เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ

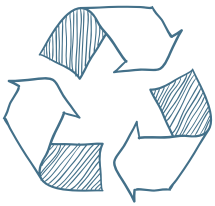
CH_4

แก้วปัญญา Kaewpanya

กลิ่นประทุม ปัญญาปิง

ISBN: 978-974-625-902-6
ISBN: 978-974-625-903-3 (E-book)

เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ



คำนำ

ประเทศไทยนับเป็นประเทศหนึ่งที่มีของเสียอินทรีย์เกิดขึ้นอยู่จำนวนมาก เช่น เศษก้านและใบไม้ เศษอาหาร และวัชพืชหลักในแหล่งน้ำ ในขณะที่ของเสียอินทรีย์เหล่านี้ได้ก่อให้เกิดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้นจากการกำจัด ทั้งมลพิษทางอากาศ น้ำเสีย และขยะมูลฝอย เป็นต้น ส่วนแหล่งน้ำ เช่น แม่น้ำ ลำคลอง และบึงน้ำยังพบว่ามีวัชพืชน้ำที่สำคัญ คือ ผักตบชวา ขึ้นอยู่ทั่วไปและอยู่ในจำพวกของเสียอินทรีย์ที่ยากต่อการกำจัด

จึงจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่สามารถเปลี่ยนของเสียอินทรีย์ดังกล่าว ให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ในรูปของพลังงานสะอาด คือ ก๊าซชีวภาพ โดยเทคโนโลยีข้างต้นได้ผ่านการศึกษาวิจัยกับเศษอาหาร เศษก้านและใบไม้ รวมทั้งผักตบชวา ด้วยสัดส่วนต่าง ๆ กันและสูตรของสัดส่วนวัสดุหมักทั้ง 3 กลุ่มที่เหมาะสมได้นำมาเสนอไว้ภายในสื่อฉบับนี้ เพื่อใช้เป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยลดปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและเพิ่มคุณภาพชีวิตแก่ประชากร ทั้งในระดับครัวเรือน ชุมชน และพัฒนาเป็นวิสาหกิจชุมชนที่ทำให้เกิดรายได้ต่อไป เพื่อช่วยให้ประเทศเกิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนตามเป้าหมายขององค์กรสหประชาชาติในปีค.ศ. 2030

6 ความเป็นมาและ
ความสำคัญในการใช้เทคโนโลยี

8 พื้นฐานเทคโนโลยีการเปลี่ยน
ของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ

11 ทฤษฎีเบื้องต้น
ของการเกิดก๊าซชีวภาพ

17 วัสดุ อุปกรณ์
และเครื่องมือที่ใช้

สารบัญ

22 วิธีการเตรียมระบบ
และการเดินระบบหมักย่อย

24 การถ่ายทอดเทคโนโลยี
การเปลี่ยนของเสียอินทรีย์

35 บทสรุป

1

ความเป็นมาและความสำคัญในการใช้เทคโนโลยี

จากปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อม ทั้งปัญหาน้ำเสีย ของเสียและมลพิษอากาศ ที่เกิดจากของเสียอินทรีย์ในภาคครัวเรือนและการบริการ ได้แก่ ร้านอาหาร ตลาด ศูนย์การค้าและโรงแรม คือ เศษอาหาร รวมทั้งจากการมีวัชพืชที่สำคัญในแหล่งน้ำจำนวนมาก คือ ผักตบชวา ส่งผลให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน เกิดภาวะน้ำเน่าเสียและทำให้มีปลาตายลอยน้ำในช่วงฤดูแล้ง ตลอดจนการเผาขยะเศษกิ่งไม้และใบไม้ต่าง ๆ ในที่โล่งภายหลังการเก็บเกี่ยวและตัดแต่งกิ่งไม้ต่าง ๆ ของพืชเศรษฐกิจ เช่น ลำไย มะม่วง และลิ้นจี่ เป็นต้น รวมทั้งพืชประดับและไม้ยืนต้นจากที่พักอาศัย สถานที่ราชการและอื่น ๆ เช่น ไทร และสัก เป็นต้น ซึ่งพบว่ายังมีการจัดการที่ไม่ดีเพียงพอในการกำจัดและการปล่อยทิ้งที่ไม่ก่อประโยชน์และทำให้มีค่าใช้จ่ายในการกำจัด

นอกจากนั้นการกำจัดโดยการเผาทิ้ง เป็นการสูญเสียพลังงานความร้อนที่ควรได้และก่อให้เกิดมลพิษอากาศ ซึ่งเป็นสาเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก หรือภาวะโลกร้อน มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวางในด้านสุขภาพอนามัย สังคมและเศรษฐกิจ โดยเฉพาะปัญหาหมอกควันในภาคเหนือ อย่างไรก็ดี ทั้งเศษวัชพืช เศษก้านและใบไม้ต่าง ๆ และเศษอาหาร ล้วนเป็นของเสียอินทรีย์ที่มีประโยชน์ ซึ่งนับได้ว่าเป็นทรัพยากรที่มีค่าอีกรูปหนึ่ง ซึ่งนำมาเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานสะอาดสำหรับการประยุกต์ใช้งานได้ต่อไป

จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมาพบว่า เศษก้านและใบไม้ ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพได้ (1) โดยเฉพาะเศษก้านและใบไม้รวม ยังช่วยเร่งการย่อยสลายของเศษอาหารได้ดีกว่าการหมักย่อยสลายเศษอาหารเพียงอย่างเดียว (2), (3) นอกจากนั้นการนำเอาผักตบชวามาหมักร่วม (Co-digestion) กับเศษอาหาร และเศษก้านและใบไม้รวม โดยใช้เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นการใช้เทคโนโลยีบำบัดของเสียในรูปสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน ยิ่งช่วยเร่งให้เกิดการย่อยสลายของเศษอาหารได้ดีกว่าการหมักร่วมระหว่างเศษก้านและใบไม้รวมร่วมกับเศษอาหาร (4), (5) ทำให้ได้พลังงานในรูปก๊าซชีวภาพ รวมทั้งได้ปุ๋ยน้ำชีวภาพและกากตะกอนซึ่งใช้เป็นหัวเชื้อในการหมักทำปุ๋ยอินทรีย์

ด้วยเหตุที่ของเสียอินทรีย์ข้างต้น มีอยู่ทั่วไปในท้องถิ่นทั่วประเทศ จึงสมควรนำมาแปรรูปให้เกิดประโยชน์สูงสุดและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมที่จะเกิดขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีการหมักย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนซึ่งอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์จากเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ที่ได้จากฟาร์มสุกร เป็นต้น ดังนั้นสื่อองค์ความรู้ฉบับนี้ จึงได้นำเสนอเทคโนโลยีของการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ โดยมุ่งเน้นการใช้สัดส่วนของวัสดุหมักที่เหมาะสมที่ได้ผ่านการศึกษาวิจัยมาแล้ว สำหรับใช้ในการถ่ายทอดเทคโนโลยี เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดการของเสียอินทรีย์และวัชพืชหลักที่สำคัญในแหล่งน้ำ ให้เป็นพลังงานสะอาดซึ่งเป็นผลพลอยได้หลัก และปุ๋ยน้ำหมักชีวภาพและกากตะกอนที่เป็นผลพลอยได้รอง ด้วยวิธีการเตรียมระบบและการเดินระบบหมักย่อย ซึ่งมีขั้นตอนในการปฏิบัติที่นำไปใช้งานได้จริงในชุมชน (6) และให้ผลที่ดีต่อการอนุรักษ์พลังงาน ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและเกษตรกรรม รวมทั้งผลตอบแทนการลงทุนที่เร็ว มีส่วนช่วยให้ท้องถิ่นเกิดการเจริญเติบโตที่สอดล้องกับเป้าหมายการพัฒนาอย่างยั่งยืนของสหประชาชาติในปี 2030

2 พื้นฐานเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ

ความหมายของ "ของเสียอินทรีย์" หมายถึงของเหลือทิ้งที่สามารถย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เช่น เศษอาหาร ซากพืชและสัตว์ เป็นต้น ในทางเคมี "ของเสียอินทรีย์" คือ สารที่มีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) ในรูปของก๊าซมีเทน (CH_4) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) (7)

การตรวจวัดปริมาณของเสียอินทรีย์ จึงตรวจวัดในรูปของค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand; COD)

เนื่องจากซีโอดีจะถูกเปลี่ยนให้เป็นก๊าซมีเทนซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของก๊าซชีวภาพ ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก ซึ่งสามารถนำไปคำนวณหาปริมาณก๊าซมีเทนได้ดังนี้

กรดอะซิติก 1 โมล มีค่าซีโอดี 64 กรัม เปลี่ยนเป็นมีเทนได้ 1 โมลหรือ 16 กรัม"

COD 64 กรัม เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้ = 16 กรัม

หรือ COD 1 กรัม ⟶ 16/64 = 0.25 กรัม

เทียบเท่ามีเทน 0.25/16 = 0.015625 โมล

การคำนวณหาปริมาตรก๊าซมีเทน จากจำนวนโมล;

เมื่ออุณหภูมิหรือความดันเปลี่ยน $\frac{P1V1}{T1} = \frac{P2V2}{T2}$

ปริมาตรก๊าซมีเทน 0.015625 โมล คิดเป็นปริมาตรก๊าซได้จากสมการก๊าซที่สภาวะมาตรฐาน (0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ)

เมื่อ $V=nRT/P = \frac{0.015625 \text{ โมล} \times 8314 \text{ นิวตัน-ม/กก-โมล-เคลวิน} \times 273.15 \text{ เคลวิน}}{101{,}325 \text{ นิวตัน/ม}^2}$

โดยที่ P = ปาสคาล (Pascal) = 101,325 นิวตัน/ม2 n = 0.015625 โมล R = ค่าคงที่ของก๊าซ = 8.314

T = อุณหภูมิ = 273.15 เคลวิน

ดังนั้น ปริมาณซีโอดี 1 กิโลกรัม เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้ 350 ลิตรที่สภาวะมาตรฐาน (0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ)

การตรวจวัดปริมาณของเสียอินทรีย์ทางเคมีในรูปของค่าซีโอดี

ความหมายของ "ก๊าซชีวภาพ" โดยทั่วไปหมายถึง ก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก ของอินทรีย์วัตถุประกอบด้วย ปุ๋ยคอก โคลนจากน้ำเสีย ขยะประเภทของแข็งจากเมือง หรือของเสียชีวภาพจากอาหารสัตว์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน หรือไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) (8)

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ที่สภาวะมาตรฐาน (0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) ดังแสดงในตารางที่ 1

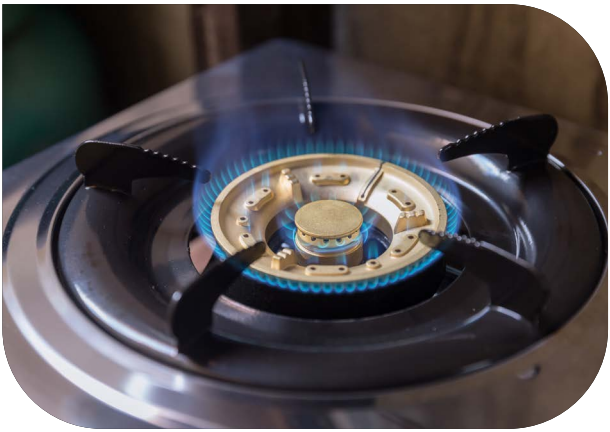
ตารางที่ 1 รายละเอียดชนิดขององค์ประกอบก๊าซชีวภาพ ที่สภาวะมาตรฐาน

ชนิด	ปริมาณ
ก๊าซมีเทน (CH_4)	55-65
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	35-45
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	0-1
ก๊าซไนโตรเจน (N)	0-8
ก๊าซไฮโดรเจน (H)	0-1

ที่มา : ศูนย์ส่งเสริมพลังงานชีวมวล, 2550 (9)

ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีค่าความร้อนเทียบเท่าเชื้อเพลิงต่าง ๆ ได้ดังนี้ (9)

ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46	กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.67	กิโลกรัม
น้ำมันดีเซล	0.60	กิโลกรัม
น้ำมันเตา	0.55	กิโลกรัม
ฟืนไม้	1.50	กิโลกรัม
ไฟฟ้า	1.20	กิโลกรัม



3

ทฤษฎีเบื้องต้น ของการเกิดก๊าซชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน หรือไม่ใช้ออกซิเจน หรือไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion; AD) เป็นกระบวนการทางชีววิทยาในการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพ ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนและเป็นสภาวะรีดิวซ์นั้นเกิดขึ้น (10) ดังสมการต่อไปนี้

**สารอินทรีย์ตั้งต้น $\longrightarrow$ $CH_4 + CO_2 + H_2 + H_2S + NH_3$

192 กก.เช่น กลูโคส (Glucose)

$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 3CH_4 + 3CO_2$

180 กก. 48 กก.

$3CH_4 + 6O_2 \qquad 3CO_2 + 6H_2O$

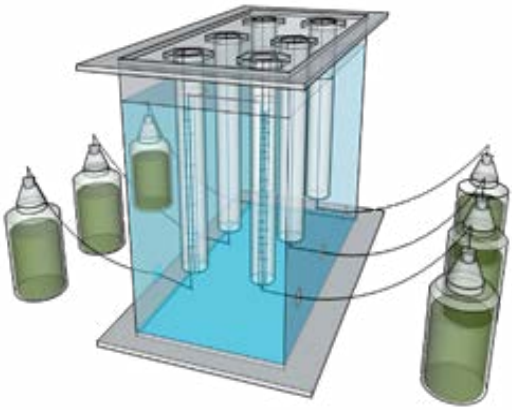
**สารอินทรีย์ที่วัดในรูปซีโอดี (COD) ไม่สามารถเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ได้ทั้งหมด เนื่องจากมีส่วนที่ไม่ละลายน้ำได้และคงอยู่ในรูปของอนุภาค

ดังนั้นในการนำของเสียอินทรีย์แต่ละชนิดมาหมักย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน จึงจำเป็นต้องทำการประเมินหาศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทน (Bio-methane Potential; BMP) เพื่อให้ได้ก๊าซมีเทนที่มีปริมาณมากเพียงพอกับการนำไปหมักย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน

การประเมินหาศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทน (Bio-methane Potential; BMP)

-การหาค่า BMP สามารถทำได้โดยการหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบปิด ด้วยการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ซึ่งทำงานโดยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่ผลิตได้เทียบกับปริมาณซีโอดีที่ถูกกำจัด จากค่าซีโอดีที่วัดได้ก่อนและหลังการหมักย่อยสลาย (11)

-การหาค่า BMP จะสิ้นสุดลง เมื่อปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับคงที่ กล่าวคือ มีปริมาณก๊าซไม่เพิ่มหรือลดจากที่เคยเกิดหรืออย่างน้อยที่สุด คือ เกิดประมาณ 5 มิลลิลิตร



ชุด BMP สำหรับหาค่าศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทน

ศักยภาพการย่อยสลายให้ก๊าซมีเทน (Bio-methane Potential/Biochemical Methane Potential, BMP) คือ การประเมินอัตราการเปลี่ยนของซีโอดี เฉพาะส่วนที่ถูกใช้ในการเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนของสารอินทรีย์ ด้วยวิธี Bio-methane Potential/Biochemical Methane Potential, BMP (11)

$$\text{BMP} = \frac{\text{ปริมาตรของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นทั้งหมด (มิลลิลิตร)}}{\text{น้ำหนักของซีโอดีที่ถูกกำจัด (กรัม)}}$$

ในทางทฤษฎี การเปลี่ยนซีโอดีเป็นก๊าซมีเทนนั้น สารอินทรีย์ 1 กรัมซีโอดี เปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนได้ 350 มิลลิลิตร ที่สภาวะมาตรฐาน (0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ)

ขั้นตอนของกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ประกอบด้วย 4 ปฏิกิริยาหลัก (12) ดังแสดงในแผนผังที่ 1 ได้แก่

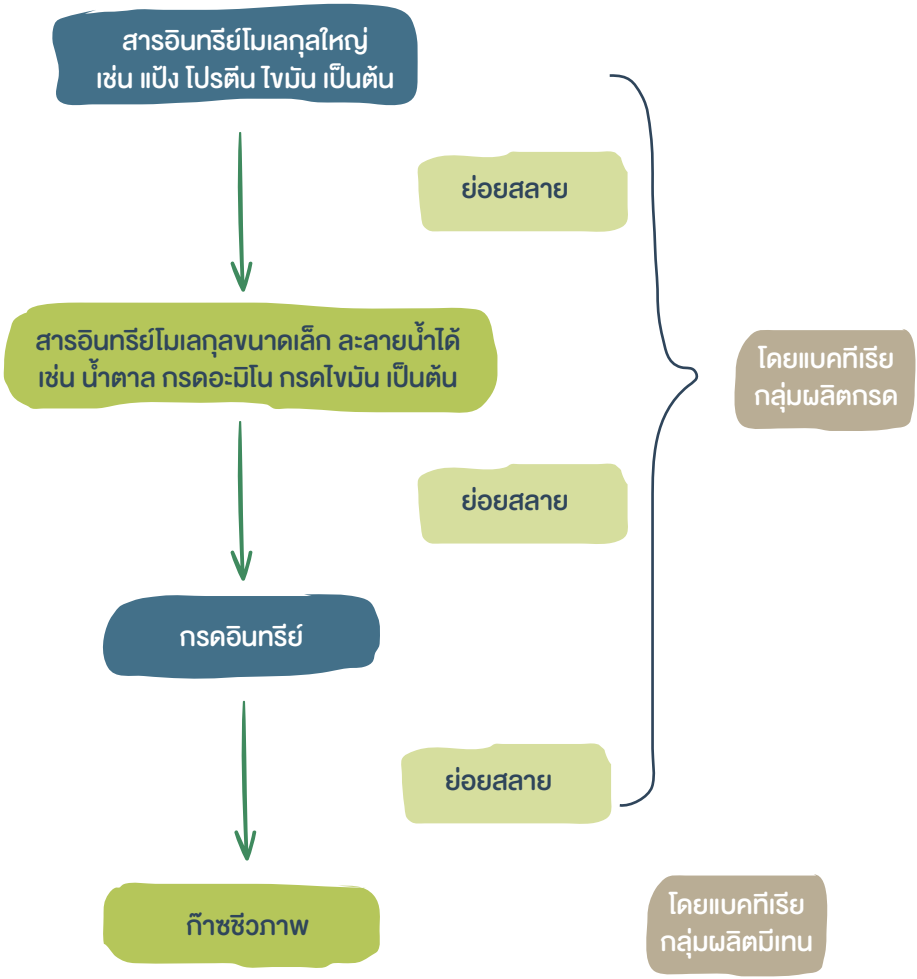
1. ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งสารอินทรีย์ตั้งต้นที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (Biopolymer) เช่น แป้ง โปรตีน และไขมัน ถูกย่อยสลายให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลง (Monomer) จนสามารถละลายในน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน และกรดไขมัน เป็นต้น

2. อะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) เป็นปฏิกิริยาการสร้างกรดที่สารอินทรีย์ซึ่งมีขนาดโมเลกุลเล็กลงจากการย่อยสลาย ถูกย่อยสลายให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid; VFA) ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่อยู่หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิค และกรดบิวทิริก เป็นต้น

3. อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) เป็นปฏิกิริยาที่กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่ที่ได้จากการย่อยสลายก่อนหน้านี้ ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเช่น กรดโพรพิโอนิค กรดแลกติกและอื่น ๆ ให้กลายเป็นกรดอะซิติก โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด

4. เมทาโนเจเนซิส (Methanogenesis) เป็นปฏิกิริยาที่กรดอะซิติก (Acetic acid) ถูกย่อยสลายให้กลายเป็นก๊าซมีเทน (Methane) หรือที่เรียกกันว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) โดยแบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน

โดยปฏิกิริยาการทำงานดังกล่าวเกิดขึ้นจากจุลินทรีย์ซึ่งเป็นแบคทีเรีย 2 กลุ่ม คือ กลุ่มผลิตกรดและกลุ่มผลิตมีเทน ทำให้ได้ผลพลอยได้หลัก คือ ก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบด้วย CH_4 มากกว่าร้อยละ 50-65 CO_2 มากกว่าร้อยละ 25-30 และอื่น ๆ ได้แก่ ไอน้ำ H_2S และ NH_3 รวมทั้งผลพลอยได้รอง ได้แก่ น้ำหมัก ซึ่งเป็นส่วนของของเหลวที่ได้หลังการหมักย่อยแล้ว ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ทันที และกากตะกอนที่เหลือจากการหมักย่อย ซึ่งเป็นกากที่ผ่านการตากแห้งในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถขนย้ายไปใช้งานในที่ต่าง ๆ ได้สะดวก



แผนผังที่ 1 ขั้นตอนของกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมักย่อยสลาย [13]

1. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 6-8 เนื่องจากการสร้างมีเทนจะเกิดขึ้นได้ดีที่ pH ระหว่าง 6.7-7.5

2. อุณหภูมิ (Temperature) จุลินทรีย์ซึ่งทำงานได้ดีในเขตร้อน เช่น ประเทศไทย คือ กลุ่ม Mesophilic bacteria ซึ่งมีการทำงานโดยเกิดการย่อยสลายได้ดีที่อุณหภูมิระหว่าง 25-40^{0}C

3. สารอาหาร (Nutrients) ได้แก่ C H และอื่น ๆ เช่น N, S, P, K, Ca ที่เพียงพอช่วยเพิ่มให้เกิดการย่อยสลายได้ดี

4. กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) กรณีที่มีกรดอินทรีย์ขนาดเล็กเกิดขึ้นมาก จะทำให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนมากขึ้นด้วย

5. สภาพด่าง (Alkalinity) ค่าสภาพด่างที่มีความเหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

6. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) มีค่าอยู่ระหว่าง 8-30 และค่าที่เหมาะสม คือ 25

7. การกวนผสม (Mixing) มีส่วนช่วยให้จุลินทรีย์มีการสัมผัสอย่างทั่วถึง และป้องกันการเกิดตะกอนลอย

8. ระยะเวลากักเก็บ (Hydraulic Retention Time: HRT) ใช้ระยะเวลานานประมาณ 14-60 วัน

9. อัตราการผลิตก๊าซมีเทนและองค์ประกอบก๊าซชีวภาพ มีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 60-65

10. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (COD) มีค่ามากกว่าร้อยละ 70-85

“เทคโนโลยีการเปลี่ยน
ของเสียอินทรีย์
เป็นก๊าซชีวภาพ
เป็นทางเลือกหนึ่ง
ในการจัดการของเสียอินทรีย์และ
วัชพืชหลักที่สำคัญในแหล่งน้ำ
ให้เป็นพลังงานสะอาด”

4 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้

ประกอบด้วย

- เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ตั้งต้นจากฟาร์มสุกร

เชื้อตะกอนจุลินทรีย์

- ผักตบชวา จากบึงน้ำ หรือคลองและแม่น้ำ

ผักตบชวาจากบึงน้ำ

• เศษอาหารจากร้านอาหาร หรือครัวเรือน

เศษอาหาร

• เศษก้านและใบไม้รวม เช่น ใบลำไย ใบมะม่วง หรือใบสัก และใบไทร ซึ่งเป็นใบไม้ที่หาได้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตและการตัดแต่งกิ่งไม้ในสวนและบ้านเรือน

เศษก้านและใบลำไยแห้ง เศษก้านและใบลำไยแห้งที่บดแล้ว เศษก้านและใบลำไยสดที่บดแล้ว

• เครื่องหั่นย่อยใบไม้และกิ่งไม้และเครื่องบดเศษใบไม้และอาหารแบบละเอียด

เครื่องหั่นย่อยใบไม้และกิ่งไม้แบบละเอียด เครื่องบดเศษใบไม้และอาหารแบบละเอียด

ชุดถังหมักซึ่งประกอบด้วยถังหมักย่อยในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ขนาด 200 ลิตร และถังเก็บก๊าซ ควรมีขนาด 150 ลิตร หากถังเก็บก๊าซมีขนาดเล็ก ควรต่อท่อก๊าซเข้ากับเตาหุงต้ม เพื่อลดการสิ้นออกของก๊าซชีวภาพจากถังเก็บ กรณีที่ท่อทางออกซึ่งเป็นท่อระบายของเสียและน้ำเสียอยู่ใกล้กับก้นถังหมัก ควรมีแท่นรองพื้นถังให้สูงขึ้นเพื่อให้สะดวกในการตรวจสอบสภาพการย่อยสลายของของเสียอินทรีย์ในถังหมักและสะดวกต่อการนำเอาน้ำหมักและตะกอนที่เกิดจากการหมักย่อยสลายออกจากระบบ และควรใช้ใบพัดกวนวัสดุหมักในถังหมักอยู่เป็นประจำโดยเฉพาะทุกครั้งที่มีการเติมเศษอาหารลงในถังหมัก

ชุดถังหมักขนาด 200 ลิตร

ชุดถังหมักขนาด 200 ลิตร

ท่อระบายน้ำเสียและของเสียออก

กรวยทางเข้าของของเสียและเชื้อจุลินทรีย์

วิธีการเตรียมวัสดุหมัก

เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ตั้งต้น เก็บด้วยวิธีการจ้วง (Garb Sampling) ออกมาจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพ แบบไม่ใช้ออกซิเจนของฟาร์มสุกร

การเก็บเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ในฟาร์มสุกร

ลักษณะของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์

- **เศษอาหารที่คัดเอาเศษกระดูกออกและนำมาบดละเอียด ให้มีขนาด 0.1-0.5 มิลลิเมตร**

เศษอาหารก่อนคัดแยกกระดูก

เศษอาหารหลังการคัดแยก

เศษอาหารที่ผ่านการบดละเอียด

- **เศษก้านและใบไม้รวม** ได้แก่ ใบมะม่วง ใบสัก ใบลิ้นจี่ ใบลำไย และใบไทร โดยเลือกชนิดของใบไม้มาจำนวน 3 ชนิด ในอัตราส่วนใบสดต่อใบแห้ง 3 ต่อ 1 และนำมาผ่านการบดย่อยให้มีขนาด 0.1-0.5 มิลลิเมตร และใช้เป็นวัสดุหมักในสัดส่วนที่เท่ากัน

เศษก้านและใบมะม่วงสดและแห้ง

เศษก้านและใบสักสดและแห้ง

เศษก้านและใบไทรสดและแห้ง

• **นำผักตบชวามาบดย่อยให้มีขนาด 0.1-0.5 มิลลิเมตร** แล้วนำมาแช่โซดาไฟหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ความเข้มข้น 3% (ใช้โซดาไฟ 3 กรัม ต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร) เป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้ย่อยได้ง่ายขึ้น

ผักตบชวาสด

ผักตบชวาปั่นละเอียด

ผักตบชวาปั่นและแช่สารละลายโซดาไฟ ผักตบชวาหลังการแช่สารละลายโซดาไฟ 1 คืน

การตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญในห้องปฏิบัติการ

ประกอบด้วย ค่าพีเอช pH ของแข็งรวม (Total Solids; TS) ของแข็งระเหย (Volatie Solids; VS) ของแข็งแขวนลอยที่ระเหยได้ (Mixed Liquid Volatile Suspended; MLVSS) (ใช้วิเคราะห์เฉพาะกับเชื้อตะกอนจุลินทรีย์) ค่าซีโอดีรวม (Total Chemical Oxygen Demand; CODt) ค่าซีโอดีที่ละลายน้ำได้ (Soluble Chemical Oxygen Demand; COD_s) ของตัวอย่างวัสดุหมักแต่ละชนิดก่อนการเตรียมส่วนผสมลงถังหมัก รวมทั้งตัวอย่างของเสียผสมก่อนและหลังการหมัก และระหว่างการหมัก ทำการตรวจวัดค่าพีเอชและอุณหภูมิ โดยเฉพาะการตรวจวัดปริมาณและคุณภาพของผลผลิตก๊าซชีวภาพ ตามมาตรฐานของการตรวจวัดน้ำเสียและเกณฑ์วัดคุณภาพก๊าซชีวภาพ

5 วิธีการเตรียมระบบและการเดินระบบหมักย่อย

ประกอบด้วยการเตรียมถังหมักก๊าซชีวภาพ

การเตรียมถังหมักก๊าซชีวภาพ

จัดทำถังหมักย่อยผักตบชวาร่วมกับของเสียผสมจำพวกเศษก้านและใบไม้รวมได้แก่ ใบมะม่วง ใบสัก และใบไทร หรือใบลำไย ใบมะม่วง และใบสักกับเศษอาหารและเชื้อจุลินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ โดยใช้ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 52.8 เซนติเมตร โดยวางไว้บนพื้นราบ เพื่อความสะดวกในการเก็บตัวอย่างวัสดุหมักจากถังหมักสำหรับใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ที่สำคัญต่าง ๆ และจัดทำถังเก็บก๊าซชีวภาพบรรจุอยู่ในถังน้ำขนาด 150 ลิตร ให้อยู่ในระดับความสูงเดียวกัน เพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน

ชุดถังหมักขนาด 200 ลิตรที่มีใบพัดกวนและมีท่อต่อเข้ากับเตาหุงต้มได้

การเดินระบบหมักย่อย

นำวัสดุทั้งหมดที่ใช้ในการหมักย่อยมาผสมกับเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ตามอัตราส่วนที่ได้คำนวณไว้ทำการกวนผสมให้เข้ากัน จากนั้นเก็บน้ำไปทำการวิเคราะห์หาค่า pH

เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ตั้งต้น

การผสมวัสดุหมักเข้ากับเชื้อตะกอนจุลินทรีย์ตั้งต้น

วัสดุหมักผสม

ขณะทำการเดินระบบหมัก ควรสังเกตปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น และวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยเฉพาะเมื่อมีการป้อนเศษอาหารเข้าสู่ถังหมัก รวมทั้งอุณหภูมิที่มีการเปลี่ยนแปลงทุกวัน

นอกจากนั้น ควรตรวจวัดองค์ประกอบก๊าซที่เกิดขึ้นว่าสามารถใช้งานได้ โดยการจุดติดไฟและการนำไปใช้งานกับเตาหุงต้ม เพื่อประกอบอาหารต่อไป

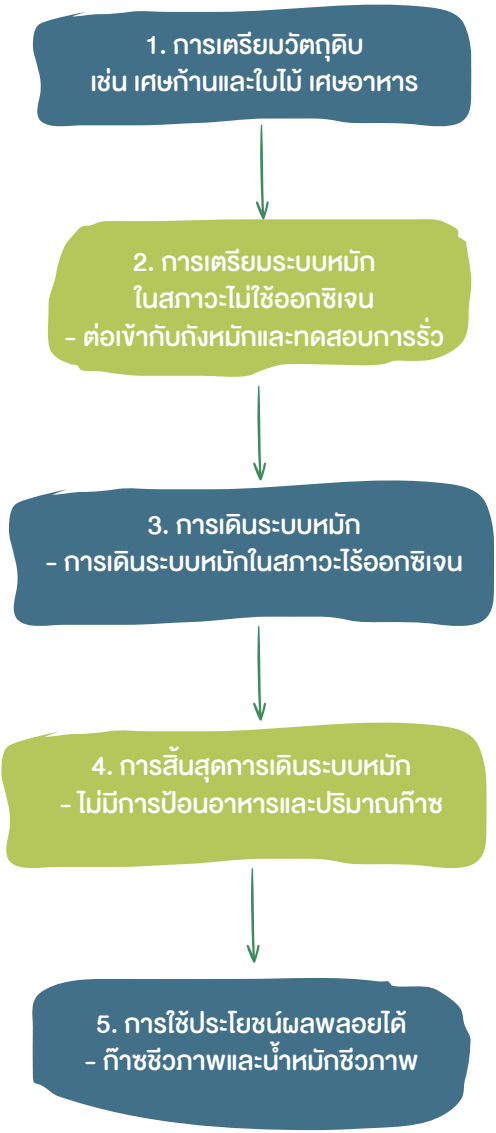
ผลตอบแทนโดยรวมที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ

- ผลพลอยได้หลัก คือ ก๊าซชีวภาพใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มและเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ รวมทั้งใช้ผลิตไฟฟ้า
- ผลพลอยได้รอง คือ ปุ๋ยน้ำหมัก ที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรและบำรุงดิน
- ให้ผลการตอบแทนจากการลงทุนได้เร็วกว่าการผลิตอื่น ๆ
- ช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มจากเศษวัสดุเหลือทิ้งในรูปพลังงานทดแทน/สารอาหารที่มีคุณค่าต่อมนุษย์
- ช่วยอนุรักษ์พลังงาน และอนุรักษ์ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อม
- ลดปัญหาหมอกควันจากการเผาทำลายเศษของเสียอินทรีย์ได้อีกทางหนึ่ง
- สร้างต้นแบบชุมชนที่ประสบความสำเร็จในการใช้เทคโนโลยีเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ หรือเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

6

การถ่ายทอดเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์

การฝึกอบรมและสาธิตการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพในชุมชน ควรเป็นชุมชนที่มีความพร้อมและเข้มแข็ง โดยเฉพาะมีความต้องการที่จะรับการถ่ายทอดเทคโนโลยีข้างต้น ตัวอย่าง เช่น ชุมชนเทศบาลเมืองต้นธง อ. เมือง จ. ลำพูน ซึ่งมีความพร้อมในการถ่ายทอดเทคโนโลยีดังกล่าว และมีของเสียอินทรีย์ต่าง ๆ ทั้งผักตบชวา เศษก้านและใบไม้ และเศษอาหาร รวมทั้งของเสียจากฟาร์มสุกรในพื้นที่ นอกจากนั้นยังมีครัวเรือนที่มีประสบการณ์ในการทำก๊าซชีวภาพมาก่อนอีกด้วย สำหรับการลงมือปฏิบัติมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังแสดงในแผนผังที่ 2 และมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนในหัวข้อขั้นตอนการทำก๊าซชีวภาพในครัวเรือน/ชุมชน (14)



แผนผังที่ 2 ขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียอินทรีย์

ขั้นตอนการทำก๊าซชีวภาพในครัวเรือน/ชุมชน

ขั้นตอนที่ 1 การเตรียมวัสดุหมัก

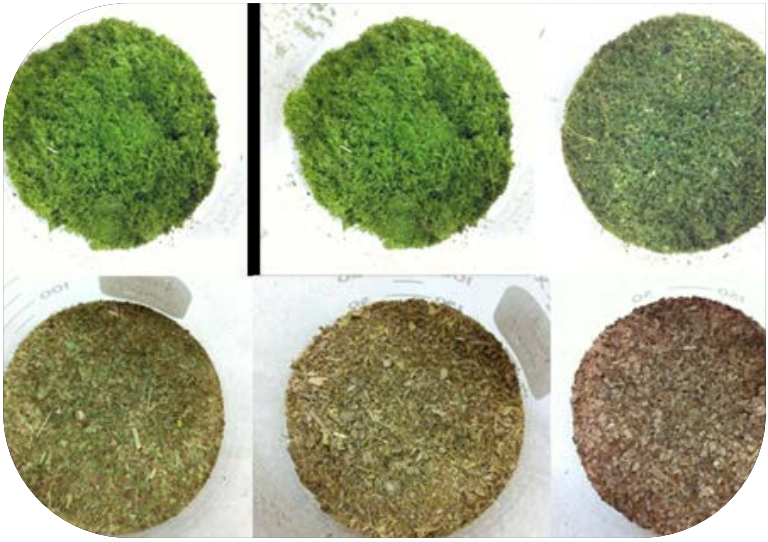
• **วัสดุหมักสด** ได้แก่ เศษใบไม้พวกใบลำไย มะม่วง ลิ้นจี่ ไทร สักและอื่น ๆ ที่ผ่านการปั่นให้ละเอียดมีขนาด ประมาณ 0.1-0.2 มิลลิเมตร จากรูปเป็นตัวอย่างของเศษก้านและใบของมะม่วงและไทร

เศษก้านและใบมะม่วงแห้ง

เศษก้านและใบมะม่วงสด

เศษก้านและใบไทร

• **วัสดุหมักแห้ง** ได้แก่ เศษใบไม้แห้งหลายชนิดเช่นเดียวกับเศษใบไม้สด ที่ผ่านการปั่นละเอียดมีขนาดประมาณ 0.1- 0.2 มิลลิเมตร จากรูปเป็นตัวอย่างของเศษก้านและใบไม้รวม ของมะม่วง ไทรและลิ้นจี่



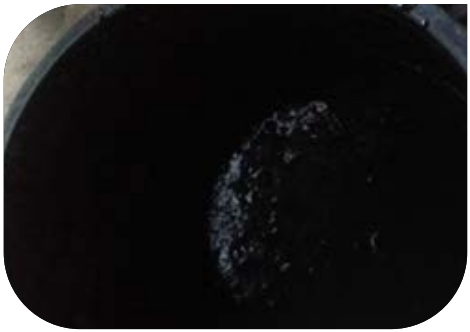
เศษก้านและใบไม้รวม ประกอบด้วยมะม่วง ไทร และลิ้นจี่ สัดส่วนสด:แห้ง 3:1

• **เศษอาหาร** ที่ผ่านการปั่นละเอียดมีขนาดประมาณ 0.1-0.2 มิลลิเมตร

เศษอาหารก่อนปั่น

เศษอาหารหลังปั่นละเอียด

• **ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกร** ใช้อัตราส่วนเชื้อต่อวัสดุหมักทั้งสดและแห้ง = 70 : 30



ตะกอนเชื้อจุลินทรีย์

สัดส่วนส่วนวัสดุหมักที่ดี เมื่อใช้เศษวัสดุ 3 ประเภท
คือ ผักตบชวา เศษใบไม้รวม และเศษอาหาร = 3 : 2 : 3
สัดส่วนส่วนวัสดุหมักที่ดี เมื่อใช้เศษวัสดุ 2 ประเภท
คือ เศษใบไม้รวม และเศษอาหาร = 2 : 3

ขั้นตอนที่ 2 การเตรียมระบบหมัก

- ผสมวัสดุประเภทใบไม้ ผักตบชวา และเศษอาหารที่ปั่นแล้ว ซึ่งมีสัดส่วนของวัสดุหมัก สด : แห้ง = 3 : 1 ร่วมกับตะกอนเชื้อจุลินทรีย์ โดยกวนให้เข้ากันอย่างทั่วถึงในถังผสมแล้วถ่ายลงชุดถังหมัก
- ตรวจสอบชุดถังหมัก 200 ลิตรที่เป็นชุดถังหมักขนาดครัวเรือน ซึ่งประกอบด้วยถังหมักวัสดุ และถังเก็บก๊าซว่าไม่มีรูรั่วเกิดขึ้น แล้วเปิดก๊อกด้านล่างถังหมักไว้เพื่อไล่อากาศ

ขั้นตอนที่ 3 การเดินระบบหมัก

- นำวัสดุหมักที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 มาใส่ถังหมักขนาด 200 ลิตร และปิดก๊อกด้านล่างถัง เพื่อไม่ให้อากาศเข้า

ถังหมักขนาด 200 ลิตรและที่กวน ชุดถังหมักขนาด 200 ลิตรที่ใช้งานในชุมชน

- สังเกตว่ามีปริมาณก๊าซเกิดขึ้นในถังเก็บก๊าซหรือไม่
- วัดความเป็นกรด-ด่างหรือค่าพีเอช (pH) ของถังหมัก ด้วยเครื่องวัดแบบพกพา เพื่อตรวจสอบสภาวะที่พร้อมในการทำงานของจุลินทรีย์ (ราคาเครื่องประมาณ1,000-2,500 บาท) หากเป็นกรด ต้องทำการปรับให้เป็นด่างอ่อน ด้วยสารละลายโซดาไฟที่มีความเข้มข้น 3% กล่าวคือ ใช้โซดาไฟ 3 กรัม ละลายในน้ำ 100 มิลลิลิตร และวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในถังเก็บก๊าซ

****ถังหมักนี้ทำการป้อนอาหารได้ทุกวัน ประมาณ 2 กก/วัน ใช้ระยะเวลาหมักนาน 7 วัน จึงเกิดก๊าซชีวภาพขึ้น

เตาก๊าซที่ต่อจากถังหมักขนาดครัวเรือน

ขั้นตอนที่ 4 การเดินระบบหมักเมื่อสิ้นสุด

-วัดความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช) และวัดปริมาณก๊าซเมื่อสิ้นสุด และหยุดการเดินระบบหมัก โดยตรวจหาองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้นอย่างง่าย โดยการจุดติดไฟ

**ขั้นตอนนี้ ต้องหมั่นกวนเป็นประจำและทุกครั้งที่มีการเติมเศษอาหารในถังหมัก

ขั้นตอนที่ 5 การใช้ประโยชน์จากผลพลอยได้หลักและรอง

-นำเอาก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นผลพลอยได้หลักมาใช้ เชื้อเพลิงหุงต้ม/เชื้อเพลิงในเครื่องยนต์

-นำเอาน้ำหมักชีวภาพ ซึ่งเป็นผลพลอยได้รอง รวมทั้งกากตะกอนมาใช้เป็นปุ๋ยหมักในการเพาะปลูก บำรุงดิน และใช้เป็นหัวเชื้อในการทำปุ๋ยหมักอินทรีย์

ราคาของขนาดถังหมักแบบครัวเรือนที่ใช้ในการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ขนาดถังหมักแบบครัวเรือน แบ่งตามราคาต้นทุนที่ใช้ได้ 2 แบบ แบบราคาเต็ม เป็นต้นทุนที่ใช้ทั้งหมดจากอุปกรณ์และค่าจ้างประกอบ ส่วนแบบราคาบางส่วนที่เป็นอีกทางเลือกในการทำถังหมักข้างต้น เป็นต้นทุนที่ใช้บางส่วน กรณีมีเตาก๊าซที่ใช้งานกับก๊าซชีวภาพอยู่แล้วและใช้แรงงานตนเองในการประกอบถังหมัก ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ราคาของถังหมักแบบครัวเรือน

รายการ	ราคาเต็ม (บาท)	ราคาบางส่วน (บาท)
-ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร (650 บาท/ถัง) จำนวน 2 ถัง	1,300	1,300
-ถังพลาสติกขนาด 150 ลิตร (580 บาท/ถัง) จำนวน 1 ถัง	580	580
-อุปกรณ์ประกอบ PE	700	700
-อุปกรณ์ประกอบ PVC	1,660	1,660
-เตาทำอาหารและหัวเตา	1,000	
-อุปกรณ์ประกอบเตา ได้แก่ วาล์ว และท่อ	400	
-ขาเตาก๊าซ	400	
-ค่าแรงประกอบ	400	
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	8,500	4,240

จากตารางที่ 2 ผู้ลงทุนแบบราคาเต็ม จะได้รับเงินทุนคืน ภายในเวลาน้อยกว่า 2 ปี และผู้ลงทุนแบบบางส่วน ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งนั้น จะได้เงินคืน ภายในเวลาน้อยกว่า 1 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับราคาก๊าซหุงต้ม ขนาด 15 กก ที่ใช้ในระยะเวลา 1 เดือน ของเดือนตุลาคม 2561 ถังหมักแบบครัวเรือน ขนาด 200 ลิตรนี้ สามารถใช้งานได้กับครัวเรือนที่มีจำนวนคนทั้งหมด อยู่ระหว่าง 5-8 คน

“ของเสียอินทรีย์มีอยู่ทั่วไป
ในท้องถิ่นทั่วประเทศ
จึงสมควรนำมาแปรรูป
ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและ
ลดผลกระทบสิ่งแวดล้อม
ที่จะเกิดขึ้น”

ภาพกิจกรรมการฝึกอบรมและสาธิตการถ่ายทอดเทคโนโลยี

ความยั่งยืนของการถ่ายทอดเทคโนโลยี

เมื่อพิจารณาการถ่ายทอดเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ บนพื้นฐานของการพัฒนาอย่างยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ ในปี ค.ศ. 2030 (UN SDGs in 2030) พบว่าการถ่ายทอดเทคโนโลยีที่ได้จากการทำวิจัยและพัฒนานี้ สามารถขยายผลและมีส่วนช่วยเหลือชุมชนในด้านต่าง ๆ หลายด้านที่นำไปสู่เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable development goals; SDGs) ได้แก่ ด้านความเจริญรุ่งเรือง ซึ่งการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ ช่วยให้บรรลุเป้าหมายที่ 7 ด้านพลังงานสะอาดที่ทุกคนสามารถเข้าถึง รวมทั้งบรรลุเป้าหมายที่ 8 ด้านความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและการมีงานทำจากการผลิตก๊าซชีวภาพเชิงพาณิชย์ นอกจากนั้นยังมีส่วนช่วยลดปัญหาการเกิดภาวะโลกร้อน ตามเป้าหมายที่ 13 ด้านการรับมือกับการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ เนื่องจากการถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ช่วยลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และส่งเสริมการค้าคาร์บอน

เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนในปีค.ศ. 2030 และผลการประเมินของประเทศไทยในปีค.ศ. 2020 [15]

อย่างไรก็ตาม จากผลการประเมินตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ ในปี ค.ศ. 2020 พบว่าเป้าหมายที่ 7 และ 13 ได้รับการพัฒนาอยู่ในระดับปานกลาง ยังสามารถทำการพัฒนาต่อไปได้ ดังนั้นเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่นอกจากช่วยในการลดการสูญเสียทรัพยากรที่มีค่าและมลพิษสิ่งแวดล้อม ยังมีส่วนช่วยในการพัฒนาประเทศให้บรรลุตามเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนขององค์การสหประชาชาติ ในปี ค.ศ. 2030

7

บทสรุป

การนำเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพไปใช้งาน จากผลการศึกษาวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีในชุมชน สามารถทำได้ดังต่อไปนี้

1. การหมักย่อยสลายเศษก้านและใบไม้ร่วมกับของเสียอื่นในท้องถิ่น เช่น น้ำกากส่า โดยใช้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกรให้ผลผลิต คือ ก๊าซชีวภาพ และปุ๋ยน้ำหมักที่ดี

2. การหมักย่อยเศษอาหารร่วมกับเศษก้านและใบไม้รวม ซึ่งเศษก้านและใบไม้รวม จะช่วยเร่งการย่อยเศษอาหารได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มทั้งปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพ

3. การหมักย่อยเศษอาหารร่วมกับเศษก้านและใบไม้รวม รวมทั้งผักตบชวา ช่วยเพิ่มทั้งปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพได้ดีกว่าการหมักย่อยเศษอาหารร่วมกับเศษก้านและใบไม้รวม

4. การหมักย่อยเศษอาหาร หรือเศษก้านและใบไม้รวม หรือผักตบชวา เพียงอย่างเดียว ให้ผลผลิตก๊าซชีวภาพน้อยกว่าการหมักร่วม (Co-digestion)

5. องค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีนี้ คือ การใช้สัดส่วนของวัสดุหมักที่ดี

เมื่อใช้เศษวัสดุ 3 ประเภท คือ ผักตบชวา เศษใบไม้รวม และเศษอาหาร = 3 : 2 : 3

เมื่อใช้เศษวัสดุ 2 ประเภท คือ เศษใบไม้รวม และเศษอาหาร = 2 : 3

THE GLOBAL GOALS
For Sustainable Development

1 NO POVERTY

ขจัดความยากจน

17 PARTNERSHIPS FOR THE GOALS

ความร่วมมือ
เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

16 PEACE, JUSTICE AND STRONG INSTITUTIONS

สังคมสงบสุข ยุติธรรม
ไม่แบ่งแยก

15 LIFE ON LAND

การใช้ประโยชน์
จากระบบนิเวศทางบก

14 LIFE BELOW WATER

การใช้ประโยชน์จากมหาสมุทร
และทรัพยากรทางทะเล

13 CLIMATE ACTION

การรับมือการเปลี่ยนแปลง
สภาพภูมิอากาศ

2 ZERO HUNGER

ขจัดความหิวโหย

3 GOOD HEALTH AND WELL-BEING

การมีสุขภาพและ
ความเป็นอยู่ที่ดี

4 QUALITY EDUCATION

การศึกษาที่เท่าเทียม

5 GENDER EQUALITY

ความเท่าเทียมทางเพศ

6 CLEAN WATER AND SANITATION

การจัดการน้ำและสุขาภิบาล

เป้าหมาย
การพัฒนาที่ยั่งยืน

7 AFFORDABLE AND CLEAN ENERGY

พลังงานสะอาดที่ทุกคนเข้าถึงได้

8 DECENT WORK AND ECONOMIC GROWTH

การจ้างงานที่มีคุณค่าและ
การเติบโตทางเศรษฐกิจ

9 INDUSTRY, INNOVATION AND INFRASTRUCTURE

อุตสาหกรรม นวัตกรรม
โครงสร้างพื้นฐาน

10 REDUCED INEQUALITIES

ลดความเหลื่อมล้ำ

11 SUSTAINABLE CITIES AND COMMUNITIES

เมืองและถิ่นฐานมนุษย์
อย่างยั่งยืน

12 RESPONSIBLE CONSUMPTION AND PRODUCTION

แผนการบริโภคและ
การผลิตที่ยั่งยืน

เอกสารอ้างอิง

(1) Panyaping, K., Sutinan, N., Tananchai, P., and Muangkhuanjai, U. (2012). Anaerobic Digestion Development of Leaves and Petioles of Longan Waste Residues to Generate Biogas and by Products. **KKU Res J.** Vol. 17. No. 4. pp. 543-555.

(2) Panyaping, K., Kantiya, S., Pramoonjukko, P., and Boonyoung, S. (2017). Single and Two Stages Anaerobic Digestion of Mixed Waste. **The 4th Conference on Research and Creative Innovation: CRCI-2017.** Eds. Chiang Mai. pp.33-38.

(3) Panyaping, K., Maneesawang, J., and Boonsiri, N. (2020). Anaerobic Digestion of Mixed Leaf and Petiole Waste and Food Waste in Single and Two Anaerobic Reactors. **RMUTI JOURNAL Science and Technology.** Vol. 13. No. 1. pp. 59-74.

(4) Panyaping K., Moontee P. (2018). Potential of Biogas Production from Mixed Leaf and Food Waste in Anaerobic Reactors. **Journal of Material Cycles and Waste Management** Vol. 20. pp. 723-737. doi 10.1007/s 10163-017-0629-x.

(5) Panyaping, K., Khiewwijit, R., and Wongpankamol, P. (2018). **A Study Report on Anaerobic Digestion of Water Hyacinth, Mixed Leaf Waste, and Food Waste.** RMUTL, Chiang Mai.

(6) Panyaping, K. (2018). **Simple Manual for Biogas Production from Co-digestion of Mixed Leaf Waste, Water Hyacinth, and Food Waste.** RMUTL, Chiang Mai.

(7) Yes-Sun Environmental Co., Ltd. **Do you really know what is an organic waste?** Access (20 January 2020). Available (http://www.yessun.com/th/Chinese-Tiwan+Do+you+really+know+what+organic+waste+is%3F+/).

(8) Wikipedia. **Biogas.** Access (2 January 2020). Available (http://th.m.wikipedia.org/).

(9) Center for Biomass Energy Promotion. **Fundamental of Energy and Environment.** Access (20 June 2018). Available (http://www.dede.go.th/article_attach/op2_1.pdf).

(10) Metcalf & Eddy Inc. (2008). **Wastewater Engineering, Treatment and Reuse.** 4th ed., McGraw-Hill Book Company, USA.

(11) Panyaping, K., Kan-in, W., Saenphrom, S., and Khampanyo, A. (2013). Biochemical Methane Potential of Several Kinds of Petioles and Leaves Waste. **Journal of Community Development Research.** Vol. 5. No. 1. pp. 64-73.

(12) Mackenzie, D., and Corn well, D. (2008). Introduction to Environmental Engineering. 4th ed., McGraw-Hill Book Company, USA.

(13) Sunthad Sirianan piboon. (2007). **Anaerobic Biological Wastewater Treatment.** 1st ed. Bangkok: Top Publisher.

(14) Panyaping, K. Khiewwijit, R., and Wongpankamol, P. 2019. Technology transfer on organic waste transformation in local community of Lamphun. In **Proceedings of the 1st ICRU International Conference: Sustainable Community Development.** Eds. Chiang Mai. pp.7-14.

(15) SDSNA. **SDG Report 2020; Thailand profile.** Access (10 July 2020). Available (https://github.com/sdsna/SDR2020/blob/master/Country%20Profiles%20(PDF)/Thailand.pdf).

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานการวิจัยแห่งชาติที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยด้านการใช้ประโยชน์ของเสียในชุมชน

ผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล : รองศาสตราจารย์กลิ่นประทุม ปัญญาปิง

ตำแหน่งปัจจุบัน : อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

การศึกษา: Ph.D. (Environmental Management), Chulalongkorn University

Certificate on Waste Management, TU Dresden, Germany

MSc. (Technology on Environmental Management), Mahidol University

BSc. (Biology), and Dip. Anal. Chemistry Training, Chulalongkorn University

งานวิจัย : การจัดการและการใช้ประโยชน์ของเสีย การติดตามตรวจสอบคุณภาพอากาศและคุณภาพน้ำ

การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมในระดับพื้นที่และการจัดการคุณภาพสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน

อีเมล์ : klin41@hotmail.com

เทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์เป็นก๊าซชีวภาพ

ISBN: 978-974-625-902-6

ISBN: 978-974-625-903-3 (E-book)

ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ศีลศิริ สง่าจิตร
ดร.สุรพล ใจวงศ์ษา

ผู้เขียน

รองศาสตราจารย์ ดร. กลิ่นประทุม ปัญญาปิง

กองบรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร	ธารพรศรี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นทีชัย	ผัสดี
นายวิสุทธิ์	บัวเจริญ
ดร.สุรีวรรณ	ราชสม
นายพิษณุ	พรมพราย
นายนริศ	กำแพงแก้ว
ว่าที่ ร.ต.รัชต์พงษ์	หอชัยรัตน์
นางสาวทิน	อ่อนนวล
นายวิษณุลักษณ์	คำยอง
นางสาวสุธาสินี	ผู้อยู่สุข
นายจักรรินทร์	ขืนสมบัติ
นายเจษฎา	สุภาพรเหมินทร์
นางสาวรัตนาภรณ์	สารภี
นางสาวหนึ่งฤทัย	แสงใส
ว่าที่ ร.ต.เกรียงไกร	ศรีประเสริฐ
นางสาวเสาวลักษณ์	จันทร์พรหม
นางสาวอารีรัตน์	พิมพ์นวน
นางสาววราภรณ์	ต้นใส
นายวีรวิทย์	ณ วรรณมา

จัดทำโดย

สถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
98 หมู่ 8 ตำบลป่าป้อง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ 50220

พิมพ์ครั้งที่ 1 ปี 2563

บริษัท สยามพิมพ์นานา จำกัด 108 ซอยพงษ์สุวรรณ ตำบลศรีภูมิ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200 โทร. 0-5321-6962

เทคโนโลยี
การเปลี่ยน
ของเสียอินทรีย์
เป็นก๊าซชีวภาพ

KBS
Knowledge BookStore

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