ถ่านชีวภาพในการหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์

บัญจรัตน์ โจลานันท์
ธัญลักษณ์ คเวสก์สุกุล
วิศณุกร ยาติรัตน์
พรทิวา ธรรมชัย
ภัทรพล ทองนรินทร์

แก้วปัญญา Kaewpanya

ISBN 978-616-8337-24-0
ISBN (e-Book) 978-616-8337-23-3

ถ่านชีวภาพ
ในการหมักปุ๋ย
ขยะอินทรีย์

คำนำ

จากข้อมูลเชิงประจักษ์ของประเทศโดยกรมควบคุมมลพิษ (2566) ได้รายงานสถานการณ์ภาพรวมปริมาณขยะมูลฝอยชุมชนในปี พ.ศ. 2564 ประมาณ 24.98 ล้านตัน ซึ่งประกอบด้วยขยะอินทรีย์ ประเภทขยะเศษอาหารสูงถึงร้อยละ 38.76 หรือคิดเป็นประมาณ 4.68 ล้านตัน ซึ่งสามารถนำขยะเศษอาหารเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์เป็นอาหารสัตว์หรือหมักทำปุ๋ยได้ ด้วยประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศที่ร้อนชื้น ดังนั้นขยะอินทรีย์โดยเฉพาะขยะเศษอาหารมักเน่าเสียได้ง่ายอย่างรวดเร็ว ทำให้ส่งกลิ่นเหม็น เกิดมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางอากาศ น้ำ และดินรวมทั้งเป็นแหล่งกำเนิดและเพาะพันธุ์เชื้อพาหะนำโรคต่าง ๆ เนื่องจากลักษณะโดยทั่วไปของขยะอินทรีย์หรือขยะเปียกนั้นจะเป็นขยะที่มีความชื้นสูง และสามารถย่อยสลายได้อย่างรวดเร็ว หากเมื่อปะปนอยู่กับขยะประเภทอื่นจะทำให้ยากต่อการจัดการขยะและมักปนเปื้อนจากน้ำชะขยะ ซึ่งมีสภาพค่อนข้างเป็นกรดและสกปรกสูง นอกจากนี้ ภายในหลุมหรือบ่อฝังกลบขยะที่เต็มไปด้วยขยะเศษอาหารผลจากการบดอัดและการย่อยสลายของเซลล์ขยะมักทำให้เกิดสภาพการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ซึ่งเป็นต้นกำเนิดของก๊าซเรือนกระจกที่ถูกปล่อยเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซมีเทน เป็นต้น ดังนั้นจึงควรมีแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะเศษอาหารอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพื่อลดและหลีกเลี่ยงปัญหาดังที่กล่าวมาข้างต้น

ปัจจุบันการหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์ในระดับครัวเรือน ถือว่า ได้รับความนิยมมากขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นผลจากการส่งเสริมและสนับสนุนโดยหน่วยงานภาครัฐและเอกชนให้เกิดการจัดการขยะอินทรีย์จำพวกขยะเศษอาหารอย่างถูกต้องและต่อเนื่อง อาทิ กระทรวงมหาดไทย โดยกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 ได้ดำเนินโครงการถังขยะเปียกลดโลกร้อน (ถังรักษ์โลก) ขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น (อปท.) โดยส่งเสริมให้ อปท. สนับสนุนการจัดทำหรือจัดหาถังขยะเปียกให้แก่ชุมชนท้องถิ่น (ครัวเรือน/ศูนย์พัฒนาเด็กเล็ก/สถานศึกษาในสังกัด) เพื่อเป็นการส่งเสริมการคัดแยกขยะต้นทาง ลดการปนเปื้อนขยะเปียกกับของเหลือใช้อื่นๆ ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ตลอดจนลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยการหมักทำปุ๋ย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากลักษณะของวัสดุหมักของขยะเศษอาหาร ที่มีความชื้นสูงและมีสภาพค่อนข้างเป็นกรด จึงมีแนวคิดในการนำถ่านชีวภาพซึ่งมีคุณสมบัติความพรุนตัวและค่อนข้างเป็นด่างมาประยุกต์ใช้ในการหมักปุ๋ยร่วมกับขยะเศษอาหารจากครัวเรือนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะอินทรีย์จากครัวเรือนให้ถูกต้องตามหลักวิชาการ

หนังสือองค์ความรู้ ถ่านชีวภาพกับการหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์ จึงจัดทำขึ้นเพื่อจัดการความรู้และประโยชน์ต่อการจัดการขยะอินทรีย์จากครัวเรือน ซึ่งได้อธิบายแนวคิดและกระบวนการหมักปุ๋ยร่วมกับถ่านชีวภาพที่น่าสนใจอย่างเป็นขั้นตอน สำหรับเนื้อหาในหนังสือองค์ความรู้ฉบับนี้ ครอบคลุมความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ สถานการณ์ขยะของประเทศ ขยะอินทรีย์และแนวทางการจัดการ ถ่านชีวภาพและการใช้ประโยชน์ ตลอดจนกรณีศึกษาประโยชน์ของถ่านชีวภาพในการหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์ ทั้งนี้เพื่อให้ท่านผู้อ่านและผู้ที่สนใจสามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ ต่อยอดและขยายผลด้วยตนเองได้ตามลำดับ และหากมีข้อผิดพลาดประการใดปรากฏอยู่ในหนังสือองค์ความรู้ฉบับนี้ คณะผู้เรียบเรียงขอน้อมรับไว้เพื่อการปรับปรุงในโอกาสต่อไป

สารบัญ

5 สถานการณ์ขยะของประเทศ

7 หลักการและแนวทางการจัดการขยะ ณ แหล่งกำเนิด

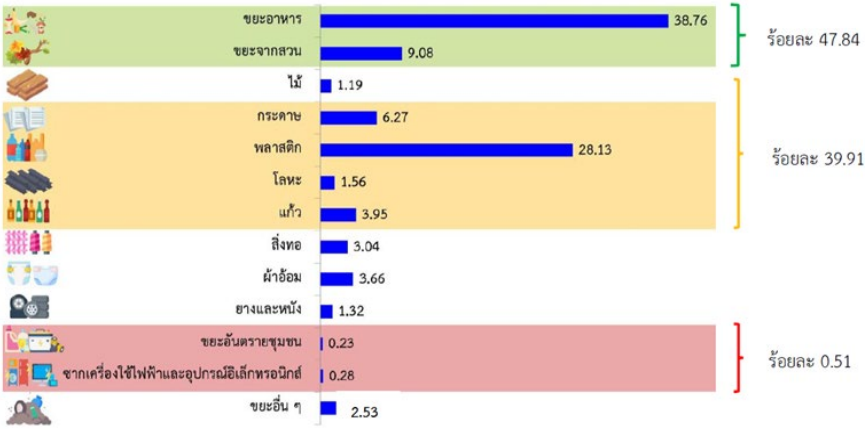
11 ขยะอินทรีย์และแนวทางการจัดการ

25 กรณีศึกษาการหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์ (ขยะเศษอาหาร) ร่วมกับถ่านชีวภาพ

31 ความสรุป

สถานการณ์ขยะของประเทศ

จากสถานการณ์ขยะมูลฝอยล่าสุด ปี พ.ศ.2560-2564 ซึ่งรายงานโดยกรมควบคุมมลพิษ (2565) พบว่า ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นของประเทศแปรผันอยู่ในช่วงประมาณ 24.98-28.71 +-1.63 ล้านตันต่อปี และจากผลการสำรวจองค์ประกอบขยะมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ปี 2564 (ภาพที่ 1) พบว่าขยะอาหาร/ขยะจากสวนที่สามารถนำไปหมักทำปุ๋ยมีปริมาณมากที่สุด สูงถึงร้อยละ 47.84 รองลงมา คือ ขยะรีไซเคิล (กระดาษ พลาสติก โลหะ และแก้ว) สูงถึงร้อยละ 39.91 ขยะอื่นๆ ที่อาจไม่สามารถคัดแยกและนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ประมาณร้อยละ 10.55 รวมทั้งยังพบของเสียอันตรายและซากผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ปะปนมากับขยะมูลฝอยชุมชน (ร้อยละ 0.51) ตามลำดับ



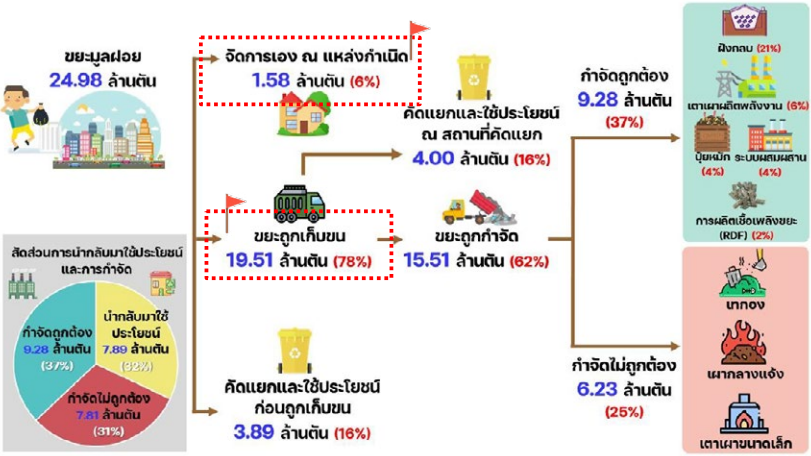
ภาพที่ 1 องค์ประกอบขยะมูลฝอย ณ สถานที่กำจัดขยะมูลฝอย ปี 2564

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2565)

จากข้อมูลเชิงประจักษ์ (ภาพที่ 1) ชี้ให้เห็นว่าการคัดแยกขยะที่ต้นทางของประชาชนทั้งในครัวเรือนและตามแหล่งกำเนิดต่างๆ ยังคงมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลน้อย จึงอาจทำให้ขยะมูลฝอยโดยเฉพาะขยะเปียก (ขยะเศษอาหาร) ถูกทิ้งปะปนกันเป็นจำนวนมาก ผลที่ตามมา คือ ก่อให้เกิดปัญหาต่อระบบคัดแยกและนำกลับคืนไปใช้ประโยชน์ในภายหลัง (ซึ่งทำได้ยาก) ในที่สุดย่อมส่งผลกระทบต่อระบบกำจัดที่ปลายทาง

ของท้องถิ่นและประเทศรวมทั้งปัญหามลพิษและการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมโดยรวม หากมีการจัดการปลายทางอย่างไม่ถูกต้อง เช่น การลักลอบทิ้งแบบเทกองและการเผาทำลายกลางแจ้ง เป็นต้น

หากวิเคราะห์การจัดการขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศ ปี 2564 (ภาพที่ 2) ที่รายงานโดยกรมควบคุมมลพิษ (2565) เห็นได้ว่าหากประมาณการภาพรวมปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดร้อยละ 100 พบว่า มีปริมาณขยะซึ่งรวมถึงขยะเศษอาหารหรือขยะเปียกที่ไม่มีการคัดแยกต้นทางถูกเก็บขนรวมสูงถึงร้อยละ 78 นอกจากนี้ยังมีขยะมูลฝอยที่ชุมชนท้องถิ่นจัดการด้วยตนเอง ณ แหล่งกำเนิด ซึ่งไม่พบข้อมูลที่ชัดเจนว่ามีการคัดแยกและจัดการอย่างถูกต้องหรือไม่อีกประมาณร้อยละ 6 ดังนั้น หากประมาณปริมาณขยะเปียกที่เกิดขึ้นจากทั้งสองส่วนนี้สามารถคิดเป็นร้อยละ 40.32 ของปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมด หรือ 10.72 ล้านตันต่อปี สะท้อนให้เห็นถึงโอกาสในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศ หากการคัดแยกต้นทางมีประสิทธิผลและสามารถกำจัดหรือเปลี่ยนรูปขยะเศษอาหาร (ขยะเปียก) ณ แหล่งกำเนิดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการเพิ่มสูงขึ้นโดยเฉพาะการจัดการที่ต้นทาง อาจส่งผลให้ปริมาณขยะรีไซเคิลเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ลดปัญหา/อุปสรรค/ข้อจำกัดด้านต่างๆ ในการบริหารจัดการขยะกลางทางและปลายทางของชุมชนและท้องถิ่น อาทิ งบประมาณ/เทคโนโลยี/พื้นที่/บุคลากร ฯลฯ เหล่านี้เป็นต้น

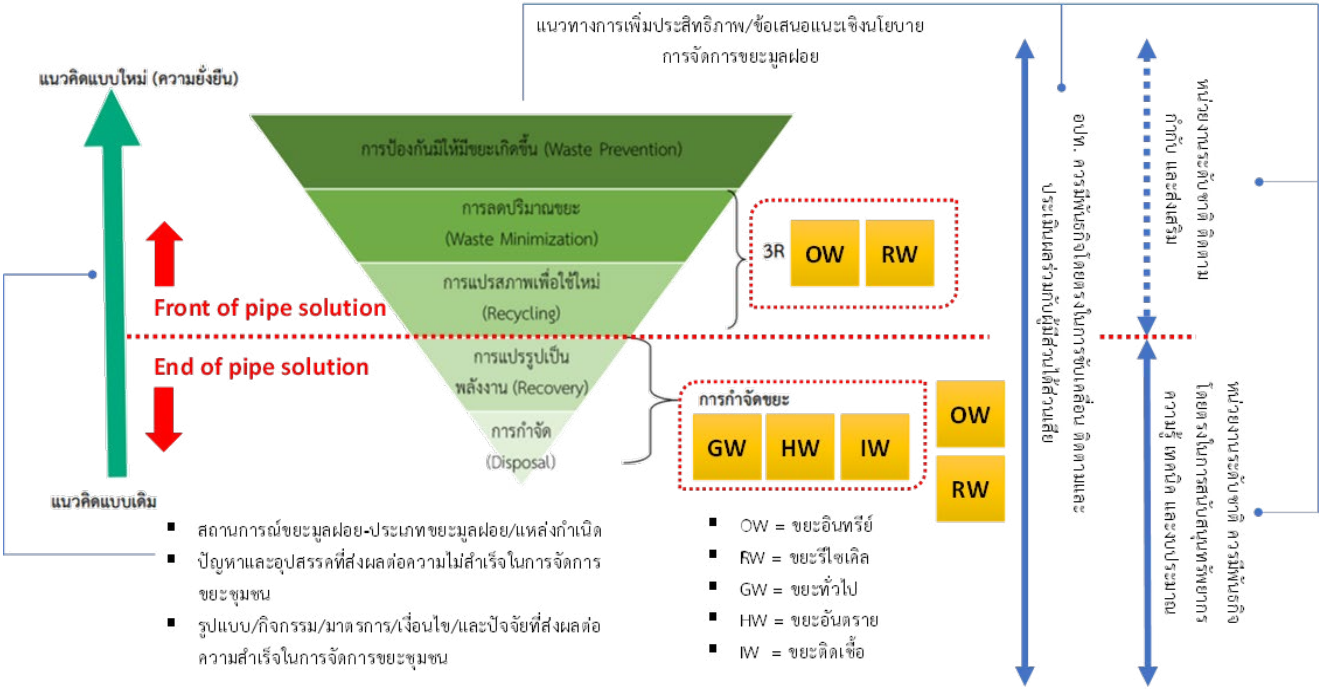


ภาพที่ 2 ภาพรวมการจัดการขยะมูลฝอยของประเทศ ปี 2564

ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2565)

หลักการและแนวทางการจัดการขยะ ณ แหล่งกำเนิด

สำหรับกรอบแนวคิดและหลักการสำคัญที่มุ่งสู่แนวทางหรือแนวปฏิบัติการจัดการขยะประเภทต่างๆ ณ แหล่งกำเนิดอย่างมีประสิทธิผล ถูกต้องตามหลักวิชาการ และบรรลุเป้าหมายการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศในอนาคต ซึ่งกรมควบคุมมลพิษ (2565) ได้กำหนดค่าเป้าหมายภายในช่วง ปี พ.ศ. 2570 - 2580 การคัดแยกขยะที่ต้นทางของประเทศไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 53.4 การนำไปกำจัดอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ ไม่ควรต่ำกว่าร้อยละ 46.6 โดยใช้เทคโนโลยีสำหรับการกำจัดขยะปลายทางได้แก่ เตาเผาผลิตพลังงาน (29.1%) ระบบอื่น เช่น การหมักปุ๋ย/ระบบผสมผสาน/RDF (11.8%) และการฝังกลบ (5.7%) เป็นต้น ดังนั้นการวิเคราะห์แนวคิด หลักการ และแนวทางการจัดการฯ จำเป็นต้องสอดคล้องกับลำดับความสำคัญของการจัดการขยะรูปแบบใหม่ (The Waste Management Hierarchy) ตามแผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศ ฉบับที่ 2 พ.ศ. 2565-2570 (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 กรอบแนวคิด หลักการ และลำดับความสำคัญของการจัดการขยะรูปแบบใหม่

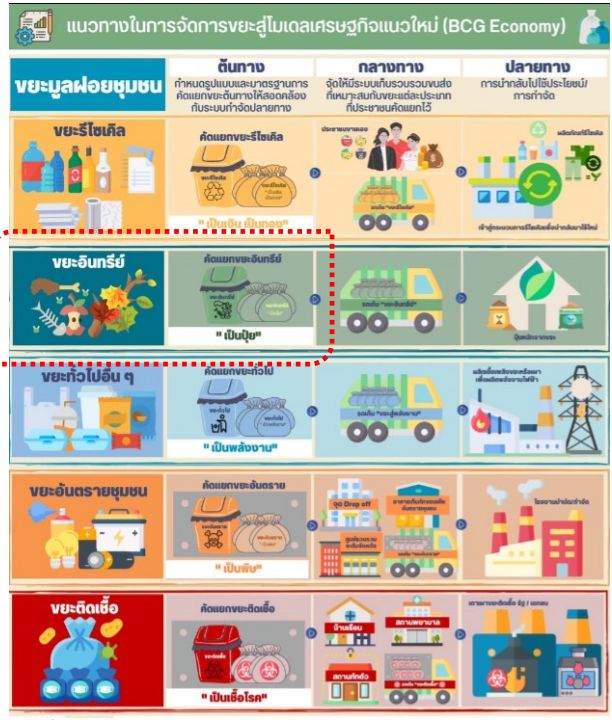
(The waste management hierarchy)

ภาพที่ 3 แสดงกรอบแนวคิดและแนวทางการจัดการ/แนวปฏิบัติสำหรับการจัดการขยะมูลฝอยแต่ละประเภท ณ แหล่งกำเนิดของชุมชน ซึ่งสัมพันธ์กับพันธกิจและบทบาทขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นรวมถึงหน่วยงานภาครัฐระดับชาติที่เกี่ยวข้อง ในการจัดการขยะรูปแบบใหม่เพื่อบรรลุค่าเป้าหมายดังที่กล่าวมาข้างต้น ต้องมุ่งเน้นการจัดการที่ต้นทางเป็นหลักโดยอาศัยมาตรการต่างๆ ร่วมกัน เช่น การป้องกันการเกิดขยะ (Waste Prevention) การลดปริมาณขยะ (Waste Minimization) การแปรสภาพเพื่อใช้ใหม่ (Waste Recycling) ณ แหล่งกำเนิด และนำมาตรการ 3 R (Reduce/Reuse/Recycle) มาขับเคลื่อนและปรับใช้อย่างเข้มข้น อาทิ 1) การลดการใช้ (Reduce) ที่แหล่งกำเนิดเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การผลิต และการบริโภค การลดปริมาณการใช้ลงเหลือใช้เท่าที่จำเป็น หลีกเลี่ยงการใช้อย่างฟุ่มเฟือยเพื่อลดการสูญเปล่าและลดปริมาณขยะให้มากที่สุด 2) การใช้ซ้ำ (Reuse) โดยการนำขยะบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้อีกโดยไม่ผ่านกระบวนการแปรรูปหรือแปรสภาพ และ 3) การนำมาแปรรูปใช้ใหม่ (Recycle) เป็นการนำขยะรีไซเคิลขยะบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุเหลือใช้นำมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบในกระบวนการผลิตหรือผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ ซึ่งการจัดการที่ต้นทาง ณ แหล่งกำเนิดอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยก่อนเข้าสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย (Disposal) ให้เหลือน้อยที่สุด อีกทั้งแนวทางการจัดการยังสอดคล้องกับหลักแนวทางการพัฒนาเศรษฐกิจชีวภาพ–เศรษฐกิจหมุนเวียน–เศรษฐกิจสีเขียว (BCG Model) และเป็นการสนับสนุนลดการเกิดก๊าซเรือนกระจกจากภาคของเสียได้อีกทางหนึ่ง (กรมควบคุมมลพิษ, 2565)

ในการคัดแยกขยะต้นทาง ณ แหล่งกำเนิดให้มีประสิทธิภาพและสามารถส่งต่อการจัดการขยะมูลฝอยกลางทาง-ปลายทางได้โดยง่ายและถูกต้อง จึงควรพิจารณาจำแนกประเภทขยะมูลฝอยชุมชนออกเป็น 5 กลุ่มหลัก ได้แก่ ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล ขยะทั่วไปอื่นๆ ขยะอันตราย และขยะติดเชื้อ (ภาพที่ 3) แม้ว่าในทางปฏิบัติแล้ว องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นจำเป็นต้องมีการจัดการขยะปลายทางซึ่งไม่สามารถคัดแยกขยะทุกประเภทได้หมดโดยวิธีการกำจัดขยะ อย่างไรก็ตาม ชุมชนท้องถิ่นควรให้ความสำคัญต่อการนำมาตรการ 3R มาปรับใช้กับกลุ่มขยะอินทรีย์และขยะรีไซเคิลอย่างจริงจังและต่อเนื่อง ขณะเดียวกันกลุ่มขยะทั่วไปซึ่งสามารถนำไปแปรรูปเป็นพลังงาน (Refuse Derived Fuel, RDF) รวมทั้งขยะอันตรายและขยะติดเชื้อก็ควรถูกคัดแยกขยะที่ต้นทางเพื่อนำส่งไปกำจัดให้ถูกวิธีด้วยเช่นกัน (ภาพที่ 3)

สำหรับแนวทางการจัดการขยะประเภทต่างๆ (ขยะอินทรีย์ ขยะรีไซเคิล ขยะทั่วไปอื่นๆ ขยะอันตราย และขยะติดเชื้อ) กรมควบคุมมลพิษโดย กองจัดการ

ของเสียและสารอันตราย ได้เสนอแนวปฏิบัติการจัดการขยะแต่ละประเภทตลอดทั้งกระบวนการ (ต้นทาง กลางทาง ปลายทาง) เพื่อให้หน่วยงานหรือองค์กรที่เกี่ยวข้องสามารถนำไปปรับใช้โดยมีเป้าหมายมุ่งสู่ผลลัพธ์การจัดการขยะมูลฝอยภาพรวมเชิงรุกของประเทศในอนาคต รวมทั้งความสอดคล้องการจัดการขยะตามหลักการ 3 R และโมเดลเศรษฐกิจแนวใหม่ (Bio-Circular-Green Economy Model, BCG Economy) แสดงดังภาพที่ 4 ภาพที่ 4 ยืนยันและสะท้อนให้เห็นว่า การคัดแยกขยะที่ต้นทางเป็นกุญแจดอกสำคัญและนำไปสู่การจัดการขยะทุกประเภท ณ แหล่งกำเนิด ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ผลจากการคัดแยกขยะต้นทางทำให้ขยะแต่ละประเภทมีทางไปและเกิดการรับช่วงการจัดการได้อย่างมีประสิทธิผล กล่าวคือ 1) ขยะรีไซเคิล ขยะอินทรีย์ และขยะทั่วไปสามารถนำกลับมาหมุนเวียนและใช้ประโยชน์บนฐานเศรษฐกิจแนวใหม่ (ผลิตภัณฑ์และนวัตกรรม/พลังงาน/การเกษตร) ของประเทศเพิ่มสูงขึ้น 2) ลดการปนเปื้อนและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากปัญหาขยะอันตรายและขยะติดเชื้อชุมชน ทั้งในด้านสุขอนามัยตลอดจนสภาพสิ่งแวดล้อมของประชาชน และ 3) เพิ่มประสิทธิภาพให้แก่เทคโนโลยี ลดงบประมาณและบุคลากร ลดความต้องการพื้นที่รวมถึงทรัพยากรต่างๆ ในการกำจัดขยะปลายทาง เป็นต้น



ภาพที่ 4 แนวทางในการจัดการขยะสู่โมเดลเศรษฐกิจแนวใหม่ (BCG Economy)
ที่มา: ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ (2565)

หากพิจารณาแนวทางการจัดการขยะอินทรีย์จากแหล่งกำเนิด (ภาพที่ 4) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย ขยะเศษอาหารและขยะจากสวน (เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้ง) เป็นหลัก แม้ว่า กรมควบคุมมลพิษ (2565) แนะนำให้มีการคัดแยกและทำการเก็บขน (เฉพาะขยะอินทรีย์) เพื่อนำส่งป้อนเข้าสู่โรงหมักทำปุ๋ยตามลำดับ อย่างไรก็ตาม แนวปฏิบัติที่ดีนี้จะสำเร็จลงได้ ชุมชนท้องถิ่นจำเป็นต้องมีความพร้อม (ทรัพยากร) และขีดความสามารถเพื่อรองรับการจัดการกลางทาง (การเก็บขน) และการจัดการปลายทาง (โรงหมักปุ๋ย) อย่างเป็นระบบ ดังนั้นการส่งเสริมการจัดการขยะอินทรีย์ที่ต้นทาง ณ แหล่งกำเนิด โดยใช้วิธีหรือเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน เช่น การหมักทำปุ๋ย/อาหารสัตว์/น้ำหมักชีวภาพ ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งเพื่อลดข้อจำกัดของชุมชนท้องถิ่นและการทิ้งขยะอินทรีย์ปะปนไปกับขยะประเภทต่างๆ ซึ่งอาจก่อผลเสียและความยุ่งยากต่อการจัดการขยะตามมา

ขยะอินทรีย์และแนวทางการจัดการ

ประเทศไทยนั้นขยะอินทรีย์จำพวกเศษอาหารถูกรวบรวมได้มากกว่า 20,000 ตันต่อวัน หากจัดการอย่างไม่ถูกต้องอาจทำให้ส่งกลิ่นเหม็น เกิดน้ำชะขยะที่มีความสกปรกสูง และเป็นแหล่งเพาะพันธุ์พาหะนำโรคต่าง ๆ ตามมา นอกจากนี้ การกำจัดขยะมูลฝอยชุมชนด้วยเทคโนโลยีการฝังกลบ (Sanitary Landfill) หากภายในหลุมฝังกลบปะปนไปด้วยขยะเศษอาหารจำนวนมาก ภายใต้การบดอัดจะทำให้เกิดสภาวะการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Decomposition) ซึ่งการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศนี้เป็นแหล่งปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไนตรัสออกไซด์ และก๊าซมีเทนเข้าสู่ชั้นบรรยากาศที่สำคัญแหล่งหนึ่ง โดยเฉพาะก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกที่มีศักยภาพในการทำให้โลกร้อนถึง 28 เท่าเทียบกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก องค์การมหาชน, 2566) ขณะเดียวกันปัญหาการเผาในที่โล่งจำพวกขยะอินทรีย์จากสวนหรือการเกษตร เช่น เศษใบไม้-กิ่งไม้แห้ง และเศษชีวมวลเหลือทิ้ง ล้วนก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพโดยตรง ตลอดจนทรัพย์สินและคุณภาพสิ่งแวดล้อมของประชาชนในวงกว้างอย่างสำคัญ ดังนั้นเพื่อการจัดการขยะอินทรีย์ให้ถูกต้องและหลีกเลี่ยงปัญหาและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นดังกล่าว แนวทางการใช้ประโยชน์และการนำขยะอินทรีย์มาแปรรูปใช้ใหม่ที่สามารถนำมาปรับใช้สำหรับครัวเรือน/ชุมชน/และท้องถิ่นได้อย่างเหมาะสม เช่น การหมักทำปุ๋ย การผลิตน้ำหมักชีวภาพ การใช้เป็นอาหารสัตว์ และพลังงานหมุนเวียน เหล่านี้เป็นต้น

ปุ๋ยหมักอินทรีย์

ในทางวิชาการนั้น ได้นิยามกระบวนการหมักปุ๋ย (Composting Process) หมายถึง กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพภายใต้สภาวะการควบคุมแบบใช้อากาศ วัสดุหมัก (เศษอินทรียวัตถุ) จะกลายเป็นวัสดุที่คงตัว สีน้ำตาลเข้มถึงดำ เนื้อร่วนซุยลักษณะคล้ายดิน (Humus like) ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นสารบำรุงและปรับปรุงดิน (Soil Fertilizer and Conditioner) ได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งเรียกว่า ปุ๋ยหมัก (Compost) แม้ว่าประมาณเกือบหนึ่งร้อยปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2471) ประเทศไทยเริ่มมีการบันทึกและรายงานวิวัฒนาการเกี่ยวกับการใช้ปุ๋ย (ปุ๋ยคอก ปุ๋ยสด ปุ๋ยผัก ปุ๋ยธาตุผสม ฯลฯ) บำรุงดินและพืช ตลอดจนเทคโนโลยีการหมักปุ๋ยอินทรีย์อย่างต่อเนื่อง (สุพจน์ ชัยวิมล, 2544) อย่างไรก็ตาม มนุษย์เราตั้งแต่ในอดีตล้วนมีภูมิปัญญารู้จักใช้มูลสัตว์ทั้งในรูปของปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยหมักเพื่อเติมธาตุอาหารให้แก่ดินสำหรับการเพาะปลูกในการเกษตรมานานนับพันปี ซึ่งรวมถึงประเทศไทยที่ทำเกษตรกรรมและกสิกรรมเป็นหลักด้วยเช่นกัน สำหรับแนวทางหรือวิธีการหมักปุ๋ยเศษขยะอินทรีย์ที่จะกล่าวถึงพอสังเขป (ภาพที่ 5) ซึ่งใช้กันโดยทั่วไปทั้งระดับครัวเรือนและชุมชนในปัจจุบัน อาทิ เสวียนปุ๋ยหมัก ถังหมักปุ๋ย กองหมักแบบพลิกกลับกอง และกองหมักแบบเติมอากาศ เป็นต้น

สำหรับเศษอินทรีย์วัตถุที่เราสามารถนำมาใช้ในการหมักปุ๋ยได้แก่ มูลสัตว์ เศษขยะอาหาร เศษผักผลไม้ กากตะกอนน้ำเสีย น้ำกากส่า เศษหญ้าและเศษใบไม้สด เศษใบไม้และเศษกิ่งไม้แห้ง รวมถึงเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ฟางข้าว แกลบ ขุยมะพร้าว ก้อนเห็ดเก่า ฯลฯ) ยกเว้นเศษอินทรีย์วัตถุที่มีการปนเปื้อนสารพิษและย่อยสลายยาก เช่น กระดาษแข็งหรือกระดาษอาบมันที่ไม่ควรนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการหมักปุ๋ยอินทรีย์

ถังปุ๋ยหมัก

• ถังหมักปุ๋ย/ถังหมักรักษ์โลก/ทรีนโคน ใช้จัดการขยะอินทรีย์ที่แหล่งทำเกิดโดยเฉพาะครัวเรือน โดยอาศัยกลุ่มจุลินทรีย์ในดินทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ ซึ่งจะช่วยลดการเกิดกลิ่น นอกจากนี้สัตว์ที่เป็นผู้ย่อยสลายขนาดเล็ก เช่น กิ้งกือ และไส้เดือนดินยังสามารถเคลื่อนที่ผ่านเข้าถังหมักไปย่อยสลายเศษอาหารได้อีกทางหนึ่งด้วย

• ข้อดีของถังหมักปุ๋ย/ถังหมักรักษ์โลก/ทรีนโคน ป้องกันขยะอินทรีย์จากครัวเรือนเป็นแหล่งเชื้อโรคหรือไปปนเปื้อนกับขยะอื่นๆ อีกทั้งยังได้ประโยชน์ในเรื่องของธาตุอาหารที่เป็นผลพลอยได้ใช้ในการปรับปรุงดินเหมาะสำหรับครัวเรือน/ชุมชน เป็นต้น

เสวียนปุ๋ยหมัก

• เสวียนไม้ไผ่ สิ่งประดิษฐ์จากภูมิปัญญาดั้งเดิมของท้องถิ่นโดยการนำเสวียนไม้ไผ่มาสานเป็นวงกลม ใช้เป็นคอกปุ๋ยหมัก ที่ช่วยกักเก็บเศษวัสดุใบไม้ใบหญ้าหรือเศษวัชพืช หรือขยะสดจากครัวเรือนเอาไว้ แล้วหมักปล่อยให้ย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยให้แก่ต้นพืชตามธรรมชาติ

• ประโยชน์จากเสวียน ได้แก่ ช่วยลดการใช้ปุ๋ยเคมีลดขยะลดปัญหามลพิษและปัญหาหมอกควันจากการเผา สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้กับชุมชน สามารถปลูกพืชผักสวนครัวเสริมใส่เสวียนได้เหมาะสำหรับการหมักปุ๋ยครัวเรือน/ชุมชน/ กลุ่มเกษตรกร เป็นต้น

กองหมักแบบพลิกกลับกอง

• เทคโนโลยีการหมักปุ๋ยแบบกองแถวลักษณะการเติมอากาศโดยการพลิกกลับกองด้วยแรงงานคนหรือการใช้เครื่องจักรกล เช่น การใช้รถตักในการพลิกกลับกอง เป็นต้น

• ข้อดีของเทคโนโลยีกองแถวแบบพลิกกลับกองคือระบบมีความยืดหยุ่นสูง เกิดการผสมกันของมวลวัสดุหมักอย่างทั่วถึงในระหว่างการพลิกกลับกอง การดำเนินระบบถือว่าง่าย ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการค่อนข้างต่ำ แต่ต้องการแรงงานพื้นที่ และเวลาในการดำเนินการเหมาะสำหรับการหมักปุ๋ยชุมชน/กลุ่มเกษตรกร เป็นต้น

กองหมักแบบเติมอากาศ

• เทคโนโลยีการหมักปุ๋ยแบบกองแถวลักษณะการเติมอากาศอาศัยเครื่องจักรกล เช่น พัดลมอัด/ดูดอากาศ หรือการถ่ายเทความร้อนตามธรรมชาติระหว่างกองปุ๋ยหมักกับอากาศสิ่งแวดล้อม ผ่านท่อเจาะรูหรือปล่องระบายอากาศ เป็นต้น

• ข้อดีของเทคโนโลยีแบบกองแถวแบบเติมอากาศ คือ ไม่จำเป็นต้องใช้แรงงาน หรือเครื่องจักรกลในการพลิกกลับกองและเหมาะสำหรับการหมักวัสดุเศษอินทรีย์ที่มีความชื้นสูง การดำเนินระบบถือว่าซับซ้อนปานกลาง มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต้องการพื้นที่และเวลาในการดำเนินการเหมาะสำหรับการหมักปุ๋ยชุมชน/ กลุ่มเกษตรกร เป็นต้น

ภาพที่ 5 แนวทางการหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์จากเศษอาหารและเศษชีวมวลจากสวนหรือการเกษตร

โดยธรรมชาติแล้ว การหมักปุ๋ย ถือว่าเป็นกระบวนการที่เอื้อต่อการเกษตรและการเลี้ยงสัตว์ในบ้านเราอย่างยิ่ง ทั้งในด้านการจัดการวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งและมูลสัตว์ที่เกิดขึ้นและการใช้ประโยชน์จากปุ๋ยหมักเป็นสารบำรุงและปรับปรุงดินให้เหมาะแก่การเพาะปลูก ทั้งนี้เราสามารถจำแนกวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักปุ๋ยอินทรีย์ออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ 1) วัสดุหมักหลักหรือวัสดุสด หมายถึง เศษวัสดุหลักที่ต้องการกำจัดหรือใช้หมักเพื่อทำปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ เศษอาหาร เศษผักและผลไม้ มูลสัตว์ และเศษอินทรีย์วัตถุเหลือทิ้งจากชุมชน โดยส่วนใหญ่จะเป็นวัสดุหมักที่ย่อยสลายได้ง่ายและมีปริมาณความชื้นรวมถึงธาตุอาหารไนโตรเจนค่อนข้างสูง และ 2) วัสดุหมักร่วมหรือวัสดุแห้ง หมายถึง เศษวัสดุที่ใช้ในการเพิ่มปริมาตร ปรับปรุงโครงสร้าง และสภาพการระบายอากาศให้แก่กองหมัก รวมถึงใช้ปรับอัตราส่วนธาตุอาหาร (คาร์บอนต่อไนโตรเจน) ให้เหมาะสมแก่วัสดุหมัก เช่น เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้ง ขี้เลื่อย ฟางข้าว ขี้เลื่อย แกลบ ฯลฯ เป็นต้น ดังนั้นสำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีการทำฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในทุกระดับ (เล็ก กลาง ใหญ่) นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาอุตสาหกรรมการแปรรูปผลิตภัณฑ์การเกษตรและอาหารอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น ปริมาณเศษอินทรีย์วัตถุเหลือทิ้งจากภาคการเกษตร การเลี้ยงสัตว์ อุตสาหกรรม และครัวเรือน จึงมีในปริมาณมากและเหมาะแก่การนำมาแปรรูปใช้ใหม่ผลิตเป็นปุ๋ยหมักอินทรีย์สำหรับการบำรุงและปรับปรุงดินได้เป็นอย่างดี (บัญจรัตน์ โจลานันท์, 2556)

น้ำหมักชีวภาพ

โดยหลักพื้นฐานของการผลิตน้ำหมักชีวภาพ (ภาพที่ 6) จะแตกต่างจากการทำปุ๋ยหมักทั่วไป คือ การผลิตน้ำหมักชีวภาพเป็นการหมักวัสดุเหลือใช้ทั้งเศษพืช/เศษอาหาร/ซากสัตว์ (หอยเชอรี่ หัวปลา ก้างปลา ฯลฯ) กับสารให้ความหวาน เช่น กากน้ำตาล/น้ำตาลทราย จนเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ ขณะที่การทำปุ๋ยหมักจะเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ และเมื่อกระบวนการหมักสิ้นสุดลงแล้วจะได้สารละลายเข้มข้นสีน้ำตาล ที่เรียกว่า น้ำหมักชีวภาพ หรือ น้ำสกัดชีวภาพ หรือปุ๋ยน้ำจุลินทรีย์ ซึ่งประกอบไปด้วยจุลินทรีย์และสารอินทรีย์หลากหลายชนิด เช่น คาร์โบไฮเดรต กรดอินทรีย์ กรดอะมิโน กรดฮิวมิก เอนไซม์ วิตามิน ฮอร์โมน และแร่ธาตุต่างๆ เป็นต้น (กรมวิชาการเกษตร, 2548) เนื่องด้วยสูตรและกรรมวิธีการผลิตน้ำหมักชีวภาพมีหน่วยงานหรือผู้รู้ได้แนะนำและเผยแผ่ไว้แพร่หลายเป็นจำนวนมาก ซึ่งผู้ที่สนใจสามารถค้นคว้าโดยทั่วไปได้ง่าย ดังนั้น คณะผู้เขียนจึงไม่ขอกล่าวไว้ใน ณ ที่นี้ สำหรับประโยชน์ของการแปรรูปขยะอินทรีย์หรือวัสดุเหลือใช้ทั้งเศษพืช/เศษอาหาร/ซากสัตว์เพื่อผลิตเป็น น้ำหมักชีวภาพ แต่เดิมจะเน้นการใช้ทางด้านการเกษตรเป็นหลัก อย่างไรก็ตามปัจจุบันพบว่ามีรายงานการใช้ประโยชน์น้ำหมักชีวภาพหลากหลายด้านต่างๆ ดังนี้ (พิณซอ กรมรัตนาพร, 2566)

ด้านการเกษตร

เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพมีธาตุอาหารสำคัญครบถ้วน จึงช่วยเร่งการเจริญเติบโตของต้นพืชได้ดี พร้อมกับเสริมสร้างความแข็งแรงสมบูรณ์ มีคุณสมบัติทนทานต่อโรคและแมลง ช่วยเพิ่มผลผลิตให้มีปริมาณมากขึ้น คุณภาพดีขึ้น ช่วยให้ผลผลิตคงทน เก็บรักษาไว้ได้นาน ช่วยเสริมความอุดมสมบูรณ์ของดิน ตั้งแต่การปรับสภาพดินให้ร่วนซุย อุ้มน้ำดี ระบายอากาศดี มีบทบาทในการย่อยอินทรียวัตถุในดินให้กลายเป็นสิ่งที่มีประโยชน์กับต้นพืชมากขึ้น รวมถึงช่วยปรับค่าความเป็นกรดด่างในดินและน้ำด้วย อย่างไรก็ตาม การใช้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพก็มีข้อที่ควรระวัง เนื่องจากปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพมีความเป็นกรดสูง มีค่าความเป็นกรดอยู่ในช่วง 3 – 4 การใช้ปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพรดพืชแบบไม่เจือจางน้ำเปล่าก่อนใช้ส่งผลให้พืชตายได้เช่นกัน ฉะนั้นก่อนใช้ปุ๋ยหมักต้องศึกษาวิธีการอย่างถี่ถ้วนและมีความเข้าใจอัตราการใช้และช่วงอายุพืชที่นำไปใช้เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผลผลิตทางการเกษตร

ภาพที่ 6 การผลิตน้ำหมักชีวภาพจากเศษวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้ง

ที่มา: www.kaset.today.com (2566)

ด้านปศุสัตว์

น้ำหมักชีวภาพช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นภายในฟาร์มสัตว์ ทั้งโรงเรือนเพาะเลี้ยงและบริเวณโดยรอบ ใช้ได้ดีทั้งฟาร์มไก่และสุกร ช่วยกำจัดน้ำเน่าเสียภายในฟาร์มได้ แต่จะต้องใช้เวลาประมาณ 1-2 สัปดาห์ ช่วยป้องกันโรคบางชนิดที่เกิดกับสัตว์ในฟาร์มได้ เช่น โรคอหิวาห์ เป็นต้น สามารถใช้ทดแทนยาปฏิชีวนะในระยะการป้องกันได้ ช่วยกำจัดแมลงวันที่เป็นพาหะนำโรค โดยตัดวงจรการเติบโตของหนอนแมลงวัน ช่วยเสริมสร้างสุขภาพที่แข็งแรงให้กับสัตว์ ทำให้มีอัตราการรอดสูงและให้ผลผลิตสูง

ด้านการประมง

น้ำหมักชีวภาพช่วยควบคุมคุณภาพของน้ำในบ่อเลี้ยง พร้อมกับลดปริมาณขี้เลนทำให้ไม่เกิดกลิ่นเน่าเหม็น ช่วยลดปัญหาโรคพยาธิที่อยู่ในน้ำ ซึ่งเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ ช่วยรักษาแผลต่างๆ ที่เกิดกับปลา กบ และสัตว์น้ำชนิดอื่นได้

ด้านสิ่งแวดล้อม

เนื่องจากน้ำหมักชีวภาพมีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดช่วยบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทั้งน้ำเสียที่มาจากการเกษตร ปศุสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม ชุมชน ตลอดจนสถานประกอบการทั่วไป ช่วยกำจัดกลิ่นเหม็นจากกองขยะ กลิ่นจากการเลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม และกิจกรรมชุมชน ช่วยย่อยสลายขยะหรือของเสียจากครัวเรือน รวมทั้งช่วยดับกลิ่นไม่พึงประสงค์ตามบริเวณต่างๆ ภายในบ้าน เช่น ห้องน้ำ ท่อระบายน้ำ เป็นต้น

อาหารสัตว์

หากพูดถึงและทำความเข้าใจปัญหาขยะจากเศษอาหาร (Food Waste) ธนิดา หรินทรานนท์ (2566) ได้อธิบายและกล่าวไว้อย่างครอบคลุมว่า จำเป็นต้องพิจารณาควบคู่กัน คือ ขยะเศษอาหาร และอาหารส่วนเกินจากแหล่งกำเนิด (ภาพที่ 7) ขยะเศษอาหาร คือ เศษอาหาร เปลือกอาหาร อาหารแห้ง อาหารกระป๋องที่ถึงวันหมดอายุแล้ว อาหารที่เอาไว้แต่งจานให้สวยงาม หรืออาหารที่เน่าเพราะจัดการไม่ได้ ขณะที่คำว่าอาหารส่วนเกิน คือ อาหารที่ผลิตหรือซื้อมาเกินความต้องการจนทิ้ง ทั้งที่ยังไม่ได้กิน หรือยังเก็บไว้ กินได้ ถ้าเป็นผู้บริโภค เช่น ของสดที่กินไม่ทัน อาหารแห้ง อาหารกระป๋องที่เลยวัน Best Before แล้วทิ้ง เพราะเข้าใจผิดคิดว่าเลยวัน Expiry Date ร้านค้าปลีกเป็นอาหารที่เหลือจำหน่าย ซื้อมาสต๊อกไว้เกินความจำเป็น ร้านอาหาร ภัตตาคาร โรงแรม เช่น อาหารบุฟเฟ่ต์ที่ยังกินได้ และแหล่งผลิตอาหารทางการเกษตร เช่น อาหารที่ช้ำจากการบรรจุหีบห่อ และการขนส่งที่ไม่ได้คุณภาพ ดังนั้น ข้อแตกต่างที่สำคัญ คือ อาหารส่วนเกินที่ยังไม่หมดอายุยังสามารถบริโภคได้ แต่ขยะเศษอาหารบริโภคไม่ได้แล้ว หากยังบริโภคไปอาจมีปัญหาด้านความปลอดภัย อย่างไรก็ตาม ด้วยวิธีการจัดการขยะของประเทศที่ไม่มีประสิทธิภาพ เส้นทางสุดท้ายทั้งอาหารส่วนเกินและขยะเศษอาหารก็มักจะไปรวมกันในคำว่า “ขยะอินทรีย์” ทำให้เกิดปัญหาการจัดการอื่น ๆ ตามมา

แหล่งผลิตที่สำคัญ	อาหารส่วนเกิน (อาหารที่สามารถนำกลับมารับประทานได้)	ขยะอาหาร (เศษอาหารที่ไม่สามารถรับประทานได้)
ครัวเรือน	- อาหารแห้ง อาหารกระป๋อง ที่เลยวัน “ควรบริโภคก่อน” (**Best Before** หรือ **BB/BBE)** ซึ่งยังไม่หมดอายุ แต่รสชาติ คุณภาพลดลง - อาหารสดที่กินไม่ทัน	- เศษอาหาร เปลือกอาหาร - อาหารแห้ง อาหารกระป๋องที่หมดอายุ (**Expired Date, EXP/EXD)** จากการซื้อเกินความจำเป็น
ร้านค้าปลีก	- อาหารที่เหลือจากการจำหน่าย - อาหารแห้ง อาหารกระป๋องที่เลย“ควรบริโภคก่อน” (**Best Before** หรือ **BB/BBE)** - การสั่งซื้ออาหารสดจากร้านค้าปลีกในปริมาณมาก ทำให้เหลืออาหารสดจากการขายในปริมาณมาก	- เศษอาหาร เปลือกอาหาร
ร้านอาหาร/ภัตตาคาร/โรงแรม	- อาหารบุฟเฟ่ต์ที่ยังกินได้ - อาหารเหลือเพราะทำอาหารมากเกินไป	- อาหารที่ใช้แค่บางส่วนเพื่อปรุงแต่งจาน โดยไม่คำนึงถึงความสูญเสีย - เศษอาหาร เปลือกอาหาร
แหล่งผลิตอาหารทางการเกษตร	- อาหารช้ำ จากการบรรจุหีบห่อและการขนส่งไม่ได้คุณภาพ	- อาหารเน่าเพราะจัดการไม่ดี - เปลือกอาหาร

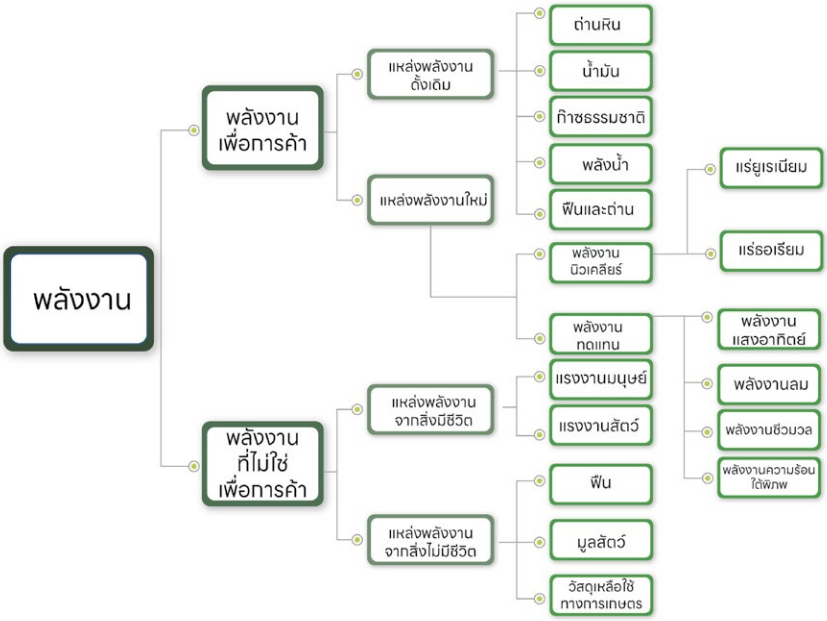
ภาพที่ 7 ข้อแตกต่างระหว่าง อาหารส่วนเกิน และ ขยะเศษอาหาร ตามแหล่งกำเนิดที่สำคัญ

ดังนั้น การป้องกันการทิ้งอาหารส่วนที่เกินความต้องการโดยไม่จำเป็น โดยการนำอาหารส่วนเกินมาบริจาคให้แก่ผู้ที่ต้องการบริโภคหรือส่งต่อเพื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์ จึงถือเป็นการเพิ่มคุณประโยชน์ (Optimization) คือ การส่งต่ออาหารไปยังแหล่งต่าง ๆ เพื่อสร้างประโยชน์ให้ได้มากที่สุดและลดการเกิดขยะเศษอาหารจากอาหารส่วนเกินได้เป็นอย่างดีอีกแนวทางหนึ่ง นอกจากนี้ กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2566) ได้จัดทำคู่มือนวัตกรรมจัดการขยะอินทรีย์ ซึ่งปรากฏองค์ความรู้การใช้หนอนแมลงวันลายทำการย่อยสลายขยะเศษอาหารครัวเรือน (ภาพที่ 8) พบว่า หนอนชนิดนี้สามารถย่อยสลายเศษอาหารได้ดีและมีประโยชน์ที่น่าสนใจ เช่น สามารถกำจัดขยะอินทรีย์ได้สูงร้อยละ 70 และย่อยสลายได้เร็ว ตัวหนอนมีโปรตีนสูงเหมาะสำหรับนำมาผลิตอาหารสัตว์ อีกทั้งยังช่วยยับยั้งกลิ่นขยะและควบคุมประชากรแมลงวันบ้าน เป็นต้น

ภาพที่ 8 ประโยชน์ของการใช้ขยะเศษอาหารเลี้ยงหนอนแมลงวันลาย
ที่มา: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2566)

พลังงานหมุนเวียน

Applied Geography and Development (1985) ได้จำแนกประเภทพลังงานในภาพรวมทั้งหมดที่ใช้ในกลุ่มประเทศกำลังพัฒนา พบว่าสอดคล้องกับการใช้พลังงานของประเทศไทย คือ สังคมเมือง เขตอุตสาหกรรม พาณิชยกรรม และการบริการต่างๆ นิยมใช้พลังงานเพื่อการค้า (Commercial Energy Sources) เป็นหลัก เช่น เชื้อเพลิงจากฟอสซิล ได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ ขณะที่สังคมชนบท ประชาชนนิยมใช้พลังงานชีวมวลจากแหล่งที่มีอยู่เดิม (Traditional Energy Sources) เช่น ฟืน ถ่าน มูลสัตว์ และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 การจำแนกประเภทของพลังงานที่ใช้ในประเทศกำลังพัฒนา

ที่มา: ดัดแปลงจาก Grawe Joachim (1985)

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องของประเทศไทย และการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างก้าวกระโดด ส่งผลให้ทุกภาคส่วนของสังคมไทยล้วนมีความต้องการใช้พลังงานในอัตราที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก จึงจำเป็นต้องจัดหาและวางแผนแหล่งพลังงานทางเลือกของประเทศในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทดแทนการใช้พลังงานเชิงพาณิชย์หรือพลังงานเพื่อการค้า ซึ่งถือเป็นพลังงานสิ้นเปลืองเมื่อใช้แล้วย่อมหมดไป

โดยทั่วไปแล้ว นิยามของคำว่า พลังงานทดแทน (Alternative Energy) นั้นหมายถึง พลังงานที่นำมาใช้ทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานหลักที่นิยมใช้กันทั่วโลกในปัจจุบัน พลังงานทดแทนสามารถแบ่งตามแหล่งที่มา ได้ออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป เรียกว่า พลังงานสิ้นเปลือง (Nonrenewable Energy) ได้แก่ ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ นิวเคลียร์ หินน้ำมัน และทรายน้ำมัน เป็นต้น และพลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่ง เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) มักเป็นพลังงานสะอาดและไม่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานน้ำ พลังงานลม พลังงานคลื่น พลังงานความร้อนใต้พิภพ พลังงานเคมีจากไฮโดรเจน พลังงานชีวมวล พลังงานชีวภาพ พลังงานไบโอดีเซล พลังงานเอทานอล หรือ แก๊สโซฮอล เป็นต้น สำหรับขยะอินทรีย์ ได้แก่ ขยะเศษอาหาร ขยะจากสวน (เศษใบไม้ เศษหญ้า) เศษวัสดุอินทรีย์เหลือทิ้งจากการเกษตรและอุตสาหรรม รวมถึงมูลสัตว์ ฯลฯ เหล่านี้ บางทีอาจเรียกโดยรวมได้ว่า เศษชีวมวลเหลือทิ้ง ซึ่งสามารถนำมาแปรสภาพเพื่อใช้ประโยชน์ด้านพลังงานหมุนเวียนในรูปของเชลล์เชื้อเพลิง ก๊าซเชื้อเพลิง ก๊าซชีวภาพ และเชื้อเพลิงเหลว ได้เป็นอย่างดี สำหรับกระบวนการแปรรูปพลังงานชีวมวลไปเป็นพลังงานรูปแบบต่างๆ ที่จะกล่าวพอสังเขป มีดังนี้

การเผาไหม้โดยตรง

กระบวนการเผาไหม้โดยตรง (Combustion) หรือการสันดาปเป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมเกิดการลุกไหมและคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วนๆ แต่จะใช้อากาศแทนเนื่องจากอากาศมีออกซิเจนอยู่ประมาณร้อยละ 21 โดยปริมาณ หรือประมาณร้อยละ 23 โดยน้ำหนัก สารอินทรีย์ในชีวมวลจะถูกเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและพลังงานออกมา ปกติแล้วนิยมใช้เศษชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตร หรือเศษไม้เป็นหลัก ที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนสูงและความชื้นต่ำ (แห้ง) เมื่อนำชีวมวลมาเผาประสิทธิภาพของการเผาไหม้จะได้ความร้อนออกมาตามค่าความร้อนของชนิดชีวมวลนั้นๆ และขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นของชีวมวลและอุปกรณ์ที่ใช้เผา (ตารางที่ 1) ซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้โดยตรงจากการเผาสามารถนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูง และจะนำไอน้ำความดันสูงนำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป

เชื้อเพลิงแข็งอัดแท่ง

แม้ว่าการใช้พลังงานในเชิงพาณิชย์ในชนบทได้เพิ่มมากขึ้น แต่พลังงานพื้นบ้านโดยเฉพาะอย่างยิ่งฟืนและถ่านไม้ก็ยังเป็นแหล่งพลังงานหลักของชนบทอยู่ อย่างไรก็ตามการใช้ฟืนนั้นมักมีปัญหาทั้งด้านควันและความสกปรกที่มีมากกว่าถ่านไม้ ประกอบกับการพัฒนาคุณภาพถ่านไม้อย่างต่อเนื่อง เช่น การผลิตเชื้อเพลิงอัดแท่ง (Briquetting) หรือถ่านอัดแท่งที่ให้ค่าความร้อนสูง ติดไฟนาน มีควันและสะเก็ดไฟน้อย จึงทำให้มีผู้ที่หันมาใช้ถ่านกันมากขึ้นโดยเฉพาะในส่วนของครัวเรือน รวมถึงร้านอาหารประเภทปิ้งย่างในสังคมเมือง ซึ่งนอกจากจะผลิตใช้ภายในประเทศแล้วยังเป็นสินค้าส่งออกที่ทำรายได้ให้ประเทศพอสมควร

เชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งหรือถ่านอัดแท่งเป็นการนำเอาผงถ่านหรือเศษถ่านขนาดเล็กๆนำมาปั้นและอัดให้เป็นก้อนสำหรับนำไปใช้งาน ผงถ่านเหล่านี้อาจได้มาจากกระบวนการคาร์บอไนเซชั่น (Carbonization) ของเศษวัสดุต่างๆ เช่น ขี้เลื่อย เปลือกถั่วลิสง หรืออาจมาจากเศษไม้ตกค้างหลังการคาร์บอนไนเซชั่น ในส่วนของเหลือทิ้งจากเกษตรก็สามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้เช่นกัน (ภาพที่ 10) การผลิตเชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งนอกจากเป็นการใช้ประโยชน์จากผงถ่าน และสามารถนำของเหลือทิ้งจากภาคเกษตรและอุตสาหกรรมมาใช้ประโยชน์ได้อย่างดีแล้ว ยังให้คุณสมบัติของถ่านที่ผลิตได้มีเนื้อแน่น ค่าปริมาณพลังงานต่อน้ำหนักหนึ่งหน่วยมากกว่าถ่านธรรมดา ลุกติดไฟและให้ความร้อนนาน มีขนาดมาตรฐานที่แน่นอน และมีความแข็งแกร่งไม่แตกหักง่าย จึงเริ่มเป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบันถึงแม้ว่าจะมีราคาสูงกว่าถ่านธรรมดาทั่วไปก็ตาม

ตารางที่ 1 ปริมาณพลังงานเฉลี่ยของเชื้อเพลิงประเภทต่าง ๆ

เชื้อเพลิง	ปริมาณพลังงาน (จิกะจูลต่อตัน)
ไม้ (ความชื้น 20%)	15
กระดาษ	17
มูลสัตว์ (แห้ง)	16
ฟาง	14
อ้อย	14
ขยะ	9
หญ้า (สด)	4
น้ำมันปิโตรเลียม	42
ถ่านหิน	28
ก๊าซธรรมชาติ	55

ที่มา : Boyle (1998) อ้างโดย สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ (2546)

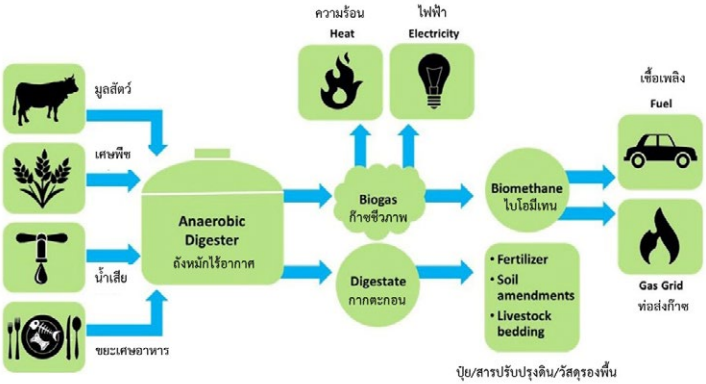
ภาพที่ 10 เชื้อเพลิงแข็งอัดแท่งจากวัตถุดิบชีวมวล

ก๊าซเชื้อเพลิง

การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงเป็นการแปรรูปหรือเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งเป็นก๊าซชีวมวล (Gasification) กระบวนการ Gasification เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงพลังงานที่มีอยู่ในชีวมวลที่สำคัญกระบวนการหนึ่งของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน โดยการสลายคาร์บอนในเชื้อเพลิงแข็งให้เป็นก๊าซ ก๊าซที่ได้จากกระบวนการนี้เรียกว่า ก๊าซชีวมวล (Produced Gas) ซึ่งจะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์สันดาปภายในหรือเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ก๊าซชีวมวลที่ได้ประกอบด้วยคาร์บอนมอนนอกไซด์เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ก็มีก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ

ก๊าซชีวภาพ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล เช่น ขยะเศษอาหาร ขยะอินทรีย์ชุมชน มูลสัตว์ น้ำเสียจากชุมชนและอุตสาหกรรมการเกษตร ฯลฯ (ภาพที่ 11) เป็นกระบวนการทางชีวเคมีโดยจุลินทรีย์ ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะแบบไร้อากาศหรือไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ผลิตภัณฑ์ที่ได้ออกมาเป็นก๊าซ เรียกว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทนที่เกิดจากการย่อยสลาย โดยทั่วไปจะมีค่าอยู่ระหว่าง 50-75% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์และสภาวะแวดล้อมที่เกิดการย่อยสลาย ในการผลิตก๊าซชีวภาพ หากก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นองค์กอบประกอบร้อยละ 60 จะมีค่าความร้อนประมาณ 5,700 กิโลแคลลอรี่ต่อลูกบาศก์เมตร ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้หลายอย่าง เช่น เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มและให้แสงสว่าง เป็นเชื้อเพลิงแทนน้ำมันเตาในการผลิตไอน้ำในหม้อไอน้ำ หรือใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

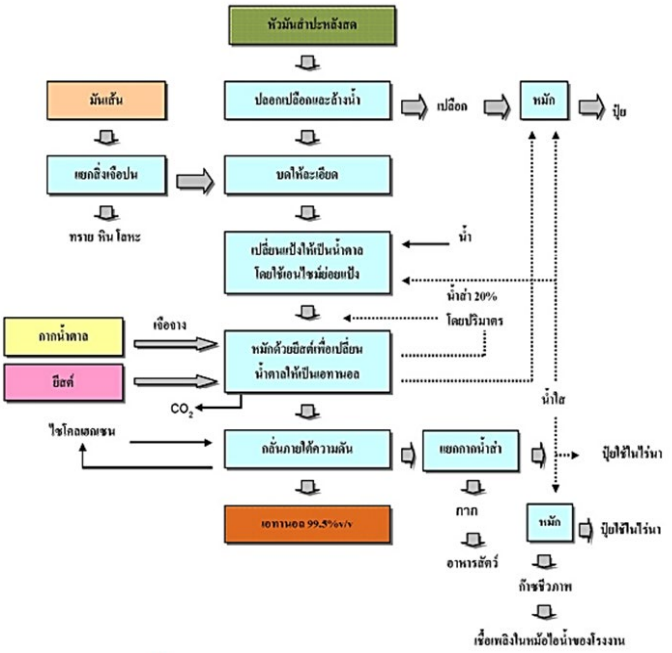


ภาพที่ 11 การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) จากของเสียหรือชีวมวลเหลือทิ้งอินทรีย์

ที่มา: ดัดแปลงจาก www.eesi.org.com (2023)

เชื้อเพลิงเหลว

การผลิตเชื้อเพลิงเอทานอล หรือ Ethyl Alcohol (ภาพที่ 12) เป็นกระบวนการหมักเพื่อผลิตแอลกอฮอล์ (Alcoholic Fermentation) คือ แอลกอฮอล์ที่แปรรูปมาจากพืชชีวมวลจำพวกแป้งและน้ำตาล รวมทั้งเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสโดยผ่านกระบวนหมัก (Fermentation) วัตถุดิบที่สามารถนำมาใช้ผลิตเอทานอลมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด อาทิ อ้อย ข้าว ข้าวฟ่าง ข้าวโพด มัน สำปะหลัง เป็นต้น โดยทั่วไปเอทานอลที่ได้จากกระบวนการหมักเมื่อต้องการนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงจะต้องไม่มีน้ำปนอยู่ ในกระบวนการหมักจะได้เอทานอลที่มีความเข้มข้นเพียงร้อยละ 8-10 ดังนั้นจำเป็นต้องทำให้เอทานอลมีความเข้มข้นมากขึ้นโดยผ่านกระบวนการกลั่น เพื่อกลั่นเอาน้ำออกจึงสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานได้ เช่น การใช้ผสมก๊าซโซลีนเพื่อทดแทนก๊าซโซลีนบางส่วน ผลิตภัณฑ์ที่ได้เรียกว่า น้ำมันแก๊สโซฮอล์ (Gasohol) ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนน้ำมันเบนซิน เกิดจากการผสมของน้ำมันเบนซินกับเอทานอลที่มีความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.5 หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ การผสมแอลกอฮอล์ลงในน้ำมันเบนซินในข้างต้น เป็นในลักษณะของสารเติมแต่ง ปรับปรุงค่า Oxygenates และออกเทน (Octane) ของน้ำมันเบนซิน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2565)



ภาพที่ 12 ขั้นตอนการผลิตเอทานอลจากมันสำปะหลังและอ้อยในโรงงานต้นแบบของ วว.
ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2565)

กรณีศึกษา การหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์ (ขยะเศษอาหาร) ร่วมกับถ่านชีวภาพ

กล่าวได้ว่าแนวคิดและองค์ความรู้ การผลิตถ่านไม้ หรือ ถ่านชีวภาพ (Biochar) หรือการผลิตถ่านจากเศษชีวมวลต่างๆ ที่เรียกกันอยู่ในปัจจุบัน ได้เกิดขึ้นและมีมานานตั้งแต่สมัยโบราณ อย่างไรก็ตามการผลิตถ่านไม้หรือถ่านทั่วไปจะหมายถึงถ่านเชื้อเพลิงเป็นหลัก และมีจุดมุ่งหมายของการใช้ประโยชน์อย่างชัดเจน คือ การเผาไหม้ถ่านให้ได้ความร้อนและนำความร้อนนั้นไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ ขณะที่ ขณะที่ถ่านชีวภาพ คือถ่านที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและการเกษตร เป็นต้น

นิยามและการผลิตถ่านชีวภาพ

หากนิยามคำว่า ถ่านชีวภาพ ในทางวิชาการ ถ่านชีวภาพ หรือ ไบโอชาร์ คือ วัสดุที่อุดมด้วยคาร์บอน ผลิตจากมวลชีวภาพ (Biomass) ผ่านกระบวนการย่อยสลายด้วยความร้อนในสภาวะไร้ออกซิเจนหรือใช้ออกซิเจนน้อยที่สุด ที่เรียกว่า กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrolysis Process) ที่อุณหภูมิเกิน 300 องศาเซลเซียส ซึ่งมีสองวิธีหลักๆ คือ การแยกสลายอย่างรวดเร็วและอย่างช้า ซึ่งได้ผลิตภัณฑ์หลักๆ 3 ชนิด ได้แก่ แก๊ส (คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์ แก๊สไฮโดรคาร์บอน และอื่นๆ) ของเหลว (สารละลายอินทรีย์และน้ำมันดิน, tar) และของแข็ง (ถ่าน) โดยสัดส่วนของผลิตภัณฑ์และสารประกอบในผลิตภัณฑ์ที่ได้ขึ้นอยู่กับชนิดของชีวมวลและเทคโนโลยีกระบวนการไพโรไลซิส (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 เทคโนโลยีกระบวนการไพโรไลซิสและสัดส่วนของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น

เทคโนโลยี	อุณหภูมิที่ใช้ (เซลเซียส)	เวลาที่ใช้ (วินาที)	ของแข็ง (Biochar)	ของเหลว (Bio-oil)	แก๊ส (Syngas)
การแยกสลายแบบเร็ว	≈ 500	1	12%	75%	13%
การแยกสลายแบบปลานกลาง	≈ 500	10–20	20%	50%	30%
การแยกสลายแบบช้า	≈ 500	300–1,800	35%	30%	35%
กระบวนการแปลสภาพเป็นแก๊ส	> 750	600–1,200	10%	5%	85%

ที่มา: Brown (2009) อ้างโดย ศิริลักษณ์ สิริสิงห์ (2556)

สำหรับความเหมือนและความแตกต่างระหว่างถ่านชีวภาพ (Biochar) และถ่านกัมมันต์ หรือผงถ่าน (Activated Charcoal or Activated Carbon) คือ เป็นถ่านหรือกากคาร์บอนทั้งคู่ แต่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยที่กระบวนการผลิต คุณสมบัติ และวัตถุประสงค์ในการใช้ประโยชน์ ในกระบวนการผลิตพบว่าโดยทั่วไปอุณหภูมิในการผลิตถ่านกัมมันต์จะสูงกว่าถ่านชีวภาพและอาจสูงถึง 1,000 องศาเซลเซียส เพื่อเกิดรูพรุนและพื้นที่ผิวจำเพาะสำหรับให้เกาะติดหรือดูดซับในปริมาณที่สูง นิยมใช้ประโยชน์ทางการแพทย์ เช่น ใช้เป็นยาในการรับประทานเพื่อดูดสารพิษในร่างกาย หรือในทางอุตสาหกรรมเพื่อกรองสารพิษออกไปจากสารประกอบ เป็นต้น

คุณสมบัติและการใช้ประโยชน์ของถ่านชีวภาพ

วัสดุที่ใช้ในการผลิตถ่านชีวภาพ ส่วนใหญ่มักเป็นเศษวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลที่สามารถหาได้ง่ายในแต่ละท้องถิ่น เช่น เศษจากการตัดแต่งกิ่งไม้ เศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ต้นไม้ อ้อย มันสำปะหลัง แกลบ วัชพืชต่าง ๆ รวมถึงขยะอินทรีย์และมูลสัตว์ เป็นต้น สำหรับโครงสร้างของถ่านชีวภาพมีคุณสมบัติที่สำคัญ คือ ความพรุน และพื้นที่ผิวภายในสูง ซึ่งจะเปลี่ยนไปตามประเภทของมวลชีวภาพ (ตารางที่ 3) ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่นำมาผลิต และสภาพแวดล้อมของการเผาเป็นพื้นฐาน ส่วนสมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารของถ่านชีวภาพที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4 ซึ่งจะกล่าวอธิบายพอสังเขปดังนี้ (ธนชัย ฉลาดเฉลียว, 2565)

ความพรุนและพื้นที่ผิว

สมบัติของถ่านชีวภาพ เช่น ความพรุน และพื้นที่ผิว เป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของถ่านชีวภาพ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุในการดูดซับ และความสามารถในการหมุนเวียนธาตุอาหาร หากนำไปประยุกต์ใช้ทางการเกษตร การศึกษา

ที่ผ่านมาพบว่าการเพิ่มขึ้นของความพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการเผา กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเพิ่มขึ้นจะทำให้พื้นที่ผิว และความพรุนของถ่านชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น มีความสามารถในการดูดซับสูง หากนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านสิ่งแวดล้อม สามารถใช้เป็นตัวดูดซับและลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและในน้ำได้ อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเพิ่มสูงขึ้น อาจมีผลทำให้ปริมาณของคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) และสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) ของถ่านชีวภาพลดลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 3 ประเภทของวัตถุดิบและคุณสมบัติทางกายภาพของถ่านชีวภาพ

ประเภทของวัตถุดิบ	คุณสมบัติเมื่อเผาเป็นถ่านชีวภาพ
ไม้เนื้ออ่อน เช่น ไม้กระถิน จามจุรี หางนกยูง ขี้เหล็ก สะเดา สน ไม้ไผ่ ยูคาลิปตัส	- มีความพรุนของเนื้อถ่านสูง - มีความสามารถอุ้มน้ำได้ดี - ย่อยสลายช้าสามารถคงรูปอยู่ได้นาน
เปลือกผลไม้ เช่น มังคุด ทุเรียน เงาะ กระท้อน	- เนื้อถ่านค่อนข้างแข็งบดยาก - มีความพรุนสูง ขึ้นกับชนิดพืช
วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เช่น ซังข้าวโพด ต้นข้าวฟ่าง เปลือกถั่วลิสง **มูลสัตว์กินพืช** เช่น มูลวัว มูลแพะ	- สามารถอุ้มน้ำได้ดี แต่น้อยกว่าไม้เนื้ออ่อน - ถ่านมีน้ำหนักเบา บดละเอียดง่าย - มีธาตุอาหารอยู่แล้วในตัววัสดุ - มีความพรุนที่ไม่เสถียร

ที่มา: ทวีวงศ์ ศรีบุรี และเสาวนีย์ วิจิตรโกสุม (2557) อ้างโดย ธนชัย ฉลาดเฉลียว (2565)

สมบัติของถ่านชีวภาพ เช่น ความพรุน และพื้นที่ผิว เป็นสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของถ่านชีวภาพ ซึ่งส่งผลต่อความสามารถในการอุ้มน้ำ ความจุในการดูดซับ และความสามารถในการหมุนเวียนธาตุอาหาร หากนำไปประยุกต์ใช้ทางการเกษตร การศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการเพิ่มขึ้นของความพรุนและพื้นที่ผิวของถ่านชีวภาพมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิของการเผา กล่าวคือ เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเพิ่มขึ้นจะทำให้พื้นที่ผิว และความพรุนของถ่านชีวภาพเพิ่มสูงขึ้น มีความสามารถในการดูดซับสูง หากนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านสิ่งแวดล้อม สามารถใช้เป็นตัวดูดซับและลดการปนเปื้อนโลหะหนักในดินและในน้ำได้ อย่างไรก็ตามเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาเพิ่มสูงขึ้น อาจมีผลทำให้ปริมาณของคาร์บอนทั้งหมด (Total Carbon) และสารที่ระเหยได้ (Volatile Matter) ของถ่านชีวภาพลดลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 4 สมบัติทางเคมีและปริมาณธาตุอาหารพืชของถ่านชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร

ชนิดถ่านชีวภาพ	pH	CEC (cmol/kg)	K+ (mg/kg)	Ca^{2+} (mg/kg)	Mg^{2+} (mg/kg)	Na^{2+} (mg/kg)	P (mg/kg)	C (%)	N (%)	C/N Ratio
แกนข้าวโพด	7.76	46.06	2,3328.00	990.23	1,407.52	240.40	821.22	52.77	1.09	48.41
เปลือกทุเรียน	10.00	65.10	47,500.00	3,624.35	1,864.64	465.00	2,563.00	71.62	1.03	69.53
ไม้ไผ่	9.90	9.25	16,325.00	876.24	765.23	324.15	654.74	545.12	8.98	61.57
ฟางข้าว	6.78	23.37	326.12	126.34	856.24	56.43	37.51	307.67	10.40	29.96
กิ่งทุเรียน	8.16	22.04	707.80	2947.00	203.10	29.31	530.22	44.08	0.85	51.86
กิ่งมะขาม	7.96	18.45	16,358.00	1735.21	146.25	45.68	954.12	48.42	0.95	50.96
เปลือกแมคคาเดเมีย	10.50	75.36	34,568.00	2564.14	1756.23	587.95	987.64	86.48	1.23	70.30
เปลือกมะม่วงหิมพานต์	10.30	56.24	10,456.00	2,476.32	1,456.15	345.23	895.15	74.32	1.08	68.81

ที่มา: ศูนย์วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ (2562) อ้างโดย ธนชัย ฉลาดเฉลียว (2565)

ปริมาณคาร์บอน

ถ่านชีวภาพมีความเสถียรทั้งด้านทางเคมีและชีวภาพมากกว่าคาร์บอนที่อยู่ในวัตถุดิบเริ่มต้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการกักเก็บคาร์บอน ในการผลิตถ่านชีวภาพเพื่อใช้ในการกักเก็บคาร์บอนในดินในระยะยาวนั้น สิ่งที่จะต้องพิจารณา คือ ปริมาณคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบในถ่านชีวภาพ ปริมาณคาร์บอนจะแตกต่างกันตามชนิดของถ่านชีวภาพ ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามวัตถุดิบที่ใช้ และสภาพแวดล้อมของการเผา (Pyrolysis) นอกจากนี้ข้อมูลทางวิชาการที่ผ่านมาบ่งชี้ว่า การเปลี่ยนจากมวลชีวภาพไปอยู่ในรูปของถ่านชีวภาพประมาณร้อยละ 50 ของคาร์บอนทั้งหมดจะคงอยู่ในถ่านชีวภาพ ซึ่งแตกต่างจากการเผาซากพืชในสภาพปกติและการย่อยสลายโดยธรรมชาติจะมีคาร์บอนเหลืออยู่ปริมาณน้อย เช่น น้อยกว่าร้อยละ 10-20 หลังจาก 5 ปี และร้อยละ 3 หลังจาก 20 ปี ผ่านไป ตามลำดับ

ปริมาณธาตุอาหาร

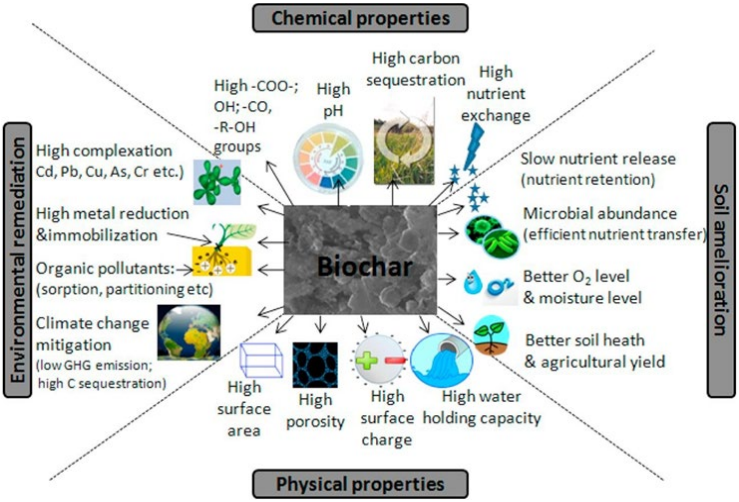
โดยทั่วไปปริมาณธาตุอาหารที่อยู่ในถ่านชีวภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณธาตุอาหารในวัตถุดิบ ถ่านชีวภาพซึ่งผลิตจากวัตถุดิบที่ได้จากพืช เช่น ไม้เนื้อแข็ง ส่วนใหญ่จะมีปริมาณธาตุอาหารค่อนข้างต่ำ ในขณะที่วัตถุดิบซึ่งเป็นเศษใบไม้และของเสียจากกระบวนการแปรรูปอาหารจะมีปริมาณธาตุอาหารสูงกว่า

ความจุในการแลกเปลี่ยนแคตไอออน

ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุแคตไอออน (Cations Exchange Capacity, CEC) ถือเป็นตัวชี้วัดสำหรับการประเมินความสามารถของดินในการกักเก็บธาตุอาหารหรือแคตไอออนที่สำคัญ โดยทั่วไปดินที่มีความอุดมสมบูรณ์มักเป็นดินที่มีค่า CEC สูง เช่นเดียวกัน ค่าความจุในการแลกเปลี่ยนประจุแคตไอออนของถ่านชีวภาพ ถ่านชีวภาพที่มีค่า CEC สูง บ่งชี้ความสามารถในการหมุนเวียนธาตุอาหารรวมทั้งความสามารถในการดูดซับธาตุโลหะหนักตลอดจนสารประกอบอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมได้ดี ดังนั้นการใส่ถ่านชีวภาพลงไปในดินที่ทำการเกษตรจึงเป็นผลดีในการช่วยลดการปนเปื้อนของสารเคมีทางการเกษตรอีกแนวทางหนึ่ง

ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

โดยทั่วไปค่าความเป็นกรด-ด่างของถ่านชีวภาพขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้และสภาพแวดล้อมของการเผา มีการรายงานว่า การเพิ่มอุณหภูมิการเผาถ่านชีวภาพมีส่วนทำให้ค่า pH ของถ่านชีวภาพบางชนิดเพิ่มสูงขึ้น (เป็นด่างมากยิ่งขึ้น) สำหรับถ่านชีวภาพที่ประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงดินมักมีคุณสมบัติเป็น ด่าง ซึ่งค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่อนข้างมีความสำคัญต่อการควบคุมการทำปฏิกิริยาทางเคมีและทางชีวเคมี จึงมีความสำคัญต่อการใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อมและการเกษตรที่หลากหลาย



ภาพที่ 13 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพต่อแนวทางการนำไปใช้ประโยชน์
ที่มา: Fernanda et al., (2017)

1) ถ่านชีวภาพสามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดสารมลพิษทั้งในดินและน้ำ โดยกลไกการดูดซับหรือดูดติดผิวเช่น กลุ่มสารมลพิษอินทรีย์ที่ใช้ในการเกษตร ได้แก่ ยาฆ่าแมลง ยาปราบศัตรูพืช ยาปราบวัชพืช เป็นต้น รวมทั้งกลุ่มสารประกอบฟีนอล ต่างๆ ที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำ เป็นต้น และกลุ่มสารมลพิษอนินทรีย์ที่ไม่สามารถทำการย่อยสลายทางชีวภาพและมีความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ สารโลหะหนัก (e.g., Pb^{2+}, Cu^{2+}, Cd^{2+}, Zn^{2+}, Hg^{2+}) และสารอนิทรีย์ต่าง ๆ (H_2S, NO^{-3}, $NH_4^{+)}$ ที่ละลายหรือปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2) บริเวณพื้นผิวและภายในรูพรุนของถ่านชีวภาพจะมีหมู่ฟังก์ชันออกซิเจนชนิดต่างๆ และกลุ่มอะโรมาติกเป็นองค์ประกอบ สามารถประยุกต์ใช้ในการบำบัดก๊าซที่เป็นพิษโดยกลไกการดูดซับหรือดูดติดผิว เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และสารอินทรีย์ระเหย Trichloroethylene (TCE) เป็นต้น

3) ถ่านชีวภาพสามารถประยุกต์ใช้ทางการเกษตรช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้กับดิน มีบทบาทต่อกระบวนการทางชีวเคมีในดินและการหมุนเวียนธาตุอาหารในดิน เนื่องจากถ่านชีวภาพมีความพรุนตัว เมื่อนำผสมลงในดิน ลักษณะความเป็นรูพรุนของถ่านชีวภาพจะช่วยกักเก็บน้ำและอาหารในดิน และเป็นที่อยู่ให้กับจุลินทรีย์สำหรับทำกิจกรรมเพื่อสร้างอาหารให้ดิน จึงช่วยปรับปรุงดินเมื่อดินอุดมสมบูรณ์จะส่งผลให้ผลผลิตทางการเกษตรเพิ่มขึ้น

4) การผลิตถ่านชีวภาพและการประยุกต์ใช้ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดิน ถือเป็นแนวทางหนึ่งในการช่วยบรรเทาปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ (Climate Change Mitigation) และกลไกการพัฒนาที่สะอาด (Clean Development Mechanism, CDM) เนื่องด้วยถ่านชีวภาพจะสลายตัวช้ากว่าเศษชีวมวล ดังนั้นจึงช่วยกักเก็บคาร์บอนไว้ในดิน (Carbon Sequestration) และการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (GHG Emission) เช่น ลดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไนตรัสออกไซด์ (N_2O) ในชั้นบรรยากาศในระยะยาว

กรอบแนวคิด

ด้วยคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของถ่านชีวภาพ (Biochar) จึงคาดว่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์โดยเฉพาะขยะเศษอาหารจากครัวเรือน ซึ่งสามารถเน่าเสียและก่อปัญหามลภาวะได้ง่ายภายใต้สภาพอากาศที่ร้อนและชื้นของประเทศ เพื่อเป็นการจัดการขยะเศษอาหารอย่างถูกวิธีและช่วยเพิ่มประสิทธิผลในการหมักให้ได้ผลดียิ่งขึ้น ดังกรอบแนวคิดแสดงในภาพที่ 14

ภาพที่ 14 กรอบแนวคิดในการศึกษาการหมักปุ๋ยขยะเศษอาหารร่วมกับถ่านชีวภาพ

วิธีและขั้นตอนการศึกษา

ในการทดสอบการหมักปุ๋ยขยะเศษอาหารร่วมกับถ่านชีวภาพ เป็นการดำเนินระบบการหมักในถังปฏิกริยาแบบกะ (Batch Composting) ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลักทั้งหมด 6 ขั้นตอน (ภาพที่ 15)

ภาพที่ 15 ขั้นตอนหลักของการศึกษา

การเตรียมวัสดุทดสอบ วัสดุหมักหลักที่ใช้ คือ ขยะเศษอาหารที่เก็บรวบรวมจากร้านอาหาร วัสดุหมักร่วมที่ใช้ คือ เศษใบไม้และกิ่งไม้แห้งสับย่อยให้มีขนาด 1-5 เซนติเมตร ถ่านชีวภาพที่ผสมจะทำการบดละเอียดและคัดขนาดผ่านตะแกรงร่อน (Mesh) No.16 สำหรับขยะเศษอาหารและเศษใบไม้แห้งจะทำการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมี ได้แก่ ค่า pH ค่าความหนาแน่น (g/cc) ความชื้น (%) อินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (%) ไนโตรเจนทั้งหมด (%) และเถ้า (%) ส่วนถ่านชีวภาพจะทำการวิเคราะห์ ค่า pH และค่าความหนาแน่น (g/cc) โดยผสมในสัดส่วน 10% ของวัสดุหมัก ในการศึกษานี้ ปุ๋ยอินทรีย์ชนิดเม็ดจะถูกผสมที่สัดส่วนร้อยละ 5 เพื่อใช้เป็นต้นเชื้อจุลินทรีย์

ถังหมักทำปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองใช้ถังพลาสติกสีดำพร้อมฝาปิดความจุ 66 ลิตร กว้าง 47 เซนติเมตร ยาว 47 เซนติเมตร และสูง 60 เซนติเมตร ประกอบด้วยชุดท่อสำหรับนำอากาศเข้าไปในกองปุ๋ยและมีตาข่ายไนล่อนปิดด้านบนเพื่อป้องกันแมลงที่อาจจะมารบกวนกระบวนการหมัก โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิผลของระบบการหมัก (แบบกะ) ขยะเศษอาหารที่มีการผสมและไม่ผสมถ่านชีวภาพ

ประสิทธิผลของถ่านชีวภาพในการหมักปุ๋ย

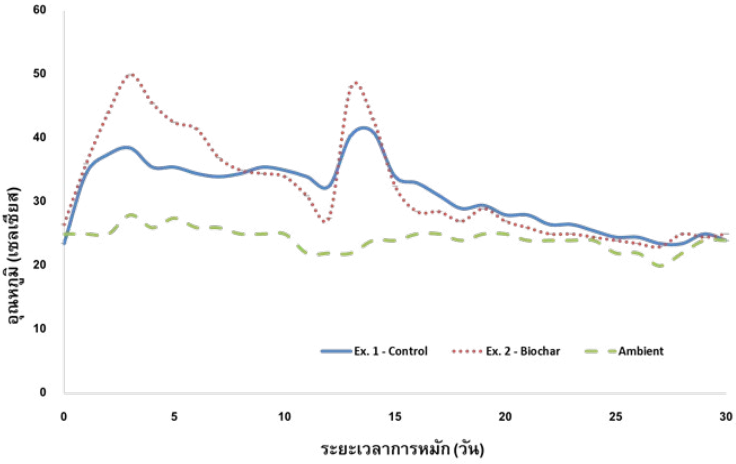
จากการประเมินประสิทธิผลการหมักปุ๋ยขยะเศษอาหารร่วมกับถ่านชีวภาพ โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่าง ชุดควบคุม (Ex.1–Control) และชุดผสมถ่านชีวภาพ (Ex.2–Biochar) ที่ร้อยละ 10 โดยมวล โดยการวิเคราะห์และประเมินผลการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพและทางเคมีที่สำคัญของวัสดุหมัก ทั้งในระหว่างการหมักและสิ้นสุดการหมัก สามารถสรุปพอสังเขปได้ดังนี้

การวิเคราะห์คุณสมบัติของวัสดุหมัก พบว่า ขยะเศษอาหารและเศษใบไม้มีค่า pH เป็นเป็นกรดเล็กน้อย (5-6) อาจเนื่องด้วยลักษณะการประกอบอาหารและองค์ประกอบของตัวอย่างขยะเศษอาหาร ในส่วนของถ่านชีวภาพมีค่า pH ค่อนข้างสูง (8-9) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีความเป็นด่างของถ่านชีวภาพ ดังนั้นเมื่อทำการผสมวัสดุหมักแล้วจะทำให้ค่า pH เริ่มต้นการหมักค่อนข้างเป็นกลาง ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (6-7) สำหรับการหมักปุ๋ยอินทรีย์

สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองหมัก ซึ่งถือเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่บ่งชี้ถึงประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพในระบบการหมัก พบว่า การพัฒนาอุณหภูมิในระบบการหมักขยะเศษอาหารร่วมกับถ่านชีวภาพ (Ex. 2–Biochar) เพิ่มสูงขึ้นได้อย่างรวดเร็วโดยเฉพาะในช่วง 10 วันแรกของการหมัก และการพัฒนาอุณหภูมิมีประสิทธิภาพดีกว่าชุดการทดลองควบคุม (Ex. 1–Control) โดยระดับอุณหภูมิมีค่าสูงกว่าและเข้าสู่ช่วงการหมักแบบเทอร์โมฟิลิค > 45°C (Thermophilic Composting) ซึ่งถือเป็นช่วงระดับอุณหภูมิที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิผลต่อการทำลายเชื้อก่อโรคบางชนิดรวมทั้งไข่แมลงวัน/พยาธิในปุ๋ยหมัก (ภาพที่ 16) หลังจากวันที่ 16 ของการหมักเป็นต้นไป อุณหภูมิของทั้ง 2 ชุดการทดลองนั้นจะค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องและใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมจนสิ้นสุดการหมัก

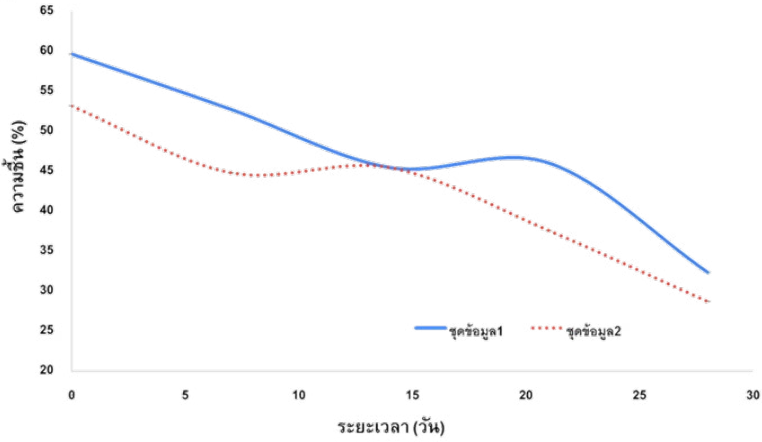
ผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในกองหมักปุ๋ย สังเกตได้ว่า ค่าความชื้นในระบบการหมักขยะเศษอาหารร่วมกับถ่านชีวภาพ (Ex. 2–Biochar) ลดลงอย่างต่อเนื่อง และต่ำกว่าชุดการทดลองควบคุม (Ex. 1–Control) เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูงภายในกองหมัก ประกอบกับลักษณะทางกายภาพที่มีความพรุนตัวของถ่านชีวภาพที่เติมลงไป จึงช่วยลดความชื้นภายในระบบการหมักซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานที่ว่าถ่านชีวภาพสามารถช่วยควบคุมความชื้นในระบบการหมักได้ (ภาพที่ 17)

1 การพัฒนาอุณหภูมิในระบบการหมัก



ภาพที่ 16 การพัฒนาอุณหภูมิในระบบการหมัก

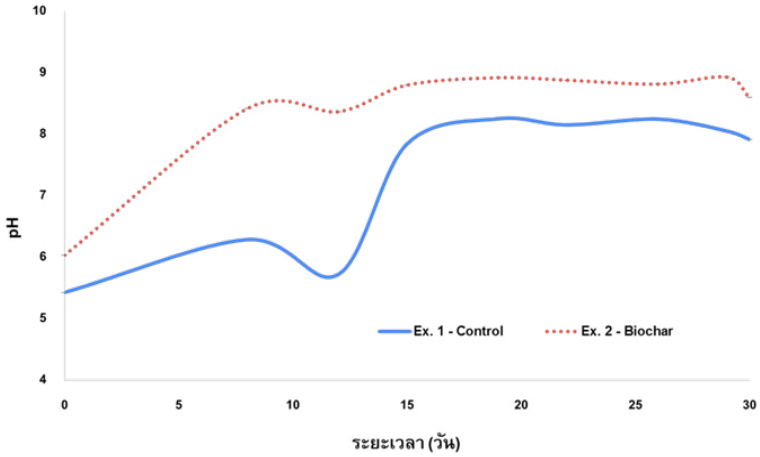
2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระบบการหมัก



ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในระบบการหมัก

ผลการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดด่างหรือค่า pH ในช่วงเริ่มต้นการหมัก พบว่า เงื่อนไขการหมักขยะเศษอาหารโดยไม่ผสมถ่านชีวภาพ (Ex. 1–Control) มีค่า pH สภาวะเป็นกรดอ่อน ทั้งนี้เป็นผลของการเกิดกรดอินทรีย์เนื่องจากกระบวนการไฮโดรเลซิส (Hydrolysis) และการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในระบบการหมัก ขณะที่ชุดการหมักขยะเศษอาหารร่วมกับถ่านชีวภาพ (Ex. 2–Biochar) ด้วยคุณสมบัติความเป็นด่าง ดังนั้นถ่านชีวภาพจึงมีส่วนช่วยสะเทินความเป็นกรดในระบบการหมักได้ดีกว่า โดยเฉพาะช่วงเริ่มต้นการหมักที่การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างเข้มข้น (ภาพที่ 18)

3 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในระบบการหมัก



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดด่างในระบบการหมัก

เมื่อพิจารณาคุณภาพปุ๋ยหมักทั้งสองเงื่อนไขที่ได้จากการศึกษา โดยการสังเกตลักษณะทางกายภาพด้วยสายตา (Visual Quality) พบว่า หลังวันที่ 7 ของการหมักเป็นต้นไป เนื้อวัสดุหมักทั้งสองชุดการทดลองมีการย่อยสลายขนาดเล็กลงและมีลักษณะคล้ายดินมากขึ้น สีของวัสดุหมักเข้มขึ้นโดยเฉพาะการหมักร่วมกับถ่านชีวภาพ (น้ำตาลเข้ม-ดำ) และกลิ่นจากการหมักขยะเศษอาหารลดลง (ภาพที่ 19) และหากเปรียบเทียบคุณภาพปุ๋ยหมักกับมาตรฐานปุ๋ยหมักจากกรมวิชาการเกษตร (2548) พบว่า พารามิเตอร์ทางด้านกายภาพ เคมี และธาตุอาหารโดยส่วนใหญ่ของชุดการหมักขยะเศษอาหารร่วมกับถ่านชีวภาพ (Ex. 2–Biochar) ถือว่าใกล้เคียงและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน (ตารางที่ 5)

ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของวัสดุหมักก่อน-หลังการหมัก

ตารางที่ 5 คุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้จากการศึกษาและมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร (2548)

พารามิเตอร์	มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์	ชุดควบคุม (Ex.1) (ไม่ผสมถ่านชีวภาพ)	ชุดทดลอง (Ex.2) (ผสมถ่านชีวภาพ)
ขนาดของปุ๋ย (มิลลิเมตร)	ไม่เกิน 12.5x12.5	ประมาณ 0.6x0.6	ประมาณ 0.6x0.6
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	ไม่เกิน 35	32.35±3.86	28.69±2.98
ค่าความเป็นกรดด่าง	5.5-8.5	7.92±0.05	8.60±0.01
ค่าการนำไฟฟ้า (เดซิซีเมน/เมตร)	ไม่เกิน 6	11.34±0.40	4.25±0.50
ปริมาณไนโตรเจน (ร้อยละ)	ไม่น้อยกว่า 1.0	1.99	1.86
ปริมาณฟอสฟอรัส (ร้อยละ)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.40	0.80
ปริมาณโพแทสเซียม (ร้อยละ)	ไม่น้อยกว่า 0.5	1.93	0.92

ความสรุป

สำหรับประเทศไทยซึ่งถือเป็นประเทศเกษตรกรรมและส่งออกผลิตภัณฑ์การแปรรูปอุตสาหกรรมทางเกษตรระดับต้นๆ ของโลก จึงมีปริมาณวัสดุเหลือทิ้งชีวมวลค่อนข้างสูงกระจายอยู่ทั่วประเทศ ดังนั้นการนำชีวมวลเหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ทั้งทางด้านพลังงานทางด้านสิ่งแวดล้อม ทางด้านการเกษตร ฯลฯ จึงเป็นการเพิ่มมูลค่าเศษชีวมวลเหลือทิ้งเพิ่มรายได้ ลดค่าใช้จ่ายให้กับชุมชนและท้องถิ่น ถือเป็นการช่วยพัฒนาเศรษฐกิจฐานรากและตอบสนองนโยบายเศรษฐกิจแบบองค์รวม (BCG Model) ของประเทศ ทางเลือกหนึ่งที่หนังสือองค์ความรู้เล่มนี้นำเสนอ คือ การนำมาใช้ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะการจัดการปัญหาขยะอินทรีย์ (ขยะเศษอาหาร) จากครัวเรือน ซึ่งถือว่าอยู่ในขั้นวิกฤตในการจัดการขยะชุมชนของประเทศ ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ถ่านชีวภาพสามารถนำมาหมักร่วมกับขยะเศษอาหารจากครัวเรือนได้เป็นอย่างดี โดยผสมที่อัตราประมาณร้อยละ 10 สามารถช่วยพยุงระบบการหมักให้เกิดการย่อยสลายแบบใช้อากาศ ลดปัญหาเรื่องกลิ่นและความเป็นกรดให้กับระบบการหมัก อีกทั้งยังช่วยเพิ่มประสิทธิผลในการหมักให้ได้ผลดียิ่งขึ้นในที่สุด

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. แผนปฏิบัติการด้านการจัดการขยะของประเทศ ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2565 – 2570). [ออนไลน์]. [20 กรกฎาคม 2565]. สืบค้นจาก: https://www.pcd.go.th.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. เชื้อเพลิงเอทานอล. [ออนไลน์]. [17 สิงหาคม 2565]. สืบค้นจาก: https://webkc.dede.go.th.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม. คู่มือนวัตกรรมการจัดการขยะอินทรีย์. [ออนไลน์]. [7 กุมภาพันธ์ 2566]. สืบค้นจาก: https://eservice.deqp.go.th/

เกษตรทูเดย์. น้ำหมักชีวภาพ ภูมิปัญญาแสนเรียบง่ายที่ทำให้เกิดประโยชน์อย่างกว้างขวาง. [ออนไลน์]. [12 มกราคม 2566]. สืบค้นจาก: https://kaset.today

ธนชัย ฉลาดเฉลียว. 2565. การใช้ถ่านชีวภาพร่วมกับปุ๋ยอินทรีย์ในการเป็นวัสดุปลูกผักอินทรีย์ในกระบะ เพื่อส่งเสริมสุขภาวะสังคมผู้สูงอายุ. วิทยานิพนธ์ ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์. 168 หน้า.

ธนิดา หรินทรานนท์. ขยะอาหาร. [ออนไลน์]. [7 กุมภาพันธ์ 2566]. สืบค้นจาก: https://certify.dld.go.th.

บัญจรัตน์ โจลานันท์. 2556 การหมักปุ๋ย: วิทยาศาตร์และเทคโนโลยีที่น่ารู้. พิมพ์ที่ มิสเตอร์เจมส์ ดีไซน์ แอนด์ พรินท์. เชียงใหม่. 155 หน้า.

พิณซอ กรมรัตนาพร. 2566. การทำน้ำหมักชีวภาพและสมุนไพร. [ออนไลน์]. [12 มกราคม 2566]. สืบค้นจาก: https://vet.kku.ac.th.

ศิริลักษณ์ สิริสิงห์. 2556. การพัฒนาการเรียนรู้ การประยุกต์ถ่านชีวภาพในการปรับปรุงดินเพื่อการเกษตร. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาภูมิศาสตร์การวางแผนพัฒนา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 134 หน้า.

สุธรรม ปทุมสวัสดิ์ (2546). พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy). พัฒนาเทคนิคศึกษา. ปีที่ 16 ฉบับที่ 48 ตค.-ธค.

สุพจน์ ชัยวิมล. 2544. เอกสารประกอบการสัมมนาเนื่องในโอกาสฉลองครบรอบ 10 ปี ของการจัดตั้งสถาบันพัฒนาและส่ง เสริมปัจจัยการผลิตขึ้นในกรมส่งเสริมการเกษตร วันอังคารที่ 23 มกราคม 2544 ณ ห้องประชุมกรมส่งเสริมการเกษตร ชั้น 5 (อาคารหลังที่ 1).

องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). ความรู้ด้านก๊าซเรือนกระจก. [ออนไลน์]. [4 มกราคม 2566]. สืบค้นจาก: http://www.tgo.or.th

Environmental Energy Study Institue. Biogas: Converting Waste to Energy. [Online]. [March 23th, 2023]. Available from: https://www.eesi.org.

Fernanda R. Oliveira, Anil K. Patel, Deb P. Jaisi, Sushil Adhikari, Hui Lu, and Samir Kumar Khanal. (2017). Environmental application of biochar: Current status and perspectives. Bioresource Technology. Volume 246, pp 110-122.

Grawe Joachim (1985) The importance of renewable energy sources for the third world" Applied Geography and Development Federal Republic of Germany Institute for Scientific Co-operation Tubingen.

ผู้เขียน/เรียบเรียง

ชื่อ-สกุล : รศ.ดร.บัญจรัตน์ โจลานันท์
สังกัด/หน่วยงาน : คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

ชื่อ-สกุล : ธัญลักษณ์ คเวสก์สุกุล
สังกัด/หน่วยงาน : -

ชื่อ-สกุล : วิศณุกร ยาติรัตน์
สังกัด/หน่วยงาน : -

ชื่อ-สกุล : พรทิวา ธรรมชัย
สังกัด/หน่วยงาน : -

ชื่อ-สกุล : ภัทรพล ทองนรินทร์
สังกัด/หน่วยงาน : -

ถ่านชีวภาพกับการหมักปุ๋ยขยะอินทรีย์
ISBN 978-616-8337-24-0
ISBN (e-Book) 978-616-8337-23-3

ผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร.บัญจรัตน์	โจลานันท์
ธัญลักษณ์	คเวสก์สุกุล
วิศณุกร	ยาติรัตน์
พรทิวา	ธรรมชัย
ภัทรพล	ทองนรินทร์

ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร จัตตุฤทธิ์	ทองปรอน
รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน

กองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร	ธารพรศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย	ผัสดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ไพโรจน์	ไชยเมืองชื่น
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรีวรรณ	ราชสม
นายพิษณุ	พรมพราย
ว่าที่ ร.ต.รัชต์พงษ์	หอชัยรัตน์
นางสาวหนึ่งฤทัย	แสงใส
นางสาวทิน	อ่อนนวล
ว่าที่ ร.ต.เกรียงไกร	ศรีประเสริฐ
นายคเชนท์	เครือสาร
นางสาวสุธาสินี	ผู้อยู่สุข
นายจักรรินทร์	ชื่นสมบัติ
นายเจษฎา	สุภาพรเหมินทร์
นางสาวรัตนาภรณ์	สารภี
นางสาวเสาวลักษณ์	จันทร์พรหม
นางสาวอารีรัตน์	พิมพ์นวน

จัดทำโดย

สถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

พิมพ์ครั้งที่ 1 : มกราคม 2567

พิมพ์ที่ เคเค มีเดียเลขที่ 10 หมู่ที่ 7 ตำบลแม่แตง อำเภอแม่แตง จังหวัดเชียงใหม่

ถ่านชีวภาพ
ในการหมักปุ๋ย
ขยะอินทรีย์

KBS
Knowledge BookStore

สถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน :
98 หมู่ 8 ต.ป่าป้อง อ.ดอยสะเก็ด จ.เชียงใหม่ 50220
โทรศัพท์ : 0 5326 6516 #1032 , โทรสาร : 0 5326 6522