

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนใน
ฟาร์มปศุสัตว์ขนาดเล็ก

The Application of Biogas for Alternative Energy Production in
Small-Scale Livestock Farms

พิมพ์ภา โปธิลังกา^{1*} และวันวิสาข์ ชูจิตร์²

¹สาขาวิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง ตำบลชมพู อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

²ภาควิชาการพยาบาลอนามัยชุมชน วิทยาลัยพยาบาลบรมราชชนนีนครลำปาง

ตำบลหัวเวียง อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง 52100

บทคัดย่อ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน องค์ประกอบส่วนใหญ่คือก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 55-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายในธรรมชาติได้ง่ายเกือบทุกชนิดรวมไปถึงมูลสัตว์ในฟาร์มปศุสัตว์ด้วย เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพได้ถูกใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์มาเป็นเวลานานแล้ว และยังคงมีการใช้อย่างกว้างขวางทั่วโลก เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานทางเลือกสู่การใช้พลังงานสะอาดอย่างยั่งยืน โดยสามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับหุงต้มอาหาร ผลิตกระแสไฟฟ้า หรือประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรกลบางชนิดได้ เทคโนโลยีด้านระบบการผลิตก๊าซชีวภาพที่พบในฟาร์มปศุสัตว์ในประเทศไทย ได้แก่ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบฝาครอบลอย บ่อหมักก๊าซชีวภาพประเภทโดมคองที่ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบพลาสติกคลุมรางแบบรางขนาน เป็นต้น เทคโนโลยีเหล่านี้ แม้จะมีข้อจำกัดบางประการ แต่สามารถพัฒนาไปสู่การเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้ความเข้าใจในกลไกและกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจึงเป็นพื้นฐานที่สำคัญและจำเป็นสำหรับการพัฒนาปรับปรุงเทคโนโลยีด้านนี้ให้ดีขึ้น

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ ระบบหมักไร้อากาศ บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบโดมคองที่

Abstract

Biogas refers to gases generated by the breakdown of organic matter in the absence of oxygen and typically this is composed of 55-70% methane and 30-40% carbon dioxide. Biogas may be produced naturally from biodegradable organic matter, including manure obtained from livestock farms. In addition to being used worldwide, biogas production has long been used on livestock farms for the production of clean and sustainable alternative energy. Biogas can be used directly as an energy source, for the production of electricity, and in certain types of mechanical engines. Biogas technology used on livestock farms in Thailand include floating drum, fixed dome, channel digester, and plug flow digesters. Although they have their limitations, it is possible to improve these technologies to increase biogas production and thus an understanding of the mechanisms and processes involved will provide an important basis for their improvement.

Keywords : Biogas, Anaerobic Digestion, Fixed Dome Digester

บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีการใช้พลังงาน 1,845 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน ขณะที่ในปี 2560 นั้น อัตราการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นเป็น 2,754 พันบาร์เรลเทียบเท่าน้ำมันดิบต่อวัน ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นจากภาวะเศรษฐกิจที่ปรับตัวดีขึ้นโดยมีการใช้พลังงานทุกประเภท ยกเว้นก๊าซธรรมชาติ (ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน 2560) แนวโน้มการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นนี้ทำให้จำเป็นต้องหาแหล่งพลังงานเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะพลังงานทดแทน ก๊าซชีวภาพถือได้ว่าเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่มีศักยภาพในการเป็นพลังงานทดแทนด้วยประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีผลผลิตทางการเกษตรรวมถึงของเสียทางการเกษตรที่สามารถใช้เป็นแหล่งพลังงานได้ทั้งในระดับอุตสาหกรรมจนถึงระดับครัวเรือนจึงมีการส่งเสริมให้ความรู้ด้านการผลิตก๊าซชีวภาพกับชุมชนอย่างจริงจังตั้งแต่ปี 2548 โดยมุ่งหวังให้ประชาชนมีความเข้าใจเรื่องพลังงานทดแทนและก๊าซชีวภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งภาคการเกษตร ซึ่งหากมีการจัดการของเสีย เช่น มูลสัตว์ หรือวัสดุทางการเกษตรด้วยเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพแล้ว จะส่งผลให้ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม อันได้แก่ กลิ่น และน้ำเสีย เป็นต้นซึ่งตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 (Alternative Energy Development Plan : AEDP2015) ประเทศไทยตั้งเป้าหมายในการผลิตพลังงานทดแทนโดยมีสัดส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียและของเสียในปี พ.ศ. 2579 ที่ 600 เมกะวัตต์ ปัจจุบันประเทศไทยมีการส่งเสริมการใช้ก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตเป็นพลังงานทดแทนอย่างเป็นวงกว้าง โดยฟาร์มปศุสัตว์ถูกมุ่งเน้นให้เป็นเป้าหมายสำคัญในการส่งเสริมการใช้ก๊าซชีวภาพควบคู่ไปกับการส่งเสริมการใช้ก๊าซชีวภาพในภาคอุตสาหกรรมซึ่งนอกจากจะเป็นการลดค่ายังชีพแล้ว ยังเป็นการลดการปล่อยมลพิษรวมถึงก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมที่นับวันจะเป็นปัญหามากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลผลิตพลอยได้ต่าง ๆ เช่นปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น ปัจจุบันมีต้นแบบการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับการจัดการมูลสัตว์มากมาย เช่น ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบฝาครอบลอย (Floating drum digester) บ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบโถงบ่อหมักก๊าซชีวภาพประเภทโดมคงที่ (Fixed Dome digester) ถูหมักก๊าซชีวภาพแบบพลาสติกพีวีซีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบราง (Channel digester) เป็นต้นระบบหมักไร้อากาศเหล่านี้ได้รับความนิยมมาก โดยเฉพาะเกษตรกรจากฟาร์มปศุสัตว์ จนเกิดการติดตั้งระบบหมักไร้อากาศประเภทต่าง ๆ เพื่อใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งหลายพื้นที่ยังคงพบปัญหาการขาดความรู้ความเข้าใจในการดำเนินระบบ ทำให้ไม่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ตามที่ต้องการ หรือบางแห่งผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น จากการศึกษาพบว่าการเผยแพร่องค์ความรู้ด้านการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทยประสบกับปัญหามากมาย เนื่องจากการขาดความรู้ความเข้าใจทางเทคนิคในการเดินระบบ และอีกนัยหนึ่งคือยุทธศาสตร์การเผยแพร่องค์ความรู้ ซึ่งมีการพัฒนาไม่มากนัก ประกอบกับการ

ขาดความตระหนักถึงความสำคัญของการฝึกอบรม ทำให้เป็นอุปสรรคสำคัญในการเผยแพร่องค์ความรู้สู่การนำไปใช้จริงในพื้นที่ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบต่าง ๆ ยังคงได้รับความสนใจ และมีการใช้งานอย่างกว้างขวางในกลุ่มเกษตรกรที่ทำฟาร์มปศุสัตว์ ควบคู่ไปกับการพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ การปรับปรุงกระบวนการเหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจในกลไกของระบบหมักไร้อากาศ และการเดินระบบที่ถูกต้อง เพื่อให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

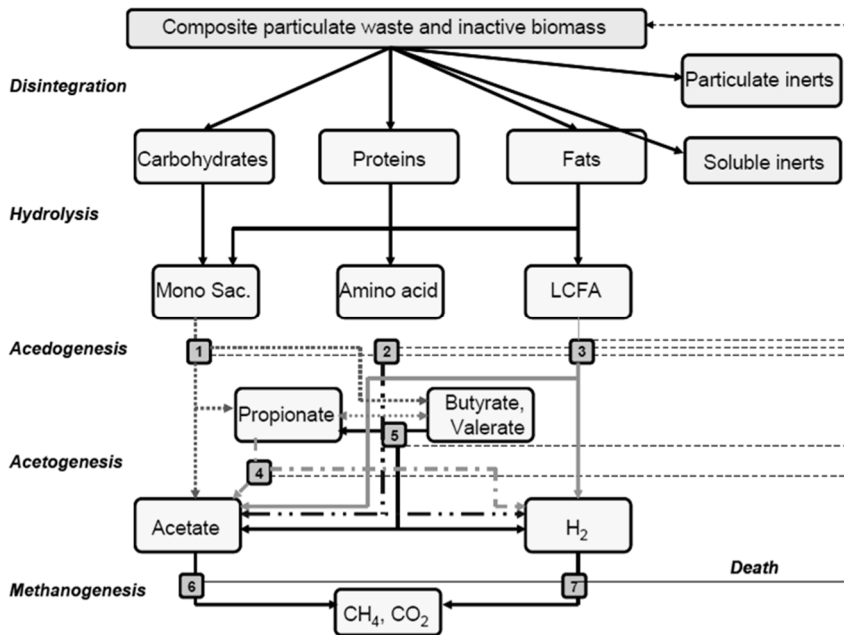
ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นจากแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการอากาศหรือออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) ทำปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น น้ำเสีย ฟางข้าว มูลสัตว์ องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 55 -70 ซึ่งเป็นก๊าซที่ติดไฟจึงนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ นอกจากนั้นยังประกอบด้วย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 36-39 และก๊าซอื่น ๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ประมาณร้อยละ 1-3 ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟ ดังนั้นคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทน โดยทั่วไปแล้วก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรที่ประกอบด้วยมีเทนร้อยละ 60 จะมีค่าความร้อนประมาณ 5,000 กิโลแคลอรี ซึ่งเทียบเท่ากับน้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร หรือ น้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร หรือ น้ำมันเตา 0.81 ลิตร หรือพลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ - ชั่วโมง หรือก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือ ไม้ฟืน 1.5 กิโลกรัม ก๊าซมีเทนมีคุณสมบัติเบากว่าอากาศประมาณครึ่งหนึ่ง (น้ำหนักโมเลกุล 16.04) ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ส่วนก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซผสมอากาศเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (พบในบางกรณี) ทำให้ผู้ใช้งานบางคนไม่ชอบนำไปใช้หุงต้มแต่ที่จริงแล้วกลิ่นของก๊าซนี้ไม่ได้ทำให้อาหารมีกลิ่นแต่อย่างใด ซึ่งกลิ่นนี้จะระเหยไปหมดเมื่อเผาไฟก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้จะต้องมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่า 50% ดังสรุปในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (Cacua et al., 2011)

Property	Value	Units
Energy content	6.0- 6.5	kW/m ³
Fuel equivalent	0.60-0.65	L oil / m ³ biogas
Explosion limits	6-12	% biogas in air
Ignition temperature	650 - 750	°C
Critical pressure	75-89	bar
Critical temperature	-82.5	°C
Normal density	1.2	kg/m ³
Stoichiometric air volume	5.71	m ³ air/ m ³ biogas
low calorific value	20.35	MJ/ m ³ biogas
high calorific value	22.64	MJ/ m ³ biogas
Minimum energy ignition	464.98	KJ
Flash point	650-750	°C

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางธรรมชาติในสภาวะไร้ออกซิเจน ที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในกลุ่มไม่ชอบออกซิเจน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่สร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) และกลุ่มที่ไม่สร้างมีเทน (Non-methanogenic bacteria) โดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพนั้น สามารถจำแนกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน แป้ง ไขมัน ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก เป็นต้น และขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งสามารถอธิบายด้วยกระบวนการย่อย 4 กระบวนการหลัก ได้แก่ 1) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) 2) กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) 3) กระบวนการผลิตกรดอะซิติก (Acetogenesis) และ 4) กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) โดยจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนนี้จะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเป็นสารอาหาร และให้ผลผลิตเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก โดยมีก๊าซอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ก๊าซไข่เน่า หรือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการทางชีวเคมีของจุลินทรีย์ในระบบหมักไร้อากาศ (Wett et al., 2007)

1) กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เกิดจาก Hydrolytic bacteria ซึ่งรวมถึง จุลินทรีย์ซึ่งทำให้เกิดการเน่าเสียทั่วไป (Common spoilage bacteria) ย่อยสลายของเสีย อินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้กลายเป็นสารอินทรีย์หน่วยย่อยเช่นสารในกลุ่ม คาร์โบไฮเดรตที่มีแป้งและน้ำตาลเป็นหลัก จะถูกย่อยสลายให้อยู่ในรูปของน้ำตาลโมเลกุล เดี่ยว สารเคมีในกลุ่มโปรตีน เช่น เนื้อสัตว์ ถั่วต่าง ๆ จะถูกย่อยสลายให้อยู่ในรูปของกรด อะมิโน และสารเคมีในกลุ่มไขมัน เช่น น้ำมัน และไขมันสัตว์ จะถูกย่อยสลายให้อยู่ในรูป ของกรดไขมันโซ่ยาว (Long chain fatty acid) เป็นต้น

2) กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) เป็นขั้นตอนที่จุลินทรีย์ในกลุ่ม Acidogenic bacteria ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์หน่วยย่อยที่ได้มาจากขั้นตอน Hydrolysis เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน และกรดไขมัน ให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งโดยมากแล้วเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น กรดฟอร์มิก (Formic acid) กรดเอทานอิก (Ethanoic acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) กรดบิวทริก (Butyric acid) และ กรดวาเลरिक (Valeric acid) เป็นต้น (อาจเรียกว่ากรดในกลุ่ม C1-C5) นอกจากนี้แล้วการ เกิดปฏิกิริยาในขั้นตอน Acidogenesis ยังทำให้เกิดคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนอีก ด้วย อย่างไรก็ตามพบว่าโดยมากแล้วสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายด้วยกระบวนการ Acidogenesis มักจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของกรดโพรพิโอนิก หรือเกลือโพพรพิอเนต กรด

บิวทริกหรือเกลือบิวทาเรต และกรดวาเลอริกหรือเกลือวาเลเรตเป็นส่วนใหญ่ (Batstone et al., 2002; Phothilangka et al., 2007)

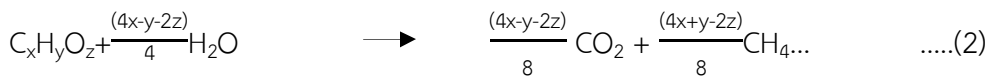
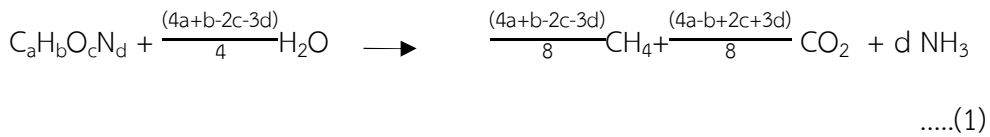
3) กระบวนการผลิตกรดอะซิติก (Acetogenesis) เป็นขั้นตอนที่จุลินทรีย์ในกลุ่ม Acetogenic bacteria จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ที่ได้จากขั้นตอน Acidogenesis ให้กลายเป็นกรดอะซิติก หรือเกลืออะซิเตตซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทนรวมทั้งมีการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนออกมามากขึ้น

4) กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของกระบวนการย่อยสลายแบบหมักไร้อากาศ โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Methanogenic bacteria จะเปลี่ยนกรดอะซิติก หรือเกลืออะซิเตตให้กลายเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งมักพบประมาณร้อยละ 55-70 ของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด ร้อยละของมีเทนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับสภาพ (Condition) ของการหมัก หรือการดำเนินระบบหมักไร้อากาศ หากปฏิกิริยาการสร้างมีเทนเกิดขึ้นได้ดี มักจะพบมีเทนร้อยละ 60 มีบางงานวิจัยที่มีการพบมีเทนมากกว่าร้อยละ 60 แต่ไม่เกินร้อยละ 75 (Beccari et al., 1993; Tanaka et al., 1997; Hoe et al., 2003) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ที่ใช้ในการหมัก การใช้กระบวนการเตรียมสารอินทรีย์ก่อนการย่อยสลายด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส (Pre-treatment) ด้วยการ Disintegration อาจมีส่วนทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทนสูงขึ้นด้วย ก๊าซที่เกิดขึ้นนอกเหนือจากมีเทนแล้วจะเป็นก๊าซที่เกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจนและกรดระเหยง่ายอื่น ๆ ได้แก่ กรดแลคติก (Lactic acid) และกรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) เป็นต้น

หากพิจารณาหลักการเกิดก๊าซชีวภาพตามภาพที่ 1 แล้ว จะพบว่าก่อนที่การย่อยสลายสารอินทรีย์จะเข้าสู่กระบวนการหมักแบบไร้อากาศที่ดำเนินไปด้วยกระบวนการไฮโดรไลซิส กระบวนการสร้างกรด กระบวนการผลิตกรดอะซิติก และกระบวนการสร้างมีเทนนั้น จะมีกลไกที่สำคัญอีกอันหนึ่ง คือ กระบวนการ Disintegration หรือกระบวนการที่ทำให้สารอินทรีย์แยกออกจากกัน ในกระบวนการนี้ ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนแรกของการย่อยสลาย โดยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้เหมาะต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ในกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ต่อไปแม้บางตำราจะมีการรวมเอากระบวนการ Disintegration เข้ารวมไว้กับกระบวนการไฮโดรไลซิส แต่ในปัจจุบันพบว่าขั้นตอนนี้มีความสำคัญมาก และถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการควบคุมปฏิบัติการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ปัจจุบันจึงมีการวิจัยที่มุ่งเน้นการพัฒนากระบวนการ Disintegration สู่กระบวนการ Pre treatment สารอินทรีย์ป้อนระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ ในหลายแนวทาง เช่น การใช้ความร้อน ความดัน กระบวนการสั่น การใช้ไมโครเวฟ การใช้กระบวนการทางกายภาพ เช่น บด อัด เป็นต้น (Ariunbaatar et al., 2014; Zhen et al., 2017) นอกจากนี้แล้ว พบว่าการศึกษาระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพโดยใช้แบบจำลองทาง

คณิตศาสตร์ของ IWA (International Water Association) นั้น มีการแยกส่วนการเกิด Disintergration ออกจากกระบวนการหลักทั้ง 4 กระบวนการ ซึ่งทำให้พบว่าสารอินทรีย์ที่ใช้สำหรับป้อนระบบนั้นมักเป็นองค์ประกอบของ Inert material ซึ่งเป็นสารที่ไม่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลาย สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มตามสถานะของสารคือ สารเฉื่อยที่อยู่ในรูปของอนุภาค (Particulate inert) และสารเฉื่อยที่อยู่ในรูปของสารละลาย (Soluble inert) (Parker, 2005)

เมื่อการย่อยสลายเสร็จสิ้นลง สิ่งสุดท้ายที่เกิดขึ้นนอกจากก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แล้ว อาจมีแอมโมเนียเกิดขึ้นด้วย แต่โดยมากแล้วมักจะเป็นสารตัวกลาง (Intermediate) ในระหว่างการเกิดปฏิกิริยาขั้นตอนต่าง ๆ ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนหากปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้วจะถือได้ว่าแอมโมเนียนั้นเกิดขึ้นน้อยมาก จึงไม่นำมาคิดนอกจากนี้หากทราบองค์ประกอบของสารตั้งต้นที่ชัดเจน จะสามารถประเมินปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักได้ซึ่งมักนิยมใช้วิธีการคำนวณโดยใช้สมการจากการเกิดปฏิกิริยาในกระบวนการหมัก ดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2)



ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่พบบ่อยในฟาร์มปศุสัตว์

ปัจจุบันมีการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพกันอย่างกว้างขวางทั้งในระดับครัวเรือน ฟาร์มปศุสัตว์ ตลอดจนระดับอุตสาหกรรม หากจัดจำแนกประเภทของระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นเกณฑ์แล้ว สามารถแบ่งระบบผลิตก๊าซชีวภาพออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำหรือระบบหมักไร้อากาศแบบช้า (Low rate anaerobic reactor) และ 2) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง หรือบ่อหมักไร้อากาศแบบเร็ว (High rate anaerobic reactor)

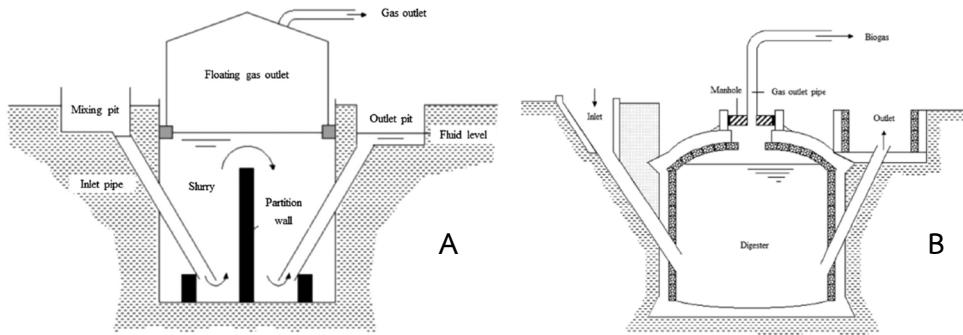
ตารางที่ 2 ความแตกต่างระหว่างระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงกับระบบดั้งเดิม

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการย่อยสลายต่ำ	ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการย่อยสลายสูง
<ul style="list-style-type: none"> - น้ำเสียที่อาจมีปริมาณของแข็งไม่ละลายน้ำปะปนอยู่ (Insoluble solid) ได้แก่ สารอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นหรือไม่เป็นอนุภาค หรือคอลลอยด์ - ต้องการระยะเวลาสำหรับกระบวนการ Hydrolysis และการละลายของของแข็งที่ปะปนมา - ต้องการ HRT อย่างน้อยที่สุด 10 – 20 วัน - ส่วนใหญ่การบำบัดน้ำเสียจะเป็นแบบแขวนลอย (Suspended growth) 	<ul style="list-style-type: none"> - เหมาะสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง - ขั้นตอน Hydrolysis ไม่ใช่ขั้นตอนกำหนดปฏิกิริยาเสมอไป - ดำเนินระบบด้วย HRT ต่ำ - โดยมากจะเป็นระบบแบบมีตัวกลาง (Attached growth)

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำ

เป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่ได้รับความนิยมในกลุ่มเกษตรกรผู้ทำฟาร์มปศุสัตว์ เนื่องจากระบบดังกล่าว เป็นระบบที่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ สามารถทำเองได้ง่าย อายุการใช้งานยาวนาน ที่นิยมมี 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบโดมคงที่ (Fixed dome digester) แบบรางขนาน (Plug flow digester) และแบบฝาครอบลอย (Floating Drum Digester) เป็นต้น

ถึงหมักแบบฝาครอบลอย (Floating Drum Digester) หรือแบบอินเดีย (Indian digester) มีลักษณะเป็นบ่อขนาดเล็กมีทั้งแบบบ่อ 2 ชั้นและแบบบ่อชั้นเดียว บ่อหมักมีถังโลหะครอบอยู่ด้านบน (ปัจจุบันนิยมเปลี่ยนเป็นถังพลาสติกแข็งเนื่องจากมีต้นทุนที่ต่ำกว่า) ถังโลหะหรือพลาสติกนี้จะเป็นตัวเก็บก๊าซและสามารถเพิ่มแรงดันก๊าซได้โดยการเพิ่มน้ำหนักบนถังบ่อชนิดนี้เป็นบ่อก๊าซที่ไม่สลับซับซ้อณ เกษตรกรที่พอมือทักษะด้านงานช่างก็สามารถก่อสร้างเองได้ การดูแลบำรุงรักษาง่าย อายุการใช้งานขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำถังเก็บก๊าซและการบำรุงรักษา



ภาพที่ 2 ถังหมักแบบฝาครอบลอย (A) และ ถังหมักแบบโดมคงที่ (B) (Surendra et al., 2014)

ถังหมักแบบรางขนาน (Plug flow digester) เป็นระบบที่จำเป็นต้องใช้พื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์มาก เพราะต้องใช้เวลาในการกักเก็บน้ำสูง มี 2 รูปแบบ คือ แบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Cover lagoon) และแบบพลาสติกคลุมราง (Channel digester) โดยแบบพลาสติกคลุมบ่อดิน (Cover lagoon) เป็นระบบที่มีการนำอุจจาระก้นมาสร้างครอบไปบนบ่อรวบรวมมูลสัตว์ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งอาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือดินชุดก็ได้ ในกรณีที่เป็นบ่อดินชุด อาจปูแผ่นยางที่ใช้ปุ๋ยสระเก็บน้ำมาปูทับ เพื่อมิให้เกิดการรั่วซึมของของเสียลงใต้ดินส่วน ระบบแบบพลาสติกคลุมราง (Channel digester) เป็นบ่อคอนกรีตที่มีรูปร่างยาวคล้ายรางหรือคลองส่งน้ำ บนบ่อหมักมีพลาสติกคลุมเพื่อใช้เก็บก๊าซชีวภาพ ตัวบ่อหมักจะถูกฝังอยู่ในดิน มีท่อเติมมูลและท่อนำมูลออกอยู่ทางหัวและท้ายบ่อ เนื่องจากใช้พลาสติกเป็นตัวเก็บก๊าซ ดังนั้น จึงมีแรงดันก๊าซค่อนข้างต่ำ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มแรงดันเพื่อนำก๊าซไปใช้งาน

ระบบหมักไร้อากาศแบบโดมคงที่ (Fixed dome digester) เป็นระบบที่มีการออกแบบให้โครงสร้างของระบบถูกฝังอยู่ใต้พื้นดินเพื่อประหยัดพื้นที่และป้องกันความเสียหาย อีกทั้งยังเป็นการรักษาระดับอุณหภูมิของบ่อหมักไร้อากาศ โดยเฉพาะช่วงฤดูร้อนทั้งในเวลากลางวันและเวลากลางคืน เนื่องจากความแปรผันของอุณหภูมิถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการทำงานของแบคทีเรีย โครงสร้างของระบบจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน (ภาพที่ 3) คือ 1) บ่อเติมมูลสัตว์ (Mixing Chamber) ทำหน้าที่ในรองรับการผสมมูลสัตว์กับน้ำก่อนเติมลงในบ่อหมัก 2) บ่อหมัก (Digester Chamber) เป็นบ่อหมักมูลสัตว์ในสภาวะไร้อากาศ ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น โดยก๊าซชีวภาพนี้จะถูกเก็บอยู่ในส่วนบนของถังหมักไร้อากาศ ซึ่งสามารถต่อท่อเพื่อลำเลียงก๊าซชีวภาพออกไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ หากไม่มีการนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ ก๊าซจะมีแรงดันมากพอที่จะดันมูลสัตว์ที่ผ่านการย่อยสลายแล้วให้ไหลขึ้นไปอยู่ในบ่อล้น 3) บ่อล้น (Expansion Chamber) มีหน้าที่รับมูลสัตว์ที่ล้นออกจากบ่อหมัก นอกจากนี้ยังมีบ่อรับกากจากบ่อล้น (Storage Tank and Sand

Bed Filter) เป็นที่รองรับตะกอนจากบ่อล้น ซึ่งตะกอนที่ล้นออกมานี้ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ย สำหรับปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรหรือนำไปจำหน่ายได้



ภาพที่ 3 ระบบหมักไร้อากาศแบบโดมคองที่ (A) บ่อเติมมูลสัตว์ (B) บ่อหมัก (C) บ่อล้น

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูง

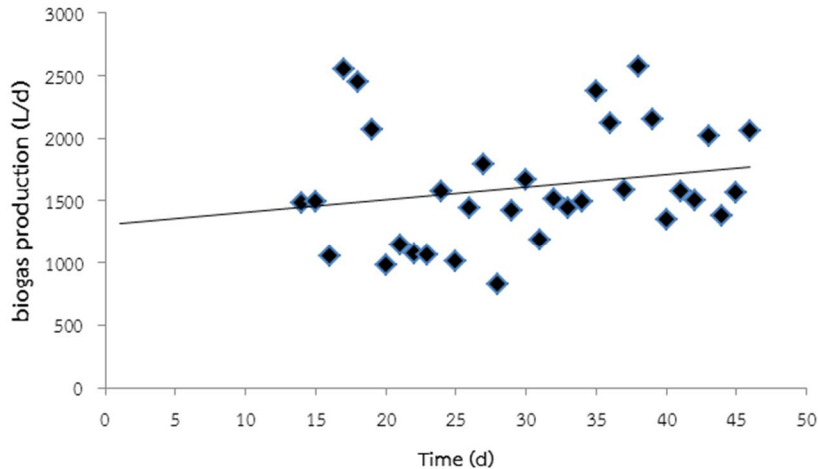
เป็นระบบที่มีอัตราการย่อยสลายเกิดขึ้นรวดเร็ว เพราะในระบบมีการควบคุมผสม การกักเก็บและรักษาตะกอนแบคทีเรียที่มีคุณภาพให้อยู่ในระบบเป็นเวลานาน โดย ออกแบบให้ตะกอนถูกยึดตรึงไว้กับตัวกลาง หรือการทำให้ตะกอนรวมตัวกันเป็นก้อน และยังมีการนำตะกอนที่หลุดไปกับน้ำล้นกลับมาในระบบ บ่อหมักมีขนาดเล็ก สามารถรับ ปริมาณของเสียได้มาก ระบบหมักแบบนี้เหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสีย อุตสาหกรรมที่มีปริมาณความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง และก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถ นำไปใช้ทดแทนเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบวนการผลิต ทำให้ลดค่าใช้จ่ายการบำบัดให้ต่ำลง ช่วย ลดการใช้เชื้อเพลิง บ่อหมักแบบไร้ออกซิเจนแบบเร็วสามารถจำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม ตาม การเจริญของจุลินทรีย์ ได้แก่ แบบมีตัวกลาง (Attached Growth) และ แบบไม่มีตัวกลาง (Suspended Growth) แบบมีตัวกลาง เช่น Anaerobic Filter (AF) หรือ ระบบถังกรอง ไร้อากาศระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบนี้จะเป็นระบบหมักไร้อากาศแบบบรรจุตัวกลาง ซึ่งทำ จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น ในลักษณะของบ่อหมักเร็วแบบนี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนบนตัวกลางที่

ถูกต้องอยู่ ส่วนระบบหมักแบบไม่มีตัวกลาง เช่น ระบบหมักไร้อากาศแบบ Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ระบบประเภทนี้ น้ำเสียจะถูกสูบเข้ากันถังที่แบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นล่าง (Sludge bed) เป็นตะกอนที่จับตัวกันเป็นเม็ด (Granular bacteria) ขนาด 2–5 มิลลิเมตร ซึ่งส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่มีเส้นใยสีขาวเกาะกันมีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นบนเรียกว่า Sludge blanket ทางด้านบนของบ่อหมัก UASB จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า Gas Solid Separator ทำหน้าที่แยกก๊าซและป้องกันไม่ให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำเสียส่วนอีกระบบหนึ่งที่พบมากในฟาร์มปศุสัตว์ ได้แก่ High suspension solid Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket (H-UASB) ซึ่งเป็นระบบที่พัฒนาจากระบบ UASB เพื่อแก้ไขปัญหาการอุดตันของระบบหัวจ่ายน้ำเนื่องจากตะกอนของมูลสัตว์ มี buffer tank ทำหน้าที่แยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียและมูลสัตว์ให้มีปริมาณน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีอัตราการย่อยสลายอินทรีย์สูงกับระบบดั้งเดิม สามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 2

การประยุกต์ใช้ระบบหมักไร้อากาศแบบโดมคองก์ในฟาร์มปศุสัตว์

แต่เดิมนั้นระบบก๊าซชีวภาพแบบโดมคองก์ เป็นระบบหมักไร้อากาศที่มีความเหมาะสมกับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก มีการส่งเสริมให้ใช้ในฟาร์มสุกรที่มีการเลี้ยงสุกรไม่เกิน 500 ตัว แต่ปัจจุบันสามารถประยุกต์ใช้ได้กับฟาร์มโคนม-โคเนื้อ ด้วย ตำบลวอแก้ว อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง เป็นอีกหนึ่งตำบลที่ได้รับการสนับสนุนให้มีการใช้ก๊าซชีวภาพในฟาร์มปศุสัตว์และครัวเรือน (ดังแสดงในภาพที่ 4) หากแต่การขาดความรู้ความเข้าใจในการเดินระบบทำให้เกษตรกรไม่สามารถใช้ก๊าซชีวภาพได้ บ่อหมักก๊าซชีวภาพจึงถูกทิ้งร้างและทรุดโทรมไปตามเวลา การฟื้นฟูระบบผลิตก๊าซชีวภาพโดยเน้นการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพควบคู่กับการควบคุมระบบให้สามารถใช้งานได้ตามสมรรถนะจริงพบว่า เกษตรกรในพื้นที่สามารถพัฒนาตนเองมาเป็นผู้ผลิตก๊าซชีวภาพได้ จากการดำเนินงานวิจัยแบบมีส่วนร่วมโดยเดินระบบหมักไร้อากาศแบบโดมคองก์ขนาด 8 ลูกบาศก์เมตรร่วมกับเกษตรกร การดำเนินระบบในระยะแรกพบว่ามีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นในอัตราสูงสุดที่ 1,484 ลิตรต่อวัน ภายใน 2 สัปดาห์แรกของการทดลอง จากนั้น ระบบจึงเริ่มเข้าสู่สมดุลและมีเสถียรภาพตั้งแต่วันที่ 10 ของการทดลอง โดยอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพอยู่ระหว่าง 827.4 – 2,568.6 ลิตรต่อวัน เฉลี่ยแล้วคิดเป็น 1,607 ลิตรต่อวัน (S.D.=467) ในขณะที่ระบบสามารถลดค่าความสกปรกในรูปของซีโอดีอินทรีย์ไนโตรเจนได้คิดเป็นร้อยละ 80 และ 59 ตามลำดับ ขณะที่ปริมาณของแข็งทั้งหมดในระบบลดลงไปคิดเป็นร้อยละ 73 ทั้งนี้ตลอดการดำเนินระบบมีการควบคุมค่าสภาพต่างอยู่ในเกณฑ์ของการดำเนินระบบหมักแบบไร้อากาศ โดยพบว่าค่าสภาพต่างของระบบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 1,036 มิลลิกรัม

CaCO₃ ต่อลิตร ค่าพีเอช และอุณหภูมิ ของระบบมีค่าประมาณ 7.6 และ 30.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



ภาพที่ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบ

จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีแนวโน้มที่จะมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงขึ้นด้วย อาจเนื่องมาจากระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลและมีความเป็นบัพเฟอร์ (สภาพต่าง) มากขึ้น ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเราสามารถปรับปรุงระบบได้อย่างต่อเนื่อง เช่น การปรับลดค่า HRT เพื่อให้ระบบสามารถที่จะผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้น เป็นต้น

ระบบหมักแบบโดมคองที่เป็นระบบที่ง่ายต่อการใช้งาน การเดินระบบไม่มีความซับซ้อน แต่การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์จะมีข้อจำกัด ด้วยว่าระบบหมักแบบโดมคองที่นี้จะไม่มียกเก็บก๊าซชีวภาพ จึงทำให้ไม่สามารถเก็บสะสมก๊าซชีวภาพไว้ใช้งานได้ในปริมาณมาก ๆ อย่างไรก็ตามระบบสามารถพัฒนาให้ผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้นโดยการควบคุม HRT ของระบบให้น้อยลงและปรับกระบวนการหมักให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทนตลอดจนให้ความรู้และพัฒนาทักษะการเดินระบบให้กับเกษตรกรผู้ใช้งานจริงให้มีความเข้าใจและสามารถควบคุมและดูแลระบบได้ด้วยตนเอง ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสามารถนำก๊าซที่เกิดขึ้นนี้ไปกักเก็บไว้ในภาชนะที่เหมาะสม เพื่อรวบรวมสำหรับการใช้งานต่อไป



A

B

ภาพที่ 5 การฟื้นฟูระบบผลิตก๊าซชีวภาพในตำบลวอแก้ว อำเภอห้างฉัตร จังหวัดลำปาง (A) ระบบถูกทิ้งร้างเนื่องจากผู้ใช้ขาดความเข้าใจในการเดินระบบ (B) ก๊าซชีวภาพที่เกิดเพิ่มมากขึ้นจากการฟื้นฟูระบบ ซึ่งจำเป็นต้องทำถุงเก็บก๊าซเพื่อการนำไปใช้ประโยชน์

สรุป

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็กส่วนใหญ่จะเป็นระบบหมักไร้อากาศแบบดั้งเดิม คือมีการเดินระบบด้วยอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่ำ เนื่องจากการควบคุมระบบไม่มีความซับซ้อน และระบบสามารถให้ก๊าซชีวภาพเพียงพอสำหรับการใช้งานภายในฟาร์มและในครัวเรือน การปรับปรุงระบบให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากขึ้นสามารถทำได้โดยการปรับลดค่า HRT ในการเดินระบบ ซึ่งอาจจำเป็นต้องเพิ่มพื้นที่สำหรับจัดเก็บก๊าซชีวภาพการปรับเปลี่ยนการเดินระบบเป็นระบบหมักไร้อากาศแบบที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสามารถทำได้ แต่ต้องมีการควบคุมปริมาณของแข็งของสารป้อนระบบให้มีความเหมาะสม

เอกสารอ้างอิง

- ศูนย์พยากรณ์และสารสนเทศพลังงาน สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. 2560. สถานการณ์พลังงานปี 2560 และแนวโน้มปี 2561. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. กรุงเทพฯ.
- Ariunbaatar, J., Panico, A., Esposito, G., Pirozzi, F. and Lens, N. L. P. 2014. Pretreatment methods to enhance anaerobic digestion of organic solidwaste. *Applied Energy* 123 : 143–156.
- Batstone, D. J., Keller, J., Angelidaki, I., Kalyuzhnyi, S. V., Pavlostathis, S. G., Rozzi, A., Sanders, W. T. M., Siegrist, H. and Vavilin V. A. 2002. The IWA Anaerobic Digestion Model No 1 (ADM1) *Water Science and Technology* 45(10) : 65-73.
- Beccari, M., Longo, G., Majone, M., Rolle, E. and Scarinci, A. 1993. Modeling of pretreatment and acidogenic fermentation of the organic fraction of municipal solid waste. *Water Science and Technology* 27(2) : 193–200.
- Cacua, K., Amell, A. and Olmos, L. 2011. A comparative study of the combustion properties of normal biogas-air mixture and oxygenenriched biogas-air. *Ingeniería e Investigación* 31(1) : 233-241.
- Heo, H. N., Park, C. S., Lee, S. S. J. and Kang, H. 2003. Solubilization of waste activated sludge by alkaline pretreatment and biochemical methane potential (BMP) tests for anaerobic co-digestion of municipal organic waste. *Water Science and Technology* 48(8) : 211-219.
- Parker, J. W. 2005. Application of the ADM1 model to advanced anaerobic digestion. *Bioresource Technology* 96(16) : 1832-1842.
- Phothilangka, P., Schoen, A. M. and Wett, B. 2007. Benefits and drawbacks of thermal pre-hydrolysis for operational performance of wastewater treatment plants. *Water Science and Technology* 58(8) : 1547-1553.
- Surendra, C. K., Takara, D., Andrew, G., Hashimoto, G. A. and Khanal K. S. 2014. Biogas as a sustainable energy source for developing countries : Opportunities and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 31 : 846–859
- Tanaka, S., Kobayashi, T., Kamiyama, K. and Bildan, S. N. L. M. 1997. Effects of thermo-chemical pretreatment on the anaerobic digestion of waste activated sludge. *Water Science and Technology* 35(8) : 209-215.

Wett, B., Schön, M., Phothilangka, P., Wackerle, F. and Insam, H. 2007.

Model-based design of an agricultural biogas plant – application of Anaerobic Digestion Model No.1 for an improved four chamber scheme. *Water Science and Technology* 55(10) : 21 - 28.

Zhen, G., Lu, X., Kato H., Zhao, Y. and Li, Y. 2017. Overview of pretreatment strategies for enhancing sewage sludge disintegration and subsequent anaerobic digestion : Current advances, full scale application and future perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69 : 559–577.