การผลิตก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย

นรารัชต์พร นวลสวรรค์[1*] และ วนัสพรรัศม์ สวัสดี[2]

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียในปัจจุบันถือได้ว่ามีความแพร่หลาย เนื่องจากสามารถได้ประโยชน์ถึงสองทาง คือ การบำบัดน้ำเสีย และการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่จำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้ในการขับเคลื่อนการพัฒนาประเทศได้เป็นอย่างดี เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียที่นิยมในปัจจุบัน คือ 1) บ่อหมักโมดิฟายด์โคเวอร์ลากูน (Modified Covered Lagoon 2) บ่อหมักแบบซีเอสทีอาร์ (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR) 3) ระบบตะกอนเร่งแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Activated Sludge, AAS) 4) ระบบแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic Fixed Film) 5) ระบบ Fluidized Bed 6) ระบบ Anaerobic Hybrid Reactor 7) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) 8) ระบบอีจีเอสบี (Extended Granular Sludge Bed, EGSB) 9) ระบบไอซี (Internal Circulation, IC) เนื่องจากทุกระบบถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูง ควบคุมระบบได้ง่าย มีตะกอนออกจากระบบน้อย อีกทั้งยังสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียได้เป็นอย่างดี แต่ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ ทำให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียพร้อมกัน นอกจากนี้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย ยังถือได้ว่าเป็นกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM; Clean Development Mechanism) เพื่อให้เกิดการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน และนำไปสู่การขายคาร์บอนเครดิตหรือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้ต่อไป

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพจากเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสีย, คาร์บอนเครดิต, กลไกการพัฒนาที่สะอาด

---

[1] ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม, วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

[2] สาขาวิชาสิ่งแวดล้อมศึกษา, วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

[*] ผู้ติดต่อ, อีเมล์: nararatchporn.n@cit.kmutnb.ac.th รับเมื่อ 20 ตุลาคม 2560 ตอบรับเมื่อ 14 ธันวาคม 2560

Biogas Production from Wastewater Treatment Technology

Nararatchporn Nuansawan[1*] and Vanatpornratt Sawatdee[2]

Abstract

Biogas Production from Wastewater Treatment Technologies are prevalence because there are advantages in two ways 1) wastewater treatment and 2) biogas production. Biogas is clean energy that important for national development. The popular for biogas production technologies are 1) Modified Covered Lagoon 2) Completely Stirred Tank Reactor (CSTR) 3) Anaerobic Activated Sludge (AAS) 4) Anaerobic Fixed Film (AFF) 5) Fluidized Bed 6) Anaerobic Hybrid Reactor 7) Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) 8) Extended Granular Sludge Bed (EGSB) and 9) Internal Circulation (IC). There are effective technologies due to easy to control, less sludge from a system, and can be used for high organic loading rate (OLR). Moreover, these technologies are clean development mechanism (CDM), carbon credit, and less greenhouse gas for sustainable energy development.

Keywords : Biogas Production from Wastewater Treatment Technology, Carbon credit, Clean Development Mechanism

[1] Department of Civil and Environmental Technology, College of Industrial Technology, King Mongkut University of Technology North Bangkok Bangkok, Thailand.

[2] Department of Environmental Studies, College of Innovative Management, Valaya Alongkorn Rajabhat University under The Royal Patronage, Pathumthani, Thailand.

[*] Corresponding author, E-mail: Nararatchporn.n@cit.kmutnb.ac.th Received 20 October 2017, Accepted 14 December 2017

1. บทนำ

ปัจจุบันประชากรมีความต้องการในการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น เพื่อใช้ในกิจกรรมการพัฒนาและสร้างความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจของประเทศ การพัฒนาพลังงานทดแทนมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในหลายประเทศ [1] ทั้งนี้การผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากสิ่งปฏิกูล น้ำเสียต่างๆ มีความพยายามที่จะนำเทคโนโลยีการผลิตพลังงานเชื้อเพลิง เพื่อเสริมสร้างความมั่นคงทางพลังงาน โดยพิจารณาความเหมาะสมของเสียอินทรีย์จากการเกษตรและอุตสาหกรรม รวมทั้งของเสียอินทรีย์ในครัวเรือน [2] การส่งเสริมการพัฒนาพลังงานทดแทนเป็นทางเลือกในการลดต้นทุนในทุกภาคส่วน พลังงานชีวภาพ (Biogas energy) คือพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ผลิตได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยแบคทีเรียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic digestion) ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ (Biogas) [3] ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ได้แก่ เชื้อเพลิงใช้สำหรับการผลิตไฟฟ้า ความร้อนและเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตก๊าซหุงต้มและก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ โดยกระบวนการผลิตพลังงานชีวภาพจะต้องมีสารอินทรีย์ตั้งต้นที่ทำการย่อยให้มีขนาดเล็กเพื่อง่ายต่อการย่อยสลาย จากนั้นจึงนำวัตถุดิบใส่ถังหมัก ก๊าซชีวภาพจะเกิดในกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนในถังหมักโดยเฉพาะก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 30-50 และก๊าซอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และไอน้ำ จะแยกส่วนลอยขึ้นมาอยู่ในถังเก็บก๊าซ สามารถจะลำเลียงออกไปเพื่อแปรรูปได้ทันที หากนำไปใช้ผลิตไฟฟ้า จะต้องอาศัยเครื่องกลในการที่เดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในกรณีนำไปใช้ผลิตก๊าซหุงต้มและก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ จะต้องผ่านกระบวนการจัดการเพื่อให้ก๊าซมีคุณภาพสูงขึ้นเสียก่อน [4]

ในส่วนของน้ำเสียที่จะต้องมีการบำบัดให้เป็นไปตามมาตรฐานการควบคุมการปล่อยน้ำเสียสู่พื้นที่สาธารณะตามประกาศกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม [5] น้ำเสียโดยทั่วไปมาจากการเกษตร ฟาร์มปศุสัตว์ น้ำเสียชุมชน กระบวนการชะล้าง กระบวนการผลิตต่างๆ ในอุตสาหกรรม ปัจจุบันเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียมีหลายรูปแบบ ในบทความนี้จะมุ่งเน้นกระบวนการในการผลิตก๊าซชีวภาพ และรูปแบบเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) แบบต่างๆ เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียที่ส่งผลให้เกิดก๊าซชีวภาพ [6] เป็นประโยชน์อย่างมากในการทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิล ลดปัญหาการขาดแคลนเชื้อเพลิงในพื้นที่ชนบท และช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องน้ำเสีย กลิ่น และปัญหาโลกร้อนจากภาวะเรือนกระจก [7-8]

2. ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนภายในถังหมัก ประกอบด้วยสี่ขั้นตอนดังนี้ [3, 9]

1) ไฮโดรลิซิส (Hydrolysis) เป็นการย่อยสารอินทรีย์จากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ปล่อยเอ็นไซม์ที่อยู่ภายนอกเซลล์ (Extra cellular enzyme) ช่วยสลายโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนของวัตถุชีวภาพให้เป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (Monomer) เช่น การย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส

การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

2) อะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) คือ การย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเชิงเดี่ยวถูกดูดซึมผ่านเยื่อหุ้มเซลล์และใช้เป็นแหล่งคาร์บอนของจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรดให้เป็นกรดระเหยง่าย (Volatile fatty acid) เช่น กรดแอซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริค เป็นต้น ผลผลิตของปฏิกิริยาได้แก่ แอลกอฮอล์ คีโตน คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

3) อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) คือ การเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายให้เป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิ-เทต โดยการทำงานของอะซิโตจินิกแบคทีเรีย (Acetogenic bacteria) เป็นปฏิกิริยาสำคัญในการไม่ให้เกิดการสะสมของกรดไขมันระเหย และก๊าซไฮโดรเจน ในปริมาณมากพอที่จะยับยั้งปฏิกิริยาขั้นต่อไป

4) การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis) เป็นปฏิกิริยาสร้างก๊าซมีเทน (CH_4) จากกลุ่มแบคทีเรียเมทาโนเจน (Methanogen) จุลินทรีย์จะย่อยสลายกรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนจนได้ก๊าซชีวภาพถึงสองในสามของการใช้อะซิเตท โดยจุลินทรีย์มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ต่ำกว่าจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด

3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลในการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากที่กล่าวมาข้างต้นถึงระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic treatment system) ในแต่ละประเภทนั้น พบว่าผลพลอยได้ที่เกิดจากระบบคือก๊าซชีวภาพ (Biogas) [10] ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นพลังงานทดแทนได้ คือ สามารถนำก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มหรือนำมาผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อจ่ายไฟภายในกระบวนการผลิตได้ ถือเป็นการลดการใช้พลังงานสิ้นเปลืองได้เป็นอย่างดี ในปัจจุบันประเทศไทยมีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมการแปรรูป จำนวน 7 ประเภท ดังนี้ 1) อุตสาหกรรมแป้ง 2) อุตสาหกรรมสุราและเบียร์ 3) อุตสาหกรรมอาหาร 4) อุตสาหกรรมปาล์ม 5) อุตสาหกรรมกระดาษ 6) อุตสาหกรรมยาง 7) อุตสาหกรรมเอทานอล ซึ่งจากอุตสาหกรรมเหล่านี้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึง 943.7 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี และในส่วนของฟาร์มปศุสัตว์ สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ถึง 1,260.4 ล้านลูกบาศก์เมตร/ปี เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียนั้น โรงงานกลุ่มสุรา ถือได้ว่าเป็นอุตสาหกรรมกลุ่มแรกที่นำเทคโนโลยีเข้ามาใช้อย่างจริงจัง เนื่องจาก น้ำเสียจากโรงงานสุรามีความเข้มข้น สารอินทรีย์สูง ซึ่งวัดในรูป ซีโอดี (COD) มีค่า 100,000 – 120,000 มก./ล เมื่อมีการนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียมาใช้ในโรงงานสุรา พบว่าได้ประโยชน์ถึง 2 ประการ คือ ทำให้ค่าใช้จ่ายในระบบบำบัดน้ำเสียลดลง และยังช่วยลดการใช้พลังงานอีกด้วย เนื่องจากได้ก๊าซชีวภาพจากระบบ นำมาใช้แทนเชื้อเพลิงภายในโรงงาน [4]

การผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพนั้น มีสภาวะแวดล้อมหลายปัจจัย [11-12] ดังนี้

1) อุณหภูมิ (Temperature) อุณหภูมิมีผลต่อแบคทีเรียภายในระบบเป็นอย่างมาก โดยแบคทีเรียในระบบจะถูกแบ่งตามอุณหภูมิ เป็น 3 กลุ่ม ตามการเจริญเติบโตในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมดังนี้

Phychrophilic bacteria ช่วงอุณหภูมิ 5-15 ^{o}C

Mesophilic bacteria ช่วงอุณหภูมิ 35-37 ^{o}C

Thermophilic bacteria ช่วงอุณหภูมิ 50-55 ^{o}C

2) ความเป็นกรด-ด่าง (pH) แบคทีเรียในระบบบำบัดไร้อากาศจะมีแบคทีเรียที่สำคัญ 2 กลุ่ม ได้แก่แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด (Acid forming bacteria) และกลุ่มสร้างมีเทน (Methane producing bacteria) ค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมสำหรับกลุ่มแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนมีค่า ระหว่าง 6.5-7.8 หากค่าความเป็นกรด-ด่าง ลดลงถึง 6.2 จะทำให้ประสิทธิภาพในระบบลดลงอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การผลิตก๊าซชีวภาพเป็นไปอย่างไม่มีประสิทธิภาพ

3) สภาพด่าง (Alkalinity) สภาพด่างจะมีความสำคัญมากต่อระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งสภาพด่างจะควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง ภายในระบบไม่ให้ลดต่ำมากเกินไป ซึ่งค่าความเป็นด่างที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 1,000-3,000 มก./ล.

4) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) กรดอินทรีย์ระเหยง่ายภายในระบบเกิดจากกระบวนการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกลุ่มสร้างกรด เมื่อมีปริมาณสะสมจำนวนมาก จะทำให้ระบบมีภาวะความเป็นกรดสูง ระบบอาจล่มได้ ดังนั้นควรมีการตรวจหาความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ในระบบ โดยกรดอินทรีย์ระเหยที่มีค่าเหมาะสมควรมีค่าไม่เกิน 2,000 มก./ล.

5) ธาตุอาหาร (Nutrient) อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ คือ ซีโอดี: ไนโตรเจน: ฟอสฟอรัส 100: 2.2: 0.4 ถ้าธาตุอาหารในระบบไม่เพียงพอ จะส่งผลให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียในระบบไม่สมบูรณ์

6) สารพิษ (Toxic substance) น้ำเสียที่มาจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ จะมีสารประกอบหลายชนิด ทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษ ซึ่งในส่วนสารประกอบที่เป็นพิษจะส่งผลกระทบต่อการเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบ เช่น สารประกอบโลหะโซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) เป็นต้น

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ จากโรงงานอุตสาหกรรมจากระบบบำบัดน้ำเสีย [4, 19]

Industry	Technology	Efficiency (NM^3)	Electricity (MW)	Thermal Eqivalent (ktoe)	Compressed Methane (ton)
Paper Industry	UASB* AFF** MCL***	1,308,358	0.15	0.65	594.71
Palm Oil Industry	UASB AFF MCL	43,090,938	5.17	21.55	19,586.79
Starch Industry	UASB AFF MCL	58,181,671	6.98	29.09	26,446.21
Latex	UASB AFF MCL	21,911,435	2.62	10.96	9,959.74
Food Industry (Liquor/Beer/Oil)	UASB AFF MCL	1,058,231,591	126.98	529.12	481,014.36
Ethanol	UASB AFF MCL	33,318,066	3.99	16.66	15,144.58
Other	UASB AFF MCL	95,288,480	11.43	47.64	43,312.95
Total	1,459	1,311,330,539	157.32	655.67	596,059.34

* Upflow Anaerobic Sludge Blanket

** Anaerobic Fixed Film

*** Modified Covered Lagoon

ระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมติดตั้งในโรงงานอุตสาหกรรมคือระบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) ระบบ AFF (Anaerobic Fixed Film) และ ระบบ MCL (Modified Covered Lagoon) [4] เนื่องจากทุกระบบที่ถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูง ควบคุมระบบได้ง่าย มีตะกอนออกจากระบบน้อย อีกทั้งยังสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียได้เป็นอย่างดีซึ่งค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ ทำให้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสียพร้อมกัน โรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทยหลายประเภท ได้นำเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเข้ามาใช้ และยังสามารถนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบไปใช้เป็นพลังงานทดแทนภายในโรงงาน ในปัจจุบันสำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน มีการดำเนินโครงการส่งเสริมเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม ตารางที่ 1 แสดงถึงศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานอุตสาหกรรมแต่ละประเภท พบว่า โรงงานอาหารทุกชนิด (สุรา/เบียร์/น้ำมันพืช) เป็นประเภทโรงงานที่มีความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดถึง 1,058,231,591 NM^3 เนื่องจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมประเภทสุรา มีค่าความสกปรกในรูป COD (Chemical Oxygen Demand) สูงมาก และยังมีของเสียที่ปะปนมาในรูปกากส่าหรือกากน้ำตาล ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีปริมาณมากเมื่อเทียบกับโรงงานอุตสาหกรรมประเภทอื่น ก๊าซชีวภาพที่ได้สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 126.98 MW เทียบเท่าพลังงานความร้อน 529.12 ktoe และสามารถเทียบเท่าก๊าซชีวภาพอัดถัง 481,014.36 ton แสดงให้เห็นว่าระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ที่โรงงานอุตสาหกรรมนำมาบำบัดน้ำเสีย โดยคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ในกรณีที่มีปริมาณมีเทน 60% นั้น มีคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ ดังนี้ [4]

- Heating Value	21 เมกกะจูล/ลบ.ม.
- Burning Velocity	25 ซม./วินาที
- Burning Temperature in Air	650 ^oC
- Ignition Temperature	600 ^oC
- Heat Capacity (C)	1.6 กิโลจูล/ลบ.ม.-^oC
- Pressure (P)	1.15 กิโลกรัม/ลบ.ม.

การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร (มีเทน 60%) สามารถทดแทน พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้ ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร น้ำมันเตา 0.55 ลิตร และไฟฟ้า 1.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ซึ่งโดยทั่วไปก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ [4]

1) ทดแทนเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อน คือการใช้ทดแทนก๊าซหุงต้มในครัวเรือน แทนเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานผลิตอาหารสัตว์ อีกทั้งยังสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้งอีกด้วย

2) ทดแทนเชื้อเพลิงสำหรับผลิตพลังงานกล/ไฟฟ้า คือการนำไปใช้กับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ต่อร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ใช้ในการผลิตพลังงานร่วม (Cogeneration system) คือ การผลิตพลังงานกล

หรือไฟฟ้า และความร้อนร่วม ทำให้ระบบที่มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตพลังงานจากไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว

4. อิทธิพลของอากาศต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในระบบบำบัดน้ำเสีย

การบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ มักจะใช้แบคทีเรียช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งกระบวนการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางชีวภาพ (Biological Wastewater Treatment) แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ เทคโนโลยีที่ใช้อากาศและเทคโนโลยีที่ไม่ใช้อากาศอธิบายได้ดังนี้ [13-14]

1) เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ (Aerobic digestion) สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ขึ้นปริมาณมากจากสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ข้อดีของระบบคือระบบจะมีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดน้ำเสีย ใช้ระยะเวลาสั้นในการบำบัด ข้อเสียคือต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเนื่องจากมีการเติมอากาศให้กับระบบและยังต้องกำจัดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนเกิน

2) เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (Anaerobic digestion) สารอินทรีย์ในน้ำเสียร้อยละ 80-90 ถูกย่อยสลายเป็นก๊าซชีวภาพ (Biogas) จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายมีการเจริญเติบโตช้า ใช้เวลานานในการเริ่มต้นระบบ (Start up) ใช้ระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time : HRT) นาน ขนาดระบบบำบัดใหญ่ ไม่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อม และมีกลิ่นเหม็นจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นข้อจำกัดการใช้งาน สำหรับข้อดีของระบบคือ มีตะกอนส่วนเกินน้อยมาก มีความต้องการสารอาหารโดยเฉพาะ N, P น้อย สามารถเก็บเชื้อจุลินทรีย์ไว้ได้นานได้ ก๊าซชีวภาพมาเป็นพลังงาน ลดค่าใช้จ่ายในการเติมอากาศ รวมทั้งสามารถย่อยสลายสารแปลกปลอมในชีววิทยา (Xenobiotic compounds) และสามารถรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงๆได้ [15]

เป้าหมายในหัวข้อนี้คือผลิตก๊าซชีวภาพเป็นหลักอาจเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า ระบบก๊าซชีวภาพ (Biogas system) ประกอบไปด้วย ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ระบบนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน โดยคำนวณก๊าซมีเทนจากกระบวนการไร้ออกซิเจนได้จากสมการ [4]

$$CH_4 + 2O_2 \longrightarrow CO_2 + 2H_2O \qquad (1)$$

จากสมการจะเห็นว่าทุก 1 โมล ของมีเทน (22.4 L, 0°C) จะหายไปโดยออกซิเจน 2 โมล (64 กรัม) ดังนั้น 1 gCOD ที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.35 L CH_4 (ที่ 0°C, 1 atm)

ปัจจุบันสารอินทรีย์ที่นิยมนำมาผ่านกระบวนการนี้แล้วให้ก๊าซชีวภาพ คือ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานเบียร์ โรงงานผลไม้กระป๋อง เป็นต้น รวมทั้งน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ จากกระบวนการดังกล่าวมีค่า COD ลดลงมากกว่า 80% และได้ก๊าซชีวภาพ 0.3-0.5 ลบ.ม./กิโลกรัมCOD ที่ถูกกำจัด ทั้งนี้ขึ้นกับคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภท

5. เทคโนโลยีระบบบำบัดน้ำเสียต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

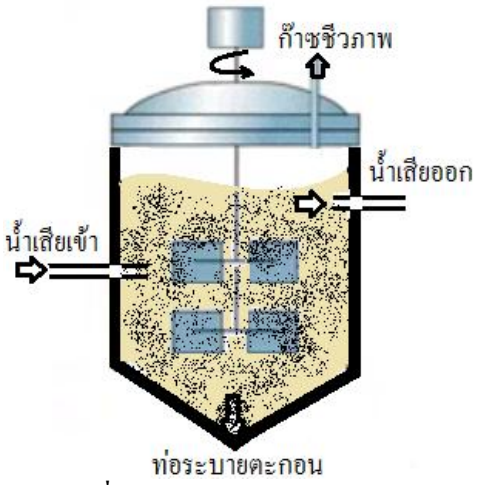
ในอดีตการผลิตก๊าซชีวภาพจะเป็นระบบบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบหมักช้าและแบบหมักเร็ว ได้แก่ บ่อหมักช้าแบบถังลอย บ่อหมักช้าแบบโดมคงที่ บ่อหมักช้าแบบ

ราง บ่อแบบปกคลุม (Covered lagoon) โดยกลุ่มบ่อหมักแบบเร็วเหมาะสมในการประยุกต์กับน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีความเข้มข้นสารอินทรีย์สูง จึงจำเป็นต้องบำบัดต่อเนื่องเพื่อให้เป็นตามมาตรฐานน้ำทิ้ง

อุตสาหกรรมสุราเป็นกลุ่มแรกที่มีการนำเทคโนโลยีผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้เนื่องจากให้ค่าบีโอดี (BOD) เท่ากับ 30,000-50,000 มก./ล. และ ซีโอดี (COD) เท่ากับ 100,000-120,000 มก./ล. โดยใช้ระบบหมักแบบUASB แบบสองขั้น และมีถังหมักมีเทนแบบ UASB โดยก๊าซชีวภาพจะถูกนำไปใช้ผลิตไอน้ำ ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและช่วยลดการใช้พลังงาน ทั้งนี้นอกจากจะพิจารณาความเหมาะสมของค่า BOD รวมถึงพิจารณาว่าก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้เหมาะสมหรือไม่ เช่น ผลิตไฟฟ้า ไอน้ำ หรือเครื่องกลต่างๆ โดยจะต้องพิจารณาระบบบำบัดน้ำเสียอื่นๆโดยระบบบำบัดน้ำเสียที่นิยมมีดังนี้ [4, 7]

1) บ่อหมักโมดิฟายด์โคเวอร์ลากูน (Modified Covered Lagoon) เป็นบ่อหมักย่อยแบบต่อเนื่องตามแนวยาว โดยมีพลาสติก HDPE (High Density Polyethylene) หรือแผ่นพีวีซี (PVC) ปกคลุม โดยอาจคลุมทั้งบ่อหรือคลุมเฉพาะส่วนสร้างก๊าซมีเทนก็ได้ในปัจจุบันมีการใช้งานแพร่หลายในฟาร์มสุกร โรงงานแป้งมัน

2) บ่อหมักแบบซีเอสทีอาร์ (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR) เป็นระบบไร้อากาศมีการกวนตะกอนเพื่อให้แบคทีเรียผสมกับน้ำเสียได้อย่างทั่วถึงแสดงดังรูปที่ 1 เหมาะกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงและมีระยะเวลาการกักเก็บตะกอนเท่ากับระยะเวลากักเก็บน้ำ รองรับสารอินทรีย์ได้ต่ำเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ



รูปที่ 1 ระบบเก็บก๊าซชีวภาพ CSTR

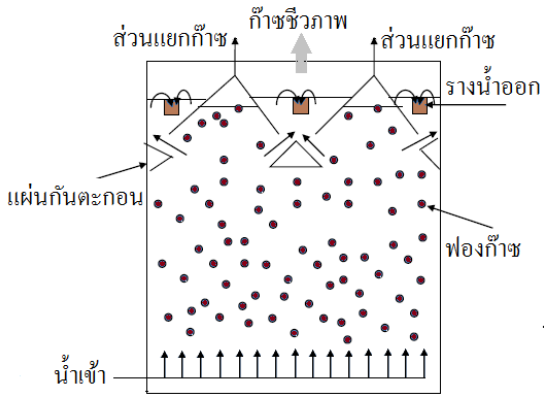
3) ระบบตะกอนเร่งแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Activated Sludge, AAS) หรือ Anaerobic Contact คล้ายกับระบบCSTR แต่เพิ่มถังตกตะกอนเพื่อเวียนตะกอนซึ่งช่วยยืดระยะเวลากักเก็บตะกอนทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของถังปฏิกิริยาทำงานดีกว่าแบบ CSTR

4) ระบบแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic Fixed Film) มีการบรรจุวัสดุตัวกลาง เช่นกรวด หิน ไนลอนตาข่าย และอื่นๆ โดยจุลินทรีย์จะอาศัยตัวกลางในการยึดเกาะ ซึ่งน้ำเสียจะไหลผ่านชั้นจุลินทรีย์ อาจมีการป้อนน้ำเสียจากล่างขึ้นบน (Up-flow Anaerobic Fixed Flim) ซึ่งเป็นที่นิยมในการลดปัญหาการอุดตัน หรือป้อนจากด้านบนลงล่าง (Down-flow Anaerobic Fixed Flim) ระบบบำบัดน้ำเสียแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์นั้นสามารถรับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยได้ดี รวมถึงความเข้มข้นของน้ำเสียที่มีการเปลี่ยนแปลงกะทันหัน

5) ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) ระบบนี้คล้ายกับแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ต่างกันที่ตัวกลางในระบบมีน้ำหนักเบาและสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ทำให้จุลินทรีย์

ที่เกาะบนตัวกลางสามารถสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้มากขึ้น สามารถรับอัตราบรรทุกสารอินทรีย์ในระบบสูงขึ้น แต่ระบบนี้ต้องใช้พลังงานมากกว่าเนื่องจากมีอัตราการไหลของน้ำที่สูงกว่า

6) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) เป็นระบบบำบัดแบบไหลขึ้นโดยผ่านชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความหนาแน่นสูงน้ำหนักมาก เพื่อให้ตะกอนอยู่ภายในถังได้ ภายในระบบมีการติดตั้งอุปกรณ์เพื่อป้องกันไม่ให้ตะกอนหลุดออกนอกถังแสดงดังรูปที่ 2

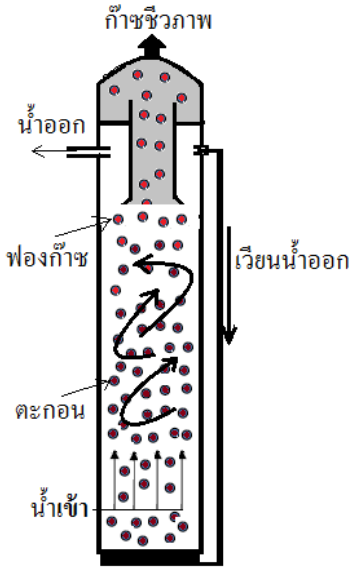


รูปที่ 2 ลักษณะระบบเก็บก๊าซชีวภาพ UASB

7) ระบบถังปฏิกรณ์ชีวมวลไร้อากาศแบบลูกผสม (Anaerobic Hybrid Reactor) เป็นการนำระบบไร้อากาศมาต่อด้านบนผสมกับ UASB เช่น UASB ร่วมกับ Covered Lagoon หรือ UASB ร่วมกับ Anaerobic Contact โดยส่วนล่างจะทำหน้าที่ในการสร้างตะกอนโดยมีที่แยกก๊าซชีวภาพทั้งส่วนกลางถังและส่วนบนของถังไร้อากาศ

8) ระบบอีจีเอสบี (Extended Granular Sludge Bed, EGSB) คล้ายกับ UASB แต่มีการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของตะกอนแบคทีเรียกับน้ำเสียโดยวิธีเพิ่มความเร็วน้ำไหลขึ้น ทำให้ตะกอนฟุ้งกระจายมากไม่เกิดการอัดตัวของตะกอน แต่ส่งผลเสียคือต้องใช้ปริมาณน้ำเสียมากจึงจำเป็นจะต้องมีการเวียนน้ำกลับเข้ามาในระบบอีกครั้ง

9) ระบบไอซี (Internal Circulation, IC) เป็นระบบที่มีอัตราการไหลของน้ำสูงเช่นเดียวกับอีจีเอสบี การเกิดก๊าซชีวภาพจะเกิดด้านล่างจากการย่อยสลายเป็นส่วนใหญ่และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ด้านล่างสูงก๊าซที่เกิดขึ้นด้านล่างจะถูกอุปกรณ์ดักก๊าซจับเมื่อมีการสะสมมากขึ้นก๊าซจะลอยขึ้นสู่ด้านบน (Gas Lift) และถูกเก็บบนสุดของถัง ส่วนน้ำเสียจะมีการหมุนเวียนในถังแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ลักษณะระบบเก็บก๊าซชีวภาพแบบไอซี

6. กลไกการพัฒนาที่สะอาดหรือคาร์บอนเครดิต (Carbon credit, CDM)

คาร์บอนเครดิต คือ สิ่งทดแทนการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นต้น โดยก๊าซเหล่านี้เกิดจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ รวมไปถึงภาคอุตสาหกรรม และภาคเกษตรกรรม ซึ่งแต่ละประเทศต้องลดปริมาณการปลดปล่อยมลพิษของตนเอง สำหรับประเทศที่พัฒนาแล้ว และไม่สามารถลดมลพิษได้ จะใช้วิธีส่งเสริมประเทศที่กำลังพัฒนาให้ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก เมื่อส่งเสริมให้ลดได้ คาร์บอนเครดิตนั้นจะกลายเป็นของตนเอง [16]

7. สรุปผลและอภิปราย

บทความทางวิชาการนี้เป็นการรวบรวมเทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยระบบบำบัดน้ำเสียเน้นไปที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ซึ่งมีหลายชนิดที่ได้รับความนิยมในการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ ระบบบ่อหมักโมดิฟายด์โคเวอร์ลากูน (Modified Covered Lagoon) ระบบบ่อหมักแบบซีเอสทีอาร์ (Completely Stirred Tank Reactor, CSTR) ระบบระบบตะกอนเร่งแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Activated Sludge, AAS) ระบบแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic Fixed Film) ระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) ระบบถังปฏิกรณ์ชีวมวลไร้อากาศแบบลูกผสม (Anaerobic Hybrid Reactor) ระบบอีจีเอสบี (Extended Granular Sludge Bed, EGSB) ระบบไอซี (Internal Circulation, IC) และระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) โดยระบบที่ได้รับความนิยมในประเทศไทยมี 3 ระบบได้แก่ ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket, UASB) ระบบแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ (Anaerobic Fixed Film) และระบบบ่อหมักโมดิฟายด์โคเวอร์ลากูน (Modified Covered Lagoon) [4] เนื่องจากทุกระบบถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพสูง ควบคุมระบบได้ง่าย มีตะกอนออกจากระบบน้อย อีกทั้งยังสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียได้เป็นอย่างดี ประหยัดค่าใช้จ่าย จึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งการผลิตก๊าซชีวภาพและบำบัดน้ำเสีย จากข้อมูลการใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศทั่วโลก พบว่า UASB ได้รับความนิยมถึง 64% [17] โดยก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศนั้น สามารถช่วยลดการใช้พลังงานที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำมัน ไฟฟ้า ถ่านหิน เป็นต้น ทั้งยังช่วยลดความขัดแย้งของชุมชนในบริเวณโดยรอบโรงงานอุตสาหกรรม ทำให้ภาพรวมของการใช้ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเพื่อการบำบัดน้ำเสียและผลิตพลังงานนั้น มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ถือเป็นการจัดการของเสียเชิงบูรณการ (Integrated system) [18] อีกทั้งยังมีการสนับสนุนการใช้ก๊าซชีวภาพจากรัฐบาลมากขึ้น เพื่อลดการนำเข้าพลังงานอีกด้วย นอกเหนือจากนี้ยังถือได้ว่าเป็นกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM; Clean Development Mechanism) เพื่อส่งเสริมการพัฒนาการใช้พลังงานทดแทนอย่างยั่งยืน และนำไปสู่การขายคาร์บอนเครดิตหรือปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่สามารถลดลงได้ [4, 19]

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Science Service, “Biomass energy”, Available: http://siweb.dss.go.th/repack/fulltext/IR5/pdf, 5 March 2010. (in Thai)

[2] P. Weiland, “Biogas production: current state and perspectives”, Applied Microbiology and Biotechnology 85, 2010, pp. 849-860.

[3] M. Kayhanian, G. Tchobanoglous and R.C. Brown, “Energy Conservation and Renewable Energy”, Kentucky, Taylor & Francis Group/CRC Press, 2007.

[4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency, “Energy Biogas”, Ministry of Energy, Bangkok. 2017. (in Thai)

[5] Department of Industrial Work, “Industrial Effluent Standards”, Water Pollution Treatment Textbook, Bangkok, 2013. (in Thai)

[6] L. Denga, Y. Liu, D. Zheng , L. Wang , X. Pu , L. Song , Z. Wang , Y. Lei , Z. Chen and Y. Long, “Application and development of biogas technology for the treatment of waste in China”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 70, 2017, pp. 845–851.

[7] G. Wang, W. Liu, X. Wang, D.Y. Gao, D.X. He and W. Chen, “Current status and prospect of biogas technology in China”, Applied Energy Technologies 12, 2007, pp.33–35.

[8] X.Y. Jiang, S.G. Sommer and K.V. Christensen, “A review of the biogas industry in China”, Energy Policy 39, 2011, pp.6073–6081.

[9] M. Kawai, N. Nagao, N. Kawasaki, A. Imai and T. Toda, “Improvement of COD removal by controlling the substrate degradability during the anaerobic digestion of recalcitrant wastewater”, Journal of Environmental Management 181, 2016, pp. 838-846.

[10] Y. Shen, J.L. Linville, M. Urgun-Demirtas, M.M. Mintz and S.W. Snyder, “An overview of biogas production and utilization at full-scale wastewater treatment plants (WWTPs) in the United States: Challenges and opportunities towards energy-neutral WWTPs”, Renewable and Sustainable Energy Reviews 50, 2015, pp. 346–362.

[11] E.U. Kiran, K. Stamatelatou, G. Antonopoulou and G. Lyberatos, “Production of biogas via anaerobic digestion”, Handbook of Biofuels Production, 2e. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-100455-5.00010-2, 2016.

[12] Metcalf & Eddy, “Wastewater Engineering Treatment and Reuse. (4^{th} Eds.)”, McGraw-Hill, New York, 2004.

[13] C.F. Bustillo-Lecompte, M. Mehrvar and E. Quinones-Bolanos, “Combined anaerobic-aerobic and UV/H_2O_2 processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater”, Journal of Environmental Science and Health 48(9), 2013, pp. 1122-1135.

[14] C.F. Bustillo-Lecompte, M. Mehrvar and E. Quinones-Bolanos, "Cost-effectiveness analysis of TOC removal from slaughterhouse wastewater using combined anaerobic-aerobic and UV/H_2O_2 processes", Journal of Environmental Management 134, 2014, pp. 145-152.

[15] G. Chen, Z. Zheng, Z., S. Yang, C. Feng, X. Zou and J. Zhang, "Improving conversion of Spartina alterniflora into biogas by co-digestion with cow feces", Fuel Processing Technology 91, 2010, pp. 1416-1421.

[16] F. Tarinee, Carbon Market, 2015, Department of Environmental science, Payao University.

[17] P. Kullavanijaya, N. Paepatung, O. Laopitinun, A. Noppharatana and P. Chaiprasert, "An Overview of Status and Potential of Biomethanation Technology in Thailand", Research and Development Journal 30(4), 2007, pp. 693-700.

[18] J.B. VanLier, A. Tilche, B.K. Ahring, H. Macarie, R. Moletta, M. Dohanyos, L.W.P Hulshoff, P. Lens and W. Verstraete, "New Perspectives in Anaerobic Digestion", Water Science and Technology 43(1), 2001, pp. 1-18.

[19] T. Phonphunthin, W. Uttamaprakrom and P. Reubroycharoen, "A Study of Biogas Production Potential from Industrial Wastewater", Energy Research Journal 11(1), 2014, pp. 50-62. (in Thai)

[20] Ministry of Energy, "Efficiency of Biogas Production in Thailand", Available: http://biogas.dede.go.th/biogas/web_biogas/, 14 October 2017. (in Thai)