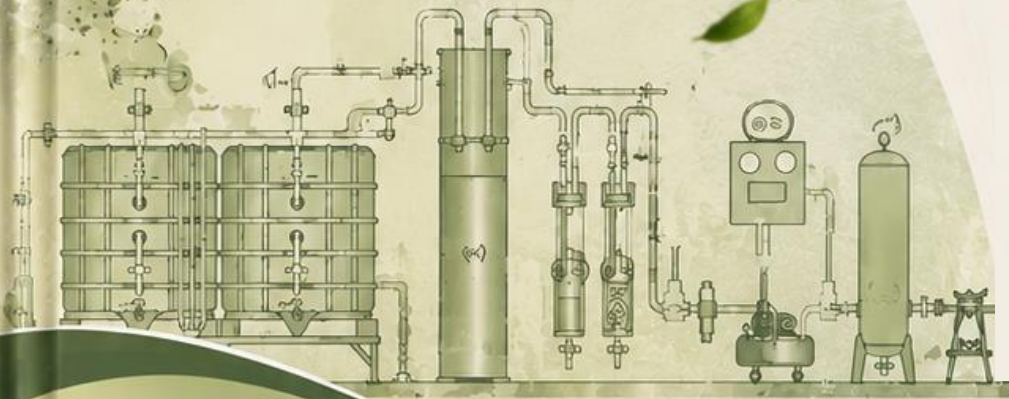


การประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจาก
ขยะอินทรีย์ในหน่วยทหารตามแนวทาง
เศรษฐกิจพอเพียง



บทสรุปผู้บริหาร (Executive Summary)
เรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในหน่วยทหาร
ตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง

สถานการณ์ด้านพลังงานของโลกในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ทั้งจากปัญหาราคาพลังงานที่มีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง การลดลงของทรัพยากรเชื้อเพลิงฟอสซิล ตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้หลายประเทศทั่วโลกให้ความสำคัญกับการพัฒนาพลังงานทดแทนและการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ สำหรับประเทศไทยรัฐบาลได้กำหนดนโยบายส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและการเพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทน เพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานของประเทศ ลดการพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาว

ในปัจจุบัน หน่วยทหารมีการดำเนินกิจกรรมที่ก่อให้เกิดขยะอินทรีย์เป็นจำนวนมาก โดยเฉพาะเศษอาหารจากโรงประกอบเลี้ยง โรงครัว และกิจกรรมภายในหน่วย หากไม่มีการบริหารจัดการที่เหมาะสม ขยะดังกล่าวอาจก่อให้เกิดปัญหาด้านสุขอนามัย กลิ่นรบกวน การสะสมของแมลงและสัตว์พาหะ ตลอดจนเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะของหน่วยงาน ดังนั้น การนำขยะอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ผ่านกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ จึงเป็นแนวทางที่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้อย่างเป็นรูปธรรม พร้อมทั้งก่อให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมควบคู่กันไป องค์ความรู้เรื่อง การประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในหน่วยทหารตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นคู่มือสำหรับกำลังพล ผู้ปฏิบัติงาน ตลอดจนผู้สนใจทั่วไป ให้สามารถศึกษา เรียนรู้ และนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพเนื้อหาภายในเอกสารประกอบด้วยองค์ความรู้สำคัญหลายประการ เริ่มตั้งแต่หลักการพื้นฐานเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) คุณสมบัติและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ตลอดจนประโยชน์ของก๊าซชีวภาพต่อการนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทน นอกจากนี้ ยังได้อธิบายถึงประเภทของวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะเศษอาหารที่เกิดขึ้นภายในหน่วย ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดแทนการนำไปกำจัด

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยส่วนสำคัญ ได้แก่ ระบบเตรียมวัตถุดิบ ถังหมักก๊าซชีวภาพ ระบบเก็บกักก๊าซ ระบบกำจัดความชื้น ระบบกรองก๊าซ ระบบอัดก๊าซ และอุปกรณ์นำก๊าซไปใช้งาน โดยใช้ถังหมักชีวภาพแบบถังร่วมกับถังเก็บก๊าซ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตและกักเก็บก๊าซชีวภาพให้สามารถนำไปใช้งานได้ต่อเนื่อง ทั้งนี้ ได้มีการออกแบบระบบให้มีความเหมาะสมกับบริบทของหน่วยทหาร สามารถติดตั้ง ดูแลรักษา และซ่อมบำรุงได้ด้วยวัสดุและอุปกรณ์ที่หาได้ภายในประเทศ ช่วยลดต้นทุนในการดำเนินงานและเพิ่มความคุ้มค่าในการลงทุน

ผลการใช้งานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ แสดงให้เห็นว่า ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถช่วยลดปริมาณขยะอินทรีย์ (เศษอาหาร) ที่ต้องนำไปกำจัด ลดค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงในการประกอบอาหาร เพิ่มสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนภายในหน่วย และช่วยลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่บรรยากาศ อันเป็นการสนับสนุนเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน (Sustainable Development Goals: SDGs) และนโยบายการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกของประเทศ รวมทั้งยังสอดคล้องกับหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง โดยเฉพาะหลักความพอประมาณ ความมีเหตุผล และการสร้างภูมิคุ้มกันที่ดี ผ่านการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ภายในหน่วยให้เกิดประโยชน์สูงสุด การลดการพึ่งพาพลังงานจากภายนอก และการเสริมสร้างองค์ความรู้ด้านพลังงานทดแทนให้แก่กำลังพล ซึ่งจะนำไปสู่การพึ่งพาตนเองด้านพลังงานและการบริหารจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน

คำนำ

ปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานและการจัดการขยะอินทรีย์ (เศษอาหาร) นับเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อเศรษฐกิจ สังคม และสิ่งแวดล้อมอย่างกว้างขวาง การพัฒนาระบบผลิตพลังงานทดแทนจากทรัพยากรที่มีอยู่ภายในหน่วยงาน จึงเป็นแนวทางสำคัญในการลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ลดปริมาณขยะอินทรีย์ (เศษอาหาร) ที่ต้องกำจัด และส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าและเกิดประโยชน์สูงสุด

เอกสารองค์ความรู้ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อรวบรวมองค์ความรู้เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในหน่วยทหารตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง โดยนำเสนอหลักการ กระบวนการผลิต องค์ประกอบของระบบ วิธีการใช้งาน การบำรุงรักษา การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น ตลอดจนแนวทางการบริหารจัดการระบบให้สามารถดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน อันจะนำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน การเพิ่มมูลค่าจากของเสีย และการเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงานภายในหน่วย

คณะผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่า เอกสารองค์ความรู้ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์แก่ผู้บังคับบัญชา กำลังพล ตลอดจนผู้ที่สนใจในการศึกษาและนำระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานหรือชุมชน เพื่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ สอดคล้องกับแนวทางการพัฒนาที่ยั่งยืน และสนับสนุนการดำเนินงานตามหลักปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงให้เกิดผลอย่างเป็นรูปธรรมต่อไป

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
๑. ความรู้พื้นฐานการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์	๑
๒. เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ในหน่วยทหาร	๓
๓. การบริหารระบบก๊าซชีวภาพตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง บรรณานุกรม	๒๕ ๓๐

การประยุกต์ใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ในหน่วยทหาร ตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง

๑. ความรู้พื้นฐานการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

๑.๑ การเกิดก๊าซชีวภาพ

แก๊สชีวภาพ เป็นแก๊สที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยแก๊สหลายชนิด ส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน ๕๐ - ๗๐ เปอร์เซ็นต์ และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ ๓๐ - ๕๐ เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็น แก๊สไฮโดรเจน ออกซิเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน และไอน้ำ

ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจน (Anaerobic Environment) จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Microorganism) จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายให้กลายเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำซึ่งกระบวนการดังกล่าวเรียกว่า การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์อาศัยหลักการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนดังกล่าวโดยเป็นกระบวนการหมักขยะอินทรีย์ในถังปิดสนิทที่มีแบคทีเรีย ซึ่งไม่ใช้ออกซิเจนย่อยสลายขยะอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญคือ ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ และได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นสารปรับปรุงสภาพดิน (Soil Conditioner) หรือปุ๋ยอินทรีย์

๑.๒ กระบวนการทางชีวเคมีของการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน แบ่งเป็น ๔ ขั้นตอน ดังนี้

(๑) การไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) เป็นกระบวนการทำให้สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ถูกย่อยให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก โดยอาศัยแบคทีเรียปล่อยเอนไซม์เอกซ์ตราเซลลูลาร์ (extra cellular enzyme) มาช่วยสลายโครงสร้างโมเลกุลให้แตกลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomer) เช่น การย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมัน เป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

(๒) การสร้างกรดอินทรีย์ (Acidification/Acidogenesis) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (Monomer) เป็น กรดระเหยง่าย (Volatile fatty acid) และ แอลกอฮอล์

(๓) การสร้างกรดอินทรีย์ให้เป็นสารตั้งต้นที่จะผลิตเป็น ก๊าซมีเทน โดยเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็น กรดอะซิติก หรือ กรดน้ำส้ม

(๔) การสร้างก๊าซมีเทน แบคทีเรียกลุ่มที่สามารถสร้าง ก๊าซมีเทนจะทำหน้าที่เปลี่ยนกรดอะซิติกและอื่นๆ จากขั้น ๒ - ๓ รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วน เป็น มีเทน (CH_4)

๑.๓ ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์

(๑) อุณหภูมิในการเดินระบบ (Temperature)

โดยทั่วไปแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซชีวภาพ หรือแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methane Bacteria) จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ ๒๕ - ๔๐ องศาเซลเซียส ซึ่งประเทศไทยอยู่เขตร้อน จึงมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพได้ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว

(๒) พีเอช (pH)

การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องควบคุมค่าพีเอช (ค่าความเป็นกรด-ด่าง) ให้อยู่ในช่วง ๖.๖- ๗.๘ โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบคทีเรียในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะอยู่ในช่วง ๗.๐ - ๗.๒ ในกรณีที่มีการป้อนขยะอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไป จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่าย ซึ่งทำให้ค่าพีเอชในถังหมักลดลงได้โดยหากค่าพีเอชลดลงต่ำกว่า ๕.๕ ก็จะถือว่าถังหมักนั้นล้นเหลว ซึ่งจะต้องเริ่มเดินระบบ (Start-up) ใหม่

(๓) ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Organic Loading)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องควบคุมให้เหมาะสม เนื่องจากหากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยเกินไปก็จะทำให้ไม่เพียงพอต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ในขณะที่หากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่าย ทำให้ค่าพีเอชลดลง ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย ก๊าซชีวภาพไม่ถูกผลิตขึ้นในถังหมักเหมือนเช่นตามปกติ ดังนั้นการป้อนขยะอินทรีย์เข้าถังหมักจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยหากพบว่าค่าพีเอชต่ำกว่า ๖.๘ โดยสังเกตได้จากระบบมีการผลิตก๊าซออกมาน้อยกว่าปกติ โดยไม่ได้เกิดมาจากสาเหตุอื่น เช่น ถังหมักรั่ว หรือมีการรั่วซึมตามข้อต่อต่าง ๆ ก็ให้หยุดป้อนขยะอินทรีย์ทันที จนกว่าค่าพีเอชของตะกอนในถังหมักจะเท่ากับ ๖.๘ ขึ้นไป หรือสังเกตได้จากก๊าซชีวภาพกลับมาเกิดได้ตามปกติ จึงค่อยป้อนขยะอินทรีย์ต่อไปได้

(๔) สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Inhibitory Factors)

โลหะหนัก สารพิษและสารปฏิชีวนะต่างๆ รวมทั้งผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวเช่น มะนาว สามารถยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของแบคทีเรียได้

(๕) การคลุกเคล้า (Mixing)

การคลุกเคล้าสารอินทรีย์ภายในถังหมักจะช่วยให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักได้สัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง เพื่อกระตุ้นการเกิดก๊าซชีวภาพและเพื่อลดการตกตะกอนของของแข็งบริเวณก้นถัง รวมทั้งเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนลอย (Scum) บริเวณส่วนบนของถัง

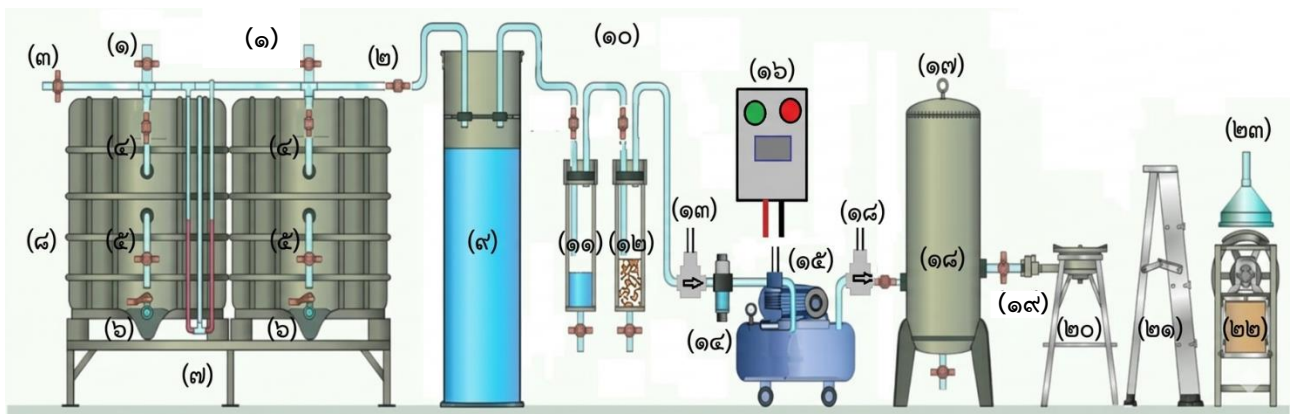
(๖) การบดขยี้ (Grinding)

การบดขยี้มีความจำเป็นอย่างมาก สำหรับการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ชุดนี้ เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กจะสามารถถูกย่อยสลายเพื่อทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้เร็วยิ่งกว่าสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่เป็นการลดปริมาณตะกอนที่อุดตันในท่อทางออกด้วย

(๗) ระยะเวลาการกักเก็บในถังหมัก (Retention time) หมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ส่วนใหญ่จะประมาณ ๑๔ - ๖๐ วัน

๒. เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่นำไปใช้ในหน่วยทหาร

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด ๒,๐๐๐ ลิตร ถูกออกแบบและผลิตโดยกรมการพลังงานทหาร โดยมีปริมาตรความจุของถังหมักขนาด ๒,๐๐๐ ลิตร ตัวถังหมักทำจากวัสดุที่มีความเหนียวและยืดหยุ่น ทนต่อสารเคมี และมีโครงเหล็กรัดตัวถังหมักโดยรอบสำหรับช่วยคงรูปตัวถังหมัก เมื่อมีการขยายตัวของถังขณะมีการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นภายใน โดยอุปกรณ์ที่ประกอบในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ แสดงในรูปองค์ประกอบและการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด ๒,๐๐๐ ลิตร



(๑) วาล์วเติมเศษอาหาร	(๙) ถังเก็บก๊าซชีวภาพ	(๑๗) หัววัดแรงดันก๊าซ
(๒) วาล์วปล่อยก๊าซ	(๑๐) วาล์วถังดับน้ำ	(๑๘) ถังอัดก๊าซชีวภาพ
(๓) วาล์วระบายก๊าซทิ้ง	(๑๑) ถังดับน้ำ	(๑๙) วาล์วจ่ายก๊าซชีวภาพ
(๔) วาล์วถังหมักก๊าซ	(๑๒) ถังดับก๊าซไข่เน่า	(๒๐) หัวเตาก๊าซชีวภาพ
(๕) วาล์วน้ำล้น	(๑๓) วาล์วไฟฟ้า	(๒๑) บันไดอลูมิเนียม
(๖) วาล์วล้างถังหมัก	(๑๔) อุปกรณ์ดักความชื้น	(๒๒) เครื่องบดเศษอาหาร
(๗) บารอมิเตอร์น้ำ	(๑๕) ปัมป์อัดก๊าซชีวภาพ	(๒๓) กรวยเติมเศษอาหาร
(๘) ถังหมักก๊าซชีวภาพ	(๑๖) กล่องควบคุมไฟฟ้า	

รูป องค์ประกอบและการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์
ขนาด ๒,๐๐๐ ลิตร

๒.๑ องค์ประกอบและวาล์วภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ขนาด ๒,๐๐๐ ลิตร มีหน้าที่ดังนี้

๑) วาล์วเติมเศษอาหาร ทำหน้าที่ รับเศษอาหารที่ได้ทำการบดแล้ว โดยการเติมจะใช้กรวยพลาสติกช่วยในการรองรับ หลังจากเติมเศษอาหารเสร็จ ปิดให้สนิท

๒) วาล์วปล่อยก๊าซ ทำหน้าที่ ควบคุมการ เปิด - ปิด ก๊าซชีวภาพจากถังหมักไปยังถังเก็บก๊าซชีวภาพ ปกติจะอยู่ในตำแหน่งเปิดเสมอ

๓) วาล์วระบายก๊าซทิ้ง ทำหน้าที่ ระบายก๊าซชีวภาพทิ้งในช่วงเดินระบบครั้งแรก เนื่องจาก ก๊าซที่เกิดขึ้นยังไม่ติดไฟ ปกติอยู่ในตำแหน่งปิดเสมอ

๔) วาล์วถังหมักก๊าซ ทำหน้าที่ ควบคุมการ เปิด-ปิด การไหลของก๊าซที่ผลิตในถังหมักก๊าซไปยังถังเก็บก๊าซ โดยปกติวาล์ว จะอยู่ในตำแหน่งเปิดเสมอ นอกจากมีการซ่อมแซมถังหมักไบโอดีปหนึ่งชำรุด ให้ทำการปิดวาล์วของถังนั้น เพื่อทำการซ่อมแซมและถังหมักอีกไบโอดีปก็ยังคงสามารถใช้งานได้ เมื่อซ่อมแซมเสร็จแล้ว จึงเปิดวาล์วตามเดิม

๕) วาล์วน้ำล้น ทำหน้าที่ รักษาระดับน้ำหมักภายในถังหมักก๊าซชีวภาพให้คงที่ที่ระดับ ๕๐๐ ลิตร โดยก่อนการเติมเศษอาหารทุกครั้ง ให้ทำการเปิดวาล์วน้ำล้นเพื่อระบายน้ำหมักที่เกินระดับให้ออกมา ก่อนที่จะเติมเศษอาหารลงในถังหมักในลำดับถัดไปโดยปกติวาล์วจะอยู่ในตำแหน่งปิดเสมอ

๖) วาล์วล้างถังหมัก ทำหน้าที่ ระบายน้ำหมักในถังหมักทิ้ง กรณีที่กระบวนการหมักล้มเหลว หรือต้องการย้ายตำแหน่งที่ตั้งของระบบฯ ปกติวาล์วจะอยู่ในตำแหน่งปิดเสมอ

๗) บารอมิเตอร์น้ำ ทำหน้าที่ วัดแรงดันก๊าซชีวภาพภายในระบบโดยแรงดันสูงสุดที่สามารถวัดได้ คือ ๑๐๐ เซนติเมตรน้ำ หรือ ๑๐๐ มิลลิบาร์

๘) ถังหมักก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ เก็บสะสมเศษอาหารและเชื้อจุลินทรีย์เพื่อใช้ในกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ

๙) ถังเก็บก๊าซ ทำหน้าที่ เก็บก๊าซชีวภาพ โดยใช้ถังฟอสฟอรัสเงินความจุ ๑๕๐ ลิตร คว่ำปากอยู่ภายในถังกลลอนสี่เหลี่ยมที่ซ้อนต่อกันสองชั้น ก๊าซถูกกักเก็บในถังฟอสฟอรัสเงินด้วยการใช้น้ำเป็นตัวกั้นไม่ให้ก๊าซไหลออกสู่ภายนอก โดยปริมาณน้ำที่ เติมนลงในถังกลลอนควรให้ท่วมถังฟอสฟอรัสเงินพอดี

๑๐) วาล์วถังดักน้ำ ทำหน้าที่ ควบคุมการ เปิด-ปิด ก๊าซให้ไหลเข้าไปในถังดักน้ำ ปกติจะอยู่ในตำแหน่งเปิดเสมอ

๑๑) ถังดักน้ำ ทำหน้าที่ ดักน้ำที่ติดมากับก๊าซชีวภาพ ตามท่อส่งก๊าซที่ต่อมาจากถังเก็บก๊าซชีวภาพ ทำให้ก๊าซไหลในท่อส่งก๊าซได้สะดวก โดยน้ำที่ถูกดักไว้สามารถปล่อยทิ้งได้ที่วาล์วที่ติดตั้งอยู่ใต้ถังดักน้ำ

๑๒) ถังดักก๊าซไข่น้ำ ทำหน้าที่ ดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือก๊าซไข่น้ำที่ปนเปื้อนมากับก๊าซชีวภาพ โดยภายในใส่ฝอยเหล็กเพื่อให้ทำปฏิกิริยาจับกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อลดการกัดกร่อนอุปกรณ์ที่เป็นโลหะ โดยวาล์วด้านขาเข้าถังดักก๊าซไข่น้ำจะอยู่ในตำแหน่งเปิดเสมอ และได้ถังดักก๊าซไข่น้ำมีวาล์วระบายน้ำที่อาจมีขังอยู่ภายในเนื่องจากการกลั่นตัวของไอน้ำที่ปนมากับก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถระบายน้ำออกได้โดยเปิดวาล์วที่ติดตั้งอยู่ใต้ถังดักก๊าซไข่น้ำ

๑๓) วาล์วไฟฟ้า ทำหน้าที่ ควบคุมทิศทางการไหลของก๊าซชีวภาพด้วย ระบบไฟฟ้า ปกติจะมีสถานะปิด แต่จะมีสถานะ เปิดเมื่อถูกสั่งจากกล่องควบคุมไฟฟ้า จะมีการติดตั้งสองตำแหน่งคือ ติดตั้งที่ทางเข้าปั๊มอัดก๊าซ ชีวภาพและทางเข้าถังอัดก๊าซชีวภาพ โดยวาล์วไฟฟ้าทั้งสองตัวจะทำงานพร้อมกันเมื่อมีการสั่งงานมาจากกล่องควบคุมไฟฟ้า

๑๔) อุปกรณ์ดักความชื้น ทำหน้าที่ ดักละอองน้ำที่ติดมากับก๊าซชีวภาพ ก่อนที่จะเข้าสู่ปั๊มอัดก๊าซต่อไป ถ้ามีน้ำขังอยู่ภายใน สามารถระบายออกได้โดยกดปุ่มระบายน้ำที่อยู่ก้นถังแล้วได้ จนกระทั่งน้ำไหลออกหมดถึงปล่อยปุ่มกดให้อยู่ในตำแหน่งเดิม

๑๕) ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ อัดเก็บก๊าซชีวภาพไว้ในถังอัดก๊าซชีวภาพ โดย ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพจะทำงานอัตโนมัติ ผ่านกล่องควบคุมไฟฟ้า

๑๖) กล่องควบคุมไฟฟ้า ทำหน้าที่ ควบคุมการอัดเก็บก๊าซชีวภาพเข้าถังอัด โดยอาศัยการตรวจวัดแรงดันก๊าซในถังหมัก เมื่อก๊าซชีวภาพมีแรงดันสูงประมาณ ๓๐ - ๔๐ เซนติเมตรน้ำ แล้วกล่องควบคุมไฟฟ้าจะสั่งให้วาล์วไฟฟ้าทั้งสองตัวเปิด พร้อมกับปั๊มอัดก๊าซชีวภาพทำงาน เพื่อดูดเอาก๊าซชีวภาพเข้าไปเก็บในถังอัด

ก๊าซชีวภาพ จนกระทั่งแรงดันภายในถังหมักลดต่ำลงน้อยกว่า ๕ - ๑๐ เซนติเมตรน้ำ แล้วจะสั่งให้วาล์วไฟฟ้าทั้งสองตัวปิด และปั๊มอัดก๊าซชีวภาพหยุดการทำงาน เมื่อมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในถังหมัก ระบบสามารถทำงานเองโดยอัตโนมัติ (Automatic) หรือผู้ใช้สามารถควบคุม ให้ทำงานเองได้ (manual)

๑๗) หัววัดแรงดันก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ แสดงระดับแรงดันก๊าซชีวภาพในถังจ่ายก๊าซในหน่วยของปอนด์ต่อตารางนิ้ว และบาร์

๑๘) ถังอัดก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ กักเก็บและจ่ายก๊าซชีวภาพภายใต้แรงดันสูง

๑๙) วาล์วจ่ายก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ ควบคุมการจ่ายก๊าซชีวภาพ ปกติอยู่ในตำแหน่ง ปิดเสมอ ยกเว้นเมื่อต้องการใช้ก๊าซชีวภาพจะอยู่ในตำแหน่งเปิด

๒๐) หัวเตาก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ นำก๊าซชีวภาพไปใช้งานในการหุงต้ม

๒๑) บันไดลูมินียม ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์ช่วยสำหรับการเดินเศษอาหารและการดูแลระบบฯ

๒๒) เครื่องบดเศษอาหาร ทำหน้าที่ บดเศษอาหารให้มีขนาดเล็ก และผสมกับน้ำในสัดส่วนที่เท่ากัน ก่อนจะนำไปเติมในถังหมัก

๒๓) กรวยเติมเศษอาหาร ทำหน้าที่ รองรับการเติมเศษอาหารผ่านเข้าไปในถังหมักก๊าซชีวภาพ เพื่อให้เกิดความสะดวกในการเติมเศษอาหาร

๒.๒ ขั้นตอนการติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ขนาด ๒,๐๐๐ ลิตร

การประกอบและติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพฯ แสดงตามแผนผังในรูปที่ ๒.๑ หลังจากประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบสมบูรณ์แล้วจะมีลักษณะเช่นเดียวกับรูปที่ ๒.๒ และ ๒.๓ โดยที่อุปกรณ์ในระบบมีการติดตั้งแยกส่วนกันคือ ถังหมักก๊าซชีวภาพ ถังเก็บก๊าซชีวภาพและถังดักน้ำ ติดตั้งในที่โล่งแจ้ง บนฐานรองคอนกรีตขนาดความยาว ๓ เมตร กว้าง ๑.๕ เมตร และหนา ๑๐ เซนติเมตร และ กล่องควบคุมไฟฟ้า ปั๊มอัดก๊าซ ถังอัดก๊าซและหัวเตาก๊าซชีวภาพติดตั้งในโรงเรือน โดยขั้นตอนการติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพฯ มีดังต่อไปนี้



รูปที่ ๒.๒ การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพฯ ที่ต้องติดตั้งในที่โล่งแจ้ง



รูปที่ ๒.๓ การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ต้องติดตั้งในที่ร่มได้ขยายคา

๒.๒.๑ ต่อท่อส่งก๊าซจากถังหมักก๊าซชีวภาพที่ปลายท่อด้านที่ติดกับวาล์วปล่อยก๊าซดังรูปที่ ๒.๔ ไปยังถังเก็บก๊าซชีวภาพ โดยใช้สายพีวีซีถักขนาด ๕ นิ้ว และยึดปลายสายพีวีซีเข้ากับทางปลาไหลโลหะด้วยเข็มขัดรัดท่อให้แน่นหนา เพื่อป้องกันไม่ให้ก๊าซรั่วไหล ก๊าซชีวภาพจะถูกกักเก็บในถังเก็บก๊าซด้วยวิธีการแทนที่น้ำ โดยถังเก็บก๊าซจะถูกกดให้จมอยู่ในน้ำด้วยเหล็กคากบาท ดังแสดงในรูปที่ ๒.๕



รูปที่ ๒.๔ การต่อท่อส่งก๊าซจากถังหมักก๊าซชีวภาพไปยังถังเก็บก๊าซชีวภาพ



รูปที่ ๒.๕ ภายในถังเก็บก๊าซชีวภาพ

หมายเหตุ : การใช้งานถังเก็บก๊าซชีวภาพต้องเติมน้ำเข้าไปในถังแกลลอนที่มีถังฟลอย์น้ำเงินเปิดปากคว่ำลงในถังแกลลอนดังรูปที่ ๒.๕ ระดับน้ำที่เติมให้อยู่สูงจากก้นถังแกลลอนประมาณ ๙๐ - ๙๕ เซนติเมตร หรือท่วมถังฟลอย์น้ำเงินพอดี ระดับน้ำที่อยู่ในถังแกลลอนมีผลต่อระดับแรงดันก๊าซในระบบฯ โดยถ้ามีน้ำน้อยเกินไป ก๊าซชีวภาพที่อยู่ในถังฟลอย์น้ำเงินจะดันลอยได้ปากถังออกสู่ภายนอก ทำให้ความสามารถในการเก็บก๊าซชีวภาพต่ำกว่าขีดความสามารถของระบบฯ แต่ถ้ามีน้ำในถังแกลลอนในปริมาณที่มากเกินไป แรงดันก๊าซในถังฟลอย์จะสูงกว่าน้ำหนักของน้ำที่กดอัดก๊าซในบารอมิเตอร์ ทำให้น้ำที่บรรจุอยู่ในบารอมิเตอร์ถูกแรงดันก๊าซดันออกไปจนหมด

ดังนั้นก๊าซที่กักเก็บอยู่ในระบบฯ จะถูกปล่อยออกทางบาร์อมิเตอร์น้ำทั้งหมด นอกจากนั้นปริมาณน้ำที่มากเกินไปยังส่งผลให้น้ำไหลเข้าไปในท่อส่งก๊าซได้ง่ายในขณะที่มีการเปิดใช้งานก๊าซชีวภาพอีกด้วย

๒.๒.๒ ต่อปลายสายถักพีวีซีขนาด ๕ นิ้ว ที่เหลืออีกข้างหนึ่งจากถังเก็บก๊าซเข้ากับถังดักน้ำ โดยยึดสายถักพีวีซีเข้ากับหางปลาโลหะที่ติดตั้งอยู่บนวาล์วถังดักน้ำ ดังรูปที่ ๒.๖ เพื่อกำจัดน้ำที่ติดมากับก๊าซชีวภาพในขณะที่มีการเปิดวาล์วให้ก๊าซไหลผ่าน เนื่องจากน้ำมีน้ำหนักมากกว่าก๊าซ ดังนั้นเมื่อไหลผ่านถังดักน้ำที่วางตัวในแนวตั้ง น้ำจะถูกแยกออกจากก๊าซตามกฎของแรงโน้มถ่วง ทำให้น้ำตกลงไปอยู่ด้านล่างของถังดักน้ำ น้ำที่อยู่ในถังดักน้ำสามารถปล่อยทิ้งได้ด้วยการเปิดวาล์วน้ำทิ้งที่ติดตั้งอยู่ด้านล่างของถังดักน้ำ



รูปที่ ๒.๖ ลักษณะของการติดตั้งถังดักน้ำ

๒.๒.๓ เดินท่อพีวีซีขนาด ๔ นิ้ว เพื่อเชื่อมต่อถังดักน้ำเข้ากับถังดักก๊าซโซโครเจนซัลไฟด์ เนื่องจากถังดักก๊าซโซโครเจนซัลไฟด์มีตำแหน่งติดตั้งอยู่ในที่ร่มใต้ชายคา การเดินท่อพีวีซีมีลักษณะ ดังรูปที่ ๒.๗



รูปที่ ๒.๗ การเดินท่อเชื่อมต่อระหว่างถังดักน้ำและถังดักก๊าซโซโครเจนซัลไฟด์

๒.๒.๔ ต่อสายถักพีวีซีขนาด ๕ หุน เข้ากับปลายท่อที่เหลืออีกด้านหนึ่งของถังดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อไปเชื่อมต่อกับวาล์วไฟฟ้าและอุปกรณ์ดักความชื้นหรือ Gas filter ที่ติดตั้งอยู่กับปั๊มอัดก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ ๒.๘



รูปที่ ๒.๘ การเชื่อมสายถักเข้ากับวาล์วไฟฟ้าบนปั๊มอัดก๊าซชีวภาพ

๒.๒.๕ ต่อปั๊มอัดก๊าซเข้ากับถังอัดก๊าซชีวภาพ ด้วยสายพีวีซีถักขนาด ๓ หุน โดยมีอุปกรณ์ป้องกันการไหลย้อนกลับของก๊าซ (Check valve) ต่อที่ขาออกของปั๊มอัดก๊าซชีวภาพ ดังภาพที่ ๒.๙ โดยปลายสายถักอีกด้านต่อเข้ากับถังอัดก๊าซชีวภาพ ที่ติดตั้งวาล์วไฟฟ้าที่ด้านขาเข้าไว้ ดังรูปที่ ๒.๑๐

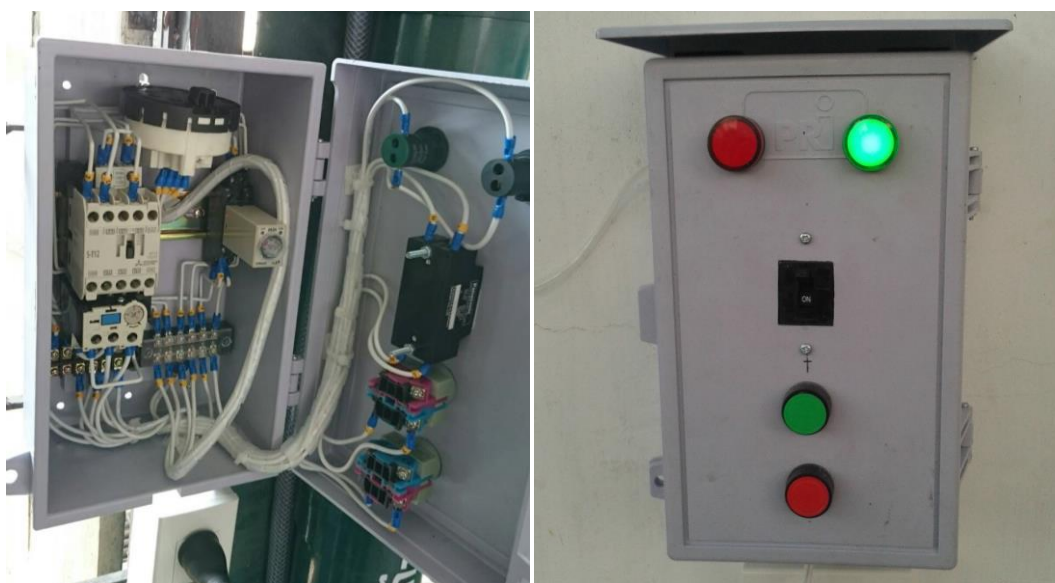


รูปที่ ๒.๙ การติดตั้ง Check valve ที่ขาออกของปั๊มอัดก๊าซชีวภาพ



รูปที่ ๒.๑๐ การเชื่อมต่อถังอัดก๊าซชีวภาพเข้ากับปั๊มอัดก๊าซชีวภาพด้วยสายถักพีซีซีขนาด ๓ หุน

๒.๒.๖ การติดตั้งกล่องควบคุมไฟฟ้า ภายในกล่องมีวงจรควบคุมการอัดก๊าซชีวภาพแบบอัตโนมัติ โดยต้องมีการต่อเข้ากับไฟฟ้ากระแสสลับเพื่อให้วงจรทำงาน โดยวงจรจะรับสัญญาณแรงดันก๊าซชีวภาพจากถังหมักก๊าซชีวภาพ ด้วยวิธีการต่อท่อใส่น้ำก๊าซชีวภาพขนาด 1/8 หุน จากถังดักก๊าซไข่เน่า หรือถังดักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ไปยังกล่องควบคุม เพื่อใช้แรงดันก๊าซชีวภาพสั่งการให้ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพทำงานพร้อมกับสั่งให้วาล์วไฟฟ้าทำงานทั้งสองตัวพร้อมกัน ทำให้ก๊าซชีวภาพถูกดูดจากตัวถังหมักเข้ามาเก็บไว้ในถังอัดก๊าซชีวภาพ จนกระทั่งแรงดันก๊าซในถังหมักลดลงจนถึงระดับหนึ่งแล้ว วงจรควบคุมจะสั่งให้ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพหยุดทำงานพร้อมกับวาล์วไฟฟ้าปิดการทำงานเช่นกัน กรณีที่แรงดันก๊าซชีวภาพยังสูงไม่ถึงระดับที่ตั้งไว้ให้วงจรควบคุมสั่งให้ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพทำงาน ผู้ใช้สามารถดูปุ่มสีเขียว ที่อยู่บนกล่องวงจรให้ปั๊มทำงานได้เช่นกัน และสามารถกดปุ่มสีแดงเพื่อให้ปั๊มหยุดทำงานในกรณีฉุกเฉิน



รูปที่ ๒.๑๑ การติดตั้งกล่องควบคุมไฟฟ้าและการแสดงสถานะการทำงานด้วยหลอดไฟ

๒.๒.๗ ต่อท่อส่งก๊าซ ด้วยสายพีวีซีอีกขนาด ๓ นิ้ว ระหว่างวาล์วจ่ายก๊าซบนถังอัดก๊าซชีวภาพ ไปยังหัวเตาก๊าซชีวภาพ เพื่อนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้ม ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ถูกเก็บอยู่ในถังอัดก๊าซชีวภาพ บ่งบอกได้ด้วยหัววัดแรงดันก๊าซ โดยการใช้งานให้เปิดวาล์วจ่ายก๊าซที่ถังอัดก๊าซก่อน แล้วจึงปรับวาล์วที่หัวเตาเพื่อปล่อยก๊าซชีวภาพออกมา โดยความแรงของเปลวไฟขึ้นอยู่กับการปรับปริมาณก๊าซชีวภาพที่หัวเตา เมื่อใช้งานเสร็จควรปิดวาล์วที่หัวเตาก๊าซชีวภาพ และปิดวาล์วที่ถังอัดก๊าซด้วย

๒.๓ การเริ่มต้นเดินระบบและการใช้งาน

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ จำเป็นต้องมีหัวเชื้อหรือจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสารอินทรีย์ที่อยู่ในถังหมักก๊าซ เพื่อเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของแข็งและของเหลว ให้อยู่ในรูปของก๊าซภายใต้สภาวะไร้อากาศ ดังนั้น การเริ่มต้นเดินระบบ จะต้องเติมเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่ถังหมักก๊าซและทิ้งระยะไว้ประมาณ ๒ - ๔ สัปดาห์ เพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุล โดยสังเกตได้จากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถจุดติดไฟได้ หลังจากนั้น จะเป็นการป้อนขยะอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพในปริมาณที่เหมาะสมต่อไป

๒.๓.๑ การเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์

เชื้อจุลินทรีย์สามารถเตรียมได้จากมูลสัตว์ต่าง ๆ เช่น หมู วัว ควาย และไก่ เป็นต้น สำหรับในคู่มือฉบับนี้จะนำเชื้อจุลินทรีย์มาจากมูลวัว โดยขั้นตอนมีดังต่อไปนี้

๑) นำมูลวัวสดปริมาณ ๑๒๐ - ๒๐๐ กิโลกรัมต่อถังหมัก ๑ ใบ มาคัดแยกเอาเศษหญ้าที่ปนมาออก

๒) แยกมูลวัวใส่ในถังหรือภาชนะ เติมน้ำในสัดส่วนที่เท่ากัน แล้วคนผสมให้เข้ากันดังแสดงในรูปที่ ๒.๑๒



รูปที่ ๒.๑๒ การผสมมูลวัวกับน้ำในสัดส่วนที่เท่ากัน

๓) ค่อย ๆ เทมูลวัวที่ผสมกับน้ำเรียบร้อยแล้วลงในถังหมักก๊าซ ดังรูปที่ ๒.๑๓ และทำซ้ำวิธีเดิมจนกระทั่งเติมขี้วัวลงในถังหมักก๊าซทั้งหมด



รูปที่ ๒.๑๓ การเติมมูลวัวผสมกับน้ำลงในถังหมักก๊าซ

๔) เติมน้ำใสในถังหมักก๊าซเพิ่มเติม จนของเหลวในถังหมักก๊าซมีปริมาตรอยู่ที่ ๔๐๐ - ๕๐๐ ลิตร สังเกตปริมาณมูลวัวในถังหมักได้จากมาตรวัดปริมาตรที่ด้านหน้า

๕) ปรับวาล์วที่ติดตั้งบนถังหมักทั้งหมดให้อยู่ในตำแหน่งปกติ ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ ๒.๒ ข้างต้น

๖) ที่ระยะให้เชื้อจุลินทรีย์ภายในถังหมักเข้าสู่ภาวะสมดุล ประมาณ ๒ - ๔ สัปดาห์ โดยไม่ต้องทำการบดเติมเศษอาหาร ในระหว่างช่วงเวลาดังกล่าวจะมีก๊าซเกิดขึ้นภายในถังหมัก เนื่องจากก๊าซที่ไต่ยังมีปริมาณความเข้มข้นของมีเทนต่ำจึงไม่สามารถติดไฟได้ ให้ทำการเปิดวาล์วระบายก๊าซทิ้งทุกครั้งที่เกิดก๊าซขึ้นในถังหมัก โดยสังเกตได้จากระดับของบารอมิเตอร์น้ำที่ติดตั้งอยู่หน้าถังหมัก หรือกรณีที่ระบบอัดก๊าซอัตโนมัติทำงานและดูดก๊าซชีวภาพไปเก็บในถังอัดก๊าซชีวภาพแล้ว ก็ให้เปิดวาล์วที่หัวเตาก๊าซชีวภาพไล่อากาศที่ยังค้างในระบบออกอย่างต่อเนื่อง และในขณะเดียวกันก็ทำการทดสอบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพไปด้วย แต่ถ้ายังจุดไฟไม่ติด ให้เปิดก๊าซทิ้งที่หัวเตาและรอให้เกิดก๊าซในรอบถัดไปและระบบทำการอัดเก็บ แล้วจึงทดสอบการติดไฟในลำดับถัดไป จนกระทั่งก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถจุดไฟติด

๒.๓.๒ การบดย่อยขยะอินทรีย์

ขยะอินทรีย์ที่นำมาใส่ในถังหมักก๊าซชีวภาพประกอบด้วย เศษอาหาร เศษผักและผลไม้ ที่เหลือทิ้งจากในครัวเรือน หรือจากในชุมชน สามารถนำมาเป็นอาหารให้กับจุลินทรีย์ เพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้ โดยขั้นตอนการเตรียมมีดังนี้

๑) นำขยะอินทรีย์ที่รวบรวมมาได้ ดังรูปที่ ๒.๑๔ มาคัดแยกสิ่งที่ไม่สามารถเข้าเครื่องบดได้ออก เช่น เศษไม้ เศษพลาสติก กระดุกหมู และเปลือกผลไม้ที่แข็ง เช่น ทูเรียนหรือขนุน เป็นต้น



รูปที่ ๒.๑๔ ขยะอินทรีย์

๒) นำขยะอินทรีย์ที่คัดแยกแล้วประมาณ ๑๐ - ๒๐ กิโลกรัม มาเข้าเครื่องบดขยะ เพื่อให้ขยะอินทรีย์มีขนาดเล็กลง ตามรูปที่ ๒.๑๕



รูปที่ ๒.๑๕ การบดขยะอินทรีย์ด้วยเครื่องบดเศษอาหาร

๓) นำขยะอินทรีย์ที่บดย่อยแล้วมาเติมน้ำในสัดส่วนที่เท่ากัน พร้อมกับใช้ไม้คนให้เข้ากัน ดังภาพที่ ๒.๑๖ เพื่อเตรียมนำไปใส่ในถังหมักก๊าซชีวภาพในลำดับต่อไป



รูปที่ ๒.๑๖ เศษอาหารที่ผ่านการบดย่อยและผสมกับน้ำในสัดส่วนที่เท่ากันแล้ว

๔) ทำความสะอาดเครื่องบดขยະอินทรีย์ โดยถอดฝาครอบออกและ แกะเอาฝาปิดรังผึ้งและมีดบดออก จากนั้นใช้ไม้เสียบลูกชิ้นหรือตะปูแคะเศษอาหารที่ติดค้างอยู่ในฝาปิดรังผึ้ง พร้อมกับนำเกลียวหมุนมาล้างทำความสะอาด และใช้น้ำล้างภายในตัวบดให้สะอาด หลังจากทำความสะอาดส่วนประกอบทั้งหมดเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปตากแดดให้แห้ง ก่อนจะประกอบกลับสู่สภาพการใช้งานปกติ

หมายเหตุ : ปริมาณเศษอาหารที่น้อยกว่าที่ระบุข้างต้น สามารถบดเติมลงในถังหมักก๊าซชีวภาพได้เช่นกัน แต่ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นก็จะมีปริมาณน้อยลงตามไปด้วย แต่สำหรับปริมาณเศษอาหารที่มากเกินไป ควรแบ่งเติมในวันถัดไป เพราะถ้าเติมในปริมาณมากจะทำให้เกิดการสะสมของสารอินทรีย์ จนเกินขีดความสามารถในการย่อยของแบคทีเรีย ทำให้เกิดสภาพความเป็นกรด และน้ำหมักอยู่ในสถานะไม่สมดุล

๒.๓.๓ การเติมเศษอาหารที่บดย่อยแล้วลงในถังหมักก๊าซชีวภาพ

การเติมเศษอาหารจะทำได้หลังจากที่ก๊าซชีวภาพที่อยู่ในถังหมักก๊าซชีวภาพติดไฟแล้วเท่านั้น ซึ่งเป็นสัญญาณบ่งบอกว่า จุลินทรีย์ที่อยู่ในถังหมักพร้อมที่จะกินอาหารและผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว ซึ่งหลังจากนี้ไม่จำเป็นต้องมีการเติมมูลวัวอีก เพียงแต่ต้องมีการเติมเศษอาหารที่บดย่อยแล้วลงในถังหมักเพื่อเป็นอาหารให้จุลินทรีย์เท่านั้น ก็สามารถผลิตก๊าซชีวภาพใช้ได้อย่างต่อเนื่อง โดยขั้นตอนการเติมเศษอาหารมีดังนี้

๑) ตรวจสอบบารอมิเตอร์ว่ามีแรงดันก๊าซชีวภาพอยู่ในถังหมักหรือไม่ กรณีที่ระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลแล้วหรือก๊าซชีวภาพสามารถจุดติดไฟได้แล้ว เพื่อไม่ให้ก๊าซถูกปล่อยทิ้งไปโดยเปล่าประโยชน์ ให้ทำการดูดก๊าซเก็บไว้ในถังจ่ายก๊าซด้วยปั๊มอัดก๊าซชีวภาพก่อน ด้วยวิธีการสั่งการให้ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพทำงานแบบ Manual โดยกดปุ่มสีเขียวบนกล่องควบคุมไฟฟ้า ปั๊มจะดูดก๊าซชีวภาพที่มีในถังหมักก๊าซชีวภาพจนกระทั่งปั๊มหยุดการทำงานเอง จากนั้นจึงหมุนเปิดวาล์วเติมเศษอาหารที่อยู่ด้านบนถังหมักก๊าซชีวภาพ ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑๗



รูปที่ ๒.๑๗ วาล์วเติมเศษอาหาร

๒) เปิดวาล์วน้ำล้น ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑๘ พร้อมกับเตรียมถังมารองรับน้ำหมักที่ล้นออกมาจากวาล์วน้ำล้น โดยพยายามรักษาระดับน้ำหมักให้อยู่ในช่วงไม่เกิน ๕๐๐ ลิตร ไม่ควรให้น้ำหมักสะสมมากจน เพราะน้ำหมักจะไปปิดช่องทางออกของก๊าซ น้ำหมักที่ถูกถ่ายเทออกมาจากถังหมักจะมีลักษณะตามรูปที่ ๒.๑๙ ซึ่งสามารถนำไปเป็นปุ๋ยอินทรีย์รดน้ำพืชผักและผลไม้ ได้โดยตรงหรือจะผสมน้ำเพิ่มเติมก็ได้ น้ำหมักจะช่วยในการปรับปรุงดินและช่วยเร่งให้พืชเจริญเติบโตได้รวดเร็ว ดังรูปที่ ๒.๒๐ และเมื่อเสร็จขั้นตอนการถ่ายน้ำหมักแล้วให้ปิดวาล์วน้ำล้นให้สนิท



รูปที่ ๒.๑๘ วาล์วน้ำล้น



รูปที่ ๒.๑๙ น้ำหมักที่ถ่ายเทออกมาจากถังหมักก๊าซชีวภาพ



รูปที่ ๒.๒๐ การนำน้ำหมักมาเป็นปุ๋ยชีวภาพรดน้ำพืชผักและผลไม้

๓) นำกรวยพลาสติกใส่ในวาล์วเติมเศษอาหาร เพื่อความสะดวกยิ่งขึ้น ดังรูปที่ ๒.๒๑



รูปที่ ๒.๒๑ การเติมเศษอาหารในถังหมักก๊าซชีวภาพ

- ๔) ค่อย ๆ เทเศษอาหารลงในกรวยจนหมด จากนั้นปิดวาล์วเติมเศษอาหาร
- ๕) ตรวจสอบวาล์วทั้งหมดให้อยู่ในตำแหน่งปกติ ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อ ๒.๑

หมายเหตุ : ช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเติมเศษอาหารควรเป็นช่วงเช้ามืดก่อน ๙.๐๐ น. ของทุกวัน เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถย่อยเศษอาหารได้ดีในช่วงเวลาตั้งแต่เริ่มมีแสงแดดจนกระทั่งถึงใกล้เที่ยงวัน หรือถ้าสามารถเติมเศษอาหารได้เร็วเท่าใดในช่วงเช้า จะเป็นการดีเพราะจะทำให้จุลินทรีย์มีเวลามากขึ้นในการผลิตก๊าซชีวภาพนั่นเอง สำหรับเวลาหลังเที่ยงวันไปแล้วจุลินทรีย์จะทำงานน้อยลง เนื่องจากอุณหภูมิในถังหมักที่สูงเกินไป ทำให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในช่วงบ่ายน้อยกว่าในช่วงเช้า แต่ก็สามารถนำก๊าซที่เกิดขึ้นไปใช้งานได้เช่นเดียวกัน

๒.๓.๔ การอัดก๊าซชีวภาพ

เมื่อน้ำหมักอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักขยะอินทรีย์จะสามารถจุดติดไฟได้ตามปกติ ทั้งนี้เจ้าหน้าที่ที่ดูแลระบบฯ ต้องปฏิบัติบำรุงอย่างสม่ำเสมอ ตามขั้นตอนที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งจะทำให้ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นทุกวันอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศด้วย โดยสภาพอากาศที่เหมาะสมคือ ท้องฟ้าปลอดโปร่ง ไม่มีเมฆฝน และมีแสงแดดส่องถึงถังหมักอย่างต่อเนื่อง ระบบจะสามารถอัดก๊าซเก็บในถังอัดได้ไม่น้อยกว่า ๓ ครั้งต่อวัน คือ ช่วงเช้ามืดเติมเศษอาหารทำการอัดเก็บโดยการกดปุ่มให้ปั๊มทำงานแบบ Manual และหลังจากเติมเศษอาหารแล้ว เมื่อมีก๊าซชีวภาพเกิดจนมีแรงดันมากพอ ระบบก็จะทำการอัดเก็บก๊าซชีวภาพได้อย่างอัตโนมัติ ทั้งในช่วงก่อนเที่ยงวันและช่วงบ่าย โดยสังเกตระดับแรงดันก๊าซชีวภาพได้จากระยะห่างของระดับน้ำทั้งสองข้างในบารอมิเตอร์ ดังรูปที่ ๒.๒๒



รูปที่ ๒.๒๒ บารอมิเตอร์น้ำขณะมีก๊าซชีวภาพในระบบ

โดยที่ระยะห่างยิ่งมาก ย่อมหมายถึงก๊าซชีวภาพมีแรงดันและปริมาณมาก ซึ่งสามารถอ่านค่าความดันก๊าซชีวภาพได้ด้วยการวัดระยะห่างระหว่างระดับน้ำทั้งสองข้าง หรืออ่านจากสเกลในหน่วยของเซนติเมตรที่เขียนไว้บนท่อพีวีซีด้านหน้าถังหมักก็ได้เช่นกัน โดยค่าความดันก๊าซที่อ่านได้จะอยู่ในหน่วยของเซนติเมตรน้ำ หรือเทียบเท่ากับหน่วยมิลลิบาร์นั่นเอง ตัวอย่างเช่น แรงดันก๊าซชีวภาพในรูปที่ ๒.๒๒ อ่านได้เท่ากับ ๒๐ เซนติเมตรน้ำ หรือ ๒๐ มิลลิบาร์ ค่าแรงดันที่ระบบอัดก๊าซชีวภาพอัตโนมัติที่ติดตั้งอยู่ในกล่องควบคุมไฟฟ้าจะสั่งให้ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพทำงานในแต่ละครั้งจะอยู่ในช่วงระหว่าง ๓๐ - ๔๐ เซนติเมตรน้ำ และจะตัดการทำงานหลังจากแรงดันก๊าซชีวภาพต่ำกว่า ๑๐ เซนติเมตรน้ำ

หมายเหตุ : ในช่วงแรกของการเดินระบบครั้งแรก ต้องทำการไล่อากาศที่อยู่ภายในปั๊มอัดก๊าซชีวภาพและถังอัดก๊าซชีวภาพก่อน ด้วยการเปิดวาล์วจ่ายก๊าซและเปิดวาล์วที่หัวเตาเพื่อไล่ให้อากาศออกไป และทดลองจุดไฟที่หัวเตา จนสามารถจุดไฟติด แสดงว่า ก๊าซชีวภาพได้เข้ามาแทนที่อากาศภายในปั๊มอัดก๊าซและในถังอัดก๊าซชีวภาพเรียบร้อยแล้ว

๒.๓.๕ วิธีการใช้งานก๊าซชีวภาพ

เมื่ออัดก๊าซชีวภาพใส่ถังอัดก๊าซตามขั้นตอนที่ผ่านมาแล้ว จะสังเกตได้ว่ามีแรงดันก๊าซเกิดขึ้นจากหัววัดแรงดันก๊าซที่ติดตั้งอยู่บนถังจ่ายก๊าซชีวภาพ ดังรูปที่ ๒.๒๓ โดยแรงดันก๊าซสูงสุดควรไม่เกิน ๔.๕ ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือประมาณ ๓ บาร์ หรือ ๔๔.๑๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (๑ บาร์ = ๑๔.๗ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) เนื่องจากหัวเตาก๊าซชีวภาพต่อกับถังอัดก๊าซโดยตรง โดยไม่ผ่านอุปกรณ์ปรับลดแรงดันก๊าซ ดังนั้นจึงไม่เหมาะที่จะสะสมก๊าซชีวภาพไว้ใช้ที่แรงดันสูง ควรจะใช้งานก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่อง โดยการใช้งานก๊าซชีวภาพมีวิธีการดังนี้



รูปที่ ๒.๒๓ แรงดันก๊าซชีวภาพแสดงที่หัววัดแรงดันประมาณ ๒.๒ บาร์

- ๑) เปิดวาล์วจ่ายก๊าซที่ถังอัดก๊าซชีวภาพออกที่ต่อไปยังหัวเตาก๊าซชีวภาพ
- ๒) จุดไฟจ่อที่หัวเตาก๊าซชีวภาพแล้วค่อย ๆ เปิดวาล์วที่หัวเตาทีละน้อย เมื่อไฟติดสามารถปรับความแรงของเปลวไฟด้วยการปรับให้วาล์วที่หัวเตาเปิดมากยิ่งขึ้น เปลวไฟของก๊าซชีวภาพจะเป็นสีฟ้าใส ดังรูปที่ ๒.๒๔



รูปที่ ๒.๒๔ เปลวไฟของก๊าซชีวภาพ

๓) เมื่อเลิกใช้งานหรือก๊าซชีวภาพเริ่มมีกำลังอ่อนลงจนไม่สามารถใช้งานได้แล้ว ให้ปิดวาล์วที่หัวเตาให้สนิท พร้อมกับปิดวาล์วที่ถังจ่ายเพื่อป้องกันการรั่วซึมจากข้อต่อท่อนำก๊าซ

หมายเหตุ : ตำแหน่งที่ตั้งของหัวเตาควรอยู่ในที่ไม่มีลมพัดผ่าน เนื่องจากลมจะทำให้เปลวไฟของก๊าซชีวภาพลุกไหม้อย่างไม่ต่อเนื่องหรือบางครั้งอาจทำให้เปลวไฟดับได้

ข้อควรระวัง : หัวเตาก๊าซชีวภาพไม่สามารถนำไปใช้กับก๊าซหุงต้มได้ เนื่องจากได้ทำการดัดแปลงแล้ว ทำให้อัตราการไหลของก๊าซที่ออกมามากกว่าปกติ ถ้านำไปใช้กับก๊าซหุงต้มอาจก่อให้เกิดอันตรายได้

๒.๔ ปัญหาการใช้งานถังหมักก๊าซชีวภาพและวิธีการแก้ไข

ปัญหาของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ขนาด ๒,๐๐๐ ลิตร ที่อาจเกิดขึ้นได้ในขณะใช้งาน และแนวทางการแก้ปัญหา มีดังนี้

๒.๔.๑ การรั่วซึมของก๊าซชีวภาพ

ปัญหาการรั่วซึมของก๊าซสามารถตรวจสอบได้ด้วยการใช้ฟองสบู่ตามข้อต่อท่อพีวีซี เกลียว และวาล์ว ซึ่งในขณะตรวจสอบต้องมีก๊าซอยู่ในถังหมัก ถ้าไม่สามารถใช้ปั๊มลมหรือปั๊มก๊าซชีวภาพที่มีอยู่อัดอากาศเข้าไปในถังหมักก็ได้ โดยต่อสายส่งก๊าซจากปั๊มก๊าซชีวภาพกับปลายท่อของวาล์วปล่อยก๊าซทิ้ง แล้วเปิดปั๊มให้ทำงานอัดอากาศเข้าไปในถังหมักจนกระทั่งมีแรงดันภายในประมาณ ๔๐ - ๕๐ เซนติเมตรน้ำ จึงปิดปั๊มและเริ่มทำการทดสอบหาจุดรั่วตามตำแหน่งต่าง โดยตำแหน่งที่อาจพบการรั่วไหลของก๊าซได้มีดังนี้

- **ใต้ฝาปิดบนของถังหมักก๊าซ** อาจเกิดจากสาเหตุ ฝาหมุนไม่แน่นพอ ให้ทำการหมุนย่ำเข้าไปให้แน่น หรือถ้ายังเกิดการรั่วอีกให้ถอดฝามาตรวจสอบยางรองใต้ฝาว่าอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้หรือไม่ บางครั้งยางอาจวางตัวผิดตำแหน่งทำให้ไม่สามารถกักก๊าซได้อย่างสมบูรณ์ แต่ถ้าพบการชำรุด เช่น ยางฉีกขาดหรือเก่าจนไม่สามารถใช้งานได้ ให้ทำการเปลี่ยนใหม่ และเมื่อจะประกอบเข้าที่เดิม ให้อัดกาวยาลิโคนเข้าไปที่ร่องของยางรองใต้ฝาลงแล้วหมุนกลับคืนที่เดิมให้แน่น

- **เกลียวบนฝาปิดบนถังหมักก๊าซ** เกิดจาก ซิลิโคนหมดอายุ ให้ถอดข้อต่อพีวีซีขนาด ๒ นิ้ว ของวาล์วเติมเศษอาหารออกจากฝาแล้วทำความสะอาดก่อนที่จะพันด้วยเทปพันเกลียว และใส่ซิลิโคนอีกชั้นหนึ่ง แล้วหมุนเข้าไปที่เกลียวของฝาปิดตามเดิม เกลียวซิลิโคนที่ล้นออกมาให้เรียบบอบขอบด้านข้างของข้อต่อพีวีซี ทิ้งไว้ให้ซิลิโคนแห้ง ก่อนที่จะประกอบเข้ากับตัวถังหมักต่อไป แต่กรณีที่วาล์วเติมเศษอาหารชำรุด หมุนยากหรือส่วนที่เป็นด้ามจับแตกเสียหาย ให้ทำการประกอบชิ้นใหม่จากอุปกรณ์พีวีซีที่หาซื้อได้ทั่วไป แล้วทำการประกอบเข้าที่ตามที่ได้กล่าวมาแล้วขั้นต้น

- **เกลียวข้อต่อพีวีซีด้านหน้าถังหมัก** เกิดจากซิลิโคนที่อัดอยู่ในเกลียวเสื่อม ให้ลอกซิลิโคนเดิมที่อยู่ด้านข้างข้อต่อออกแล้วใส่ซิลิโคนใหม่เข้าไปโดยรอบบริเวณที่รั่ว โดยขณะดำเนินการต้องปล่อยก๊าซที่อยู่ภายในออกให้หมด โดยเปิดวาล์วระบายก๊าซทิ้งเอาไว้ จนกระทั่งซิลิโคนแห้งติดสนิทก่อน จึงทำการปิดวาล์วระบายก๊าซทิ้ง

- **รอยเชื่อมด้านหน้าถังหมักก๊าซชีวภาพ** สาเหตุเกิดจากการขยายตัวของถังหมักขณะเกิดก๊าซชีวภาพอาจทำให้รอยเชื่อมระหว่างเกลียวในพีอีกับตัวถังหมักเกิดหลุดหรือปริแตกออกจากกันได้ การแก้ไขด้วยการเชื่อมทับในจุดที่เกิดการรั่วของก๊าซ โดยใช้เครื่องเป่าลมร้อนและเส้นลวดเชื่อมพีอี

- **รอยเชื่อมด้านบนถังเก็บก๊าซ** ให้ดำเนินการแก้ไขเช่นเดียวกับรอยเชื่อมด้านหน้าถังหมักก๊าซ

- **เกลียวของทางปลาไหล** สาเหตุจาก หมุนไม่แน่นพอ หรือ ใส่เทปพันเกลียวน้อยเกินไป ให้ถอดออกมาใส่เทปพันเกลียวใหม่แล้วหมุนกับที่เดิมให้แน่นหนา

๒.๔.๒ จุดไฟไม่ติด

กรณีของการจุดไฟไม่ติด จะเกิดในช่วงแรกของการเดินระบบ ภายหลังจากการเติมมูลวัวเพื่อเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนอยู่น้อย จะเกิดขึ้นในช่วง ๒ - ๔ สัปดาห์แรก ถือว่าเป็นเรื่องปกติ หลังจากนั้นก๊าซชีวภาพที่ได้จะสามารถจุดติดไฟได้ แต่อย่างไรก็ตามจุดไฟไม่ติดให้ตรวจสอบค่าพีเอชของน้ำหมัก โดยใช้เครื่องพีเอชมิเตอร์ ถ้าพบว่าค่าพีเอชยังต่ำกว่า ๖ ให้ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำหมักด้วยการเติมโซดาไฟผสมกับน้ำ ลงไปในถังหมักและใช้ไม้พายกวนให้เข้ากัน โดยต้องตรวจสอบค่าพีเอชทุกครั้งที่เติมโซดาไฟ เพื่อให้ค่าพีเอชสุดท้ายมีค่าใกล้เคียงกับ ๗ หลังจากนั้นปรับวาล์วต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาวะปกติ เมื่อค่าพีเอชมีค่าอยู่ระหว่าง ๖.๘ - ๗.๒ แล้ว จุลินทรีย์จะสามารถทำงานได้ตามปกติ นอกจากนั้นยังอาจเกิดขึ้นจากการมีอากาศค้างอยู่ในปั๊มลมและถังอัดก๊าซ ตามที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ ๓.๔ ทำให้สัดส่วนของก๊าซมีเทนมีอยู่น้อยจนไม่สามารถจุดไฟติดได้ ให้ทำการเปิดไล่อากาศออกจากหัวเตาก๊าซชีวภาพ แล้วทดสอบการติดไฟ จนกระทั่งสามารถจุดไฟติดได้ จึงปิดหัวเตาและปรับวาล์วต่าง ๆ ให้อยู่ในสภาวะปกติ

๒.๔.๓ น้ำเข้าไปอุดตันในท่อส่งก๊าซ

ปัญหาน้ำเข้าไปอุดตันในท่อส่งก๊าซสามารถเกิดขึ้นได้ หลายสาเหตุ ดังนี้

- **ถังเก็บก๊าซชีวภาพมีน้ำบรรจุอยู่มากเกินไป** ทำให้น้ำถูกดูดมาพร้อมกับก๊าซในขณะที่ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพทำงาน เมื่อมีน้ำเข้าไปอยู่ในท่อส่งก๊าซทำให้ก๊าซไม่สามารถไหลผ่านไปได้ วิธีแก้ปัญหา คือไล่ น้ำออกจากท่อส่งก๊าซ และปรับระดับน้ำภายในถังเก็บก๊าซ ให้อยู่ในระดับท่วมถังเก็บก๊าซสีน้ำเงินพอดี

- ถังดักน้ำมีปริมาณน้ำสะสมอยู่มากจนท่วมท่อส่งก๊าซที่ติดตั้งอยู่ในถังดักน้ำ โดยเฉพาะในฤดูฝนที่สภาพอากาศมีความชื้นสูง ทำให้ไอน้ำที่ติดมากับก๊าซชีวภาพสามารถกลั่นตัวเป็นหยดน้ำได้ง่าย ทำให้น้ำที่สะสมในถังดักน้ำมีปริมาณมากกว่าปกติ ถ้าผู้ดูแลไม่ได้เปิดวาล์วน้ำทิ้งเป็นประจำ จะทำให้มีน้ำสะสมในถังดักน้ำอย่างรวดเร็ว จนท่วมปลายท่อส่งก๊าซทำให้ก๊าซชีวภาพไม่สามารถไหลผ่านไปยังบิ๊มอัดก๊าซได้ วิธีแก้ปัญหา ให้เปิดวาล์วน้ำทิ้งทุกครั้งก่อนที่จะทำการอัดก๊าซชีวภาพ

๒.๔.๔ ถังหมักก๊าซชีวภาพบูบหรือยุบตัว

ปัญหาถังหมักก๊าซชีวภาพบูบหรือยุบตัวเกิดจาก ความดันภายในถังหมักก๊าซต่ำกว่าความดันบรรยากาศภายนอก ทำให้เกิดแรงกดรอบตัวถังหมัก บริเวณที่อ่อนตัวก็จะเกิดการยุบหรือบูบเข้าไป ดังแสดงในรูปที่ ๔.๑ ซึ่งปัญหานี้ที่มาจาก สภาวะอากาศที่เย็นลงเนื่องจากฝนตก หรืออากาศหนาว จะทำให้ก๊าซชีวภาพเกิดการหดตัวมากกว่าปกติ ทำให้ความดันก๊าซภายในถังหมักลดต่ำลงมากกว่า ความดันบรรยากาศ ทำให้ถังหมักยุบตัวจากแรงกดของความดันอากาศภายนอก จะพบมากในฤดูหนาว วิธีการแก้ไขคือ ให้เปิดวาล์วระบายก๊าซให้อากาศจากภายนอกเข้าไปในถังหมักบ้างเพื่อป้องกันการยุบตัวที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดความเสียหายกับตัวถังหมักได้ นอกจากนั้นยังสามารถเกิดจากการปล่อยน้ำหมักออกมาผ่านทางวาล์วน้ำล้นในปริมาณที่มาก จึงทำให้ความดันภายในลดต่ำลง จึงทำให้ถังมีอากาศบุบลงได้ แก้ปัญหา โดยวิธีการเปิดวาล์วเติมเศษอาหารหรือวาล์วปล่อยก๊าซทิ้งไว้ขณะถ่ายน้ำหมักออกทางวาล์วน้ำล้น



รูปที่ ๔.๑ ลักษณะการยุบตัวของถังหมักก๊าซชีวภาพ

๒.๔.๕ น้ำหมักมีกลิ่นเหม็นเน่าและก๊าซเกิดน้อย

น้ำหมักมีกลิ่นเหม็นเน่าและเกิดฟองก๊าซลอยอยู่ที่ผิวหน้าของน้ำหมักเป็นจำนวนมาก มีสาเหตุจาก มีสารอินทรีย์ตกค้างหรือสะสมอยู่ในถังหมักมากจนจุลินทรีย์กินอาหารไม่ทัน จึงเกิดการบูดเน่าในถังหมัก ทำให้น้ำหมักมีสภาพความเป็นกรดสูงกว่าปกติ น้ำหมักจึงขาดสภาวะสมดุลทำให้ก๊าซชีวภาพเกิดน้อยลง วิธีการแก้ไข ในกรณีที่ที่ไม่รุนแรงมากให้หยุดเติมเศษอาหารชั่วคราว จนกระทั่งค่าความเป็นกรด - ด่าง เข้าสู่สภาวะปกติสังเกตได้จาก เริ่มมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในถังหมักจนเข้าสู่สภาวะปกติ จึงสามารถเติมเศษอาหารต่อไปได้ แต่ในกรณีที่รุนแรงมาก คือน้ำหมักหมดสภาพไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อีกต่อไป ให้ทำการถ่ายน้ำหมักเดิมออกทางวาล์วล้างถังหมัก และนำมูลวัวมาเติมเป็นหัวเชื้อจุลินทรีย์ใหม่ และปฏิบัติตามขั้นตอนที่ผ่านมาในข้างต้น จนกระทั่งน้ำหมักสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ตามปกติ

๒.๔.๖ ปัมอัดก๊าซชีวภาพไม่ทำงาน ปัมอัดก๊าซชีวภาพไม่ทำงานเกิดขึ้นได้จากหลายสาเหตุ ดังนี้

- เบรกเกอร์ไฟฟ้าบนกล่องควบคุมไฟฟ้า อยู่ในสถานะ OFF จึงทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายเข้าวงจรควบคุม ทำให้อัดก๊าซชีวภาพไม่สามารถทำงานได้ ซึ่งปกติ เบรกเกอร์ต้องอยู่ในสถานะ ON เสมอ
- กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับปั๊มอัดก๊าซชีวภาพเกินจากที่ตั้งเอาไว้ หรือ Over load ซึ่งจะมีไฟแสดงสถานะสีแดงแจ้งเตือนไว้ที่กล่องควบคุม ให้แก้ไขโดย การเปิดฝากล่องควบคุมไฟฟ้า แล้วกดที่ตัว สวิตช์เล็กๆ บนชุดควบคุมการจ่ายกระแสไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ชุด Magnetic switch กับชุดตรวจสอบการจ่ายกระแสไฟฟ้าเกิน หรือ ชุด Over load จะทำให้ไฟเตือนดับลงและระบบควบคุมกลับมาทำงานได้ตามปกติ
- มีแรงดันก๊าซชีวภาพสะสมในถังอัดก๊าซชีวภาพมากในระดับที่ทำให้ pressure switch ของปั๊มอัดก๊าซชีวภาพตัดการทำงานโดยอัตโนมัติ ซึ่งแรงดันที่สามารถทำให้ pressure switch ตัดการทำงานโดยปกติตั้งไว้ที่แรงดันประมาณ ๘๐ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว หรือสูงกว่าขึ้นอยู่กับค่าแรงดันของชุด pressure switch ที่ติดมากับตัวปั๊มอัดก๊าซชีวภาพ ซึ่งเมื่อใช้งานก๊าซชีวภาพให้มีแรงดันน้อยลง จนถึงระดับหนึ่งแล้ว ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพก็จะสามารถทำงานได้อีกครั้ง เนื่องจาก pressure switch จะต่อการทำงานเองโดยอัตโนมัติเมื่อแรงดันที่อยู่ในถังอัดก๊าซชีวภาพลดลง

๒.๕ แบบประเมินผลและบันทึกข้อมูลการใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ขนาด ๒,๐๐๐ ลิตร

การผลิตและใช้งานก๊าซชีวภาพ เป็นการลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลและเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านเชื้อเพลิงลง นอกจากนั้นยังช่วยลดมลภาวะเป็นพิษของสิ่งแวดล้อมเนื่องจาก ขยะอินทรีย์จะถูกคัดแยกออกมาจากขยะรีไซเคิล ดังรูปที่ ๕.๑ เพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ดังนั้นเพื่อให้ทราบปริมาณขยะอินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพและการนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพฯ ไปใช้ในการหุงต้มทดแทนก๊าซแอลพีจี ดังรูปที่ ๕.๒ จึงจำเป็นต้องมีการเก็บบันทึกข้อมูลลงในแบบประเมินผลการใช้งานก๊าซชีวภาพ เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลทั้งในเชิงปริมาณและข้อมูลเชิงคุณภาพ จากการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพฯ เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพฯ ให้มีความเหมาะสมต่อการใช้งานต่อไปในอนาคต



รูปที่ ๕.๑ เศษอาหารที่คัดแยกออกมาเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ

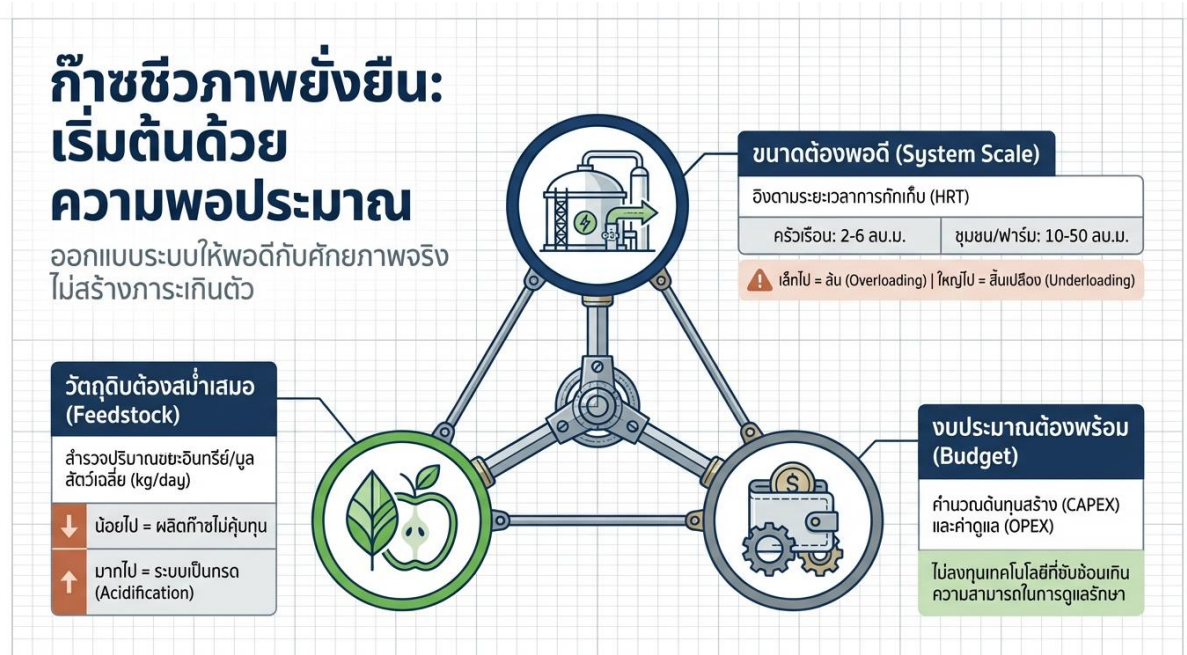


รูปที่ ๕.๒ การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการหุงต้มทดแทนก๊าซแอลพีจี

๓. การบริหารระบบก๊าซชีวภาพตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง

การบริหารจัดการระบบก๊าซชีวภาพให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด จำเป็นต้องอาศัยแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืน โดยเฉพาะการประยุกต์ใช้หลัก “เศรษฐกิจพอเพียง” ซึ่งเป็นแนวทางที่เน้นความพอดี ความมีเหตุผล และการมีภูมิคุ้มกัน หลักเศรษฐกิจพอเพียงประกอบด้วย ๓ หลักการสำคัญ ได้แก่

๓.๑ หลักความพอประมาณ (Moderation) หลักความพอประมาณเป็นหัวใจสำคัญของการบริหารระบบก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ โดยเน้นการดำเนินงานให้ “เหมาะสมกับศักยภาพที่มีอยู่จริง” ทั้งด้านทรัพยากร งบประมาณ และความสามารถในการบริหารจัดการ เพื่อให้ระบบสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่อง มีประสิทธิภาพ และไม่ก่อให้เกิดภาระเงินค่าเป็นในระยะยาว ดังนี้



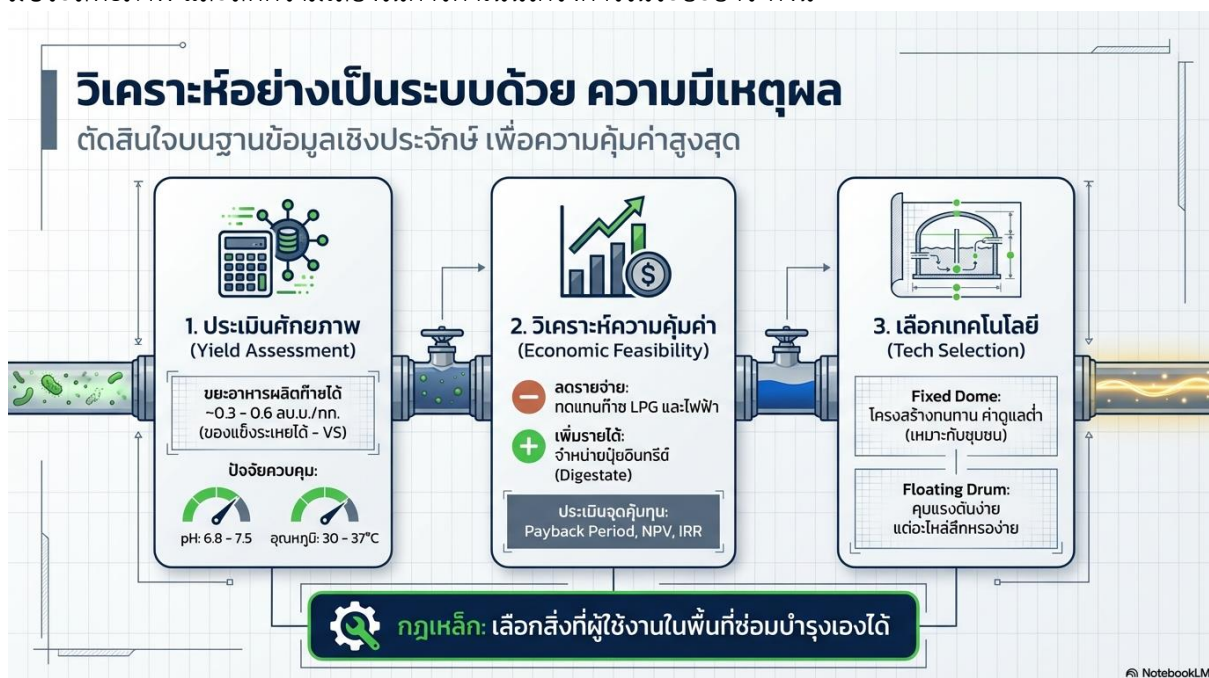
© NotebookLM

- ปริมาณวัตถุดิบ (มูลสัตว์/ขยะอินทรีย์) (Feedstock Availability) การออกแบบระบบต้องสอดคล้องกับปริมาณและความสม่ำเสมอของขยะอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากครัวเรือน โรงอาหาร หรือขยะตลาดสด รวมถึงมูลสัตว์ในกรณีฟาร์ม โดยทั่วไป ขยะอินทรีย์ควรมีปริมาณเพียงพอและต่อเนื่องทุกวัน เพื่อรักษาสสมดุลของจุลินทรีย์ในถังหมัก หากมีปริมาณน้อยเกินไปจะทำให้การผลิตก๊าซไม่คุ้มค่า ในขณะที่หากมีมากเกินไปโดยไม่มีการควบคุม อาจทำให้ระบบเกิดภาวะเป็นกรด (Acidification) และส่งผลให้การผลิตก๊าซลดลง ดังนั้นจึงควรมีการสำรวจและบันทึกปริมาณวัตถุดิบเฉลี่ยต่อวัน (kg/day) ก่อนการออกแบบระบบ
- ขนาดครัวเรือนหรือฟาร์ม (System Scale Appropriateness) การกำหนดขนาดของถังหมักต้องเหมาะสมกับจำนวนผู้ใช้งานและปริมาณการใช้พลังงาน เช่น ครัวเรือนขนาดเล็กอาจใช้ถังหมักขนาด ๒ - ๖ ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ชุมชนหรือฟาร์มขนาดกลางอาจต้องใช้ขนาด ๑๐ - ๕๐ ลูกบาศก์เมตร หากออกแบบใหญ่เกินไปจะทำให้เกิดการใช้ระบบไม่เต็มประสิทธิภาพ (Underloading) และสิ้นเปลืองงบประมาณ ในทางกลับกัน หากขนาดเล็กเกินไปจะทำให้ระบบรองรับวัตถุดิบไม่เพียงพอ (Overloading) ส่งผลให้ระบบเสื่อมสภาพเร็ว ดังนั้น การกำหนดขนาดระบบควรอิงจากค่าทางวิศวกรรม เช่น ระยะเวลาการกักเก็บ (Hydraulic Retention Time: HRT) และปริมาณของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids)

- งบประมาณที่มีอยู่ไม่ควรลงทุนเกินความจำเป็น เช่น การสร้างถังหมักขนาดใหญ่เกินไปจนใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ (Financial Capacity) การลงทุนในระบบก๊าซชีวภาพควรสอดคล้องกับศักยภาพทางการเงินของหน่วยงานหรือชุมชน โดยพิจารณาทั้งต้นทุนเริ่มต้น (Capital Expenditure: CAPEX) และค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operating Expenditure: OPEX) เช่น ค่าบำรุงรักษา ค่าซ่อมแซม และค่าแรงงาน ไม่ควรเลือกเทคโนโลยีที่มีความซับซ้อนหรือมีต้นทุนสูงเกินความจำเป็น หากขาดความพร้อมในการดูแลรักษา อาจทำให้ระบบหยุดทำงานในระยะยาว ตัวอย่างเช่น การเลือกใช้ระบบ Fixed Dome ในชุมชนชนบทอาจเหมาะสมกว่าระบบที่ใช้เครื่องจักรควบคุมขั้นสูง

หลักความพอประมาณช่วยให้การออกแบบและบริหารระบบก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์เป็นไปอย่างสมดุล ลดความเสี่ยงในการลงทุน และเพิ่มโอกาสในการดำเนินงานอย่างยั่งยืน ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิดการพึ่งพาตนเองและการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าตามหลักเศรษฐกิจพอเพียง

๓.๒ หลักความมีเหตุผล (Reasonableness) หลักความมีเหตุผลเป็นองค์ประกอบสำคัญของการบริหารระบบก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ โดยมุ่งเน้นการตัดสินใจบนพื้นฐานของข้อมูลเชิงประจักษ์ หลักวิชาการ และการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบ เพื่อให้การออกแบบ การลงทุน และการดำเนินงานมีความคุ้มค่า มีประสิทธิภาพ และลดความเสี่ยงในการดำเนินโครงการในระยะยาว ดังนี้



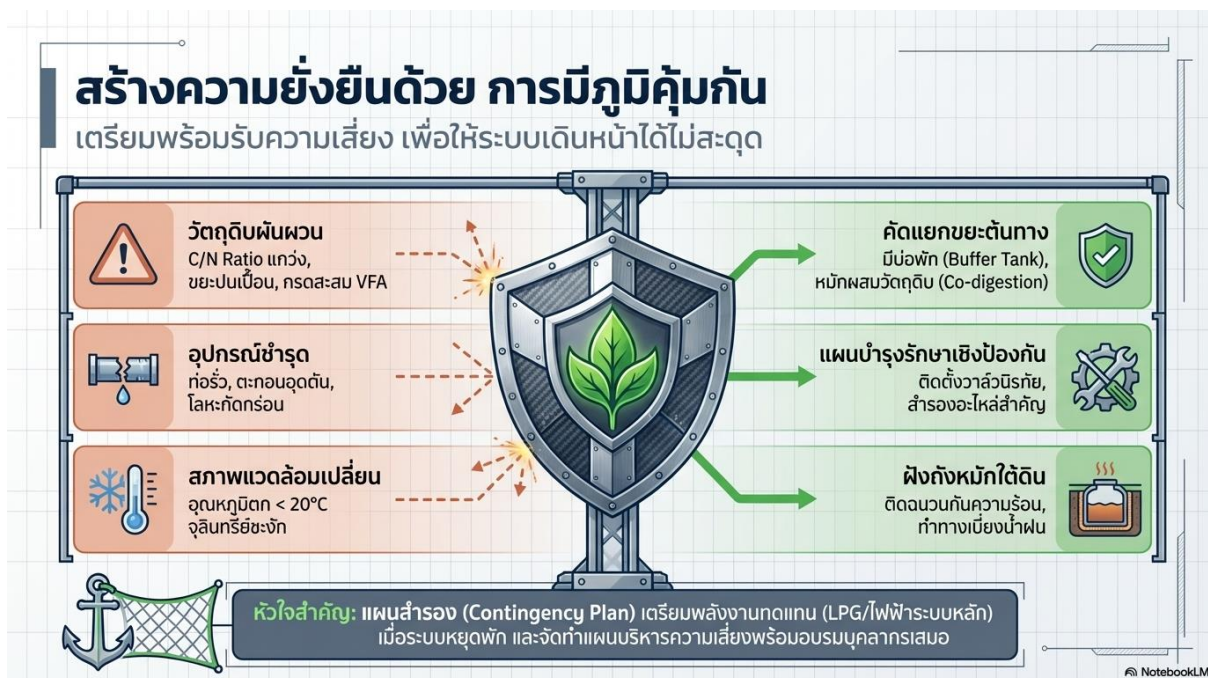
- การคำนวณปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ (Biogas Potential Assessment) เป็นขั้นตอนพื้นฐานที่ต้องดำเนินการก่อนการออกแบบระบบ โดยต้องประเมินศักยภาพของขยะอินทรีย์ในเชิงปริมาณและคุณภาพ เช่น ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids: TS) และของแข็งระเหยได้ (Volatile Solids: VS) ซึ่งเป็นส่วนที่สามารถย่อยสลายเพื่อผลิตก๊าซได้ โดยทั่วไป ขยะอินทรีย์จากเศษอาหารสามารถให้ก๊าซชีวภาพประมาณ ๐.๓ - ๐.๖ ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของ VS ทั้งนี้ การคำนวณควรคำนึงถึงค่าประสิทธิภาพของระบบ (Conversion Efficiency) และการสูญเสียในกระบวนการ เช่น การรั่วไหลหรือการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ นอกจากนี้ ยังต้องพิจารณาปัจจัยควบคุม เช่น ค่า pH (เหมาะสมที่ ๖.๘ - ๗.๕) อุณหภูมิ (30 - 37°C) และระยะเวลาที่กักเก็บ (Hydraulic Retention Time: HRT) ซึ่งมีผลโดยตรงต่ออัตราการผลิตก๊าซ การประเมินที่แม่นยำจะช่วยกำหนดขนาดระบบและคาดการณ์ผลผลิตพลังงานได้อย่างมีเหตุผล

- ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility Analysis) เป็นการพิจารณาว่าการลงทุนในระบบก๊าซชีวภาพมีความเหมาะสมหรือไม่ โดยต้องวิเคราะห์ทั้งต้นทุนและผลตอบแทนอย่างรอบด้าน ต้นทุนประกอบด้วย ค่าออกแบบและก่อสร้างระบบ (CAPEX) ค่าดำเนินงาน เช่น ค่าบำรุงรักษา ค่าแรงงาน และค่าอุปกรณ์ (OPEX) ขณะที่ผลตอบแทนสามารถพิจารณาได้จากการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน เช่น การทดแทนก๊าซ LPG หรือไฟฟ้า รวมถึงรายได้จากการจำหน่ายปุ๋ยอินทรีย์ (Digestate) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการหมัก นอกจากนี้ ควรใช้เครื่องมือทางเศรษฐศาสตร์ เช่น ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return: IRR) เพื่อช่วยในการตัดสินใจอย่างเป็นระบบ การวิเคราะห์ที่รอบคอบจะช่วยให้โครงการมีความมั่นคงและลดความเสี่ยงด้านการเงิน

- การเลือกเทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่น การเลือกใช้ระบบแบบ Fixed Dome หรือ Floating Drum ต้องพิจารณาจากต้นทุนและการบำรุงรักษา (Appropriate Technology Selection) เป็นอีกปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาอย่างมีเหตุผล โดยต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับบริบทของพื้นที่ ความพร้อมของผู้ใช้งาน และงบประมาณที่มีอยู่ ตัวอย่างเช่น ระบบ Fixed Dome เป็นระบบที่นิยมใช้ในชุมชนชนบท เนื่องจากมีโครงสร้างแข็งแรง อายุการใช้งานยาวนาน และมีต้นทุนการบำรุงรักษาต่ำ เหมาะกับพื้นที่ที่ต้องการความคงทนและงบประมาณจำกัด ในขณะที่ระบบ Floating Drum มีข้อดีคือสามารถมองเห็นปริมาณก๊าซได้ชัดเจน และควบคุมแรงดันก๊าซได้ง่าย แต่มีข้อเสียคือมีต้นทุนการบำรุงรักษาสูง เนื่องจากชิ้นส่วนโลหะมีโอกาสเกิดการกัดกร่อน นอกจากนี้ ในระบบขนาดใหญ่ อาจพิจารณาใช้ระบบแบบ Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) หรือ Plug Flow ซึ่งมีประสิทธิภาพสูง แต่ต้องใช้ความรู้และการควบคุมที่ซับซ้อนมากขึ้น นอกจากการเลือกเทคโนโลยีแล้ว ยังต้องพิจารณาความสามารถในการดูแลรักษา (Maintainability) ความพร้อมของอะไหล่ และความสามารถของบุคลากรในพื้นที่ หากเลือกเทคโนโลยีที่ซับซ้อนเกินไป อาจทำให้ระบบไม่สามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งขัดต่อหลักเศรษฐกิจพอเพียง

หลักความมีเหตุผลช่วยให้การบริหารระบบก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์มีความเป็นระบบ โปร่งใส และตรวจสอบได้ โดยอาศัยข้อมูลและหลักวิชาการเป็นฐานในการตัดสินใจ ซึ่งจะนำไปสู่การใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า ลดความเสี่ยง และเพิ่มความยั่งยืนของโครงการในระยะยาว

๓.๓ หลักการภูมิคุ้มกัน (Self-Immunity) หลักการภูมิคุ้มกันเป็นองค์ประกอบสำคัญของการบริหารระบบก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ โดยมุ่งเน้นการเตรียมความพร้อมรองรับความไม่แน่นอนและความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นทั้งในด้านเทคนิค เศรษฐกิจ และสิ่งแวดล้อม เนื่องจากระบบก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะที่ใช้ “ขยะอินทรีย์” เป็นวัตถุดิบ มีความแปรปรวนสูงทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ หากไม่มีการบริหารจัดการความเสี่ยงที่ดี อาจส่งผลให้ระบบล้มเหลว (System Failure) หรือไม่สามารถผลิตก๊าซได้อย่างต่อเนื่อง ดังนี้



- ความผันผวนของวัตถุดิบ (Feedstock Variability) ขยะอินทรีย์จากแหล่งต่าง ๆ เช่น ครั้วเรือน ตลาดสด หรือโรงอาหาร มักมีองค์ประกอบที่ไม่คงที่ ทั้งในด้านสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ปริมาณความชื้น และสิ่งปนเปื้อน เช่น พลาสติกหรือโลหะหนัก ความผันผวนดังกล่าวส่งผลต่อสมดุลของจุลินทรีย์ในถังหมัก และอาจทำให้เกิดปัญหาการสะสมกรด (Volatile Fatty Acids: VFA) จนระบบมีค่า pH ต่ำและหยุดการผลิตก๊าซได้ แนวทางสร้างภูมิคุ้มกัน ได้แก่ การจัดให้มีระบบคัดแยกขยะที่ต้นทาง (Source Separation) การเตรียมวัตถุดิบก่อนป้อน (Pre-treatment) เช่น การบดและผสมน้ำ และการมีบ่อพักวัตถุดิบ (Buffer Tank) เพื่อควบคุมปริมาณและคุณภาพให้สม่ำเสมอ นอกจากนี้ การผสมวัตถุดิบหลายประเภท (Co-digestion) เช่น เศษอาหารร่วมกับมูลสัตว์ สามารถช่วยปรับสมดุล C/N ratio และเพิ่มเสถียรภาพของระบบได้

- การชำรุดของอุปกรณ์ (Equipment Failure) ระบบก๊าซชีวภาพประกอบด้วยอุปกรณ์หลายส่วน เช่น ถังหมัก ท่อส่งก๊าซ วาล์ว ระบบกวน และอุปกรณ์ใช้ก๊าซ ซึ่งมีโอกาสชำรุดตามอายุการใช้งานหรือจากการใช้งานที่ไม่เหมาะสม เช่น การรั่วไหลของก๊าซจากรอยต่อท่อ การอุดตันจากตะกอน หรือการกัดกร่อนของวัสดุ โดยเฉพาะในระบบ Floating Drum ที่มีชิ้นส่วนโลหะ แนวทางการลดความเสี่ยง ได้แก่ การจัดทำแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) การตรวจสอบระบบเป็นประจำ เช่น ตรวจรอยรั่วด้วยน้ำสบู่ การติดตั้งวาล์วนิรภัย (Safety Valve) และการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสม เช่น พลาสติก HDPE หรือคอนกรีตเสริมเหล็ก นอกจากนี้ ควรมีอะไหล่สำรองและคู่มือการซ่อมบำรุงที่ชัดเจน เพื่อให้สามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็วและลดระยะเวลาหยุดระบบ (Downtime)

- การเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม (Environmental Changes) ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม เช่น อุณหภูมิ ภูมิอากาศ และปริมาณน้ำฝน มีผลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยเฉพาะอุณหภูมิที่มีผลโดยตรงต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ หากอุณหภูมิลดต่ำกว่า 20°C จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้จุลินทรีย์เสียสมดุล แนวทางการสร้างภูมิคุ้มกัน ได้แก่ การออกแบบระบบให้เหมาะสมกับภูมิอากาศ เช่น การฝังถังหมักใต้ดินเพื่อลดความผันผวน

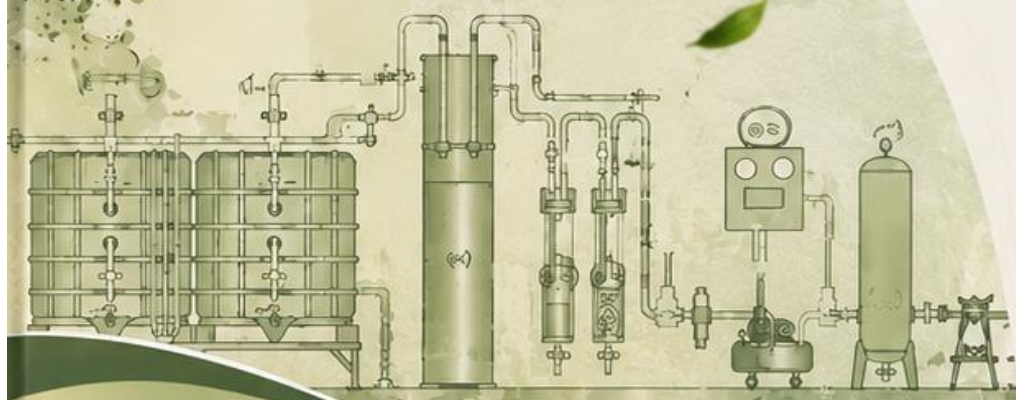
ของอุณหภูมิ การติดตั้งฉนวนกันความร้อน และการจัดการน้ำฝนไม่ให้ไหลเข้าสู่ระบบจนทำให้ความเข้มข้นของ
วัตถุดิบลดลง นอกจากการจัดการความเสี่ยงในแต่ละด้านแล้ว การมี แผนสำรอง (Contingency Plan) ถือเป็น
หัวใจของการสร้างภูมิคุ้มกันในระบบก๊าซชีวภาพ เช่น การมีแหล่งพลังงานสำรอง ได้แก่ ก๊าซ LPG หรือไฟฟ้า
จากระบบหลักในกรณีที่ระบบก๊าซชีวภาพหยุดทำงาน การสำรองวัตถุดิบในช่วงที่มีปริมาณขยะลดลง และการ
จัดทำแผนการบริหารความเสี่ยง (Risk Management Plan) ที่ระบุแนวทางการป้องกันและแก้ไขปัญหาอย่างเป็น
ระบบ รวมถึงการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานให้มีความรู้ในการรับมือสถานการณ์ฉุกเฉิน

หลักการมีภูมิคุ้มกันช่วยให้ระบบก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์สามารถดำเนินงานได้อย่างต่อเนื่อง
แม้เผชิญกับความไม่แน่นอนและความเสี่ยงต่าง ๆ ซึ่งเป็นการเสริมสร้างความมั่นคงด้านพลังงาน ลดความ
เสียหาย และสนับสนุนความยั่งยืนของโครงการตามแนวทางเศรษฐกิจพอเพียง

บรรณานุกรม

๑. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (๒๕๖๔). *คู่มือการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์*. กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน.
๒. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (๒๕๖๘). พลังงานก๊าซชีวภาพ. สืบค้นเมื่อ ๒๓ มกราคม ๒๕๖๙, จาก <https://www.dede.go.th/articles?id=3883>
๓. พึ่งรัศมี, ว., นิธิกุลรัตน, น., และ เผ่าทองสุข, ส. (2559). Biogas production from organic wastes from recirculating aquaculture systems. *Thai Environmental Engineering Journal*. สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2569, จาก <https://so05.tci-thaijo.org/index.php/teej/article/view/187551>
๔. รสสุคนธ์ ชัยแก้ว. (๒๕๕๘). *แนวทางการสร้างความยั่งยืนในการผลิตก๊าซชีวภาพระดับชุมชนและครัวเรือน กรณีศึกษาอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี* (วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการจัดการสิ่งแวดล้อม). สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.
๕. วิภาดา ศิริอนุสรณ์ศักดิ์, สุภางค์ จุฬาลักษณ์านุกูล, และ วรวิทย์ จุฬาลักษณ์านุกูล. (ม.ป.ป.). *ก๊าซชีวภาพ: แหล่งพลังงานทดแทน. บทความวิชาการ*.
๖. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2560). *ปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียง*. กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ.
๗. Angelidaki, I., Karakashev, D., Batstone, D. J., Plugge, C. M., & Stams, A. J. M. (2011). Biomethanation and its potential. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 91(1), 1–12.
๘. Bond, T., & Templeton, M. R. (2011). History and future of domestic biogas plants in developing countries. *Energy for Sustainable Development*, 15(4), 347–354.
๙. Kaewdiew, J., Ramaraj, R., Koonaphapdeelert, S., & Dussadee, N. (2019). Assessment of the biogas potential from agricultural waste in northern Thailand. *Maejo International Journal of Energy and Environmental Communication*, 1(1), 40–47. สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2569, จาก <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/MIJEEC/article/view/244899>
๑๐. Kasantikul, B. (2022). Improvement biogas generating by the fermenting barrel for biogas production from organic waste for household use. *Engineering Access*, 8(1). สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2569, จาก <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/mijet/article/view/244773>
๑๑. Pakvilai, N. (2021). The potential of biogas production with co-digestion between food waste and cow dung. *Trends in Sciences*, 18(21). สืบค้นเมื่อ 23 มิถุนายน 2569, จาก <https://tis.wu.ac.th/index.php/tis/article/view/1410>
๑๒. United Nations Environment Programme (UNEP). (2010). *Waste and climate change: Global trends and strategy framework*. UNEP.

୧୩. Yadvika, Santosh, Sreekrishnan, T. R., Kohli, S., & Rana, V. (2004). Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques: A review. *Bioresource Technology*, 95(1), 1–10.



จัดทำโดย กองพลังงานทดแทน กรมการพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมท้องถิ่นประเทศลาว