกัด รวมทั้งการสกัดไขมันออกและไม่สกัดไขมันออก ไม่มีผล ต่อร้อยละผลผลิต อาจเป็นเพราะเห็ดชนิดเดียวกันการ ใช้อัลตราซาวด์ช่วยและไม่ช่วยในการสกัดมีงานทดลองที่

พบว่า การสกัดที่ได้ผลผลิตต่างกันเพราะเป็นเห็ดคนละ ชนิดกันทำให้มีสมบัติทางกายภาพต่างกัน ลักษณะการ กระจายตัวในน้ำที่ดีจะช่วยให้ได้ผลผลิตสูงกว่าการจับตัว เป็นก้อนในน้ำ ซึ่งทำให้สกัดยาก (Cheung et al., 2012) นอกจากนั้นยังมีงานทดลองที่พบว่า การใช้อัลตราซาวด์ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการสกัดจะได้ผลถ้าผงเห็ดมีขนาด เล็กพอ (Sun et al., 2011) (โดยได้สกัดเบต้าแคโรทีนจาก เปลือกส้ม และผลผลิตจะเพิ่มขึ้นถ้าขนาดผงเล็กลง โดยถ้า เล็กกว่า 0.28 มิลลิเมตร ค่าผลผลิตที่ได้จะไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าเปรียบเทียบกับมากกว่า 0.28 มิลลิเมตร จะแตกต่างกัน ถ้าขนาดเล็กลงแล้ว การใช้อัลตราซาวด์ช่วยจะไม่มี ผลในการเพิ่มผลผลิต เพราะผนังเซลล์ได้ถูกทำลายไป เรียบร้อยแล้วจากการลดขนาด และมีพื้นที่ผิวมากพอแล้ว (Sun et al., 2011) ตามการทดลองนี้ได้บดจนเห็ดผง สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 60 เมช หรือคือมีขนาด อนุภาคต่ำกว่า 0.25 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามในการ ทดลองนี้พบว่า การใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดในการ ทดลองนี้จะได้สารสกัดพอลิแซคคาไรด์ที่มีความสามารถ

ในการต้านออกซิเดชันสูงกว่า ซึ่งสอดคล้องกับงานทดลองของ (Cheung et al., 2012)

5.2 ศึกษาปริมาณพอลิแซคคาไรด์ และความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง

จากการวิเคราะห์ปริมาณพอลิแซคคาไรด์รวมของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองพบว่าปริมาณพอลิแซคคาไรด์รวมที่ได้ มีความแตกต่างกัน เนื่องจากวิธีการสกัดมีความแตกต่างกัน คือ ผ่านการสกัด และไม่ผ่านการสกัดไขมันออก และการใช้อัลตราซาวด์ช่วย และไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด จึงพบที่มีความแตกต่างกันทั้ง 2 ปัจจัยอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทองตัวอย่างที่ 4, 3, 2 และ 1 ตามลำดับ พบว่า ND-NU ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้ทำการสกัดไขมันออกและไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีปริมาณพอลิแซคคาไรด์น้อยที่สุด ($p < 0.05$) โดย D-U ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) โดยการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดของเห็ดถั่งเช่าสีทองมีผลต่อปริมาณพอลิแซคคาไรด์รวมของสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทอง ซึ่งอาจขึ้นอยู่กับโครงสร้าง ลักษณะ และคุณสมบัติเฉพาะทางเคมี รวมทั้งสภาพผิวของทั้งตัวทำละลายและสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพ จำนวนของตัวอย่างที่ใช้ในการสกัด สภาวะขั้นตอนและวิธีการ สกัดที่ทำให้ได้มาซึ่งสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพจากส่วนต่างๆของเห็ดแตกต่างกัน เช่น ชนิดของตัวทำละลาย ระยะเวลา อุณหภูมิ ตลอดจนสิ่งรบกวนต่างๆ ในขั้นตอนการสกัด เป็นต้น งานวิจัยของ (Cheung et al., 2012) พบว่าการที่มีโปรตีนในพอลิแซคคาไรด์สกัดมีบทบาทในการเพิ่มความสามารถในการต้านออกซิเดชันจากพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ด โดยได้สกัด 2 วิธีคือใช้น้ำร้อน (hot water extraction; HWE) และใช้อัลตราโซนิค (ultrasonic-assisted extraction; UAE) พบว่าใช้อัลตราโซนิคมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าและมีปริมาณโปรตีนสูงกว่าพินอลที่พบในเห็ด ทำหน้าที่เป็นสารต้านออกซิเดชัน หรือสารต้านอนุมูล

อิสระ (Ishikawa et al., 1984) การต้านและกำจัดอนุมูลอิสระเป็น หนึ่งในกลไกของการยับยั้งการเกิดและกำจัดอนุมูลอิสระที่เกิด จากกระบวนการออกซิเดชันของลิพิด (lipid) วิธีการกำจัดสารนำมาใช้ในการประเมินฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารประกอบหรือสารสกัดที่เฉพาะเจาะจง โดย ใช้ระยะเวลาการทดสอบสั้นและมีประสิทธิภาพ และพบว่าวิธีการและสภาวะการสกัดสารสกัดเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองสามารถสกัดปริมาณพินอลรวมได้ดี และส่งผลต่อประสิทธิภาพการต้านออกซิเดชัน โดยผลของค่า IC50 เป็นตัวบ่งชี้ถึง ประสิทธิภาพในการต้านออกซิเดชันของสาร ซึ่งในการ วิเคราะห์ได้ทำการวิเคราะห์ความสามารถในการต้านออกซิเดชัน โดยนำสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่าง มาวัดความสามารถในการต้านออกซิเดชันด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ DPPH radical scavenging assay, improved ABTS radical cation decolorization assay, superoxide radical scavenging assay, hydroxyl radical scavenging assay, การวัดกิจกรรมการจับกับอออนของเฟอร์รัส และค่าความสามารถในการรีดิวซ์

DPPH radical และ ABTS radical cation scavenging assay เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างโดยกลไกการให้อิเล็กตรอนหรืออะตอมไฮโดรเจนแก่อนุมูลอิสระ DPPH และ ABTS ซึ่ง ค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงมากแสดงว่ามีความสามารถในการจับกับอนุมูลอิสระได้มาก ABTS radical cation scavenging assay (Sanchez, 2017) superoxide radical scavenging assay เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างในการจับกับอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ ทำให้เมื่อเติมสาร nitroblue tetrazolium (NBT) ลงไปเพื่อจับกับอนุมูลอิสระซูเปอร์ออกไซด์ จะเกิดขึ้นน้อยทำให้ค่าการดูดกลืนแสงลดลง (Sanchez, 2017) hydroxyl radical scavenging assay เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการไปจับกับอออนของโลหะซึ่งเร่งการเกิดปฏิกิริยา Fenton ที่ทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (Zhang et al., 2013) ส่วนการวัดกิจกรรมการจับกับอออนของเฟอร์รัส เป็นการวัดความสามารถของสารต้านออกซิเดชันในการจับกับเฟอร์รัส

โดยสารต้านออกซิเดชันในตัวอย่างจะมีบทบาทขัดขวางการจับกับเฟอร์รัสของสารประกอบเพอโรซิน ทำให้การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของเฟอร์รัส-เพอโรซินลดลง มักทำเปรียบเทียบกับสาร EDTA (Zhang *et al.*, 2013) ค่าความสามารถในการรีดิวซ์ จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับกิจกรรมต้านออกซิเดชัน ดังนั้นสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ทั้ง 4 ตัวอย่างได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4-7 จากการทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองด้วยวิธี DPPH radical scavenging assay พบว่าการสกัดไขมันออกไม่มีผลต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ DPPH แต่การสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ มีผลต่อความสามารถในการยับยั้งอนุมูลอิสระ ABTS•+ ความสามารถในการจับกับอนุมูลซูเปอร์ ความสามารถในการจับกับอนุมูลซูเปอร์ออกไซด์ และอนุมูลไฮดรอกซิลของสารสกัดพอลิแซคคาไรด์จากเห็ดถั่งเช่าสีทอง การที่สารสกัดพอลิแซคคาไรด์แต่ละตัวอย่างมีค่าความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่สูงในทุกการวิเคราะห์ เนื่องจากสารสกัดในการทดลองนี้เป็นการสกัดแบบหยาบทำให้สารสกัดที่ได้อยู่ในรูปของพอลิแซคคาไรด์ที่จับอยู่กับโปรตีน ซึ่งจะมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดีกว่า ผลการทดลองสอดคล้องกับจากงานวิจัยของ (Zhang *et al.*, 2013) ได้ทำการสกัดดอกเห็ดถั่งเช่าสีทอง ด้วยการต้มในน้ำกลั่น เมื่อทดสอบฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH assay พบว่าสารสกัดดังกล่าวมีฤทธิ์การยับยั้งสูงถึงร้อยละ 70-80 ที่ความเข้มข้น 3.0-10.0 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยกรดแอสคอร์บิกที่ใช้เป็นสารมาตรฐาน นอกจากนี้งานทดลอง (Cheung *et al.*, 2012) พบว่าในสารสกัดที่มีการใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีโปรตีนสูงกว่าที่สกัดโดยน้ำร้อนเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด โดยจากเห็ด 3 ชนิดที่ได้ทำการศึกษามีปริมาณโปรตีนในสารสกัดพอลิแซคคาไรด์ของตัวอย่างที่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดและที่ไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดเท่ากับร้อยละ 33, 25, 34 และ 21, 15, 29 ตามลำดับ ส่วนงานทดลองของ Leung *et al.* (2009) พบว่าปริมาณโปรตีนในพอลิแซคคาไรด์มีความสัมพันธ์ในทางบวกกับค่าความสามารถใน

การต้านออกซิเดชัน โดยแสดงเป็นค่า Trolox equivalent antioxidant activity (TEAC) นอกจากนี้การใช้อัลตราซาวด์ยังเป็นการช่วยลดขนาดของโมเลกุล มีข้อมูลว่าขนาดของโมเลกุลที่เล็กลงหรือเป็นสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำอาจจะมีผลทำให้มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันที่ดีกว่าสารที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงกว่า เช่นการศึกษาในโคโคซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่าง ๆ (Tomida *et al.*, 2009) และอัลจินต (Zhao *et al.*, 2012) เป็นต้น

สรุป

ร้อยละของผลผลิตของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองพบว่าไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 40.89– 41.64 ปริมาณพอลิแซคคาไรด์ตัวอย่างที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) ความสามารถในการต้านออกซิเดชันของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทอง โดยการประเมินด้วยวิธีต่าง ๆ ได้แก่ DPPH radical scavenging assay, Improved ABTS radical cation decolorization assay, superoxide radical scavenging assay, hydroxyl radical scavenging assay, การวัดกิจกรรมการจับกับอออนของเฟอร์รัสและค่าความสามารถในการรีดิวซ์ พบว่ามีความแตกต่างกัน ($p < 0.05$) โดยสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดไขมันออกก่อน ทั้งที่ใช้และไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีความสามารถในการจับกับอนุมูล DPPH ดีกว่าตัวอย่างสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ไม่ได้สกัดไขมันออกก่อนและไม่ได้ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด ($p \leq 0.05$) สารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดไขมันออกก่อนและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีความสามารถในการจับกับอนุมูล ABTS•+, superoxide และ hydroxyl ดีกว่าตัวอย่างอื่น ($p < 0.05$) โดยมีค่า IC50 เท่ากับ 0.594 ± 0.001 , 0.673 ± 0.001 และ 0.685 ± 0.002 ตามลำดับ ความสามารถในการจับกับอออนของเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ของสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากการสกัดไขมันออกก่อนและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัดมีค่าดีที่สุด ($p < 0.05$) เมื่อ

เทียบกับตัวอย่างอื่น รองลงมาเป็นตัวอย่งที่สกัดไขมันออกก่อนและไม่ใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด และปริมาณฟีนอลรวมในสารสกัดหยาบพอลิแซคคาไรด์ที่ได้จากเห็ดถั่งเช่าสีทองสีทองตัวอย่างที่ 4 ซึ่งเป็นตัวอย่างที่สกัดจากเห็ดถั่งเช่าสีทองที่ได้ทำการสกัดไขมันออกและใช้อัลตราซาวด์ช่วยในการสกัด มีค่าสูงที่สุด ($p < 0.05$) (0.842 ± 0.003 mg/ml)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

7. เอกสารอ้างอิง

Chen, J., Zhang, W., Lu, T., Li, J., Zheng, Y. & Kong, L. 2006. Morphological and genetic characterization of a cultivated *Cordyceps sinensis* fungus and its polysaccharide component possessing antioxidant property in H2 2 tumor-bearing mice. **Life Sciences**, 78(23), 2742-2748.

Cheung, Y.-C., Siu, K.-C., Liu, Y.-S. & Wu, J.-Y. 2012. Molecular properties and antioxidant activities of polysaccharide-protein complexes from selected mushrooms by ultrasound-assisted extraction. **Process Biochemistry**, 47(5), 892-895.

Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. t. & Smith, F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical chemistry**, 28(3), 350-356.

Li, S. P., Zhao, K. J., Ji, Z. N., Song, Z. H., Dong, T. T., Lo, C. K., Cheung, J. K., Zhu, S. Q. & Tsim, K. W. 2003. A polysaccharide isolated from *Cordyceps sinensis*, a

traditional Chinese medicine, protects PC12 cells against hydrogen peroxide-induced injury. **Life sciences**, 73(19), 2503-2513.

Mingyi, Y., Belwal, T., Devkota, H. P., Li, L. & Luo, Z. 2019. Trends of utilizing mushroom polysaccharides (MPs) as potent nutraceutical components in food and medicine: A comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, 92(94-110).

Nie, S.-P., Cui, S. W., Phillips, A. O., Xie, M.-Y., Phillips, G. O., Al-Assaf, S. & Zhang, X.-L. 2011. Elucidation of the structure of a bioactive hydrophilic polysaccharide from *Cordyceps sinensis* by methylation analysis and NMR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, 84(3), 894-899.

Reis, F. S., Barros, L., Calheta, R. C., Ćirić, A., Van Griensven, L. J., Soković, M. & Ferreira, I. C. 2013. The methanolic extract of *Cordyceps militaris* (L.) Link fruiting body shows antioxidant, antibacterial, antifungal and antihuman tumor cell lines properties. **Food and chemical toxicology**, 62(91-98).

Sun, Y., Liu, D., Chen, J., Ye, X. & Yu, D. 2011. Effects of different factors of ultrasound treatment on the extraction yield of the all-trans- β -carotene from citrus peels. **Ultrasonics Sonochemistry**, 18(1), 243-249.

Tomida, H., Fujii, T., Furutani, N., Michihara, A., Yasufuku, T., Akasaki, K., Maruyama, T., Otagiri, M., Gebicki, J. M. & Anraku, M. 2009. Antioxidant properties of some different molecular weight chitosans.

- Carbohydrate Research**, 344(13), 1690-1696.
- Wu, X.-f., Zhang, M. & Li, Z. 2019. Influence of infrared drying on the drying kinetics, bioactive compounds and flavor of *Cordyceps militaris*. **LWT**, 111(790-798).
- Yan, J.-K., Ding, Z.-C., Gao, X., Wang, Y.-Y., Yang, Y., Wu, D. & Zhang, H.-N. 2018. Comparative study of physicochemical properties and bioactivity of *Hericium erinaceus* polysaccharides at different solvent extractions. **Carbohydrate polymers**, 193(373-382).
- Yang, Q., Yin, Y., Yu, G., Jin, Y., Ye, X., Shrestha, A., Liu, W., Yu, W. & Sun, H. 2015. A novel protein with anti-metastasis activity on 4 T1 carcinoma from medicinal fungus *Cordyceps militaris*. **International journal of biological macromolecules**, 80(385-391).
- Yen, G.-C. & Chen, H.-Y. 1995. Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their antimutagenicity. **Journal of agricultural and food chemistry**, 43(1), 27-32.
- Zhang, Z., Jin, Q., Lv, G., Fan, L., Pan, H. & Fan, L. 2013. Comparative study on antioxidant activity of four varieties of *F. lammulina velutipes* with different colour. **International journal of food science & technology**, 48(5), 1057-1064.
- Zhao, X., Li, B., Xue, C. & Sun, L. 2012. Effect of molecular weight on the antioxidant property of low molecular weight alginate from *Laminaria japonica*. **Journal of Applied Phycology**, 24(2), 295-300.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลงอกเพื่อสุขภาพ Development of a Healthy Spread Product From Germinated Black Fragrance (Hom-Nil) Rice

ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ^{1*} จุฑาทิพย์ ดวงทิพย์¹ และ ปรีดา ตัญจนะ²
Teeravat Tepjaikad^{1*} Jutathip Duangthip¹ and Preeda Thanjana²

1* คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ. เมือง ลำปาง 52000

2* คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง 200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ. เมือง ลำปาง 52000

1* Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala University of Technology Lanna,
200 Moo 17 T. Pichai A.Muang Lampang, 52000

2* Faculty of Business Administration and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Lanna,
200 Moo 17 T.Pichai A.Muang Lampang, 52000

*E-mail : teeravat.11tee@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์ : 08-6912-3868

บทคัดย่อ

การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลงอกเพื่อสุขภาพและศึกษาการยอมรับของผู้บริโภค ทำการเตรียมเจลแป้งข้าวที่ใช้อัตราส่วนน้ำ:แป้ง เท่ากับ 1.5:1 และย่อยแป้งเป็นน้ำตาลด้วยเอนไซม์อะไมเลสด้วยความเข้มข้นและระยะเวลาที่เหมาะสม เจลแป้งข้าวที่ได้มีปริมาณของแข็งที่ละลายทั้งหมดเท่ากับ 34 องศาบริกซ์ สูตรที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลงอก ประกอบด้วย เจลแป้งข้าวหอมนิลงอก น้ำมันรำข้าว แป้งรำข้าว เต้าหัวถั่วเหลือง งาขาว งาดำ กัวยี่งัม และเกลือ ร้อยละ 52.37, 10, 15, 20, 1.31, 1.31, 0.01 และ ร้อยละ 0.04 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์สเปรตที่พัฒนาได้ มีค่า L* (ความสว่างของสี), a* (ค่าความเป็นสีแดงเขียว), b* (ค่าความเป็นสีน้ำเงินเหลือง) เท่ากับ 23.29, 6.50, 3.79 และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) เท่ากับ 0.92 ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า เท่ากับ ร้อยละ 60.03, 7.20, 2.18 และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด 4.83 $\mu\text{g GAE/mg}$ ตามลำดับ จากการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ตัวอย่างจำนวน 200 คน ที่เคยบริโภคผลิตภัณฑ์ในกลุ่ม แยม และสเปรตแบบต่างๆ ในเขตพื้นที่จังหวัดลำปาง ที่เป็นเพศหญิง ร้อยละ 55 เพศชาย ร้อยละ 45 ส่วนใหญ่เคยรับประทานผลิตภัณฑ์สเปรตคิดเป็นร้อยละ 71.5 ทั้งนี้ผู้บริโภค ร้อยละ 88.0 ให้การยอมรับในผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้ คะแนนความชอบเฉลี่ยของผลิตภัณฑ์ ด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นข้าว รสชาติ และความชอบรวม เท่ากับ 6.1, 6.3, 6.8, 6.6 และ 6.4 คะแนน ตามลำดับ เหตุผลที่เลือกซื้อผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลงอก เพราะความแปลกใหม่ (ร้อยละ 55.0) ผู้บริโภคสนใจซื้อผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ 56.0) ในราคากระปุกละ 25 บาท/100 กรัม

คำสำคัญ : สเปรต, ข้าวหอมนิลงอก, การพัฒนาผลิตภัณฑ์, ผู้บริโภค

Abstract

This study aimed to develop healthy spread products from germinated black fragrance rice or Hom-Nil rice (*Oryza sativa*) and to study consumer acceptance. Germinated fragrance rice starch gel was prepared using water and starch with a ratio of 1.5: 1. The starch gel was then digested into sugars with the appropriate concentration of amylase enzyme and appropriate duration of digestion. Digested germinated black fragrance rice starch gel had total soluble solids 34 degrees brix. The suitable formula of gel spread product from germinated black fragrance rice consisted of germinated fragrance rice flour gels (52.37%), rice bran oil (10%), defatted rice bran flour (15%), soybean tofu (20%), white sesame powder (1.31%), black sesame powder (1.31%), guar gum (0.01%) and salt (0.04%). The L*, a*, b* value of developed germinated black fragrance rice spreads were 23.29, 6.50, 3.79 and water activity (aw) was equal to 0.92. Total solid, protein and ash contents were 60.03%, 7.20%, 2.18%, respectively. Total phenolic content was 4.83 µg GAE/mg. Two hundred consumers from Lampang province who had experiences with jam and any types of spread consumption participated in the consumer acceptance test. Participants were 55% female and 45% male. Most of them (71.5 %) have consumed spread products and about 88 % of consumers accepted the developed germinated black rice spread product. The average liking score of appearance, rice color, flavor, taste, and overall liking score were 6.1, 6.3, 6.8, 6.6 and 6.4 points, respectively. The reason for buying the developed spread product was a novelty (55.0%). Fifty-six percent of consumers were interested in purchasing the developed product with the price of 25 baht/100 g.

Keywords: spread product, germinated black fragrance rice, product development, consumer

1. บทนำ

ข้าวหอมนิล เป็นพันธุ์ข้าวที่อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหารครบถ้วน มากกว่าข้าวสีอื่นๆ โดยเมื่อเทียบกับข้าวทั่วไปแล้วข้าวหอมนิลมีคุณค่าทางอาหารสูงมากกว่าถึง 7 เท่า โดยประโยชน์ที่เด่นชัดคือ มีสาร Proanthocyanidin ซึ่งเป็นสารต้านอนุมูลอิสระที่มีประสิทธิภาพดีกว่าวิตามินซีและวิตามินอี อีกทั้งยังช่วยควบคุมน้ำหนัก เนื่องจากสามารถให้ความหวานมากกว่าน้ำตาลถึง 35 เท่า ข้าวหอมนิลอุดมไปด้วยสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกายมากมายได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน วิตามินอี วิตามินบี แคลเซียม ธาตุเหล็ก สังกะสี น้ำมันรำข้าว สารต้านอนุมูลอิสระ โยอาหาร แอนโทไซยานิน กรดไขมันไม่อิ่มตัว โอเมก้า 3 และฟอสฟอรัส ซึ่งสารอาหารเหล่านี้มีส่วนช่วยในการบำรุงสมอง บำรุงสายตา บำรุงเส้นผม และป้องกันโรคต่างๆ ได้มากมายได้แก่ โรคมะเร็ง ลำไส้ใหญ่ โรคมะเร็งกระเพาะอาหาร โรคเหน็บชา โรคโลหิตจาง โรคหัวใจอัมพาต เป็นต้น รวมทั้งช่วยการไหลเวียนของเส้นเลือดฝอย การทำงานของระบบสมอง และระบบกล้ามเนื้อ รวมถึงลดไขมันอุดตันในเส้นเลือดอีกด้วย ข้าวหอมนิลจึงเป็นข้าวที่เหมาะสมสำหรับคนรักสุขภาพ และคนที่ต้องการลดน้ำหนักเป็นอย่างมาก โดยในปัจจุบันนิยมนำข้าวหอมนิลไปแปรรูปใช้ในอุตสาหกรรมอาหารเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็นขนมขบเคี้ยวต่างๆ แคร็กเกอร์ คุกกี้ เครื่องดื่มข้าวหอมนิล กาแฟข้าวหอมนิล รวมถึงมีการนำไปแปรรูปทำเป็นครีมบำรุงข้าวหอมนิล ครีมแต้มผิวข้าวหอมนิล สบู่ข้าวหอมนิล แชมพูและครีมนวดผมข้าวหอมนิลกันเป็นจำนวนมากอีกด้วย

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เล็งเห็นความสำคัญของข้าวหอมนิลที่มีคุณค่าทางโภชนาการและสามารถนำมาทำการพัฒนาและปรับปรุงสูตรในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรต โดยใช้ข้าวหอมนิลเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต ซึ่งการใช้ข้าวหอมนิลจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์สเปรตมีคุณค่าทางโภชนาการเพิ่มมากขึ้น

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ข้าวหอมนิล หรือเรียกว่า ข้าวสีนิล เป็นข้าวชนิดหนึ่ง เป็นพืชตระกูลหญ้า มีอายุสั้นเพียงฤดูเดียว

เจริญเติบโตได้ง่ายๆ เป็นพืชล้มลุกขนาดเล็ก ลำต้นตั้งตรง ลำต้นมีลักษณะกลมเล็กๆ มีข้อและปล้องกลวง ช่วงโคนต้นมีข้อและปล้องสั้นกว่า และยาวขึ้นเรื่อยๆ มีเปลือกหุ้มมีขนหยาบๆปกคลุม ต้นมีสีเขียวปนม่วง ใบเป็นใบเดี่ยว ออกตรงข้ามสลับกัน ใบมีลักษณะยาวรี ขอบใบเรียบ มีเส้นกลางใบตามยาวเห็นชัด ก้านใบออกหุ้มรอบๆลำต้น มีขนเล็กๆปกคลุม ผิวใบสากมือ มีสีเขียว ผลเป็นเมล็ด อยู่เป็นช่อ มีลักษณะทรงรี เรียวยาวเล็กๆ มีเปลือกแข็งแห้งหุ้มเมล็ด เปลือกเมล็ดอ่อนมีสีเขียว เปลือกเมล็ดมีสีม่วงเข้ม ข้างในมีเมล็ดแข็งมาก มีเยื่อหุ้มเมล็ดสีม่วงเข้ม เมล็ดมีสีม่วงดำ เมื่อหุงสุกแล้วเมล็ดจะร่วนสวย นุ่มเหนียว มีกลิ่นหอม สำหรับสารสำคัญที่พบ ได้แก่ สารแอนโทไซยานิน (Anthocyanin) ซึ่งเป็นสารประกอบที่จัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) ที่ประกอบไปด้วยสาร Cyanidin กับ สาร Peonidin สารดังกล่าวทั้งหมดนี้เป็นสาร Antioxidant ที่ทำหน้าที่จับกับอนุมูลอิสระแล้วช่วยให้กลไกการทำงานของร่างกายมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าปกติ สามารถช่วยลดการอักเสบของเนื้อเยื่อ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือดที่หัวใจ และสมอง บรรเทาโรคเบาหวาน ช่วยบำรุงสายตาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการมองเห็นเวลามองตอนกลางคืน สาร Cyanidin เป็นสารประกอบที่จัดอยู่ในกลุ่มของฟลาโวนอยด์ (Flavonoid) มีประสิทธิภาพในการต้าน oxidation ได้ดีกว่าวิตามินอีหลายเท่า และยังยับยั้งการเจริญเติบโตของ Epidermal growth factor receptor ในเซลล์มะเร็งได้ สารโปรแอนโทไซยานิน (Proanthocyanidin) หรือสาร Condensed tannins มีฤทธิ์ต้านการ oxidation ได้ดีกว่าวิตามินซี วิตามินอี และเบต้าแคโรทีน (Beta-carotene) สารโปรแอนโทไซยานิน ยังไปจับกับอนุภาคของกัมมันตภาพรังสีทำให้เซลล์ในร่างกายทำงานได้อย่างปกติ ช่วยลดไขมันอุดตันในเส้นเลือดป้องกันโรคหัวใจ และโรคความดันโลหิตสูง ยังยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์มะเร็งเต้านม ปอด กระเพาะอาหาร เม็ดเลือดขาว และยังป้องกันไวรัส HSV-1 และยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ Reverse transcriptase ในไวรัส HIV

ผลิตภัณฑ์สเปรตโดยทั่วไป เป็นผลิตภัณฑ์ที่ทำจากน้ำมันพืชหรือน้ำมันพืชผสมไขแดงโหนดเดียวกัน

(Emulsion) ผสมผักตบชว ปรุงแต่งรสด้วยน้ำสมสายชูและหรือน้ำมันมะนาว และส่วนผสมอื่น อาจผสมแป้งสุกและหรือเนื้อสัตว์ ใช้สำหรับปรุง แต่งรสอาหาร มีลักษณะเหลวค่อนข้างข้นขึ้นของผักและเนื้อสัตว์ (ถามี) กระจายอย่างสม่ำเสมอ มีกลิ่นรสดีตามส่วนผสมที่ใช้ทำ มีไขมันทั้งหมดไม่น้อยกว่าร้อยละ 30 โดยน้ำหนักและมีความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่เกิน 4.1 สำหรับผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอก นับเป็นอีกรูปแบบหนึ่งที่มีการใช้ข้าวหอมนิลเป็นส่วนผสมหลัก และหลีกเลี่ยงการใช้น้ำตาลในส่วนผสมแต่อาศัยกระบวนการในการย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลด้วยเอนไซม์อะไมเลสในระดับความเข้มข้นและปริมาณที่เหมาะสม โดยมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องใกล้เคียง อาทิ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาขนมปังเปลี่ยนแบบเนยถั่วจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่ (วรัณษา, 2560) ทั้งนี้มีความโดดเด่นคือ มีวิตามินอี และฤทธิ์ด้านการออกซิเดชัน ในผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาได้

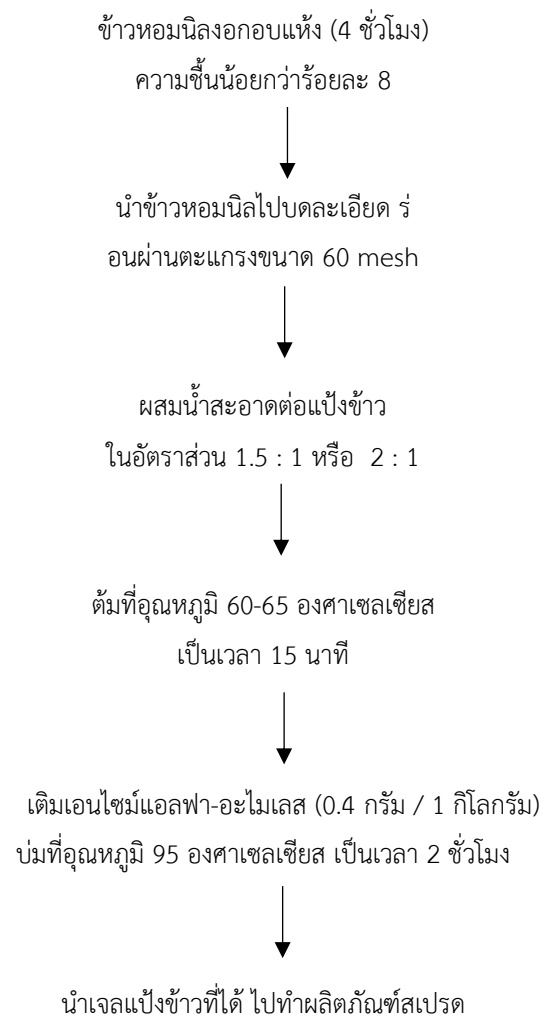
3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าวหอมนิลและศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับขั้นตอนการทำผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลโดยทำการออกแบบแบบสอบถามเพื่อใช้ในการสำรวจพฤติกรรมเบื้องต้นของผู้บริโภค โดยใช้วิธีสัมภาษณ์และตอบแบบสอบถาม โดยใช้หลักเกณฑ์การสุ่มตัวอย่างแบบสะดวก (Convenience Sampling) (สุดาตวง, 2543; ศิริวรรณ, 2540) โดยใช้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คน ทำการทดสอบแบบ Central Location Test (CLT) แบ่งเป็น 3 ส่วน คือ ข้อมูลของผู้ตอบแบบสอบถาม ได้แก่ เพศ อายุ อาชีพ รายได้ เป็นแบบสอบถามแบบเลือกตอบ (Check list question) ข้อมูลเกี่ยวกับการบริโภค เป็นการสอบถามข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการบริโภคผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอก และทัศนคติที่มีต่อผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอก

3.2 การศึกษาสูตรและกระบวนการผลิตที่เหมาะสมในการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอก ทำการเตรียมข้าวหอมนิลลงอก โดยนำข้าวหอมนิลแช่น้ำที่

อุณหภูมิ 30±2 องศาเซลเซียส (4 ชั่วโมง) จากนั้นล้างด้วยน้ำสะอาด ท่อด้วยผ้าขาวบางเกลี่ยและวางในกล่องพลาสติก บ่มให้ข้าวงอกเป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ระหว่างการบ่มล้างด้วยน้ำสะอาดทุก 4-6 ชั่วโมง) จนได้ข้าวหอมนิลงอก (สุนัน และ จตุรงค์, 2558) จากนั้นนำข้าวงอกดังกล่าว ไปอบแห้ง แล้วทำการบดละเอียดเพื่อนำไปเตรียม “เจลแป้งข้าวหอมนิลลงอก” โดยย่อยแป้งให้เป็นน้ำตาลด้วยเอนไซม์ และนำไปทำผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอกต่อไปโดยขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 1

การเตรียมเจลแป้งข้าวหอมนิลลงอก



รูปที่ 1 ขั้นตอนในการเตรียมเจลแป้งข้าวหอมนิลลงอก
ที่มา : ดัดแปลงจากธีรวัฒน์ (2562)

การศึกษาสูตรผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิล
งอก พร้อมศึกษากระบวนการผลิต (ดัดแปลงจากพัชร
ลักษณ์และคณะ, (มปป.) และดัดแปลงจาก วราภรณ์ และ
คณะ (2555)) ทำการวางแผนการทดลอง โดยกำหนด
ปัจจัยที่ศึกษา (ส่วนผสมแสดงดังตารางที่ 1) ดังนี้

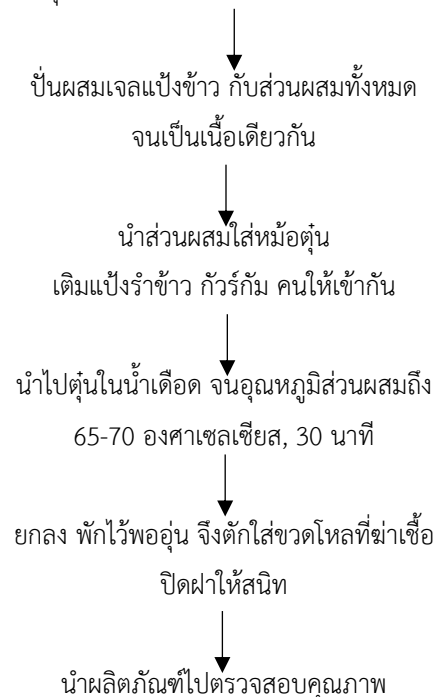
1. อัตราส่วนการเตรียมเจลแป้ง (น้ำ:แป้ง) ที่ 1.5 : 1 เติมเต้าหู้ถั่วเหลือง และแป้งข้าวสาคูไขมัน ร้อยละ 10: 5, 10:15, 20:5 และ 20:15 ตามลำดับ
2. อัตราส่วนเตรียมเจลแป้ง (น้ำ : แป้ง) ที่ 2 : 1 พร้อมเติมเต้าหู้ถั่วเหลือง และแป้งข้าวสาคู ไขมันร้อยละ 10:5, 10:15, 20:5 และ 20:15 ตามลำดับ

แล้วจึงทำการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าว
หอมนิล

งอกตามขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 2

วิธีทำผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลงอก

ซึ่งตั้งวัตถุดิบอัตราส่วนตามที่กำหนดในแต่ละอัตราส่วน



รูปที่ 2 ขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรต
จากข้าวหอมนิลงอก

ที่มา: ดัดแปลงจากวราภรณ์ และคณะ (2555)

ทำการคัดเลือกอัตราส่วน ปริมาณเต้าหู้ถั่วเหลือง
และแป้งข้าวสาคูไขมันที่เหมาะสมดังกล่าว โดยทำการ
วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized
Design (CRD) พร้อมทำการวิเคราะห์คุณภาพทาง
กายภาพ ได้แก่ ค่าสี (Colorimeter) ระบบ Hunter Lab,
ค่า Aw ด้วยเครื่องวัดปริมาณน้ำอิสระ (ยี่ห้อ Aqua Lab
รุ่น LITE, USA) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด
(Hand refractometer) ยี่ห้อ ATAGO คุณภาพทางเคมี
ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ปริมาณ
โปรตีน โดยใช้เครื่องมือวิเคราะห์แบบอัตโนมัติ ยี่ห้อ Foss
และปริมาณเถ้า ตามวิธีการของ AOAC (2002) ปริมาณ
สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมด โดยใช้เครื่องวัดการดูดกลืน
แสง (UV-Vis Spectrophotometer) (Jenway; UV-Vis
105, England) ตามวิธี AOAC (2012) และการประเมิน
คุณภาพทางประสาทสัมผัสโดยการทดสอบความชอบด้วย
วิธีการให้คะแนนความชอบแบบ 9 ระดับคะแนน (9 -
Point Hedonic Scale) โดยวางแผนการทดลองแบบ
Randomized Complete Block Design (RCBD) ทำ
การรวบรวมข้อมูลและนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนทาง
สถิติ (ANOVA) ที่ได้ตามแผนการทดลอง พร้อมทั้ง
เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ
0.05 ตามแผนการทดลอง เพื่อใช้ประกอบการคัดเลือกสิ่ง
ทดลองที่เหมาะสม ที่จะนำไปทำการทดสอบการยอมรับ
ของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลงอกที่
พัฒนาได้ตามลำดับ

3.3 ศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อ
ผลิตภัณฑ์ สเปรตจากข้าวหอมนิลงอก โดยนำ
ผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลงอก ทดสอบกับผู้บริโภค
กลุ่มตัวอย่างจำนวน 200 คน ในเขตจังหวัดลำปาง ทำการ
ทดสอบแบบ Central Location Test (CLT) พร้อม
ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธีทดสอบ
ความชอบแบบ 9 ระดับคะแนน ในคุณลักษณะคือ
ลักษณะปรากฏ สี กลิ่นข้าว รสชาติ และความชอบ
โดยรวม ประมวลผลข้อมูลพร้อมวิเคราะห์ผลโดยใช้โปรแกรม
สำเร็จรูปทางสถิติ และนำเสนอข้อมูลที่เหมาะสมได้ใน
รูปแบบความถี่ ร้อยละ และค่าเฉลี่ย ตามลำดับ

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการสำรวจทัศนคติของผู้บริโภคในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ จากการสำรวจความต้องการของผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลออก จำนวน 200 คน เป็นเพศหญิง ร้อยละ 58.5 เพศชาย ร้อยละ 41.0 มีช่วงอายุ 21-30 ปี ร้อยละ 43.0 รองลงมาคือช่วงอายุต่ำกว่า 20 ปี ร้อยละ 21.5 ระดับการศึกษาส่วนใหญ่อยู่ในระดับมัธยมศึกษาหรือ ปวช. ร้อยละ 47.0 รองลงมาคือระดับปริญญาตรี ร้อยละ 28.0 ส่วนใหญ่เป็นนักเรียนหรือนักศึกษา ร้อยละ 54.0 รองลงมาคืออาชีพเกษตรกรหรือรับจ้างทั่วไป ร้อยละ 23.5 โดยมีรายได้ต่อเดือนส่วนใหญ่อยู่ในช่วงต่ำกว่า 10,000 บาท ร้อยละ 55.0 รองลงมาคือช่วง 10,001-20,000 บาท ร้อยละ 31.0

แนวความคิดการพัฒนาผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลออกที่ได้จากการสำรวจข้อมูลจากผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลออก พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเคยรับประทานผลิตภัณฑ์สเปรต ร้อยละ 81.5 โดยรู้จักผลิตภัณฑ์สเปรตนอกเหนือจากกลุ่มแยมผลไม้ ได้แก่ ผลิตภัณฑ์ในกลุ่มของเนย ร้อยละ 27.4 รองลงมาคือกลุ่มของสังขยา ร้อยละ 21.9 กลุ่มของนุเทลล่า ร้อยละ 18.8 กลุ่มของผลิตภัณฑ์ที่ทำจากถั่ว ร้อยละ 17.9 กลุ่มที่มีส่วนผสมของปลาทุ่น ร้อยละ 10.0 และกลุ่มของอื่นๆ ได้แก่ มายองเนส นมข้น น้ำผึ้ง ร้อยละ 4.0 ตามลำดับ

ส่วนใหญ่ซื้อผลิตภัณฑ์สเปรตในราคา 55 บาท ต่อกระปุก ร้อยละ 38.5 รองลงมาคือราคา 45 บาท ต่อกระปุก ร้อยละ 29.0 ราคาต่ำกว่า 40 บาท ต่อกระปุก ร้อยละ 19.0 และราคาสูงกว่า 60 บาท ต่อกระปุก ร้อยละ 13.5 ตามลำดับ นิยมซื้อผลิตภัณฑ์สเปรตจากร้านค้าสะดวกซื้อ หรือซูเปอร์มาร์เก็ต ร้อยละ 39.8 รองลงมาคือซื้อจากร้านซูเปอร์สโตร์ ร้อยละ 33.8 โดยเหตุผลที่ทำให้ตัดสินใจเลือกซื้อผลิตภัณฑ์สเปรตคือหาซื้อง่าย ร้อยละ 28.3 รองลงมาคือรสชาติ ร้อยละ 19.6 ตามลำดับ

ผลการสำรวจทัศนคติในการบริโภคผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลออก พบว่า ผลิตภัณฑ์ควรมีความเข้ากันได้ในด้านของรสชาติคะแนนเฉลี่ย 3.98 (ระดับปาน

กลาง) ด้านรูปแบบของผลิตภัณฑ์คะแนนเฉลี่ย 3.71 คะแนน (ระดับปานกลาง) ด้านความแปลกใหม่ที่สามารถยอมรับได้คะแนนเฉลี่ย 4.08 คะแนน (ระดับมาก) ด้านคุณค่าทางโภชนาการคะแนนเฉลี่ย 4.23 คะแนน (ระดับมาก) ด้านลักษณะบรรจุภัณฑ์คะแนนเฉลี่ย 3.75 คะแนน (ระดับปานกลาง) ด้านปริมาณของผลิตภัณฑ์ คะแนนเฉลี่ย 3.89 คะแนน (ระดับปานกลาง) ด้านความสะอาดคะแนนเฉลี่ย 4.16 คะแนน (ระดับมาก) ด้านชื่อเสียงของผลิตภัณฑ์ คะแนนเฉลี่ย 3.98 คะแนน (ระดับปานกลาง) และด้านขนาดของบรรจุภัณฑ์ คะแนนเฉลี่ย 3.83 (ระดับปานกลาง) ตามลำดับ

4.2 คุณภาพทางกายภาพ เคมี และประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลออก

คุณภาพทางกายภาพและเคมีของผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลออกทั้ง 8 สิ่งทดลอง พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าสี $L^* a^* b^*$ ปริมาณน้ำอิสระ (a_w) อยู่ในช่วง 20.57-29.28, 5.56-7.71, 1.68-5.66, 0.90-0.94, 21.66-50.10 และปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดอยู่ในช่วง 28-37 องศาบริกซ์ ตามลำดับ ส่วนคุณภาพทางเคมีในด้านปริมาณของแข็งทั้งหมด โปรตีน ไขมัน อยู่ในช่วง ร้อยละ 21.10-29.24, 5.72-8.34, 1.71-2.68 และมีปริมาณฟีนอลิก 3.96-5.56 $\mu\text{g GAE/mg}$ ตามลำดับ ดังตารางที่ 2 และ 3

คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลออกทั้ง 8 สิ่งทดลอง ในด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นข้าว รสชาติ เนื้อสัมผัสและความชอบรวมทั้ง 8 สูตร มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) มีคะแนนเฉลี่ยในด้านลักษณะปรากฏอยู่ในช่วง 5.9-6.9 คะแนน (ระดับบอกไม่ได้ว่าชอบหรือไม่ชอบถึงชอบเล็กน้อย) ด้านสีอยู่ในช่วง 6.4-7.1 คะแนน (ระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง) ด้านกลิ่นข้าว อยู่ในช่วง 6.2-7.0 คะแนน (ระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง) ด้านรสชาติ อยู่ในช่วง 6.2-6.9 คะแนน (ระดับชอบปานกลาง) ด้านเนื้อสัมผัสอยู่ในช่วง 6.2-6.8 คะแนน (ระดับชอบปานกลาง) และด้านความชอบรวมอยู่ในช่วง 6.4-7.3 คะแนน (ระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง) ดังแสดงในตารางที่ 4

สำหรับสูตรและกระบวนการที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอก โดยพิจารณาจากความแตกต่างของคุณภาพทางกายภาพ-เคมี และคุณภาพทางประสาทสัมผัส คือ สูตรที่ 4 ที่ใช้อัตราส่วน 1.5 : 1 (น้ำ : แป้งข้าว) และอัตราส่วนของเต้าหู้ถั่วเหลืองต่อแป้งข้าวที่ร้อยละ 20 : 15 ตามลำดับ

สำหรับผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอกจากสูตรที่ดีที่สุด เมื่อนำผลิตภัณฑ์มาตรวจสอบคุณภาพทางกายภาพ เคมี ที่สำคัญ พบว่า ผลิตภัณฑ์มีค่าความสว่างของสี $L^* a^* b^*$ เท่ากับ 23.29, 6.50, 3.79 และปริมาณน้ำอิสระ (a_w) 0.92 มีปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณโปรตีน ปริมาณเถ้า ร้อยละ 60.03, 7.20 และร้อยละ 2.18 มีปริมาณฟีนอลิก 4.83 $\mu\text{g GAE/mg}$ ตามลำดับดังตารางที่ 5

ดังนั้นจึงนำสูตรที่คัดเลือกได้ดังกล่าวไปทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

4.3 ผลการศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สเปรตข้าวหอมนิลเพื่อสุขภาพ (ตารางที่ 6) จากการสำรวจการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอกที่พัฒนาได้ จำนวน 200 คน ในเขตพื้นที่จังหวัดลำปาง พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเป็นเพศหญิง ร้อยละ 55 เพศชาย ร้อยละ 45 ส่วนใหญ่มีช่วงอายุ 20-30 ปี ร้อยละ 50.5 ระดับการศึกษาอยู่ในระดับปริญญาตรี ร้อยละ 65.0 เป็นพนักงานบริษัทหรือพนักงานธนาคาร ร้อยละ 39.5 รองลงมาคือ อาชีพนักเรียนหรือนักศึกษา ร้อยละ 27.5 มีรายได้ต่อเดือนอยู่ในช่วง 5,000-10,000 บาท ร้อยละ 52.5 รองลงมาคือ 10,001-20,000 บาท ร้อยละ 35.0 ตามลำดับ

ทั้งนี้หากมีผลิตภัณฑ์วางจำหน่ายผู้บริโภคกลุ่มตัวอย่างให้การยอมรับ ร้อยละ 88.0 และผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอกเพื่อสุขภาพในราคากระปุกละ 25 บาท ปริมาณ 100 กรัม ผู้บริโภคสนใจที่จะซื้อ โดยเหตุผลที่พิจารณาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์คือ ความแปลกใหม่ ความสะดวกในการเลือกซื้อ คุณค่าทางโภชนาการ และเป็นของฝาก ตามลำดับ สำหรับคะแนนความชอบเฉลี่ยต่อ

ผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอกเพื่อสุขภาพด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นข้าว รสชาติ และความชอบรวมอยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (6.1-6.8 คะแนน)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการสำรวจข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิล พบว่า ทัศนคติในการบริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ในด้านมีความแปลกใหม่ที่สามารถยอมรับได้ คุณค่าทางโภชนาการและความสะอาดอยู่ในระดับความสำคัญมาก

เมื่อทำการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค จำหน่ายผู้บริโภคกลุ่มตัวอย่างให้การยอมรับ ร้อยละ 88.0 และผู้บริโภคสนใจที่จะซื้อโดยมีเหตุผลในการพิจารณาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์คือ ความแปลกใหม่ ความสะดวกในการเลือกซื้อ คุณค่าทางโภชนาการ และเป็นของฝาก ตามลำดับ สำหรับคะแนนความชอบเฉลี่ยต่อผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงอกเพื่อสุขภาพด้านลักษณะปรากฏ สี กลิ่นข้าว รสชาติ และความชอบรวม อยู่ในช่วงชอบเล็กน้อยถึงปานกลาง (6.1-6.8 คะแนน)

6. กิตติกรรมประกาศ

7. เอกสารอ้างอิง

- กมลวรรณ แจ่มชัด. (2558). สังขยาแผ่นจากแป้งข้าวกล้องงอก. สืบค้น 15 กรกฎาคม 2561. แหล่งที่มา: <https://www3.rdi.ku.ac.th/?p=21051>.
- ณัฎยา เมฆราวา ธีรณัฐ ฉายศิริโชติ อรอนงค์ ทองมี ณรงค์ชัย ขจรจันทร์ และ ไกรยราช พันธุ์ยาง. (2559). สังขยาน้ำเต้าหู้ผสมงาดำ. สืบค้น 1 มกราคม 2561. แหล่งที่มา: http://www.thea.or.th/wp-content/journal/9198_Book_59-3_Fin-3.pdf.
- พัชรลักษณ์ วัฒนไชย,ศกุนตลา มานะกล้า,ธนัชพร คงยืน ,พรชัย บางจันทร์และสุนทร จิตโสภาคกุล. (ม.ป.ป).

- การใช้ขนมและนมผงทดแทนกะทิในผลิตภัณฑ์ขนมอบ
ปังสังขยารสนมเย็น. สืบค้น 1 มกราคม 2561.
แหล่งที่มา:
<https://research.kpru.ac.th/sac/fileconference/11542018-05-04.pdf>.
- ธีรวัฒน์ เทพใจกาศ. (2562). เอกสารประกอบการอบรม
เรื่องการทำน้ำข้าวกล้องงอกผสมธัญพืช. สาขา
อุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และ
เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลล้านนา ลำปาง, ลำปาง. 12 น.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. (ม.ป.ป). Guar gum / กัวกัม.
สืบค้น 29 มีนาคม 2561. แหล่งที่มา:
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1110/guar-gum>.
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ เกียรติคุณ นิธิยา รัตน
พนนท์. (2560). เกลือ. สืบค้น 18 ธันวาคม
2560. แหล่งที่มา:
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/1464/salt>.
- วรัมพา เล้าสุขศรี. (2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมอบ
ปังเลียนแบบเนยถั่วจากปลายข้าวไรซ์เบอร์รี่.
วิทยานิพนธ์คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. คณะ
เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี.
- วาสนา จักรแก้ว สุรีย์พร ธัญญะกิจ ฐิติวรภา ไยสำลี
กาญจนา ลอเลิศลักษณ์ และอานาง ใจแนน.
(2560). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ขนมสเปรตเพื่อ
สุขภาพ. สืบค้น 15 กรกฎาคม 2561.
แหล่งที่มา:
<http://johss.bcnlp.ac.th/journal/images/file/pdf/year2016-vol4no1/6.pdf>.
- ศิริวรรณ เสรีรัตน์, สมชาย หิรัญกิตติ, จิระศักดิ์ จิยะ
จันทร์,ชวลิต ประภวานนท์, ณดา จันทร์สม
และ วลัยลักษณ์ อัครีวงศ์. (2540). การวิจัย
ตลาด : Marketing Research (ฉบับมาตรฐาน).
เอ. เอ็น การพิมพ์, กรุงเทพฯ. 310 น.
- สุดาตวง เรืองรุจิระ. (2540). ระเบียบวิธีการวิจัยตลาด
เบื้องต้น. วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯสถาบัน
เทคโนโลยีสยามมงคล, กรุงเทพฯ. 262 น.
- สุนัน ปานสาคร และ จตุรงค์ ลังกาพินธุ์. (2558). ศึกษา
กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ข้าวกล้องหอมนิลอบ
แกนิคเพาะงอกหุงสุกในภาชนะพลาสติกอ่อนตัว
ปิดสนิท. สืบค้น 18 ธันวาคม 2560. แหล่งที่มา:
<https://programming.cpe.ku.ac.th/Agrilnformatics/viewProject.php>.
- AOAC. (2002). Official methods of analysis of
AOAC. International 17th edition;
Gaithersburg, MD, USA Association of
Analytical Communities.

ตารางที่ 1 ส่วนผสมของผลิตภัณฑ์สเปรดจากข้าวหอมนิลลงอกทั้ง 8 สิ่งทดลอง

ส่วนผสม	สิ่งทดลองที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	อัตราส่วน 1.5 : 1 (น้ำ : แป้ง)				อัตราส่วน 2 : 1 (น้ำ : แป้ง)			
	ปริมาณเต้าหู้ถั่วเหลืองและแป้งรำข้าว (ร้อยละ) ของส่วนผสมทั้งหมด							
	10 : 5	10 : 15	20 : 5	20 : 15	10 : 5	10 : 15	20 : 5	20 : 15
เจลแป้งข้าว	72.37	61.37	62.37	52.37	72.62	62.62	68.46	52.62
แป้งรำข้าว	5	15	5	15	5	15	5	15
เต้าหู้ถั่วเหลือง	10	10	20	20	10	10	20	20
น้ำมันรำข้าว	10	10	10	10	10	10	10	10
งาขาว	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
งาดำ	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
กัวร์กัม	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
เกลือ	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

ตารางที่ 2 คุณภาพทางกายภาพของผลิตภัณฑ์สเปรดจากข้าวหอมนิลลงอกทั้ง 8 สิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	ความสว่างของสี L*	ค่าสี a*	ค่าสี b*	ปริมาณน้ำอิสระ (Aw)
1	21.40±0.79 ^d	5.70±0.33 ^e	1.68±0.19 ^f	0.90±0.03 ^c
2	20.93±0.48 ^d	5.93±0.11 ^{de}	2.01±0.18 ^f	0.91±0.01 ^{abc}
3	25.32±1.24 ^b	6.60±0.36 ^{bc}	3.05±0.24 ^e	0.93±0.00 ^{ab}
4	29.24±0.44 ^a	5.56±0.14 ^e	5.01± 0.22 ^b	0.94±0.01 ^a
5	21.10±1.17 ^d	7.37±0.60 ^a	3.58±0.49 ^d	0.91±0.01 ^{bc}
6	20.57±0.44 ^d	6.83±0.29 ^b	4.96±0.48 ^b	0.93±0.00 ^{abc}
7	24.56±0.67 ^b	7.71±0.26 ^a	4.34±0.25 ^c	0.93±0.01 ^{ab}
8	23.17±1.03 ^c	6.28±0.42 ^{cd}	5.66±0.61 ^a	0.92±0.00 ^{abc}

หมายเหตุ : ตัวอักษร a b c d e และ f ในแนวนอน หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 3 คุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงทั้ง 8 สิ่งทดลอง

สิ่งทดลอง	ปริมาณของแข็งทั้งหมด ^{ns} (ร้อยละ)	โปรตีน (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	ปริมาณฟีนอลิก ^{ns} (µg GAE/mg)
1	61.62±2.64	8.30±0.04 ^a	2.30±0.19 ^{ab}	4.35±0.03
2	61.35±1.03 ^{ab}	8.01±1.42 ^{ab}	2.01±0.87 ^{ab}	3.96±0.12
3	62.85±1.77 ^a	7.19±0.19	2.05±0.13 ^{ab}	4.71±0.06
4	60.03±7.04 ^{ab}	8.34±0.08 ^a	2.56±0.30 ^{ab}	4.71±0.06
5	43.56±8.30 ^c	5.73±0.05 ^c	1.79±0.12 ^b	4.99±0.07
6	63.08±2.01 ^a	7.67±0.05 ^{ab}	2.17±0.24 ^{ab}	5.13±0.13
7	53.44±4.63 ^b	5.72±0.09 ^c	1.90±0.28 ^{ab}	5.56±0.05
8	58.92±4.36 ^{ab}	7.22±0.24 ^b	2.68±0.24 ^a	4.52±0.06

หมายเหตุ : อักษร a b และ c ในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)
ns ในแนวดิ่ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (p≥0.05)

ตารางที่ 4 คุณภาพทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลง

สิ่งทดลอง	คุณภาพทางประสาทสัมผัส					
	ลักษณะปรากฏ	สี	กลิ่นข้าว	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบรวม
1	6.7±1.3 ^a	6.5±1.3 ^{cd}	6.3±1.1 ^{cd}	6.3±1.1 ^d	6.4±1.2 ^d	6.4±1.2 ^b
2	6.4±1.6 ^{abc}	6.1±1.3 ^d	6.2±1.0 ^d	6.2±0.9 ^d	6.2±0.9 ^d	6.4±0.9 ^b
3	6.8±1.3 ^a	6.7±1.2 ^{bc}	6.7±1.1 ^{abcd}	6.5±1.0 ^{abcd}	6.5±1.1 ^{abcd}	6.7±1.0 ^b
4	6.9±0.9 ^a	7.1±0.9 ^a	6.9±1.1 ^{ab}	6.9±0.8 ^a	6.8±1.0 ^a	7.3±0.8 ^a
5	6.5±1.2 ^{ab}	6.8±1.0 ^{abc}	6.7±1.1 ^{abc}	6.8±0.9 ^{ab}	6.6±1.1 ^{ab}	6.8±0.8 ^b
6	6.1±1.1 ^{bc}	6.4±1.0 ^{cd}	6.5±1.3 ^{bcd}	6.5±0.9 ^{bcd}	6.5±1.0 ^{bcd}	6.5±0.9 ^b
7	5.9±1.5 ^c	6.4±1.2 ^{cd}	6.3±1.3 ^{cd}	6.3±1.2 ^{cd}	6.4±1.3 ^{cd}	6.5±1.0 ^b
8	6.8±1.2 ^a	7.0±1.1 ^{ab}	7.0±1.1 ^a	6.7±1.0 ^{abc}	6.8±1.2 ^{abc}	7.1±1.1 ^a

หมายเหตุ : ตัวอักษร a, b, c และ d ในแนวดิ่ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

ตารางที่ 5 คุณภาพทางกายภาพและคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์สเปรตจากข้าวหอมนิลลงสูตรที่คัดเลือกได้

คุณภาพทางกายภาพ และคุณภาพทางเคมี	ปริมาณที่พบ
ค่าสี	
L*	23.29± 0.78
a*	6.50± 0.22
b*	3.79± 0.39
ปริมาณน้ำอิสระ (a _w)	0.92± 0.01
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (ร้อยละ)	60.03± 7.04
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	7.20± 1.03
ปริมาณเถ้า (ร้อยละ)	2.18± 0.43
สารประกอบฟีนอลิก (µg GAE/mg)	4.83± 0.53

ตารางที่ 6 การยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์สเปรดจากข้าวหอมนิลงอกเพื่อสุขภาพที่พัฒนาได้

ข้อมูล	จำนวน (คน)	ความถี่ (ร้อยละ)
ถ้ามีผลิตภัณฑ์สเปรดจากข้าวหอมนิลงอกเพื่อสุขภาพวางจำหน่ายท่านยอมรับได้หรือไม่		
ยอมรับ	177	88.5
ไม่ยอมรับ	23	11.5
รวม	200	100.0
การตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์สเปรดจากข้าวหอมนิลงอกเพื่อสุขภาพ (จำหน่ายในราคา กระปุกละ 25 บาท ปริมาณ 100 กรัม)		
ซื้อ	112	56.0
ไม่ซื้อ	40	20.0
ไม่แน่ใจ	48	24.0
รวม	200	100.0
เหตุผลที่จะใช้ในการพิจารณาเลือกซื้อผลิตภัณฑ์สเปรดจากข้าวหอมนิลงอกเพื่อสุขภาพ (เลือกได้มากกว่า 1 ข้อ)		
ราคา	51	6.5
รสชาติ	134	17.2
ความสะดวกในการบริโภค	83	10.6
สีสีน	47	6.0
ความแปลกใหม่	182	23.4
ความสะดวกในการเลือกซื้อ	121	15.5
คุณค่าทางโภชนาการ	102	13.1
เป็นของฝาก	60	7.7
รวม	780	100.0

ชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับแป้งกล้วยหอม Suitable Packaging Type for Gros Michel Banana Flour

วัชรีย์ เทพโยธิน^{1*} ณัฐชัย เทียงบูรณธรรม² และ ศักดิ์ดา สุขวัฒนากร²
Watcharee Thepyothin^{1*} Nathachai Tiengburanatam² Sakda Sukwattanakorn²

¹มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เขตพื้นที่ลำปาง 200 หมู่ 17 ถ.ลำปาง-งาว ต.พิชัย อ.เมือง ลำปาง 52000

²สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร 202 หมู่ 17 ถ.ลำปาง-งาว ต.พิชัย อ.เมือง ลำปาง 52000

¹ Rajamangala University of Technology Lanna Lampang. 200 M17, Lampang-Ngaw Rd., Pichai sub-district, Lampang, 52000

² Agricultural Technology Research Institute. 202 M17, Lampang-Ngaw Rd., Pichai sub-district, Lampang, 52000)

*E-mail thanan001@hotmail.com, เบอร์โทรศัพท์ 081-472-3916

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ ค้นหาวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นบรรจุภัณฑ์แป้งกล้วยหอมที่คงคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้นาน โดยได้ทดสอบบรรจุแป้งกล้วยหอมที่ผลิตขึ้นใหม่ลงในบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากวัสดุแตกต่างกัน 8 ชนิด ได้แก่ โพลีโพรไพลีน (PP) โพลีโพรไพลีนแบบหนา (PPหนา) โพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) โพลีโพรไพลีนชนิดจัดเรียงโมเลกุลแล้ว (OPP) เพท/พีอี (PET/PE) ไนลอน (Nylon) กระจกกระดาษ และถุงฟรอยด์ แล้วเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง พบว่า PP และ HDPE ช่วยให้แป้งกล้วยหอมคงคุณภาพทางประสาทสัมผัส (สี กลิ่น และความชอบรวม) ได้มากที่สุดหลังเก็บไว้ 3 เดือน ส่วน OPP PET/PE และ PPหนา ช่วยให้แป้งกล้วยขึ้นช้าที่สุดและป้องกันการปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้นานที่สุด ผลการทดลองสรุปได้ว่า HDPE และ PPหนา เหมาะสมสำหรับใช้ผลิตบรรจุภัณฑ์ของแป้งกล้วยหอม อย่างไรก็ตาม เพื่อรักษาคุณภาพของแป้งกล้วยหอมให้นานขึ้น ควรเลือกใช้วัสดุมากกว่า 1 ชนิดร่วมกัน

คำสำคัญ: บรรจุภัณฑ์ แป้งกล้วยหอม อายุการเก็บรักษา การปนเปื้อน

Abstract

The aim of this work is to find a suitable material for Gros Michel banana flour packaging that prolongs product quality. An eight different packaging materials such as polypropylene (PP), thick polypropylene (PPTk 0.3 mm), high-density polyethylene (HDPE), oriented polypropylene (OPP), polyethylene terephthalate/polyethylene (PET/PE), nylon, paper, and aluminum foil were tested with fresh prepared banana flour and kept at ambient temperature. It was found that the PP and HDPE provided the highest sensory qualities (color, appearance, smell, and overall like) after three months kept. On the other hand, OPP, PET/PE and PPTk slowed down moisture absorption and microbial contamination for the longest time. It could be concluded that HDPE and PPTk were the suitable materials for banana flour. However, to keep the flour quality longer, more than one materials should be used together.

Keywords: Packaging, Banana flour, Shelf life, Contamination

1. บทนำ

งานวิจัยนี้ เป็นผลต่อเนื่องมาจากโครงการวิจัย ก่อนหน้า ที่พัฒนาเครื่องจักรสำหรับกระบวนการผลิตแป้ง ก๋วยต๋อม เมื่อผลิตแป้งก๋วยต๋อมแล้วจำเป็นต้องมีบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสม เพื่อคงคุณภาพของแป้งก๋วยต๋อม ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างจากแป้งก๋วยต๋อน้ำว่าให้นานที่สุด แป้งก๋วยต๋อม สิ่งที่ทำให้แป้งก๋วยต๋อมแตกต่างจากแป้งก๋วยต๋อน้ำว่าเป็น ปริมาณน้ำตาล และกลิ่นก๋วยต๋อม ทั้งสองสิ่งนี้ไม่พบในแป้งก๋วยต๋อน้ำ และเป็นเอกลักษณ์สำคัญสำหรับแป้งก๋วยต๋อมด้วย วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือการหาชนิดของบรรจุภัณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้บรรจุแป้งก๋วยต๋อมที่สามารถคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ได้นานขึ้น

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บรรจุภัณฑ์ก็เป็นหัวใจสำคัญอย่างหนึ่งในการคงคุณภาพของผลิตภัณฑ์สุดท้ายให้ได้นาน การเลือกวัสดุที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับกรณีของแป้งก๋วยต๋อม ควรมีน้ำหนักเบาเพื่อลดต้นทุนการขนย้าย ดังนั้น แก้วและโลหะจึงไม่เหมาะด้วยประการทั้งปวง วัสดุที่เลือกมาทดสอบในงานวิจัยนี้จึงเป็นกระดาษและพลาสติก ซึ่งส่วนใหญ่บรรจุภัณฑ์ที่ใช้กับแป้งก๋วยต๋อในท้องตลาด มักเป็นถุงร้อน (PP หรือ PPหนา) ซึ่งนิยมใช้กับผลิตภัณฑ์อาหารและผลผลิตทางการเกษตรทั่วไป ถุงชนิดนี้มีข้อดีคือ เหนียว โปร่งใส มองเห็นสินค้าได้ ทนแรงดึง และคงตัวดี คีนรูปง่าย ทนแรงเสียดทาน กระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิสูง แต่มีข้อจำกัดคือ ไอน้ำและออกซิเจนสามารถซึมผ่านได้ คณะผู้วิจัยได้เลือกชนิดของบรรจุภัณฑ์พลาสติกไว้หลายชนิด ได้แก่ โพลีเอทิลีน (PE) ซึ่งเหมาะสำหรับอาหารประเภทไขมันสูง เพราะกั้นการผ่านเข้าออกของอากาศได้ พลาสติกที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชั้น เช่น PET/MCPP และอลูมิเนียมฟอยล์ (ธวัชและพิริยะ, 2557) แป้งก๋วยต๋อน้ำตาลอยู่มาก โดยเฉพาะหากผลิตจากก๋วยต๋อที่เริ่มสุก และแป้งก๋วยต๋อมมีน้ำตาลสูงกว่าแป้งก๋วยต๋อน้ำว่า จึงมีความเสี่ยงที่จะดูดความชื้นและเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์มากกว่า และแม้ว่าแทนนินในแป้งก๋วยต๋อจะมีคุณสมบัติยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้หลายชนิด

ทำให้แป้งก๋วยต๋อสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานกว่าผลิตภัณฑ์แป้งจากธัญพืชชนิดอื่น ๆ ก็ตาม แต่แทนนินก็ถูกออกซิไดซ์โดยออกซิเจนได้ง่าย และหากแป้งก๋วยต๋อดูดความชื้นเข้าไปมาก จนแทนนินเจือจางมาก จุลินทรีย์ก็สามารถขึ้นได้โดยง่าย นอกเหนือจากองค์ประกอบทั่วไปในแป้งแล้ว กระบวนการแปรรูปก๋วยต๋อเป็นแป้งก๋วยต๋อ ก็ยังมีสภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อคุณภาพของเม็ดแป้งในแป้งก๋วยต๋อที่ได้ ปัจจัยที่มีผลต่อคุณค่าทางอาหาร ได้แก่ ความร้อน ออกซิเจน การหมุนเวียนของอากาศ สารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ รวมถึงสภาวะการบดและร่อน ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิขณะเก็บรักษาผลก๋วยต๋อเพื่อให้เกิดการสุก มีผลต่อคุณสมบัติของเม็ดแป้งของก๋วยต๋อ โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้นจะส่งผลให้เอนไซม์อะไมเลสและอะไมโลสในแป้งมีการเคลื่อนที่ได้มากขึ้น ส่งผลให้เม็ดแป้งที่ได้ถูกย่อยด้วยเอนไซม์และมีรูปร่างเปลี่ยนไป ซึ่งกระทบต่อลักษณะทางกายภาพของแป้งที่ได้ (Fernanda et al., 2013) กล่าวคือ เมื่อเม็ดแป้งแตกและโมเลกุลของแป้งเล็กลง ก็สามารถละลายน้ำได้ง่าย ดูดความชื้นได้ดีขึ้น ทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ง่ายขึ้น

3. วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียมตัวอย่างแป้งก๋วยต๋อในบรรจุภัณฑ์

เตรียมแป้งก๋วยต๋อตามวิธีที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยก่อนหน้านี้นี้ หลังอบฆ่าเชื้อแล้ว แยกบรรจุแป้งก๋วยต๋อในภาชนะบรรจุทั้ง 8 ชนิด (ด้วยวิธีปลอดเชื้อ) ได้แก่กระดาษ PP PPแบบหนา PE HDPE Nylon ฟรอยด์ และPET/PE โดยบรรจุถุงละ 50 กรัม วัสดุละ 42 ถุง แล้วเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 30°C) จากนั้น สุ่มตัวอย่าง ๆ ละ 3 ซ้ำ (ด้วยวิธีปลอดเชื้อ) จำนวน 5-10 กรัมในแต่ละถุงมาวิเคราะห์สี ความชื้น ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดรวมถึงค่าต่าง ๆ ทางประสาทสัมผัส (สี ลักษณะปรากฏ กลิ่นก๋วยต๋อ กลิ่นหืน และความชอบรวม) ในแต่ละช่วงเวลา ได้แก่เวลาที่ 0 7 14 30 45 60 75 และ 90 วัน

3.2 การวัดค่าทางกายภาพ (สี และความชื้น)

การวัดสีใช้เครื่อง chroma meter (KONICA MINOLTA CR-400) นำค่าที่ได้มาใช้ในการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสีแบงก์กล้วยที่ทดสอบ

การวัดความชื้น โดยการสุ่มแบงก์ตัวอย่างมาตัวอย่างละ 10 กรัม ใส่ในกระชอนาฬิกาที่อบแห้งแล้วนำมาชั่งน้ำหนักก่อนอบ จากนั้นอบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเท่าอุณหภูมิห้องแล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณปริมาณความชื้นโดยใช้สูตรข้างล่างนี้

$$\text{ปริมาณความชื้น (\%)} \text{ ของแบงก์} = \frac{\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ}}{\text{น้ำหนักแบงก์ (10 กรัม)}} \times 100$$

3. การประเมินการปนเปื้อนจุลินทรีย์

สุ่มแบงก์จากถุงตัวอย่างด้วยวิธีปลอดเชื้อ ซั่งแบงก์ตัวอย่างที่สุ่มมาจากภาชนะบรรจุแต่ละชนิด ตัวอย่างละ 2 กรัม นำมาใส่ลงในขวดที่บรรจุสารละลาย 0.1% peptone ปริมาณ 20 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันด้วยความระมัดระวัง นำมาทำเจือจางด้วยสารละลายชนิดเดียวกันเป็นลำดับดังนี้ 10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 และ 10^6 ตูดของเหลวตัวอย่างจากขวดที่ทำเจือจางข้างต้นมาหยอดบนจานอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีวุ้นอาหารชนิด total plate count จานละ 100 ไมโครลิตร (ทำซ้ำอย่างน้อย 3 จาน) จากนั้นนำแท่งแก้วเกลี่ยเชื้อมาฆ่าเชื้อ แล้วเกลี่ยของเหลวให้ทั่วผิวหน้าจานอาหารเลี้ยงเชื้อ นำจานอาหารเลี้ยงเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิห้อง นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำมานับจำนวนโคโลนีที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่า รายงานผลเป็นจำนวนวันที่ใช้ในการเก็บเจอนพบแบคทีเรีย (CFU/gram)

4. การประเมินค่าทางประสาทสัมผัส

คณะกรรมการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส ประกอบด้วยผู้ให้คะแนนที่ผ่านการอบรมมาแล้วจำนวนอย่างน้อย 15 คน ใช้วิธีให้คะแนนแบบ Hedonic scale 9 ช่อง ค่าที่ประเมินได้แก่ สี ลักษณะปรากฏ กลิ่นกล้วยหอม กลิ่นหืน และความชอบรวม โดยรายงานเป็นคะแนนความชอบของแต่ละค่าที่ประเมิน

5. การประมวลผลทางสถิติ

ข้อมูลทั้งหมดได้รับการประมวลผลทางสถิติด้วยซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่มาพร้อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์แสดงผลเป็นค่าเฉลี่ย±ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คะแนนการประเมินทางประสาทสัมผัสประมวลผลโดยใช้สถิติ ANOVA ทรีตเมนต์ที่ค่าเฉลี่ยแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ จะถูกนำมาประมวลผลเพื่อหาลำดับของค่าเฉลี่ย (a-f) ด้วยสถิติแบบ Duncan's new multiple-range test

4. ผลการวิจัย

ปริมาณร้อยละความชื้นของแบงก์กล้วยที่เก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ชนิด PET/PE มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก โดยเริ่มต้นที่ 4.40 ± 0.59 และสิ้นสุดที่ 3.48 ± 0.12 ขณะที่บรรจุภัณฑ์ชนิด OPP และฟรอยด์มีการเพิ่มขึ้นของความชื้น แต่เพิ่มน้อยที่สุดพอ ๆ กัน โดยเพิ่มจาก 4.40 ± 0.59 เป็น 5.30 ± 0.19 สำหรับ PET/PE และเป็น 5.34 ± 0.17 สำหรับฟรอยด์ สำหรับวัสดุอื่นที่เหลือมีการเพิ่มขึ้นของความชื้นค่อนข้างมาก (ตารางที่ 1) ส่วนค่าสีพบว่า สีของแบงก์กล้วยหอมที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลา 90 วันที่เก็บรักษาในทุกวัสดุมีการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน โดยค่าความสว่าง (L^*) เปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด (จาก 75.90 ± 0.35 มาอยู่ในช่วง $78.40 - 78.70$) ในทุกวัสดุ ยกเว้น PP (จาก 75.90 ± 0.35 เป็น 77.43 ± 0.40) และไนลอน (จาก 75.90 ± 0.35 เป็น 79.44 ± 0.23) (ตารางที่ 2) ค่าสีแดง-เขียว (a^*) ของแบงก์กล้วยหอมที่เก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ส่วนใหญ่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ยกเว้นถุงกระดาษที่ค่าไม่เปลี่ยนแปลง (จาก 2.19 ± 0.02 เป็น 2.19 ± 0.03) และ PET/PE (จาก 2.19 ± 0.02 เป็น 1.774 ± 0.05) กับไนลอน (จาก 2.19 ± 0.02 เป็น 1.95 ± 0.05) ที่มีค่าลดลง (ตารางที่ 3) ส่วนค่าสีเหลือง-น้ำเงิน (b^*) นั้น พบว่า แบงก์กล้วยที่เก็บไว้ใน PP PPหนา และ HDPE มีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่แบงก์กล้วยที่เก็บไว้ในวัสดุที่เหลือมีแนวโน้มของค่าที่ลดลง แต่โดยภาพรวมแล้วค่า b^* หลังเก็บไว้ที่ 90 วันมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก (ประมาณ $+0.4$ ถึง -0.8) (ตารางที่ 4) ค่าที่ทดสอบทางประสาทสัมผัสแสดงให้เห็นว่า ผู้ประเมินให้คะแนนบรรจุภัณฑ์ชนิด HDPE PP PPหนา

ถุงฟรอยด์ และถุงชนิด Nylon จากมากมาน้อยตามลำดับ (ตารางที่ 5) สำหรับการปนเปื้อนจุลินทรีย์นั้น พบว่า OPP และ PET/PE ไม่มีการปนเปื้อนในเวลา 90 วันที่ทดสอบ PP และไนลอนพบเชื้อในช่วงวันที่ 75 ขณะที่ PPหนา และ HDPE พบเชื้อในช่วงวันที่ 60 ส่วน กระดาษและฟรอยด์ พบเชื้อตั้งแต่ช่วงวันที่ 15 ของการเก็บรักษา

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ไม่มีวัสดุชนิดใดเลยที่รักษาคุณภาพของแป้งกล้วยทั้งด้านกลิ่นรส สี ความชื้น และการปนเปื้อนจุลินทรีย์ได้ดีเยี่ยมทั้งหมด จะมีวัสดุที่เหมาะสมกับค่าคุณภาพบางอย่างเฉพาะเป็นกลุ่ม ๆ ไป กล่าวคือ PET/PE OPP และฟรอยด์ป้องกันความชื้น ให้แป้งกล้วยหอมได้ดีที่สุด วัสดุทุกชนิดยกเว้น PP และ ไนลอนรักษาความสว่างของแป้งกล้วยไว้ได้ดี ถุงกระดาษ ไม่ทำให้ค่าสีแดง-เขียวของแป้งกล้วยเปลี่ยนแปลง ส่วน PP PPหนา และ HDPE มีแนวโน้มทำให้แป้งกล้วยมีสีออก น้ำเงินมากขึ้นเล็กน้อย ขณะที่วัสดุที่เหลือมีแนวโน้มทำให้ แป้งกล้วยมีสีเหลืองมากขึ้น สำหรับค่าคะแนนทางประสาทสัมผัส พบว่า วัสดุที่รักษาคุณภาพด้านประสาทสัมผัสไว้ได้ดีที่สุดคือ HDPE รองลงมาได้แก่ PP และ PP หนา ส่วนความสามารถในการปนเปื้อนจุลินทรีย์ พบว่า OPP และ PET/PE ช่วยป้องกันการปนเปื้อนได้ดีที่สุด ดังนั้น หากมองเฉพาะวัสดุเดี่ยวแล้ว PET/PE และ OPP เป็นวัสดุที่เหมาะสมที่สุด เพราะป้องกันความชื้นและ จุลินทรีย์ปนเปื้อนได้เป็นอย่างดี สอดคล้องกับความ ต้องการให้อายุการเก็บรักษาแป้งกล้วยไม่ให้เน่าเสีย ซึ่ง มองเฉพาะการปนเปื้อนจุลินทรีย์เท่านั้น แต่หากต้องการ รักษาคุณภาพด้านกลิ่น-รสแล้ว จำเป็นต้องใช้ HDPE หรือ PP แทน ซึ่งจะทำให้อายุการเก็บรักษาลดลงจากประมาณ 90 วันเหลืออยู่ที่ประมาณ 45 -60 วัน อย่างไรก็ตาม หาก ใช้บรรจุภัณฑ์ที่เป็นวัสดุสองชนิดร่วมกัน เช่น ชั้นในเป็น HDPE หรือ PP ชั้นนอกเป็น PET/PE หรือ OPP น่าจะ สามารถช่วยเพิ่มการรักษาคุณภาพทุกด้านของแป้งกล้วย หอมไว้ได้นานขึ้นกว่านี้ จึงควรมีการทดสอบการใช้วัสดุ สองชนิดร่วมกันในอนาคตต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัย ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการ ส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรมที่สนับสนุนทุน วิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนาที่มีส่วนช่วยให้โครงการวิจัยนี้ดำเนินต่อไปจนเสร็จ สมบูรณ์

7. เอกสารอ้างอิง

- ธวัช นุสนธรา และพิริยะ ศรีเจ้า. (2557). การยืดอายุการ เก็บสินค้าอาหารประเภททอดหรืออบกรอบด้วย บรรจุภัณฑ์. กรมวิทยาศาสตร์บริการ. 62(195): หน้า 15-16.
- Fernanda H. G. Peroni-Okita, Mateus B. Cardoso, Roberta G. D. Agopian, Ricardo P. Louro, Joao R. O. , Nascimento, Eduardo Purgatto, Maria I.B. Tavares, Franco M. Lajolo and Beatriz R. Cordenunsi. (2013). The cold storage of green banana affects the tarch degradation during ripening at higher temperature. Carbohydrate Polymers, 96; 137-147.
- Saifulah R., Abbas F., Yeoh S. and Azhar M. (2009). Utilization of green banana flour as a functional ingredient in yellow noodle. International Food Research Journal, 16:p373-379

ตารางที่ 1 แสดงร้อยละความชื้นของเบี่ยงตัวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน ในภาชนะพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดกัน

คุณสมบัติสาร การเก็บ รักษา (วัน)	ระยะเวลา การเก็บ รักษา (วัน)	ชนิดบรรจุภัณฑ์							
		PP	PPหนา	HDPE	OPP	PET/PE	Nylon	ถุงกระดาษ	ถุงพลาสติก
ความชื้น (ร้อยละ)	0 ^a	4.00±0.59 ^a	4.40±0.59 ^a	4.40±0.59 ^a	4.40±0.59 ^a	4.40±0.59 ^a	4.40±0.59 ^a	4.40±0.59 ^a	4.40±0.59 ^a
	15	5.05±0.14 ^{ab}	3.79±0.25 ^{bc}	4.71±1.20 ^{cd}	2.57±0.05 ^{de}	2.02±0.87 ^{de}	2.38±0.07 ^{de}	3.04±0.18 ^{de}	2.73±0.41 ^{de}
	30	6.89±0.40 ^{cd}	5.51±0.60 ^{cd}	5.24±0.35 ^{cd}	4.65±0.32 ^{cd}	2.29±0.39 ^{de}	4.19±0.24 ^{de}	5.21±0.29 ^{de}	4.26±0.54 ^{de}
	45	7.44±0.23 ^{cd}	5.33±0.34 ^{cd}	6.64±0.22 ^{cd}	4.63±0.10 ^{de}	2.88±0.20 ^{de}	4.69±0.23 ^{de}	5.75±0.20 ^{de}	4.20±0.42 ^{de}
	60	8.01±0.01 ^{cd}	6.18±0.16 ^{cd}	7.43±0.25 ^{cd}	5.15±0.21 ^{de}	3.97±0.03 ^{de}	5.46±1.13 ^{de}	6.46±0.14 ^{de}	5.00±0.29 ^{de}
	75	8.21±0.19 ^{cd}	6.42±0.30 ^{cd}	7.67±0.32 ^{cd}	5.74±0.34 ^{de}	4.86±1.60 ^{de}	5.89±0.08 ^{de}	6.72±0.13 ^{de}	5.38±0.13 ^{de}
	90	8.08±0.23 ^{cd}	6.19±0.20 ^{cd}	7.82±0.17 ^{cd}	5.30±0.19 ^{de}	3.48±0.12 ^{de}	6.00±0.21 ^{de}	6.79±0.09 ^{de}	5.34±0.17 ^{de}

หมายเหตุ: อักษร A-F หมายถึง แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p<0.05
อักษร a-f หมายถึง แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p<0.05
อักษร ns หมายถึง ไม่แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p>0.05

ตารางที่ 2 แสดงค่าสี L* ของเบี่ยงตัวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน ในภาชนะพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดกัน

คุณสมบัติสาร การเก็บ รักษา	ระยะเวลาการ เก็บ (วัน)	ชนิดบรรจุภัณฑ์							
		PP	PPหนา	HDPE	OPP	PET/PE	Nylon	ถุงกระดาษ	ถุงพลาสติก
L*	0 ^a	75.90±0.35 ^a	75.90±0.35 ^a	75.90±0.35 ^a	75.90±0.35 ^a	75.90±0.35 ^a	75.90±0.35 ^a	75.90±0.35 ^a	75.90±0.35 ^a
	15 ^{bc}	77.22±0.42 ^c	77.62±0.45 ^{cd}	77.43±0.39 ^{cd}	77.04±1.94 ^{cd}	78.80±1.04 ^d	78.84±0.82 ^{cd}	77.73±0.05 ^c	77.43±0.86 ^c
	30	77.36±0.47 ^{cd}	76.80±0.83 ^{cd}	77.05±0.45 ^{cd}	77.62±1.06 ^{cd}	78.53±0.56 ^{cd}	78.31±0.63 ^{cd}	78.31±0.39 ^{cd}	79.11±0.59 ^{cd}
	45	76.77±0.60 ^{cd}	77.18±0.65 ^{cd}	77.13±0.35 ^{cd}	77.95±0.40 ^{cd}	78.98±0.20 ^{cd}	79.04±0.45 ^{cd}	77.94±0.13 ^{cd}	78.30±0.67 ^{cd}
	60	78.34±0.48 ^{cd}	78.17±0.40 ^{cd}	79.01±0.51 ^{cd}	78.48±0.36 ^{cd}	79.66±0.47 ^{cd}	79.69±0.21 ^{cd}	79.48±0.28 ^{cd}	79.62±0.17 ^{cd}
	75	77.95±0.44 ^{cd}	78.30±0.18 ^{cd}	78.90±0.33 ^{cd}	78.97±0.29 ^{cd}	78.95±0.42 ^{cd}	79.40±0.11 ^{cd}	79.26±0.23 ^{cd}	79.05±0.53 ^{cd}
	90	77.43±0.40 ^{cd}	78.30±0.32 ^{cd}	78.19±0.36 ^{cd}	78.42±0.52 ^{cd}	78.43±0.99 ^{cd}	79.44±0.23 ^{cd}	78.76±0.33 ^{cd}	78.68±0.70 ^{cd}

ตารางที่ 3 แสดงค่าสี a* ของเบี่ยงตัวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน ในภาชนะพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดกัน

คุณสมบัติสาร การเก็บ รักษา	ระยะเวลาการ เก็บ (วัน)	ชนิดบรรจุภัณฑ์							
		PP	PPหนา	HDPE	OPP	PET/PE	Nylon	ถุงกระดาษ	ถุงพลาสติก
a*	0 ^a	2.19±0.02 ^a	2.19±0.02 ^a	2.19±0.02 ^a	2.19±0.02 ^a	2.19±0.02 ^a	2.19±0.02 ^a	2.19±0.02 ^a	2.19±0.02 ^a
	15	2.28±0.01 ^{ab}	2.14±0.08 ^{abcd}	2.27±0.02 ^{ab}	1.79±0.12 ^{cd}	1.75±0.09 ^{cd}	1.80±0.03 ^{cd}	1.79±0.99 ^{cd}	2.20±0.12 ^{cd}
	30	2.34±0.09 ^{cd}	2.12±0.11 ^{abcd}	2.29±0.09 ^{cd}	1.96±0.06 ^{cd}	1.77±0.06 ^{cd}	1.76±0.03 ^{cd}	2.65±0.04 ^d	2.07±0.28 ^{cd}
	45	2.37±0.15 ^{cd}	2.18±0.09 ^{abcd}	2.29±0.43 ^{cd}	1.92±0.04 ^{cd}	1.78±0.05 ^{cd}	1.61±0.04 ^{cd}	2.68±0.01 ^d	1.97±0.20 ^{cd}
	60	2.31±0.04 ^{cd}	2.16±0.04 ^{abcd}	2.25±0.03 ^{cd}	1.95±0.02 ^{cd}	1.69±0.03 ^{cd}	1.63±0.04 ^{cd}	2.11±0.02 ^d	2.09±0.07 ^{cd}
	75	2.39±0.04 ^{cd}	2.19±0.01 ^{cd}	2.26±0.02 ^{cd}	2.00±0.23 ^{cd}	1.75±0.03 ^{cd}	1.76±0.01 ^{cd}	2.18±0.05 ^d	2.13±0.02 ^{cd}
	90	2.46±0.01 ^{cd}	2.27±0.09 ^{cd}	2.38±0.15 ^{cd}	2.02±0.06 ^{cd}	1.74±0.05 ^{cd}	1.95±0.03 ^{cd}	2.19±0.03 ^d	2.23±0.09 ^{cd}

หมายเหตุ: อักษร A-F หมายถึง แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p<0.05
อักษร a-f หมายถึง แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p<0.05
อักษร ns หมายถึง ไม่แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p>0.05

ตารางที่ 4 แสดงค่าสี b* ของเบี่ยงตัวที่เก็บรักษาที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน ในภาชนะพลาสติกบรรจุภัณฑ์ชนิดกัน

คุณสมบัติสาร การเก็บ รักษา	ระยะเวลาการ เก็บ (วัน)	ชนิดบรรจุภัณฑ์							
		PP	PPหนา	HDPE	OPP	PET/PE	Nylon	ถุงกระดาษ	ถุงพลาสติก
b*	0 ^a	10.94±0.26 ^a	10.94±0.26 ^a	10.94±0.26 ^a	10.94±0.26 ^a	10.94±0.26 ^a	10.94±0.26 ^a	10.94±0.26 ^a	10.94±0.26 ^a
	15	10.92±0.06 ^{ab}	10.63±0.50 ^{ab}	11.23±0.32 ^{ab}	10.57±0.99 ^{ab}	10.40±0.23 ^{ab}	10.38±0.25 ^{ab}	10.47±0.14 ^{ab}	10.66±0.24 ^{ab}
	30	11.20±0.56 ^{ab}	11.00±0.29 ^{ab}	10.92±0.06 ^{ab}	10.34±0.14 ^{ab}	10.08±0.10 ^{ab}	10.59±0.59 ^{ab}	9.85±0.17 ^{ab}	9.65±0.24 ^{ab}
	45	11.08±0.23 ^{ab}	10.99±0.32 ^{ab}	10.94±0.14 ^{ab}	10.34±0.13 ^{ab}	10.08±0.07 ^{ab}	10.31±0.31 ^{ab}	9.83±0.32 ^{ab}	9.67±0.12 ^{ab}
	60	10.99±0.10 ^{ab}	11.21±0.28 ^{ab}	11.07±0.17 ^{ab}	10.51±0.94 ^{ab}	10.41±0.04 ^{ab}	10.00±0.16 ^{ab}	10.17±0.13 ^{ab}	10.04±0.07 ^{ab}
	75	10.90±0.18 ^{ab}	10.97±0.06 ^{ab}	10.89±0.09 ^{ab}	10.48±0.09 ^{ab}	10.15±0.10 ^{ab}	10.30±0.12 ^{ab}	10.19±0.16 ^{ab}	9.99±0.08 ^{ab}
	90	11.37±0.14 ^{ab}	11.13±0.39 ^{ab}	11.14±0.23 ^{ab}	10.56±0.14 ^{ab}	10.37±0.12 ^{ab}	10.29±0.02 ^{ab}	10.07±0.10 ^{ab}	10.15±0.22 ^{ab}

หมายเหตุ: อักษร A-F หมายถึง แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p<0.05
อักษร a-f หมายถึง แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p<0.05
อักษร ns หมายถึง ไม่แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ p>0.05

ตารางที่ 5 แสดงค่าประเมินคุณสมบัติทางประสาธน์ของฟิล์มชีวพลาสติกที่เก็บรักษา ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 90 วัน ในลักษณะบรรจุต่างชนิดกัน

คุณสมบัติทาง ประสาธน์	ระยะเวลา การเก็บ รักษา (วัน)	ชนิดบรรจุภัณฑ์							
		PP	PPหนา	HDPE	OPP	PET/PE	Nylon	กระดาษ	กระดาษ
ลักษณะปรากฏ	0 th	7.53±0.51 ^{ab}	7.53±0.51 ^{ab}	7.53±0.51 ^{ab}	7.53±0.51 ^{ab}	7.53±0.51 ^{ab}	7.53±0.51 ^{ab}	7.53±0.51 ^{ab}	7.53±0.51 ^{ab}
	15 th	7.73±0.79 ^a	7.60±0.91 ^a	7.67±0.82 ^a	7.60±0.82 ^a	7.53±1.19 ^{ab}	7.73±0.88 ^a	7.67±0.90 ^a	7.60±1.05 ^a
	30	7.53±1.11 ^{abc}	7.53±0.51 ^{ab}	7.27±0.96 ^{abc}	7.47±0.51 ^{ab}	7.53±0.64 ^{ab}	7.53±0.51 ^{ab}	7.20±0.56 ^{cd}	7.40±0.71 ^{abc}
	45	7.53±0.64 ^{abc}	7.33±1.04 ^{ab}	7.40±0.63 ^{abc}	7.60±0.73 ^{abc}	7.67±0.81 ^{ab}	7.40±0.91 ^{abc}	6.67±0.83 ^{cd}	7.60±0.73 ^{abc}
	60	7.60±0.91 ^{ab}	7.27±0.70 ^{cd}	7.27±0.70 ^{cd}	7.20±0.67 ^{cd}	7.27±0.73 ^{cd}	6.93±1.33 ^{cd}	7.27±1.03 ^{cd}	7.00±1.36 ^{cd}
	75	7.13±0.99 ^{cd}	7.13±0.83 ^{cd}	7.13±0.83 ^{cd}	7.04±0.88 ^{cd}	7.20±1.09 ^{cd}	6.87±0.83 ^{cd}	6.93±0.70 ^{cd}	7.03±0.70 ^{cd}
สี	0 th	7.33±0.62 ^{ab}	7.33±0.62 ^{ab}	7.33±0.62 ^{ab}	7.33±0.62 ^{ab}	7.33±0.62 ^{ab}	7.33±0.62 ^{ab}	7.33±0.62 ^{ab}	7.33±0.62 ^{ab}
	15 th	7.27±0.89 ^a	7.27±0.70 ^{cd}	7.13±1.12 ^a	7.20±0.96 ^{ab}	7.33±0.81 ^{ab}	7.27±0.70 ^{cd}	7.33±0.90 ^{ab}	7.20±1.01 ^{bc}
	30	7.20±0.77 ^{cd}	7.47±0.74 ^{ab}	7.40±0.73 ^{abc}	7.33±0.48 ^{ab}	7.60±0.63 ^a	7.07±0.96 ^{cd}	7.20±0.43 ^{cd}	7.47±0.51 ^{ab}
	45	7.20±0.56 ^{cd}	7.53±0.64 ^{ab}	7.27±0.59 ^{cd}	7.33±0.61 ^{abc}	7.40±0.51 ^{abc}	7.33±0.81 ^{abc}	7.40±0.82 ^{abc}	7.47±0.64 ^{ab}
	60	7.33±0.81 ^{ab}	7.33±0.90 ^{cd}	7.47±0.83 ^a	7.07±0.88 ^{cd}	7.47±0.83 ^a	7.40±1.26 ^{cd}	7.27±1.10 ^{cd}	6.93±1.28 ^{cd}
	75	7.27±0.59 ^{cd}	7.27±0.79 ^{cd}	7.40±0.63 ^{abc}	7.20±0.67 ^{cd}	7.13±0.83 ^{cd}	7.07±0.59 ^{cd}	7.00±0.65 ^{cd}	7.00±0.65 ^{cd}
กลิ่น (ข้าว)	0 th	7.67±0.70 ^{ab}	7.67±0.70 ^{ab}	7.67±0.70 ^{ab}	7.67±0.70 ^{ab}	7.67±0.70 ^{ab}	7.67±0.70 ^{ab}	7.67±0.70 ^{ab}	7.67±0.70 ^{ab}
	15	6.68±1.26 ^{abcd}	6.33±1.39 ^{cd}	7.00±1.00 ^{ab}	6.93±1.38 ^{cd}	6.47±1.30 ^{cd}	6.67±0.97 ^{cd}	6.80±0.84 ^{cd}	6.93±1.10 ^{cd}
	30	6.80±1.32 ^{abcd}	7.07±1.03 ^{ab}	7.00±1.19 ^{ab}	7.07±0.94 ^{ab}	6.53±1.06 ^{cd}	7.20±0.86 ^{ab}	7.07±0.96 ^{ab}	7.47±0.83 ^{ab}
	45	6.60±0.98 ^{cd}	6.60±1.03 ^{cd}	7.00±1.06 ^{ab}	6.47±1.06 ^{cd}	6.33±1.29 ^{cd}	6.87±1.12 ^{cd}	6.60±0.98 ^{cd}	6.47±1.18 ^{cd}
	60	7.13±1.06 ^{ab}	6.80±1.01 ^{cd}	6.47±1.24 ^{cd}	6.73±1.16 ^{cd}	6.60±0.98 ^{cd}	6.80±1.26 ^{cd}	6.33±1.04 ^{cd}	6.47±1.50 ^{cd}
	75	6.73±1.33 ^{cd}	7.00±0.73 ^{ab}	6.80±0.56 ^{cd}	6.20±0.94 ^{cd}	6.07±1.33 ^{cd}	6.07±1.33 ^{cd}	5.93±1.03 ^{cd}	5.73±1.10 ^{cd}
กลิ่น (ส้ม)	0 th	7.27±0.79 ^a	7.27±0.79 ^a	7.27±0.79 ^a	7.27±0.79 ^a	7.27±0.79 ^a	7.27±0.79 ^a	7.27±0.79 ^a	7.27±0.79 ^a
	15	6.73±1.16 ^{abcd}	6.87±1.18 ^{abcd}	7.00±0.76 ^{cd}	6.87±1.12 ^{cd}	6.67±1.11 ^{cd}	6.73±0.88 ^{cd}	6.93±1.03 ^{cd}	6.87±0.99 ^{cd}
	30	6.07±2.31 ^{cd}	6.40±2.29 ^{cd}	5.93±2.12 ^{cd}	5.87±2.03 ^{cd}	5.73±2.08 ^{cd}	6.00±2.13 ^{cd}	6.27±2.28 ^{cd}	6.33±2.28 ^{cd}
	45	6.27±1.53 ^{cd}	6.27±1.79 ^{cd}	6.47±1.76 ^{cd}	6.00±1.64 ^{cd}	6.20±1.20 ^{cd}	6.13±1.92 ^{cd}	6.20±1.85 ^{cd}	6.07±1.79 ^{cd}
	60	6.93±0.39 ^{ab}	6.60±0.73 ^{cd}	6.73±1.10 ^{cd}	6.73±0.59 ^{cd}	6.73±1.03 ^{cd}	6.87±1.18 ^{cd}	6.53±0.99 ^{cd}	6.47±1.53 ^{cd}
	75	5.80±1.52 ^{cd}	6.33±1.58 ^{cd}	6.47±1.59 ^{cd}	5.67±1.83 ^{cd}	5.40±1.63 ^{cd}	5.53±1.93 ^{cd}	5.40±1.59 ^{cd}	5.33±1.71 ^{cd}
ค่าเฉลี่ย	0 th	6.13±1.59 ^{cd}	5.80±1.85 ^{cd}	6.07±1.64 ^{cd}	5.60±1.88 ^{cd}	5.33±1.95 ^{cd}	5.53±1.60 ^{cd}	5.60±2.02 ^{cd}	5.73±1.67 ^{cd}

หมายเหตุ:

อักษร A-F หมายถึง แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีค่าเฉลี่ยคู่ทีละคู่ที่ความเชื่อมั่น 0.05

อักษร a-f หมายถึง แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีค่าเฉลี่ยคู่ทีละคู่ที่ความเชื่อมั่น 0.05

อักษร ns หมายถึง ไม่แสดงความแตกต่างตามแบบวิธีค่าเฉลี่ยคู่ทีละคู่ที่ความเชื่อมั่น 0.05

ตารางที่ 6 แสดงช่วงเวลา พบจุลินทรีย์ในแป้งกล้วยหอมที่เก็บไว้ในบรรจุภัณฑ์ชนิดต่าง ๆ เป็นเวลา 90 วัน

ชนิดบรรจุภัณฑ์	วันที่ทดสอบ							
	0	7	15	30	45	60	75	90
PP							X	X
PPหนา							X	X
HDPE						X	X	X
OPP								
PET/PE								
Nylon							X	X
กระดาษ			X	X	X	X	X	X
ฟรอยด์			X	X	X	X	X	X

ผลของการนวดและการหมักต่อคุณภาพของชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

Effects of Rolling and Fermentation on Quality of Herbal Tea from Organic Banana Flowers

กฤษดา กาวิวงศ์^{1*} ลัทธพล ศรีงาม¹ และ พิมพิลาศ อินอ่อน¹
Kritsda Kaweewong^{1*} Rattthaphon Seengam¹ and Pimpilard Inon¹

¹สาขาอุตสาหกรรมเกษตร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก

¹Department of Agro-Industry, Faculty of Sciences and Agricultural Technology,
Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok, Thailand

* E-mail: krikaweewong@rmutl.ac.th, 085-050-2107

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาผลของการนวดและการหมักของดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์ ต่อคุณภาพของชาสมุนไพรที่ผลิตขึ้น ดอกกล้วยน้ำว้าเกษตรอินทรีย์ (*Musa sapientum* L.) จากชุมชนเรียนรู้เกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก และแปลงเครือข่ายการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมระบบชุมชนรับรอง RL-PGS ถูกนำมาแยกทำความสะอาด และเปรียบเทียบการนวดเป็นเวลา 3 กับ 5 นาที และการหมัก 30 กับ 60 นาที โดยมีสิ่งทดลองควบคุมที่ไม่มีการนวดและหมัก รวมทั้งสิ้น 5 สิ่งทดลอง จากนั้นนำไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าค่าสีของชาสมุนไพรดอกกล้วยที่ผ่านการนวดและหมักในสภาวะที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันในค่าสี L* ค่า b* และค่า Chroma แต่มีค่า a* และ Hue angle แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อนำไปชงเป็นน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วย พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในค่าสี a* และค่า Chroma แต่มีค่า L* b* และ Hue angle แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ค่าพีเอชของน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยไม่มีความแตกต่างกัน การวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสิ่งทดลองที่ใช้เวลานวด 3 นาทีและหมัก 30 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดแตกต่างกับสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) และเมื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิม พบว่าสิ่งทดลองที่ใช้เวลานวด 3 นาทีและหมัก 30 นาทีได้รับคะแนนความชอบรวม กลิ่นกล้วยและสี สูงที่สุด รวมทั้งได้รับคะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลางเมื่อนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

คำสำคัญ : การนวด การหมัก ชาสมุนไพร ดอกกล้วย เกษตรอินทรีย์

Abstract

This research aimed to study the effects of rolling and fermentation of organic banana flowers on the quality of the herbal tea produced. Organic banana flowers (*Musa sapientum L.*) from the Organic agriculture community center, Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok and RL-PGS organic farm network were taken separately for cleaning. 3 and 5 minutes of rolling time and 30 and 60 minutes of fermentation time were compared with a controlled trial without rolling and fermentation. Then dried them at 60 ° C for 6 hours. It was found that the color values of the rolling and fermented banana herbal tea in different conditions were not significantly different in color L *, b * and Chroma values, but there were statistically significant differences of a * and Hue angles ($P \leq 0.05$). When brewing banana flower herbal tea, there was no difference in color a * and Chroma values, but there were statistically significant differences of L * b * and Hue angles ($P \leq 0.05$). There was no difference between the pH of the banana flower herbal tea. It was found that the 3 minutes rolling and 30 minutes fermentation had the total highest phenolic and the highest antioxidant activities which was statistically significant differences ($P \leq 0.05$). When tested by sensory panelists, it was found that the experiment, which took 3 minutes of rolling and 30 minutes of fermentation, received the highest score for an overall banana flavor and color and moderate favorability scores when tested for consumer acceptance.

Key word : Rolling, Fermentation, Herbal tea, Banana flower, Organic Agriculture

1. บทนำ

กล้วยออกดอกเป็นช่อ (inflorescence) ประกอบด้วยกลุ่มของช่อดอกย่อย ซึ่งจะมีกาบปลี (bract) หรือกลีบประดับกันไว้ ในช่อดอกย่อยแต่ละช่อมีดอกเรียงซ้อนกันอยู่ 2 แถว มีกลุ่มดอกเพศผู้ที่อยู่ส่วนปลาย เป็นส่วนที่เรียกว่า หัวปลี (male bud) และกลุ่มดอกเพศเมียอยู่ที่ส่วนโคน (รสมนต์และคณะ, 2563) หัวปลีมักถูกตัดทิ้งเนื่องจากไปแย่งอาหารของผลกล้วย ส่วนใหญ่ถูกนำไปใช้ทำเป็นอาหารเพื่อบำรุงน้านมมารดา เช่น แกงเลียงหัวปลี นอกจากนี้ยังมีประโยชน์ในการลดระดับน้ำตาลในเลือด บำรุงเลือด ปลีตากแห้งใช้รักษาโรคโลหิตจางเนื่องจากมีธาตุเหล็กมาก หัวปลีมีพลังงานน้อยกว่าผลกล้วยประมาณ 4 – 5 เท่า เนื่องจากมีคาร์โบไฮเดรตเป็นองค์ประกอบน้อยกว่าประมาณ 5 – 6 เท่า แต่มีคุณค่าทางโภชนาการอื่นใกล้เคียงหรือสูงกว่าผลกล้วย เช่น มีปริมาณธาตุ calcium ใกล้เคียงกับผลกล้วยหอม แต่มากกว่าผลกล้วยไข่ 7 เท่า กล้วยน้ำว้า 4 เท่า และกล้วยน้ำไทย 20 เท่า เป็นต้น (กองโภชนาการ, 2544)

ชาสมุนไพร คือ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืชที่นำไปตากแดด อบแห้ง แล้วตัดสับ หรืออบ โดยมียุติประสงค์เพื่อนำไปบริโภคโดยการต้มหรือชงกับน้ำ ซึ่งชาสมุนไพรจัดเป็น อาหารที่กำหนด คุณภาพหรือมาตรฐานตามประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) พ.ศ.2547 เรื่อง ชาสมุนไพร จะต้องมียุติคุณภาพมาตรฐานตามที่กฎหมายกำหนด รวมทั้งวิธีการผลิต เครื่องมือ เครื่องใช้ในการผลิต

และการเก็บรักษาอาหาร ภาชนะบรรจุ (กระทรวงสาธารณสุข, 2547) การหมัก (Fermentation) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเริ่มตั้งแต่การผิงชา และนวดชา ก่อนที่จะถึงขั้นตอนการคั่วหรือนึ่งชา ในกระบวนการนี้ polyphenol oxidase จะเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันทำให้ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้น ซึ่งทำให้ชาเกิดกลิ่น สี และ รสชาติที่แตกต่างกันไปตามองค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ในชาและตามกรรมวิธีการผลิต (สถาบันชาและกาแฟแห่งมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, 2563) นันทชนก และคณะ (2556) ได้ศึกษาผลของกระบวนการผลิตที่มีต่อคุณภาพของเครื่องดื่มชาจากเปลือกส้มโอพันธุ์ขาวน้ำผึ้ง พบว่าเวลาในการนวด (10 และ 20 นาที) เวลาการหมักและอุณหภูมิการอบ (50 และ 60 องศาเซลเซียส) ไม่มีผลต่อปริมาณ Total phenolic ผลการวิเคราะห์การต้านอนุมูลอิสระโดยวิธี DPPH พบว่าการหมักเปลือกส้มโอเป็นเวลา 1 ชั่วโมง มีค่าการต้านอนุมูลอิสระอยู่ระหว่างร้อยละ 61.74 – 62.15 สูงกว่าการหมักเปลือกส้มโอเป็นเวลา 3 ชั่วโมงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) อย่างไรก็ตามเวลาการนวดและอุณหภูมิการอบไม่มีผลต่อการต้านอนุมูลอิสระของชาเปลือกส้มโอ ดวงพร และคณะ (2559) ศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระโดยใช้วิธีทดสอบฤทธิ์ขจัดอนุมูลอิสระ ABTS⁺ และปริมาณกลุ่ม phenolic ที่เป็นสารสำคัญในชาปลีกล้วย 3 ผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ชาปลีกล้วย ชาชงชิงผสมปลีกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงปลีกล้วย ผลการทดลองพบว่าชาชงปลีกล้วยมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสารสำคัญกลุ่ม

phenolic ที่สูงกว่าชาชงซึ่งผสมปลีกกล้วย และเครื่องดื่มแบบชงปลีกกล้วย เมื่อเทียบต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ 1 กรัม อย่างไรก็ตามยังไม่ได้มีการศึกษาผลของการผลิตที่มีต่อคุณภาพชาสมุนไพรจากดอกกล้วย

ชุมชนเรียนรู้เกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก มีการปลูกกล้วยน้ำว้าในระบบเกษตรอินทรีย์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์สากลของสหพันธ์เกษตรอินทรีย์นานาชาติ (International Federation of Organic Agriculture Movement, IFOAM) รวมทั้งมีการปลูกกล้วยน้ำว้าในแปลงของเครือข่ายการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมระบบชุมชนรับรอง RL-PGS (Rajamangala University of Technology Lanna – Participatory Guarantee Systems) เมื่อกล้วยมีการเจริญเติบโตก็จะมีหัวปลีซึ่งต้องตัดทิ้งเพื่อให้อายุเจริญเติบโตต่อไปโดยที่หัวปลีสามารถนำมาทำผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตร และสอดคล้องกับความต้องการของผู้ประกอบการที่ผลิตสินค้าเกษตรอินทรีย์ ซึ่งต้องการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่จากหัวปลีเกษตรอินทรีย์ ดังนั้นจากเหตุผลที่กล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์มาศึกษาการทำชาสมุนไพร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ของดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์ ผลของระยะเวลาในการนวดและระยะเวลาในการหมักที่มีผลต่อคุณภาพทางกายภาพ เคมี การยอมรับทางประสาทสัมผัสของชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์ และทดสอบการยอมรับผู้บริโภคที่มีต่อชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

2.แนวคิดหรือทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ดอกของกล้วยมีสารประกอบ phenolic เช่น tannin (สุญาณี, 2555) เมื่อทำให้หัวปลีช้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลได้ เนื่องจากการทำงานของเอนไซม์ในหัวปลี โดย polyphenol oxidase คือเอนไซม์ที่เป็นสาเหตุหลักในปฏิกิริยานี้ (วิศรุต, 2555) หากนำดอกของกล้วยมาทำการหมัก ในลักษณะเดียวกับการหมักชา ที่เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเริ่มตั้งแต่การผึ่งชา และนวดชา ก่อนที่จะถึงขั้นตอนการคั่วหรือหนึ่งชา (สถาบันชาและกาแฟแห่ง

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง, 2563) โดยในกระบวนการนี้จะทำให้ชาสมุนไพรดอกกล้วย เกิดกลิ่น สี และรสชาติที่มีเอกลักษณ์เฉพาะ แต่เวลาในการนวดและการหมักที่ไม่เหมาะสมอาจทำให้เกิดสีและกลิ่นไม่พึงประสงค์ ดังนั้นการหาสภาวะการนวดและการหมักที่เหมาะสม จะทำให้ได้คุณลักษณะของชาสมุนไพรดอกกล้วยที่ดี

3.วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพ และ องค์ประกอบทางเคมี ของดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

เก็บเกี่ยวหัวปลีกล้วยน้ำว้าเกษตรอินทรีย์ (*Musa sapientum L.*) ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ IFOAM จากชุมชนเรียนรู้เกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ต.บ้านกร่าง อ.เมือง จ.พิษณุโลก และหัวปลีกล้วยน้ำว้าเกษตรอินทรีย์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมระบบชุมชนรับรอง RL-PGS จากไร่ชนวนลักษณะ ต.บ้านน้อยชุมขี้เหล็ก อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก ปอกกาบออกเอาเฉพาะดอกกล้วย นำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง นำไปวัดค่าสี L^* , a^* , b^* , Chroma และ Hue angle โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab และวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เถ้า คาร์โบไฮเดรต เส้นใย (AOAC, 2000)

3.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการนวดและระยะเวลาในการหมักที่มีผลต่อคุณภาพชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

นำหัวปลีกล้วยน้ำว้าเกษตรอินทรีย์ ปอกกาบออกเอาเฉพาะดอกกล้วย ชั่งน้ำหนัก 200 กรัมใส่ถุงพลาสติกพีพีชนิดซิปล็อค นำไปนวดคลึงด้วยไม้คilingแบ่งและหมักในถุงพลาสติกพีพี ที่อุณหภูมิห้องโดยกำหนดสิ่งทดลองดังนี้ สิ่งทดลองที่ 1 ไม่มีการนวด และหมัก (สิ่งทดลองควบคุม) สิ่งทดลองที่ 2 นวด 3 นาที และหมัก 30 นาที สิ่งทดลองที่ 3 นวด 3 นาที และหมัก 60 นาที สิ่งทดลองที่ 4 นวด 5 นาที และหมัก 30 นาที สิ่งทดลองที่ 5 นวด 5 นาที และหมัก 60 นาที

จากนั้นนำไปอบด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นระยะเวลา 6 ชั่วโมง บรรจุในถุงอลูมิเนียมฟอยด์ เก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง นำดอกกล้วยที่ผ่านการนวดและหมักในแต่ละสิ่งทดลองไปวัดค่าสี L^* , a^* , b^* , Chroma และ Hue angle โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab จากนั้นนำไปชงเป็นน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยในอัตราส่วนชาสมุนไพรดอกกล้วย 2 กรัม ต่อ น้ำร้อนอุณหภูมิน้ำเดือด (90–100 องศาเซลเซียส) 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าสี L^* , a^* , b^* , Chroma และ Hue angle โดยใช้เครื่องวัดสี Hunter Lab วัดค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัดพีเอช วิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดวิเคราะห์ด้วยวิธี Folin-Ciocalteu Reagent (ดัดแปลงจาก Chan et al., 2010) วิเคราะห์ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระด้วยการวิเคราะห์ DPPH (Rahman et al., 2012) วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (CRD) จำนวน 3 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

ประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้าน ลักษณะปรากฏของน้ำชา สีน้ำชา กลิ่นกล้วย รสชาติ ความฝาดของน้ำชา และความชอบรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) โดยใช้ผู้ทดสอบที่ไม่ผ่านการฝึกฝนจำนวน 30 คน วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) (อัจฉริยา, 2547) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

คัดเลือกสิ่งทดลองที่ดีที่สุดโดยพิจารณาจากสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มากที่สุด และคะแนนความชอบรวมสูงสุดเพื่อนำไปศึกษาผลการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

3.3 การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

ทำการทดสอบผู้บริโภคที่มีต่อน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วย โดยใช้ผู้บริโภคทั่วไป 100 คน เตรียมตัวอย่างน้ำชาโดยนำชา

สมุนไพรดอกกล้วย ไปชงเป็นน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยในอัตราส่วนชาสมุนไพรดอกกล้วย 2 กรัม ต่อ น้ำร้อนอุณหภูมิน้ำเดือด (90–100 องศาเซลเซียส) 100 มิลลิลิตร ทดสอบชิมที่ใช้แบบสอบถามการยอมรับด้านประสาทสัมผัสในด้าน ลักษณะปรากฏของน้ำชา สีน้ำชา กลิ่นกล้วย รสชาติ ความฝาดของน้ำชา และความชอบรวม ด้วยวิธีการให้คะแนนความชอบ 9 ระดับ (9-Point Hedonic Scale) และคะแนนความรู้สึก (ภทรวดี, 2560) นำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วางแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) (อัจฉริยา, 2547) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติโดยวิธี Analysis of variance (ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้วิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ของดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

จากการวัดค่าสี L^* ของดอกกล้วย พบว่า ค่าสีที่ได้มีความสว่างไปในทางที่ค่อนข้างน้อย (22.5 ± 0.03) ค่าสี a^* แสดงค่าความเป็นสีแดง (3.99 ± 0.08) ค่าสี b^* แสดงค่าความเป็นสีเหลือง (8.2 ± 0.16) ค่าสี Chroma แสดงสีค่อนข้างจาง (9.13 ± 0.17) ค่าสี Hue angle มีค่าสีไปทางสีเหลือง (63.96 ± 0.37)

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดอกกล้วยอบแห้ง พบว่า มีปริมาณความชื้น เยื่อใย ไขมัน ถั่ว โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 3.02 ± 0.44 11.74 ± 0.07 3.16 ± 0.20 15.05 ± 3.96 13.65 ± 1.03 และ 53.38 ± 0.04 ตามลำดับ

4.2 ผลการศึกษารสชาติของระยะเวลาในการนวดและระยะเวลาในการหมักที่มีผลต่อคุณภาพชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

การวัดค่าสีของชาสมุนไพรดอกกล้วยที่ผ่านการนวดและหมักในสภาวะที่แตกต่างกัน พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในค่า L^* ค่า b^* และค่า Chroma แต่มีค่า a^* และ Hue angle แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยชาดอกกล้วยที่มีการใช้เวลาการนวดและการหมักที่นานกว่า

จะมีค่า a^* สูงกว่าชาดอกกล้วยที่ใช้เวลาการนวดและการหมักสั้นกว่า รวมทั้งตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการนวดและการหมัก สำหรับค่า Hue angle ของชาดอกกล้วยจะมีค่าลดลงเมื่อใช้เวลาในการนวดและการหมักเพิ่มขึ้น ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 1

เมื่อนำชาสมุนไพรดอกกล้วยที่ผ่านการนวดและหมักในสถานะที่แตกต่างกัน ไปชงเป็นน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยและวัดค่าสีของน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วย พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในค่า a^* และค่า Chroma แต่มีค่า L^* b^* และ Hue angle แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) โดยชาดอกกล้วยที่มีการใช้เวลาการนวดและการหมักที่นานกว่าจะมีค่า L^* ต่ำกว่าน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยที่ใช้เวลาการนวดและการหมักสั้นกว่า รวมทั้งตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการนวดและการหมัก สำหรับค่า b^* ของน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลาในการนวดและการหมักเพิ่มขึ้น ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 2

จากผลข้างต้นนี้ น้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยที่มีการนวดและหมักมีสีออกเหลืองเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างควบคุมที่ไม่มีการนวดและหมัก ซึ่งเกิดจากกระบวนการนวด และหมัก ช่วยกระตุ้นให้สารรงควัตถุที่มีสีเหลืองอย่างแคโรทีน ละลายออกมากับน้ำชาได้เพิ่มมากขึ้น สอดคล้องกับรายงานของศิริธ และสุพัตรา (2563) ที่ศึกษาการนวดและหมักชาเปลือกพริกขี้หนู ซึ่งพบว่าน้ำชามีสีออกเหลืองเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

การวัดค่าพีเอชของน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วย พบว่าทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกัน โดยมีค่าเป็นกรดเล็กน้อย (5.47-5.85) การวิเคราะห์หา Total phenolic compounds และฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ พบว่าสิ่งทดลองที่เวลานวดสั้นที่สุด และเวลาในการหมักสั้นที่สุด คือ นวด 3 นาที และหมัก 30 นาที มีปริมาณ Total phenolic compounds สูงที่สุด และทำให้มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุดแตกต่างกับสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 3

น้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยที่ผ่านกระบวนการนวดและหมัก มีปริมาณ Total phenolic compounds สูงกว่า น้ำชาชงจากสิ่งทดลองควบคุม กระบวนการนวดและกระบวนการหมักดอกกล้วย ช่วยให้ Total phenolic compounds เพิ่มขึ้นในน้ำชาชงจากสมุนไพรดอกกล้วย

ได้ เนื่องจากกระบวนการนวดและการหมักทำให้เกิดแรงกล ที่ทำให้ผนังเซลล์พืชที่ห่อหุ้มสารฟีนอลิกได้รับความเสียหาย ดังนั้นเมื่อชงชาด้วยน้ำร้อนจึงทำให้ผนังเซลล์ถูกทำลายได้เพิ่มมากขึ้น สารกลุ่มฟีนอลิกในเซลล์พืช จึงละลายออกมาจากเซลล์พืชได้เพิ่มมากขึ้น นอกจากนั้นน้ำชาชงที่มาจากสิ่งทดลองมีการหมักดอกกล้วยนาน 60 นาที มีแนวโน้มที่จะมีปริมาณ Total phenolic compounds ต่ำกว่าน้ำชาชงที่มาจากสิ่งทดลองที่มีการหมักดอกกล้วย 30 นาที อาจเป็นเพราะสารประกอบฟีนอลิกบางชนิดเช่นฟลาโวนอยด์ (flavonoid) มีความไวต่อแสงและอุณหภูมิ การหมักในสถานะที่ถูกแสงในระยะเวลาสั้นในการทดลองนี้ อาจส่งผลต่อการสลายตัวของสารประกอบฟีนอลิกที่พบจากในวัตถุดิบธรรมชาติ (ศิริธ และสุพัตรา, 2563) ดังนั้นกระบวนการผลิตชาสมุนไพรดอกกล้วย ที่มีการนวด 3 นาที และหมักเป็นเวลา 30 นาที จึงเป็นเวลาที่เหมาะสมจะทำให้สารประกอบฟีนอลิกถูกสกัดออกมาได้ง่าย และเวลาในการหมักไม่นานเกินไปจะช่วยทำให้สารประกอบฟีนอลิกไม่ถูกทำลาย

การประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วย พบว่า สิ่งทดลองที่ใช้เวลานวด 3 นาที และหมัก 30 นาที ได้รับคะแนนการยอมรับในด้านความชอบรวม กลิ่นกล้วย และสี สูงที่สุดแตกต่างจากสิ่งทดลองอื่นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) สำหรับคุณลักษณะด้านความใส และความฝาดเพี้ยน ไม่มีความแตกต่างกัน ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4

จากผลการวิเคราะห์หาสารประกอบฟีนอลิกทั้งหมดที่มากที่สุด และคะแนนความชอบรวมสูงสุดจึงคัดเลือกสิ่งที่ใช้เวลานวด 3 นาทีและหมัก 30 นาที ไปศึกษาผลการยอมรับของผู้บริโภคต่อไป

3.3 ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

การทดสอบการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์ พบว่า น้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์ ได้รับคะแนนการยอมรับจากผู้บริโภคในระดับชอบปานกลาง ในด้านคุณลักษณะด้านสีและความชอบรวม สำหรับคุณลักษณะด้านความใส กลิ่นกล้วย และความฝาดเพี้ยนของน้ำชา ได้รับคะแนนระดับชอบ

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าสีของชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

สิ่งทดลอง		ค่าสี				
ขนาด (นาที่)	หมัก (นาที่)	L*	a*	b*	Chroma	Hue angle
0	0	33.29±3.66 ^{ns}	2.40±0.81 ^b	11.78±0.97 ^{ns}	12.05±1.09 ^{ns}	78.59±3.07 ^a
3	30	31.24±0.41 ^{ns}	2.52±0.32 ^b	11.18±1.74 ^{ns}	11.46±1.77 ^{ns}	75.17±4.35 ^{ab}
3	60	31.48±2.16 ^{ns}	3.19±0.54 ^{ab}	12.19±1.30 ^{ns}	12.56±1.32 ^{ns}	75.17±1.97 ^{ab}
5	30	32.58±2.19 ^{ns}	3.95±0.45 ^a	12.22±1.93 ^{ns}	12.86±1.92 ^{ns}	72.77±1.47 ^{bc}
5	60	33.08±0.01 ^{ns}	3.80±0.03 ^a	9.64±0.04 ^{ns}	10.36±0.03 ^{ns}	68.48±0.21 ^c

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
L* คือค่าความสว่าง มีค่า 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว, a* คือค่าสีเขียวแดง โดย -a* คือสีเขียว และ +a* คือสีแดง,
b* คือค่าสีน้ำเงินเหลือง โดย -b* คือสีน้ำเงิน และ+b* คือสีเหลือง, Chroma คือความเข้มของสี โดย มีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อวัตถุมีสีจาง
(เทา) และมีค่าเข้าใกล้ 60 เมื่อวัตถุมีสีเข้ม, Hue angle คือค่าแสดงช่วงสีของวัตถุมีสีค่า 0-360 องศา โดย 45-90 องศา แสดงสีส้มแดงถึง
เหลือง

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าสีของน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

สิ่งทดลอง		ค่าสี				
ขนาด (นาที่)	หมัก (นาที่)	L*	a*	b*	Chroma	Hue angle
0	0	9.32±0.34 ^a	-1.04±0.14 ^{ns}	-0.89±0.57 ^b	1.51±0.26 ^{ns}	198.02±4.22 ^b
3	30	5.52±0.41 ^b	-1.08±0.14 ^{ns}	1.04±0.25 ^a	1.57±0.15 ^{ns}	209.56±0.17 ^a
3	60	5.18±0.48 ^b	-1.00±0.22 ^{ns}	0.93±0.27 ^a	1.53±0.20 ^{ns}	161.05±1.89 ^c
5	30	4.95±0.23 ^b	-1.20±0.08 ^{ns}	1.10±0.13 ^a	1.70±0.07 ^{ns}	139.80±0.26 ^e
5	60	3.59±0.40 ^c	-0.98±0.05 ^{ns}	1.31±0.11 ^a	1.65±0.07 ^{ns}	149.15±2.54 ^d

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ
L* คือค่าความสว่าง มีค่า 0-100 โดย 0 คือสีดำ และ 100 คือสีขาว, a* คือค่าสีเขียวแดง โดย -a* คือสีเขียว และ +a* คือสีแดง,
b* คือค่าสีน้ำเงินเหลือง โดย -b* คือสีน้ำเงิน และ+b* คือสีเหลือง, Chroma คือความเข้มของสี โดย มีค่าเข้าใกล้ 0 เมื่อวัตถุมีสีจาง
(เทา) และมีค่าเข้าใกล้ 60 เมื่อวัตถุมีสีเข้ม, Hue angle คือค่าแสดงช่วงสีของวัตถุมีสีค่า 0-360 องศา โดย 135-180 องศา แสดงสีเหลือง
เขียวถึงสีเขียว, 180-225 องศา แสดงสีเขียวถึงสีน้ำเงิน

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สารประกอบฟีนอลิก ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ และฟิโอส ของน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์

สิ่งทดลอง		Total phenolic compounds	ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ(%)	ค่าฟิโอส
ขนาด (นาที่)	หมัก (นาที่)	(mg eq GAE/ g)		
0	0	587.17±1.74 ^c	48.27±1.50 ^b	5.55±0.01 ^{ns}
3	30	600.83±6.50 ^a	53.60±2.40 ^a	5.85±0.02 ^{ns}
3	60	592.49±4.18 ^{bc}	40.49±2.50 ^{cd}	5.80±0.01 ^{ns}
5	30	595.61±2.13 ^{ab}	45.05±2.64 ^{bc}	5.77±0.02 ^{ns}
5	60	586.17±1.72 ^c	39.19±3.47 ^d	5.47±0.01 ^{ns}

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 4 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์ จากผู้ทดสอบชิม 30 คน

สิ่งทดลอง		คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส				
ขนาด (นาที)	หมัก (นาที)	สี	ความใส	กลิ่นกล้วย	ความฝาด	ความชอบรวม
0	0	7.10±1.33 ^a	6.70±1.04 ^{ns}	6.80±2.03 ^{ab}	6.13±1.98 ^{ns}	6.20±3.27 ^b
3	30	7.17±1.11 ^a	6.23±1.84 ^{ns}	7.23±1.22 ^a	6.17±2.56 ^{ns}	7.07±0.62 ^a
3	60	6.37±1.34 ^b	6.50±1.98 ^{ns}	6.13±1.29 ^c	6.13±1.29 ^{ns}	6.13±1.71 ^b
5	30	5.87±1.15 ^b	6.30±1.53 ^{ns}	6.43±1.08 ^{bc}	5.87±1.22 ^{ns}	6.07±0.62 ^b
5	60	5.77±1.43 ^b	6.00±1.93 ^{ns}	6.00±1.93 ^c	6.03±1.27 ^{ns}	6.07±1.65 ^b

หมายเหตุ : ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวตั้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ^{ns} หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 5 ผลการประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์ จากผู้บริโภค 100 คน

คุณลักษณะที่ประเมิน	น้ำชาสมุนไพรดอกกล้วยเกษตรอินทรีย์			
	คะแนนความชอบ	คะแนนความรู้สึก		
		น้อยไป	พอดี	มากไป
สีของน้ำชา	7.11	5	86	9
ความใส	6.85	13	82	5
กลิ่นกล้วย	6.69	18	47	8
ความฝาดเพื่อน้ำชา	6.15	0	83	17
ความชอบโดยรวม	7.26	0	96	4

เล็กน้อย โดยที่ทุกคุณลักษณะที่ทำการทดสอบได้รับคะแนนอยู่ในระดับที่พอดี ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 5

5.อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

ค่าสีของชาสมุนไพรดอกกล้วยที่ผ่านการนวดและหมักในสภาวะที่แตกต่างกัน ไม่มีความแตกต่างกันในค่าสี L* ค่า b* และค่า Chroma แต่มีค่า a* และ Hue angle แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) เมื่อนำไปชงเป็นน้ำชาสมุนไพรดอกกล้วย พบว่าไม่มีความแตกต่างกันในค่าสี a* และค่า Chroma แต่มีค่า L* b* และ Hue angle แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) อาจเนื่องมาจากความชื้นที่เกิดจากระยะเวลาในการนวดให้เซลล์แตกที่แตกต่างกัน เมื่อสัมผัสกับความร้อนจากการอบจึงทำให้สีแตกต่างกัน และเมื่อดอกกล้วยได้รับความร้อนจากการอบทำให้เกิดปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาลโดยมีเอนไซม์เกี่ยวข้อง

เช่น เอนไซม์ polyphenol oxidase ซึ่งการเกิดปฏิกิริยานี้ต้องมีสารฟีนอลเป็นสารตั้งต้น เมื่อเซลล์ของผักและผลไม้ถูกกระทบกระเทือน ทำให้เอนไซม์ สารที่ทำปฏิกิริยา และออกซิเจนสัมผัสกัน สาร monophenol จะถูกออกซิไดส์เป็นไดฟีนอลซึ่งไม่มีสี และถูกออกซิไดส์ ซึ่งมีสีน้ำตาล โดยความเข้มของสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นบนอาหารนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ หากอุณหภูมิสูงสีน้ำตาลที่เกิดขึ้นจะมีสีเข้มกว่าการใช้ความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า (อนูธิตา, 2550; นิธิยา, 2551) สิ่งทดลองที่ใช้เวลานวด 3 นาทีและหมัก 30 นาที มีปริมาณสารประกอบฟีนอลฟีนอลิกทั้งหมดสูงที่สุด และมีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด เมื่อนำไปทดสอบทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิม พบว่าได้รับคะแนนความชอบรวม กลิ่นกล้วย และสี สูงที่สุด รวมทั้งได้รับคะแนนความชอบในระดับชอบเล็กน้อยถึงปานกลางเมื่อนำไปทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค

6.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนหัวปลีกล้วยเกษตรอินทรีย์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ IFOAM จากชุมชนเรียนรู้เกษตรอินทรีย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา พิษณุโลก ต.บ้านกร่าง อ.เมืองพิษณุโลก จ.พิษณุโลก และหัวปลีกล้วยเกษตรอินทรีย์ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์แบบมีส่วนร่วมระบบชุมชนรับรอง RL-PGS จากไร่ชนนลักษณ์ ต.บ้านน้อยชุมขี้เหล็ก อ.เนินมะปราง จ.พิษณุโลก

7.เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2547). ประกาศกระทรวงสาธารณสุข (ฉบับที่ 280) เรื่อง มาตรฐานไพร 26 กรกฎาคม 2547, ราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป. เล่มที่ 121 ตอนพิเศษที่ 82 ง.

กองโภชนาการ. (2544). ตารางแสดงคุณค่าทางโภชนาการของอาหารไทย. นนทบุรี: กระทรวงสาธารณสุข. นันทชนก นันทะไชย, อินทิรา ลิจันทร และปาลิดา ตั้งอนุรัตน์. (2556). ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระของชาชงจากเปลือกส้มโอ (รายงานผลการวิจัย). ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธัญบุรี, วิทยาเขตปทุมธานี.

ดวงพร อมรเลิศพิศาล, รัตนาภรณ์ จันทร์ทิพย์ และอุเทน จำใจ. (2559).ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระและสาระสำคัญในผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มจากชาปลีกล้วย. ในรายงานการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 3 (หน้า 1360-1365). 15-16 กันยายน 2559. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่.

รสมนต์ จินแส, กัลยาณี สุวิทวัส และราตรี บุญเรืองรอด. (2563). การศึกษาโครงสร้างของดอกและลักษณะทางสัณฐานวิทยาของละอองเรณูของกล้วย 8 สายพันธุ์: กล้วยพันธุ์ป่าและพันธุ์ปลูก. วารสารพืชศาสตร์สงขลานครินทร์, 7(3), 184-195.

นิตยา รัตนาปนนท์. 2551. เคมีอาหาร. กรุงเทพมหานคร: โอเดียนสโตร์.

ภัทราวดี วงษ์วาศ, วิชุดา ตามัย และดำรงศักดิ์ ฤทธิงาม. (2560). ทิศนคติและการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์ชาเขียวแบบซอง. เก่นเกษตร, 45(1): 1459-1463.

วิศรุต สุวรรณ. (2555). การผลิตฟักทอง ผีอก และกล้วยแดง ผง และการนำไปใช้ประโยชน์ในผลิตภัณฑ์ขนมอบ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ศศิธร ปุรินทราภิบาล และสุพัตรา พูลพิชชนม์. (2563). ผลของกระบวนการผลิตชาต่อคุณภาพและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของชาเปลือกฟักข้าว. ว.มทรส 8(1): 28-38.

สถาบันชาและกาแฟแห่งมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง. (2563). กระบวนการผลิตชา. สืบค้น15 มีนาคม 2564, จาก <http://teacoffee.mfu.ac.th/tc-tea-coffeeknowledge/tc-tea/tcteaproductioinprocess.html>

สุญาณี แสนเศษ. (2555). การศึกษาคุณค่าทางอาหารและการย่อยได้ของเปลือกกล้วยน้ำว้า (*Musa sapintum L.*) (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต). เชียงใหม่: มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

อนุธิดา ผายชัน. (2550). การพัฒนาผลิตภัณฑ์ชาสมุนไพรจากหญ้าหนวดแมว (รายงานผลการวิจัย). อุบลราชธานี: มหาวิทยาลัยราชภัฏอุบลราชธานี.

อัจฉริยา ปราบอริพ่าย. (2547). เทคนิคการวิเคราะห์สถิติโดยใช้โปรแกรม SPSS: ทฤษฎีและภาคปฏิบัติ. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

AOAC.(2000). Association of Official Analytical Chemists. Official Method of Analytical. 17thed. AOAC international. Gaithersburg Maryland, USA.

Chan, E. W. C., Y.Y., Lim., K.L., Chong., J.B.L., Tan. and S.K. Wong. (2010). Antioxidant Properties of Tropical and Temperate Herbal Teas. Journal Food Compos Anal, 2010(23): 185-189.

Rahman, M.M, V., Fazlic. and N.W., Sadd. (2012). Anti-oxidant properties of raw garlic (*Allium sativum*) extract. International Food Research Journal, 9: 89-91.

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน
ตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร

Factors Relating to Participation of Village Agricultural Volunteers
in Phichit Province According to the Role of Village Agricultural Volunteers

นำทิพย์ วงเงิน¹* รองศาสตราจารย์ ดร. สินีช คุรุขเมือง แสนเสริม²
และ รองศาสตราจารย์ ดร. เบญจมาศ อยู่ประเสริฐ²

1 สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตร ถ.คลองคะเชนทร์ ต.ในเมือง อ.เมืองพิจิตร จ.พิจิตร 66000

2 คณะเกษตรศาสตร์และสหกรณ์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 9/9 หมู่ที่ 9 ต.บางพูด อ.ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11120

*E-mail namtip112527@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 081-0396133

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา 1) สภาพสังคม เศรษฐกิจและปัจจัยอื่นๆของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร 2) การมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน 3) ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน 4) ปัญหาและข้อเสนอแนะของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านต่อการมีส่วนร่วม โดยศึกษากลุ่มตัวอย่างอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร จำนวน 166 ราย เครื่องมือที่ใช้ คือ แบบสัมภาษณ์ วิเคราะห์ข้อมูลโดยการแจกแจงความถี่ ร้อยละ ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการวิเคราะห์ถดถอยพหุ โดยการศึกษพบว่าปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ทั้ง 3 ด้าน คือ การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้านการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน และการประสานงานในการถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหา ส่วนปัจจัยด้านอายุเกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ในด้านการติดตามสถานการณ์การเกษตรเพียงด้านเดียว ปัญหาในการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร พบว่าอยู่ในระดับน้อย ทั้ง 4 ด้าน) ข้อเสนอแนะของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านทั้งหมด ร้อยละ 100 ข้อเสนอแนะให้ควรปรับปรุงปัญหาเกี่ยวกับการให้ความช่วยเหลือล่าช้า และควรมีค่าตอบแทนอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านร้อยละ 76.2

คำสำคัญ: อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

Abstract

This research aims to study 1) social, economic and other factors of village agriculture volunteers in Phichit province 2) the participation of village agriculture volunteers 3) factors related to the participation of village agriculture volunteers 4) problems and suggestions of village agriculture volunteers on the participation. The sample was 166 village agriculture volunteers in Phichit province and the interview form is used as a tool. The data was analyzed by using distributing frequency, percentage, minimum value, maximum value, mean, standard deviation, and multiple regression analysis. The study found that the status factor was related to the participation of village agriculture volunteers with statistically significant at level 0.05 in three aspects; the collection of basic agricultural data of the village, the development of a village agricultural development plan and coordination in knowledge transfer and problem-solving. The age factor was related to the participation of village agriculture volunteers, which was statistically significant at level 0.05 in the term of single-sided monitoring of the agricultural situation. The problems in participating village agriculture volunteers in Phichit province were found to be at a low level in all four aspects. All village agriculture volunteers suggested that there should be an improvement in delayed assistance and 76.2 percent of them suggested there should be compensation for village agriculture volunteers.

Keywords: Village Agricultural Volunteers, Related Factors

1. บทนำ

อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านมีความสำคัญต่อการพัฒนาทางด้านส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่ ซึ่งการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน จึงมีความสำคัญในงานส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่เป็นอย่างมาก เนื่องจากอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน เป็นผู้ใกล้ชิดกับเกษตรกร จึงทำให้ทราบปัญหาและความต้องการของเกษตรกรอย่างแท้จริง โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาสภาพสังคม เศรษฐกิจและปัจจัยอื่นๆของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน จังหวัดพิจิตร ศึกษาการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตรเพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร เพื่อศึกษาปัญหาและข้อเสนอแนะของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านต่อการมีส่วนร่วม โดยสมมติฐานการวิจัยสภาพสังคม สภาพเศรษฐกิจ และปัจจัยอื่นๆ มีอย่างน้อย 1 ปัจจัย ที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร พร้อมทั้งนำทฤษฎีการมีส่วนร่วม แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน แนวคิดเกี่ยวกับอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมา มาใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงจัดทำขึ้นเพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ว่ามีปัจจัยใดบ้างที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการส่งเสริมและพัฒนาการดำเนินงานของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน และนำไปสู่การพัฒนาของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในการส่งเสริมการเกษตรในจังหวัดพิจิตร

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาทบทวนวรรณกรรม และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร เพื่อนำมาใช้สำหรับการกำหนดกรอบแนวคิด หลักการ ตัวแปรของ

การศึกษา รวมทั้งการกำหนดประเด็นคำถามในการสร้างเครื่องมือการรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และอภิปรายผลการศึกษา ประกอบด้วย

1. แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วม กรมส่งเสริมการเกษตร (2556, น.111) หมายถึง การเปิดโอกาสให้ประชาชนได้มีส่วนร่วมในการคิด การพิจารณาตัดสินใจ ร่วมกันคิดแก้ปัญหา และดำเนินกิจกรรมต่างๆ ร่วมกัน แนวคิดเกี่ยวกับการมีส่วนร่วมที่สำคัญ โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้นำแนวคิดต่างๆ มากำหนดประเด็นศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร ได้แก่ การเปิดโอกาสให้อาสาสมัครเกษตรจัดลำดับ การเข้ามามีส่วนร่วม ตามบทบาทหน้าที่ของแต่ละคน เพื่อเป็นการวัดการเข้ามามีส่วนร่วมในการตัดสินใจและการแก้ไขปัญหา

2. แนวคิดที่เกี่ยวข้องกับบทบาทหน้าที่ นทีชลีบทอง (2554, น.116-119) กล่าวว่า โดยบทบาทที่สำคัญของผู้นำเกษตรกร ในการดำเนินงานส่งเสริมการเกษตร คือ การปฏิบัติงานส่งเสริมการเกษตรด้วยการเป็นคนกลางในการเผยแพร่ความรู้ และข้อมูลข่าวสารทางการเกษตร เพื่อนำข้อมูลไปสู่เกษตรกรในท้องถิ่นและนำปัญหาที่เกิดขึ้นมาพิจารณาร่วมกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อหาแนวทางแก้ไข และเป็นผู้สนับสนุนกระบวนการส่งเสริมให้เป็นไปอย่างราบรื่นและมีคุณภาพบรรลุตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่วางไว้อย่างต่อเนื่อง

3. แนวคิดเกี่ยวกับอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2554, น.4) ได้ให้ความหมายของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน หมายถึง อาสาสมัครเกษตรหรือผู้แทนเกษตรกรระดับหมู่บ้านที่ได้รับการคัดเลือก (หมู่บ้านละ 1 คน) จากที่ประชุมอาสาสมัครเกษตรและผู้แทนเกษตรกรระดับหมู่บ้าน เพื่อทำหน้าที่ประสาน เชื่อมโยงการทำงานของอาสาสมัครเกษตรสาขาต่างๆ เกษตรกร องค์กรและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในหมู่บ้านเรียกโดยย่อว่า “อกม.” อยู่ในวาระคราวละ 4 ปี

หน่วยงานภายใต้สังกัดกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มีการคัดเลือกตัวแทนเกษตรกรในท้องถิ่นตามความชำนาญเฉพาะสาขาและเป็นเกษตรกรที่มีจิตอาสา

เพื่อช่วยเหลือการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่ ได้แก่ การเผยแพร่ความรู้ ถ่ายทอดเทคโนโลยี และประชาสัมพันธ์ ข้อมูลข่าวสารการเกษตรในรูปแบบของอาสาสมัครเกษตร สาขาต่างๆ โดยเรียกชื่อแตกต่างกันไป เช่น เกษตรหมู่บ้าน หมอดินอาสา และประมงอาสา เป็นต้น

4. ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มนัสนันท์ วงศ์มานิต (2557, น.188) ได้ศึกษาปัจจัยส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในการบริหารงานขององค์การบริหารส่วนตำบลระวิง อำเภอมะนัง จังหวัดเพชรบูรณ์ พบว่า เพศ และสถานภาพ เป็นปัจจัยที่ไม่มีผลต่อการมีส่วนร่วมในการบริหารงานขององค์การบริหารส่วนตำบลตำบลระวิง อำเภอมะนัง จังหวัดเพชรบูรณ์ สอดคล้องกับผลการศึกษาของ ทรงพล ตุ่มทอง (2541, น.46) ที่ได้ทำการศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วมของประชาชน ในการปกครองท้องถิ่น โดยศึกษากรณีเทศบาลตำบลศรีราชา ที่พบว่า เพศ อาชีพ ไม่มีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมของประชาชน และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ ของ สุรินทร์ สุริยงค์ (2551,น. 84) ที่ได้ทำการศึกษา ปัจจัยที่ส่งผลต่อการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครสาธารณสุขในการดำเนินงานเมืองไทย แข็งแรง : กรณีศึกษาอำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ พบว่า เพศไม่มีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครสาธารณสุข

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร ใช้รูปแบบการวิจัยเชิงสำรวจ โดยมีประชากร จำนวนทั้งสิ้น 888 ราย คำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างของประชากรกลุ่มนี้โดยใช้สูตรของ ทาโรยามาเน (Taro Yamane, 1973) กลุ่มตัวอย่างประชากร คือ อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร มีจำนวนทั้งสิ้น 888 ราย การคำนวณขนาดของกลุ่มตัวอย่างของประชากรกลุ่มนี้โดยใช้สูตรของ ทาโรยามาเน (Taro Yamane, 1973) ซึ่งการวิจัยครั้งนี้กำหนดให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกินร้อยละ 7

$$\begin{aligned} \text{แทนค่า} \quad n &= \frac{888}{1+888(0.07)^2} \\ &= \frac{888}{1+888(0.07)^2} \\ n &= 166 \end{aligned}$$

ดังนั้น ขนาดตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้จึงเท่ากับ 166 คน คิดเป็นร้อยละ 18.69 ของประชากรทั้งหมด ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$\text{สูตร } n = \frac{N}{1+Ne^2}$$

$$1+Ne^2$$

เมื่อ n = ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง (ราย)
 N = จำนวนหน่วยประชากร (ราย)
 e = ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
 แทนค่า n = 166 ราย

สุ่มตัวอย่างแบบง่าย (Simple random sampling) โดยการจับสลากตามบัญชีรายชื่อของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน โดยเขียนรายชื่อประชากรทั้งหมด ลงในภาชนะเคล้าให้ทั่ว และจับรายชื่อให้ครบจำนวนตัวอย่าง 166 ราย ซึ่งแยกเป็นรายอำเภอ จำนวน 12 อำเภอ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นแบบสัมภาษณ์ทั้งชนิดปลายปิดและปลายเปิด สร้างขึ้นโดยศึกษาจากแนวคิด ทฤษฎี และผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องแล้วนำมาปรับปรุงเพื่อให้เหมาะสมกับการวิจัยในครั้งนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปประกอบด้วย สภาพสังคมและเศรษฐกิจของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ซึ่งประกอบด้วยสภาพสังคม ได้แก่ เพศ อายุ ระดับการศึกษา และการดำรงตำแหน่งทางสังคม สภาพเศรษฐกิจของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ได้แก่ ขนาดพื้นที่ทำการเกษตร เป็นของตนเอง ขนาดพื้นที่เช่าทำการเกษตร พื้นที่ถือครองทำการเกษตรอื่นๆ พื้นที่ถือครองทำการเกษตรทั้งหมด จำนวนสมาชิกในครัวเรือน รายได้ในภาคการเกษตรของครัวเรือน รายได้นอกภาคเกษตรของครัวเรือน รายได้รวมทั้งหมดของครัวเรือน อาชีพหลัก อาชีพรอง และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ระยะเวลาที่อยู่ในชุมชน อายุการปฏิบัติงานในตำแหน่งอาสาสมัครเกษตร การเข้ามาเป็นอาสาสมัครเกษตร ความรู้เกี่ยวกับบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน

ตอนที่ 2 การมีส่วนร่วมตามของบทบาท อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ได้แก่ การจัดเก็บรวบรวม ข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน การร่วมกับ กรรมการหมู่บ้านและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดทำ แผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน การประสานงานใน การถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหาของเกษตรกรใน หมู่บ้าน การติดตามสถานการณ์การเกษตรในหมู่บ้านและ รายงานเหตุการณ์ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

เป็นคำถามที่มีลักษณะกำหนดคำตอบให้เลือก ตามระดับการมีส่วนร่วม ซึ่งกำหนดคะแนน เป็น 5 ระดับ คือ

- 1 คะแนน หมายถึง มีส่วนร่วมน้อยมาก
 - 2 คะแนน หมายถึง มีส่วนร่วมน้อย
 - 3 คะแนน หมายถึง มีส่วนร่วมปานกลาง
 - 4 คะแนน หมายถึง มีส่วนร่วมมาก
 - 5 คะแนน หมายถึง มีส่วนร่วมมากที่สุด
- ทั้งนี้กำหนดให้ 0 คะแนน หมายถึงไม่มีส่วนร่วม
- ตอนที่ 3 ปัญหา/ข้อเสนอแนะต่อการปฏิบัติงาน

อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน การจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน ด้านการเกษตรของหมู่บ้าน การร่วมกับกรรมการหมู่บ้าน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตร ระดับหมู่บ้าน การประสานงานในการถ่ายทอดความรู้และ การแก้ไขปัญหาของเกษตรกรในหมู่บ้าน การติดตาม สถานการณ์การเกษตรในหมู่บ้านและรายงานเหตุการณ์ ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเป็นคำถามที่มี ลักษณะกำหนดคำตอบให้เลือกตามระดับปัญหาที่พบ แบ่ง ระดับปัญหาออกเป็น 5 ระดับ คือ

- 1 คะแนน หมายถึง มีปัญหาน้อยมาก
 - 2 คะแนน หมายถึง มีปัญหาน้อย
 - 3 คะแนน หมายถึง มีปัญหาปานกลาง
 - 4 คะแนน หมายถึง มีปัญหาหมาก
 - 5 คะแนน หมายถึง มีปัญหาหมากที่สุด
- ทั้งนี้กำหนดให้ 0 คะแนน หมายถึงไม่มีส่วนร่วม
- การตรวจสอบแก้ไขและปรับปรุงแบบสัมภาษณ์

เมื่อสร้างแบบสัมภาษณ์แล้ว ผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบ แก้ไขและปรับปรุงแบบสัมภาษณ์ เพื่อให้การวิจัยมีความ ถูกต้อง สมบูรณ์ก่อนนำไปสัมภาษณ์ไปใช้จริง ดังนี้

1. การตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาของ แบบสัมภาษณ์ เพื่อให้การวิจัยมีความถูกต้องสมบูรณ์ ผู้วิจัยได้นำแบบสัมภาษณ์ไปให้อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์พิจารณาตรวจสอบความถูกต้อง และให้ คำแนะนำแก้ไข เพื่อให้แบบสัมภาษณ์มีความถูกต้อง สมบูรณ์และเที่ยงตรงตามเนื้อหา

2. การตรวจสอบความเชื่อถือได้ (reliability) โดย การนำแบบสัมภาษณ์ทดสอบ กับกลุ่มประชากรที่มี ลักษณะใกล้เคียงซึ่งไม่ใช่กลุ่มตัวอย่างในการศึกษา จำนวน 20 ราย จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปทดสอบหาค่า ความเชื่อมั่น (reliability consistency) ตามวิธีการหาค่า สัมประสิทธิ์แอลฟา (coefficient of alpha หรือ Cronbach) โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป ได้ค่าความเชื่อมั่น ของแบบสัมภาษณ์ ตอนที่ 2 การมีส่วนร่วมตามของ บทบาทอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ได้ค่าความเชื่อมั่นของ แบบสัมภาษณ์ ที่ $\text{Alpha} = 0.977$ ตอนที่ 3 ปัญหาและ ข้อเสนอแนะของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ได้ค่าความ เชื่อมั่นของแบบสัมภาษณ์ ที่ $\text{Alpha} = 0.969$

4. ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 สภาพสังคม เศรษฐกิจ และปัจจัยอื่นๆ ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตรพบว่า ร้อย ละ 73.5 เป็นเพศชาย รองลงมาคือ ร้อยละ 26.5 เป็นเพศ หญิง มีอายุเฉลี่ย 46.61 ปี มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 84.3 การดำรงตำแหน่งทางสังคมพบว่า มีตำแหน่งทาง สังคม ร้อยละ 91.0 ส่วนใหญ่ดำรงตำแหน่งเป็นผู้ช่วย ผู้ใหญ่บ้าน ร้อยละ 38.

จำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4 คน อาชีพ หลักทำการเกษตร ร้อยละ 92.2 รายได้ในภาคการเกษตร เฉลี่ยครัวเรือนละ 199,962.44 บาทต่อปี รายได้เฉลี่ยจาก นอกภาคการเกษตรครัวเรือนละ 83,606.35 บาทต่อปี ระยะเวลาที่อยู่ในชุมชนเฉลี่ย 35.7 ปี ระยะเวลาการ ปฏิบัติงานในตำแหน่งอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านเฉลี่ย 4.31 ปี

ตอนที่ 2 การมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตร หมู่บ้านตามบทบาทอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัด พิจิตร

ตารางที่ 2.1 สรุปการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร

การมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการมีส่วนร่วม
การมีส่วนร่วมในการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน	3.60	1.179	มาก
การมีส่วนร่วมกับการรณรงค์หมู่บ้านและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน	3.30	1.234	ปานกลาง
การมีส่วนร่วมในการประสานงานในการถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหาของเกษตรกรในหมู่บ้าน	3.29	1.211	ปานกลาง
การมีส่วนร่วมในการติดตามสถานการณ์การเกษตรในหมู่บ้านและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง	3.23	1.262	ปานกลาง
ค่าเฉลี่ยรวม	3.36	1.22	ปานกลาง

ผลการศึกษาพบว่า ในภาพรวมอาสาสมัครเกษตรมีส่วนร่วมในระดับปานกลาง ($\bar{x} = 3.36, S.D. = 1.22$) เมื่อพิจารณารายละเอียดในแต่ละประเด็นพบว่า อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน มีส่วนร่วม ในระดับมาก 1 ประเด็น คือ การมีส่วนร่วมในการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน ($\bar{x} = 3.60, S.D. = 1.179$) และในระดับปานกลาง 3 ประเด็น โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย ได้แก่ การมีส่วนร่วมกับการรณรงค์หมู่บ้านและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน ($\bar{x} = 3.30, S.D. = 1.234$) การมีส่วนร่วมในการประสานงานในการ

ถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหาของเกษตรกรในหมู่บ้าน ($\bar{x} = 3.29, S.D. = 1.211$) และการมีส่วนร่วมในการติดตามสถานการณ์การเกษตรในหมู่บ้านและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ($\bar{x} = 3.23, S.D. = 1.262$)

ตอนที่ 3 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร

ตารางที่ 3.1 ตารางสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน

ตัวแปร	การมีส่วนร่วมในการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน	การมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน	การมีส่วนร่วมในการประสานงานในการถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหา	การมีส่วนร่วมในการติดตามสถานการณ์การเกษตรและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉิน
สถานภาพ	ยอมรับ (Sig. = 0.037)	ยอมรับ (Sig. = 0.037)	ยอมรับ (Sig. = 0.031)	-
อายุ	-	-	-	ยอมรับ (Sig. = 0.014)

สรุปผลการทดสอบสมมติฐาน พบว่า สถานภาพเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมในการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน การมีส่วนร่วมในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน และการมีส่วนร่วมในการประสานงานในการถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหา ส่วนอายุเป็นตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมในการติดตามสถานการณ์การเกษตรและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉิน

ตอนที่ 4 ปัญหาและข้อเสนอแนะการมีส่วนร่วมตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร พบว่า ในภาพรวมอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านมีปัญหาการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน อยู่ในระดับน้อย ($= 2.145, S.D.=1.370$) โดยเรียงลำดับค่าเฉลี่ยจากมากไปหาน้อย ได้แก่ ปัญหาเกี่ยวกับการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน อยู่ในระดับน้อย ($= 2.25, S.D.=1.42$) รองลงมาคือ ปัญหาเกี่ยวกับการติดตามสถานการณ์การเกษตรและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อยู่ในระดับน้อย ($= 2.22, S.D.=1.41$) ปัญหาการร่วมกับคณะกรรมการหมู่บ้านและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน อยู่ในระดับน้อย ($= 2.08, S.D.=1.32$) และปัญหาการประสานงานในการถ่ายทอดความรู้ และการแก้ไขปัญหาของเกษตรกรในหมู่บ้าน อยู่ในระดับน้อย ($= 2.03, S.D.=1.33$) ตามลำดับ ข้อเสนอแนะอื่นๆ ผลการศึกษาพบว่าอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านสามในสี่(ร้อยละ 76.2) เสนอแนะควรมีคำตอบแทนอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน รองลงมาคือ ร้อยละ 23.8 ระเบียบของรัฐในการติดต่อ ติดตามให้ความช่วยเหลือให้กระชับขึ้น

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

1. การมีส่วนร่วมในการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน จากผลการวิจัย พบว่า การมีส่วนร่วมในการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน ในภาพรวมอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านมีส่วนร่วมในระดับมาก ทั้งนี้เนื่องจาก ส่วนใหญ่

อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านมีอาชีพหลัก เป็นเกษตรกรและการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้านเป็นข้อมูลที่สำคัญที่หน่วยงานส่งเสริมการเกษตรนำมาใช้พิจารณาในการให้ความช่วยเหลือเกษตรกรในด้านต่าง ๆ เช่น การช่วยเหลือเมื่อพืชผลของเกษตรกรได้รับความเสียหายจากภัยธรรมชาติ การเข้าร่วมนโยบายช่วยเหลือเกษตรกรของรัฐบาล ดังนั้น การจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรจึงได้รับความร่วมมืออย่างดีจากอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านและเกษตรกรทั่วไปเป็นอย่างดี เพราะเป็นผลดีต่ออาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านและเกษตรกรโดยตรง สอดคล้องกับงานวิจัยของชำนาญ เมืองลง (2555) ศึกษา บทบาทอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านต่อการส่งเสริมการเกษตรในอำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุดรธานี ผลการศึกษา พบว่า อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านและเกษตรกรมีความพึงพอใจต่อการปฏิบัติงานของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านโดยรวมระดับมาก โดยประเด็นที่พอใจมาก คือ ด้านการจัดเก็บข้อมูลพื้นฐานการเกษตรของหมู่บ้านและสอดคล้องกับงานวิจัยของจริยา ไชยประสิทธิ์ (2550:บทคัดย่อ) ที่ศึกษาการประเมินผลการดำเนินงานของอาสาสมัครเกษตรและสหกรณ์ระดับตำบล ซึ่งพบว่า อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านที่ได้รับการพัฒนาความรู้ในการปฏิบัติงานตามบทบาทหน้าที่ สามารถจะนำความรู้มาใช้ในการปฏิบัติงานได้ดี ในด้าน การร่วมตรวจสอบเพื่อปรับปรุงข้อมูลการขึ้นทะเบียนเกษตรกรให้ถูกต้องเป็นปัจจุบัน เช่นเดียวกับการสอดคล้องกับงานวิจัยของเจษฎา กอพิไชย (2556) ศึกษาการปฏิบัติงานตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษา พบว่า อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านสองในสาม มีความรู้ในบทบาทหน้าที่และมีส่วนร่วมในการประสานการถ่ายทอดความรู้แก่เกษตรกร การขึ้นทะเบียนเกษตรกร การประชาสัมพันธ์เชิญชวนเกษตรกรเข้ารับการถ่ายทอดความรู้ การประชาสัมพันธ์การขึ้นทะเบียนเกษตรกร และการอำนวยความสะดวกและให้คำแนะนำในการขึ้นทะเบียนผู้ปลูกพืชเศรษฐกิจ

2. การมีส่วนร่วมกับกรรมการหมู่บ้านและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน

จากผลการวิจัย พบว่า การมีส่วนร่วมกับกรรมการหมู่บ้าน และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดทำแผนพัฒนา การเกษตรระดับหมู่บ้าน ในภาพรวมอาสาสมัครเกษตร หมู่บ้านมีส่วนร่วมในระดับปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจาก การจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรหมู่บ้านจะเป็นกระบวนการที่มีผู้ร่วมดำเนินงานหลายส่วนและส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับ หลายหน่วยงานและใช้ระยะเวลาการจัดทำนาน และต้อง ใช้ความรู้ความเข้าใจในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตร ค่อนข้างมาก บางครั้งอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านไม่เข้าใจ ถึงความสำคัญของแผนพัฒนาการเกษตรหมู่บ้านและติด ภารกิจอื่น ๆ จึงไม่สามารถเข้าร่วมได้ สอดคล้องกับ งานวิจัยของ ดวงภรณ์ โตอนันต์ (2549) ศึกษาการมีส่วนร่วมของเกษตรกรในการจัดทำแผนพัฒนาโครงการเกษตร ที่มีประสิทธิภาพ : กรณีศึกษา ตำบลห้วยกะปิ อำเภอเมือง ชลบุรี จังหวัดชลบุรี ผลการวิจัยพบว่า ในการจัดทำ แผนพัฒนาโครงการเกษตร พบว่า เกษตรกรส่วนใหญ่มี ส่วนร่วมในระดับปานกลาง เพราะเกษตรกรไม่มีความ เข้าใจเรื่องการจัดทำแผนพัฒนาโครงการเกษตร เกษตรกร เข้าใจว่าการจัดทำแผนพัฒนาโครงการเกษตรเป็นหน้าที่ ของเจ้าหน้าที่ หรือรัฐบาล และเกษตรกรไม่แน่ใจว่า โครงการอะไรเหมาะสมกับสภาพพื้นที่

3. การมีส่วนร่วมในการประสานงานในการ ถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหาของเกษตรกรในหมู่บ้าน จากผลการวิจัย พบว่า การมีส่วนร่วมในการประสานงาน ในการถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหาของเกษตรกรใน หมู่บ้าน ในภาพรวมอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านมีภาพรวม ในระดับปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจาก จังหวัดพิจิตรเป็นจังหวัด ที่มีหน่วยงานด้านการเกษตรค่อนข้างมาก ดังนั้นเมื่อเกิด ปัญหาเกี่ยวกับการเกษตร เกษตรกรส่วนใหญ่จึงเลือกเข้า พบกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการแก้ปัญหาโดยตรง มากกว่า สอดคล้องกับงานวิจัยของจริยา ไชยประสิทธิ์ (2550:บทคัดย่อ) ที่ศึกษาการประเมินผลการดำเนินงานของ อาสาสมัครเกษตรและสหกรณ์ระดับตำบล ซึ่งพบว่า อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านที่ได้รับการพัฒนาความรู้ในการ ปฏิบัติงานตามบทบาทหน้าที่ และสามารถแก้ไขปัญหา เกี่ยวกับด้านการเกษตรให้เกษตรกรได้

4. การมีส่วนร่วมในการติดตามสถานการณ์ การเกษตรในหมู่บ้านและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉิน เร่งด่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง จากผลการวิจัย พบว่า การมีส่วนร่วมในการติดตามสถานการณ์การเกษตรใน หมู่บ้านและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงาน ที่เกี่ยวข้อง ในภาพรวมอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านมี ภาพรวมในระดับมาก ทั้งนี้เนื่องจาก อาสาสมัครเกษตร หมู่บ้านจะมีหน้าที่ในการติดตามสถานการณ์การเกษตรใน หมู่บ้านและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงาน ที่เกี่ยวข้องโดยตรง จึงมีระดับการมีส่วนร่วมในด้านนี้ ค่อนข้างมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของชำนาญ เมืองลอง (2555) ศึกษา บทบาทอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านต่อการ ส่งเสริมการเกษตรในอำเภอทองแสนขัน จังหวัดอุตรดิตถ์ ผลการศึกษา พบว่า อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านและ เกษตรกรมีความพึงพอใจต่อการปฏิบัติงานของ อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านโดยรวมระดับมาก โดยประเด็น ที่พอใจมาก คือ ความพึงพอใจด้านการติดตามสถานการณ์ ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ความพึงพอใจด้าน การประสานความร่วมมือของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน กับหน่วยงานต่างๆ ความพึงพอใจด้านการสนับสนุนการ ทำงานของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านร่วมกับหน่วยงานที่ เกี่ยวข้อง ความพึงพอใจด้านความร่วมมือขององค์กร ปกครองส่วนท้องถิ่นในการทำงานร่วมกับอาสาสมัคร เกษตรหมู่บ้าน ความพึงพอใจด้านผลการดำเนินงาน อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านโดยรวม และสอดคล้องกับ งานวิจัยของเจษฎา กาพย์ไชย (2556) ศึกษาการ ปฏิบัติงานตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตร หมู่บ้านในจังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษา พบว่า อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านสองในสาม มีความรู้ในบทบาท หน้าที่และมีส่วนร่วมในการประสานการถ่ายทอด ความรู้แก่เกษตรกร การขึ้นทะเบียนเกษตรกรและการ ประกาศเตือนภัยศัตรูพืช

สภาพสังคมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านเป็น เพศชาย ร้อยละ 73.5 มีอายุระหว่าง 41 – 50 ปี ร้อยละ 44.0 มีสถานภาพสมรส ร้อยละ 84.3 จบการศึกษาระดับ ประถมศึกษาตอนปลาย ร้อยละ 27.7 และดำรงตำแหน่ง เป็นผู้ช่วยผู้ใหญ่บ้านควบคู่กัน ร้อยละ 38.4 สภาพ

เศรษฐกิจ พบว่า อาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านมีสมาชิกในครัวเรือน 3 – 4 คน ร้อยละ 49.4 มีอาชีพหลักและอาชีพรอง คือ การทำการเกษตร มีรายได้ในภาคการเกษตรของครัวเรือน (ต่อปี) 100,001 – 200,000 บาท ร้อยละ 38.0 รายได้นอกภาคการเกษตรของครัวเรือน (ต่อปี) 50,001 - 100,000 บาท ร้อยละ 34.9 และมีรายได้รวมของครัวเรือน (ต่อปี) 100,001-200,000 บาท ร้อยละ 33.1 ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านอาศัยอยู่ในชุมชนนาน 41-50 ปี ร้อยละ 19.3 มีระยะเวลาการปฏิบัติงานในตำแหน่งอาสาสมัครเกษตรนาน 2-4 ปี ร้อยละ 36.1 โดยเป็นเกษตรหมู่บ้านร่วมด้วย ร้อยละ 23.3 เข้ามารับตำแหน่งได้ เพราะ ผู้นำหมู่บ้านชักชวน ร้อยละ 38.0 และต้องการช่วยเหลือเกษตรกรในด้านการเกษตร ร้อยละ 36.7 บทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน สรุปผลการวิจัยพบว่าอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านส่วนใหญ่ตอบคำถามถูกต้องมากกว่าร้อยละ 50 โดยอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านที่ตอบคำถามถูกต้องได้สูงสุดร้อยละ 96.4 และตอบคำถามถูกต้องน้อยที่สุด ร้อยละ 33.7

ซึ่งผลการวิจัยพบว่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการมีส่วนร่วมของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้านในจังหวัดพิจิตร ด้านการจัดเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานด้านการเกษตรของหมู่บ้าน ได้แก่ ปัจจัยด้านสถานภาพ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 ด้านการประสานงานในการถ่ายทอดความรู้และการแก้ไขปัญหาของเกษตรกรในหมู่บ้าน ได้แก่ ปัจจัยด้านสถานภาพ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 ด้านการร่วมกับกรรมการหมู่บ้านและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการจัดทำแผนพัฒนาการเกษตรระดับหมู่บ้าน ได้แก่ ปัจจัยด้านสถานภาพ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05 ด้านการติดตามสถานการณ์การเกษตรในหมู่บ้านและรายงานเหตุการณ์ฉุกเฉินเร่งด่วนต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ปัจจัยด้านอายุ อย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติที่ระดับ 0.05

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่กรุณาให้ความรู้ทางด้านวิชาการและเจ้าหน้าที่ของมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช ที่อำนวยความสะดวกทุกด้าน ซึ่งมีผลทำให้การการศึกษาประสบผลสำเร็จขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สำนักงานเกษตรจังหวัดพิจิตรเจ้าหน้าที่ของสำนักงานเกษตรอำเภอทุกอำเภอทุกท่าน และอาสาสมัครเกษตรหมู่บ้าน ทุกท่าน ผู้ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์และอำนวยความสะดวกในการทำวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดีขอขอบคุณกำลังใจ

จากครอบครัว ซึ่งเป็นสิ่งที่มีคุณค่าต่อการนำไปสู่ความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการเกษตร. (2556). คู่มือปฏิบัติงานเจ้าหน้าที่ส่วน ร่วม”. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์ การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด.
- งามพิศ สัตย์สงวน. (2538). หลักมานุษยวิทยาวัฒนธรรม กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ธรรมสภา.
- จำนง อภิวัฒน์สิทธิ์. (2543). สังคมวิทยา กรุงเทพมหานคร:สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จำนง อติวัฒน์สิทธิ์. และคณะ. (2545) สังคมวิทยา. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพมหานคร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- จำเนียร โคมลาวณิช (2553). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการมีส่วนร่วมของกลุ่มผู้นำชลประทานในเขตจัดรูปที่ดินด้าน การบริหารจัดการการใช้น้ำ : ศึกษากรณี โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวนอำเภอท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี (ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต สาขาสังคมศาสตร์เพื่อการพัฒนา) มหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี, กาญจนบุรี.
- ชูชาติ พ่วงสมจิตร .(2540). การวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งเสริมและปัจจัยที่เป็นอุปสรรคต่อการมีส่วนร่วมของชุมชนกับโรงเรียน ประถมศึกษาในเขตปริมณฑลกรุงเทพมหานคร (วิทยานิพนธ์

- ปริญญาครุศาสตร์ตรศษฎีบัณฑิต) สาขาบริหาร
การศึกษา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ,
กรุงเทพมหานคร.
- ไชยสิทธิ์ พรหมอนุมัติ. (2545). การมีส่วนร่วมทางการ
เมืองของประชาชนต่อการปกครองท้องถิ่น
พิเศษ : ศึกษาเฉพาะกรณี เมืองพัทยา จังหวัด
ชลบุรี (สาขานโยบายสาธารณะ)มหาวิทยาลัย
บูรพา, ชลบุรี.
- ซัด ขำเอี่ยม. (2544). บทบาทของวิทยากรเกษตรกรจุด
สาธิตการเกษตรของศูนย์บริการและถ่ายทอด
เทคโนโลยีการเกษตรประจำตำบล ในจังหวัด
ชัยนาท (วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตร
มหาบัณฑิต แขนงวิชาส่งเสริมการเกษตรและ
สหกรณ์) มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช,
นนทบุรี
- ดุสิต เวชกิจ. หน่วยที่ 5 การมีส่วนร่วมของประชาชนและ
การระดมทรัพยากรเพื่อการป่าไม้ ชุมชน ใน
เอกสารการสอนชุด วิชาการป่าไม้ชุมชน. หน้า
213-214. นนทบุรี. สาขาวิชา ส่งเสริม
การเกษตรและสหกรณ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 2535
- ทิตยา สุวรรณะชญ. (2527) . สังคมวิทยา . กรุงเทพมหานคร :ไทยวัฒนาพานิช.
- ทรงพล ตุ่มทอง. (2541). ปัจจัยที่มีผลต่อการมีส่วนร่วม
ของ ประชาชนในการปกครองท้องถิ่น : ศึกษา
เฉพาะกรณี เทศบาล ตำบลศรีราชา อำเภอศรี
ราชา จังหวัดชลบุรี (ปริญญารัฐประศาสน
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชานโยบายสาธารณะ)
บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยบูรพา, ชลบุรี.
- ทัศน์ย์ บุญเกล้า. (2554). ปัจจัยที่มีผลต่อบทบาทหน้าที่
ของหมอดินอาสาประจำตำบลในจังหวัด
นครพนม (วิทยานิพนธ์ปริญญาเกษตรศาสตร
มหาบัณฑิต) แขนงวิชาส่งเสริม การเกษตร
สาขาวิชาส่งเสริมการเกษตรและสหกรณ์
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, นนทบุรี.
- นรินทร์ จงวุฒิเวศย์. (2527) “กลวิธี แนวทาง วิธีการ
ส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชนในงาน
พัฒนาชนบท”ใน การมีส่วนร่วมของประชาชน
ในการพัฒนา .กรุงเทพมหานคร : ศักดิ์โสภกา
การพิมพ์.
- บุญเลื่อน วงศ์หาญ. (2550) .ปัจจัยที่เกี่ยวข้องของ
สมาชิกกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรต่อการดำเนินงาน
กองทุนของกลุ่มในจังหวัดตาก ปี 2550
เอกสารประกอบการประเมินบุคคลเพื่อกลุ่ม
ส่งเสริมและพัฒนาเกษตรกร สังกัดสำนักงาน
เกษตรจังหวัดตาก
- เบญจมาศ อยู่ประเสริฐ. “หน่วยที่ 9 การวิจัยการมีส่วน
ร่วมทางการเกษตรใน เอกสารการสอน ชุด
วิชาการวิจัยเพื่อการพัฒนาการส่งเสริม
การเกษตร. หน้า 280-281. นนทบุรี.
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช. 2544
- ประเสริฐ แยมกลิ่นฟุ้ง และคณะ. (2548). สังคมและ
วัฒนธรรม. พิมพ์ครั้งที่ 6 กรุงเทพมหานคร:
สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปาริชาติ วลัยเสถียร. (2543) . กระบวนการและเทคนิค
การทำงานของนักพัฒนา กรุงเทพมหานคร:
สำนักงานกองทุน สนับสนุนการวิจัยพจนานุกรม
ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. (2542). “ความหมาย
ของบทบาท” คั่นคั่นวันที่ 25 พฤศจิกายน
2556. จาก
<http://www.rirs3.royin.go.th/word1/word-1-ao.asp> .
- ภัสสุรีย์ คุณกลาง. (2546) . ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับ
การมีส่วนร่วมของคณะกรรมการชุมชน ในการ
พัฒนาเมืองน่าอยู่ อย่างยั่งยืน เทศบาลนคร
ขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น(วิทยานิพนธ์ปริญญา
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- มนัสนันท์ วงศ์มานิต. (2557). ปัจจัยส่งเสริมการมีส่วน
ร่วมของประชาชนในการบริหารงานของ
องค์การบริหารส่วนตำบลระวิง อำเภอเมือง
จังหวัดเพชรบูรณ์ (วิทยานิพนธ์หลักสูตรรัฐ
ประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัย
ราชภัฏเพชรบูรณ์ ,เพชรบูรณ์.

วินิจ เกตุข้า และ คำเพชร ฉัตรศุภสกุล .(2522) .

กระบวนการกลุ่มศึกษา . กรุงเทพมหานคร : โอเดียนสโตร์.

วสันต์ สุวรรณ .(2546). การมีส่วนร่วมทางการเมืองของประชาชนในองค์การบริหารส่วนตำบลศึกษากรณี ตำบลหนองจ่อม อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ (ปริญญารัฐศาสตรมหาบัณฑิต) สาขาการเมืองและการปกครอง มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สมศักดิ์ สุขวงศ์ .(2532) “วนศาสตร์ชุมชน” ในเอกสารวิชาการและแนวทางทางวิชาการเพื่อพัฒนาป่าไม้ของไทยปัจจุบัน การบรรยายพิเศษทางวิชาการป่าไม้ ประจำปี 2532 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ :กรุงเทพมหานคร

เอกรินทร์ โปตะเวช. (2551). ปัจจัยที่มีผลต่อการปฏิบัติงานสาธารณสุขมูลฐานตามบทบาทหน้าที่ของอาสาสมัครสาธารณสุขประจำหมู่บ้าน ในอำเภอศรีเชียงใหม่ จังหวัดหนองคาย (วิทยานิพนธ์ปริญญารัฐประศาสนศาสตรมหาบัณฑิต) สาขานโยบายสาธารณะ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม, มหาสารคาม

ผลของแคลเซียมต่อการร่วงของผลชา้ำมันดอกขาว(*Camellia oleifera* Abel.)

Effect of calcium on fruit drop of *Camellia oleifera* Abel.

นายอมรพงศ์ อรุณรุ่ง*

Amonpong Aroonrung*

คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

63 ถนนเชียงใหม่-พร้าว ต.หนองหาร อ.สันทราย จ.เชียงใหม่ 50290

Faculty of Agricultural Production, Maejo University, Maejo University,

63 Chiang Mai-Phrao Road, Nongharn, Sansai, Chiang Mai, 50290

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและแก้ปัญหาการติดผลและการร่วงของผลชา้ำมันดอกขาว ณ บ้านปางมะหัน อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย พบว่าตาดอกร่วงและดอกบานร่วงมากที่สุดในเดือนธันวาคม ผลร่วงก่อนการเก็บเกี่ยวมากที่สุดในเดือนมกราคม โดยที่ดอกบานช่วงแรกและช่วงกลางจะมีการติดผลที่ดีแต่มีการร่วงของดอกมากและดอกที่บานในช่วงท้ายพบการร่วงในระยะติดผลเริ่มแรก จากนั้นศึกษาการแก้วิธีการปัญหาการร่วงของผลชา้ำมันดอกขาวด้วยการพ่นสารละลาย แคลเซียมฟอสเฟต (CaO 31% + B 0.1 % + Zn 1.4 %) ความเข้มข้น 0.5, 1, 1.5 และ 0 (ชุดควบคุม) ml./l. พ่นด้วยความถี่ 1 - 3 ครั้ง พบว่าอัตราการเจริญเติบโตของต้นชาน้ำมันทางด้าน ความสูง ขนาดทรงพุ่ม และขนาดลำต้น ไม่แตกต่างกันทางสถิติ การร่วงของตาดอก ดอกบาน และการร่วงของผลเช่นเดิม น้ำหนักส่วนประกอบของผลนั้นพบว่าความเข้มข้น 0.5 ml./l. มีผลกับน้ำหนักของเมล็ดแห้งรวมมีความแตกต่างกันทางสถิติกับการที่พ่นสารละลายชุดควบคุม และศึกษาการติดผลของชาน้ำมันจึงได้ทดลองผสมเกสรชา้ำมันดอกขาวด้วยวิธีผสมมือ 4 กรรมวิธี ได้แก่ ผสมเองตามธรรมชาติ ผสมตัวเอง ผสมเกสรข้ามต้น(เกสรเพศผู้1) และผสมเกสรข้ามต้น(เกสรเพศผู้2) พบว่าอัตราการติดผลหลังทำการผสมด้วยมือมีอัตราการติดผล 36.84% 23.76% 40.14% และ 49.09% ตามลำดับ ซึ่งกรรมวิธีผสมเกสรข้ามต้น(เกสรเพศผู้ 1 และ2) มีความแตกต่างกันทางสถิติกับกรรมวิธีผสมตัวเอง เมื่อวิเคราะห์ร่วมกับช่วงเวลาของอุณหภูมิเฉลี่ยลดลงมีผลให้การติดผลเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ชาน้ำมัน การร่วง การติดผล แคลเซียม การผสมเกสร

Abstract

This research aimed to study and solve the problem of fruit set and fruit drop of oil tea at Ban Pangmahan, Mae Fah Luang District, Chiang Rai Province. The results showed the flower buds dropped the most in December and the fruit dropped before harvest the most in January. The early and mid blooms phase showed a good fruit set, but there was a lot of flower drop. The late blooms phase showed a drop in the initial fruit set stage. The solution was then studied to solve the problem of fruit drop oil tea by spraying calciplus (CaO 31% B 0.1% Zn 1.4%) at 0.5, 1, 1.5 and 0 (control) ml. / l. concentrations and spray at 1 - 3 times. It was found that the relative growth rate of oil tea in height, shrub size and stem size were not statistically different and the flower buds and the fruits were dropped as before. The results showed that the concentration of solution was 0.5 ml. / l. which had a statistically difference in weight of total dry seed with the spraying of the control treatment. Moreover, to study the effects of tea oil, four treatments of hand pollination of white flower tea oil were tested: open-pollination, self-pollination, cross-pollination (pollen 1) and cross-pollination (pollen 2). It was found that the fruit set rate after pollinating by hand pollination method was 36.84%, 23.76%, 40.14%, and 49.09%, respectively. The cross-pollination (pollen 1 and 2) treatments were statistically different from the self-pollination and when analyzing the duration of the average temperature, which decreased, the fruit set increased.

Keywords: Tea-oil, Fruit set, Fruit drop, Calcium, Pollination

1. บทนำ

ชาน้ำมันเป็นที่รู้จักในประเทศจีนมานานกว่า 1,000 ปีมาแล้ว ชาน้ำมันมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia oleifera* Abel. เป็นพืชในวงศ์ (Family) Theaceae สกุล (Genus) *Camellia* หมวด (section) *Oleifera* (Cao et al. 2005) ลักษณะเด่นของชาน้ำมัน คือ ไม้พุ่มขนาดเล็ก ไม่ผลัดใบ สูงเต็มที่ราว 4-5 เมตร กิ่งอ่อนมีขนสาก ใบเดี่ยว เรียงสลับ โคนใบสอบเรียว ปลายใบแหลมมน ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อย ดอกมีกลีบเลี้ยงสีเขียว 5 กลีบ กลีบดอกสีขาว 5-9 กลีบ ดอกมีกลิ่นหอมอ่อนๆ ผลเป็นผลแห้ง ชนิดที่แตกได้ รูปทรงกลม ขนาดผ่านศูนย์กลาง 2-5 เซนติเมตร เมื่อแก่จะแตกออกจากบริเวณปลายผล เป็นแฉก 3-4 ส่วน แต่ละส่วนจะมีเมล็ด 1-5 เมล็ด (องค์การสวนพฤกษศาสตร์, 2012) น้ำมันมีองค์ประกอบของไขมันที่ดีต่อร่างกาย และไม่มีกรดไขมันทรานส์ช่วยส่งเสริมให้ร่างกายสามารถดูดซึมวิตามิน A D E และ K ได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังมีกรดไขมันไม่อิ่มตัวสูงถึง 90 % กรดไขมันไม่อิ่มตัวเหล่านี้สามารถช่วยลดระดับ LDL เพิ่มระดับ HDL ในร่างกาย นอกจากนี้ น้ำมันชาน้ำมันยังอุดมไปด้วยสารต้านอนุมูลอิสระที่มีฤทธิ์สูงอย่างวิตามิน E และสารคาเทชิน ซึ่งช่วยยืดอายุการใช้งานของน้ำมันให้นานขึ้น (Donglin et al., 2008) การปลูกชาน้ำมันดอกขาวในประเทศไทยมูลนิธิชัยพัฒนาปลูกชาน้ำมันมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาป่าเสื่อมโทรมการ

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ลักษณะเชิงนิเวศของพืชชาน้ำมันมีความต้องการของชาน้ำมันในด้านสภาพแวดล้อมของที่ตั้ง ได้แก่ สภาพอากาศต้นชาน้ำมันชอบอุณหภูมิอบอุ่นไม่ชอบอุณหภูมิเย็นจัด อุณหภูมิเฉลี่ยของเดือนที่อากาศหนาวเย็นที่สุดไม่ควรต่ำกว่า 0°C ชาน้ำมันที่ปลูกใหม่ชอบร่มเงาในต้นชาน้ำมันที่ให้ผลผลิตแล้วชอบแสงแดด ปริมาณการได้รับแสงที่ดีที่สุดต่อปีอยู่ที่ 1,800-2,200 ชั่วโมง ต้นชาน้ำมันชอบน้ำแต่ไม่ชอบน้ำท่วมขัง ความชื้นเหมาะสมสำหรับชาน้ำมัน 70-80% ดินสีแดง สีเหลือง ดินที่เป็นกรดถึงเป็นกรดปานกลางที่มีค่าความเป็นกรดต่าง 4.0-6.5

ป้องกันการกัดเซาะพังทลายของหน้าดินบริเวณเชิงเขา และราษฎรสามารถใช้ประโยชน์จากป่าในลักษณะเกื้อกูลกันอย่างยิ่งย่น อีกทั้งเพื่อแก้ไขความยากจนโดยจ้างปลูกและดูแลกระทังเก็บเกี่ยวผลผลิต พร้อมทั้งแปรรูปผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเป็นการเพิ่มมูลค่าในระยะยาว เริ่มมีทดลองปลูกในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย หลังจากนั้นจึงได้ขยายผล ณ อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย (ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน, 2549) ชาน้ำมันในแต่ละปีให้ผลผลิตที่ไม่แน่นอน โดยปี 2562 ให้จำนวนผลผลิต 44,793.30 กิโลกรัมเฉลี่ยต่อไร่ 13 กิโลกรัม แต่ประเทศจีนมีผลผลิตต่อไร่ประมาณ 200-500 กิโลกรัม (Nation Oil Tea Science Center, 2009) ซึ่งผลผลิตยังไม่เพียงพอต่อรายได้เกษตรกรส่วนหนึ่งมีสาเหตุจากการหลุดร่วงก่อนข้างมากมีสาเหตุมาจากการร่วงของผลที่เกิดขึ้นหลังจากการผสมเกสรแล้วนั้นอาจเกิดจากหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น พันธุกรรม สิ่งแวดล้อม ความสมบูรณ์ของต้น การจัดการสวน และใช้ธาตุอาหารระหว่างการเจริญเติบโตทางทรงพุ่ม เป็นต้น (เปรม, 2558) จากสาเหตุดังกล่าวจึงสันนิษฐานว่าได้ผลผลิตน้อยเกิดจากการร่วงของผล และธาตุอาหารที่ไม่เพียงพอทำให้ผลร่วง จึงเป็นที่มาในการศึกษาการติดผลและการร่วงของผลชาน้ำมันดอกขาว เพื่อศึกษาช่วงเวลาของการร่วงดอกและผลของชาน้ำมันชนิดดอกขาวและแนวทางแก้ปัญหาการติดผลและผลร่วงของชาน้ำมันชนิดดอกขาวจากต้นชาน้ำมันที่ทำการปลูกไว้แล้ว

เป็นดินที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของชาน้ำมัน ขณะที่ดินที่เป็นต่างไม่เหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของชาน้ำมัน พื้นที่เขตร้อนห่างจากเส้นศูนย์สูตรของโลกไม่มีผลกระทบต่อการปลูกชาน้ำมัน ต่อพฤติกรรมกรรมการเจริญเติบโตร่วมกับการแตกยอดใหม่ เดือนกันยายนรากรมมีการเจริญสูงสุดครั้งที่ 2 เมื่อผลหยุดการเจริญเติบโตและเริ่มมีการออกดอก ยอดชาน้ำมันที่ปลูกใหม่จะมีการเจริญเติบโตได้ดี สามารถแตกยอดซ้ำได้ในช่วงฤดูใบไม้ผลิและฤดูร้อน หรือเมื่อแหล่งปลูกชาน้ำมันมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ได้รับน้ำเต็มที่และได้รับธาตุอาหารเพียงพอ การออกดอกและติดผล ต้นกล้าชาน้ำมันที่ได้จากการเพาะเมล็ดเริ่มออกดอกติดผลหลังจากปลูก 3-4 ปี ในขณะที่ต้น

ชาน้ำมันที่ได้จากการเสียบยอดเริ่มให้ผลผลิตก่อน (2-3 ปี หลังปลูกลงแปลง) การให้ผลผลิตมากเริ่มต้นใน 4-6 ปี หลังจากปลูกลงแปลง ช่วงระยะที่มีการติดผลเต็มที่เริ่มต้น ในช่วง 6-8 ปีต่อมา (ศรารุช, 2555) การติดผล เกิดขึ้น หลังจากที่มีการถ่ายละอองเรณูจากการผสมเกสรโดย อาศัยแมลงพาหะสำคัญ และการร่วงของกลีบดอกและ เกสรเพศผู้ รังไข่เปลี่ยนไปเป็นผล ส่วนถุงหุ้มไข่เปลี่ยนเป็น เมล็ด นิตย (2541) พบว่าดอกของชาจีนลูกผสมหลังจากที่ กลีบดอกร่วง 2-3 วัน รังไข่ที่ได้รับการผสมจะขยายตัว ออกเป็นผล ส่วนรังไข่ที่ไม่ได้รับการผสมจะร่วงหล่นจาก ต้น สันต์ (2535) กล่าวว่าชาเป็นพืชที่ผสมตัวเองแล้วไม่ ติด (self-sterile) โดยธรรมชาติของชาส่วนใหญ่เกิดจาก การผสมข้าม (cross pollination) การติดผลของชา น้ำมันดอกชาในประเทศไทยแบ่งได้เป็นสองช่วง ช่วงแรก ออกดอกช่วงเดือนพฤศจิกายน-ธันวาคม เริ่มแก่เดือน สิงหาคมจนถึงปลายเดือนตุลาคม และช่วงที่สองออกดอก เดือนพฤษภาคม-มิถุนายน จะแก่เดือนมีนาคม-เมษายน ช่วงดังกล่าวถือว่าเป็นผลผลิตนอกฤดู พินัย (2560) ทำการศึกษาปริมาณธาตุอาหารต่าง ๆ ในใบ เมล็ดชา น้ำมัน และเปลือกผล ของต้นชาน้ำมันพันธุ์ที่ให้ผลผลิต มาก เพื่อทราบถึงความต้องการธาตุอาหารต่าง ๆ ของต้น ชาน้ำมันที่ได้ผลผลิตและมีเปอร์เซ็นต์ชาน้ำมันสูง โดย พบว่าปริมาณธาตุอาหารในใบชาน้ำมันดอกสีขาว ประกอบด้วย N 1.27 %, P 0.07 %, K 0.80 %, Ca 0.69 %, Mg 0.26 % และ S 0.42 % ส่วนธาตุรอนั้นพบ Fe 102.8, Mn 235.08, Cu 2.20, Zn 72.01 และ B 3.59 mg/kg ในส่วนของผลชาน้ำมัน (เมล็ด+เปลือกผล)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาและแก้ปัญหาการติดผลและการ ร่วงของผลชาน้ำมันดอกขาวที่ใช้ศึกษา คือ ชาน้ำมันชนิด ดอกสีขาว (*Camellia oleifera* Abel.) ใช้พื้นที่แปลงปลูก ในพื้นที่ของศูนย์พัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมันภายใต้ มูลนิธิชัยพัฒนา บ้านปางมะหัน อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย

พบว่า ปริมาณธาตุอาหาร N 1.14 %, P 0.13 %, K 1.53 %, Ca 0.44 %, Mg 0.23 % และ S 0.46 % และมี ปริมาณธาตุรอง Fe 46.89, Mn 51.11, Cu 2.23, Zn 119.36 และ B 5.6 mg/kg สำหรับปริมาณธาตุอาหารใน ดินบริเวณโคนต้นชาน้ำมันพันธุ์ที่ให้ผลผลิตสูงมีค่า อินทรีย์วัตถุ 4.56 ค่า P 430.11 K 225.71, Ca 3285.99, Mg 490.68, S 4.53, Fe 17.62, Cu 8.02, Zn 0.89 และ B 0.68 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แสดงให้เห็นถึงดินบริเวณโคน ที่ให้ผลผลิตมาก มีปริมาณธาตุอาหารสูงถึงสูงมาก มีเพียง สังกะสีและกำมะถันเท่านั้นที่มีปริมาณค่อนข้างต่ำ และ พบว่าปริมาณธาตุ แคลเซียม แมกนีเซียม และ กำมะถัน มีความสำคัญต่อต้นชาน้ำมัน จากผลการศึกษานี้จึงเป็น แนวทางในการใช้ปุ๋ยแคลเซียมเพื่อบำรุงต้น

แคลเซียม (Ca) เป็นแร่ธาตุที่พบในเปลือกโลก ประมาณ 5.4 % เมื่ออยู่ในเซลล์พืช แคลเซียมจะ เคลื่อนย้ายทางท่ออาหารได้ยาก พืชใบเลี้ยงคู่ต้องการ แคลเซียมสำหรับการเจริญเติบโตมากกว่าพืชใบเลี้ยงเดี่ยว ตามขนาดลำต้น (จิราภรณ์, 2557) และลักษณะเนื้อเยื่อที่ แน่นกว่า นอกจากนั้นแล้วความสำคัญต่อพืช คือ ช่วยใน การแบ่งเซลล์ ช่วยให้เซลล์พืชทำงานเป็นปกติ เป็น องค์ประกอบโครงสร้างของผนังเซลล์ใน middle lamella ซึ่งจะอยู่ในรูปแคลเซียมเพคเตท ช่วยให้ท่อน้ำและท่อ อาหารของพืชแข็งแรง ช่วยในการสร้างฮอร์โมนของพืช ควบคุมการผ่านเนื้อเยื่อของไอออนได้มีการศึกษาเลี้ยง ละอองเกสรของพืชในสารละลายธาตุแคลเซียมร่วมกับ สารเคมีต่างๆ

(900 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง) ซึ่งมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

3.1 การศึกษาช่วงเวลาการร่วงของชาน้ำมัน คัดเลือกต้นชาน้ำมันความสมบูรณ์ มีขนาด และอายุ ใกล้เคียงกัน จำนวนทั้งหมด 10 ต้น ทำการศึกษาการร่วง ของ ดาดอก ดอกบาน และผลอ่อน โดยวางแผนการ ทดลองแบบ แผนการทดลองแบบบล็อกสุ่มสมบูรณ์ (Randomized Complete Block Design : RCBD) ใช้กิ่ง ต้นชาน้ำมัน 10 กิ่งที่ติดดอกเป็น 1 ซ้ำ ทำการเตรียม

ต้นขาน้ำมัน ใช้ระยะเวลา 1 ฤดูการเก็บเกี่ยว นับจำนวนของตาดอกจำนวนดอกตูม ดอกบานและผลลดลง ศึกษาพฤติกรรมการร่วงลงของขาน้ำมันดอกขาวรวม 12 เดือน แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนตาดอกทั้งหมดถึงต้นขาน้ำมัน

3.2 การศึกษาการแก้ไขปัญหการร่วงของผลขาน้ำมันดอกขาว หลังจากศึกษาการทดลองที่ 1 แล้ว จึงทราบช่วงเวลาการศึกษาการแก้ไขปัญหการร่วงและการติดผลนี้โดยคัดเลือกต้นขาน้ำมันความสมบูรณ์ มีขนาดและอายุ ขนาดตาดอกใกล้เคียงกัน จำนวนทั้งหมด 72 ต้น ใช้ 12 กรรมวิธีในพันสารละลายธาตุอาหารพืช ชื่อทางการค้า แคลซิพลัส (Calciplus, CaO 31% + B 0.1% + Zn 1.4%) 4 ความเข้มข้น 0 (ชุดควบคุม), 0.5, 1, and 1.5 mL/L. พันจนต้นเปียกชุ่ม และใช้ความถี่ 1- 3 ครั้ง โดยใช้ 3 ช่วงเวลา ได้แก่ 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงดอกตูม ช่วงดอกบาน และช่วงระยะหลังดอกบาน วางแผนการทดลองแบบ 3x4 Factorial Experiment : FAC ใช้ระยะเวลา 1 ฤดูการเก็บเกี่ยว โดยเก็บข้อมูลการร่วงของต้นขาน้ำมัน 1 ต้นที่ติดดอกแต่ละกรรมวิธีมีจำนวน 3 ชั่ว โดย 1 ชั่วใช้กิ่งจำนวน 5 กิ่ง นับจำนวนของตาดอกจำนวนดอกตูม ดอกบานและผลลดลง แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์ของกิ่งต้นขาน้ำมัน ส่วนการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการเจริญเติบโต การศึกษาการเจริญเติบโตของต้นขาน้ำมันโดยใช้การคำนวณอัตราการเจริญเติบโตแบบ (Relative Growth Rate) เปรียบเทียบกับขนาดของต้นเดิมเป็นการศึกษาการเจริญเติบโตของขาน้ำมันดอกขาว ในแง่ของการเพิ่มขึ้นของความสูง เส้นผ่าศูนย์กลางทรงพุ่ม และเส้นผ่าศูนย์กลางโคนต้น (สมพล, 2560) การศึกษาน้ำหนักของส่วนประกอบผลแห้งเฉลี่ย/ผล น้ำหนักผลผลิต

จากการศึกษาอัตราความสูงที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยเวลาพบว่า ต้นขาน้ำมันดอกขาวในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2562 - 2563 การพันสารละลายแคลซิพลัสที่ 4 ระดับความเข้มข้น ความถี่ 1- 3 ครั้ง และอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นและความถี่ความแตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตสัมพัทธ์ (Relative Growth Rate) ทางด้าน ความสูง และ ขนาดทรงพุ่มของต้น และขนาด

ทั้งหมดโดยเก็บข้อมูลจาก 1 ต้นที่ติดดอกเป็น 1 ชั่ว แต่ละกรรมวิธีมีจำนวน 6 ชั่ว โดยแสดงผลเป็นค่าเฉลี่ยในแต่ละกรรมวิธี

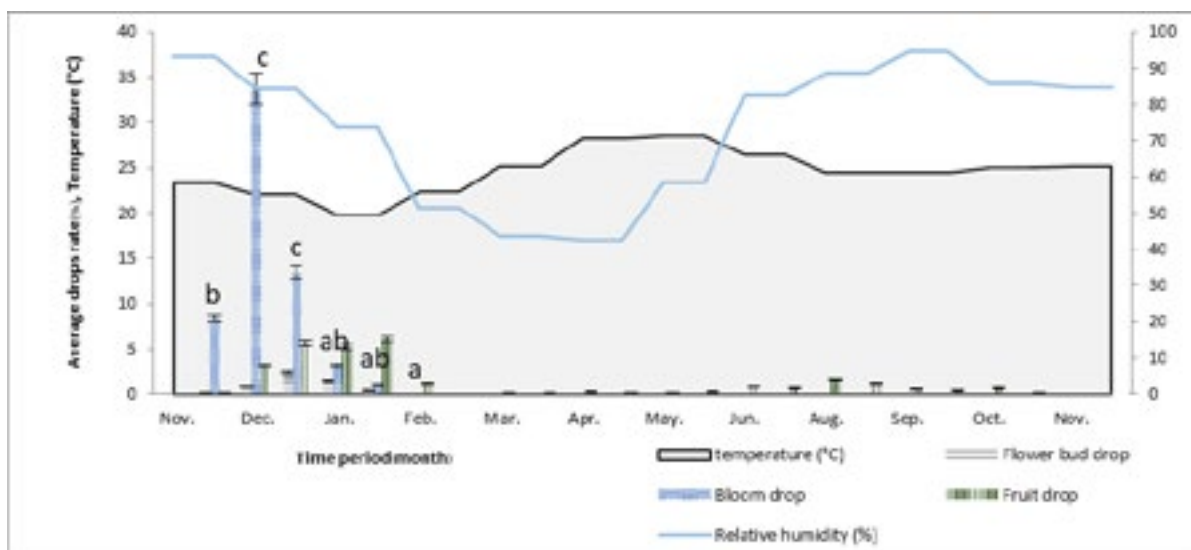
3.3 ศึกษาการชนิดของการผสมเกสร โดยคัดเลือกต้นขาน้ำมันความสมบูรณ์ ขนาดตาดอกใกล้เคียงกันจำนวน 4 ต้น พร้อมทั้งหาต้นพ่อพันธุ์ที่มีดอกที่ติดผลมากและมีขนาดตาดอกใกล้เคียงกันจำนวน 2 ต้น ทำการศึกษาการร่วงของ ดอกตูม จนกระทั่งติดผลอ่อน วางทดลองแบบสุ่มในบล็อกสมบูรณ์ (RCBD) โดยใช้ต้นขาน้ำมัน 1 ต้นที่ติดดอกเป็น 1 ชั่ว ทำการผสม 4 กรรมวิธี ได้แก่ผสมเปิด (Open Pollination, OP) ปล่อยให้ผสมตามธรรมชาติ, ผสมตัวเอง(Self-pollination, SP) ใช้เกสรตัวของดอกอื่นในต้นเดียวกัน, ผสมข้าม 1 (Cross-pollination pollen 1,CP1) ใช้ต้นพ่อพันธุ์ต้นที่ 1 ผสมข้าม 2 (Cross-pollination pollen 2,CP2) ใช้ต้นพ่อจากขาน้ำมันต้นที่ 2 ทำเครื่องหมายตาดอก (จำนวน 1,100 ตาดอก) ตัดเกสรเพศผู้เมื่อดอกตูมในกรรมวิธี SP, CP1 และ CP2 คลุมด้วยถุงพลาสติกเพื่อป้องกันการผสมเกสรจากแหล่งอื่นคลุมด้วยถุงพลาสติก(Polypropylene) เพื่อป้องกันการผสมเกสรจากแหล่งอื่น เมื่อปลายเกสรเพศเมียพบน้ำหวานทำการคัดเลือกเกสรเพศผู้แล้วเกลี่ยลงภาชนะสะอาด แล้วจึงผสมเกสรด้วยมือในช่วงเวลา 8.30-11.00 น.

3.4การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ วิเคราะห์ข้อมูลทุกการศึกษาใช้วิธี Analysis of Variance (ANOVA) เมื่อพบความแตกต่างทางสถิติจึงเปรียบเทียบความแตกต่างแต่ละกรรมวิธี โดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95%

เส้นผ่าศูนย์กลางโคนต้นนั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ การศึกษาการติดผลและการร่วงหลังใช้แคลซิพลัสในการพันโดยความเข้มข้น ความถี่ และอิทธิพลร่วมระหว่างความเข้มข้นและความถี่ความแตกต่างกัน ไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์การร่วงของ ดอกตูม, ดอกบาน, การติดผล, ผลร่วงและ ผลที่สามารถเก็บเกี่ยวได้เก็บได้นั้นไม่แตกต่างกันทางสถิติ การศึกษาน้ำหนักของส่วนประกอบผลแห้ง

พบว่าความถี่ในการพ่นนั้นไม่สามารถทำให้คุณภาพของผลผลิตแตกต่างกันทางสถิติ แต่ความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อน้ำหนักส่วนประกอบของผลแห้งเฉลี่ย/ผล ได้แก่ น้ำหนักผลแห้ง 15.15 น้ำหนักเปลือกแห้ง 6.68 น้ำหนักกะลาแห้ง 2.47 น้ำหนักเนื้อในเมล็ดแห้ง 5.95 สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ใช้ความเข้มข้น 0.5 mL/L. ให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความน่าเชื่อถือร้อยละ 95 กับกลุ่มที่ 2 ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 1 1.5 และ 0 mL/L. การศึกษาน้ำหนัก

ผลผลิตต่อต้น พบว่าความเข้มข้นแตกต่างและความถี่ในการพ่นนั้นไม่สามารถทำให้น้ำหนักผลผลิต (พบแนวโน้มการพ่นความเข้มข้น 0.5 mL/L. ให้น้ำหนักผลผลิตมากที่สุด) ได้แก่ น้ำหนักผลผลิตทั้งหมด 3,346.94 g. จำนวนผล 125.89 ผล น้ำหนักผลผลิตดี 3,295.44 g. แตกต่างกันทางสถิติ แต่ความเข้มข้นของสารละลายที่มีผลต่อน้ำหนักเมล็ดแห้ง สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ใช้ความเข้มข้น 0.5 mL/L. ให้ผลแตกต่างกันกับกลุ่มที่ 2 ใช้ความเข้มข้นของสารละลาย 1 1.5 และ 0 mL/L.



รูปที่ 1 ค่าเฉลี่ยการร่วงของต้นขาน้ำมัน

หมายเหตุ: a และ b ในแผนภูมิ หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ตาราง 1 แสดงความถี่และความเข้มข้นของการพ่นสารละลายมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ การร่วงของดอกตูม การร่วงของดอกบาน การร่วงของผล การติดผล และผลที่สามารถเก็บได้

ความถี่ (ครั้ง)	1				2				3			
	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5	0
ความเข้มข้น (มล./ล.)	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5	0	0.5	1	1.5	0
การร่วงของดอกตูม(%) ^{ns}	0.67	0.67	1.33	0.67	0.67	0.67	0.00	0.67	0.00	0.67	7.33	2.67
การร่วงของดอกบาน(%) ^{ns}	83.33	76.00	80.00	90.00	78.67	77.33	86.67	92.67	91.33	81.33	86.00	86.67
การร่วงของผล(%) ^{ns}	14.67	23.33	12.67	9.33	18.67	14.67	13.33	3.33	5.33	12.67	4.67	8.67
การติดผล(%) ^{ns}	18.67	24.67	18.67	9.33	20.67	19.33	13.33	7.33	8.67	18.00	6.67	10.67
ผลที่สามารถเก็บได้(%) ^{ns}	4.00	1.33	6.00	0.00	2.00	4.67	0.00	4.00	3.33	5.33	2.00	2.00

หมายเหตุ ns ในแนวนอน หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

ตาราง 2 แสดงความถี่และความเข้มข้นของการปนสารละลายมีผลต่อผลผลิตเมล็ดขาน้ำมันแห้งต่อต้น

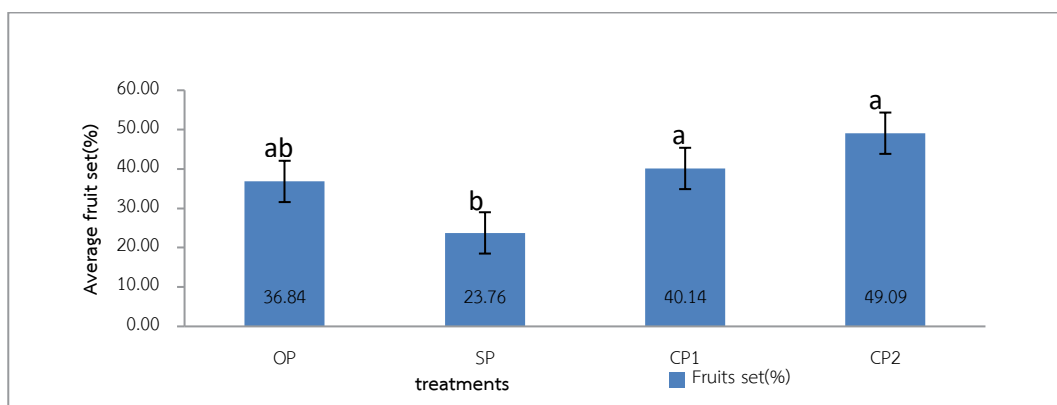
	ความเข้มข้น mL/L	ความถี่ (ครั้ง)			ค่าเฉลี่ย
		1	2	3	
	0.5	735.33	677.50	812.67	741.83 ^a
	1.0	268.33	769.67	417.33	485.11 ^{ab}
	1.5	505.33	477.17	235.17	405.89 ^{ab}
	0.0	253.00	199.33	376.50	276.28 ^b
	ค่าเฉลี่ย	440.50 ^{ns}	460.42 ^{ns}	530.92 ^{ns}	

หมายเหตุ: a และ b ในแนวตั้ง หมายถึง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

ns ในแนวตั้ง หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > 0.05$)

การศึกษากการติดผลจากผสมเกสรดอกขาน้ำมันดอกขาวด้วยมือ พบว่า กรรมวิธีผสมเปิด(ปล่อยให้ผสมตามธรรมชาติ), ผสมตัวเอง(ใช้เกสรตัวของดอกอื่นในต้นเดียวกัน), ผสมข้าม1(ต้นพ่อพันธุ์ต้นที่ 1) และผสมข้าม2 (ต้นพ่อพันธุ์ต้นที่ 2)ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การติดผลที่ 36.84 23.76 40.14 และ 49.09 ตามลำดับ การติดผลได้นั้นแตกต่างกันทางสถิติ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ กรรมวิธีที่ติดผลดี ได้แก่ การผสมข้าม 1, การผสมข้าม 2 และผสมเปิด กรรมวิธีที่ติดผลน้อยได้แก่ ผสมตัวเอง และผสมเปิด การศึกษากการติดผลในแต่ละช่วงอุณหภูมิพบว่ากลุ่มของช่วงเวลาการผสมเกสรติดผลกับอุณหภูมิความสัมพันธ์การติดผลแบ่งได้ 2 กลุ่มในช่วงสัปดาห์ที่ 5 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 17.8°C ติดผลมากที่สุด 45.83 % และช่วงสัปดาห์ที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ยที่ 18.69°C ติดผล 33.10 % และให้ผล

แตกต่างกัน ช่วงอุณหภูมิสูงขึ้นพบการติดผลของขาน้ำมัน ผลกลับลดลง ได้สัปดาห์ที่ 1 อุณหภูมิเฉลี่ย ที่ 21.66°C, สัปดาห์ที่ 2 อุณหภูมิเฉลี่ย ที่ 18.96°C และสัปดาห์ที่ 4 อุณหภูมิเฉลี่ย ที่ 21.23°C ติดผลที่ 25, 22.70 และ 26.13 ตามลำดับ แลพะยังพบความแตกต่างละต้นนั้นพบว่าต้นที่ให้อัตราการติดผลให้ผลแตกต่างกัน ซึ่งแบ่งได้ 3 ชุด โดยชุดที่มีอัตราการติดมากที่สุดได้แก่ต้นลำดับที่ 1 ติดผลมากถึง 70.00 % มีจำนวนดอกทั้งหมด 80 ดอก ส่วนชุดที่มีอัตราการติดผลรองลงมาคือลำดับต้นที่ 3 ติดผลมากถึง 38.19 % มีจำนวนดอกทั้งหมด 168 ดอก ลำดับต้นที่ 2 ติดผลมากถึง 27.98 % มีจำนวนดอกทั้งหมด 288 ดอก และชุดที่มีอัตราการติดน้อยที่สุดได้แก่ต้นลำดับที่ 4 ติดผลมากถึง 13.65 % มีจำนวนดอกทั้งหมด 564 ดอก



ภาพที่ 2 ค่าเฉลี่ยการติดผล(%)ของการผสมเกสรขาน้ำมันดอกขาว

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองพบการร่วงของดอกและการร่วงของผล เมื่อพิจารณาการร่วงของดอกบานและการร่วงของผลเปอร์เซ็นต์ที่มาก เมื่อเทียบกับการร่วงของตาดอกและจำนวนผลที่เก็บเกี่ยวได้ ซึ่งสอดคล้องกับการออกดอกและติดผลของพืชชา น้ำมันในสาธารณรัฐประชาชนจีน ระยะเวลาติดผลช่วงต้นและระยะกลางของการบานดอกมีการติดผลที่ดี แต่ยังไม่พบดอกอีกจำนวนมากที่ร่วงช่วงระยะตอนปลายของดอกบาน แสดงให้เห็นว่าความไม่สมบูรณ์ของการปฏิสนธิและรังไข่ที่ไม่ดี (Ru et al., 2009) ซึ่งการร่วงหลังการปฏิสนธิและพัฒนามาระยะหนึ่งโดยมากมักเกิดจากการขาดสารอาหารไม่เพียงพอและสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม (สุรพล, 2550) ส่วนช่วงที่ผลร่วงหลังจากได้พัฒนาไประยะเวลาหนึ่ง แล้วเกิดการร่วงของผล เช่นพบในผลสาลี หรือผลแอปเปิล อาจเกิดจากความไม่สมบูรณ์ของการปฏิสนธิในผลนั้น หรือการแย่งอาหารกันภายในต้น หากการร่วงในช่วงท้ายของการเจริญเติบโตของผลที่การพัฒนาอย่างเต็มที่พร้อมที่จะเก็บเกี่ยว หรืออาจสุกบนต้นแล้วจึงร่วง (นพดล, 2555) สำหรับการพ่นปุ๋ย แคลซิฟลัส (CaO 31% + B 0.1% + Zn 1.4%) นั้น ความถี่ ความเข้มข้น อธิพลรวมของความถี่และความเข้มข้นใน พบว่าไม่สอดคล้องกับ วรินทร์ (2536) และ สุภาทิพย์ (2545) ที่พ่นสารละลายแคลเซียมโบรอนกับมะม่วงช่วยเพิ่มการติดผลและลดการร่วงของผล แต่ในกรณีชา น้ำมันยังพบการร่วงของตาดอก ดอกบาน และการร่วงของผลเช่นเดิม มีสาเหตุจากการพ่นไม่เหมาะสมกับช่วงเวลา ปริมาณความเข้มข้นไม่เหมาะสม รวมไปถึงการติดผลที่ไม่สมบูรณ์ อาจส่งผลให้เซลล์แข็งแรงขึ้นแต่ไม่สามารถยับยั้งการร่วงของผลได้

ที่ระดับความเข้มข้นสูงมาก มีผลต่อการลดประสิทธิภาพการทำงานของเซลล์และทำให้การงอกของละอองเกสรต่ำหรืออาจเป็นไปได้ว่าแคลเซียม ที่ความเข้มข้นสูงมีผลต่อประสิทธิภาพของการใช้ โบรอนซึ่งน่าจะมีการศึกษาถึงความสัมพันธ์ต่อไป ชนิดของการผสมเกสรพบว่าการผสมเกสรข้ามนั้นการผสมตัวเองแตกต่างกันอย่างมีสถิติกับการผสมธรรมชาติและการผสมข้ามในต้นชา น้ำมัน ได้รายงานสอดคล้อง Liao และคณะ (2014) ได้ศึกษา

Ram (1983) ได้ศึกษาช่วงที่สารควบคุมเจริญเติบโตในมะม่วงช่วงระยะเวลา 3 สัปดาห์แรกมีการติดผลที่ต่ำอัตราการร่วงของผลสูง ออกซิน จิบเบอริลลิน ไฮโดรโคติน มีอยู่บนต้นน้อย แต่ปริมาณกรดแอบไซสิลิกอยู่มาก มีผลทำให้การสะสมอาหารที่ใช้เลี้ยงผลไม่เพียงพอเลย ซึ่งการร่วงของผลนั้นเป็นการป้องกันตัวเองเพื่อไม่ให้มีการใช้อาหารในการเลี้ยงผลมากเกินไป ซึ่งเป็นอันตรายต้นมะม่วงในกรณีที่ดินไม่แข็งแรงสมบูรณ์ (ศกรี, 2536) นอกจากนั้นแล้วการที่พืชได้รับแคลเซียมโดยส่วนน้ำหนักรวมประกอบของผลแห้งและน้ำหนักเมล็ดแห้ง อานนท์และคณะ (2529) รายงานว่าแคลเซียมมีส่วนช่วยการพัฒนาของไซโกต จึงมีผลให้ฝักและเมล็ดของถั่วลิสงเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ เพิ่มพูนและประเทือง (2532) การพ่นโบรอนทางใบให้กับถั่วเขียวเพียงครั้งเดียวในช่วงการติดฝัก ทำให้ถั่วลิสงเพิ่มผลผลิตเมื่อเทียบกับถั่วลิสงที่ไม่ได้ให้โบรอน และหากพ่นซ้ำอีกครั้งให้จำนวนฝักเพิ่มจำนวนการติดฝัก และจำนวนการติดเมล็ดเพิ่มขึ้น ซึ่งการสะสมน้ำหนักเมล็ดและเกี่ยวข้องกับการกระจายของสารสังเคราะห์ที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยแสงเข้าสู่เมล็ด ส่วนผลของโบรอนนั้น มีผลกับการสะสมน้ำหนักเมล็ดเพิ่มขึ้นเนื่องมาจากมีทำให้การลำเลียงน้ำตาลในโพลีเอมดีขึ้น (Kabata-Pendias and Pendias, 1992) และการพ่นอัตราความเข้มข้นของสารละลายแคลซิฟลัสที่ 1 และ 1.5 ml./l. ต้นชา น้ำมัน มีผลให้น้ำหนักส่วนประกอบของผลแห้งและน้ำหนักเมล็ดแห้งเพิ่มขึ้นสอดคล้องกับงานทดลองของ Hepler and Wayne (1985) ที่พบว่าพ่นสารละลายแคลเซียมและโบรอนความเข้มข้นที่น้อยมีผลต่อการติดผลของมะม่วง โดยช่วยเพิ่มจำนวนผลต่อช่อมากกว่าการให้ความเข้มข้นสูง และที่ไม่ได้พ่นสารละลาย เนื่องจากปริมาณแคลเซียม กระบวนการผสมตัวเองของชา น้ำมันดอกขาว ชา น้ำมัน เป็นพืชผสมตัวเองไม่ติดผลเนื่องจากมีกลไกการป้องกันการผสมตัวเองจากดอกเดียวกันหลังจากการถ่ายละอองเรณู โดยหลุดละอองเรณูจะหยุดการเจริญเติบโตบริเวณรังไข่ไม่พบตัวอ่อน ผลเหล่านี้แสดงเห็นว่าการเป็นหมันในพืชชา น้ำมันที่เกิดจากความไม่เข้ากันในตัวเอง หรือ self-incompatibility Ortega และคณะ(1999) กล่าวว่า อุณหภูมิสูงทำให้ปลายเกสรเพศเมียแห้ง ลดประสิทธิภาพ

ในการรับละอองเรณู อุณหภูมิประกอบกับความชื้นที่เหมาะสม ไม่มีฝนตกชุก จะเอื้อให้อำนวยในการผสมและการติดผล ซึ่งจากศึกษาที่บ้านปางมะหัน สอดคล้องปัจจัยทางด้านอุณหภูมินั้นพบการผสมเกสรติดผลมากมากที่สุดที่อุณหภูมิต่ำและติดผลน้อยที่อุณหภูมิสูง แต่การความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ช่วงที่ทำการศึกษานี้ไม่พบความสัมพันธ์ของชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอาจเกิดจากช่วงความแตกต่างของความชื้นสัมพัทธ์ยังไม่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้นอกจากการดูแลธาตุอาหารแล้วสภาพอากาศเป็นอีกปัจจัยหนึ่งซึ่งส่งเสริมการเจริญของต้น ทั้งส่งเสริมการแตกยอดการเกิดตาดอก ส่งผลให้มีดอกและการติดผลมาก อีกทั้งอากาศมีผลต่อความสมบูรณ์ของดอก ดังนั้น แนวทางการพัฒนาต่อไปควรหาวิธีการเพิ่มการผสมเกสรที่สมบูรณ์ ทำการศึกษาถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมเพื่อการผสมเกสรหรือใช้แมลงที่ผสมเกสรให้มากขึ้นเพื่อเพิ่มการผสมเกสรมากขึ้น และผลที่การศึกษาปัญหาการติดผล จากข้อมูลการทดลองของการพ่นสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ ให้กับขาน้ำมันดอกขาวความเข้มข้นที่เหมาะสมคือ 0.5 ml./l. 1 ครั้งเป็นกรรมวิธีที่ดีที่สุดสำหรับการเพิ่มน้ำหนักรวมประกอบของผลแห้งและเพิ่มน้ำหนักเมล็ดแห้ง แม้จะพบว่าความแตกต่างของผลผลิตดังกล่าวแล้วจำเป็นต้องศึกษาความหลากหลายเข้มข้น และความถี่ในการพ่นสารละลายให้อยู่ในช่วงเวลาตาดอกตูมเร็วกว่า 15 วันหลังดอกตูมมีขนาด 0.5 เซนติเมตร

6. เอกสารอ้างอิง

จิราภรณ์ อิศสาร. (2557). ความอุดมสมบูรณ์ของดิน.

เชียงใหม่: คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

นิตย ศกุนรักษ์. (2541). สรีรวิทยาของพืชประยุกต์.

เชียงใหม่: นพบุรีการพิมพ์เชียงใหม่.

นพดล จรัสสัมฤทธิ์. (2555). เอกสารประกอบคำสอนวิชา

พส 432 สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช.

เชียงใหม่: คณะผลิตกรรมการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

เปรม ฌ สงขลา. (2558). มะพร้าววานาหอมกลิ่นใบเตย

เทคนิคที่ผู้ปลูกพึงระวัง. ว. เคหการเกษตร 39 (12): (น. 90-96).

เมืองทอง กนกปณยพงศ์, ภิญญา มาศ เจ็ดรัมย์ และวรรณภา เสนาดี. (2558). การจัดการผลผลิตมะพร้าววานาหอมอย่างมืออาชีพ. กรุงเทพฯ: ฐานการพิมพ์.

พินัย ห่องทองแดง. (2560). รายงานผลการดำเนินการประจำปี 2560 โครงการศึกษาและพัฒนาการปลูกขาน้ำมันและพืชน้ำมัน. เชียงราย: โครงการศึกษาและพัฒนาการปลูกขาน้ำมันและพืชน้ำมัน ศูนย์วิจัยและพัฒนาขาน้ำมันและพืชน้ำมัน

เพิ่มพูน กิรติกสิกร และประเทือง ปัญญา. (2532).

อิทธิพลของโบรอนและแคลเซียมต่อผลผลิตของถั่วลิสงสองพันธุ์. ผลการวิจัยสาขาพืช. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 27. กรุงเทพฯ.

วรินทร์ สุหนต์. (2536). อิทธิพลของแคลเซียมร่วมกับโบรอนต่อการงอกของหลอดละอองเกสรและการติดผลของมะม่วง. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศักรี น้ำใจทหาร. (2536). อิทธิพลของการผสมเกสรมะม่วงพันธุ์เขียวเสวย โดยใช้เกสรเพศผู้พันธุ์ต่างๆ ต่อการติดผล. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาขาน้ำมันและพืชน้ำมัน. 2006. เส้นทางของน้ำมันเมล็ดชา. สืบค้น 31 ตุลาคม 2560 จาก. <http://www.teaoilcenter.org/general-information>

ศราวุธ พานทอง. (2012). การศึกษาชีววิทยาของดอกการพัฒนาของผลและองค์ประกอบทางเคมีของน้ำมัน. (น.82-84).

สุภาทิพย์ อุ่มคา. (2545). อิทธิพลของแคลเซียม โบรอน และซอร์บิทอลต่อการงอกของละอองเกสร การปฏิสนธิ และการติดผลของมะม่วงพันธุ์น้ำ

- ดอกไม้ทะวายในการผลิตนอกฤดูและก่อนฤดู.
(วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต),
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สมพล นิลเวศน์. (2560). รายงานผลการดำเนินการ
ประจำปี 2560 โครงการศึกษาและพัฒนาการ
ปลูกชาน้ำมันและพืชน้ำมัน. เชียงราย: โครงการ
ศึกษาและพัฒนาการปลูกชาน้ำมันและพืชน้ำมัน
ศูนย์วิจัยและพัฒนาชาน้ำมันและพืชน้ำมัน
- สันต์ ละอองศรี (2535). ชา. กรุงเทพฯ :โครงการหลวงวิจัย
ชา สถาบันเทคโนโลยีการเกษตรแม่โจ้. (น.
166).
- สุรพล มนต์เสรี. (2550). หลักการไม้ผล. สงขลา: คณะ
เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
(น. 343).
- องค์การสวนพฤกษศาสตร์. (2012). ชา น้ำมัน. สืบค้น 1
กุมภาพันธ์ 2561 จาก.
http://www.qsbg.org/Database/BOTANIC_Book%20full%20option/search_detail.asp?botanic_id=2408
- อานนท์ วาทยานนท์, สงบภัย นามไพศาลสถิต, ศรีประไพ
ผาบจินดา, บุญเพ็ง แลโสภ และ มณฑิรา
โสภณศิริ. (2529). การศึกษาการเกิดเมล็ดลีบใน
ถั่วลิสงที่มีสาเหตุมาจากลักษณะทาง
- พฤกษศาสตร์บางประการ. รายงานการสัมมนาถั่วลิสง
ครั้งที่ 5. 19-21 มีนาคม 2529. เชียงใหม่:
(หน้า 399-411).
- Cao jiyin, Clifford R. Parks and Du Yueqiang.
(2005). Collected species of the genus
Camellia and illustrated outline. (P. 302).
- Donglin, Z., Stack, L., Riqing, Z., Jiangfan, Y., Bixia,
X., Yongzhong, C. & Ruter, J. M. (2008).
Tea oil Camellia - Eastern "Olive" for the
World. Acta Horticulturae, 769. (P.43-
48).
- Hepler P. K. & Wayne R. O. (1985). Calcium and
plant development. Plant Physiol. 36.
(P. 397-439).
- Kabata-Pendias, A. and H. Pendias. (1992).
Trace elements in soils and plants.
International standard book number.
U. S. A.
- Liao T, Yuan D-Y, Zou F, Gao C, Yang Y, et al.
(2014) Self-Sterility in *Camellia oleifera*
May Be Due to the Prezygotic Late-
Acting Self-Incompatibility. PLoS ONE
9(6): e99639.doi:10.1371/journal.pone.
0099639
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. (1987). Principles of
Plant Nutrition. International Potash
Institute, Bern. Switzerland. (p. 687).
- National Oil Tea Science Center. (2009). Efficient
and Practical Cultivation Techniques of
Oil-Tea. Camellia. Nijjar & G.S. (1985).
Nutrition of fruit. (P. 10-270).
- Ortega-Olivencia A, Devesa JA (1999)
Reproductive biology in two Genisteae
(Papilionoideae) endemic of the
western Mediterranean region: *Cytisus*
striatus and *Retama sphaerocarpa*. Can J
Bot 77: (P. 809–820).
- Ram S. (1983). Hormonal control of fruit growth
and fruit drop in mango cv. Deshehari.
Acta Hort(134). (P. 169-178).
- Ru, Z. Y., Ju, L. Z. & Sheng, D. (2009). Flowering
habits in *Camellia oleifera*. Journal of
Zhejiang forestry college, (26). Retrieved
from <http://www.Cabdirect.org/abstracts/20103086135.html>

ผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์ปลานิลอินทรีย์รุ่นที่ 2 ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค Selection Response of 2nd Generation Organic Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) Under Biofloc System

กนกวรรณ นาคขำ^{1*} ศุภกิตต์ กลั่นจันทรี¹ ปุณฺชรัตน์ มีแก้ว¹ และ นิสรา กิจเจริญ¹
Kanokwan Nakkham^{1*} Supakrit Khanjungreed¹ Pucharat Meekaew¹ and Nissara Kitcharoen¹

¹คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้
63 หมู่ 4 ตำบลหนองหาร อำเภอสันทราย จังหวัดเชียงใหม่ 50290

¹Faculty of Fisheries Technology And Aquatic Resources, Maejo University,
63 Moo 4, Nongharn, Sansai District, Chiang Mai, 50290, Thailand

*E-mail: nakkham2013@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์: 0835674391

บทคัดย่อ

การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักรูปปลานิลอินทรีย์ภายใต้การเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยการประมาณค่าจากประชากรปลานิลรุ่นที่ 2 จำนวน 71 และ 66 ครอบครัว เมื่ออายุ 2-3 เดือน และ 3-4 เดือน องค์ประกอบความแปรปรวนถูกประมาณค่าด้วยวิธี Restricted Maximum Likelihood (REML) โดยใช้ Average Information (AI) algorithm ร่วมกับแบบจำลองสัตว์ (animal model) พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักรูปปลานิลมีความแตกต่างกันไปตามช่วงอายุ โดยที่อายุ 2-3 เดือน ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักรูปตัวมีค่าเท่ากับ 0.03 ± 0.06 ซึ่งมีค่าต่ำ ที่อายุ 3-4 เดือน ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักรูปตัวมีค่า 0.16 ± 0.04 ซึ่งมีค่าปานกลางและมีค่ามากกว่าที่อายุ 2-3 เดือน

การประเมินผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกหลังจากคัดพันธุ์ 1 รุ่นจากผลต่างของค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มควบคุมมีค่าเท่ากับ 0.98 กรัม/รุ่น หรือคิดเป็น 11.78 % และมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มคัดเลือกที่มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ซึ่งนับว่ามีความก้าวหน้าในระดับที่ค่อนข้างดี

คำสำคัญ: ผลตอบสนองต่อการคัดพันธุ์, การคัดพันธุ์, ปลานิลอินทรีย์, ไบโอฟลอค

Abstract

In this study, heritability in the 2nd generation of organic Nile tilapia was estimated for a total weight at 2 -3 and 4 -5 months after hatching. Estimation was made on data from 71 and 66 full-sib families (2-3 and 3-4 months of age). The analysis of variance was performed using a mixed linear animal model. Variance components were analyzed with an animal model using Restricted Maximum Likelihood procedure (REML) employing average information (AI) algorithm. Heritability (h^2) for growth was varied considerably with ages. At 2-3 months old, h^2 for body weight (BW; 0.03 ± 0.06) were low. At 3-4 months old, h^2 of BW (BW; 0.16 ± 0.04) were higher than those estimated at 2-3 months old.

Regarding the response to selection (R), the difference between the least square mean of the selected line and control line was 0.98 g./generation as 11.78 %, which was highly significant ($p < 0.01$) and had made significant progress by EBV selection.

Keywords: Response to selection, Selection, Organic nile tilapia, Biofloc

1. บทนำ

ปลานิลเป็นปลาน้ำจืดที่นิยมบริโภคและเพาะเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายทั่วโลกทั้งในและต่างประเทศ เป็นที่นิยมเลี้ยงกันมากในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ในประเทศไทยมีการเพาะเลี้ยงปลานิลเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีผลผลิตเฉลี่ยในปี 2561 ประมาณ 216,600 ตัน คิดเป็นมูลค่า 10,141.49 ล้านบาท (กรมประมง, 2563) การเลี้ยงสัตว์น้ำในปัจจุบันมีการเลี้ยงในระบบที่หนาแน่น จึงทำให้เกิดของเสียปริมาณมาก และได้มีการนำเทคโนโลยีไบโอฟลอค (biofloc technology) เข้ามาใช้ในการเลี้ยงปลา เพื่อลดปัญหาการเปลี่ยนถ่ายน้ำ โดยใช้แพลงก์ตอนและจุลินทรีย์ในกลุ่มของ Heterotrophic bacteria ทำหน้าที่ในการเปลี่ยนของเสียในระบบให้เป็น biomass ของสิ่งมีชีวิตและจุลินทรีย์ (ศุภณัฐ และคณะ, 2561) นอกจากนั้นกระแสสังคมที่ผู้บริโภคหันมาสนใจสุขภาพและมีแนวโน้มความต้องการอาหารที่ปลอดภัย หรือที่ผลิตด้วยระบบการเลี้ยงที่ดีหรือระบบอินทรีย์ โดยเฉพาะอาหารสุขภาพมีความต้องการมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแผนพัฒนาประเทศปี พ.ศ. 2560-2564 รัฐได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาการเกษตรสู่ความเป็นเลิศด้านอาหารที่ครอบคลุมประเด็นปริมาณการผลิตสินค้าเกษตรและอาหารเพียงพอและความหลากหลายต่อความต้องการในการบริโภคมีคุณภาพมาตรฐานเทียบเท่าระดับสากล และมีความปลอดภัยอย่างต่อเนื่อง (คณะกรรมการเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ, 2560)

ในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิลอินทรีย์สามารถดำเนินการได้ด้วยการคัดเลือก ซึ่งไม่มีการตัดแปลงพันธุกรรม ไม่ใช้ฮอร์โมนแปลงเพศ หรือใช้ยาและสารเคมี โดยงานวิจัยในครั้งนี้มีการคัดเลือกปลานิลอินทรีย์ที่เลี้ยงในระบบไบโอฟลอค (รุ่นที่ 1) โดยคัดเลือกจากค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของน้ำหนักรุ่นที่อายุ 9 เดือน เพื่อ

ยกระดับค่าเฉลี่ยของปลาในรุ่นถัดไป และหลังจากการคัดเลือกแล้วต้องมีการประเมินค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือก เพื่อประเมินว่าประชากรรุ่นถัดไปให้มีการเจริญเติบโตตามที่คาดการณ์ไว้หรือไม่ จะได้ใช้เป็นข้อมูลในการวางแผนการพัฒนาสายพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การตอบสนองต่อการคัดเลือก คือ ความแตกต่างระหว่างลักษณะของสัตว์ในประชากรรุ่นคัดเลือกกับประชากรรุ่นพ่อแม่ (Falconer, 1989) การศึกษาการตอบสนองต่อการคัดเลือกมีวิธีการที่นิยมปฏิบัติในสัตว์น้ำวิธีหนึ่งได้แก่ การเปรียบเทียบกับปลากลุ่มควบคุม (unselected control population) คือ สุ่มปลาจากประชากรพื้นฐาน โดยสุ่มทุกขนาดแล้วนำมาเลี้ยงแยกไว้ และทำการเพาะพันธุ์ปลาทั้งสองกลุ่ม คือ กลุ่มควบคุมและกลุ่มที่ผ่านการคัดเลือก แล้วนำมาเลี้ยงสภาพแวดล้อมเดียวกัน (อุทัยรัตน์, 2543) ความก้าวหน้าของการคัดเลือกจะเท่ากับ ค่าเฉลี่ยของกลุ่มคัดเลือกลบด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่มควบคุม ค่านี้เรียกว่า ค่าการตอบสนองต่อการคัดเลือกประจักษ์ (realized response) ทั้งนี้ในการเลี้ยงเปรียบเทียบในหลายๆ กรณี อาจมีปัจจัยอื่น ๆ ที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของลักษณะได้ เช่น การเพาะพันธุ์ปลาอาจไม่สามารถทำได้พร้อมกันในเวลาเดียวกันทั้งหมด ทำให้ปลาที่นำมาเปรียบเทียบนั้นมีอายุต่างกัน หรือการเลี้ยงปลาแยกบ่อกันตลอดการทดลองหรือระยะก่อนที่จะมีการติดเครื่องหมายแยกครอบครัว ปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ต้องนำมาใช้ในการคำนวณโดยปรับค่าเฉลี่ยของประชากรคัดเลือกและควบคุมให้อยู่ในรูป least square mean ด้วย PROC GLM ในโปรแกรมสำเร็จรูป เช่น SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA) วิธีที่มีรายงานในการปรับปรุงพันธุ์ปลานิล ยงยุทธ และคณะ (2554) ได้ศึกษาการประเมินค่าตอบสนองของการคัดเลือกของปลานิลจิตรลดาที่ปรับปรุงลักษณะการเจริญเติบโต โดยวิธีการคัดเลือกแบบหมู่ (mass selection) ระยะเวลา 2 รุ่น พบว่า ปลานิลจิตรลดาอายุ 210 วัน ที่ผ่านการคัดเลือกมีค่าเฉลี่ยความยาว น้ำหนัก น้ำหนักเพิ่ม ต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงกว่าปลากลุ่มควบคุม มีค่าเท่ากับ 12.33 %, 35.62 %, 35.67 % และ 4.80 % ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) และการประเมินค่าตอบสนองของการคัดเลือกทั้งหมด (R) โดยความยาวและน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 3.14 เซนติเมตร และ 123.85 กรัม

ตามลำดับ และอัตราพันธุกรรมประจักษ์ (h^2R) ที่เป็นผลมาจากการคัดพันธุ์มีความยาวและน้ำหนักเท่ากับ 0.79 และ 0.59 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าสูงแสดงถึงความเป็นไปได้ในการปรับปรุงพันธุ์ด้วยวิธีการคัดเลือกแบบหมู่เพื่อปรับปรุงลักษณะการเจริญเติบโตของปลานิลจิตรลดา ในขณะที่ Bentsen et al. (2017) ได้ศึกษาการคัดเลือกน้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นของปลานิลได้คัดจำนวน 5 รุ่น ตั้งแต่ พ.ศ. 2534- 2539 ประชากรพื้นฐานสำหรับการคัดเลือกประกอบด้วยผสมข้ามระหว่าง 3 และ 4 ทาง ซึ่งมาจากสายพันธุ์แอฟริกันในธรรมชาติ และสายพันธุ์เอเชียในฟาร์มเลี้ยง โดยใช้วิธีผสมพันธุ์แบบเดี่ยว เลี้ยงแบบแยกกลุ่มและติดแท็กและบันทึกสายพันธุ์แยกกัน พ่อแม่คัดเลือกจากค่าดัชนีการคัดเลือกรวมถึงอายุ น้ำหนักตัวในช่วงเก็บเกี่ยวของ full- sibs และ half-sibs ใช้ตัวผู้ 512 ตัวผสมกับตัวเมีย 941 ตัว โดยใช้การผสมพันธุ์แบบ nested design เพื่อให้ได้ลูก 81,429 ตัว เมื่อบันทึกน้ำหนักหลังจากการเก็บเกี่ยวมีลูกปลาเหลือ 56,633 ตัว การประมาณค่าของการตอบสนองต่อการคัดเลือกภายในรุ่นในสภาพแวดล้อมการทำฟาร์ม มีการตอบสนองต่อการคัดเลือกต่อรุ่น คือ 13.6% (ช่วง 9-20.1%) ส่งผลให้มีการตอบสนองสะสมมากกว่า 5 รุ่น 88 % เมื่อเทียบกับประชากรพื้นฐาน Bolivar and Newkirk (2002) ได้ศึกษาการคัดเลือกภายในครอบครัวของปลานิล เพื่อการเจริญเติบโตของปลานิลที่ 16 สัปดาห์ ข้อมูลจากการคัด 12 รุ่น ถูกวิเคราะห์โดย RMLF ร่วมกับ แบบจำลองสัตว์ มีอัตราพันธุกรรมในประชากร เท่ากับ 0.385 มีการตอบสนองทางพันธุกรรมของน้ำหนักมีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 2.2 กรัมต่อรุ่นหรือประมาณ 12.4 % มีค่าอัตราพันธุกรรมประจักษ์ 0.14 มีค่าสัมประสิทธิ์การผสมเลือดชิด 6.3 % หลังจาก 12 รุ่น ค่าเฉลี่ยการผสมพันธุ์ 0.525 % ต่อรุ่น มีการผสมพันธุ์แบบสลับครอบครัวมีประสิทธิภาพอัตราการผสมพันธุ์ต่ำถึงแม้จะมีความเข้มข้นในการคัดเลือกสูง มีความเข้มในการคัดเลือกและอัตราพันธุกรรมค่อนข้างสูงในช่วง 16 สัปดาห์ ทำให้เกิดการตอบสนองอย่างมากโดยใช้วิธีการคัดเลือกภายในครอบครัว

3. วิธีดำเนินการวิจัย

1. การคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์

กลุ่มคัดเลือก (selection) จะคัดเลือกจากคุณค่าผสมพันธุ์ (EBV) ของน้ำหนักตัวปลาที่อายุ 9 เดือน ในรุ่นที่ 1 จากการประเมินค่าทางพันธุกรรมของ ศุภกิตดี และคณะ (2563) จำนวน 450 ตัว โดยคัดเลือกเพศผู้ 50 ตัว เพศเมีย 400 ตัว กลุ่มควบคุม (control) จะสุ่มปลานิลจำนวน 450 ตัว เช่นเดียวกันกับกลุ่มคัดเลือก

2. การผสมพันธุ์

กลุ่มคัดเลือก (Selection) ใส่เพศผู้ 1 ตัวต่อเพศเมีย 4 ตัว ในกระชังขนาด 2 x 2 เมตร จำนวน 50 กระชัง (50-200 full sib family) โดยผสมพันธุ์แบบธรรมชาติในบ่อดิน ด้วยระบบจับคู่ผสมพันธุ์ปลานิลอนุสิทธิบัตรเลขที่คำขอ 1803001978. วันที่ขอ 31 สิงหาคม 2561 (นิสรา และบุญศรี, 2561) การผสมพันธุ์และให้ลูกทั้งหมด 110 ครอบครัว (110 full sib family หรือ 51 half sib) และอนุบาลจนอายุ 2-3 เดือน และติดเครื่องหมายเหลือรอด 71 ครอบครัว และเลี้ยงต่อจนอายุ 3-4-เดือนเหลือรอด 66 ครอบครัว

กลุ่มควบคุม (Control) ใส่เพศผู้ 25 ตัวต่อเพศเมีย 100 ตัว ในกระชัง ขนาด 4 x 6 เมตร จำนวน 2 กระชัง และให้อาหารปลานิลอินทรีย์ โปรตีนไม่ต่ำกว่า 35 % ให้ 2 มื้อต่อวัน 2 % ของน้ำหนักตัว กลุ่มควบคุมผสมพันธุ์และให้ลูกทั้งหมด 56 ครอบครัว และอนุบาลจนอายุ 2-3 เดือน เหลือ 32 ครอบครัวและ 3-4 เดือน เหลือ 22 ครอบครัว ตามลำดับ

3. การฟักไข่และการอนุบาลลูกปลา

เคาะไข่จากปากแม่ปลาและนำไข่มาฟักในระบบ โดยให้ไข่เคลื่อนที่ตลอดเวลาจนฟักเป็นตัวที่ระยะ swim-up และชั่งน้ำหนัก และนับลูกปลาจำนวน 400 ตัว แล้วนำมาอนุบาลในกระชังขนาด 1 x 1 เมตร ในบ่อผ้าใบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7 เมตร ที่สร้างระบบไบโอฟลอคไว้ และให้อาหารปลานิลอินทรีย์ 2 มื้อต่อวัน จนลูกปลาได้น้ำหนักเฉลี่ย 5 กรัม (ลูกปลาอายุประมาณ 2 - 3 เดือน)

4. การติดเครื่องหมาย

นำลูกปลาขนาดเฉลี่ย 5 กรัม (ลูกปลาอายุประมาณ 2 - 3 เดือน) จำนวน 50 ตัวจากแต่ละครอบครัวที่อนุบาลแยกในกระชัง 1 x 1 เมตร มาติดเครื่องหมายด้วย PIT tag (microchip) แล้วนำไปเลี้ยงรวมกันตามชุดที่ติดเครื่องหมายในวันเดียวกัน ส่วนลูกปลากลุ่มควบคุมจำนวน 50 ตัว จะไม่ติดเครื่องหมายและนำไปเลี้ยงรวมกันในกระชัง 1 x 1 เมตร ตามชุดที่เคาะไขในวันเดียวกันหรือพักในสัปดาห์เดียวกัน

5. การเลี้ยงปลา

เลี้ยงต่อจนอายุครบ 3-4 เดือน ด้วยอาหารปลาชนิดอินทรีย์ โปรตีนไม่ต่ำกว่า 35 % ให้อาหาร 3 - 5 % ของน้ำหนักตัว ให้ 2 มื้อต่อวัน และสุ่มปลาที่เหลือรอด 66 ครอบครัว นำมาชั่งน้ำหนัก บันทึกข้อมูลและแยกใส่ในกระชัง 2 x 2 จำนวน 8 กระชัง ๆ ละ 5 ตัว (300-345 ตัว/กระชัง) แล้วนำมาวิเคราะห์ข้อมูล

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

6.1 การประเมินค่าทางพันธุกรรม

ปลาที่ทดลองจะถูกเก็บข้อมูลเพื่อการประเมินค่าทางพันธุกรรม ได้แก่ ค่าอัตราพันธุกรรม ค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของลักษณะที่เกี่ยวข้องกับการเจริญเติบโต ซึ่งได้แก่ น้ำหนักตัว จากนั้นนำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ค่าทางสถิติเบื้องต้นด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (SAS statistical computer package) และวิเคราะห์องค์ประกอบความแปรปรวนของข้อมูลโดยใช้แบบจำลองสัตว์ (animal model)

ซึ่งโมเดลที่ใช้เขียนอธิบายได้ในรูปเมทริกซ์ ดังนี้

$$y = Xb + Za + Wc + e \quad (1)$$

เมื่อ ; y คือ เวกเตอร์ของลักษณะที่ทำการศึกษาในแต่ละช่วงอายุ ที่อายุ 2-3 และ 3-4 เดือน ได้แก่ และน้ำหนัก

b คือ เวกเตอร์ของอิทธิพลคงที่ (fixed effect) ในแต่ละช่วงอายุ 2-3 และ 3-4 เดือน อายุ 2-3 เดือน ได้แก่ ความหนาแน่น/วันที่พัก และอายุที่ติดเครื่องหมายไมโครชิป

อายุ 3-4 เดือน ได้แก่ ความหนาแน่น ชุดที่ติดเครื่องหมายไมโครชิป และ อายุ

a คือ เวกเตอร์ของอิทธิพลสุ่มสำหรับตัวสัตว์ (animal additive genetic effects)

c คือ เวกเตอร์ของอิทธิพลสุ่มของสภาพแวดล้อมร่วมสำหรับสัตว์ครอบครัวเดียวกัน (common environmental effect) ได้แก่ สภาพสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากกระชังที่ใช้เลี้ยงปลาแยกกันในแต่ละครอบครัว

e คือ เวกเตอร์ของอิทธิพลสุ่มส่วนที่เหลือ (random residual effects) และ X, Z และ W เป็นอินซิเดนซ์เมทริกซ์ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลกับอิทธิพลคงที่ ในเวกเตอร์ b อิทธิพลสุ่มสำหรับสัตว์ ในเวกเตอร์ a และอิทธิพลสุ่มในเวกเตอร์ c ตามลำดับ โดยมีสมมติฐานดังนี้

$$\begin{bmatrix} y \\ a \\ c \\ e \end{bmatrix} \sim \text{NID}, \begin{bmatrix} X\beta \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} ZGZ' + WCW' + R & ZG' & WC' & R \\ GZ' & G & 0 & 0 \\ CW' & 0 & C & 0 \\ R & 0 & 0 & R \end{bmatrix} \quad (2)$$

เมื่อ $G = A\sigma_a^2$ ซึ่ง A คือ numerator relationship matrix (Henderson, 1976), C คือ common environmental matrix โดย $C = I\sigma_c^2$ และ R คือ residual variance matrix โดย $R = I\sigma_e^2$

องค์ประกอบของความแปรปรวนสำหรับลักษณะแต่ละลักษณะถูกประมาณค่าโดยใช้วิธี restricted maximum likelihood procedure (REML) โดยใช้ average information (AI) algorithm ร่วมกับแบบจำลองสัตว์ (animal model) ที่กล่าวมาข้างต้น ซึ่งจะวิเคราะห์ข้อมูลที่ลักษณะ (single trait analysis) ในแต่ละช่วงอายุ จากนั้นจึงนำค่าดังกล่าวไปคำนวณค่าอัตราพันธุกรรม ค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) และสหสัมพันธ์ทางพันธุกรรมโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ASREML (Gilmour *et al.*, 2002)

6.2 การประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของลักษณะการเจริญเติบโตของปลานิล

นำข้อมูลปลานิลที่ผ่านการคัดเลือกมาแล้ว 1 รุ่นมาคำนวณความเข้มข้นของการคัดเลือก (selection intensity, i) ตามสูตร

$$i = S / \sigma_p \quad (3)$$

โดย S = ความแตกต่างในการคัดเลือก

σ_p = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของลักษณะปรากฏ การวิเคราะห์องค์ประกอบของความแปรปรวนเพื่อใช้ในการทำนายค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (EBV) ของสัตว์แต่ละตัวในแต่ละรุ่น กระทำตาม animal model โดยใช้วิธี restricted maximum likelihood procedure (REML) ซึ่งใช้ average information (AI) algorithm โดยสามารถทำนายค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ได้โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ASREML (Gilmour *et al.*, 2002)

จากนั้นประเมินการตอบสนองต่อการคัดเลือกโดยการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มควบคุมด้วย PROC GLM ในโปรแกรมสำเร็จรูป SAS (2020)

4. ผลการวิจัย

4.1 ค่าอัตราพันธุกรรม

ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลาจากการทดลองในรุ่นที่ 2 นี้มีความแตกต่างไปตามช่วงอายุ โดยที่อายุ 2-3 เดือนค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัว มีค่าเท่ากับ 0.03 ± 0.06 ซึ่งมีค่าต่ำ ที่อายุ 3-4 เดือน ค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัว มีค่าเท่ากับ 0.16 ± 0.04 ซึ่งมีค่าปานกลางแต่สูงกว่าที่อายุ 2-3 เดือน (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ย และค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลที่อายุ 2-3 และ และ 3-4 เดือนในรุ่นที่ 2

อายุ	ค่าเฉลี่ย ของน้ำหนัก (กรัม) \pm S.D.	ค่าอัตราพันธุกรรม \pm S.E.
2-3 เดือน	4.67 \pm 4.13	0.03 \pm 0.06
3-4 เดือน	12.28 \pm 13.53	0.16 \pm 0.04

4.2 การประเมินผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของลักษณะการเจริญเติบโตของปลานิล

จากการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์จำนวน พ่อพันธุ์ 50 ตัวและแม่พันธุ์ 200 ตัว และจับคู่ในกระชังผสมพันธุ์ โดยสามารถคำนวณค่า selection differential (S) ของน้ำหนัก (TW) และความยาว (TL) ได้เท่ากับ 10.63 กรัม และ 1.45 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยสามารถทำนายค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือกพันธุ์ (Response to selection; R) ได้ ของน้ำหนัก (TW) และความยาว (TL) ได้เท่ากับ 4.89 กรัม และ 0.75 เซนติเมตร ตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยของประชากรรุ่นที่ 1 และ

ลักษณะ	\bar{X}_p	\bar{X}_s	S	R
TW	29.28	39.91	10.63	4.89
TL	12.24	13.69	1.45	0.75

ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ที่คัดเลือกไว้ เพื่อทำนายค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือกพันธุ์

หมายเหตุ \bar{X}_p คือ ค่าเฉลี่ยของประชากร

\bar{X}_s คือ ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่พันธุ์ที่คัดเลือกไว้

การประเมินผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกหลังจากคัดพันธุ์ 1 รุ่นได้จากผลต่างของค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มควบคุมซึ่งมีค่าคิดเป็น

0.98 กรัมต่อรุ่น หรือคิดเป็น 11.77 % และมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มคัดเลือกที่มีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$) ดังแสดงในตารางที่ 3 ตารางที่ 3 แสดงผลตอบสนองต่อการคัดเลือกของน้ำหนักตัว (กรัม) ของปลานิลอินทรีย์รุ่นที่ 2

	กลุ่ม คัดเลือก	กลุ่ม ควบคุม	R (กรัม)	R%
ค่าเฉลี่ย (กรัม)	9.55 ^a	5.88 ^b	3.67	62.42
Least square				
Mean (g)	9.30 ^a	8.32 ^b	0.98	11.77

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแถวเดียวกันแสดง ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($p < 0.01$)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์ที่จะให้ลูกพันธุ์ปลานิลอินทรีย์ที่โตดี เพื่อสร้างประชากรรุ่นที่ 2 ได้ทั้งหมด 71 ครอบครัว และกลุ่มควบคุม 32 ครอบครัว โดยจากการผสมพันธุ์ปลานิลอินทรีย์นั้นไม่สามารถผสมพันธุ์ได้ครบจำนวนภายในระยะเวลาเดียวกันได้จากการผสมพันธุ์ในแต่ละครั้ง/แต่ละสัปดาห์ที่เก็บไข่ได้ ตลอดจนจำนวนลูกปลาที่ได้จากแต่ละครอบครัวที่ไม่เท่ากันย่อมส่งผลกระทบต่อประเมินค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรม จึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาเป็นปัจจัยกำหนดในการประเมินค่าด้วย ซึ่งในโมเดลในการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางพันธุกรรมได้พิจารณาสัปดาห์ที่เก็บไข่เป็นกลุ่มที่ใช้ในการเปรียบเทียบ (Contemporary group)

การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลอินทรีย์ภายใต้การเลี้ยงในระบบไบโอฟลอค โดยการประมาณค่าจากประชากรปลานิลรุ่นที่ 2 จำนวน 71 และ 66 ครอบครัวเมื่ออายุ 2-3 เดือนและ 3-4 เดือนองค์ประกอบความแปรปรวนถูกประมาณค่าด้วยวิธี Restricted Maximum Likelihood (REML) โดยใช้ Average Information (AI) algorithm ร่วมกับแบบจำลองสัตว์ (animal model) พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลมีความแตกต่างไปตามช่วงอายุ โดยที่อายุ 2-3 เดือนค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนัก

ตัวมีค่าเท่ากับ 0.03 ± 0.06 ซึ่งมีค่าต่ำ ที่อายุ 3-4 เดือนเดือนค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวมีค่า 0.16 ± 0.04 ซึ่งมีค่าปานกลางและมีค่ามากกว่าที่อายุ 2-3 เดือน เช่นเดียวกับการศึกษาใน ปุณฺยธรรม์ และนิสร (2562) พบว่าค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลมีความแตกต่างไปตามช่วงอายุ โดยที่อายุ 2 เดือนค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวมีค่าเท่ากับ 0.09 ± 0.03 ที่อายุ 3 เดือนค่าอัตราพันธุกรรมมีค่าเท่ากับ 0.57 ± 0.30 ซึ่งมีค่าสูงและมีค่ามากกว่าที่อายุ 2 เดือน เช่นเดียวกับการประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของ Charo-Karisa (2006) ที่ได้ประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของลักษณะน้ำหนักตัวปลาที่อายุ 42 วัน มีค่าต่ำซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.01 ± 0.06 และพบว่าความแปรปรวนเนื่องมาจาก สภาพแวดล้อม สำหรับ สัตว์ ครอบ ครว ์ เดียวกัน (common environmental effect; c^2) มีค่าสูงซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.36 ± 0.05 และอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักเมื่อเก็บเกี่ยวมีค่าสูงขึ้น โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.38-0.60

อย่างไรก็ตามเมื่อเทียบกับประชากรรุ่นพ่อแม่พบว่ามีความต่ำลงจากรุ่นที่แล้ว ตามที่รายงานไว้ใน ศุภกิตต์ และคณะ (2563) การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมจากประชากรปลานิลเริ่มต้น 109 ครอบครัว ที่อายุ 2-3 เดือนค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวมีค่า 0.05 ± 0.03 ซึ่งมีค่าต่ำ ที่อายุ 4-5 เดือนค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักตัวมีค่า 0.40 ± 0.15 ซึ่งมีค่าสูงและมีค่ามากกว่าที่อายุ 2-3 เดือน อาจเนื่องมาจากการคัดเลือกทำให้ความหลากหลายทางพันธุกรรมลดลง อีกทั้งจำนวนครอบครัวที่ได้ในรุ่นที่ 2 นี้เกิดจากการคัดเลือกจากประชากร 100 ครอบครัว แต่ได้คู่ที่ผสมพันธุ์และรอดชีวิตเพียง 71 และ 66 ครอบครัว ที่อายุ 2-3 เดือน และ 3-4 เดือนตามลำดับ แต่ยังคงเห็นแนวโน้มว่าค่าอัตราพันธุกรรมมีแนวโน้มที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อติดเครื่องหมายไมโครชิพแล้วเลี้ยงรวมในกระชังเดียวกัน ทำให้ลดความแปรปรวนอันเนื่องมาจากการเลี้ยงแยกครอบครัวในแต่ละกระชังลงไป

จากการคัดเลือกพ่อแม่พันธุ์จำนวน พ่อพันธุ์ 50 ตัวและแม่พันธุ์ 200 ตัว และจับคู่ในกระชังผสมพันธุ์ โดยสามารถคำนวณค่า selection differential (S) ของ

น้ำหนักและความยาว ได้เท่ากับ 10.63 กรัม และ 1.45 เซนติเมตร ตามลำดับ โดยสามารถทำนายค่าผลตอบสนองต่อการคัดเลือกพันธุ์ (Response to selection; R) ของน้ำหนักและความยาว ได้เท่ากับ 4.89 กรัม และ 0.75 เซนติเมตร ดังตารางที่ 2 การประเมินผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกหลังจากคัดพันธุ์ 1 รุ่นได้จากผลต่างของค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มคัดเลือกกับค่าเฉลี่ย least square mean ของปลานิลกลุ่มควบคุมซึ่งมีค่าคิดเป็น 0.98 กรัมต่อรุ่น หรือคิดเป็น 11.77 % ดังแสดงในตารางที่ 3 จากการเปรียบเทียบผลตอบสนองต่อการคัดเลือกจากการทำนายค่ามีค่าสูงกว่า ผลตอบสนองต่อการคัดเลือกจริง เนื่องจาก พ่อแม่พันธุ์ที่คัดเลือกไว้ไม่ได้สร้างประชากรรุ่นที่ 2 ได้ครบตามที่ได้คัดเลือกไว้ นอกจากนั้นสามารถเลี้ยงปลาจนถึงขนาด 3-4 เดือนจากกลุ่มคัดเลือกได้เพียง 66 ครอบครัว ซึ่งมีค่าน้อยกว่าที่คัดเลือกไว้ จำนวน พ่อพันธุ์ 50 ตัว แม่พันธุ์ 200 ตัว แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาค่าเฉลี่ยของปลากลุ่มคัดเลือกที่อายุ 3-4 เดือน (น้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 9.55 กรัม) ซึ่งมีความสูงกว่าปลากลุ่มควบคุม (น้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 5.88 กรัม) ซึ่งมีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง ($p < 0.01$) แต่อย่างไรก็ตาม การวัดความก้าวหน้าของการคัดพันธุ์ โดยเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างปลากลุ่มคัดเลือก และปลากลุ่มควบคุม ที่มีจำนวนครอบครัวที่ต่างกัน (จำนวนครอบครัวของปลากลุ่มคัดเลือกเท่ากับ 66 ครอบครัว และปลากลุ่มควบคุม 22 ครอบครัว) อายุ (113-147 วัน) และปัจจัยที่เลี้ยงแยกกระชังตามวันที่ฟักไข่และย้ายลงกระชังต่างกัน (ปลากลุ่มคัดเลือก 17 ชุด และปลากลุ่มควบคุม 7 ชุด) จึงจำเป็นต้องเปรียบเทียบผลตอบสนองต่อการคัดเลือก (realized response) ด้วยค่าเฉลี่ย least square mean (อุทัยรัตน์, 2563) ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติระหว่างกลุ่มคัดเลือกและกลุ่มควบคุม และคิดเป็นค่าตอบสนองต่อการคัดเลือกเท่ากับ 0.98 กรัม/รุ่น หรือคิดเป็น 11.78 % ซึ่งนับว่ามีความก้าวหน้าในระดับที่ค่อนข้างดี เช่นเดียวกับ การคัดเลือกปลานิล (Gall *et al.*, 2002) โดยการประยุกต์ใช้ Mixed Model Equation (MME) เพื่อทำนายค่าคุณค่าการผสมพันธุ์ (Expected Breeding

Value, EBV) เพื่อคัดเลือกปลานิลที่อายุ 98 วัน ให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น โดยวิธีคัดเลือกตัวเอง (mass selection) จากการเรียงลำดับคุณค่าการผสมพันธุ์ไปได้ 3 รุ่น พบว่าสามารถปรับปรุงลักษณะดังกล่าวได้อย่างรวดเร็ว กล่าวคือ ผลการตอบสนองต่อการคัดเลือกคิดเป็น 40 เปอร์เซ็นต์

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนจาก กองทุนส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (ววน.) ผ่านทางสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ประจำปีงบประมาณ 2563 และขอขอบคุณคณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ สำหรับสถานที่ในการวิจัยและเจ้าหน้าที่ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการดำเนินงานวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- กรมประมง. 2563. *สถิติผลผลิตการเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ประจำปี 2561*. เอกสารฉบับที่ 7/2563.
- คณะกรรมการการเกษตรอินทรีย์ แห่งชาติ. 2560. *ยุทธศาสตร์การพัฒนาเกษตรอินทรีย์แห่งชาติ (พ.ศ. 2560-2564)*. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 86 หน้า
- บุญชูธรรม มีแก้ว และนิสรา กิจเจริญ. 2562. การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของน้ำหนักปลานิลในสภาพการเลี้ยงในฟาร์มเชิงพาณิชย์. ใน *การประชุมสัมมนาวิชาการระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 19 วันที่ 10 พฤษภาคม 2562* หน้า 53-60.
- นิสรา กิจเจริญ และบุญชูธรรม มีแก้ว. 2561. ระบบจับคู่ผสมพันธุ์. อนุสิทธิบัตร เลขที่ คำขอ 1803001978. วันที่ขอ 31 สิงหาคม 2561
- ยงยุทธ ทักษิณ วิศณุพร รัตนตรัยวงศ์ สุภัทรา อุไรวรรณ ศรีจรรยา สุขมนอนนต์ อนงค์ นิมลมะยม ทองอยู่ อุดเลิศ และ สุภาพร จันทร์อินทร์. 2554. การปรับปรุงลักษณะการเจริญเติบโตปลานิลจิตรลดา. (หน้า 150-158). ใน *การประทางวิชาการของ*

- มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 49: สาขา
ประมง. 1-4 กุมภาพันธ์ 2554,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
- ศุภกิตต์ กลั่นจันทริต ปุณฺณศรี มีแก้ว และนิสร กิจเจริญ.
2563. การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมของ
น้ำหนักปลานิลอินทรีย์ภายใต้การเลี้ยงในระบบไบโ
โอฟลอค. ในงานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่
12 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม วันที่ 9 - 10
กรกฎาคม 2563.
- ศุภณัฐ วัชรธรรม และคณะ. 2561. "ผลของไบโอฟลอคที่
ผลิตจากแหล่งคาร์บอนที่แตกต่างกันต่อการ
ตอบสนองของภูมิคุ้มกันในปลานิล
(*Oreochromis niloticus*)."
วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัย อุบลราชธานี 20(2):
1-13.
- อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2543. *พันธุศาสตร์สัตว์น้ำ*. พิมพ์ครั้งที่
2, สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ. 203 น.
- อุทัยรัตน์ ณ นคร. 2563. การปรับปรุงพันธุ์สัตว์น้ำ
เบื้องต้น. คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,
กรุงเทพฯ.
- Bolivar, Remedios B. & Newkirk, Gary F. 2002.
Response to within family selection for
body weight in Nile tilapia (*Oreochromis
niloticus*) using a single-trait animal model.
Aquaculture, 204, 371-381.
- Bentsen, Hans B., Gjerde, Bjarne. & Ponzoni, Raul
W. 2017. Genetic improvement of farmed
tilapias: Response to five generations of
selection for increased body weight at
harvest in *Oreochromis niloticus* and the
further impact of the project. *Aquaculture*,
468, 206-217.
- Charo-Karisa H., Komen H., Rezk M. A., Ponzoni R.
W., Arendonk J. A.M. van and Bovenhuis H.
2006. Heritability estimates and response
to selection for growth of Nile tilapia
(*Oreochromis niloticus*) in low- input
earthen ponds. *Aquaculture*, 261: 479-
486.
- Falconer, D.S. 1989. Introduction to Quantitative
Genetics. Third edition. Longman *Scientific
and Technical*, New York. 464 p
- Gall, G.A.E. and Y. Bakar. 2002. Application of
mixed-model techniques to fish breed
improvement: analysis of breeding-value
selection to increase 98-day body weight
in tilapia. *Aquaculture*, 212: 93-113.
- Gilmour, A.R., B.J. Gogel, B.R. Cullis, S.J. Welham
and R. Thompson. 2002. *ASREML User
Guide Release 1.0*. VSN International Ltd,
Hemel Hempstead, HP11ES, UK.
- Henderson, C. R. 1976. A Simple Method for
Computing the Inverse of a Numerator
Relationship Matrix Used in Prediction of
Breeding Values. *Biometrics*, Vol. 32, No.
1 (Mar., 1976), pp. 69-83.
- SAS. 2020. SAS on Demand for Academics. SAS
Institution Inc., Cary, NC, USA.
[https://www.sas.com/th_th/software/on
-demand-for-academics.html](https://www.sas.com/th_th/software/on-demand-for-academics.html)

การกระตุ้นการงอกของเมล็ดข้าวโพดและเมล่อนด้วยน้ำไมโครนาโนบับเบิลส์ The Induction of Seed Germination in Corn and Melon Seeds by Micro Nano Bubbles Water

ชิตติ ศรีตนต์พิพย์^{1*} สุชาดา ธิชู้โต¹, ปริญญาวดี ศรีตนต์พิพย์¹ เมทินี นาคดี² และ วิษณุ ทองเล็ก²
Chiti Sritontip^{1*}, Suchada Thichuto¹, Parinyawadee Sritontip¹ Methinee Nakdee²
and Vishnu Thonglek²

¹ สถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

² คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

³ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา อ.เมือง จ. เชียงใหม่ 50300

¹ Agricultural Technology Research Institute, Rajamangala

University of Technology Lanna, Muang, Lampang 52000

² Faculty of Science and Agricultural Technology, Rajamangala

University of Technology Lanna Lampang, Muang, Lampang 52000

³ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Muang, Chiang Mai 50300

*E-mail, Chiti@rmutl.ac.th เบอร์โทร 0813869954

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้น้ำไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในข้าวโพดหวานและเมล่อน โดยวางแผนการทดลองแบบ CRD มี 2 การทดลอง แต่ละการทดลองมี 4 กรรมวิธี ๆ ละ 4 ซ้ำ คือการป้อนน้ำไมโครนาโนบับเบิลส์ที่ระยะเวลา 5 10 และ 15 นาที เปรียบเทียบกับการแช่ในน้ำเปล่า โดยการแช่เมล็ดในแต่ละกรรมวิธีเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ผลการทดลองปรากฏว่าการใช้น้ำไมโครนาโนบับเบิลส์ ที่ระยะเวลา 5-15 นาที มีผลทำให้เมล็ดข้าวโพดหวาน มีระยะเวลาการงอกเร็วกว่าการแช่ในน้ำเปล่า และมีอัตราการงอกสูงกว่าการแช่ในน้ำเปล่า แต่ไม่มีผลต่อการงอกของเมล็ดเมล่อน ส่วนด้านการเจริญเติบโตการใช้น้ำไมโครนาโนบับเบิลส์ 5-15 นาที มีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นอ่อน ความยาวของใบ ความยาวของรากข้าวโพดหวาน และมีผลต่อการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นอ่อน เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น และความยาวของรากเมล่อน และการใช้น้ำไมโครนาโนบับเบิลส์ 5-15 นาที มีการสะสมของน้ำหนักรากของต้นอ่อนข้าวโพดหวาน และต้นอ่อนเมล่อน ได้มากกว่ากรรมวิธีการให้น้ำเปล่า

คำสำคัญ : ไมโครนาโนบับเบิลส์ การงอกของเมล็ด ข้าวโพด เมล่อน

Abstract

The application of micro-nano bubbles on seed germination and growth of corn and melon sprouts was investigated. The experimental design was CRD, which consisted of 2 experiments using air micro-nano bubble (MNBs) water in corn and melon seeds. There were 4 treatments and 4 replications in each experiment. The air MNBs operated to 5, 10 and 15 minutes compared with distilled water and all seeds were soaked in each treatment for 12 hours. The results revealed that the 5, 10 and 15 minutes of MNBs water treatments could induce seed germination of sweet corn and accelerated germination speed faster than distilled water. However, there was no effect on seed germination on melon. The growth of sprouts showed that 5-15 minutes of MNBs water treatments induced plant height, leaf width, and root length of corn. Moreover, all treatments of MNBs enhanced plant height, stem diameter, and root length of melon. In addition, corn and melon sprouts increased fresh weight accumulation after treated by MNBs water.

Keywords: Micro/nano bubbles, Seed germination, Corn, Melon

1. บทนำ

การงอกของเมล็ดมีปัจจัยที่ควบคุมหลายๆ ด้าน ได้แก่ อุณหภูมิ แสง ความชื้น ออกซิเจนและสารควบคุมการเจริญเติบโต การกระตุ้นการงอกสามารถทำได้หลายวิธีเพื่อให้ต้นอ่อนงอกได้เร็ว และมีการเจริญเติบโตเป็นต้นกล้าหรือต้นพืชที่มีความแข็งแรง ลดการสูญเสียในกระบวนการผลิตต้นกล้า การใช้เทคโนโลยีฟองอากาศขนาดเล็กหรือไมโครนาโนบับเบิล (Micro/Nano Bubbles) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทำให้เกิดฟองอากาศขนาดเล็กในน้ำไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าและสามารถคงตัวอยู่ในน้ำได้นาน เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมมาจากประเทศญี่ปุ่นและมีการใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลาย ปัจจุบันได้สังเกตเห็นถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีไมโครนาโนบับเบิลส์ในการเกษตร เช่น การกระตุ้นการงอกของเมล็ด ซึ่งออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการงอกของเมล็ด และปัญหาของการงอกของเมล็ดคือการงอกไม่สม่ำเสมอ ทำให้เมล็ดเกิดการสูญเสียและเป็นปัญหาต่อจำนวนต้นกล้าที่ต้องการเพาะปลูก

ดังนั้นงานวิจัยครั้งนี้จึงได้ศึกษาผลของไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการงอกของเมล็ดและการเจริญเติบโตของต้นอ่อนของข้าวโพดและเมล่อน เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการเพิ่มการงอกของต้นอ่อนของข้าวโพดและเมล่อนต่อไป

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ข้าวโพดหวานนิยมเพาะปลูกมาเป็นเวลานาน และมีจำนวนมาก จากรายงานสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2562) ในปี 2562 ประเทศไทยมีพื้นที่การปลูกข้าวโพดหวานจำนวน 240,629 ไร่ ผลผลิตที่เก็บเกี่ยวจำนวน 501,242 ตัน และในปัจจุบันเมล่อนเป็นที่ต้องการของตลาดสูงมาก เนื่องจากผู้บริโภคเริ่มหันมาบริโภคเป็นจำนวนมาก และเกษตรกรผู้ปลูกเมล่อนก็เพิ่มมากขึ้น และในการเพาะปลูกเมล็ดพันธุ์มีความสำคัญมาก แต่การนำเมล็ดพันธุ์ข้าวโพดหวานและเมล่อนมาเพาะปลูกยังพบปัญหาเมล็ดพันธุ์งอกช้าและงอกไม่สม่ำเสมอ เทคโนโลยีการผลิตฟองอากาศขนาดเล็กหรือไมโครนาโนบับเบิลส์เป็นเทคโนโลยีที่มีการประยุกต์ใช้กับงานทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย เนื่องจาก

คุณสมบัติการมีพื้นที่ผิวของฟองอากาศในปริมาณมหาศาล พื้นผิวมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ การแตกตัวของฟองอากาศที่ช้า และประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลออกซิเจนสูง (Takahachi, 2007; Marui, 2013) ไมโครบับเบิลส์เป็นฟองอากาศที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 10-40 ไมโครเมตร สำหรับการใช้ประโยชน์ในการกระตุ้นทางชีวภาพ ส่วนไมโครบับเบิลส์มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 200 นาโนเมตร (Tsuge, 2015; Takahachi, 2009; Agarwal et al., 2010) มีการใช้ประโยชน์ทางการเกษตร อุตสาหกรรม สิ่งแวดล้อม เครื่องสำอางและการแพทย์ (Oshita and Liu, 2013) โดยสามารถกระตุ้นการงอกของคะน้า (ชิติ และคณะ, 2561) ชาลิณี และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาการคลายการพักตัวเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมด้วยไมโครนาโนบับเบิลส์ ผลการทดลองพบว่าการเติมก๊าซออกซิเจน (O_2) ในน้ำร่วมกับการใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ ทำให้มีประสิทธิภาพในการเพิ่มความงอกของเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอม โดยเฉพาะพันธุ์ที่มีการพักตัวมากได้ นอกจากนี้ไมโครนาโนบับเบิลส์สามารถช่วยเพิ่มการงอกของเมล็ดและการเจริญของต้นกล้าโดยในการทดลองในดาวเรืองฝรั่งพบว่าการใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์สามารถเพิ่มการงอก 89.00-92.00 % (สลาลีวัลย์ และ ปิยะฉัตร, 2563)

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดลองใช้เครื่องไมโครนาโนบับเบิลส์โมเดล KVM10 อัตราการไหลของน้ำ 1.7 ลิตรต่อนาที การไหลของฟองอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที กำลังไฟฟ้า 240 วัตต์ อัตราการไหลของอากาศ 0.5 ลิตรต่อนาที ขนาดไมโครบับเบิลส์ 40-50 ไมโครเมตร ความเข้มข้น 60,000 บับเบิลส์ต่อมิลลิลิตร และนาโนบับเบิลส์ ขนาด 200-1,000 นาโนเมตร ความเข้มข้น 108-1,011 บับเบิลส์ต่อมิลลิลิตร พัฒนาโดยศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงสูงพลาสมาและไมโครนาโนบับเบิลส์เพื่อการเกษตรและการประมงชั้นสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (Thonglek, 2017; Yoshikawa and Thonglek, 2017) การทดลองโดยใช้เมล็ดข้าวโพดและเมล่อน โดยการแช่เมล็ดในน้ำไม่

โครนาโนบับเบิลส์เปรียบเทียบกับน้ำเปล่าเป็นเวลา 12 ชั่วโมงและนำมาเมล็ดเพาะบนกระดาษเพาะ (Germination paper) วางกระดาษเพาะลงในกล่องพลาสติกขนาด 10 X 10 เซนติเมตร เพาะเมล็ดจำนวน 20 เมล็ด และเก็บรักษาไว้ในที่อุณหภูมิห้องในและมีสภาพแสงตามธรรมชาติ และรดน้ำด้วยไมโครนาโนบับเบิลส์ ตามกรรมวิธีการทดลองวันละ 10 มิลลิลิตรต่อกล่อง โดยมีการทดลองดังนี้ การทดลองการใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ ต่อการงอกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของเมล็ดข้าวโพดและเมล่อน วางแผนการทดลองแบบ CRD (Completely Randomized Design) มี 4 กรรมวิธี กรรมวิธีละ 4 ซ้ำๆ ละ 20 เมล็ด มีกรรมวิธีการทดลองดังนี้

กรรมวิธีที่ 1 น้ำเปล่า

กรรมวิธีที่ 2 น้ำจากเครื่องไมโครนาโนบับเบิลส์ ที่ป้อนเป็นระยะเวลา 5 นาที

กรรมวิธีที่ 3 น้ำจากเครื่องไมโครนาโนบับเบิลส์ ที่ป้อนระยะเวลา 10 นาที

กรรมวิธีที่ 4 น้ำจากเครื่องไมโครนาโนบับเบิลส์ ที่ป้อนระยะเวลา 15 นาที

การเก็บข้อมูล

1. การงอกของเมล็ด โดยบันทึกผลตามหลักการประเมินความงอกของ ISTA (2011) โดยบันทึกในระยะเวลา 7 วันดังนี้

$$\text{อัตราความงอก (\%)} = \frac{\text{จำนวนต้นกล้าปกติทั้งหมด} \times 100}{\text{จำนวนเมล็ดทั้งหมด}}$$

2. จำนวนวันที่ เมล็ดมีรากงอก (Day to Emergence; DTE) โดยตรวจนับเมล็ดที่มีรากงอกยาวประมาณ 2 มิลลิเมตร ทุกวัน เป็นเวลา 7 วันหลังเพาะเมล็ดจากนั้นคำนวณจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก จากสูตร Dhillon (1995)

$$\text{DET (วัน)} = \frac{(N_1 \times D_1) + (N_2 \times D_2) + \dots + (N_n \times D_n)}{T}$$

T คือ จำนวนเมล็ดทั้งหมดที่มีการแทง Radicle ออกมา

$N_{1,2,\dots,n}$ คือ จำนวนเมล็ดที่มีการแทง Radicle ออกมา ในวันที่ 1,2,..., n (n=7)

$D_{1,2,\dots,n}$ คือ จำนวนวันที่นับหลังจากเพาะเมล็ด 1,2,..., n (n=7)

3. การเจริญเติบโตของต้นอ่อน เมื่อต้นอ่อนอายุ 7 วัน ได้แก่

3.1. ความสูงของต้นอ่อน (เซนติเมตร) วัดจากโคนต้นถึงส่วนปลายยอด

3.2. เส้นผ่านศูนย์กลางของต้นอ่อน (มิลลิเมตร) วัดสูงจากโคนราก 2 เซนติเมตร

3.3. ความกว้างของใบเลี้ยง (เซนติเมตร) วัดกึ่งกลางของใบ

3.4. ความยาวของใบเลี้ยง (เซนติเมตร) วัดจากโคนใบถึงปลายใบ

3.5. ความยาวของราก (เซนติเมตร) วัดจากโคนรากถึงปลายราก

3. น้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นอ่อน (กรัม) โดยจะเก็บผลผลิตหลังจากการทดลอง 7 วัน โดยการสุ่มต้นอ่อนและนำมาชั่งน้ำหนักสดจำนวน 10 ต้นแล้วหาค่าเฉลี่ยต่อต้น ส่วนการหาน้ำหนักแห้งโดยการอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง และนำมาชั่งน้ำหนักแห้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลที่บันทึกได้นำมาวิเคราะห์ทางสถิติ Analysis of Variance ตามแผนการทดลอง การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan Multiple Range Test (DMRT)

4. ผลการวิจัย

การทดลองที่ 1 ไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการงอกของเมล็ดข้าวโพด

จากการทดลองการใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการงอกของเมล็ดข้าวโพด ในด้านระยะเวลาการงอกพบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ระยะเวลา 5 นาที มีระยะเวลาการงอกเร็วที่สุด ส่วนในด้านอัตราการงอก พบว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ไมโครนา

โนบับเบิ้ลส์ระยะเวลา 10 และ 5 นาที มีอัตราการงอกสูงที่สุด (ตารางที่ 1) ในด้านการเจริญเติบโตพบว่าการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นอ่อน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใช้ไมโครนาโนบับเบิ้ลส์ มีการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นอ่อนสูงกว่าการใช้ น้ำเปล่า ส่วนการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของ ลำต้นและความกว้างของใบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ด้านความยาวของใบ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ไมโครนาโนบับเบิ้ลส์ ระยะเวลา 15 นาที มีความยาวของใบสูงที่สุด และการ

เจริญเติบโตด้านความยาวราก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใช้ไมโครนาโนบับเบิ้ลส์ มีการเจริญเติบโตด้านความยาวรากสูงกว่าการใช้น้ำเปล่า (ตารางที่ 2) ในด้านการสะสมน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้ง พบว่าการสะสมน้ำหนักราก มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง การใช้ไมโครนาโนบับเบิ้ลส์มีการสะสมน้ำหนักรากมากกว่าการใช้น้ำเปล่า ส่วนการสะสม น้ำหนักแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ภาพที่ 3)

ตารางที่ 1 ผลของไมโครนาโนบับเบิ้ลส์ต่อจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกและอัตราการงอก

กรรมวิธี	จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (วัน)	อัตราการงอก (%)
น้ำเปล่า	2.44c	76.25b
MNBs 5 นาที	1.79a	87.50a
MNBs 10 นาที	1.92ab	88.75a
MNBs 15 นาที	2.14b	81.25ab
F-test	**	*

หมายเหตุ ** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 2 ผลของไมโครนาโนบับเบิ้ลส์ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนข้าวโพดหลังการทดลอง 7 วัน

กรรมวิธี	ความสูงของต้นอ่อน (ซม.)	เส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้น (มม.)	ความกว้างของใบ (ซม.)	ความยาวของใบ (ซม.)	ความยาวของราก (ซม.)
น้ำเปล่า	23.36b	2.08	1.14	6.66b	17.19b
MNBs 5 นาที	28.19a	1.81	1.21	6.75b	23.62a
MNBs 10 นาที	27.80a	1.82	1.16	6.71b	24.18a
MNBs 15 นาที	28.28a	3.95	1.17	7.30a	23.19a
F-test	**	NS	NS	*	**

หมายเหตุ NS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางที่ 3 ผลของไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการสะสมน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งของต้นอ่อนข้าวโพด

กรรมวิธี	น้ำหนักสด	น้ำหนักแห้ง
น้ำเปล่า	11.73b	1.44
MNBs 5 นาที	16.26a	1.53
MNBs 10 นาที	15.15a	1.39
MNBs 15 นาที	15.00a	1.46
F-test	**	NS

หมายเหตุ NS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

การทดลองที่ 2 ไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการออกของเมล็ดเมล่อน

จากการทดลองการใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการออกของเมล็ด และการเจริญเติบโตของเมล่อน ในด้านระยะเวลาการงอกและอัตราการงอก พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ การใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ระยะเวลา 5-15 นาที และการใช้น้ำเปล่า มีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน ส่วนในด้านอัตราการงอก พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 4) ในด้านการเจริญเติบโต พบว่าการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นอ่อน มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ ระยะเวลา 15 นาที มีการเจริญเติบโตด้านความสูงของต้นอ่อนสูงที่สุด ส่วนการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นและความยาวของราก พบว่ามี

ความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ ระยะเวลา 15 นาที มีการเจริญเติบโตด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของลำต้นสูงที่สุด ส่วนการใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ ระยะเวลา 5-15 นาที มีการเจริญเติบโตด้านความยาวของรากสูงกว่าการใช้น้ำเปล่า ส่วนการเจริญเติบโตด้านความกว้างของใบ และความยาวของใบ พบว่าไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 5) และในด้านการสะสมน้ำหนักสดและน้ำหนักแห้งต่อต้น พบว่าการสะสมน้ำหนักสด มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ การใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ระยะเวลา 5-15 นาที มีการสะสมน้ำหนักสดมากกว่าการใช้น้ำเปล่า ส่วนการสะสมน้ำหนักแห้ง ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 4 ผลของการใช้ไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อจำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอกและอัตราการงอกของเมล่อน

กรรมวิธี	จำนวนวันที่เมล็ดมีรากงอก (วัน)	อัตราการงอก (%)
น้ำเปล่า	2.04	95.00
MNBs 5 นาที	2.09	98.75
MNBs 10 นาที	2.03	98.75
MNBs 15 นาที	2.09	98.75
F-test	NS	NS

หมายเหตุ NS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

ตารางที่ 5 ผลของไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการเจริญเติบโตของต้นอ่อนเมล่อน

กรรมวิธี	ความสูงของต้น อ่อน (ซม.)	เส้นผ่าน ศูนย์กลางของลำ ต้น (มม.)	ความกว้างของ ใบเลี้ยง (ซม.)	ความยาวของ ใบเลี้ยง (ซม.)	ความยาวของราก (ซม.)
น้ำเปล่า	5.68c	1.31c	0.49	1.05	8.45b
MNBs 5 นาที	6.76b	1.37bc	0.47	1.41	10.66a
MNBs 10 นาที	6.88b	1.50ab	0.51	1.08	10.50a
MNBs 15 นาที	8.16a	1.53a	0.50	1.10	11.38a
F-test	**	*	NS	NS	*

หมายเหตุ NS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

* มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

ตารางที่ 6 ผลของไมโครนาโนบับเบิลส์ต่อการสะสมน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งของเมล่อน

กรรมวิธี	น้ำหนักสดต่อต้น (กรัม)	น้ำหนักแห้งต่อต้น (กรัม)
น้ำเปล่า	0.77b	0.10
MNBs 5 นาที	0.98a	0.11
MNBs 10 นาที	1.02a	0.12
MNBs 15 นาที	0.96a	0.11
F-test	**	NS

หมายเหตุ NS ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($P > 0.05$)

** มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.01$)

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

การให้น้ำไมโครนาโนบับเบิลส์กับเมล็ดข้าวโพด มีผลทำให้การงอกเร็วขึ้นและมีอัตราการงอกที่ดีกว่าน้ำเปล่าแต่ไม่มีผลต่อจำนวนวันที่เมล็ดมีรากและอัตราการงอกที่ระยะเวลา 7 วัน นอกจากนี้ยังมีผลทำให้ความสูงของต้นอ่อน ความยาวของรากและน้ำหนักของต้นอ่อนเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเปล่า เนื่องจากน้ำไมโครนาโนบับเบิลส์จะมีประมาณของออกซิเจนสูงกว่าน้ำเปล่า ซึ่งน้ำไมโครนาโนบับเบิลส์สามารถกระตุ้นกลไกทางสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับการงอกของเมล็ดโดยสามารถเพิ่มอัตราการงอกของข้าวบาร์เลย์เพิ่มขึ้น 15-25 % เมื่อ

เปรียบเทียบกับน้ำเปล่า (Liu *et al.*, 2013) และในการทดลองกับเมล็ดทานตะวันพบว่า การให้น้ำไมโครนาโนบับเบิลส์ 5-15 นาที มีผลทำให้การเจริญเติบโตด้านความสูงของต้น ความกว้างของใบ ความยาวของใบ ความยาวของราก การสะสมน้ำหนักรากและน้ำหนักแห้งมากกว่าการให้น้ำเปล่า (ชิตติ และคณะ, 2563) นอกจากนี้ชิตติ และคณะ (2561) รายงานว่า การให้น้ำไมโครนาโนบับเบิลส์มีผลทำให้การงอกของต้นอ่อนคืบหน้าเร็วกว่าน้ำเปล่า และมีผลทำให้ต้นกล้าเจริญเติบโตได้ดีโดยเฉพาะการเจริญเติบโตของราก มีผลกระตุ้นการงอกของเมล็ด และมีผลในการกระตุ้นการงอกของขึ้นฉ่ายและข้าวโพด

หวานเช่นกัน (Sritontip *et al.*, 2019) ในการทดลองในต้นกล้าแก้วเหลืองรายงานว่า การให้น้ำอัลตราไฟบับเบิล (Ultrafine bubbles) มีผลกระตุ้นการเจริญเติบโตของยอดและรากของต้นกล้าในสภาพที่ขาดธาตุอาหาร (Iijima *et al.*, 2020) นาโนบับเบิลช่วยกระตุ้นการเจริญเติบโตของต้นกล้าผักขมเนื่องจากในน้ำนาโนบับเบิลมีปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำสูงขึ้นและการสะสมอนุมูลอิสระของออกซิเจน (reactive oxygen species; ROS) เพิ่มขึ้นเช่นกัน (Liu *et al.*, 2016) โดยมีรายงานในสิ่งในข้าวพบว่า ไมโครบับเบิลเพิ่มการงอก การเจริญเติบโตในด้านความสูงของต้นกล้า ความยาวราก น้ำหนักแห้งและปริมาณคลอโรฟิลล์ โดยในการทดลองจะมีการเพิ่มกิจกรรมของเอนไซม์อัลฟา-อะไมเลส (alpha-amylase) ในเมล็ดที่มีการกระตุ้นการงอกด้วยน้ำไมโครบับเบิลมากกว่าน้ำเปล่า (Ikeura *et al.*, 2014)

การใช้ไมโครนาโนบับเบิลสามารถทำให้เมล็ดข้าวโพดงอกได้เร็วขึ้น มีการเจริญเติบโตของต้นอ่อนในด้านความสูงและความยาวรากแตกต่างจากกรรมวิธีการให้น้ำเปล่าชัดเจน และทำให้น้ำหนักสดของต้นอ่อนเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองสามารถใช้น้ำไมโครบับเบิลช่วยในการเพิ่มการเจริญเติบโตของต้นอ่อนตามผลการทดลองที่ได้มีการนำเสนอและยังเป็นแนวทางในการช่วยในการผลิตต้นกล้าของพืชต่างๆ ทำให้อต้นกล้ามีความสมบูรณ์และแข็งแรง

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม (สกสว.) ที่สนับสนุนงบประมาณ และศูนย์ความเป็นเลิศทางวิชาการด้านการประยุกต์ใช้ไฟฟ้าแรงสูงพลาสมาและไมโครนาโนบับเบิลเพื่อการเกษตรและการประมงขั้นสูง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

7. เอกสารอ้างอิง

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). ตารางแสดงรายละเอียดข้าวโพดหวาน. <http://www.oae.go.th/>

ชาลินี สังขจร วชิราพรรณ มุสิกกา วชิราภรณ์ มุสิกกา วิศนีย์ โปธ์หล้า ญัฐชัย พงษ์ประเสริฐ จานุกฤษณ์ ขนบดี และ ทรงศิลป์ พงษ์ชนะชัย. (2556). การคลาย การพักตัวเมล็ดพันธุ์ผักกาดหอมด้วย Nano/Micro-bubbles. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 44(2)(พิเศษ), 513-516.

ชิตี ศรีตันทิพย์ วิเชียร ผลแสง วิษณุ ทองเล็ก ชาญชัย เดชธรรมรงค์ และศิโยชิ โยชิคาวา. (2561). *การประยุกต์ใช้ไมโครนาโนบับเบิลต่อการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าคะน้า*. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร* 49 (1) ฉบับพิเศษ: 37-41.

ชิตี ศรีตันทิพย์ สุชาติดา ธิษุโต ปิยะดา วงศ์กระโซ่ ปริญาวดี ศรีตันทิพย์ วิษณุ ทองเล็ก และ ชาญชัย เดชธรรมรงค์. (2563). อิทธิพลของไมโครนาโนบับเบิลและกระแสไฟฟ้าแรงดันสูง ต่อการงอกและการเจริญเติบโต ของต้นอ่อนทานตะวัน. *รายงานสืบเนื่องการประชุมวิชาการวิจัยและนวัตกรรมสร้างสรรค์ ครั้งที่ 6 (รูปแบบออนไลน์) ระหว่างวันที่ 2-3 กันยายน 2563 ผ่านระบบ Microsoft Teams*. 656-664.

สลาลีวัลย์ แน่นแพ้น และ ปิยะณัฐ ฝักมาศ. (2563). ผลของการเตรียมความพร้อมเมล็ดพันธุ์ ด้วยวิธี Nano-Bubbles priming ต่อการงอกของต้นกล้าดาวเรืองฝรั่งเศส. *วารสารแก่นเกษตร* 48 (3) : 515-526.

Agarwal, A., W.J. Ng and Y. Liu. (2010). *Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment*. *Chemosphere* 84: 1175 – 1180

Dhillon, N.P.S. (1995). Seed priming of male sterile muskmelon (*Cucumis melo* L.) for low temperature germination. *Seed Science and Technology*. 23: 881-884.

Iijima, M. K. Yamashita, Y. Hirooka, Y. Ueda, K. Yamane and C. Kamimura. (2020) Ultrafine bubbles effectively enhance

- soybean seedling growth under nutrient deficit stress. *Plant Production Science* 1-8. DOI: 10.1080/1343943X.2020.1725391
- Ikeura, H., F. Kobayashi and M. Tamaki. (2014). Hydropriming treatment of rice seeds with microbubble water. *Journal of Agricultural Science*, 6(6),189-194.
- ISTA (International Seed Testing Association). (2011). *International Rules for Seed Testing*. Brassersdorf, Switzerland.
- Liu, S. Y. Lawagoe, Y., makino and S. Oshita. (2013). Effects of nanobubbles on the physicochemical properties of water: The basis for peculiar properties of water containing nanobubbles. *Chemical Engineering Science*. 93, 250-256.
- Liu, S., S. Oshita, S. Kawabata, Y. Makino and T. Yoshimoto. (2016). Identification of ROS produced by nanobubbles and their positive and negative effects on vegetable seed germination. *Langmuir* 32, 11295–11302
- Oshita, S. and S. Liu. (2013). Nanobubble characteristics and its application to agriculture and foods. Bangkok Thailand. *In Proceedings of AFHW 2013. International Symposium on Agri-Foods for Health and Wealth*, August 5-8, 2013, Golden Tulip Sovereign Hotel.
- Sritontip, C., C. Dechthummarong, V. Thonglek, Y. Khaosumain and P.Sritontip. (2019). Stimulation of seed germination and physiological development in plants by high voltage Plasma and fine bubbles. *International Journal of Plasma Environmental Science & Technology*, 12(2), 74-78.
- Takahashi, M., Chiba, K. and Li, P. (2007). Free-radical generation from collapsing microbubbles in the absence of a dynamic stimulus. *Physical Chemistry B*, 111, 1343-1347.
- Takahashi, M., 2009. Base and technological application of micro-bubble and nanobubble. *Material Integration*, 22, 2–19.
- Thonglek, V. (2017). Evolution of Micro/Nano Bubbles Distributions. *In the 2nd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture (RMUTL ISHPMNB 2017)*. 26 – 27 July 2017, Rajamangla University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.
- Tsuge, H. (2015). Chapter 1 Characteristic of Microbubbles. . pp. 3-10. *In H. Tsuge. (Edited). Micro-and Nanobubbles Fundamental and Applications*. CRC press, Taylor & Francis Group. Florida.
- Yoshikawa, K. and V. Thonglek. (2017). Research and Development of a Simple Detector of Nanobubble Density through Spectroscopic Meth. *In the 2nd International Symposium on Application of High-voltage, Plasmas & Micro/Nano Bubbles to Agriculture and Aquaculture (RMUTL ISHPMNB 2017)*. 26 – 27 July 2017, Rajamangla University of Technology Lanna, Chiang Mai, Thailand.

การพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนแบบปิดสำหรับปลูกมะเขือเทศราชินี Development of Closed Greenhouse Controlled System for growing Queen Tomatoes

สุวรรณ จันทร์อินทร์*, บุญประกอบ สุยะบุตร, เบนจาร์รัตน์ เตรียมแรง,
อัฉรา ไชยยา และ เสกสรรค์ เจียรสุวรรณ
Suwan Janin*, Boonprakong Suyaboot, Benjarat Triamreang,
Atchara Chaiya and Seksan Jiarasuwan

สาขาวิชาวิศวกรรมเกษตรและชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ตำบลพิชัย อ.เมืองลำปาง จ.ลำปาง 52000
*E-mail: suwanj@rmutl.ac.th , Tel: 0891483993

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการออกแบบ ระบบควบคุมอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง และการให้น้ำ ปุ๋ยแบบอัตโนมัติ ในโรงเรือนแบบปิดสำหรับปลูกมะเขือเทศราชินี จากผลการทดลองทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพการควบคุม อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสงในโรงเรือนปลูกมะเขือเทศราชินี รวมถึงสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อ การปลูก มะเขือเทศราชินีเพื่อการควบคุมผลการผลิตให้มีคุณภาพ โดยสภาพแวดล้อมในโรงเรือนมีปัจจัยสภาวะบรรยากาศสำหรับปลูก มะเขือเทศราชินี 2 ตัวแปรคือ อุณหภูมิภายในโรงเรือนที่เหมาะสมและค่าความเข้มแสงภายในโรงเรือน โดยอุณหภูมิภายใน โรงเรือนที่เหมาะสมเท่ากับ 30 °C การรักษาอุณหภูมิใช้พัดลมเพื่อระบายความร้อนภายในโรงเรือน ส่วนค่าความเข้มแสงใน โรงเรือนที่เหมาะสมอยู่ที่ 100 ลักซ์ (Lux) โดยใช้หลอดไฟปลูกพืชในการชดเชยแสงผ่าน เซนเซอร์ sht11 เพื่อเพิ่มความเข้ม แสงให้พืชใช้ในการเจริญเติบโตในระยะเวลาที่เหมาะสม ซึ่งการปลูกมะเขือเทศราชินีที่มีระบบควบคุมในโรงเรือนจะ เจริญเติบโตได้ดีกว่าปลูกในดิน ค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของมะเขือเทศจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 78.86 % เทียบกับการปลูก โดยทั่วไป

คำสำคัญ: ระบบควบคุม , โรงเรือนแบบปิด , ระบบการให้น้ำ , มะเขือเทศราชินี

Abstract

This paper presents the design of an automatic control system of temperature, humidity, light intensity and fertilization in a greenhouse for growing queen tomatoes. The experiment results showed an efficiency of temperature control, relative humidity, light intensity in the queen tomato greenhouse, and the suitable environment for cultivation and production quality control. There were two variables of the ambient conditions in the greenhouse for the queen tomatoes: the optimum indoor temperature and the light intensity. The suitable greenhouse temperature was 30°C and a fan was used to maintain temperature by cooling and decreasing a temperature. The suitable light intensity in the greenhouse was 100 lux. The plant lamp was used to compensate the light through a sht11 sensor to increase the light intensity for the plants to grow for the optimal time. Thus, growing queen tomatoes with a proposed greenhouse control system is better than in soil with an open area. The average tomato growth was approximately 78.86% which was higher than that of the general crop.

Keywords: control system, intelligent house, transplant, cherry tomato.

1. บทนำ

ปัจจุบันคนไทยหันมาดูแลสุขภาพมากขึ้น มะเขือเทศ [1] มีความหลากหลายของสายพันธุ์ ทั้งพันธุ์พื้นเมืองและพันธุ์ปรับปรุงลูกผสม สามารถเลือกพันธุ์ที่เหมาะสมต่อสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันของประเทศไทย และเหมาะสมต่อการนำไปใช้ทั้งรับประทานสด และนำไปแปรรูปการบริโภคมะเขือเทศบริโภคสดในประเทศไทยมีความต้องการเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งพฤติกรรมผู้บริโภคที่เปลี่ยนแปลงเป็นการทำงานในรูปแบบอาหารว่าง เช่นเดียวกับผลไม้อื่น

มะเขือเทศเป็นพืชที่มีโรคและแมลงเข้าทำลายมาก เนื่องจากเป็นพืชที่สามารถเพาะปลูกได้ทั้งปี โรคที่สำคัญ ได้แก่ โรคเหี่ยวเหี่ยว โรคใบไหม้ โรคผลเน่า และมีแมลงเข้าทำลายได้ตลอดอายุการปลูก การปลูกมะเขือเทศมีข้อจำกัด ในเรื่องของสภาพแวดล้อม และภูมิอากาศทำให้มะเขือเทศปลูกได้ดีในบางฤดูกาลและบางพื้นที่เท่านั้น หากสภาพแวดล้อมและภูมิอากาศ ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดการระบาดของโรคและแมลง ต้องดูแลรักษาเป็นอย่างดีทำให้ ต้นทุนการผลิตสูงทำให้คนไทยบริโภคมะเขือเทศสดและแปรรูป จากต่างประเทศเพิ่มสูงขึ้นจึง ทำค่าจ้างแรงงานสูง และเกษตรกรไม่มีเงินทุนมากพอที่จะจ้างแรงงานเพิ่ม ส่งผลให้การตลาด สำหรับมะเขือเทศบริโภคสดในปัจจุบันตลาดจำหน่าย ยังมีน้อยขาดการกระจายผลผลิตสู่ตลาดอื่น ๆ และมะเขือเทศโรงงานมีการผูกขาดการซื้อขายกับโรงงานที่เซ็นสัญญาปัญหาราคามะเขือเทศตกต่ำ เพราะผลผลิตออกมาปริมาณมากกว่าความต้องการของตลาด และโรงงานที่รับซื้อทำให้ราคาผกผัน ไม่เป็นไปตามสัญญาซื้อขายล่วงหน้าและไม่สามารถกำหนดราคาผลผลิตได้เอง เกษตรกรที่ปลูกมะเขือเทศส่วนใหญ่ไม่ได้ปฏิบัติตามการบวนการผลิตเกษตรที่ดีที่เหมาะสม เนื่องจากเกษตรกรเห็นว่ามีความยากลำบากที่ยุ่ยยากและมีพื้นที่การผลิตจำนวนมาก

คณะผู้จัดทำจึงได้คิดค้นวิธีการที่จะทำให้อายุการปลูกมะเขือเทศ โดยวิธีการที่ง่ายขึ้น ประหยัดลดค่าค่าใช้จ่ายจากค่าแรง และสร้างระบบที่สามารถกำหนดเงื่อนไขการทำงานด้วยโปรแกรมซึ่งทำให้มะเขือเทศราชินี [2] เจริญเติบโตอย่างมีประสิทธิภาพโดย

การนำโปรแกรม LabVIEW [3] มาบริหารจัดการควบคุมดูแลระบบแทนการใช้แรงงานคน และบอร์ด Arduino [4] – [5] มาควบคุมเปิด-ปิด แสงและพัดลมระบายอากาศรวมถึงการให้น้ำแบบอัตโนมัติตามเวลาที่กำหนดสำหรับปลูกมะเขือเทศราชินีในโรงเรือนระบบปิด

2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยการพัฒนาระบบควบคุมโรงเรือนแบบปิดสำหรับปลูกมะเขือเทศราชินี โดยคณะผู้จัดทำได้ศึกษาค้นคว้าจากตำราเอกสารและแหล่งข้อมูลผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยผู้จัดทำแบ่งหัวข้อได้ดังนี้ มะเขือเทศ เป็นพืชชนิดหนึ่งในตระกูลผลไม้เนื้อหลายเมล็ด อุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหาร มะเขือเทศขนาดปานกลางจะมีปริมาณวิตามินซีครึ่งหนึ่งของส้มโอทั้งผล มะเขือเทศผลหนึ่งจะมีวิตามินเอราว 1 ใน 3 ของวิตามินเอที่ร่างกายต้องการในหนึ่งวัน นอกจากนี้มะเขือเทศยังมีโปแตสเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียมและแร่ธาตุอื่น ๆ อีกหลายชนิด มะเขือเทศเป็นพืชล้มลุกอายุเพียง 1 ปี ลำต้นตั้งตรง มีลักษณะเป็นพุ่ม มีขนอ่อน ๆ ปกคลุม ใบเป็นใบประกอบ ออกสลับกัน ใบย่อยมีขนาดไม่เท่ากัน บางใบเล็กเรียวยาว บางใบกลมใหญ่ปลายใบแหลม ขอบใบเป็นหยักลึกคล้ายฟันเลื่อยมีขนอ่อน ๆ ออกดอกเป็นช่อหรือดอกเดี่ยว บริเวณซอกใบ ดอกมีสีเหลือง มีกลีบเลี้ยงสีเขียวประมาณ 5-6 กลีบ ผลเป็นผลเดี่ยว มีขนาดรูปร่างและสีต่างกัน ซึ่งมีขนาดเล็กประมาณ 3 เซนติเมตร จนถึงใหญ่ประมาณ 10 เซนติเมตร รูปร่างมีทั้งกลม กลมแบน หรือกลมรี ผิวนอกกลีบเป็นมัน ผลดิบมีสีเขียว หรือเขียวอมเทา เมื่อสุกจะมีสีเหลือง สีส้ม หรือสีแดง เนื้อภายในฉ่ำด้วยน้ำมีรสเปรี้ยว มีเมล็ดเป็นจำนวนมาก มะเขือเทศมีหลายพันธุ์ เช่น พันธุ์สีดา พันธุ์โรมาเรตเพียร์ เป็นต้นประโยชน์ของมะเขือเทศช่วยบำรุงผิวพรรณให้ชุ่มชื้นสดใส ไม่แห้งกร้าน มีสารต่อต้านอนุมูลอิสระที่ช่วยลดและชะลอการเกิดริ้วรอยแห่งวัย น้ำมะเขือเทศช่วยเพิ่มความสดชื่นให้แก่ร่างกาย ช่วยเสริมภูมิคุ้มกันของร่างกายให้แข็งแรง มีวิตามินเอซึ่งมีส่วนช่วยบำรุงสายตา มะเขือเทศ มีบีตาแคโรทีน และฟอสฟอรัสในปริมาณมาก มะเขือเทศช่วยในการรักษาสิว ด้วยการนำน้ำมะเขือเทศมาพอกผิวหนัง หรือผานบาง ๆ แล้วนำมาแปะ

หน้าก็ได้ ช่วยทำให้ผิวหน้าเต่งตึงสดใส มะเขือเทศใช้น้ำมาทำเป็นน้ำผลไม้ โดยน้ำผลไม้ที่ขึ้นชื่อก็คือ น้ำมะเขือเทศดอยคำ เป็นที่นิยม ช่วยให้ร่างกายสามารถต่อสู้กับโรคหอบหืดได้มากถึง 45% ช่วยป้องกันโรคสมองเสื่อมหรืออัลไซเมอร์ ช่วยรักษาโรคโลหิตจาง เลือดออกตามไรฟัน ช่วยป้องกันการแข็งตัวของหลอดเลือด มะเขือเทศมีฤทธิ์ในการช่วยขับปัสสาวะ ช่วยรักษาโรคความดันโลหิตสูง ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจ ช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดภาวะเส้นเลือดตีบ การเกิดโรคหัวใจวายสำหรับผู้ที่สูงอายุเป็นประจำ ช่วยป้องกันการเกิดโรคหัวใจขาดเลือด ช่วยในระบบย่อยในกระเพาะอาหาร และช่วยในการขับถ่ายอุจจาระได้สะดวก ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อรา หรือเชื้อราที่ปาก ช่วยลดความเสี่ยงจากการเกิดโรคมะเร็งลำไส้ ช่วยลดความเสี่ยงจากโรคมะเร็งต่อมลูกหมากในเพศชายได้ถึง 45% หากรับประทานมะเขือเทศเป็นประจำ ช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งรังไข่

2.2 มะเขือเทศราชินี

มะเขือเทศราชินีเป็นมะเขือเทศที่ผลเล็ก รสชาติหวาน เนื้อแน่นมีกลิ่นหอมต่าง และมีสารบีตา-แคโรทีน วิตามินซีและวิตามินอีสูงการปลูกจะเก็บเกี่ยวได้ภายใน 90 วัน ผลผลิตเฉลี่ย 2,000-4,000 กิโลกรัม/ไร่ การแปรรูป สามารถนำผลไปทำมะเขือเทศราชินีอบแห้ง และมะเขือเทศราชินีแช่แข็ง



รูปที่ 2.1 มะเขือเทศราชินี

2.3 โรงเรือนสำหรับปลูกมะเขือเทศ

ขนาด กว้าง 6 เมตร ยาว 12 เมตร สูง 2 เมตร



รูปที่ 2.2 โรงเรือน

2.3.1 Even Span เป็นโรงเรือนที่นิยมสร้างกันโดยทั่วไปเนื่องจากก่อสร้างได้ง่าย มีลักษณะหลังคาเป็นสามเหลี่ยมหน้าจั่วนิยมสร้างเป็นโรงเรือนขนาดใหญ่ โรงเรือนเดี่ยวหรือสร้างติดกันหลายโรงเรือนสามารถติดตั้งอุปกรณ์เสริมสำหรับใช้ในโรงเรือน เช่น ระบบทำความเย็น ระบบทำความร้อนและระบบระบายอากาศโรงเรือนแบบนี้จะประหยัดพลังงาน เนื่องจากสามารถจัดการพลังงานได้อย่างเป็นระบบภายในโรงเรือนเดี่ยวและเหมาะกับการเพิ่มความยาวนานวันให้กับพืชเช่นเบญจมาศและพืชวันยาว

2.3.2 พอลิเอทิลีน (Poly ethylene, PE) พอลิเอทิลีนที่ใช้ทำพลาสติกมีทั้งชนิดที่มีความหนาแน่นต่ำและความหนาแน่นสูง สามารถโค้งงอได้ง่ายโดยไม่ต้องผสมสารโมเลกุลเล็กที่เป็นพลาสติกไซเซอร์ แต่ต้องเติมสารที่ป้องกันการเกิดออกซิเดชันและช่วยให้เสถียรต่อแสงอัลตราไวโอเล็ต มีลักษณะผิวคล้ายซีลิ่งไม่เกาะติดน้ำยืดหยุ่นได้ดี เมื่ออยู่ในอุณหภูมิมีต่ำกว่า ๑๐ องศาเซลเซียสและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สามารถแพร่กระจายผ่านพลาสติกชนิดนี้ได้ โดยที่การคาร์บอนไดออกไซด์สามารถผ่านได้ดีเป็น 3 เท่าของการออกซิเจนมีอัตราการแพร่ต่ำกว่าและในขณะเดียวกันก็ลดการผ่านออกของไอน้ำ PE มีอายุการใช้งานสั้นประมาณ 14-30 เดือนโดยมักฉีกขาดและเสียหายในฤดูร้อน

2.3.3 อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญและมีอิทธิพลต่อการเจริญเติบโตของพืชสิ่งมีชีวิตทุกชนิดในโลกประกอบขึ้นด้วย อะตอมอัตรการเคลื่อนไหวของอะตอมขึ้นอยู่กับอุณหภูมินอกจากนี้

อุณหภูมิจะมีอิทธิพลต่อขบวนการทางฟิสิกส์และทางเคมีในพืช ซึ่งขบวนการทั้งสองจะควบคุมปฏิกิริยาทางชีวภาพในพืชอุณหภูมิสำหรับการเจริญเติบโตของพืชแบ่งออกได้ดังนี้คืออุณหภูมิต่ำสุด (Minimum Temperature) ถ้าหากอุณหภูมิต่ำกว่าจุดนี้พืชจะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ถึงแม้จะมีแสงและความชื้นสัมพัทธ์อย่างเพียงพออุณหภูมิที่เหมาะสม (Optimum Temperature) อุณหภูมิที่พืชสามารถเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิสูงสุด (Maximum Temperature) ถ้าหากอุณหภูมิต่ำกว่าจุดนี้ที่จะไม่สามารถเจริญเติบโตไปได้ถึงแม้จะมีแสงและความชื้นสัมพัทธ์อย่างเพียงพอ

2.3.4 แสงและการเจริญของพืช แสงมีอิทธิพลทั้งทางตรงและทางอ้อมต่อพืชเนื่องจากแสงเป็นแหล่งพลังงานในการสังเคราะห์คาร์บอนไดออกไซด์ให้เป็นอาหารเบื้องต้นตลอดจนขบวนการต่าง ๆ ของพืชในกรณีที่ไม่มีแสงพืชจะให้อาหารสำรองในต้นจนกระทั่งหมดไปต่อจากนั้นพืชจะตายพืชที่เจริญในที่มืดจะมีอาการผิดปกติใบสีขาวลำต้นขนาดเล็กยึดตัวบิดงอใบไม่เปิดเต็มที่รากไม่สมบูรณ์เนื้อเยื่ออ่อนน้ำข่อยาวซึ่งเรียกอาการนี้ว่า Etiolation

2.3.5 ความเข้มของแสง (Light Intensity) ความต้องการความเข้มของแสงในพืชแต่ละชนิด จะต่างกันปกติในสภาพความเข้มของแสงต่ำ จะทำให้เซลล์พืชขยายตัวได้มากและรวดเร็วมีการแบ่งตัวมากแต่เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมีการแก่ตัวช้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการปลูกพืชในสภาพที่มีความเข้มของแสงต่ำมาก ๆ ลำต้นจะยาวใบขาวซีดไม่มีเม็ดสีเขียวหรือคลอโรฟิลล์ความเข้มของแสงต่ำกว่า 0.4 แรงเทียน จะจำกัดการสังเคราะห์แสงอัตราการสังเคราะห์แสงจะขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงโดยอัตราการสังเคราะห์จะสูงขึ้นตามความเข้มของแสงจนกระทั่งถึงระดับสูงสุดที่เรียกว่า Saturated

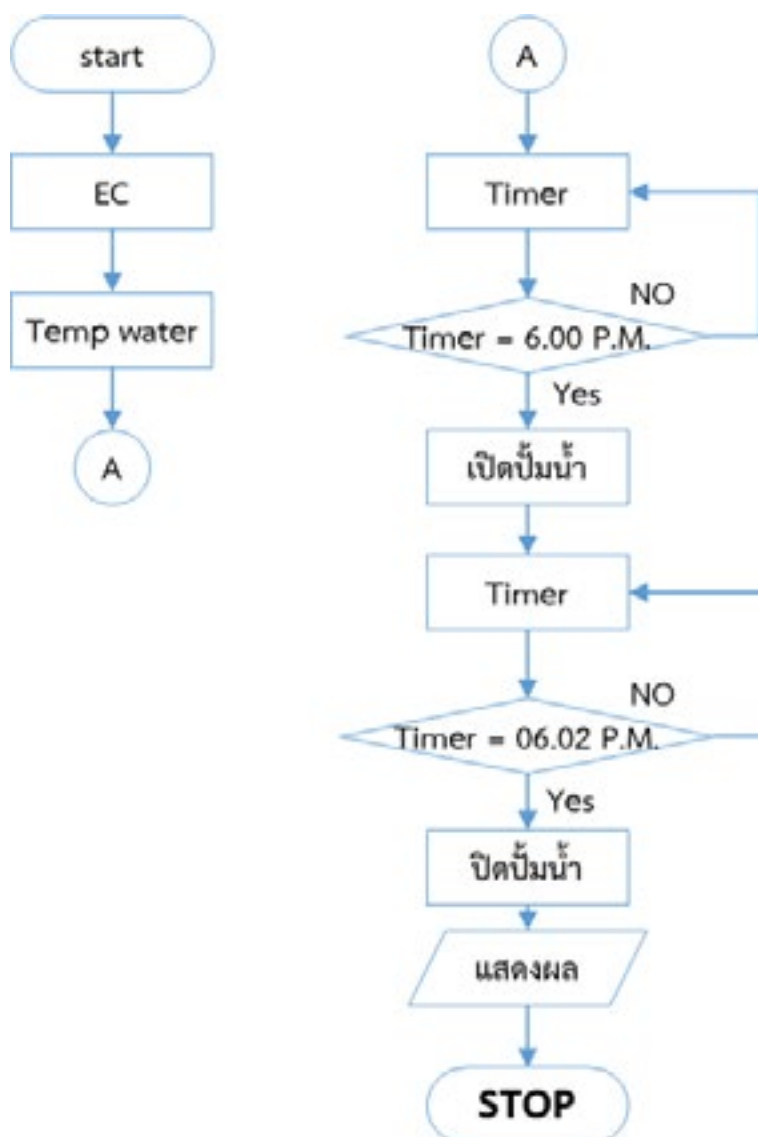
2.3.6 คุณภาพของแสง (Diode quality) คุณภาพของแสงจะขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแสงโดยแสงใน Spectrum มีเจ็ดสีสีแดงเป็นคลื่นแสงที่ยาวที่สุดสีม่วงสั้นที่สุดแสงที่มีความยาวคลื่นมาก จะมีผลต่อการยึดตัวของลำต้นน้อยส่วนแดงที่มีคลื่นสั้นจะมีอิทธิพลต่อการยึดของลำต้นมากแสงที่มีประโยชน์ต่อการขยายตัวของใบ

จะให้ผลตรงข้ามกับการยึดตัวของลำต้นการปลูกพืชในที่ ๆ มีแสงอัลตราไวโอเล็ต (สีม่วง) มากพืชจะตายและถ้าหากได้รับแสงอินฟราเรด (สีแดง) ที่มีความเข้มสูงพืชจะเป็นอันตรายได้อัตราการเจริญของพืชภายใต้แสงสีเขียวจะต่ำกว่าการปลูกพืชภายใต้แสงสีน้ำเงิน-ม่วงหรือส้ม-แดง ความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์ (Relative Humidity) ในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์สูงหรือต่ำเกินไป โรคจะเข้าทำลายได้ง่ายดังนั้นในกรณีที่ความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์ต่ำควรให้น้ำระยะที่พืชเจริญเติบโตและระยะติดตามผลจะต้องการความชื้นสัมพัทธ์

2.3.7 สัมพัทธ์ช่วงกลางวันสูงความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์ที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของพืชผักอยู่ระหว่าง 50-70% RH

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการสร้างโรงเรือนสำหรับปลูกมะเขือเทศราชินี ให้มีความกว้าง 6 เมตร ความยาว 12 เมตร ความสูง 3.5 เมตร โดยจะใช้โปรแกรม SOLIDWORK เข้ามาช่วยในการออกแบบโครงสร้างของตัวโรงเรือน ให้มีลักษณะที่เหมาะสมต่อการใช้งานใช้เซ็นเซอร์ SHT11 [6] ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ และใช้เซ็นเซอร์ BH1750 [7] ในการวัดความเข้มแสง เมื่ออุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสง ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้หลอดไฟและพัดลมจะทำงานโดยอัตโนมัติ เมื่ออุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และแสง มีค่าตามที่กำหนด หลอดไฟ และพัดลมจะหยุดทำงานทันที แล้วใช้ เซ็นเซอร์ EC และ DS18B20 [8] การวัดอุณหภูมิ น้ำ ใช้เซ็นเซอร์ HC-SR04 [9] ในการวัดความสูงของระดับน้ำในถังแล้วคำนวณกลับเป็นปริมาตรน้ำ เมื่อด่าน้อยกว่าที่กำหนดชุดควบคุมจะสั่งการให้โซลินอยด์วาล์วจะทำงานโดยอัตโนมัติเพื่อเติมน้ำเข้าระบบ DS1302 [10] Real Time Clock ในการจับเวลาในการเปิดปิดน้ำเมื่อค่าเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ ปั๊มน้ำจะทำงานโดยอัตโนมัติ ค่าการแสดงผลจะถูกส่งข้อมูลผ่าน ESP8266 [11] ไปยังระบบคราวด์ด้วยเว็บไซต์ Thing Speak (ผู้ให้บริการ Cloud) และโปรแกรม LabVIEW โดยแสดงการทำงานของระบบดังนี้

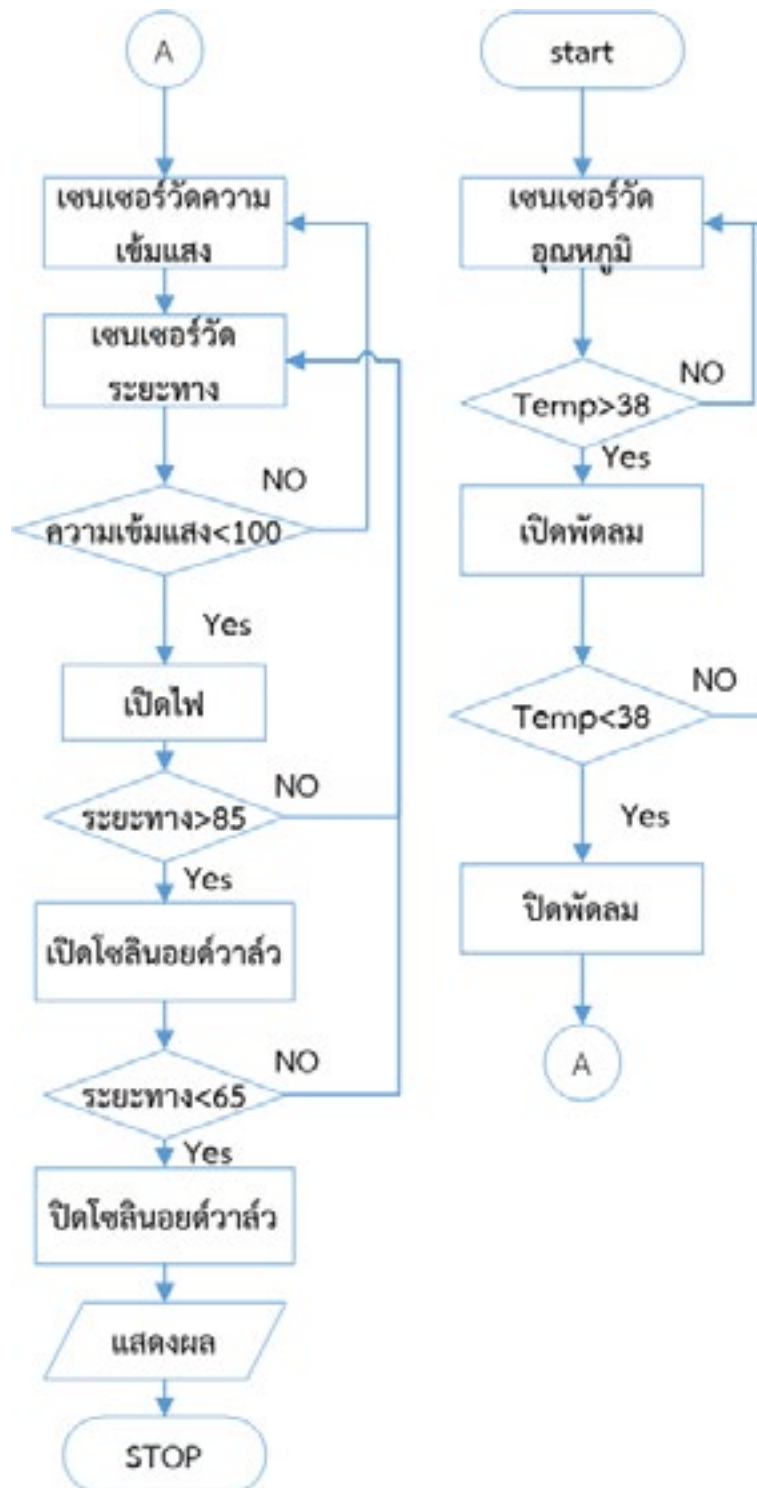


รูปที่ 3.6 การทำงานของระบบภายในโรงเรือน

ใช้โปรแกรม LabVIEW รับค่า อุณหภูมิ ความชื้น สัมผัส แสง ค่า EC และค่าระยะทางความสูงของน้ำ นำมาแสดงผลบนโปรแกรม LabVIEW แล้วยังสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ต่างแบบ manual ได้

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

ทำการเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของต้นมะเขือเทศราชินีในโรงเรือนที่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมผัส และ



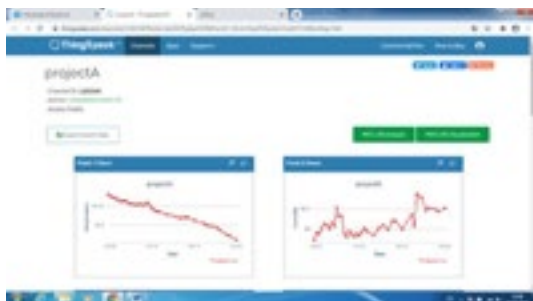
รูปที่ 3.7 การทำงานของระบบภายในโรงเรือน (ต่อ)

ความเข้มแสง กับมะเขือเทศที่ปลูกในดิน ที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงว่าให้ผลต่างกันอย่างไร โดยการวัดความสูงของต้นมะเขือเทศราชินีและบันทึกผล เป็นเวลา 5 วัน และนำมา

เปรียบเทียบว่าในแต่ละวันมีการเจริญเติบโตต่างกันอย่างไร



รูปที่ 3.8 การแสดงผลและการควบคุมด้วยโปรแกรม LabVIEW



รูปที่ 3.9 การแสดงผลผ่าน Thing Speak (ผู้ให้บริการ Cloud)

3.1.2 วิธีการเก็บข้อมูล

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงค่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนและอุณหภูมิภายนอกโรงเรือน

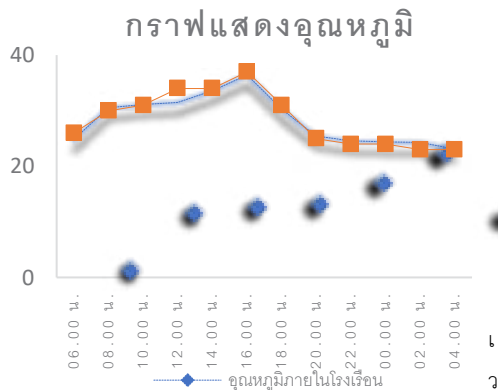
เวลา	อุณหภูมิภายในโรงเรือน (°C)	อุณหภูมิภายนอกโรงเรือน(°C)
06.00 น.	24.89	26
08.00 น.	30.56	30
10.00 น.	31.12	31
12.00 น.	31.48	34
14.00 น.	33.57	34
16.00 น.	36.42	37
18.00 น.	30.22	31
20.00 น.	25.47	25
22.00 น.	24.54	24
00.00 น.	24.34	24
02.00 น.	24.26	23
04.00 น.	23.11	23

เก็บข้อมูลอุณหภูมิในโรงเรือนและนอกโรงเรือน เพื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยและเปรียบเทียบกันและเก็บข้อมูลของการเจริญเติบโตในแต่ละวัน

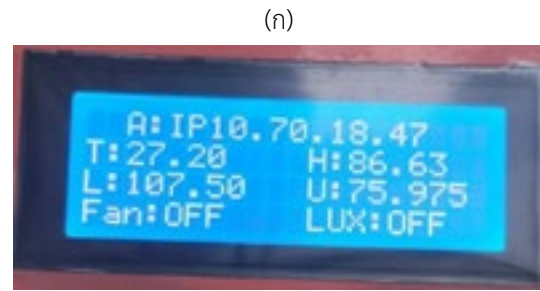
4. ผลการวิจัย

จากการศึกษาและได้ออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงของโรงเรือนปลูกมะเขือเทศราชินีเพื่อนำระบบดังกล่าวมาทดสอบการทำงานทำให้ทราบว่าสามารถควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความเข้มแสงได้จริงหรือไม่ โดยสร้างเงื่อนไขการทำงานโดยกำหนดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และค่าความเข้มแสงที่เหมาะสมสำหรับการปลูกมะเขือเทศราชินี ซึ่งได้ผลการทดสอบระบบควบคุมโรงเรือนปลูกมะเขือเทศราชินี ได้ผลดังตารางที่ 4.1 ตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3 การทดสอบการทำงานของระบบควบคุมที่ได้ออกแบบตามเงื่อนไขในตารางที่ 4.1 โดยจะทำการวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงในทุก ๆ 2 ชั่วโมง ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบควบคุมสามารถทำงานให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่ออกแบบไว้

4.1 การวัดค่าอุณหภูมิในโรงเรือน



รูปที่ 4.1 อุณหภูมิภายในโรงเรียนและภายนอกโรงเรียน



รูปที่ 4.2 การทำงานของพัดลม
ถ้าสภาพแวดล้อมเหมาะสม

จากตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างข้างนอกและข้างในของโรงเรียนจะเห็นได้ว่าความแตกต่างของอุณหภูมิข้างในโรงเรียนจะเย็นกว่าข้างนอกโรงเรียนโดยทำการเก็บผลการทดลองเป็นชั่วโมงทุก ๆ 2 ชั่วโมงเก็บผลการทดลองวัดค่าอุณหภูมิทั้ง ความชื้นสัมพัทธ์ จากการเก็บผลการทดลอง

4.2 การเปรียบเทียบระหว่างโรงเรียนปลูกมะเขือเทศราชินีในโรงเรียนกับการปลูกมะเขือเทศในดิน

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบระหว่างการปลูกมะเขือเทศราชินีในโรงเรียนกับการปลูกมะเขือเทศราชินีในดิน

วัน/เดือน/ปี	ต้นมะเขือเทศราชินีในโรงเรียนที่มีระบบควบคุม	ปลูกมะเขือเทศราชินีนอกโรงเรียน
	ความสูง (cm)	ความสูง (cm)
3/11/63	200	50
4/11/63	204	50.2
5/11/63	208	50.3
6/11/63	212	50.4
7/11/63	216	50.5
ค่าเฉลี่ย	208	50.28



รูปที่ 4.3 ความสูงของมะเขือเทศราชินี

จากตาราง 4.2 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการปลูกมะเขือเทศราชินีในโรงเรือนกับการปลูกมะเขือเทศราชินีในดินโดยเก็บผลการทดลองเป็นเวลา 5 วัน พบว่า การปลูกมะเขือเทศราชินีที่มีระบบควบคุมในโรงเรือนจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าการปลูกในดิน ค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของมะเขือเทศราชินีในโรงเรือนจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 78.86 % ซึ่งเป็นผลจากระบบควบคุมสภาพแวดล้อมภายในโรงเรือน

4.3 การแสดงผลของค่าความเข้มแสงและการเปิด-ปิด ไฟในโรงเรือนปลูกมะเขือเทศราชินี

ตารางที่ 4.3 การแสดงผลของค่าความเข้มแสงและการ เปิด-ปิด ไฟในโรงเรือนปลูกมะเขือเทศราชินี

เวลา	ค่าความเข้มแสง (Lux)	ON/OFF
00.00	-8	ON
02.00	-8	ON
04.00	-8	ON
06.00	543.63	OFF
08.00	1423.65	OFF
10.00	1867.89	OFF
12.00	14986.9	OFF
14.00	12454	OFF
16.00	123.09	OFF
18.00	55.87	ON
20.00	22.58	ON
22.00	10.88	ON



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.4 การทำงานของหลอดไฟเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมในตอนกลางคืน

5. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองทำให้ทราบถึง ประสิทธิภาพ การควบคุมอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์สัมพัทธ์และความเข้มแสง ในโรงเรือนปลูกมะเขือเทศราชินี รวมถึง สภาพแวดล้อมที่เหมาะสมต่อ การปลูกมะเขือเทศราชินี เพื่อการควบคุมผลการผลิตให้มีคุณภาพ โดย สภาพแวดล้อมในโรงเรือนมีปัจจัยสภาวะบรรยากาศ สำหรับปลูกมะเขือเทศราชินี 3 ส่วนคือ

1) อุณหภูมิภายในโรงเรือนที่เหมาะสม กำหนดค่าไว้ที่ไม่เกิน 30 °C ถ้าอุณหภูมิเกินกว่า 30 °C พัดลมจะทำงานเพื่อระบายความร้อนภายในโรงเรือน

2) การปลูกมะเขือเทศราชินีที่มีระบบควบคุมในโรงเรือนจะเจริญเติบโตได้ดีกว่าปลูกในดินค่าเฉลี่ยของการเจริญเติบโตของมะเขือเทศจะเพิ่มสูงขึ้นประมาณ 78.86 % ซึ่งเป็นผลจากระบบควบคุมภายในโรงเรือน

3) ความเข้มแสงในโรงเรือน การ เปิด-ปิด ไฟในโรงเรือนปลูกมะเขือเทศราชินี จะเห็นได้ว่าค่าความเข้มแสง (Lux) ต่ำกว่า 100 หลอดไฟจะทำการเปิด ถ้ามากกว่า 100 หลอดไฟจะทำการปิด

ซึ่งผลการทดสอบนี้เป็นการยืนยันว่าอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มแสงมีผลต่อการเจริญเติบโตต่อมะเขือเทศราชินีนอกจากระบบควบคุมจะสามารถใช้โรงเรือนได้แล้วยังสามารถนำระบบควบคุมไปประยุกต์ใช้งานที่ต้องการควบคุมอุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์และความเข้มแสง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับจากทุนอุดหนุนทำปริญญา นิพนธ์ของสาขาวิศวกรรมเกษตรและชีวภาพ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

7. เอกสารอ้างอิง

[1] เสาวณี เขตสกุล. เทคโนโลยีการผลิตมะเขือเทศ. กรมวิชาการเกษตร 2558. .

[2] การศึกษาหาปริมาณการใช้น้ำ ที่เหมาะสมของมะเขือเทศราชินี , วารสารข่าวเกษตรชลประทาน ปีที่ 18 ฉบับที่ 69 2557. ISSN 1513-0215.

[3] Nitesh Pradhan, SCADA System Design Using LabVIEW, ISBN: 9781649834065.

[4] <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduiON-relay-control>

[5] <https://create.arduiON.cc/projecthub/techstudycell/how-to-make-smart-home-using-arduiON-control-relay-module-3ada68> .

[6] <https://datasheetpdf.com/pdf-file/779945/Sensirion/SHT11/1>.

[7] <https://www.datasheetq.com/datasheet-download/190684/1/ROHM/BH1750FVI>.

[8] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/58557/DALLAS/DS18B20.html>.

[9] <https://datasheetpdf.com/pdf-file/1380137/HandsOn/HC-SR04/1>.

[10] <https://pdf1.alldatasheet.net/datasheet-pdf/view/58478/DALLAS/DS1302.html>.

[11] <https://components101.com/development-boards/ONdemcu-esp8266-piONut-features-and-datasheet>.





สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (ดอยสะเก็ด)
98 หมู่ 8 ตำบลป่าปึง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220
สำนักงาน โทร. 0 5326 6518 ต่อ 1025 (งานพัฒนานวัตกรรมและทรัพย์สินทางปัญญา)
e-mail : crci.rmutl@gmail.com เว็บไซต์ : <https://rmutl.ac.th/crci>