บทที่ 1
บทนำ

1.1.ความเป็นมาของการผลิตก๊าซชีวภาพ

นักวิทยาศาสตร์ค้นพบก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายผุพังของสารอินทรีย์ครั้งแรกในศตวรรษที่ 17 โดย Robert Boyle และ Stephen Hale โดยทั้งสองได้พูดถึงการกวนตะกอนในลำธารและทะเลสาบซึ่งทำให้มีก๊าซที่สามารถติดไฟได้ลอยขึ้นมา ในปี 1859 Sir Humphrey Davy ได้กล่าวไว้ว่าก๊าซที่เกิดจากขี้วัวนั้น มีก๊าซมีเทนอยู่ด้วย ซึ่งปี1859 ในอินเดียได้มีการสร้างถังหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศ (anaerobic digester) ขึ้นเป็นครั้งแรกและต่อมาในปี 1985 ในประเทศอังกฤษได้มีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ขึ้นมาโดยใช้ถังสิ่งปฏิกูลเพื่อผลิตก๊าซแล้วนำก๊าซไปจุดไฟส่องสว่างตามถนน พอถึงปี 1907 ก็ได้มีการออกสิทธิบัตรสำหรับถังหมักก๊าซชีวภาพในประเทศเยอรมนีขึ้น และต่อมาในช่วงปี 1930 การหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศ ก็เริ่มเป็นที่รู้จักในแวดวงนักวิชาการกันมากขึ้น ซึ่งได้มีการวิจัยค้นคว้าและพบจุลินทรีย์ที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาและมีการศึกษาถึงสภาวะแวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้

ในชนบทของประเทศที่กำลังพัฒนา การใช้ก๊าซชีวภาพจากขยะทางการเกษตรหรือเศษอาหารจากครัวเรือนเป็นทางเลือกสำหรับพลังงานราคาถูก ไม่ว่าจะใช้เพื่อเป็นแสงสว่างหรือใช้ในการทำอาหาร ซึ่งในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ทั้งรัฐบาลของอินเดียและจีนต่างก็ได้ให้การสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือนซึ่งนอกจากจะช่วยลดค่ายังชีพลงแล้ว ยังเป็นการลดภาระของโครงข่ายพลังงานของชาติด้วย ส่วนในประเทศที่พัฒนาแล้วมีการนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้ เป็นการลดการปล่อยมลภาวะรวมถึงก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมที่นับวันจะยิ่งเสื่อมโทรมลง นอกจากนี้ยังมีผลผลิตพลอยได้ต่างๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น

ทุกวันนี้โลกกำลังเผชิญหน้ากับวิกฤติปัญหาสิ่งแวดล้อมและวิกฤติด้านพลังงาน ก๊าซชีวภาพจึงยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นเพราะเป็นการช่วยแก้ทั้งสองปัญหา ปัจจุบันรัฐบาลของหลายๆประเทศรวมถึงประเทศไทยต่างก็ให้การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพและสนับสนุนผู้ที่ทำการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบต่างๆ

1.2. ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพหรือ Biogas คือก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึงก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมัก (Fermentation) ของสารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เช่น กองขยะ,หลุมขยะ,กองมูลสัตว์และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารตั้งต้นของก๊าซชีวภาพนั้นคือพวกสารอินทรีย์ที่เป็นซากสิ่งมีชีวิตหรือเป็นส่วนประกอบในน้ำเสียและของเสีย ดังนั้นองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจึงประกอบด้วยก๊าซหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน (Methane, CH_4) เป็นองค์ประกอบหลักประมาณ 50-70%, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50%, ก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ในปริมาณที่น้อยกว่า 500 ส่วนต่ออากาศหนึ่งล้านส่วน (part per million; ppm) และส่วนที่เหลือเป็นพวก ก๊าซไฮโดรเจน (H_2), ก๊าซออกซิเจน (O_2), ก๊าซไนโตรเจน (N) และไอน้ำ ซึ่งหากผ่านกระบวนการทำความสะอาดก๊าซ (Gas cleaning) แล้วมีปริมาณมีเทนเหลืออยู่ 65% ก๊าซชีวภาพดังกล่าวนั้นจะมีค่าความร้อนต่ำ (LHV) อยู่ที่ 23 เมกะจูล/ลูกบาศก์เมตร (MJ/m3) ซึ่งโดยปกติแล้วปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้นั้น จะขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียและในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศนั้นจะสามารถลดค่าซีโอดี (COD) ได้ประมาณ 70% โดยปริมาณซีโอดีที่ลดลงแต่ละกิโลกรัมนั้นจะสามารถผลิตก๊าซมีเทนที่มีคุณสมบัติไม่มีสีไม่มีกลิ่นและติดไฟได้ ประมาณ 0.32 ลูกบาศก์เมตร

แต่ที่เราเปิดก๊าซชีวภาพแล้วจะมีกลิ่นเหม็นนั้น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หรือ “ ก๊าซไข่เน่า ” ซึ่งเมื่อเราจุดไฟ กลิ่นเหม็นก็จะหายไป

เชื้อเพลิงชีวภาพแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (ถ่านหินและปิโตรเลียม) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสิ้นเปลือง ตรงที่เชื้อเพลิงชีวภาพนั้นจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถฟื้นฟูหรือสร้างขึ้นใหม่ได้ ตราบใดที่ต้นไม้และพืชไม่ถูกตัดโค่นในอัตราที่รวดเร็วเกินกว่าที่จะสามารถปลูกทดแทนให้เจริญเติบโตขึ้นมาได้ทัน ซึ่งข้อดีอีกประการหนึ่งของเชื้อเพลิงชีวภาพคือ สถานะที่หลากหลายของเชื้อเพลิงทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลวและก๊าซ จึงสะดวกและสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่สำคัญคือ การเผาเชื้อเพลิงชีวภาพไม่ก่อให้เกิดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มขึ้นและยังก่อให้เกิดปริมาณก๊าซพิษน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่น เมื่อเทียบกันในอัตราต่อหน่วย ดังนั้นจึงถือได้ว่าการใช้เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นการช่วยรักษาสภาพแวดล้อมไปพร้อมๆกัน แต่จะเห็นได้ว่าโลกในปัจจุบัน ใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวภาพในปริมาณที่ยังน้อยอยู่ คือประมาณร้อยละ 15 เท่านั้น ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการค้นคว้าและพยายามใช้ประโยชน์จากเชื้อเพลิงชีวภาพมากขึ้น โดยเฉพาะในประเทศที่พัฒนาแล้วเช่นในแถบยุโรป มีการนำเชื้อเพลิงชีวภาพไปใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าขนาดเล็กและใช้ในภาคเกษตรกรรม เป็นต้น

จากนโยบายพลังงานของรัฐบาล ที่มีการสนับสนุนให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนเพื่อเป็นการลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ โดยการให้การสนับสนุนทั้งในด้านราคารับซื้อไฟฟ้าและเงินสนับสนุนจากภาครัฐ ทำให้เกิดความตื่นตัวจากภาคเอกชนทั้งจากโรงงานขนาดใหญ่จากสถาบันการศึกษาของรัฐ ที่มีการพัฒนาเทคโนโลยีด้านพลังงานทางเลือกให้มีความเหมาะสมที่จะใช้กับประเทศ รวมถึงผู้ที่สนใจจะลงทุนในการสร้างโรงไฟฟ้าขนาดเล็กเอง ซึ่งจากพลังงานทางเลือกที่มีมากมายนั้น การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas) เพื่อใช้สำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความสนใจมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่สามารถได้รับประโยชน์สองทาง คือได้ทั้งการบำบัดน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตเพื่อลดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมต่อชุมชนรอบโรงงานและยังได้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย แต่ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพยังคงมีราคาแพง ทำให้ผู้ลงทุนไม่สามารถลงทุนได้ เนื่องจากผลตอบแทนที่ได้ไม่คุ้มกับการลงทุน ทำให้ในปัจจุบันจึงมีการดัดแปลงระบบผลิตก๊าซชีวภาพและเครื่องยนต์สำหรับผลิตไฟฟ้า (Gas Engine) ให้ประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น โดยใช้เงินลงทุนน้อยลง อีกทั้งภาครัฐยังให้การสนับสนุนทางด้านการลงทุน จึงทำให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ กลับมาเป็นที่สนใจอีกครั้งหนึ่ง

ก๊าซชีวภาพคือก๊าซที่เกิดจากชีวมวลที่ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจนโดยมีอุณหภูมิ ความชื้นและความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสม ก๊าซเหล่านี้สามารถพบได้ในการบำบัดน้ำเสียจากครัวเรือน โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงงานกำจัดขยะ โรงงานผลิตกรดมะนาว โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานข้าวโพด โรงงานน้ำมันปาล์ม ฟาร์มเลี้ยงสุกร โรงฆ่าสัตว์ ซึ่งน้ำเสียจากแหล่งเหล่านี้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้จำนวนมากและนับเป็นพลังงานที่สามารถนำมาใช้ทดแทนหรือใช้ร่วมกับพลังงานอื่นที่ราคาแพงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะการผลิตไฟฟ้า นอกจากนี้ความร้อนที่เกิดขึ้นยังนำไปใช้ให้ความร้อนกับหม้อน้ำ (Boiler) อบแห้งหรือนำไปใช้โดยตรงในชีวิตประจำวัน อาทิเช่น ใช้เป็นแหล่งพลังงานของระบบปรับอากาศ เป็นต้น ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งกับภาวะขาดแคลนพลังงานในปัจจุบันและถือได้ว่าเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญชนิดหนึ่ง

1.3. การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

1.3.1. ด้านพลังงาน

เมื่อพิจารณาถึงด้านเศรษฐกิจ จะเห็นได้ว่าการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจะลงทุนต่ำกว่าการผลิตเชื้อเพลิงชนิดอื่น ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นๆ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน แก๊สหุงต้ม และไฟฟ้าก๊าซชีวภาพจำนวน 1 ลูกบาศก์เมตรสามารถนำไปใช้ได้ดังนี้

- ให้ค่าความร้อน 3,000-5,000 กิโลแคลอรี่
  (ความร้อนนี้จะทำให้น้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ปริมาณ 130 กิโลกรัม เดือดได)
- ใช้กับตะเกียงก๊าซขนาด 60-100 วัตต์ ลุกไหม้ได้ 5-6 ชั่วโมง
- ผลิตกระแสไฟฟ้า 1.25 กิโลวัตต์
- ใช้กับเครื่องยนต์ 2 แรงม้า ได้นาน 1 ชั่วโมง
- ถ้าใช้กับครอบครัวขนาด 4 คน สามารถหุงต้มได้ 3 มื้อ

1.3.2. ด้านปรับปรุงสภาพแวดล้อม

ในการนำมูลสัตว์และน้ำล้างคอกมาหมักในบ่อก๊าซชีวภาพ จะเป็นการช่วยกำจัดและลดปริมาณมูลสัตว์ในบริเวณที่เลี้ยง ทำให้กลิ่นเหม็นและแมลงวันในบริเวณนั้นลดลงและผลจากการหมักมูลสัตว์ในบ่อก๊าซชีวภาพที่ปราศจากออกซิเจนเป็นเวลานานๆ ทำให้ไข่พยาธิและเชื้อโรคส่วนใหญ่ในมูลสัตว์ตายด้วย ซึ่งถือได้ว่าเป็นการทำลายแหล่งเพาะเชื้อโรคบางชนิด เช่น โรคบิด อหิวาตกโรค และพยาธิที่อาจแพร่กระจายจากมูลสัตว์ นอกจากนี้ยังเป็นการป้องกันไม่ให้มูลสัตว์ถูกชะล้างลงไปในแหล่งน้ำธรรมชาติ

1.3.3. ด้านการเกษตร

- การนำมาทำเป็นปุ๋ย

กากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพเราสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สดๆและปุ๋ยคอก เนื่องจากในขณะที่มีการหมักจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

- การนำมาทำเป็นอาหารสัตว์

โดยนำส่วนที่เหลือจากการหมักไปตากแห้งแล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้มีข้อจำกัด คือ ควรใส่ส่วนที่เหลือจากการหมักให้อยู่ระหว่าง 5-10 กิโลกรัม ต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

1.4. การใช้แก๊สชีวภาพในการผลิต (ผลิตกระแสไฟฟ้า)

รูปที่ 1.1 การนำก๊าซชีวภาพมาผลิตเป็นกระแสไฟฟ้า

ในการผลิตกระแสไฟฟ้า จำเป็นจะต้องรู้ก่อนว่าขนาดบ่อหมักบรรจุแก๊สได้กี่ลูกบาศก์เมตรและปริมาณการที่ใช้กระแสไฟฟ้าในฟาร์ม จากนั้นจึงคำนวณหาอุปกรณ์ที่จะใช้ ดังกรณีตัวอย่างบ่อก๊าซชีวภาพแบบปลั๊กโฟลว์ ขนาดบ่อหมักซึ่งมีปริมาตร 170 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งชุดของเครื่องยนต์ที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

- เครื่องยนต์ ใช้เครื่องยนต์เบนซิน 4 สูบ (เครื่องยนต์ที่ใช้แล้ว) มีความจุกระบอกสูบเท่ากับ 198 ลูกบาศก์เซนติเมตร สัดส่วนการอัดอากาศต่อก๊าซชีวภาพ 8.2:1 มีกำลัง 91 แรงม้าที่ 4,800 รอบ/วินาที แรงบิดสูงสุด เท่ากับ 160 นิวตันเมตร ที่ 3,200 รอบ/นาที

- เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุด 13 กิโลวัตต์ ใช้ไฟได้ 3 สาย แรงขับเคลื่อนไฟฟ้า 380 โวลต์ ปริมาณไฟฟ้า 30 แอมแปร์

- **เครื่องควบคุมวงจรไฟฟ้า** วัตถุประสงค์ที่ติดตั้ง เพื่อควบคุมกระแสไฟฟ้าตกหรือกระแสไฟฟ้าสูงเกินไปหรือใช้ในกรณีแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ำหรือสูง ที่ไม่เป็นไปตามปกติ

ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดนี้ได้ออกแบบมาเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 30-50% ของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ต้องการใช้โดยผลิตได้ 1.4 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อก๊าซ 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้กับเครื่องสูบน้ำขนาด 15 แรงม้า, เครื่องผสมอาหาร 5 แรงม้า, เครื่องบดอาหารขนาด 20 แรงม้า (ทำงานไม่พร้อมกัน) อย่างไรก็ตามชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้านี้แม้จะมีข้อดีแต่ก็มีข้อเสียอยู่บ้าง ดังนี้

ข้อดี: -ช่วยแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมเรื่องกลิ่น ของเสีย และลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสีย
-ไม่มีต้นทุนเชื้อเพลิง
-ลดการปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศ ซึ่งช่วยลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก
-ลดค่าใช้จ่ายและสร้างรายได้ให้กับผู้ประกอบการ โดยผู้ประกอบการสามารถนำก๊าซชีวภาพใช้ในการผลิต
-ไฟฟ้าเพื่อใช้ในกิจการของตนเอง หรือขายไฟฟ้าให้กับ การไฟฟ้า

ข้อเสีย: -ระบบต้องการพื้นที่ค่อนข้างมาก

-ต้นทุนการติดตั้งระบบสูงต้องมีระบบกำจัดก๊าซเสียต้องมีผู้เชี่ยวชาญดูแล

1.5. ระบบก๊าซชีวภาพที่มีอยู่ในประเทศไทย

ระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย มีอยู่หลายระบบด้วยกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของน้ำเสียหรือของเสีย โดยสามารถสรุปเทคโนโลยีที่ใช้ในประเทศไทยโดยจัดจำแนกตามแหล่งที่มาของน้ำเสียหรือของเสีย ได้ดังต่อไปนี้

1.5.1. ระบบก๊าซชีวภาพจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร

ปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตรมากกว่า 5,000 โรงงานทั้งขนาดใหญ่และขนาดกลางกระจายอยู่ทั่วประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียยังคงใช้ระบบบ่อเปิด (Open Pond) แต่ก็มีโรงงานบางส่วนที่เริ่มมองหาเทคโนโลยีที่เหมาะสม โดยเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในอุตสาหกรรม ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมอาหาร, โรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง, โรงงานอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มดิบ, โรงงานอุตสาหกรรมโรงฆ่าสัตว์

1.5.2. ระบบก๊าซชีวภาพจากขยะมูลฝอย

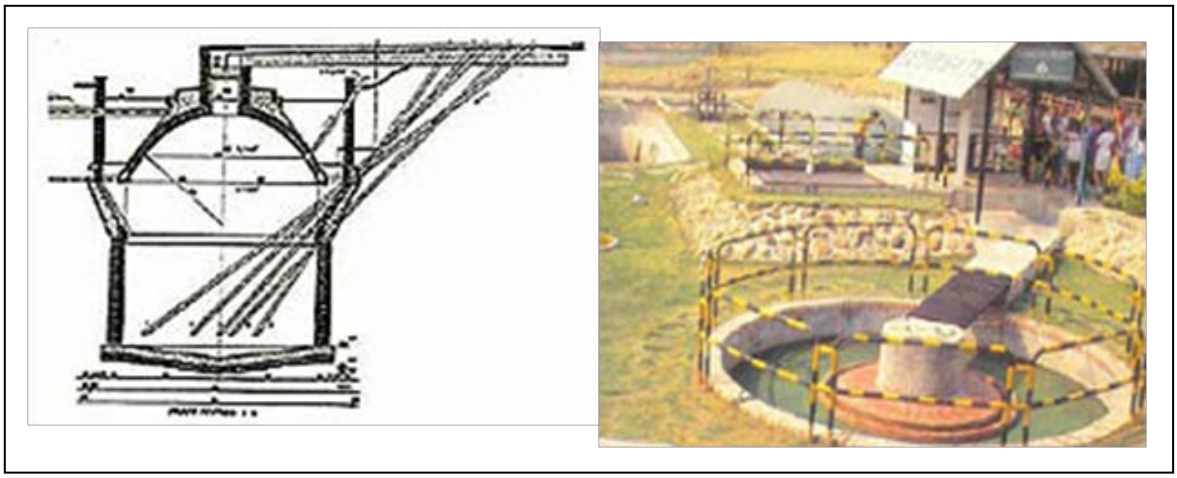
การกำจัดขยะชุมชนในพื้นที่ต่างๆ ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธีการฝังกลบ ซึ่งวิธีที่ถูกต้องนั้นควรจะเป็นการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) โดยสามารถผลิตก๊าซจากหลุมขยะ (Landfill Gas) ให้เกิดเป็นผลพลอยได้ได้ด้วย แต่เทคโนโลยีการผลิตก๊าซจากหลุมขยะในเมืองไทยในปัจจุบันยังคงประสบปัญหาด้านคุณภาพและปริมาณซึ่งไม่คงที่ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

1.5.3. ระบบก๊าซชีวภาพจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์

ฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยที่มีการใช้เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพมากที่สุดคือ ฟาร์มสุกร โดยแบ่งกลุ่มฟาร์มสุกรออกเป็น 3 กลุ่มดังนี้

- ฟาร์มขนาดใหญ่หรือฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ก (เทียบเท่าจำนวนสุกรขุนมากกว่า 5,000 ตัวหรือมากกว่า 600 หน่วยปศุสัตว์*) * หนึ่งหน่วยปศุสัตว์ = 500 กิโลกรัม เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้ได้แก่ UASB (ดังแสดงในรูปที่ 1.2), HSS-UASB และ Covered Lagoon

- ฟาร์มขนาดกลางหรือฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ข (เทียบเท่าจำนวนสุกรขุนตั้งแต่ 500 - 5,000 ตัวหรือ 60 - 600 หน่วยปศุสัตว์) เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้ได้แก่ UASB, MC-UASB-1 และ Covered Lagoon



รูปที่ 1.2 บ่อหมักแบบ UASB (Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket)

- ฟาร์มขนาดเล็กฟาร์มเลี้ยงสุกรประเภท ค (เทียบเท่าจำนวนสุกรขุน 50 - 500 ตัวหรือ 6 - 60 หน่วยปศุสัตว์) เทคโนโลยีระบบก๊าซชีวภาพที่ใช้ได้แก่ Fixed Dome และ Covered Lagoon

บทที่ 2
หลักการออกแบบเบื้องต้น

2.1. การออกแบบและควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมที่มีค่า COD ปานกลางและสูงนั้น ระบบไร้อากาศมักจะถูกเลือกใช้สำหรับการบำบัดเบื้องต้นเพื่อลดปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ให้เหลือน้อยก่อนบำบัดด้วยระบบบำบัดแบบใช้อากาศ ซึ่งวิธีนี้จะเป็นการประหยัดและได้น้ำทิ้งที่มีคุณภาพตามมาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนด โดยทั่วไปน้ำทิ้งหลังบำบัดด้วยระบบไร้อากาศควรมีค่า BOD อยู่ในช่วง 100 – 300 มิลลิกรัมต่อลิตรและเมื่อบำบัดด้วยระบบใช้อากาศค่า BOD จะเหลือน้อยกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในอดีตการเลือกใช้ระบบไร้อากาศนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อการลดค่า BOD และ COD เป็นหลักและเน้นระบบที่เสียใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ทำให้ระบบไร้อากาศเป็นที่นิยมใช้ ได้แก่ ระบบบ่อหมักไร้อากาศ (anaerobic pond) แต่มีข้อเสียคือ ระบบจำเป็นต้องใช้พื้นที่มาก มีกลิ่นเหม็นรบกวนและก๊าซชีวภาพไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์ ต่อมาเมื่อมีการพัฒนาระบบไร้อากาศแบบอัตราสูงขึ้น เช่น ระบบยูเอเอสบี (UASB reactor) ระบบตรึงฟิล์มไร้อากาศ (anaerobic fixed-film reactor) ทำให้ระบบมีขนาดเล็กลงและไม่มีกลิ่นเหม็นรบกวน นอกจากนั้นก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นยังสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้เมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งมากพอ ดังนั้นวัตถุประสงค์อีกข้อหนึ่งของการของระบบบ่อหมักไร้อากาศก็เพื่อการผลิตพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซชีวภาพ

ในการออกแบบและควบคุมระบบนั้น ผู้ออกแบบและผู้ควบคุมระบบจะต้องเข้าใจธรรมชาติของน้ำเสียนั้นเสียก่อน ซึ่งจะมุ่งประเด็นไปที่ว่าแบคทีเรียจะสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากน้อยและยากง่ายเพียงใด โดยทั่วไปสารในน้ำเสียจะแยกได้ออกเป็นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งอาจจะอยู่ในสถานะของของแข็ง คอลลอยด์ หรือ สารละลาย ส่วนสารอินทรีย์นั้นสามารถแยกออกได้เป็น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งประเภท และสถานะของสารอินทรีย์นั้น เป็นปัจจัยสำคัญต่อความยากง่ายในการย่อยสลายของแบคทีเรีย และมีผลอย่างยิ่งต่อการออกแบบและควบคุมระบบ ดังนั้นผู้ออกแบบและผู้ควบคุมระบบจำเป็นต้องเข้าใจธรรมชาติของน้ำเสียที่กำลังดูแลรับผิดชอบ

สำหรับการรายงานผลของลักษณะน้ำเสียนั้น มักรายงานในค่าของ PH BOD TKN ฟอสฟอรัส ซัลเฟต ความเป็นด่าง สารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นต้น ซึ่งข้อมูลนี้มุ่งเน้นที่จะให้ผู้ออกแบบและผู้ควบคุมระบบเข้าใจในประเด็นต่อไปนี้ คือ

1. สารอินทรีย์ย่อยสลายยากหรือง่าย เร็วหรือช้า
2. สารอาหารเสริม เพียงพอหรือไม่
3. มีสารพิษที่อาจรบกวนการทำงานของแบคทีเรียหรือไม่
4. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ มีเสถียรภาพง่ายหรือยาก ความเสี่ยงสูงหรือต่ำ

เมื่อฝ่ายผู้ประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ระบบบำบัดแบบไร้อากาศแล้วนั้น ย่อมต้องการระบบที่มีเสถียรภาพที่ดี คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดเป็นไปตามที่ออกแบบเอาไว้ อย่างไรก็ตามผู้ประกอบการบางรายอาจพบว่า ระบบบำบัดแบบไร้อากาศที่ตนใช้นั้น มีเสถียรภาพไม่ดี บางช่วงเวลาน้ำทิ้งหลังบำบัดมีคุณภาพต่ำ (ค่า BOD และค่า COD สูง) ซึ่งอาจสูงกว่าที่ออกแบบไว้มาก อย่างไรก็ตามปัจจุบันวิศวกร นักวิทยาศาสตร์และผู้ประกอบการส่วนใหญ่ยังยอมรับว่า ระบบไร้อากาศซึ่งเป็นระบบที่ประหยัดนั้นอาจมีเสถียรภาพต่ำได้ เป็นเรื่องปกติ กล่าวคือ คุณภาพน้ำทิ้งหลังบำบัดจะแปรปรวนเมื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย อุณหภูมิและสภาพแวดล้อมอื่นๆ ที่เปลี่ยนแปลงไปและอาจยอมรับว่าการที่น้ำทิ้งมีค่า BOD หรือ COD สูงในช่วง 500

– 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นั้นเป็นเรื่องปกติของระบบไร้อากาศ ซึ่งในปัจจุบันนี้ความคิดดังกล่าวควรเปลี่ยนไป เนื่องจากภายใต้การออกแบบและควบคุมอย่างเหมาะสมน้ำทิ้งหลังบำบัดจากระบบไร้อากาศ ซึ่งให้ผลสุดท้ายเป็นน้ำทิ้งหลังการบำบัดที่มีค่าบีโอดีอยู่ในช่วง 100 – 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และระบบควรมีเสถียรภาพดี ที่เมื่อสิ่งแวดล้อมของระบบเปลี่ยนไป แต่คุณภาพของน้ำทิ้งหลังการบำบัดไม่เปลี่ยนแปลงมากนักและยังอยู่ในช่วงที่ได้ออกแบบระบบเอาไว้

หลักการออกแบบและควบคุมที่ถูกต้อง คือ การออกแบบและควบคุมระบบให้มีค่าคงที่ความปลอดภัย (safety factor, SF) ที่เหมาะสม โดยที่ค่าคงที่ความปลอดภัยนั้นสามารถคำนวณได้โดยการนำค่าความสามารถของระบบ (reactor capacity) มาหารด้วยค่าภาระสารอินทรีย์ (organic load) ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\textbf{ค่าคงที่ความปลอดภัย (SF)} = \frac{\textbf{ความสามารถของระบบ (reactor capacity)}}{\textbf{ภาระสารอินทรีย์ (organicload)}}$$

โดยที่ความสามารถของระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของแบคทีเรียที่มีในระบบ (คำนวณโดยสมการ reactor capacity = biomass * bacterial activity) และภาระสารอินทรีย์นั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์และอัตราไหลน้ำเสีย (คำนวณโดยสมการ organic Load = flow rate * biodegradable COD concentration) สำหรับปริมาณแบคทีเรียที่สามารถเก็บกักไว้ในระบบและปริมาตรของระบบที่ต้องการนั้นจะขึ้นอยู่กับเทคนิคที่เลือกใช้ซึ่งอาจได้แก่ การรวมตัวกันของแบคทีเรียจนเป็นตะกอนเม็ดแบคทีเรียในระบบ UASB การตรึงฟิล์มของแบคทีเรียบนตัวกลางในระบบตรึงฟิล์ม การใช้แผ่นเมมเบรนในการกักเซลไว้ในระบบและการหมุนเวียนตะกอนแบคทีเรีย เป็นต้น สำหรับการควบคุมให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องเฝ้าระวังและคอยควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมเสมอ ส่วนสภาพแวดล้อมที่ควรให้ความสำคัญ ได้แก่ ค่าPH อุณหภูมิ ความเข้มข้นสารอาหารและชนิดสารอาหาร ความพอเพียงของสารอาหารเสริมหลักและรองและสารพิษ เป็นต้น

2.1.1. การควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพไม่ให้ล้มเหลว

วัตถุประสงค์ในการควบคุมระบบ คือ การควบคุมความสามารถของระบบให้มีมากพอและสามารถรองรับปริมาณสารอินทรีย์ที่จะเข้าระบบได้อย่างประสิทธิภาพ ซึ่งการควบคุมความสามารถของระบบนั้นผู้ควบคุมจะต้องควบคุมปริมาณและคุณภาพของแบคทีเรียในระบบ โดยการควบคุมคุณภาพของแบคทีเรียนั้นจำเป็นต้องอาศัยการควบคุมสิ่งแวดล้อมของแบคทีเรีย เช่น ค่า PH ความเป็นด่าง สารอาหารเสริมและสารพิษ เป็นต้น ดังนั้นหัวใจของการควบคุมระบบก็คือ การควบคุมสิ่งแวดล้อมในน้ำ เพื่อกำหนดให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนรายละเอียดการควบคุมนั้นจะขึ้นกับประเภทของน้ำเสียซึ่งจะมีจุดสำคัญแตกต่างกันไป

2.2.2. การเรียนรู้หลักการควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างคลอบคลุมถือเป็นเรื่องจำเป็นในการออกแบบและควบคุมระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบมืออาชีพ ผู้สนใจควรศึกษาเพื่อเพิ่มพูนความรู้ในเรื่องต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. จุลชีววิทยา (Microbiology): ต้องเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อความอยู่รอดของจุลินทรีย์

2. เคมีวิทยาน้ำ (Aquatic chemistry): ต้องเข้าใจพฤติกรรมของโมเลกุลของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ในน้ำ

3. ชลศาสตร์ (Hydraulics): ต้องเข้าใจพฤติกรรมการไหลของน้ำในสภาวะต่างๆ

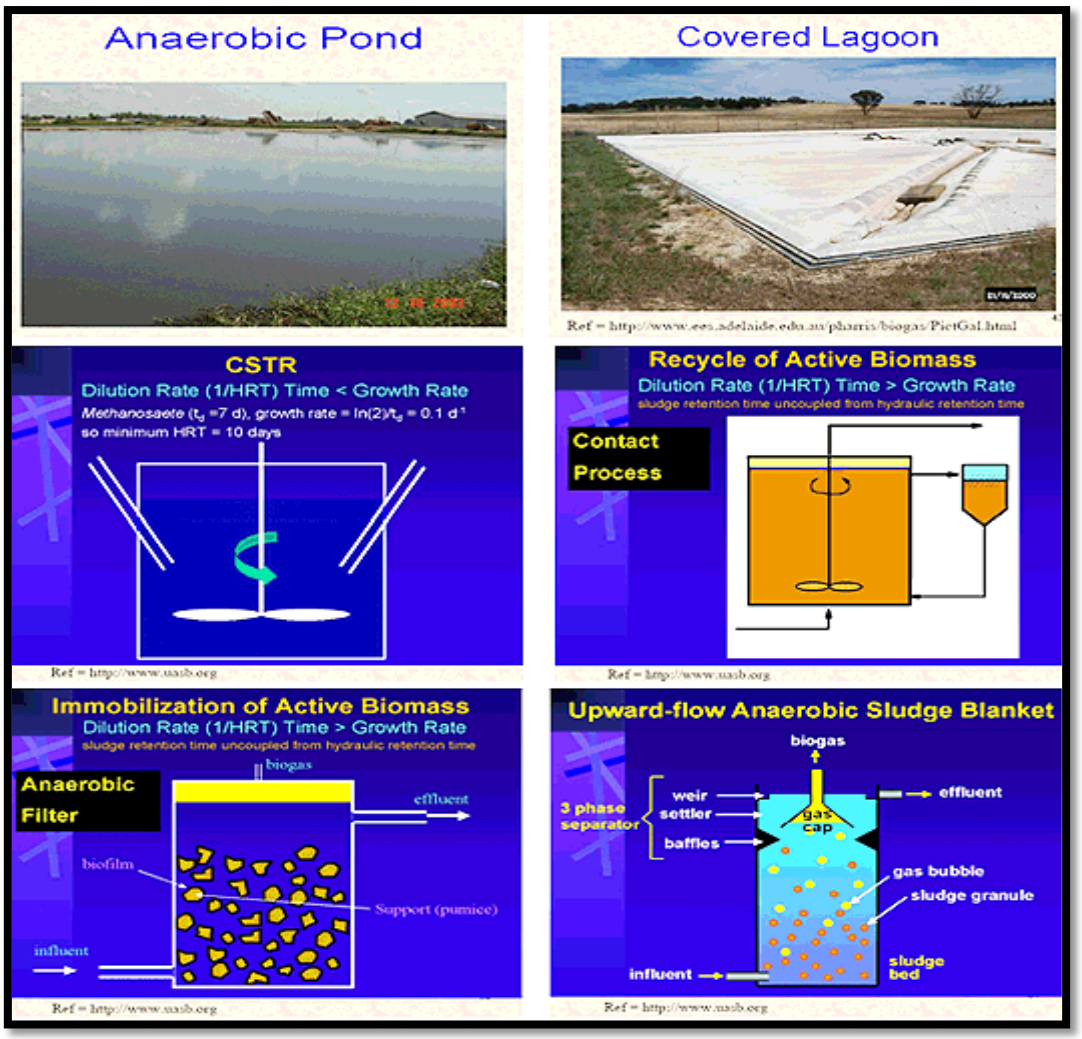
4. ไคเนติกส์ (Kinetics): ต้องเข้าใจปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมี

5. เทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamics): ต้องเข้าใจขอบเขตความเป็นไปได้ตามธรรมชาติและการมุ่งเข้าสู่สมดุล

6. สมดุล (Equilibrium): ต้องเข้าใจว่าทุกสิ่งย่อมมีสภาวะสมดุลตามธรรมชาติ

2.2. ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

เมื่อองค์ประกอบต่างๆของระบบการผลิตก๊าซชีวภาพครบถ้วน เช่น มีแบคทีเรีย มีสารอินทรีย์ มีอาหารเสริมและสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่เหมาะสมแต่ไม่มีออกซิเจน กระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพก็สามารถเกิดขึ้นได้ตามธรรมชาติทันที ดังนั้นในธรรมชาติ การเกิดก๊าซชีวภาพจึงเกิดขึ้นในบ่อที่มีการหมัก เช่น ก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ ลำไส้คนและวัว ไร่นาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ในเปลือกไม้ที่อับชื้น ใต้ท้องทะเลลึก เป็นต้น อย่างไรก็ตาม การเกิดในสภาวะที่กล่าวมาแล้วขั้นต้นนั้นเป็นเพียงกระบวนการที่เกิดในธรรมชาติซึ่งอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพจะเร็วหรือช้านั้นถูกกำหนดโดยธรรมชาติ แต่ในเชิงวิศวกรรม วิศวกรจะสร้างระบบขึ้นมาเพื่อควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสมให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้รวดเร็วตามที่ต้องการหรืออีกนัยหนึ่งคือวิศวกรที่ออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพคือ ผู้ที่เข้าใจธรรมชาติของสารอินทรีย์และสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของแบคทีเรียกลุ่มไม่ชอบออกซิเจนและทำการสร้างสภาวะดังกล่าวเพื่อเอื้ออำนวยให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้ตามที่มนุษย์ต้องการ ประเภทของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้มีอยู่หลายระบบด้วยกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ประเภทของระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่นิยมใช้

2.2.1.ระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)

ระบบถังกวนสมบูรณ์แบบไม่ใช้อากาศ (Continuous Stirred Tank Reactor) เป็นการเรียกตามลักษณะของสสารที่อยู่ภายในถังซึ่งมีความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) ถังปฏิกรณ์แบบนี้ถือเป็นถังปฏิกรณ์อุดมคติ (Ideal Reactor) แบบหนึ่งและเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่เก่าแก่ที่สุดประเภทหนึ่งด้วย โดยถังกวนสมบูรณ์นี้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากถังย่อยสลัดจ์ซึ่งเป็น Conventional Anaerobic Digester ที่มีประสิทธิภาพต่ำเนื่องจากการกวนผสมมีประสิทธิภาพต่ำทำให้การย่อยสลายใช้ระยะเวลายาวนาน ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสัมผัสกันของสารอาหารในน้ำเสียโดยนำถังย่อยสลัดจ์ (Septic Tank) มาทำการติดตั้งใบกวน เช่น แบบPaddle แบบสกรู (Screw) หรือใช้ Gas Diffuser ในการกวนผสม เพื่อให้จุลินทรีย์และสารอาหารในถังปฏิกรณ์มีการสัมผัสกันมากขึ้นซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) นี้ใช้ระยะเวลาในการกักเก็บของแข็ง (Solid Retention Time) เท่ากับระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time) ทำให้ถังปฏิกรณ์มีขนาดใหญ่ (ดังแสดงในรูปที่ 2.2) ซึ่งหากของเสียหรือน้ำเสียเป็นวัตถุดิบย่อยสลายได้ยากจะใช้เวลานาน ดังนั้นถัง CSTR นี้จึงเหมาะกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง (High Concentration) และมีสารแขวนลอยสูงหรือมีสารพิษปนอยู่ (Toxic

Wastewater) ทั้งนี้เนื่องจากถังปฏิกรณ์มีการกวนอยู่ตลอดเวลาทำให้เมื่อสารพิษถูกป้อนเข้าระบบจะถูกเจือจางทันที จึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์เหมือนระบบอื่น

รูปที่ 2.2 ลักษณะ CSTR Plant Layout (source: entec biogas GmbH)

<u>ปัญหาที่เกิดขึ้นในระหว่างการเดินระบบแบบถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)</u>

(1) ปัญหาการสูญเสียเซลล์จุลินทรีย์

เนื่องจากระบบถังกวนสมบูรณ์ไม่มีความแตกต่างของความเข้มข้น ทั้งในแง่ของสารอาหารและเซลล์จุลินทรีย์ ดังนั้นความเข้มข้นของเซลล์จุลินทรีย์ในน้ำเสียที่ออกจากระบบจึงเท่ากับความเข้มข้นของสารอาหารภายในถังปฏิกรณ์ แต่มักพบปัญหาเซลล์จุลินทรีย์ในระบบลดลงอย่างรวดเร็วซึ่งเป็นต้นเหตุให้เกิดความล้มเหลวในที่สุด ดังนั้นถังปฏิกรณ์แบบนี้จึงเหมาะกับของเสีย เช่น มูลสัตว์ เนื่องจากในมูลสัตว์มีจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้อากาศอยู่แล้ว นอกจากนี้ระบบ CSTR นั้นยังต้องรักษาระดับของ Hydraulic Load ให้มีค่าไม่สูงมากนัก แต่ต้องให้มี HRT สูงมากพอ (ควรมากกว่า 3 วัน) เพื่อให้จุลินทรีย์ในกลุ่มสร้างมีเทนที่มีอัตราการเจริญเติบโตที่ช้า สามารถเจริญเติบโตและเพิ่มปริมาณได้มากพอๆ กับที่หลุดออกจากระบบไปกับน้ำเสียขาออก (Washout) จึงจะทำให้ระบบสามารถรักษาปริมาณเซลล์จุลินทรีย์ให้คงที่ได้ ในปัจจุบันระบบนี้ยังมีการใช้เทคนิคหรืออุปกรณ์อื่นๆ หรือร่วมใช้กับเมมเบรน ที่เรียกว่า CSTR Combining with Membrane Separation

(2) ปัญหาคุณภาพน้ำเสียที่ออกจากระบบ

จากที่กล่าวมาแล้วว่าระบบ CSTR ไม่มีความแตกต่างของความเข้มข้นของสารอาหารภายในถัง ดังนั้นน้ำเสียที่ออกจากถังปฏิกรณ์แบบถังกวนสมบูรณ์จึงยังคงมีค่าความสกปรกสูงอยู่ ไม่สามารถปล่อยทิ้งได้โดยตรง ทำให้ต้องทำการบำบัดด้วยระบบบำบัดขั้นหลังต่อไป

ข้อดีและข้อจำกัดของระบบก๊าซชีวภาพแบบ CSTR

ข้อดี	ข้อเสีย
รับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูงได้ดี มีประสิทธิภาพการย่อยสลายน้ำเสียโดยเฉพาะน้ำเสียประเภทที่มีของแข็งแขวนลอยสูงได้ดี เนื่องจากมีการกวนผสมที่ดี	ต้องการพลังงานในการกวนผสม ยังมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสียขาออกอยู่ในเกณฑ์สูง มีการสูญเสียจุลินทรีย์ในปริมาณที่สูง

การพัฒนาและปรับปรุงระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบถังกวนสมบูรณ์ (CSTR)

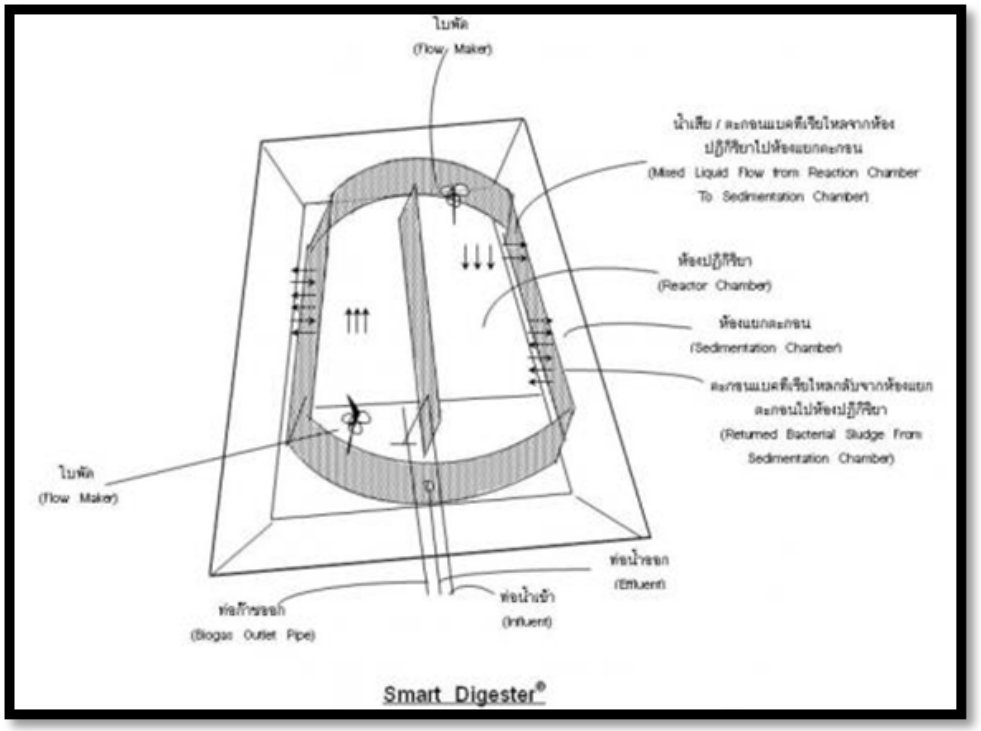
จากการใช้งานเทคโนโลยี CSTR เป็นถังหมักที่อาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์มาเป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในถัง ซึ่งได้มีการกวนผสมภายในถังอย่างทั่วถึง (Mixing System) เพื่อบำบัดน้ำเสียและของเสียที่มีคุณสมบัติมีสารแขวนลอยในน้ำเสียที่อยู่ในเกณฑ์สูงมาเป็นระยะเวลาพอสมควร ต่อมาได้มีผู้ออกแบบระบบก๊าซชีวภาพหลายราย ซึ่งเป็นการนำหลักการของเทคโนโลยี CSTR ดังกล่าวมาพัฒนาและปรับปรุงและได้ตั้งชื่อเทคโนโลยีใหม่ที่มีรากฐานจากเทคโนโลยี CSTR แตกต่างกันออกไป ดังนี้

-ระบบ SMART Digester

ระบบ SMART Digester มีลักษณะเป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบบ่อกวนสมบูรณ์ (Continuoustly Stirred Lagoon Reactor, CSLR) ซึ่งผู้พัฒนาระบบได้เรียกชื่อว่า Smart Digester® มีลักษณะเป็นบ่อคอนกรีตเสริมเหล็กลักษณะ แคบ ยาว ตื้น ที่มีการแบ่งพื้นที่ภายในออกเป็น 2 ห้อง (ดังแสดงในรูปที่ 2.3) ห้องที่หนึ่งหรือเรียกว่า “ห้องปฏิกิริยา” เป็นห้องที่เกิดปฏิกิริยาการบำบัดจนเกิดก๊าซชีวภาพ มีตำแหน่งอยู่ด้านในและห้องที่สองหรือเรียกว่า “ห้องแยกตะกอน” เป็นห้องที่มีตำแหน่งล้อมอยู่ภายนอกห้องปฏิกิริยาโดยรอบ

ห้องปฏิกิริยาจะประกอบด้วยผนัง 2 ด้าน ที่ขนานตามความความยาวของบ่อโดยมีผนังรูปครึ่งวงกลมตั้งอยู่ด้านหัวและด้านท้ายของห้อง ส่วนผนังตรงกลางจะแบ่งครึ่งตามความยาวบ่อ ส่วนล่างของผนังด้านข้างของห้องปฏิกิริยาเป็นช่องเปิดตลอดแนวเพื่อให้น้ำเสียไหลจากห้องปฏิกิริยาไปสู่ห้องแยกตะกอนและให้ตะกอนที่จมตัวอยู่ที่ด้านล่างของห้องแยกตะกอนไหลกลับมาห้องปฏิกิริยาด้วยแรงไหลเวียนของน้ำเสีย โดยเครื่องใบพัดมอเตอร์ใต้น้ำที่ติดตั้งโดยมีเสาเป็นที่ยึดการพัฒนา Smart Digester® ให้มีลักษณะดังกล่าวข้างต้น (ดังแสดงในรูปที่ 2.4) ซึ่งจะทำให้ระบบ Smart Digester® สามารถรักษาปริมาณตะกอนแบคทีเรียให้ดำรงอยู่ในระบบเป็นจำนวนมากด้วยการจมตัวเองตามธรรมชาติและมีเครื่องใบพัดเป็นตัวหมุนเวียนตะกอนแบคทีเรียดังกล่าวให้กลับมาทำงานได้อีกครั้ง โดยสามารถหมุนเวียนตะกอนเป็นจำนวนมากให้มาสัมผัสกับน้ำเสียเข้าสู่ระบบ จึงเป็นการเกิดปฏิกิริยาการบำบัดและผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว, มีประสิทธิภาพและมีความสมดุลสูงต่อความแปรปรวนที่เป็นปัจจัยเสี่ยงต่อการทำงานของแบคทีเรีย

รูปที่ 2.3 รูปแสดงระบบ SMART Digester



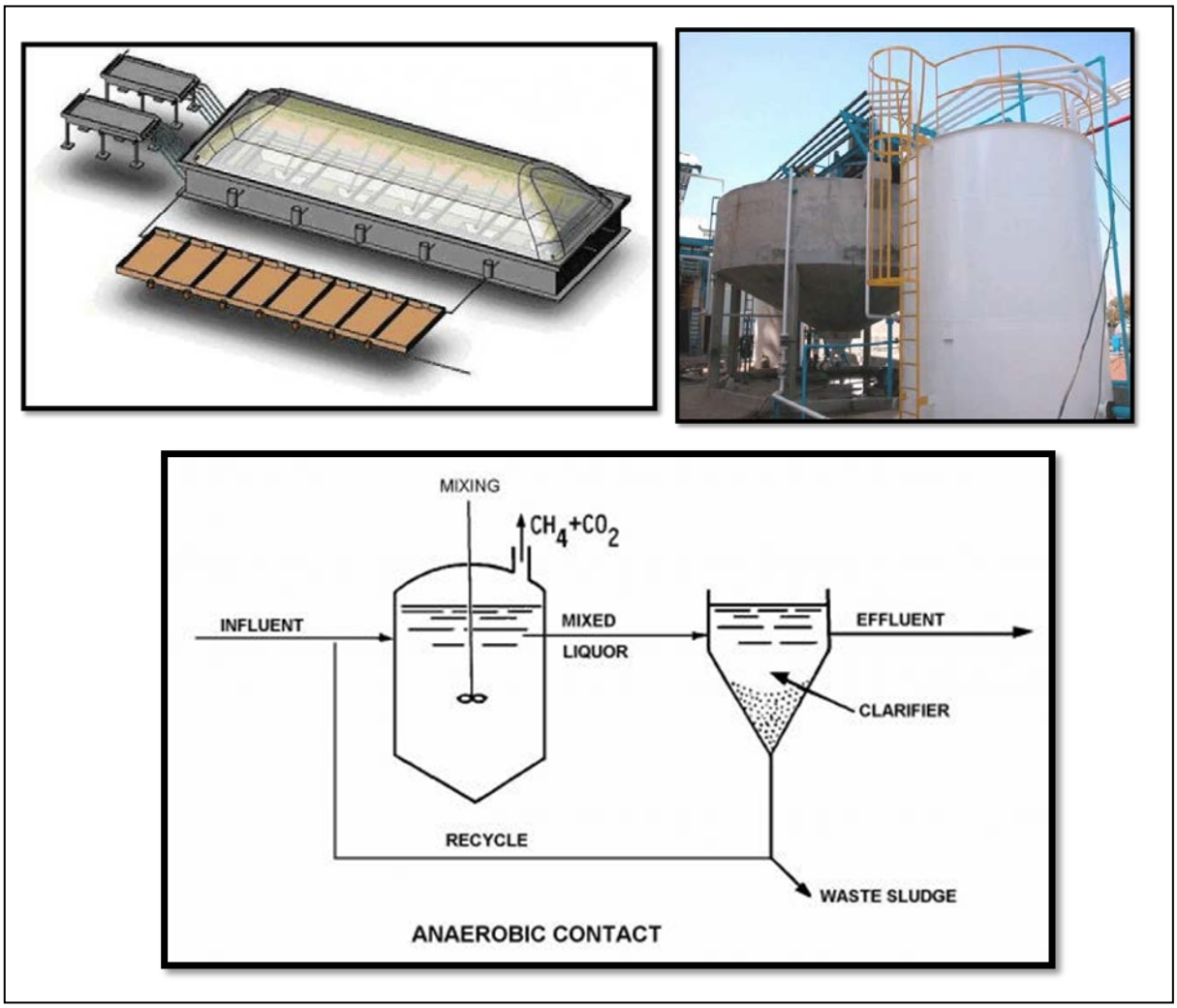
รูปที่ 2.4 รูปแสดงระบบ SMART Digester

-ระบบ A-CSTRth

ระบบ A-CSTRth เป็นระบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานกับน้ำเสียจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยมีตัวอย่างโรงงานที่ใช้งานระบบดังกล่าวแล้ว (ระบบ A-CSTRth) ได้แก่ บริษัท ชุมพรอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม จำกัด

2.2.2. ระบบ AC (Anaerobic contact)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Anaerobic contact เป็นระบบที่มีการดัดแปลงมาจากถังปฏิกิริยาแบบกวนสมบูรณ์ (CSTR) โดยมีการเพิ่มส่วนของถังตกตะกอนลงไปจึงทำให้ระบบมีลักษณะเหมือนกับถังปฏิกิริยาแบบตะกอนเร่ง จนบางครั้งมีผู้เรียกว่าเป็นระบบตะกอนเร่งแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Activated Sludge) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ระบบการทำงานของระบบนี้จะเพิ่มการหมุนเวียนตะกอนเพื่อเพิ่มเวลาเก็บกักตะกอนให้นานขึ้น ซึ่งทำให้ถังปฏิกิริยาแบบนี้ทำงานได้ดีกว่าแบบ CSTR แต่อย่างไรก็ตามหากตะกอนภายในถังอยู่ในสภาวะที่ตกตะกอนได้ยากก็อาจมีการติดตั้งอุปกรณ์หรือเติมสารเคมีเพื่อช่วยในการตกตะกอนเข้าไปด้วย ระบบ AC มักนิยมนำมาใช้เพื่อบำบัดขยะอินทรีย์ เช่น ระบบบำบัดขยะอินทรีย์ของเทศบาลระยอง เป็นต้น



รูปที่ 2.5 ระบบ AC (Anaerobic contact)

ข้อดี - ข้อเสียของระบบ **AC (Anaerobic contact)**

ข้อดีของระบบ **AC** คือระบบมีประสิทธิภาพสูงและมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบหมักไม่สูงมากนัก แต่มีข้อเสียของระบบตรงที่ ระบบมีความยุ่งยากในการออกแบบและควบคุมดูแลระบบเนื่องจากต้องระวังใน

การควบคุมปริมาณแบคทีเรียในระบบให้เหมาะสมซึ่งจะต้องมีการกวนผสมในถังหมักตลอดเวลาและตะกอนแบคทีเรียนั้นมีคุณสมบัติจมตัวยาก ดังนั้นอาจจำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นที่ช่วยทำให้ตะกอนแบคทีเรียนี้จมตัวดีขึ้น ซึ่งระบบถังหมักแบบ Anaerobic contact หรือ AC นี้ มักใช้กับน้ำเสียปริมาณสูง

2.2.3. บ่อหมักไร้อากาศ (Anaerobic Pond)

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีบ่อหมักไร้อากาศ มักจะใช้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงหรือพวกกากตะกอนที่เหลือจากระบบบำบัดอื่น ดังนั้นน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์สูงจึงไม่เหมาะกับระบบเติมอากาศแต่ก็สามารถนำระบบนี้มาบำบัดในระบบน้ำได้ บ่อหมักไร้อากาศส่วนใหญ่จะเป็นบ่อดินเปิด แคบ และลึกราว 6 เมตร เพื่อรักษาอุณหภูมิและป้องกันออกซิเจนในอากาศไม่ให้ลงไปรบกวนการทำงานของแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกซิเจน จึงทำให้บ่อหมักไร้อากาศง่ายต่อการออกแบบและควบคุมระบบ ราคาในการก่อสร้างระบบไม่แพงแต่ให้ประสิทธิภาพการทำงานสูง แต่น้ำเสียที่ผ่านระบบหลังจากถูกเก็บกักไว้นาน 10-30 วันจะยังคงมีกลิ่นและยังไม่ได้มาตรฐานน้ำทิ้งจึงจะต้องนำไปบำบัดในระบบอื่นต่อไป เว้นเสียแต่ว่าจะต่อบ่อเป็นแบบอนุกรมเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งจะต้องใช้พื้นที่เพิ่มมากขึ้นจึงไม่เป็นที่นิยมนำมาใช้กัน ระบบบ่อหมักไร้อากาศมีหลายลักษณะ ดังนี้

- ถังหมักไร้อากาศแบบปิด (Anaerobic Digester**)**

การทำงานของระบบถังหมักไร้อากาศแบบปิด จะมีระบบการทำงานคล้ายกับระบบบ่อหมักไร้อากาศแบบเปิด แต่แตกต่างกันที่รูปแบบซึ่งแบบปิดนี้จะสามารถลดกลิ่นเหม็นลงได้และยังสามารถนำก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ได้ เช่น ใช้หุงต้มอาหารผลิตไฟฟ้าและอื่นๆ แต่ประสิทธิภาพของถังหมักแบบปิดนี้ยังต่ำอยู่

- ถังหมักที่มีวัสดุกรอง (Anaerobic Filter)

ระบบถังหมักที่มีวัสดุกรองจะมีลักษณะคล้ายถังกรองทรายแต่วัสดุที่บรรจุอยู่เป็นพวกพลาสติก การทำงานของถังแบบนี้ คือน้ำเสียจะเข้าทางด้านล่าง (Upflow) ของถังหมักแล้วผ่านขึ้นมาทางผิวบนของถังหมัก ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดของถังหมักที่มีวัสดุกรองจะสูงประมาณ 90% และสามารถเก็บก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้ เนื่องจากไม่ต้องสูบตะกอนกลับเพราะภายในถังจะมีแบคทีเรียเกาะอยู่ที่ตัวกลางเหมือนแผ่นฟิล์มหุ้มตัวกลางพลาสติกไว้ แต่ตัวกลางดังกล่าวที่อยู่ในถังหมักนี้เองที่ส่งผลให้การก่อสร้างถังหมักมีราคาแพง

<u>ข้อดีและข้อเสียของระบบหมักไร้อากาศ</u>

ข้อดีของระบบหมักแบบไร้อากาศนั้นก็คือ สามารถใช้ระบบดังกล่าวนี้บำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูงๆ ได้ มีราคาในการก่อสร้างระบบถูกและง่ายต่อการออกแบบ ทั้งการควบคุมดูแลก็ไม่ยุ่งยากแต่ก็มีข้อเสียที่ว่าระบบนี้จำเป็นจะต้องใช้พื้นที่มาก, ระบบมีประสิทธิภาพต่ำและน้ำทิ้งมีสีดำทั้งยังมีกลิ่นเหม็น

<u>การควบคุมระบบ</u>

1. คุมระดับอัตราส่วนกรดระเหยต่อด่างไม่ให้เกิน 0.3
2. ค่า PH อยู่ระหว่าง 6.5 -7.4

3. รักษาแอมโมเนียไม่ให้เกิน 200 มิลลิกรัมต่อลิตร
4. รักษาระดับคาร์บอนไดออกไซด์ ถ้ามีคาร์บอนไดออกไซด์มากจะทำให้เกิดฟองขึ้นได้

2.2.4. ระบบบ่อผึ่ง (Oxidation Pond)

ระบบบ่อผึ่งเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีวเคมี ซึ่งเป็นระบบที่เหมาะกับประเทศในเขตร้อน เนื่องจากมีแสงแดดตลอดปี ระบบบ่อผึ่งเป็นระบบที่เสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบไม่สูง ดูแลรักษาง่าย ประสิทธิภาพดี ให้ผลพลอยได้และไม่เปลืองพลังงานเพราะใช้พลังงานจากแสงอาทิตย์ ดังนั้นจึงเหมาะกับประเทศที่กำลังพัฒนาที่มีราคาที่ดินไม่แพงนักเพราะระบบบ่อผึ่งนั้นจำเป็นจะต้องใช้พื้นที่กว้างพอสมควร

บ่อผึ่งมีชื่อเรียกหลายชื่อตามความลึกของบ่อแต่หลักการทำงานของทุกแบบนั้นเหมือนกัน ชนิดบ่อผึ่งที่มีความลึก 0.3-0.45 เมตร มีออกซิเจนอยู่ตลอดทั้งบ่อ เรียกว่า Aerobic Pond ส่วนบ่อที่มีความลึก 1-1.5 เมตร มีออกซิเจนละลายอยู่เกือบทั้งบ่อ (ยกเว้นบริเวณก้นบ่อ) แต่ปริมาณความเข้มข้นไม่เท่ากันซึ่งปริมาณออกซิเจนจะมีมากบนผิวน้ำและลดน้อยลงไปเรื่อยๆ ตามความลึกของบ่อ เรียกว่า Facultative Pond หรือ Oxidation Pond และบ่อที่มีความลึกมากกว่า 4 เมตร เป็นบ่อไร้อากาศ มีออกซิเจนละลายอยู่เฉพาะส่วนผิวน้ำเท่านั้น เรียกว่า Anaerobic Pond

บ่อผึ่งที่จะกล่าวต่อไปนี้ นั้นมีความลึกไม่เกิน 1.5 เมตร โดยลักษณะของบ่อเป็นบ่อดินเปิดอยู่กลางแดด ถ้ามองจากด้านบนจะเห็นเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและมองจากด้านข้างจะเห็นเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูโดยมีความลาดเอียงจากขอบบ่อถึงก้นบ่อประมาณ 1 ต่อ 3 เพื่อกันดินขอบบ่อพังทลายสู่ก้นบ่อ น้ำเสียที่เข้ามาในบ่อผึ่งจะถูกกักไว้นานไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ระยะเวลาของการเก็บกักน้ำเสียอาจเป็น 1 วัน จนถึง 1 เดือนก็เป็นได้ (การกำหนดเวลาเก็บกักที่แน่นอนจะทำได้ต่อเมื่อทราบความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำเสีย) ส่วนขนาดของบ่อจะใหญ่หรือเล็ก มีเพียงบ่อเดียวหรือหลายบ่อต่อกันแบบอนุกรมขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียและพื้นที่ที่จะใช้ทำบ่อผึ่ง

ลักษณะการทำงานของบ่อผึ่งประกอบด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียหลายรูปแบบทำงานรวมกัน โดยสารแขวนลอยที่ปนมากับน้ำเสียที่มีขนาดใหญ่จะตกลงสู่ก้นบ่อด้วยวิธีการทางกายภาพ หลังจากนั้นจะเกิดการย่อยสลายด้วยระบวนการทางชีวเคมีแบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่วนสารละลายอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนจะกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ส่วนน้ำและแบคทีเรียเซลล์ใหม่อาจมีพวกแอมโมเนียและฟอสเฟตปนอยู่ด้วย จากนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกสาหร่าย (Algae) นำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงรวมกับสารประกอบไนโตรเจนและฟอสฟอรัสกลายเป็นสาหร่ายเซลล์ใหม่และออกซิเจน ซึ่งออกซิเจนนี้จะถูกใช้โดยแบคทีเรียวนเวียนเป็นวัฏจักรต่อไป นอกจากนี้แบคทีเรียยังได้รับออกซิเจนจากอากาศที่ละลายเติมลงมาด้วย และหากมีกระแสลมแรงเกิดขึ้นขณะกระบวนการกำลังดำเนินอยู่นั้น จะทำให้การเติมออกซิเจนเพิ่มขึ้นอีกด้วย

การควบคุมดูแลบ่อผึ่งให้มีประสิทธิภาพสูงและสามารถทำงานได้ตรงตามที่ต้องการ จะต้องควบคุมน้ำเสียที่เข้ามาในบ่อ ให้น้ำนั้นมีสารอินทรีย์ในรูปบีโอดี (BOD) ไม่เกิน 10 กรัมบีโอดีต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรต่อวัน และน้ำเสียจะถูกกักเก็บไว้ราว 7-10 วัน มีความหนาแน่นของสาหร่ายไม่เกิน 150 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานอยู่ที่ประมาณ 80-90% หากปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ปล่อยเข้ามาสูงกว่าที่กำหนดไว้ข้างต้นนั้น อาจทำให้บ่อมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้นได้

จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นแล้วนั้น จะเห็นได้ว่าระบบบ่อผึ่งนี้จะต้องใช้พื้นที่การทำงานของระบบมาก ซึ่งอาจจะไม่เหมาะกับสถานที่ที่มีราคาที่ดินแพง ดังนั้นจึงได้มีผู้คนจำนวนมากที่พยายามหาวิธีที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของบ่อผึ่งโดยไม่ต้องเพิ่มพื้นที่ ด้วยการเติมแผ่นวัสดุสำหรับให้จุลินทรีย์เกาะลงไปในบ่อเพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่ให้จุลินทรีย์เกาะ (เพิ่มปริมาณจุลินทรีย์) ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้ปริมาณมากขึ้น โดยไม่ต้อง

ขยายบ่อ และด้วยวิธีนี้ก็จะสามารถเพิ่มปริมาณการบำบัดได้ถึง 25% โดยมีประสิทธิภาพเท่าเดิมและยังทำให้ปริมาณสารอาหารในน้ำทิ้งลดน้อยลงกว่าเดิม ซึ่งถือได้ว่าเป็นการป้องกันไม่ให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว (Eutrophication) ในแหล่งน้ำได้อีกด้วย

ข้อดีและข้อเสียของบ่อผึ่ง

ข้อดี: - ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง การควบคุม และบำรุงรักษาต่ำ
- ดูแลรักษาง่าย ไม่ต้องใช้บุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญมาก
- ไม่ต้องใช้เครื่องจักรกล ประหยัดไฟฟ้า เพราะใช้พลังแสงแดด
- น้ำทิ้งได้มาตรฐานเพราะมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง
- สามารถกำจัดเชื้อโรคได้เพราะมีระยะเก็บกักนาน
- เป็นระบบที่สามารถปรับเปลี่ยนเป็นระบบอื่นได้ง่าย
- สาหร่ายที่ได้จากบ่อผึ่งมีโปรตีนสูงสามารถนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ได้ เป็นผลพลอยได้ที่มีราคา
- น้ำทิ้งจากบ่อผึ่งอาจนำไปเลี้ยงปลา หรือรดต้นไม้ได้

ข้อเสีย: - ต้องใช้พื้นที่มาก ไม่เหมาะกับเมืองใหญ่ ๆ
- ในฤดูฝนซึ่งแสงแดดน้อย อาจเกิดกลิ่นเหม็นและประสิทธิภาพการบำบัดลดลงได้
- เป็นแหล่งเพาะยุงหรือหนูหากปล่อยให้หญ้าขึ้นรกตามขอบบ่อ
- อาจถูกรบกวนด้วยสัตว์เซลล์เดียวพวก Rotifer ซึ่งจะกินสาหร่ายและแบคทีเรียเป็นอาหารทำให้สาหร่ายและแบคทีเรียในบ่อหมดไปอย่างรวดเร็ว

การควบคุมดูแล

1. จะต้องปรับ PH ในบ่อไม่ให้เป็นกรด ซึ่งหากพบว่าค่าPH ในบ่อต่ำลงจะต้องปรับค่าด้วยปูนขาว
2. จะต้องดูแลความหนาแน่นของสาหร่ายไม่ให้เกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้ มิฉะนั้นแล้วตอนกลางคืนอาจมีออกซิเจนไม่พอเพียงที่สาหร่ายและแบคทีเรียจะใช้หายใจและจะทำให้สาหร่ายตายได้
3. หากพบว่าบ่อมีกลิ่นเหม็นให้เติมสารโซเดียมไนเตรทดับกลิ่น แล้วตรวจความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เข้ามาในบ่อ ซึ่งอาจเกินเกณฑ์ที่กำหนดไว้
4. หมั่นตัดหญ้าขอบบ่อเพื่อไม่ให้เป็นแหล่งเพาะยุงและหนูหรือสัตว์อื่นๆ

ผลพลอยได้จากระบบบ่อผึ่ง

ผลพลอยได้จากระบบบ่อผึ่ง ซึ่งหากต้องการใช้สาหร่ายที่มีคุณค่าโปรตีนสูงเพื่อนำมาเป็นอาหารสัตว์นั้นก็สามารถแยกสาหร่ายออกจากน้ำทิ้งได้ โดยการถ่ายน้ำทิ้งลงในบ่อพักที่มีความลึกประมาณ 30 เซนติเมตร แล้วปรับค่าพีเอช (PH) ให้สูงกว่า 9 แล้วกักไว้ระยะหนึ่งสาหร่ายจะตกลงสู่ก้นบ่อ จากนั้นให้ระบายน้ำส่วนบนทิ้ง ก็จะได้สาหร่ายโปรตีนสูงสามารถนำไปลี้ยงสัตว์ตามต้องการ หรือหากนำสาหร่ายไปตากแห้งก็จะสามารถเก็บไว้ได้ หรือหากต้องการใช้น้ำทิ้งจากบ่อผึ่งไปเลี้ยงปลาก็จะต้องเจือจางให้สาหร่ายน้อยลงด้วยน้ำปริมาณ 3 เท่าของน้ำทิ้งก่อนถ่ายลงสู่บ่อเลี้ยงปลา (น้ำที่เป็นผลพลอยได้จากวิธีนี้ใช้เลี้ยงปลาที่กินพืชเป็นอาหาร) โดยให้มีจำนวนปลาประมาณ 4-10 ตัวต่อน้ำหนึ่งลูกบาศก์เมตร และจะได้ปลาที่มีน้ำหนักมากกว่าครึ่งกิโลกรัมซึ่งเป็นขนาดที่ตลาดต้องการหลังจากเลี้ยงไว้ 6-7 เดือน ซึ่งปลานี้จะต้องนำไปทำให้สุกก่อนรับประทานเพื่อความปลอดภัย

2.2.5. ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Legoons)

ระบบบ่อเติมอากาศมีลักษณะคล้ายกับบ่อผึ่งแต่แตกต่างกันที่ระบบบ่อเติมจะมีขอบบ่อที่หนาและแข็งแรงมากกว่าเพื่อให้บ่อมีความคงทนต่อแรงกระแทกของคลื่นที่เกิดจากเครื่องเติมอากาศ ขนาดของบ่อแบบเติมอากาศจะมีขนาดเล็กกว่าบ่อผึ่ง เนื่องจากบ่อจะมีความลึกมากกว่าซึ่งโดยทั่วไปจะมีความลึกประมาณ 3 - 4.5 เมตร ระบบบ่อแบบเติมอากาศนี้จะมีออกซิเจนที่ละลายน้ำไม่ได้ ซึ่งเกิดจากการสังเคราะห์แสงของสาหร่าย แต่เนื่องจากการเติมอากาศโดยใช้เครื่องจักรกล (Surface Aerator) ดังนั้นปริมาณออกซิเจนในน้ำจึงถูกจำกัดน้อยกว่าแบบบ่อผึ่ง

เครื่องเติมอากาศที่มีขนาดพอเหมาะและมีประสิทธิภาพสูงจะสามารถกระจายออกซิเจนไปได้อย่างทั่วถึง ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้พลังงานในการเติมอากาศไม่น้อยกว่า 25 แรงม้าต่อปริมาตรน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เมตร เพราะหากเครื่องเติมอากาศมีพลังงานน้อยกว่านี้ อาจทำให้เกิดการตกตะกอนของจุลินทรีย์ในบางส่วนของบ่อ การหมุนเวียนและผสมผสานของอากาศ น้ำและจุลินทรีย์ขึ้นได้โดยเฉพาะในบริเวณใกล้เครื่องเติมอากาศ ส่วนที่ไกลออกไป เช่น บริเวณริมบ่อจะมีการตกตะกอนของจุลินทรีย์ซึ่งจะถูกย่อยสลายแบบไร้อากาศและในเวลาต่อมาบ่อที่เกิดการกระจายของออกซิเจนไม่ทั่วทั้งบ่อนั้นจะเรียกว่า Facultative Aerated Lagoon ส่วนบ่อที่มีการกระจายของออกซิเจนทั่วทั้งบ่อเรียกว่า Aerobic Aerated Legoon ซึ่งบ่อประเภท Aerobic Aerated Legoon นี้จะมีประสิทธิภาพการทำงานดีกว่าบ่อประเภท Facultative Aerated Lagoon ที่มีตะกอนเกิดขึ้นมากกว่าจึงทำให้บ่อแบบแรกสิ้นเปลืองไฟฟ้าน้อยกว่า ส่วนการจะเลือกใช้บ่อชนิดใดนั้น ขึ้นอยู่กับระดับของการบำบัดที่ต้องการ

การทำงานของบ่อเติมอากาศ เริ่มต้นที่น้ำเสียจะถูกส่งเข้ามาทางหนึ่งและปล่อยออกอีกทางหนึ่ง โดยที่สารอินทรีย์ที่ปนมากับน้ำเสียนั้นจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ชนิดใช้ออกซิเจนจนกลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และจุลินทรีย์ตัวใหม่ ซึ่งปริมาณของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นจะมีประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาณสารอินทรีย์ (BOD) ที่ถูกย่อยสลายไปโดยน้ำหนัก นอกจากนี้อาจมีสาหร่ายเกิดขึ้นบ้างแต่ไม่มากนักเนื่องจากสาหร่ายจึงไม่ได้รับแสงแดดเพียงพอเพราะเครื่องเติมอากาศทำให้น้ำในบ่อหมุนเวียนอยู่ตลอดเวลา สำหรับบ่อที่ออกซิเจนกระจายได้อย่างทั่วถึง น้ำเสียจะถูกกักเก็บไว้เพียง 3 วัน ส่วนบ่อที่ออกซิเจนกระจายไม่ทั่วถึงทั้งบ่อน้ำเสียจะถูกเก็บไว้นานมากกว่า 6 วัน สำหรับตะกอนที่ก้นบ่ออาจถูกสูบออกในช่วง 1-10 ปี โดยทั่วไประบบนี้ไม่มีการสูบตะกอนกลับทำให้น้ำทิ้งจากระบบมีตะกอนหลุดไปได้ ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบบ่อเติมอากาศนี้อยู่ที่ประมาณ 60-90% ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ปริมาณออกซิเจนที่เติมลงในน้ำและระดับความต้องการที่จะบำบัด

จากระบบการทำงานแบบบ่อเติมอากาศซึ่งหากพบว่าน้ำทิ้งที่ออกไปมีสารแขวนลอยสูงจะต้องนำน้ำทิ้งดังกล่าวนั้นมาผ่านการทิ้งให้ตกตะกอนเพื่อลดสารแขวนลอยเสียก่อนจึงจะสามารถปล่อยลงแหล่งน้ำตามธรรมชาติได้ ส่วนตะกอนที่ตกลงมานั้นควรนำไปบำบัดต่อจึงจะสมบูรณ์ วิธีที่ง่ายคือ การรีดเอาน้ำออก (filter press) แล้วขนไปฝังกลบในที่ๆ เหมาะสม หรือทำให้ตะกอนแห้งเสียก่อนแล้วจึงนำไปปลูกต้นไม้หรือผสมทำปุ๋ยต่อไปหรือหากพบว่าน้ำทิ้งมีปริมาณไนเตรทสูง (nitrification) ควรกำจัดออกด้วยวิธี denitrification แล้วจึงระบายลงสู่แม่น้ำเพราะมิฉะนั้นจะทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วในแม่น้ำได้

<u>ข้อดี - ข้อเสียของบ่อเติมอากาศ</u>

ข้อดี:
- ปริมาณการบำบัดสูงกว่าบ่อผึ่ง เพราะออกซิเจนไม่ใช่ข้อจำกัดของระบบบ่อเติมอากาศ
- ระบบบ่อเติมอากาศไม่ต้องใช้ผู้ควบคุมที่มีความรู้สูงเพราะไม่ต้องควบคุมความเข้มข้นของจุลินทรีย์
- ประสิทธิภาพสูง
- ปริมาณไฟฟ้าใช้น้อยกว่าการเลี้ยงตะกอน
- ก่อสร้างง่าย ไม่ต้องสูบตะกอนกลับ

- มีตะกอนส่วนเกินที่จะต้องไปบำบัดต่อน้อย

ข้อเสีย: - ระบบบ่อเติมอากาศจะมีตะกอนหลุดออกไปกับน้ำทิ้ง
- การบำบัดไม่เท่ากันทุกจุดเพราะออกซิเจนกระจายไม่ทั่วถึง
- อาจเกิดฟองจากการกวนของเครื่องเติมอากาศ
- ใช้พื้นที่ในการก่อสร้างระบบมาก
- ขอบบ่อและก้นบ่อชำรุดได้ง่ายหากเป็นบ่อดิน

<u>การควบคุมดูแล</u>

1. ต้องควบคุมน้ำเสียให้เข้าบ่อออย่างสม่ำเสมอ
2. ตรวจค่าออกซิเจนให้ละลายอยู่อย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
3. ค่า PH อยู่ในช่วง 6.8-8
4. ควบคุมไม่ให้เกิดฟองด้วยการฉีดน้ำ
5. ตรวจจุลินทรีย์และระวังไม่ให้มีสัตว์เซลล์เดียวพวก Rotifer ซึ่งจะกินจุลินทรีย์และสาหร่ายในบ่อ
6. ตรวจสอบเครื่องเติมอากาศให้ทำงานได้ดีอยู่เสมอ

2.3. หลักการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

2.3.1. การเลือกสถานที่: ในการเลือกสถานที่ในการก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพนั้น ควรก่อสร้างอยู่ในบริเวณที่มีแสงสว่างส่องถึงเพราะจะทำให้ระบบการหมักทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและควรเลือกสร้างในบริเวณที่ดอน น้ำท่วมไม่ถึง มีระดับน้ำใต้ดินที่อยู่ลึก

2.3.2. การเลือกแบบบ่อหมักแก๊สชีวภาพ: การพัฒนาแบบการสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพเพื่อให้มีความเหมาะสมกับสภาพของแต่ละพื้นที่ จำเป็นจะต้องยึดหลักที่ว่า ต้องสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อย ง่ายแก่การปฏิบัติและการควบคุมดูแลรักษา มีประสิทธิภาพสูงเหมาะกับการใช้พลังงานประจำวัน ซึ่งต้องคำนึงถึงสิ่งต่อไปนี้ได้แก่

- สถานที่ที่จะสร้างบ่อแก๊สชีวภาพ
- ขนาดของบ่อหมัก
- ลักษณะของแบบหรือรูปทรงของบ่อที่เหมาะสม
- จำนวนสัตว์ที่เลี้ยงอยู่ในฟาร์มซึ่งจะสัมพันธ์กับมูลที่ถ่ายออกมา
- เงินทุนที่ใช้ในการก่อสร้าง
- การใช้กระแสไฟฟ้าภายในฟาร์ม
- วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ก่อสร้างบ่อก๊าซชีวภาพ
- หน่วยงานทางราชการที่ให้คำปรึกษาเฉพาะด้านที่เกี่ยวกับเรื่องก๊าซชีวภาพ

2.3.3. ขั้นตอนการสร้างบ่อก๊าซชีวภาพ: เริ่มต้นจากการสำรวจพื้นที่และชนิดของดินบริเวณที่จะก่อสร้างบ่อก่อน ต่อมาให้วางผังโดยใช้ปูนขาวโรยบริเวณที่เราจะขุดบ่อ ซึ่งบ่อที่จะขุดมีทั้งหมด 3 บ่อ ได้แก่บ่อเติม บ่อหมักและบ่อล้น จากนั้นจึงขุดบ่อตามแบบที่เราต้องการโดยเริ่มต้นก่อสร้างบริเวณก้นบ่อก่อนทุกบ่อ แต่งรูปทรงบ่อให้ราบเรียบแล้วจึงเริ่มก่อผนังของแต่ละบ่อแล้วจึงทำการสร้างที่เก็บกักก๊าซที่ได้จากการหมักและโรงผลิตกระแสไฟฟ้า

2.4. ประเภทของบ่อก๊าซชีวภาพ

2.4.1. แบบยอดโดมหรือแบบฟิกซ์โดม (Fixed Dome) มีลักษณะของบ่อเป็นทรงกลมและฝังอยู่ใต้ดิน ส่วนที่กักเก็บก๊าซมีลักษณะเป็นโดม บ่อก๊าซชีวภาพแบบนี้เหมาะสำหรับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อดีคือ ประหยัดพื้นที่ในการทำบ่อบริเวณฟาร์มและง่ายต่อการต่อรางระบายมูลสุกรจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมัก

2.4.2. แบบรางขนานหรือแบบปลั๊กโฟลว์ (Plug flow) มีลักษณะบ่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูและฝังในดิน ส่วนที่ใช้กักเก็บก๊าซจะใช้ผ้าพลาสติกที่เรียกว่า red-mud-plastic คลุมส่วนของบ่อหมักไว้ บ่อแบบนี้มีข้อดี คือ เนื่องจากลักษณะของบ่อเป็นแนวจึงทำให้ระยะเวลาในการหมักมูลสุกรมากขึ้น ซึ่งถ้ามูลสุกรมีเวลาในการหมักนานจึงทำให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมีมากขึ้นด้วย

2.4.3. แบบไฮฟี (HIPHI) เป็นระบบการกำจัดของเสียแบบไฮฟี (HYPHI) คำว่าไฮฟี (HYPHI) ย่อมาจากคำว่า Hybrid Plug - flow High-rate System ระบบนี้ออกแบบขึ้นมาเพื่อกำจัดของเสียจากฟาร์มสุกรระดับกลางถึงระดับใหญ่หรือฟาร์มขนาด ประมาณ 1,500 ตัว โดยมีจุดประสงค์มุ่งกำจัดของเสียที่เป็นของแข็งที่มีความเข้มข้นต่ำ ได้แก่ มูลสุกรและส่วนที่เป็นของเหลว (ปัสสาวะและน้ำล้างคอก) ระบบไฮฟีจะประกอบด้วยถังหมักตะกอนแบบหมักช้า (Plug -flow) และประกอบถังหมักของเสียเป็นน้ำแบบหมักเร็ว (High-rate) เข้าไปด้วยเพื่อทำให้ระบบการกำจัดของเสียดังกล่าวสามารถกำจัดของเสียที่เป็นน้ำได้ปริมาณมาก

<u>การบำรุงดูแลรักษาบ่อก๊าซชีวภาพ</u>

บ่อก๊าซชีวภาพนั้น จำเป็นต้องหมั่นตรวจสอบเครื่องยนต์ โดยการตรวจเช็คน้ำมันเครื่อง หัวเทียน ท่อนำก๊าซและพยายามทำความสะอาดที่เก็บก๊าซอยู่เสมอ

<u>ปัญหาและวิธีแก้ไข</u>

1. ปัญหาเรื่องทางออกของบ่อหมักปิดตัน ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเปิดบ่อและขุดลอกกากตะกอนที่ตกค้างอย่างน้อย 1 ครั้งต่อ 3 ปี

2. ปัญหาเรื่องเครื่องยนต์ร้อนเกินไป ซึ่งสามารถแก้ไขได้โดยการเลือกใช้เครื่องยนต์ที่มีช่องระบายน้ำขนาดใหญ่หรือต่อพัดลมบริเวณด้านหน้าของหม้อน้ำ รังผึ้งอีก 1 ตัว และดูแลเรื่องตะกอนในหม้อน้ำ

3. ปัญหาเรื่องท่อก๊าซ ท่อก๊าซตันเกิดจากไอน้ำที่เป็นส่วนหนึ่งของก๊าซชีวภาพ แล้วมารวมตัวกันเป็นหยดน้ำ ซึ่งเมื่อเกิดมากขึ้นจะทำให้ไปปิดกั้นทางเดินของก๊าซ แก้ไขโดยการทำที่ระบายน้ำออกเป็นระยะๆ

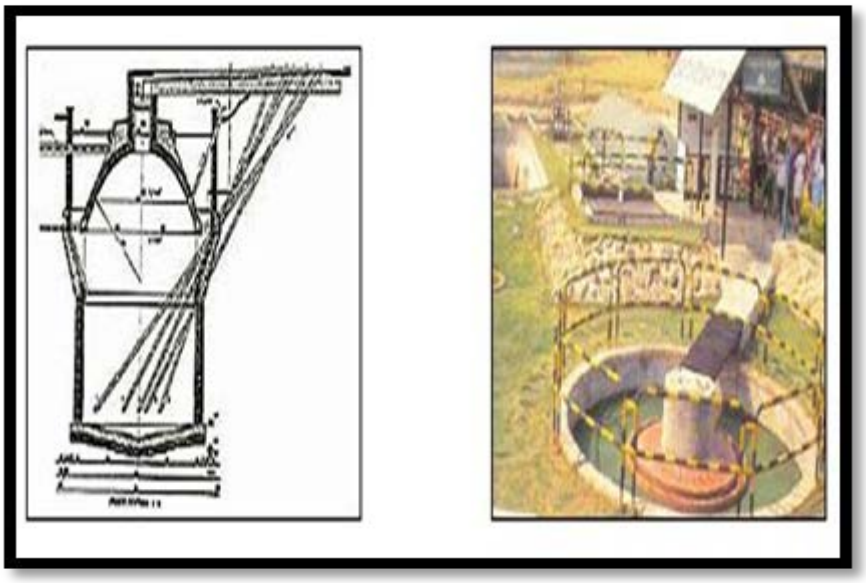
บทที่ 3
หลักการทำงานและเทคโนโลยีที่นำมาใช้

3.1. หลักการทำงานของระบบก๊าซชีวภาพ

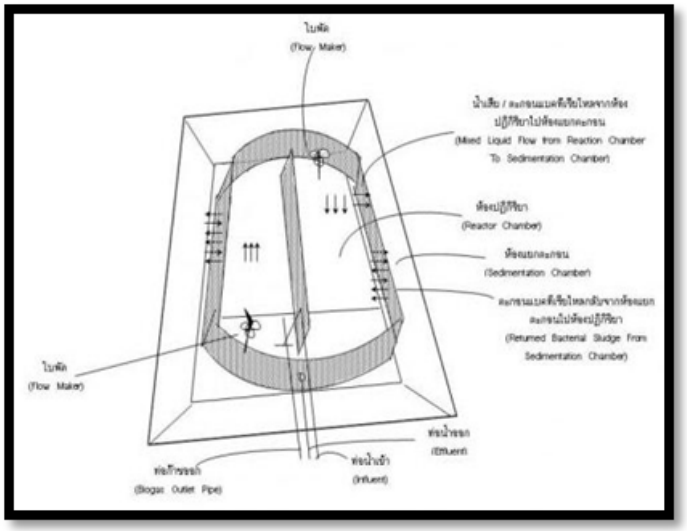
ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการผลิต ก๊าซชีวภาพมักใช้สารอินทรีย์หลายชนิด เช่น มูลสัตว์ของเสียภายในฟาร์ม วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เศษอาหาร น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม อินทรีย์สารเหล่านี้เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในวัฏจักรคาร์บอน เชื้อจุลินทรีย์ Methanogen เป็นผู้บริโภคลำดับสุดท้ายของห่วงโซ่อาหาร ซึ่งในกระบวนการย่อยสลายก๊าซชีวภาพที่ได้จะมีองค์ประกอบหลัก คือ ก๊าซมีเทน (Methane, CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide, CO_2) เป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่สามารถจุดติดไฟได้และให้ค่าพลังงานความร้อนที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ประโยชน์

การนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียและนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนมานานกว่า 15 ปี ซึ่งเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในแต่ละโรงงานนั้นจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสียในแต่ละประเภทของอุตสาหกรรม แต่เนื่องจากในอดีตราคาน้ำมันยังไม่สูงมากเมื่อเทียบกับในปัจจุบัน ทำให้ทั้งภาครัฐและเอกชนไม่ค่อยให้ความสำคัญกับพลังงานทดแทนจากก๊าซชีวภาพ แต่ในสภาวะปัจจุบันที่ราคาน้ำมันมีความผันผวนและมีราคาสูง จึงทำให้ความต้องการพลังงานทดแทนที่มีราคาถูกกว่ามีมากขึ้นนับตั้งแต่ในปี 2548 เป็นต้นมา ธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับพลังงานทดแทนและการผลิตก๊าซชีวภาพได้มีการเติบโตขึ้นอย่างมาก โดยได้มีการประยุกต์ใช้ก๊าซชีวภาพในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำมันปาล์ม อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมผลิตอาหาร อุตสาหกรรมผลิตเอทานอล ฟาร์มปศุสัตว์ และระบบจัดการขยะชุมชน เป็นต้น ซึ่งระบบก๊าซชีวภาพที่ประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เป็นระบบที่มีส่วนประกอบหลายอย่างที่ทำงานสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี ซึ่งสามารถแยกออกเป็นขั้นตอนการทำงานของระบบเป็นหลักใหญ่ๆ ได้ 3 ขั้นตอน ดังนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในบ่อหมักแบบราง (Channel Digester) ในขั้นตอนนี้ บ่อหมักแบบรางยังทำหน้าที่ในการแยกของเสียส่วนข้นและส่วนใสออกจากกันด้วยของเสียส่วนข้นจะถูกหมักย่อยในบ่อหมักแบบรางนี้ประมาณ 30–40 วัน จนอยู่ในสภาวะที่เสถียร (stabilized) และผ่านเข้าสู่ลานกรองของแข็ง (Slow Sand Bed Filter : SSBF) โดยที่ลานกรองนี้จะต่อเชื่อมกับบ่อหมักแบบรางและรับกากของเสียส่วนข้นที่ผ่านการหมักย่อยแล้ว จากบ่อหมักแบบรางกากของเสียที่ได้จากลานกรอง ของแข็งนี้ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งเป็นที่ต้องการของพื้นที่เพาะปลูกมาก สำหรับของเสียส่วนใสซึ่งมีปริมาณ 80–90% ของของเสียทั้งหมด จะไหลผ่านไปยังบ่อหมักแบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) เพื่อบำบัดในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป



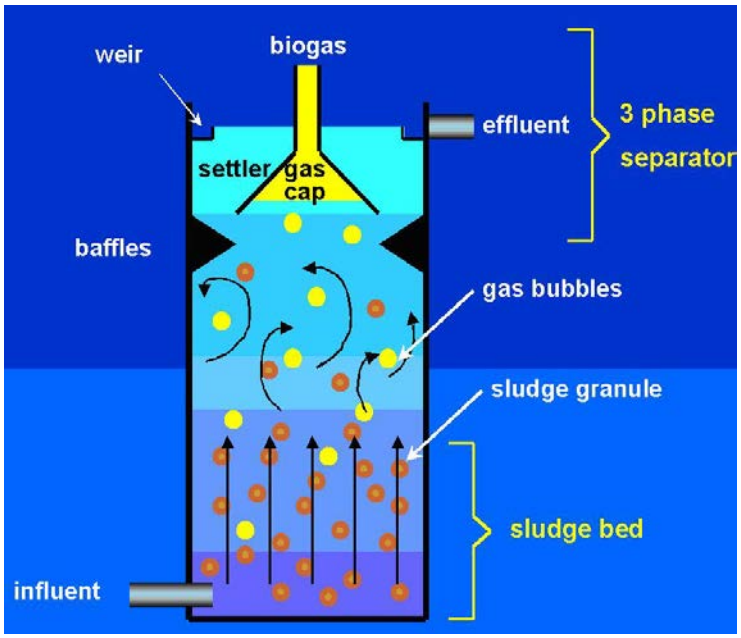
รูปที่ 3.1 บ่อหมักแบบ UASB



รูปที่ 3.2 บ่อหมักแบบราง (Channel Digester)

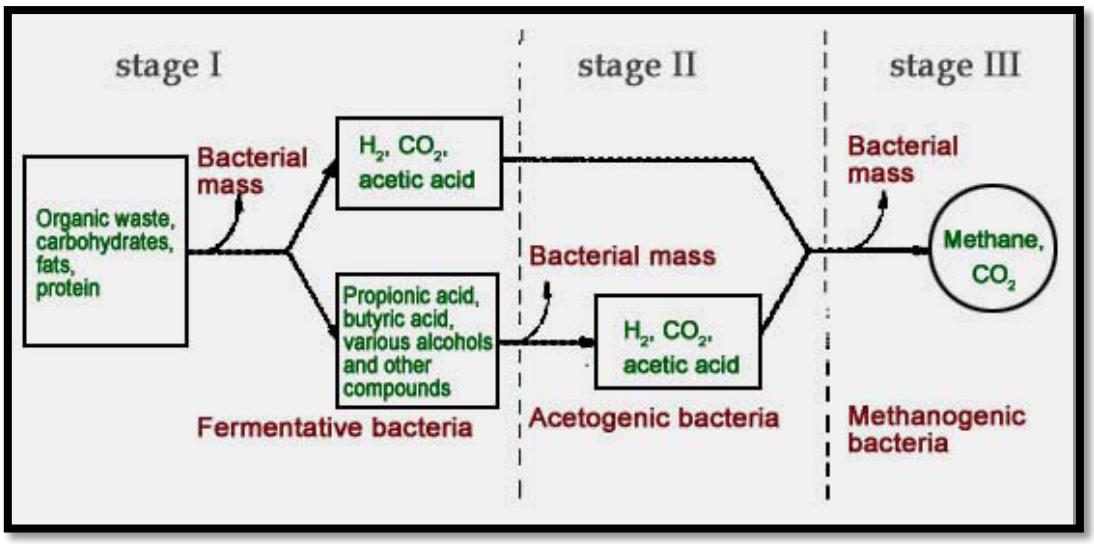
<u>ขั้นตอนที่ 2</u> การบำบัดและย่อยสลายเกิดขึ้นในบ่อหมักแบบ UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor) เป็นวิธีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในช่วง 20 ปี ที่ผ่านมา ซึ่งถือได้ว่าเป็นระบบที่ประสิทธิภาพสูงและมีค่าก่อสร้างที่ต่ำเมื่อเทียบกับระบบอื่นแต่ระบบ UASB นี้ก็มีความยุ่งยากในการเลี้ยงตะกอนเม็ดจากตะกอนเบาและไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง สารอินทรีย์ส่วนใหญ่ในน้ำเสียที่อยู่ในรูปของสารละลายจะถูกย่อยสลายในบ่อหมัก UASB และกลายเป็นก๊าซชีวภาพในที่สุด ซึ่งมีอัตราส่วน2 ถึง 3 ของปริมาตรของบ่อหมักแบบรางต่อ 1 ของปริมาตรบ่อหมัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียจากฟาร์มที่เข้าสู่ระบบบำบัด น้ำที่ผ่านการบำบัดจากบ่อหมักแบบ UASB แล้วนี้จะมีค่า COD ประมาณ 800-1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งในขั้นตอนของการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนจะสามารถลดค่าความสกปรกของสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียได้ประมาณร้อยละ 95 ของค่าความสกปรกเริ่มต้น กระบวนการของบ่อหมักแบบ UASB นั้นจะเริ่มต้นจากน้ำเสียถูกสูบเข้าก้นถังตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถังจะแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง (Sludge Bed) เป็นตะกอนเม็ดซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่น ส่วนชั้นที่ 2 เรียกว่า Sludge

Blanket ซึ่งเป็นแบคทีเรียแบบเบา ช่วงบนของถังหมักจะมีอุปกรณ์แยกก๊าซชีวภาพและตะกอนแบคทีเรีย (Gas solid Separator) ลักษณะการทำงานของระบบ UASB ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงลักษณะการทำงานของระบบ UASB

ขั้นตอนที่ 3 โดยในขั้นตอนนี้กล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนของการบำบัดขั้นหลัง (Post Treatment) ซึ่งเป็นการบำบัดที่ออกแบบระบบให้มีการทำงานที่เลียนแบบธรรมชาติโดยอาศัยการทำงานของพืช สาหร่าย สัตว์น้ำเล็กๆ และแบคทีเรียซึ่งเกิดตามธรรมชาติร่วมทำงานสัมพันธ์กันเพื่อบำบัดน้ำที่ได้ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาแล้วในขั้นต้นให้สะอาดมากยิ่งขึ้น จนถึงขั้นที่สามารถหมุนเวียนนำกลับมาใช้ทำความสะอาดคอกหรือปล่อยออกสู่ภายนอกได้ในที่สุด การบำบัดขั้นหลังจะประกอบไปด้วยสระพักแบบเปิดที่รับน้ำเสียจากการบำบัดขั้นตอนที่ 2 แล้วปล่อยเข้าสู่ชุดบึงพืชน้ำซึ่งปลูกพืชบางชนิดไว้ให้ช่วยในการบำบัดน้ำเสียทั้งโดยทางตรงและทางอ้อมซึ่งจะทำงานสัมพันธ์กันกับกลุ่มของแบคทีเรียและในส่วนสุดท้ายของชุดบึงพืชน้ำจะเป็นสระเลี้ยงปลา เพื่อใช้ประกอบในการสังเกตคุณภาพน้ำที่ได้ต่อสิ่งมีชีวิต น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วนี้จะมีค่า COD สุดท้ายที่คาดไว้ระหว่าง 200-400 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่า BOD น้อยกว่า 60 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กรมควบคุมมลพิษยอมรับได้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดครบทั้งสามขั้นตอนแล้ว สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ภายในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้ เช่น ใช้สำหรับล้างทำความสะอาดคอกสัตว์หรือสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติในสิ่งแวดล้อมภายนอกได้อย่างปลอดภัย



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการหมักสารอินทรีย์เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

3.2. ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

สารอินทรีย์ที่พบในน้ำเสียจะเป็นสารประกอบจำพวก โปรตีน คาร์โบไฮเดรตและไขมันทั้งที่อยู่ในรูปของของแข็งและสารละลาย โดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3.5 และรูปที่ 3.6 โดยขั้นตอนและปฏิกิริยาในเกิดก๊าซชีวภาพมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การย่อย (Hydrolysis)

ขั้นตอนการย่อย (Hydrolysis) คือขั้นตอนที่สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ทันที ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กเสียก่อน โดยการใช้แบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดที่จะทำหน้าที่ปล่อยเอนไซม์ (ช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุล) มาใช้ย่อยสลายให้กลายสภาพเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย รวมถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยสลายในขั้นตอนแรกเป็นสารตั้งต้นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรกที่ละลายได้แล้วเหล่านั้นจะถูกแบคทีเรียนำเข้าไปย่อยด้วยเอนไซม์ภายในเซลล์และขับออกมาภายนอกเป็นสารพวกกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก (Acitic Acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) กรดวาเลอริก (Valeric Acid) กรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acids, VFAs) แอลกอฮอล์และกรดแลคติก (Lactic acid)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างกรด (Acetogenesis)

การสร้างกรดในขั้นตอนนี้ เป็นกระบวนการสร้างกรดอะซิติกโดยใช้แบคทีเรียสร้างกรด ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นนั้นจะมีกรดอะซิติกสูงสุดในปริมาณที่มากที่สุด และจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) เกิดขึ้นด้วย แบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากกระบวนการสร้างมีเทนส่วนใหญ่ต้องการใช้กรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้น แต่กรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีหลายชนิด ซึ่งบางชนิด เช่น

กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริก ซึ่งไขมันระเหยง่ายขนาดใหญ่ แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างมีเทนได้ ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ประเภทนี้ในระบบ ธรรมชาติจึงได้มีการสร้างกระบวนการในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายที่มีขนาดใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก (Acetogenesis) ซึ่งช่วยทำให้ไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กระบวนการสร้างขั้นตอนนี้ เป็นการสร้างก๊าซมีเทนจาก กรดอะซิติก (Acitic Acid), ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนมีได้ 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน โดยคิดเป็น 70% ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ในระบบ อีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ช่วงค่าพีเอช (pH) ที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช (pH) ประมาณ 6.8-7.2 นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกัน อีกทั้งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซีสและการสร้างกรด โดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ซึ่งขั้นตอนนี้ถือได้ว่า เป็นขั้นตอนที่ควบคุมการหมักย่อยของทั้งระบบ

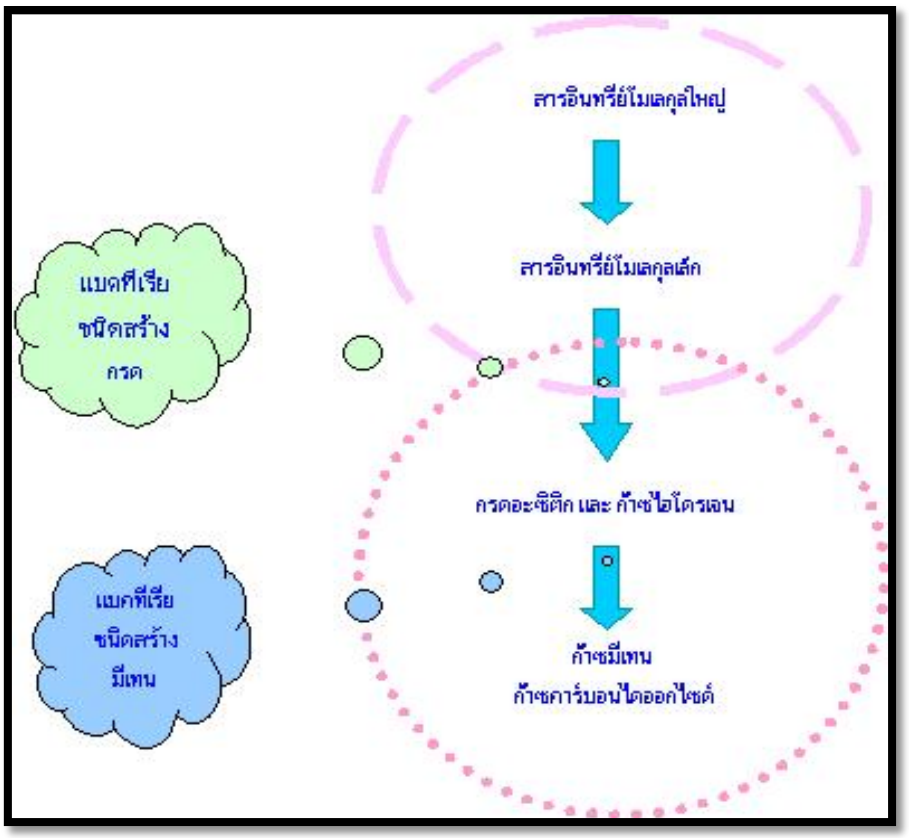
3.2.1. แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เกิดจากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพื่อใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีพของแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ โดยสามารถแบ่งชนิดกลุ่มแบคทีเรียตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เป็น 3 ชนิด คือ

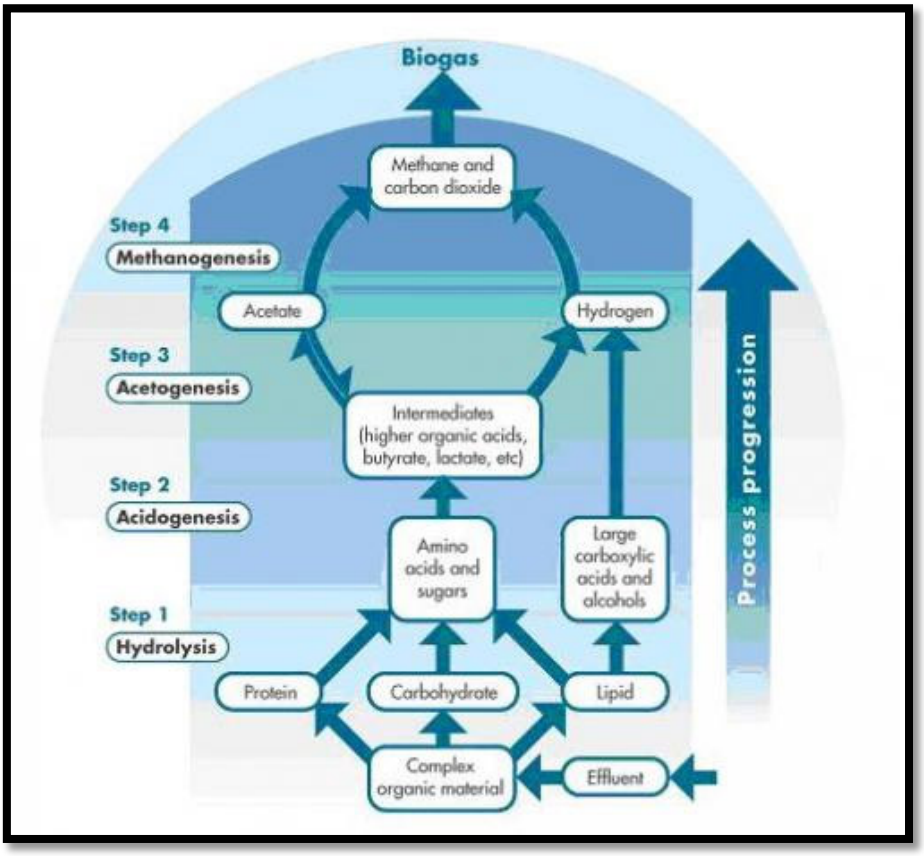
1. แบคทีเรียสร้างกรด (Acid Former Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ

2. แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์

3. แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SBR) ปริมาณของแบคทีเรียชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในน้ำเสีย โดยจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟต ทำให้เปลี่ยนซัลไฟต์ที่อยู่ในรูปของซัลเฟตเป็นก๊าซไข่เน่า (H_2S)



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

3.3. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

การหมักย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจนต้องการอุณหภูมิของน้ำเสียที่ไม่ต่ำเกินไปอุณหภูมิที่ทำให้บ่อหมักชนิดที่ไม่ต้องให้ความร้อนเพิ่ม ซึ่งจะสามารถทำงานได้ตั้งแต่อุณหภูมิเกิน 15 องศาเซลเซียสขึ้นไป และการผลิตก๊าซมีเทนที่จะเป็นตัวบ่งชี้ว่าบ่อหมักทำงานได้ดีนั้นจะต้องมีการผลิตก๊าซมีเทนที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของอากาศหรือของน้ำเสียที่สูงขึ้นโดยการเติมน้ำเสียที่มีความเข้มข้น (มีค่าของแข็งทั้งหมดร้อยละ 5-10) และอัตราการเติมจะต้องพอเหมาะก็จะไม่ทำให้ในบ่อหมักมีสภาพเป็นกรดมากเกินไป โดยการหมักย่อยที่แบคทีเรียทุกกลุ่มทำงานร่วมกันได้ดี ต้องการค่า pH หรือค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 6.8-7.5 เพราะถ้าหากเป็นกรดมากเกินไปแสดงว่าเกิดจากการเติมของเสียในอัตราสูงเกิน เช่น เกินกว่า 1.5 กิโลกรัมของของแข็งระเหยได้ (VS) ต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งในกรณีบ่อหมักแบบโดมซึ่งจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนจะทนอยู่ไม่ได้และการที่มีสภาพเป็นด่างมากไปก็จะทำให้ แอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียม (NH_3) ได้มากขึ้นซึ่งแอมโมเนียมนี้เองที่เป็นพิษต่อแบคทีเรียได้มากกว่าที่อยู่ในรูปของแอมโมเนียมไอออน นอกจากนี้น้ำเสียควรมีสารอินทรีย์ที่มีสัดส่วนของปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N ratio) ระหว่าง 9-25:1 การกวนตัวของน้ำเสียภายในส่วนหมักก็นับว่าเป็นเรื่องที่มีส่วนสนับสนุนให้การสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์กับแบคทีเรียเกิดได้ดีขึ้น ซึ่งปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซมีดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิ (Temperature) การย่อยสลายอินทรีย์และการผลิตแก๊สในสภาพปราศจากออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesophillic) ซึ่งจะมีช่วงของอุณหภูมิที่กว้างมาก ตั้งแต่ 4-60 องศาเซลเซียส แต่จะมีช่วงที่เหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 30-35 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับกลุ่มจุลินทรีย์แต่ละชนิด) และในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแบบกะทันหันนั้นยังส่งผลต่อการผลิตก๊าซอีกด้วย

2. ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ความเป็นกรด-ด่าง มีความสำคัญต่อการหมักมาก ช่วง pH ที่เหมาะสมอยู่ในระดับ 6.0-8.0 (ใกล้ระดับ 7.0 จะดีที่สุด) ซึ่งหากค่า pH ต่ำเกินไปจะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียที่สร้างแก๊สมีเทน

3. อับคาลินิตี้ (Alkalinity) ค่าอัลคาลินิตี้ หมายถึง ความสามารถในการรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง ค่าอัลคาลินิตี้ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000 - 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต ($CaCO_3$)

4. สารอาหาร (Nutrients) สารอินทรีย์ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีรายงานการศึกษาพบว่า มีสารอาหารในสัดส่วน C/N (C/N Ratio, $C_5H_7NO_2P_{0.1}$) หรือสัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อไนโตรเจน น้อยกว่า 43:1 และสัดส่วน C/P (C/P Ratio, $C_5H_7NO_2P_{0.1}$) หรือสัดส่วนปริมาณคาร์บอนต่อฟอสฟอรัส น้อยกว่า 187:1

5. สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไฮโดรเจนหรือแอมโมเนีย สามารถทำให้ขบวนการ ย่อยสลาย ในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้ ซึ่งสารที่มีผลต่อระบบได้ง่ายนั้นโดยทั่วไปแล้วจะเป็นสารอินทรีย์ที่มีธาตุฮาโลเจนเป็นองค์ประกอบ (Halogenated Organics) หรือเป็นพวกสารที่มีปริมาณของไอออนประจุบวก (Cations) และสารที่มีโลหะหนักบางชนิดมากเกินไป

6. สารอินทรีย์และลักษณะของสารอินทรีย์สำหรับขบวนการย่อยสลาย ซึ่งมีความแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เข้าเกี่ยวข้อง

7. ชนิดแบคทีเรีย ขึ้นอยู่กับชนิดของของเสียและอุณหภูมิ ซึ่งแบคทีเรียผลิตมีเทนชนิด Methanosarcina อาจให้ผลดีต่อระบบที่ต้องการผลิตก๊าซชีวภาพสูง

8. กรดไขมันระเหยง่าย (VFAs) ซึ่งจะเปรียบเทียบกับค่าความด่าง คือ ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ควรมากกว่าค่ากรดไขมันระเหยง่าย

9. ปริมาณของแข็ง ช่วงที่เหมาะสมของปริมาณของแข็งในน้ำเสียขาเข้าประมาณ 7-9% โดยน้ำหนัก

10. อากาศ ในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น ต้องไม่ให้มีอากาศผ่านเข้าระบบเพราะเป็นพาต่อระบบหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

11. ระยะเวลาหมัก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของของเสียขาเข้า ชนิดของของเสียและอุณหภูมิ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 1-30 วัน

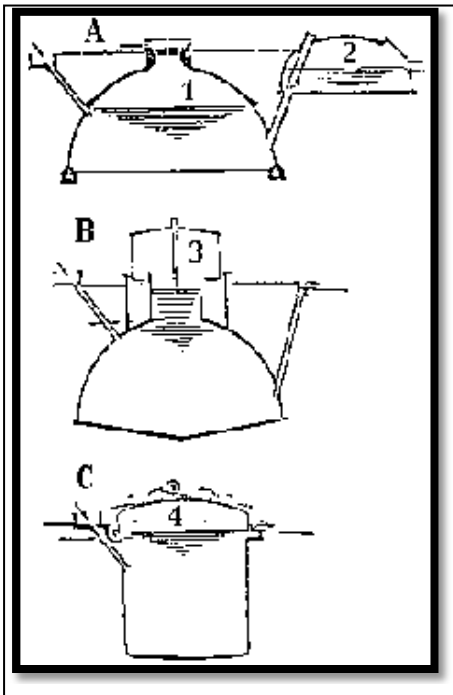
12. ชนิดและแบบของบ่อแก๊สชีวภาพ (Biogas Plant) บ่อแก๊สชีวภาพ แบ่งตามลักษณะการทำงาน ลักษณะของของเสียที่เป็นวัตถุดิบ และประสิทธิภาพ การทำงานได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ ดังนี้

12.1. บ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง บ่อหมักช้าที่มีการสร้างใช้ประโยชน์กันและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป มี 3 แบบหลักคือ

(1) แบบยอดโดม (fixed dome digester)

(2) แบบฝาครอบลอย (floating drum digester) หรือแบบอินเดีย (Indian digester)

(3) แบบพลาสติกคลุมราง (plastic covered ditch) หรือแบบปลั๊กโฟลว์ (plug flow digester)



รูป(A) แบบยอดโดม ที่เก็บแก๊สอยู่บนส่วนของบ่อหมัก (1) แรงดันแก๊สที่สะสมจะขับของเหลวเข้าบ่อน้ำล้น (2)
รูป (B) แบบฝาครอบลอย ที่เก็บแก๊สเป็นฝาครอบทำด้วยเหล็ก (3) ลอยขึ้นลงตามปริมาณแก๊สที่สะสม
รูป(C) แบบพลาสติกคลุมราง

รูปที่ 3.7 รูปแสดงบ่อหมักช้าหรือบ่อหมักของแข็ง

12.2. บ่อหมักเร็วหรือบ่อบำบัดน้ำเสีย แบ่งได้เป็น 2 แบบหลัก คือ

(1) แบบบรรจุตัวกลางในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic Filter, Fixed Film) หรืออาจเรียกตามชื่อย่อว่า แบบเอเอฟ (AF) ภายในบ่อหมักชนิดนี้จะบรรจุตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงเพื่อให้แบคทีเรียเกาะและมีรูพรุนสูงเพื่อให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดผ่านถังตะกอนเพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออก ซึ่งทำได้จากวัสดุหลายชนิด เช่น ก้อนหิน กรวด พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ ไม้ไผ่ตัดเป็นท่อน เป็นต้น ในลักษณะของบ่อหมักเร็วแบบนี้ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนบนตัวกลางที่ถูกตรึงอยู่กับที่แก๊สถูกเก็บอยู่ภายในพลาสติกที่คลุมอยู่เหนือราง มักใช้ไม้แผ่นทับเพื่อป้องกันแสงแดดและเพิ่มความดันแก๊ส ข้อดีของระบบบ่อหมักนี้คือ การดูแลและควบคุมระบบสามารถทำได้ง่าย มีประสิทธิภาพสูงและสามารถรับการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียได้ดี แต่มีข้อเสียคือ วัสดุที่นำมาใช้เป็นตัวกลางนั้นมีราคาสูงและมักเกิดปัญหาอุดตันได้ง่าย ดังนั้นในการใช้

งานจะต้องใช้ตัวกลางที่มีพื้นผิวและรูพรุนสูงดังที่กล่าวไปแล้ว โดยจะบรรจุตัวกลางลงไปภายในบ่อหมักเพียง 10-20% ของปริมาตรถังหมักเท่านั้น ซึ่งในประเทศไทยมักจะใช้กับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง, อุตสาหกรรมน้ำอัดลมและอุตสาหกรรมน้ำผลไม้

(2) แบบยูเอเอสบี (UASB หรือ Upflow Anaerobic Sludge Blanket) บ่อหมักเร็วแบบนี้ใช้ตะกอนของสารอินทรีย์ (sludge) ที่เคลื่อนไหวภายในบ่อหมักเป็น ตัวกลางให้จุลินทรีย์เกาะ ลักษณะการทำงานของบ่อหมักเกิดขึ้น โดยการควบคุมความเร็วของน้ำเสียให้ไหลเข้าบ่อหมักจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบน ตะกอนส่วนที่เบาะจะลอยตัว ไปพร้อมกับน้ำเสียที่ไหลล้นออกนอกบ่อ ตะกอนส่วนที่หนักจะจมลงก้นบ่อ

รูปที่ 3.8 รูปบ่อหมักแบบ AF และแบบ UASB

<u>ตัวอย่างกระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพของบริษัทจิรัฐพัฒนาการเกษตร จำกัด</u>

การผลิตของโครงการการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพสามารถจำแนกได้ ดังนี้

(1) กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Process) ปัจจุบันโครงการมีการผลิตก๊าซชีวภาพ จำนวน 1 สายการผลิต ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนหลัก คือ

-การเตรียมน้ำเสีย และผสมน้ำเสีย

-การสูบน้ำเสียเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

-การระบายน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้ว ส่งคืนให้กับบริษัท จิรัฐพัฒนาการเกษตร จำกัด

-การรวบรวมก๊าซชีวภาพ

-การส่งก๊าซชีวภาพให้ บริษัท จิรัฐพัฒนาการเกษตร จำกัด กำลังการผลิต 35,000 NM3 ต่อวัน

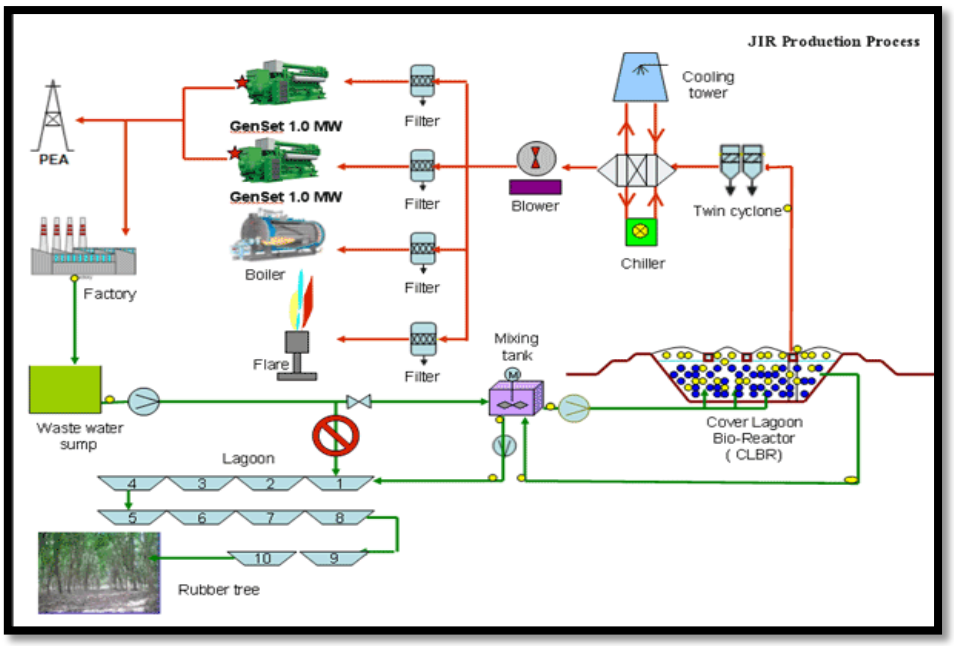
(2) กระบวนการผลิตไฟฟ้า (Generator Process) ปัจจุบันโครงการมีสายการผลิตการไฟฟ้า จำนวน 1 สายการผลิต โดยสายการผลิตไฟฟ้า ประกอบด้วยขั้นตอนหลัก ดังแสดงในรูปที่ 3.9 และมีรายละเอียดดังนี้

-การรับก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

-การส่งเข้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

-การผลิตไฟฟ้า

-การจ่ายไฟฟ้าให้โครงการ และบริษัท จิรัฐพัฒนาการเกษตร จำกัด กำลังการผลิต 2 Mwh

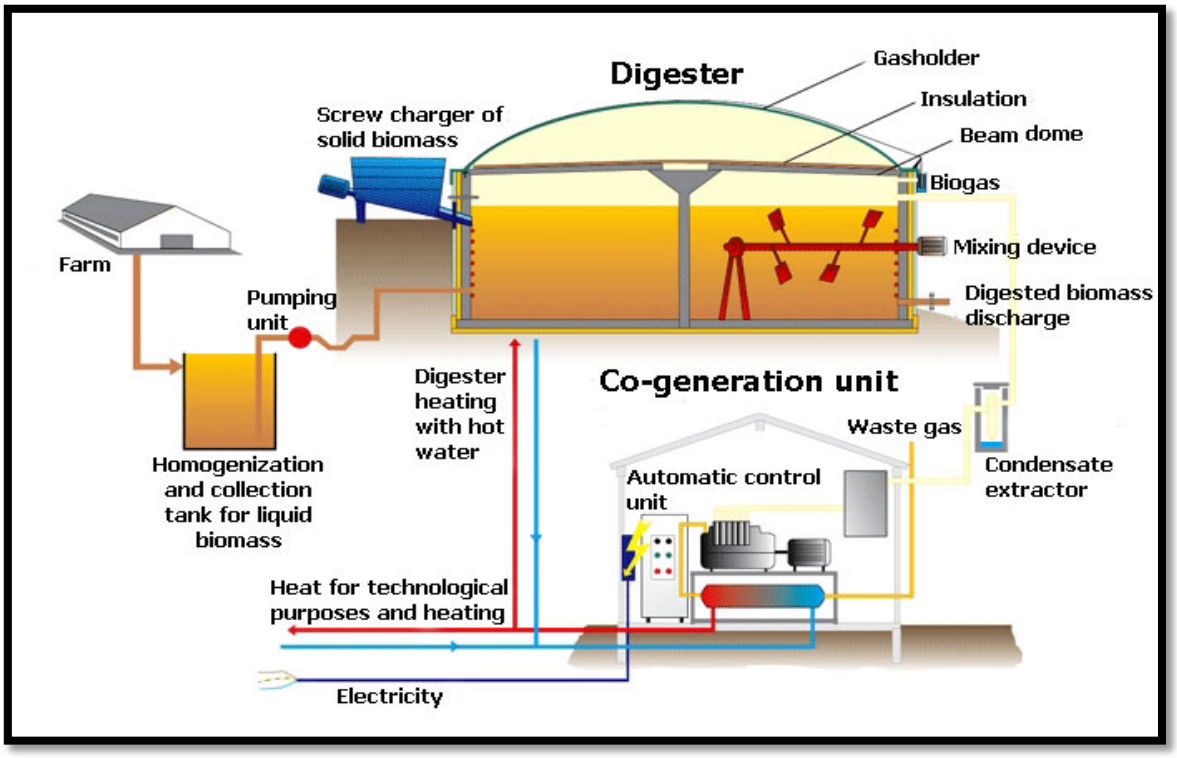


รูปที่ 3.9 กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

3.4. เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต

3.4.1 เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ การผลิตพลังงานไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพสามารถกระทำได้ด้วยวิธีหลักๆ 3 วิธี ดังนี้

1. ระบบกังหันไอน้ำ
2. ระบบกังหันก๊าซเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำ
3. ระบบเครื่องยนต์ก๊าซสันดาปภายใน



รูปที่ 3.10 การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพ

(1) การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบกังหันไอน้ำ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบกังหันไอน้ำเป็นวิธีที่ใช้กันทั่วไป โดยระบบกังหันไอน้ำแต่ละระบบจะมีความแตกต่างกันตรงชนิดเชื้อเพลิงที่นำมาเผาให้ความร้อนแก่หม้อน้ำเท่านั้น ระบบนี้เป็นการนำก๊าซชีวภาพมาเผาเพื่อต้มน้ำในหม้อน้ำโดยตรงให้กลายเป็นไอน้ำจากนั้นใช้ไอน้ำเป็นตัวไปหมุนกังหันไอน้ำที่ต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอีกทอดหนึ่ง โดยอุปกรณ์หลักของการผลิตนี้ประกอบด้วย เตาเผาก๊าซชีวภาพ หม้อน้ำ (Boiler) ระบบจ่ายน้ำและบำบัดน้ำ เครื่องควบแน่น (Condenser) หอหล่อเย็น (Cooling Tower) กังหันไอน้ำ (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญที่ซับซ้อนหลายชนิด

ข้อดี-ข้อเสียของระบบกังหันไอน้ำ

ระบบดังกล่าวนี้เป็นระบบที่มีคุณภาพและความดันของก๊าซชีวภาพที่ใช้ ซึ่งไม่จำเป็นต้องสูงมากนักแต่ต้องระวังก็คืออย่าให้การเผาก๊าซก่อความเสียหายแก่เตาเผา และระบบกังหันไอน้ำนี้สามารถจัดการกับก๊าซในระบบได้ง่าย แต่ก็มีข้อเสียที่ระบบมีความซับซ้อนมาก ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง การติดตั้งต้องใช้เวลานานและใช้พื้นที่มาก การเคลื่อนย้ายระบบทำได้ลำบาก ปริมาณน้ำที่ใช้สูง ใช้แรงงานในการจัดการมากและประสิทธิภาพของระบบต่ำ อยู่ที่ประมาณ 15 %

(2) การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบกังหันก๊าซเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำ

วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด ซึ่งมีหลักการทำงานคือใช้ระบบกังหันก๊าซชนิดเดียวกับที่ใช้ในเครื่องบินไอพ่น โดยอัดอากาศผ่านเครื่องอัดความดันสูงแล้วนำอากาศความดันสูงที่ได้มาเผาร่วมกับก๊าซชีวภาพในห้องเผาไหม้ ซึ่งทำให้ก๊าซที่เผาไหม้แล้วเกิดการขยายตัวทันที กลายเป็นพลังงานไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและเนื่องจากผลที่ได้จากวิธีนี้คือ ก๊าซเสีย (ก๊าซผสมที่ปล่อยทิ้ง) ที่มีอุณหภูมิสูงถึง 450–550 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ให้ความร้อนแก่หม้อน้ำเพื่อไปหมุนกังหันไอน้ำที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้อีกทอดหนึ่ง ซึ่งถือได้ว่าระบบนี้ให้ประสิทธิภาพโดยรวมประมาณ 30%

ข้อดีของระบบกังหันก๊าซเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำ

การทำงานของระบบมีความแน่นอนเชื่อถือได้เมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของก๊าซชีวภาพ แม้จะมีกำมะถันและสิ่งอื่นเจือปนอยู่บ้างก็ไม่เป็นปัญหา เนื่องจากระบบกังหันก๊าซมีประสิทธิภาพสูงแต่ขนาดไม่ใหญ่สะดวกต่อการเคลื่อนย้าย ดังนั้นจึงเหมาะกับโครงการก๊าซชีวภาพที่ไม่มีความแน่นอนในเรื่องวัตถุดิบที่นำมาทำเชื้อเพลิง (ทั้งนี้ยังไม่รวมส่วนของระบบกังหันไอน้ำที่ใช้ก๊าซเสียจากระบบกังหันก๊าซเป็นแหล่งความร้อน)

ข้อเสียของระบบกังหันก๊าซเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำ

ระบบดังกล่าวใช้พลังงานสูงในกระบวนการผลิตไฟฟ้า โดยเฉพาะระบบกังหันก๊าซซึ่งแม้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็ต้องการพลังงานสูงเช่นกันในการอัดก๊าซผสมจำนวนมากจึงทำให้พลังงานไฟฟ้าที่ได้ลดลงถึง 15–20% เมื่อรวมกับพลังงานไฟฟ้าจากระบบกังหันไอน้ำ ส่งผลให้ประสิทธิภาพต่ำลง 10–15% นอกจากนี้ยังมีข้อเสียอื่นๆ ของระบบกังหันไอน้ำเช่นเดียวกับวิธีที่ใช้ผลิตไฟฟ้าด้วยระบบกังหันไอน้ำ

(3) การผลิตพลังงานไฟฟ้าด้วยระบบเครื่องยนต์ก๊าซสันดาปภายใน

เครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องแรกที่ใช้ก๊าซเป็นเชื้อเพลิง ผลิตขึ้นในปี ค.ศ.1876 ที่ประเทศเยอรมัน ต่อมาอีก 10 ปี เครื่องยนต์สันดาปภายใน 4 จังหวะที่ใช้น้ำมันเป็นเชื้อเพลิงได้ถือกำเนิดขึ้นที่เยอรมันเช่นกัน สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายในที่ใช้ก๊าซธรรมชาติและใช้ก๊าซชีวภาพนั้นมีการทำงานของเครื่องยนต์ในลักษณะเหมือนกับการทำงานของเครื่องยนต์ในรถยนต์ที่ใช้น้ำมันเบนซิน ซึ่งต้องมีการจุดระเบิดโดยใช้หัวเทียน แต่มีส่วนประกอบหรือชิ้นส่วนต่างๆ เหมือนกับเครื่องยนต์ดีเซลมากกว่า โดยก๊าซที่เผาไหม้ในกระบอกสูบของ

เครื่องยนต์ก๊าซสันดาปภายในที่จุดศูนย์กลาง อาจมีอุณหภูมิสูงถึง 1,400 องศาเซลเซียส ทำให้ประสิทธิภาพของการผลิตไฟฟ้าด้วยระบบนี้สูงกว่าระบบที่ใช้กังหันก๊าซเดินคู่กับระบบกังหันไอน้ำ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 32–40 % และค่าเฉลี่ยทั่วไปจะอยู่ที่ 35%

ข้อดีของระบบเครื่องยนต์สันดาปภายใน

1. คุณภาพของก๊าซไม่จำเป็นต้องสูงมากนักและไม่ต้องเพิ่มความดันให้กับก๊าซที่นำมาใช้ ถ้าปริมาณ H_2S ในก๊าซชีวภาพไม่เกิน 200 mg/cu.m. ก็สามารถนำมาใช้ได้โดยตรง

2. ประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้าสูงถึง 32 – 40 % หากนำความร้อนจากไอเสียมาใช้ให้เป็นประโยชน์ โดยทำน้ำร้อนและน้ำเย็นเพื่อใช้เป็นระบบปรับอากาศ อาจจะได้ประสิทธิภาพสูงถึง 80 %

3. การสูญเสียพลังงานในระบบการผลิตมีน้อย ปริมาณน้ำที่ใช้ไม่มาก พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตประมาณ 2-4%

4. ค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ การติดตั้งใช้เวลาน้อย เครื่องยนต์ก๊าซสันดาปภายในใช้เทคโนโลยีไม่สูง ส่วนประกอบของเครื่องยนต์ 80% เหมือนกับเครื่องยนต์ดีเซล การซ่อมบำรุงรักษาทำได้ง่าย การรื้อถอนและขนย้ายทำได้สะดวก

5. สามารถสร้างได้ตั้งแต่ขนาดเล็กจนถึง 10 MW

3.4.2. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ: ก๊าซชีวภาพ เป็นพลังงานสะอาดที่เกิดจากการน้ำของเสีย เช่น มูลสัตว์ น้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ขยะและของเหลือใช้ทางการเกษตร มาผ่านกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ ออกซิเจน (Anaerobic digestion) โดยแบคทีเรียหลายชนิด เมื่อสภาวะแวดล้อมเหมาะสม แบคทีเรียจะเจริญเติบโตและย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต และไขมัน จนกระทั่งในที่สุดเปลี่ยนสภาพเป็นก๊าซชีวภาพ ปฏิกิริยาชีวเคมีของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาพไร้ออกซิเจน แบ่งออกได้ 3 ขั้นตอน ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 3.2 ได้แก่

ขั้นที่ 1 การสลายสารโมเลกุลใหญ่ (Hydrolysis)

ขั้นที่ 2 การผลิตกรดอินทรีย์ (Acidogenesis/ Acetogenesis)

ขั้นที่ 3 การผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-75 ซึ่งเป็นก๊าซที่ติดไฟ จึงนำไปใช้เป็นพลังงานทดแทนได้และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 36-39 และก๊าซอื่นๆ เช่น ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ประมาณร้อยละ 1-3 ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่ติดไฟ ดังนั้นคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซมีเทน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร จะประกอบด้วยมีเทนร้อยละ 60 จะมีความร้อนประมาณ 5,000-5,500 กิโลแคลลอรี่ ซึ่งเทียบเท่ากับ น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตรหรือน้ำมันเบนซิน 0.67 ลิตร หรือน้ำมันเตา 0.81 ลิตร หรือพลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กิโลกรัม หรือไม้ฟืน 1.5 กิโลกรัม ก๊าซมีเทน (CH_4) มีคุณสมบัติเบากว่าอากาศประมาณครึ่งหนึ่ง (น้ำหนักโมเลกุล 16.04) ละลายน้ำได้เพียงเล็กน้อย ไม่มีรส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ส่วนก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซผสมอากาศเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ทำให้ผู้ใช้บางคนไม่ชอบนำไปใช้หุงต้ม แต่ที่จริงแล้วกลิ่นของก๊าซนี้ไม่ได้ทำให้รสชาติของอาหารมีกลิ่น ซึ่งกลิ่นนี้จะระเหยไปหมดเมื่อเผาไฟ

3.5. เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับมูลสัตว์ที่ใช้ในประเทศไทย

เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพสำหรับมูลสัตว์ที่ใช้อยู่ในประเทศ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

3.5.1. กลุ่มบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Low rate anaerobic digester)

เป็นบ่อหมักที่ออกแบบที่อาศัยกลุ่มของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยบ่อหมักจะทำหน้าที่ควบคุมให้เกิดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสม ปฏิกิริยาเคมีแบ่ง เป็น 3 ขั้นตอน คือ Hydrolysis, Acidogenesis และ Methanogenesis อัตราการย่อยขั้นหมักมีเทนช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นหมักกรด และ Hydrolysis กล่าวคือ ปฏิกิริยาทั้ง 3 ขั้นตอน เกิดในถังหมักถังเดียว ประสิทธิภาพในการบำบัด COD และผลิตก๊าซชีวภาพต่ำ ต้องใช้เวลาในการเก็บกัก (HRT) นานประมาณ 30-50 วัน ซึ่งทำให้ บ่อหมักมีขนาดใหญ่ กลุ่มบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า มีรูปแบบบ่อดังนี้

(1) บ่อหมักช้าแบบถังลอย (Floating drum digester)

บ่อหมักชนิดนี้เป็นรูปแบบที่นำมาจากประเทศอินเดีย ลักษณะส่วนใหญ่จะเป็นรูปทรงกระบอกฝังอยู่ใต้พื้นดินทำหน้าที่หมักมูลสัตว์และของเหลวให้เกิดก๊าซชีวภาพ สำหรับส่วนบนเป็นฝาครอบเก็บก๊าซทำด้วยโลหะหรือไฟเบอร์กลาส ลอยขึ้นลงตามปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น

(2) บ่อหมักช้าแบบโดมคงที่ (Fixed dome digester)

บ่อหมักแบบนี้รูปแบบ และหลักการทำงานมาจากประเทศจีน ลักษณะบ่อหมักส่วนใหญ่สร้างด้วยคอนกรีต หรือก้ออิฐโบกปูนฝังอยู่ในดินมีท่อเพื่อเติมมูลสัตว์ และท่อให้มูลสัตว์ไหลออก ส่วนเก็บก๊าซจะ สร้างด้วยคอนกรีต หรือ ก้ออิฐฉาบปูนติดกับตัวบ่อหมัก ทำให้แรงดันของก๊าซไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับปริมาตรของก๊าซภายในบ่อ

(3) บ่อหมักช้าแบบราง (Plug Flow digester)

เป็นบ่อซึ่งก่อสร้างด้วยคอนกรีต ตัวบ่อมีรูปร่างยาวคล้ายรางหรือคลองส่งน้ำซึ่งมีชื่อเรียกว่า Channel digester ส่วนบนบ่อหมักมีพลาสติกคลุมเพื่อใช้เก็บก๊าซชีวภาพ ตัวบ่อหมักจะถูกฝังอยู่ในดิน มีท่อเติมมูล และท่อนำมูลออกอยู่ทางหัวและท้ายบ่อ เนื่องจากใช้พลาสติกเป็นตัวเก็บก๊าซดังนั้นจึงมีแรงดัน ก๊าซค่อนข้างต่ำจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มแรงดันเพื่อนำก๊าซไปใช้งาน

(4) บ่อแบบ Cover lagoon

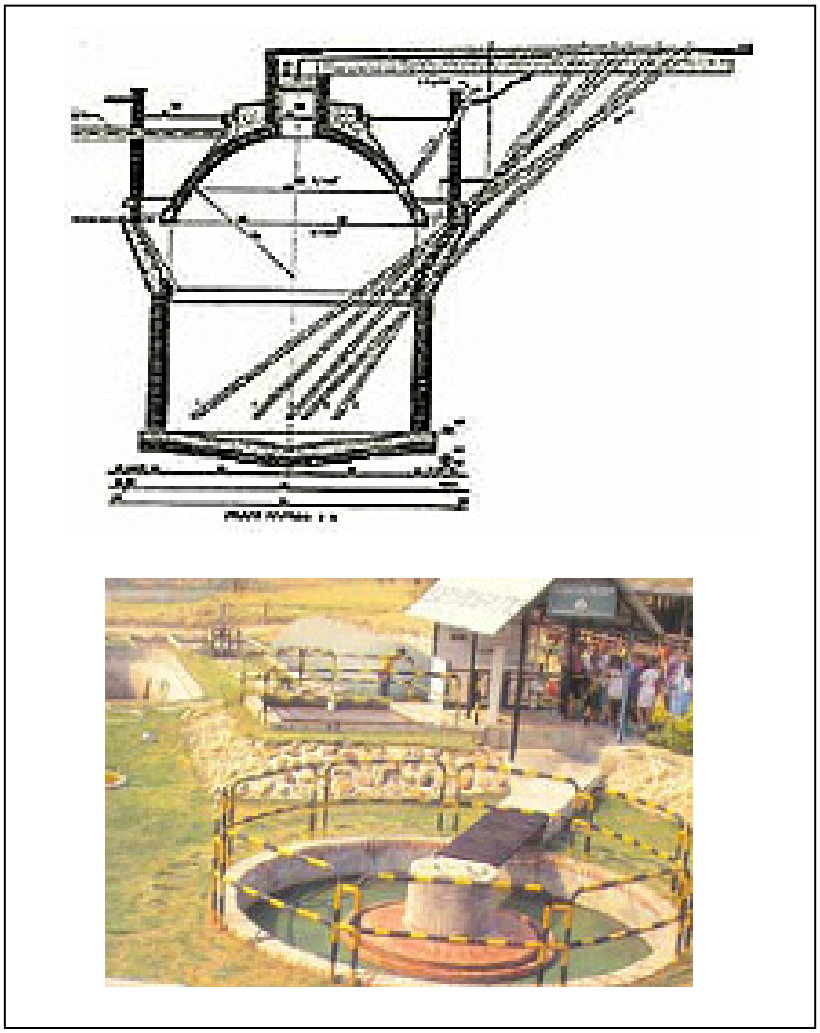
รูปแบบของระบบนี้ได้นำรูปแบบถุงยางเก็บก๊าซของบ่อแบบ Plug Flow มาสร้างครอบไปบนบ่อรวบรวมมูลสัตว์ที่มีอยู่แล้ว ซึ่งอาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือดินขุดก็ได้ในกรณีที่เป็นบ่อดินขุด อาจปูแผ่นยาง แผ่นพลาสติกจำพวก High Density Polyethylene (HDPE) หรือแผ่น PVC ที่ใช้ปูสระเก็บน้ำมาปูทับเพื่อไม่ให้เกิดสภาพไม่ใช้อากาศและใช้เป็นตัวเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ทั้งยังป้องกันไม่ให้เกิดการรั่วซึมของของเสียลงใต้ดินอีกด้วย คาดว่าในอนาคตรูปแบบบ่อชนิดนี้จะได้รับความนิยมในฟาร์ม เนื่องจากระบบนี้สะดวกในการเดินระบบ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการเติมอากาศและไม่จำเป็นต้องก่อสร้างระบบขึ้นใหม่ ใช้บ่อเก็บมูลที่มีอยู่แล้ว ไม่มีการให้ความร้อนและมี่การกวน ซึ่งจะทำให้มีต้นทุนในการก่อสร้างต่ำ

3.5.2. กลุ่มบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว (High rate anaerobic digester)

เป็นบ่อที่เหมาะสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียประเภทที่มีปริมาณสารอินทรีย์ส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำได้ บ่อหมักแบบนี้จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายค่อนข้างเร็ว ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) ประมาณ 0.5-3 วัน ประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงถึงร้อยละ 80-90 ซึ่งจากประสิทธิภาพของบ่อหมักจึงทำให้บ่อหมักมีขนาดเล็กแต่สามารถรับปริมาตรของเสียได้มากกว่า ส่วนใหญ่จะไม่นิยมนำมาใช้กับมูลสัตว์ เนื่องจากตะกอนจากมูลสัตว์จะสร้างปัญหาแก่ระบบฯ รูปแบบบ่อชนิดนี้ มีดังนี้

(1) แบบ UASB (Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket)

เป็นบ่อหมักแบบเร็วที่อาศัยการพัฒนาโครงสร้างของกลุ่มแบคทีเรียในบ่อหมัก โดยน้ำเสียจะถูกสูบเข้าที่ก้นถัง ตะกอนแบคทีเรียที่ก้นถังแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง(Sludge Bed) เป็นตะกอนเม็ด (granular bacteria) ขนาด 2-5 มม. เป็นแบคทีเรียใยยาว (filaments bacteria) เกาะกันมีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นบนเรียกว่า Sludge Blanket) ส่วนบนของบ่อหมัก UASB จะมีอุปกรณ์ที่เรียกว่า GSS (Gas Solid Separator) ทำหน้าที่แยกก๊าซและป้องกันมิให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกไปกับน้ำเสีย



รูปที่ 3.8 บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วแบบ UASB

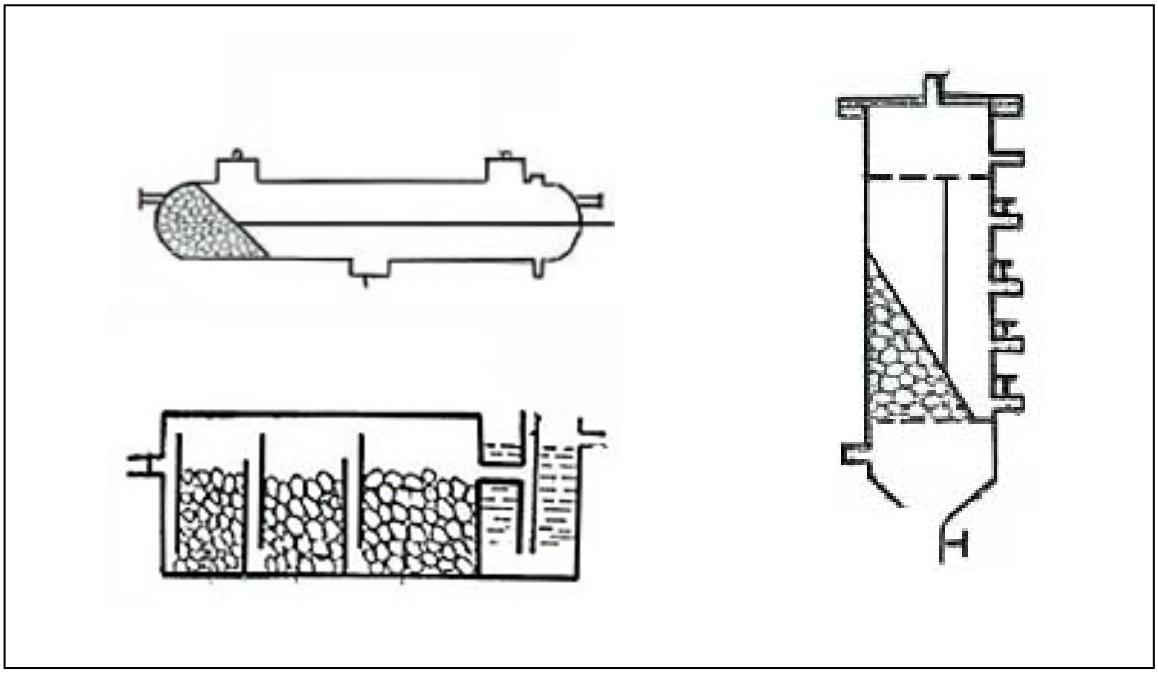
(2) แบบ H-UASB (High suspension solid-Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket)

เป็นแบบบ่อหมักที่พัฒนาจากระบบ UASB ให้ทำงานที่อุณหภูมิที่สูง โดยรอบๆถังปฏิกรณ์จะมีช่องทางสำหรับให้น้ำร้อนไหลผ่าน (jacket) ซึ่งเหมาะกับการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของแบคทีเรียประเภทที่ทำงานที่อุณหภูมิสูง (Thermophillic bacteria) และเพื่อแก้ปัญหาการอุดตันของตะกอนมูลสัตว์ในส่วนระบบหัวจ่ายน้ำของระบบ UASB โดยนำบ่อปรับสภาพ (Stabilizing Pond หรือ EQ) จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียอุตสาหกรรมมาใช้ พร้อมกับเรียกชื่อใหม่ว่า Buffer tank ซึ่งทำหน้าที่แยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียและมูลสัตว์ ให้มีปริมาณน้อยที่สุด ทั้งยังได้นำแผ่นยาง PE ที่ใช้คลุมบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบราง มาคลุมบน Buffer tank ทำหน้าที่เก็บก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากระบบ UASB นอกจากนี้ระบบแบบ H-UASB นี้ยังทำให้แบคทีเรียมีความสามารถในการย่อยสลายสูงกว่าระบบ UASB แต่หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ประสิทธิภาพของระบบจะลดต่ำลงทันที

รูปที่ 3.9 บ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็วแบบ H-UASB

(3) แบบตัวกลางกรอง (Anaerobic Filter)

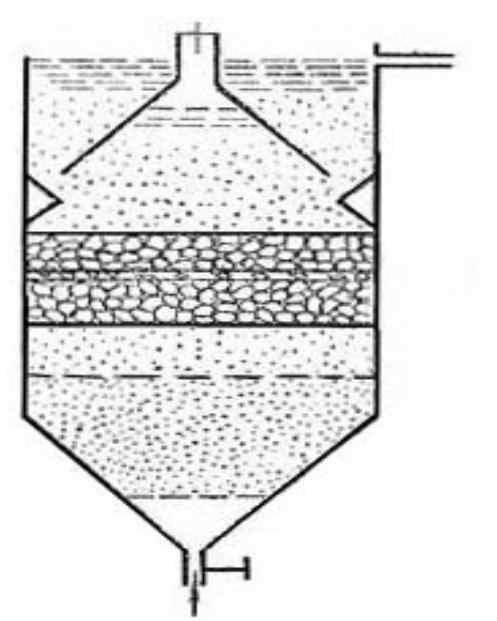
มีลักษณะเป็นบ่อหรือถังปิดภายในบรรจุด้วยตัวกลาง (packingmedia) ดังแสดงในรูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นส่วนที่มีพื้นที่จำเพาะสูง เพื่อให้เมือกแบคทีเรียเกาะและมีช่องว่างสูงเพื่อป้องกันการอุดตัน น้ำเสียที่ปล่อยเข้าบ่อ ซึ่งจะป้อนทางด้านบนให้ไหลลงก้นถัง (down flow) หรือจะให้ไหลเข้าจากก้นถังขึ้นข้างบนถัง (Up flow) ก็ได้แต่น้ำเสียที่จะนำป้อนเข้าบ่อหมักควรจะผ่านบ่อตกตะกอนเสียก้อน ข้อดีของระบบนี้คือ ควบคุมดูแลง่าย มีประสิทธิภาพสูง มีเสถียรภาพสูง สามารถรับการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียได้ดี



รูปที่ 3.10 รูปตัวกลางกรอง

(4) แบบลูกผสม (Hybrid digester)

บ่อแบบลูกผสมเป็นบ่อที่นำข้อดีของระบบหลายรูปแบบมาปรับปรุงและใช้รวมกันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ เช่น นำระบบ UASB มารวมกับ AF เป็นต้น



รูปที่ 3.11 แบบลูกผสม

แนวโน้มของเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในแต่ละโรงงานจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของน้ำเสียในแต่ละประเภทอุตสาหกรรม ซึ่งในปัจจุบันระบบฯที่มีการนำมาใช้ได้แก่ ระบบ UASB, AF, AFB, AC และ ABR นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาระบบหมักให้มีประสิทธิภาพสูง โดยทำเป็นระบบหมักผสม (Hybrid) เช่น AF-UASB โดยจะนำข้อดีของระบบ AF ซึ่งง่ายและใช้เวลาอันสั้นในการเดินระบบในระยะเริ่มต้นมาร่วมกันกับระบบ UASB ซึ่งมีข้อดีหลายประการ ได้แก่ ราคาก่อสร้างต่ำและประสิทธิภาพของระบบฯสูง เทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

(1) ระบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB)

มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา โดยน้ำเสียจะถูกสูบเข้ามาก้นถังตะกอนแบคทีเรียแบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่าง (Sludge Bed) เป็นตะกอนเม็ดแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่น มีความหนาแน่นสูง ส่วนชั้นที่ 2 เรียกว่า Sludge Blanket เป็นแบคทีเรียตะกอนเบา ช่วงบนของถังหมักจะมีอุปกรณ์แยกก๊าซชีวภาพและตะกอนแบคทีเรีย (Gas Solid Separator) ข้อดีของถังหมักแบบ UASB คือ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและค่าก่อสร้างต่ำเมื่อเทียบกับระบบอื่น แต่มีข้อเสียคือ มีความยุ่งยากในการเลี้ยงตะกอนเม็ดจากตะกอนเบาและไม่เหมาะสมกับน้ำเสียที่สารแขวนลอยสูง **(ในประเทศไทยใช้กับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสุรา อุตสาหกรรมยาง)**

(2) ระบบ Anaerobic Filter, Fixed Film (AF)

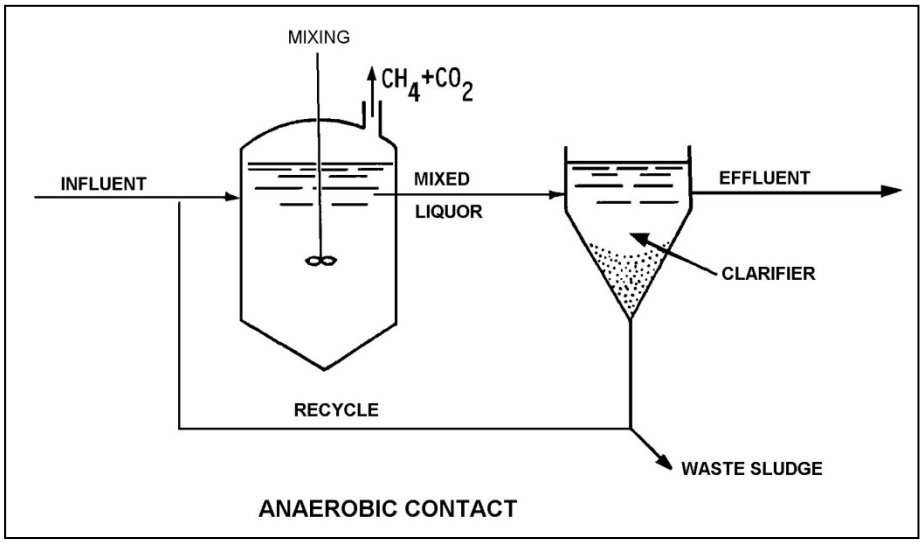
ระบบนี้เป็นถังหมักภายในบรรจุด้วยตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง เพื่อให้แบคทีเรียเกาะและมีรูพรุนสูง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะต้องผ่านถังตกตะกอน เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออก ข้อดีของระบบนี้คือ การดูแลและควบคุมระบบง่าย มีประสิทธิภาพสูงและสามารถรับการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียได้ดี ข้อเสียคือ วัสดุตัวกลางมีราคาแพงและมีปัญหาอุดตันได้ง่าย ดังนั้นในการใช้งานจะต้องใช้ตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวและรุพรุนสูง โดยจะบรรจุตัวกลางเพียง 10-20% ของปริมาตรถังเท่านั้น **(ในประเทศไทยใช้กับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง เครื่องดื่มน้ำอัดลมและน้ำผลไม้)**

(3) ระบบ Completely Stirred Tank Reactor (CSTR)

ถังหมักในระบบฯนี้ อาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์ เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในถัง มีการกวนผสมภายในถังอย่างทั่วถึง (Mixing System) วิธีการกวนผสม อาจใช้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นวนกลับภายในถังหรือการกวนโดยใช้เครื่องกวนผสม ทำให้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูง สามารถรับภาระปริมาณการเติมสารอินทรีย์สูง ช่วยลดระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสีย (HRT) ในถังหมัก **(ในประเทศไทย ใช้กับอุตสาหกรรมปาล์ม)**

(4) ระบบ Anaerobic Contact (AC)

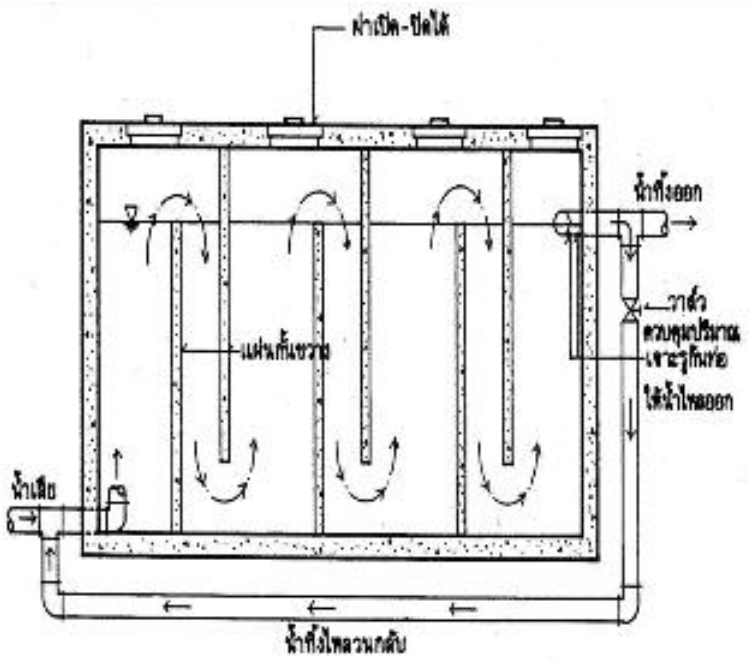
ประกอบด้วยถังหมักและถังตกตะกอน โดยภายในถังหมักจะมีการกวนผสมด้วยก๊าซชีวภาพหรือใช้ตัวกวน จากนั้นน้ำจะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อให้ตะกอนแบคทีเรียจมตัวลง แล้วสูบกลับมายังถังหมัก ระบบนี้มีประสิทธิภาพสูงและค่าก่อสร้างต่ำกว่าระบบ AF แต่มีข้อเสียคือ ต้องการการกวนผสมต้องมีถังตกตะกอนและต้องควบคุมความเข้มข้นของแบคทีเรียให้เหมาะสม และมักเกิดปัญหาตะกอนแบคทีเรียจมตัวยากเนื่องจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะยกตะกอนแบคทีเรียขึ้นด้วย ลักษณะการทำงานของระบบดังแสดงในรูปที่ 3.12 **(ในประเทศไทยใช้กับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังและสุรา)**



รูปที่ 3.12 รูปแสดงลักษณะระบบ AC

(5) ระบบ Anaerobic Baffle Reactor (ABR)

ถังหมักในระบบฯ นี้จะเป็นถังยาวและมีแผ่นกั้นในแนวตั้งหลายแผ่นวางสลับกัน เพื่อบังคับทิศทางการไหลของน้ำให้ไหลขึ้นลงสลับกันไป โดยมีความเร็วในการไหลขึ้นประมาณ 0.2-0.4 เมตร/ชั่วโมง ระบบฯนี้สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง แต่ระบบฯมีขนาดใหญ่ทำให้ต้องใช้พื้นที่มากกว่าระบบ UASB **(ในประเทศไทย ใช้กับอุตสาหกรรมแป้งมัน)**



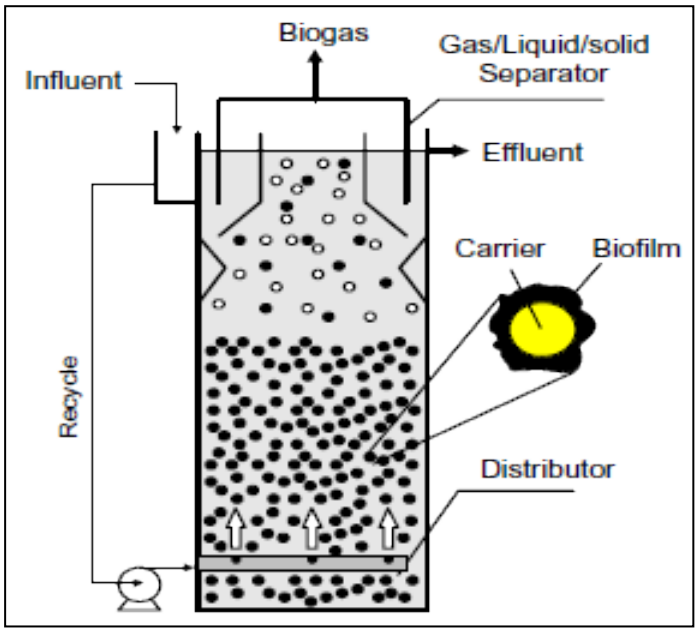
รูปที่ 3.13 รูปแสดงลักษณะระบบ ABR

(6) ระบบ Anaerobic Covered Lagoon (MCL)

ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Anaerobic Covered Lagoon มีลักษณะเป็นสระหรือบึงรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการคลุมด้วยแผ่นพลาสติกจำพวก High Density Polyethylene (HDPE) หรือแผ่น PVC เพื่อให้เกิดสภาพไม่ใช้อากาศและใช้เป็นตัวเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น โดยอาจคลุมทั้งบ่อหรือคลุมเฉพาะในส่วนที่มีการสร้างมีเทนก็ได้ ระบบฯนี้เป็นระบบที่ก่อสร้างง่ายและสะดวกในการเดินระบบ เนื่องจากไม่จำเป็นต้องมีการเติมอากาศ ไม่มีการให้ความร้อนและไม่มีการกวน โดยปกติแล้วความลึกของบ่อจะกำหนดไม่ต่ำกว่า 6 เมตร หรือมากที่สุดเท่าที่จะขุดได้ แต่ระบบฯดังกล่าวจำเป็นจะต้องใช้เวลากักเก็บน้ำที่ยาวนานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดี **(ในประเทศไทย ใช้กับอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง อุตสาหกรรมยางและใช้ในฟาร์มปศุสัตว์)**

(7) ระบบ Anaerobic Fluidized Bed (AFB)

ระบบฯ นี้เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงมาก โดยแบคทีเรียจะเกาะคลุมผิวตัวกลางที่เป็นเม็ดขนาดเล็ก (เล็กกว่า 1 มม.) น้ำเสียจะถูกสูบเข้าก้นถังหมักที่มีทรงสูงด้วยความเร็วสูงพอที่จะยกเม็ดตัวกลางให้ลอย เม็ดตัวกลางนี้จะเคลื่อนที่ไปในทุกทิศทุกทาง จึงทำให้การถ่ายเทมวลทั้งอาหารและของเสียต่างๆ จากปฏิกิริยาสูงมาก ส่วนบนของถังหมักมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นความเร็วของน้ำจะต่ำลง จึงทำให้เม็ดตัวกลางที่มีแบคทีเรียเกาะอยู่ตกลงมา ทำให้แบคทีเรียหลุดออก จึงควบคุมความหนาของแบคทีเรียได้ ถึงแม้ว่าระบบฯนี้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็เป็นระบบที่ยุ่งยากในการควบคุมและมีค่าใช้จ่ายในการบำบัดสูง



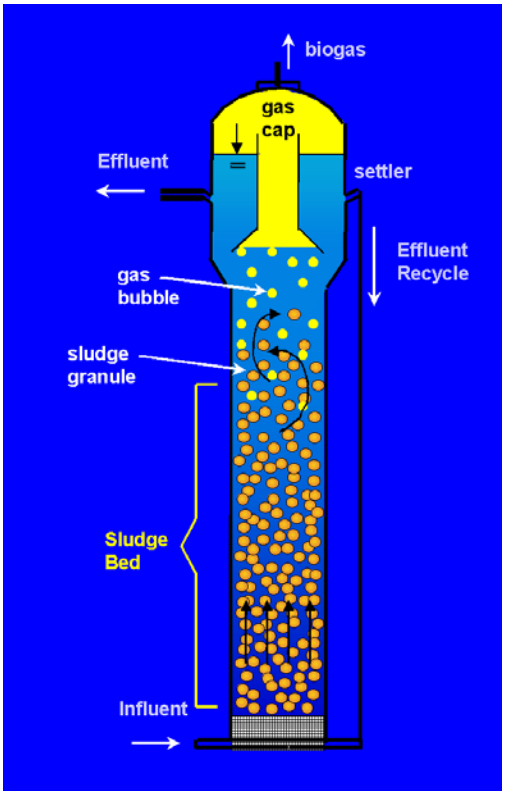
รูปที่ 3.14 รูปแสดงลักษณะระบบ AFB

(8) ถังปฏิกรณ์อากาศน้ำเสียไหลขึ้นอุณหภูมิสูง (High Rate Thermophillic UASB)

เป็นการดัดแปลง UASB ให้ทำงานที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้มีสภาวะเหมาะกับการเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตของแบคทีเรียประเภทที่ทำงานที่อุณหภูมิสูง (Thermophillic bacteria) รอบๆถังปฏิกรณ์จะมีช่องทางสำหรับให้น้ำร้อนไหลผ่าน (jacket) ประสิทธิภาพของระบบนี้จะสูงกว่า UASB แบบธรรมดาเพราะว่าแบคทีเรียมีความสามารถในการย่อยสลายสูงกว่า แต่ระบบนี้มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นอย่างมาก ถ้าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลงเพียงเล็กน้อย ประสิทธิภาพของระบบจะต่ำลงทันที

(9) ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศน้ำเสียไหลขึ้นแบบเพิ่มพื้นที่ตะกอน (Expanded Granular Sludge Bed: EGSB)

เป็นการปรับปรุงถังแบบ UASB ให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างน้ำเสียกับตะกอนเพิ่มขึ้น ทำได้หลายวิธี เช่น ใส่วัสดุบางชนิดที่มีพื้นที่ผิวมากๆลงไปเพื่อให้ตะกอนเกาะหรือการนำน้ำเสียที่ออกจากระบบกลับไปผสมกับสายป้อนเข้าสู่ระบบใหม่ (Recycle) เป็นการเพิ่มความเร็วของน้ำที่ป้อน (อยู่ในช่วง 6-12 เมตรต่อชั่วโมง) ทำให้เวลาที่น้ำเสียอยู่ในถังปฏิกรณ์มากขึ้น จึงสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำได้



รูปที่ 3.15 รูปแสดงถังปฏิกรณ์ไร้อากาศน้ำเสียไหลขึ้นแบบเพิ่มพื้นที่ตะกอน

(10) ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศน้ำเสียไหลขึ้นแบบแบ่งส่วน (Staging Upflow Anaerobic Sludge Blanket: SUASB)

เป็นการแบ่ง UASB ออกเป็นหลายๆส่วนต่อกัน สาเหตุของการแบ่งถังปฏิกรณ์ เพื่อให้ส่วนแรกๆเก็บกรดอินทรีย์ที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นระหว่างที่สารอินทรีย์จะเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Intermediate) เมื่อกรดอินทรีย์สะสมอยู่ในถังปฏิกรณ์ส่วนแรกๆ กรดอินทรีย์จะเปลี่ยนสภาวะในถังปฏิกรณ์ให้มีสภาวะเป็นกรด ทำให้สภาวะเหมาะกับแบคทีเรียประเภทสร้างกรด (acidogen) ถังปฏิกรณ์ส่วนหลังๆ ที่ปราศจากการสะสมของกรดอินทรีย์จะมีสภาวะเหมาะกับแบคทีเรียประเภทสร้างมีเทน ดังนั้นถังปฏิกรณ์แบบนี้จึงมีสภาวะเหมาะสมกับแบคทีเรียทั้งสองประเภท

(11) ASBR (Anaerobic Sequencing Bated Reactor)

ระบบบำบัดแบบ ASBR จัดเป็นเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนที่สามารถสร้างจุรินทรีย์ชนิดเม็ด (granular biomass) ชนิดใหม่ที่มีการเริ่มต้นพัฒนาโดยนักวิจัยของ Iowa State University (Sung & Dague, 1992) ปัจจุบันยังอยู่ในขั้นตอนการพัฒนาเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ ถังปฏิกรณ์มีสภาพการทำงานคล้ายกับระบบ UASB แต่มีขนาดใหญ่กว่า มีการป้อนน้ำเสียเข้าไปแบบ batch แบ่งการเดินระบบเป็น 4 ระยะ คือ ป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบ (the substrate feed phase), การเกิดปฏิกิริยา (the react phase), การตกตะกอน (the quiescent settle phase) เพื่อให้ตะกอนรวมตัวแน่นและการระบายน้ำเสียออกจากระบบ (the effluent decant phase)

ประเทศไทยมีการพัฒนาและใช้เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพประเภท UASB, ACL และ AFF อย่างต่อเนื่อง ทำให้ต้นทุนการผลิตถูกกว่ากรณีที่นำเข้าเทคโนโลยีจากต่างประเทศค่อนข้างมาก อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีบางประเภทก็ยังมีโอกาสพัฒนาให้ต้นทุนถูกลงอีก เช่น AFF และสืบเนื่องจากนโยบายส่งเสริมการผลิตเอทานอลและไบโอดีเซล ทำให้จำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมดังกล่าว นอกจากนี้ในอนาคตยังต้องคำนึงถึงเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรและ Energy crop เป็นแนวโน้มใหม่ในยุโรปอีกด้วย

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพจากแหล่งน้ำเสีย

ประเภทเทคโนโลยี	สถานภาพ

	ทางสากล	ในประเทศ
UASB	ใช้แพร่หลายทั้งในยุโรปและอเมริกา ได้รับความนิยมสูง	มีใช้ในระบบน้ำเสียจากฟาร์มสุกรเป็นส่วนใหญ่และอุตสาหกรรมบางประเภท เช่นแป้งมันสำปะหลัง โรงฆ่าสัตว์ อาหารทะเลแช่แข็ง เส้นหมี่ สุรา/เบียร์ ยางพารา กระดาษ สามารถพัฒนาได้ในประเทศ
ACL		มีใช้ในประเทศ โดยพัฒนาจากบ่อบำบัดเดิม สามารถพัฒนาได้ในประเทศ
AFF		ส่วนใหญ่ใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมขนาดกลางและใหญ่ เช่น โรงงานแป้งข้าวเจ้า แป้งมันสำปะหลัง ผลไม้กระป๋อง สามารถพัฒนาได้ในประเทศ
CSTR		ใช้กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรม เช่น โรงงานปาล์มน้ำมัน รวมทั้งใช้ในระบบการบำบัดขยะชุมชนบางแห่ง
ABR		ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังและแอลกอฮอล์ สามารถพัฒนาได้ภายในประเทศ
IC	ใช้ในระบบขนาดเล็ก	นำเข้ามาทั้งระบบ
EGSB	-	ยังไม่แพร่หลาย
Plug Flow	-	ยังไม่ค่อยแพร่หลาย
Fixed Dome	เริ่มต้นในประเทศจีน ใช้กับระบบขนาดเล็ก	ใช้มากในระบบน้ำเสียจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก

ที่มา: โครงการวิจัยเชิงนโยบายพลังงานทดแทน JGSEE

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดง จุดเด่น จุดด้อย ของเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประเภทเทคโนโลยี	จุดเด่น	จุดด้อย
UASB	- งบลงทุน ระบบก๊าซชีวภาพขนาดประมาณ 10,000 ลบ.ม.ก๊าซ ทั้งระบบมีราคาประมาณ 40-50 ล้านบาท - ระบบสำหรับมูลสุกรจากเทคโนโลยีในประเทศไทย 0.55-1.76 บาท/ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพ หรือ 0.46-1.46 บาท/กิโลวัตต์-ชม. - ระบบสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่เทคโนโลยีในประเทศไทยอยู่ที่ 0.39-0.68 บาท/ลบ.ม.ก๊าซ	- แผนงานพัฒนาพลังงานทดแทนกำหนดเป้าหมายในปี พ.ศ. 2554 จะส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ คิดเป็นไฟฟ้า 11 MW หรือคิดเป็นพลังงาน 202.78 ktoe - ในปัจจุบัน การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรมีเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น และบริษัทที่ดำเนินกิจการด้านผลิตก๊าซชีวภาพมีไม่ถึง 10 บริษัท
ACL	- ต้นทุนการผลิตมูลสัตว์โดยใช้เทคโนโลยีบ่อไร้อากาศในประเทศไทยอยู่ในช่วง 0.99-1.07	- ใช้ได้ทั้งฟาร์มสุกรและโรงงานอุตสาหกรรม

	บาท/ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพ หรือ 0.83-0.89 บาท/กิโลวัตต์-ชม. - ต้นทุนการผลิตจากมูลสัตว์ด้วยเทคโนโลยีบ่อไร้อากาศจากต่างประเทศ (อเมริกา) 0.91-3.04 บาท/ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพ หรือ 0.76-2.54 บาท/กิโลวัตต์-ชม. -สำหรับการปรับปรุงบ่อเก่า ต้นทุนการคลุมบ่ออยู่ที่ 60-200 บาท/ตร.ม.	
AFF	ระบบก๊าซชีวภาพขนาดประมาณ 10,000 บาท/ลบ.ม.ก๊าซ (ทั้งระบบแบบตรึงฟิล์มมีราคาประมาณ 40-50 ล้านบาท) - การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์แบบตรึงฟิล์มที่เป็นเทคโนโลยีอเมริการาคา 1.52-2.44 บาท/ตร.ม.ก๊าซชีวภาพ หรือ 1.27-2.03 บาท/กิโลวัตต์-ชม. - ระบบสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีในประเทศไทยต้นทุนอยู่ที่ 0.39-0.68 บาท/ตร.ม.ก๊าซ	- เป็นเทคโนโลยีในประเทศทั้งหมดยังไม่มีการนำเข้าจากต่างประเทศ - ใช้ในอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง น้ำมันปาล์ม สับปะรดกระป๋อง สุรา อาหารทะเลกระป๋องและโรงฆ่าสัตว์ โดยมีศักยภาพถึง 500 ล้าน ลบ.ม. ต่อปี ปัจจุบันผลิตเพียงประมาณ 80 ล้าน ลบ.ม./ปี
CSTR	- การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์ โดยใช้ถังกวนสมบูรณ์ซึ่งเป็นเทคโนโลยีจากเดนมาร์คมีต้นทุน 2.22-11.27 บาท/ตร.ม.ก๊าซชีวภาพ หรือ 1.85-9.39 บาท/กิโลวัตต์-ชม. - ส่วนเทคโนโลยีของอเมริกาเป็นต้นทุน 1.22-2.13 บาท/ลบ.ม.ก๊าซชีวภาพ หรือ 1.02-1.78 บาท/กิโลวัตต์-ชม.	- ในปัจจุบัน การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรมีเพียงร้อยละ 50 เท่านั้น และบริษัทที่ดำเนินกิจการด้านผลิตก๊าซชีวภาพมีไม่ถึง 10 บริษัท
ABR	- ส่วนใหญ่ที่มีใช้งานมีต้นทุนในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงมาก เฉลี่ย 2.16 บาท/ลบ.ม.ก๊าซ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นระบบที่นำเข้าเทคโนโลยีมาจากต่างประเทศ	- ใช้ได้ทั้งในระบบการผลิตจากฟาร์มสุกรและโรงงานอุตสาหกรรม

ที่มา: โครงการวิจัยเชิงนโยบายพลังงานทดแทน JGSEE

ตารางที่ 3.3 ตารางแสดงเทคโนโลยีระบบทำความสะอาดก๊าซชีวภาพ

ประเด็นหลัก	ช่องว่างองค์ความรู้ในการพัฒนา/ผลิต	
	ทางสากล	ในประเทศ
1. การบำบัดโดยวิธีทางเคมี	-ใช้ Oxidizing agent เช่น Ferric oxide, Zinc, Oxides solid alkalines เป็นต้น ซึ่งใช้กันแพร่หลาย	- ใช้ Ferric oxides ในบางที่ยังต้องพึ่งเทคโนโลยีจากต่างประเทศบ้าง ซึ่งยังไม่มีการพัฒนาในประเทศ
2. การบำบัดทางชีวภาพ	- ศึกษาและพัฒนาจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้อง	- ยังไม่มีการศึกษาในประเทศอย่าง

		จริงจัง สามารถพัฒนาได้หากได้รับการสนับสนุน
3. การบำบัดทางเคมี-กายภาพ	- มีเทคโนโลยีเมมเบรนที่มีประสิทธิภาพหลายประเภทต้องใช้	- ยังไม่ได้นำมาใช้ สามารถพัฒนาได้หากได้รับการสนับสนุน

ที่มา: โครงการวิจัยเชิงนโยบายพลังงานทดแทน JGSEE

บทที่ 4
ศักยภาพของพลังงานก๊าซชีวภาพ

4.1. ศักยภาพก๊าซชีวภาพรวมทั้งประเทศ

ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้สูงถึงประมาณ 9,000 กิโลแคลอรี่/ลูกบาศก์เมตร (kcal/m^3) หรือ 21,000 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร (kJ/m^3) ดังนั้นจึงสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานได้ เช่น เผาเพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับขับเคลื่อนเครื่องยนต์สันดาปภายใน หรือเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตไอน้ำและกระแสไฟฟ้า เป็นต้น แต่ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพนั้น ไม่สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ทั้งหมดให้เป็นก๊าซได้ ซึ่งจะยังคงมีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากหลงเหลืออยู่โดยจะเหลืออยู่มากหรือน้อยนั้น จะขึ้นอยู่กับชนิดและแหล่งที่มาของสารอินทรีย์ ทั้งนี้ ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสีย โดยอาศัยการประเมินค่าจากเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางแสดงศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ

แหล่งของน้ำเสีย	ปริมาณน้ำเสีย (ลูกบาศก์เมตร)	ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพ (ลูกบาศก์เมตร)
โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ	1	15
โรงงานแป้งข้าวเจ้า	1	2.4
โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	1	7
โรงฆ่าสัตว์	1	0.7
ฟาร์มสุกร	1	3.5

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน

ในส่วนของอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสามารถคำนวณอย่างคร่าวๆทางทฤษฎีได้ โดยเริ่มจากการคำนวณหาสารอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างมีเทนก่อน ดังแสดงในสมการ

สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างมีเทน = สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ – สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างเซลล์

เมื่อได้ปริมาณสารอินทรีย์ในการสร้างมีเทนแล้ว จึงคำนวณหาอัตราการสร้างมีเทนโดยใช้สมการ

อัตราการสร้างมีเทน (ลบ.ม./วัน) = 0.35 (ลบ.ม. /กก.) x สารอินทรีย์ที่ใช้สร้างมีเทน (กก./วัน)

สารอินทรีย์ที่ถูกนำมาใช้ในการสร้างมีเทนสามารถคำนวณได้จากปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดไปลบด้วยปริมาณแบคทีเรียที่เกิดขึ้นใหม่ ในส่วนของก๊าซชีวภาพที่ได้ทั้งหมด โดยปกติแล้วก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วย มีเทนร้อยละ 60 ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันจะมีค่าเท่ากับ

ปริมาณก๊าซชีวภาพ (ลบ.ม./วัน) = ปริมาณก๊าซมีเทน (ลบ.ม./วัน)/0.6

ดังนั้นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในปริมาณ 1 กิโลกรัม จะมีค่าประมาณ 0.35/0.6 = 0.6 ลบ.ม. /กก.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม ได้ประเมินโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งอื่นๆในประเทศไทยที่มีศักยภาพในการผลิตไฟฟ้าด้วยก๊าซชีวภาพได้หลายแห่ง ดังนี้ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม จำนวน 34 โรง, โรงงานแป้งมันสำปะหลังจำนวน 55 โรง, โรงงานน้ำตาลจำนวน 46 โรง, ฟาร์มเลี้ยงสุกรจำนวน 338 โรง, โรงฆ่าสัตว์จำนวน 85 โรง, ขยะชุมชนจำนวน 300 ชุมชน ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีต้นทุนเฉลี่ยเพียง 1.8 – 2.00 บาท/kwh และเป็นที่ทราบกันดีว่าในชนบทของประเทศที่กำลังพัฒนา การใช้ก๊าซชีวภาพจากขยะทางการเกษตรหรือเศษอาหารจากครัวเรือนสามารถเป็นทางเลือกสำหรับพลังงานราคาถูก ไม่ว่าจะเพื่อแสงสว่างหรือการทำอาหาร เห็นได้ชัดเจนจากในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ทางรัฐบาลของอินเดียและจีนได้ให้การสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพระดับครัวเรือน ซึ่งนอกจากจะลดค่ายังชีพแล้วยังเป็นการลดภาระของโครงข่ายพลังงานของชาติอีกด้วย

การนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้ ยังเป็นการลดการปล่อยมลภาวะที่ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมที่นับวันจะยิ่งเสื่อมโทรมลง นอกจากนี้ยังมีผลผลิตพลอยได้ต่างๆ ยิ่งในทุกวันนี้โลกกำลังเผชิญวิกฤติปัญหาสิ่งแวดล้อมและวิกฤติพลังงานจึงทำให้ก๊าซชีวภาพยิ่งมีความสำคัญมากขึ้น ปัจจุบันรัฐบาลของหลายๆประเทศรวมถึงประเทศไทย ที่ได้ให้การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพและสนับสนุนผู้ที่ทำการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบต่างๆ มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

รูปที่ 4.1 น้ำเสียนำมาผลิต

ก๊าซชีวภาพ

4.2. ศักยภาพแหล่งพลังงานก๊าซชีวภาพ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร จึงมีของเสียและผลพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตที่เจ้าของหรือผู้ประกอบการต้องจัดการกำจัดไม่ให้เกิดผลกระทบกับสิ่งแวดล้อมและชุมชน หากมีการนำน้ำเสียเหล่านี้กลับมาใช้ประโยชน์ โดยนำมาใช้เพื่อผลิตเป็นก๊าซชีวภาพและนำก๊าซชีวภาพมาทดแทนการใช้พลังงาน เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมสามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาหรือใช้เดินเครื่องจักรกลแทนน้ำมัน จะช่วยทำให้ลดต้นทุนในการผลิต ลดปัญหาการขาดแคลนพลังงาน รวมทั้งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการจัดการการใช้พลังงานทดแทน เพื่อลดการนำเข้าน้ำมันปิโตรเลียมและช่วยลดผลกระทบทางสิ่งแวดล้อมในด้านลดการปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซเรือนกระจก

4.3. ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบัน

ในปัจจุบันมีการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียฟาร์มปศุสัตว์ เช่น สุกร โค และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและการแปรรูป การประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม 7 ประเภท (ที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ไม่น้อยกว่า 400 ลบ.ม./วัน) และจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก กลางและใหญ่ และรวบรวมสถานภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจนถึงปัจจุบัน เพื่อให้ทราบถึงศักยภาพคงเหลือเพื่อใช้สำหรับการวางแผนส่งเสริม สนับสนุน ซึ่งสรุปได้ดังนี้

- อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง จำนวน 77 โรงงาน มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว 36 โรงงาน ยังไม่มี 41 โรงงาน
- อุตสาหกรรมกระดาษ จำนวน 23 โรงงาน มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว 2 โรงงาน ยังไม่มี 21 โรงงาน
- อุตสาหกรรมสุราและเบียร์ จำนวน 13 โรงงาน ทั้งหมด 13 โรงงานมีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว
- อุสาหกรรมเอทานอล (กำลังผลิตประมาณ 150,000 ลิตร/วัน) จำนวน 24 โรงงาน มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว 4 โรงงานและยังไม่มี 20 โรงงาน
- อุตสาหกรรมยาง จำนวน 87 โรงงาน มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว 2 โรงงานและยังไม่มี 85 โรงงาน
- อุตสาหกรรมอาหาร จำนวน 108 โรงงาน มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว 44 โรงงานและยังไม่มี 64 โรงงาน
- อุตสาหกรรมปาล์ม (เฉพาะโรงสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก) จำนวน 44 โรงงาน มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว 5 โรงงานและยังไม่มี 39 โรงงาน
- ฟาร์มสุกรขนาดเล็ก จำนวน 3 ล้านตัว มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 1.77 ล้านตัว ยังไม่มี 1.23 ล้านตัว
- ฟาร์มสุกรขนาดกลางและใหญ่ จำนวน 4.14 ล้านตัว มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ 2.19 ล้านตัว ยังไม่มี 1.95 ล้านตัว
- ฟาร์มโค (โคนมและโคเนื้อ) จำนวน 8 ล้านตัว การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลโคยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากการเลี้ยงโคส่วนใหญ่เป็นแบบเลี้ยงในพื้นที่เปิด ทำให้การเก็บข้อมูลกลับมาใช้ตามสภาพความเป็นจริงมีน้อย คาดว่าเก็บได้ไม่เกิน 50% มูลโคมีปริมาณกากเซลลูโลสอยู่มาก (ซึ่งย่อยสลายได้ช้า) ทำให้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพยุ่งยากและมีต้นทุนสูงกว่า อย่างไรก็ตามการเลี้ยงโคนม

ซึ่งมีลักษณะการเลี้ยงที่มิดชิดในฟาร์มหรือโรงเลี้ยงที่เป็นระบบมากกว่า มีโอกาสที่จะเก็บมูลมาใช้ได้มากถึง 80% ของมูลที่ถ่ายออกมาทั้งหมด จะมีศักยภาพมากกว่า

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบัน

ลำดับ	ประเภทโรงงาน	ศักยภาพ		สถานภาพ			
		โรงงาน/ล้านตัว	ก๊าซชีวภาพ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ		ยังไม่มี	
				โรงงาน/ล้านตัว	ก๊าซชีวภาพ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	โรงงาน/ล้านตัว	ก๊าซชีวภาพ (ล้าน ลบ.ม./ปี)
1	แป้ง	77	377	36	162.74	41	214.26
2	สุราและเบียร์	13	110	13	110	0	0
3	อาหาร	108	100	44	40.74	64	59.26
4	ปาล์ม (เฉพาะโรงสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก)	44	25.3	5	2.9	39	22.4
5	กระดาษ	23	29	2	2.52	21	26.48
6	ยาง	87	84	2	1.62	85	82.38
7	เอทานอล(กำลังการผลิตประมาณ 150000 ลิตร/วัน)	24	218.4	4	36.4	20	182
8	ฟาร์มสุกรเล็ก	3	131.69	1.77	77.7	1.23	53.99
9	ฟาร์มสุกรกลางและใหญ่	4.14	181.67	2.19	96.1	1.95	85.57
10	ฟาร์มโค (โคเนื้อและโคนม)	8	822	N/A	N/A	N/A	N/A
11	ฟาร์มสัตว์อื่นๆ	N/A	125	N/A	N/A	N/A	N/A

4.4. ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในอนาคต

ปัจจุบันได้เริ่มมีความสนใจในการนำของเสียอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ลักษณะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogeneous) มาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ทั้งนี้เพื่อเพิ่มทางเลือกของวัตถุดิบในการผลิตเป็นพลังงานให้มากขึ้น นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์เดิมที่มีอยู่ในประเทศไทยให้เป็นระบบแบบ Central Treatment Plant ซึ่งสามารถรองรับของเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ เช่น ซังข้าวโพด ฟางข้าว แกลบ กากันสำปะหลัง เศษอาหาร ขยะชุมชน เป็นต้น ทั้งนี้เทคนิคการ Co-digestion ของน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์และเศษวัสดุเหลือจากการเกษตรยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพให้เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

การย่อยของเสียนั้นมักมีข้อจำกัดที่อัตราการย่อยสลายที่ช้า โดยเฉพาะขั้นตอนไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะถูกเปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็ก ขั้นตอนนี้เกิดได้ช้ากว่าในน้ำเสียมากทำให้อัตราการเปลี่ยนของเสียเหล่านี้เป็นก๊าซชีวภาพมีค่าน้อยและสามารถควบคุมประสิทธิภาพและเสถียรภาพของระบบได้ยาก ดังนั้นการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์ในลักษณะของแข็งให้เป็นก๊าซชีวภาพจำเป็นต้องอาศัยเทคนิควิธีการที่แตกต่างจากน้ำเสียเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายให้สูงมากขึ้นป้อนเข้าสู่กระบวนการย่อยสลาย เช่น

(1) วิธีทางกล (Mechanical method) เพื่อลดขนาดของชีวมวล เช่น การบด ตัด สับ

(2) วิธีทางเคมี (Chemical method) ซึ่งเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการปรับปรุงโครงสร้างของชีวมวล เช่น การแตกพันธะ ตัดหรือลดทอนโครงสร้างโมเลกุลของสารที่ย่อยสลายยาก เช่น เซลลูโลส โดยใช้สารเคมีในการออกซิไดซ์ เช่น ใช้กรดกำมะถัน (H_2SO_4) กรดไฮโดรคลอลิค (HCl) หรือด่าง (NaOH) เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธีที่เรียกว่า Advance Oxidation Process (AOP) เช่น Fenton, Photo-fenton, UV-H_2O_2, UV/Ozone เป็นต้น

(3) โดยการอาศัยความร้อน (Thermal method) เพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์

(4) วิธีทางจุลชีววิทยา (Microbial method) วิธีทางชีวภาพนี้เป็นวิธีที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หรือเอนไซม์ที่จุลินทรีย์ผลิตขึ้นมาในการลดทอนขนาดโมเลกุลหรือเปลี่ยนจากสารโมเลกุลใหญ่ไปเป็นโมเลกุลเล็กก่อนป้อนเข้าสู่ถังหมัก

อนึ่งวิธีการ Pre-treatment ข้างต้นได้มีการศึกษามาแล้วในต่างประเทศและสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามในประเทศไทยยังไม่มีการศึกษาการนำสารอินทรีย์ในรูปของแข็งไปผลิตก๊าซชีวภาพอย่างจริงจังหรือยังไม่เกิดประสิทธิผลเท่าที่ควร

<u>ศักยภาพจากกากมันจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง</u>

พพ. ได้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลัง เนื่องจากในปัจจุบันโรงงานมีกากมันสำปะหลังที่ออกจากกระบวนการผลิตมีความชื้นประมาณ 60-70% (น้ำหนักเปียก) จำนวนมาก ซึ่งทางโรงงานจะกำจัดโดยนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นแล้วนำไปขายเพื่อเป็นอาหารสัตว์ แต่การกำจัดโดยวิธีดังกล่าวยังมีปัญหา เนื่องจากต้องใช้พื้นที่ในการตากและใช้ระยะเวลาตากนานถึง 5 วัน แต่บางโรงงานมีพื้นที่ของลานตากจำกัด และในฤดูฝนสามารถลดความชื้นของกากมันได้ทันที่ผลิตมาได้ ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการจัดเก็บและกลิ่นจากการหมัก โดยมีศักยภาพผลิตก๊าซชีวภาพประมาณ 388 ล้านลบ.ม./ปี ได้ก๊าซมีเทนประมาณ 14 ล้านลบ.ม./ปี เทียบเท่าพลังงานประมาณ 141 ktoe/ปี สามารถทดแทนพลังงานไฟฟ้าได้ 465.6 GWh/y (65 MWe, PF=82%) หรือทดแทนน้ำมันเตาได้ 178 ล้านลิตร/ปี

<u>ศักยภาพจากชีวมวลอื่นๆ</u>

- คุณสุริยา อชยานนท์ ได้อธิบายความสามารถในการพัฒนาการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้เทคโนโลยี Dry Fermentationโดยข้อมูลหญ้าแห้งเลี้ยงโคปลูกให้ผลผลิต 30 ตัน/ไร่/ปี ให้ก๊าซชีวภาพ 200 ลบ.ม./ตัน ผลิตไฟฟ้าได้ 2 หน่วย/ลบ.ม. ถ้าทั่วประเทศปลูกหญ้า 10 ล้านไร่ จะผลิตไฟฟ้าได้ 17,000 เมกกะวัตต์

- จากกระบวนการผลิตน้ำมันปาล์ม มีทะลายปาล์ม เส้นใย กะลาปาล์ม กากปาล์มและของเสียจากกระบวนการสกัดน้ำมันปาล์ม มีศักยภาพสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 4,086,629,486 ลบ.ม./ปี ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 1,290 เมกกะวัตต์

- จากการปลูกอ้อย จะมียอดอ้อยและใบอ้อย ที่มีศักยภาพสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประมาณ 975,000,000 ลบ.ม./ปี ผลิตไฟฟ้าได้ประมาณ 307.8 เมกกะวัตต์

4.5. การส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ

ประเทศไทยมีการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพมานานกว่า 20 ปีแล้ว แต่ในระยะแรกจำกัดอยู่ในระดับครัวเรือนหรือเกษตรกรรายย่อย ต่อมาในปี พ.ศ. 2531 คณะทำงานของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ร่วมกับกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยการสนับสนุนจากองค์การ GTZ (Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit) ประเทศเยอรมนี ได้จัดตั้ง "โครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน" ขึ้น เพื่อ

ศึกษาปัญหาการใช้ระบบก๊าซชีวภาพในช่วงเวลาที่ผ่านมา พร้อมทั้งปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพให้มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมากขึ้น

ปี พ.ศ. 2534 ได้มีการจัดตั้งหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สังกัดสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อดำเนินการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ต่อเนื่องจากโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน รวมทั้งเพื่อดำเนินการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น และในปลายปี พ.ศ. 2538 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ หรือ สพช. (ปัจจุบัน คือ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน หรือ สนพ. กระทรวงพลังงาน) ได้ให้การสนับสนุนแก่หน่วยบริการก๊าซชีวภาพ ดำเนินงาน "โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ระยะที่ 1" จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2551 หน่วยบริการก๊าซชีวภาพได้รับการจัดตั้งเป็น "สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่" และต่อมา ในปี พ.ศ. 2553 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีได้พระราชทานชื่อหน่วยงานใหม่ เป็น "สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่" ซึ่งได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพต่อเนื่องมาจวบจนปัจจุบัน

4.6. แผนการส่งเสริมก๊าซชีวภาพ

<u>แนวคิดการจัดทำแผนกลยุทธ์การพัฒนาและส่งเสริมพลังงานก๊าซชีวภาพ</u>

กลยุทธ์ระยะสั้น: ปัจจุบันการผลิตพลังงานก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมและฟาร์มปศุสัตว์ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากผู้ประกอบการได้เล็งเห็นความสำคัญของพลังงานทดแทนและเล็งเห็นความสำเร็จและผลประหยัดได้จริงของโรงงาน/ฟาร์มที่ประสบความสำเร็จ ทำให้เชื่อมั่นในเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ บริษัทที่ปรึกษาในการออกแบบระบบฯของไทยมีความสามารถแข่งขันกับบริษัทที่ปรึกษาต่างประเทศได้ ดังนั้น กลยุทธ์ระยะสั้นจึงเป็นการวางแผนโดยใช้พื้นฐาน ดังนี้

- ส่งเสริมให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้ศักยภาพจากน้ำเสียภายในโรงงานและฟาร์มเอง
- ดำเนินการโดยใช้เทคโนโลยีระบบผลิตที่เห็นผลสำเร็จในปัจจุบันแล้ว เป็นเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์ตั้งต้นในรูปของน้ำเสียที่มีลักษณะกึ่งของแข็ง (Semi-solid) ที่มีเปอร์เซ็นต์ของแข็งน้อยกว่า 3% (TS<3%) ทำให้สารอินทรีย์ถูกย่อยสลายกลายเป็นก๊าซชีวภาพได้ง่าย (Liquid to Biogas) ได้แก่ ระบบ UASB, AF, CSTR, MCL, ABR, CD, Plug flow
- ดำเนินการศึกษาวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากชีวมวล เพื่อหาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นจากของเสียอินทรีย์ในรูปของแข็ง (Biomass to Biogas)
- ศึกษา สาธิต การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียผสม (Co-digestion)
- ศึกษา พัฒนา เทคโนโลยีการทำความสะอาดก๊าซชีวภาพและการนำไปใช้

กลยุทธ์ระยะยาว มุ่งเน้นในการศึกษาวิจัย พัฒนาและส่งเสริมศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นจากของเสียอินทรีย์ที่มีลักษณะเป็นของแข็ง ไม่เป็นเนื้อเดียวกันฝาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ (Biomass to Biogas) เพื่อเพิ่มทางเลือกของวัตถุดิบในการผลิตพลังงานให้มากขึ้น โดยใช้พื้นฐานดังนี้

- ส่งเสริมให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้ศักยภาพจากชีวมวลเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอาหารอื่นๆ เช่น ยอดและใบอ้อย ฟางข้าว กากมันสำปะหลัง กากปาล์ม หญ้าเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น มาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ
- ดำเนินการโดยใช้เทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่เป็นเทคโนโลยีการเปลี่ยนของเสียอินทรีย์ร่วมกับน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์เป็นก๊าซ (Co-digestion) ระบบถังกวนสมบูรณ์

- ส่งเสริมเทคโนโลยีการผลิตอุปกรณ์ที่ใช้กับระบบก๊าซชีวภาพให้ทัดเทียมกับต่างประเทศ
- ส่งเสริมพัฒนาเทคโนโลยีการทำความสะอาดก๊าซชีวภาพและการนำไปใช้
- วิจัยการผลิต Bio-methane และพัฒนาส่งเสริมให้ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการคมนาคมขนส่ง
- ศึกษาเทคโนโลยีการอัดก๊าซชีวภาพด้วยแรงดันบรรยากาศสูง

4.7. แหล่งชีวมวลสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย

แหล่งและปริมาณชีวมวล

ชีวมวล หมายถึง สารอินทรีย์ทุกรูปแบบที่ได้จากสิ่งมีชีวิตรวมถึงของเสียและวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ป่าไม้ปศุสัตว์ขยะและน้ำเสียจากชุมชน ในประเทศไทยแหล่งชีวมวลสำคัญที่นำมาผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ มูลสัตว์ โดยเฉพาะสุกรและมูลโค ซึ่งมีปริมาณการเลี้ยงรวมกันกว่า 14.6 ล้านตัว และน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะเกษตรอุตสาหกรรมและเกษตรแปรรูปซึ่งมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์สูง ที่สำคัญ ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง เอทานอล น้ำมันปาล์ม อาหารทะเลกระป๋อง สับปะรดกระป๋อง โรงงานน้ำตาล และโรงฆ่าสัตว์ สำหรับขยะชุมชนนั้นพบว่าแม้มีปริมาณมากถึง 13.9 ล้านตันต่อปีแต่ยังมีข้อจำกัดในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ เช่นเดียวกับน้ำเสียชุมชนซึ่งมีความสกปรกของสารอินทรีย์ต่ำ อาจต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำให้ไม่นิยมนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

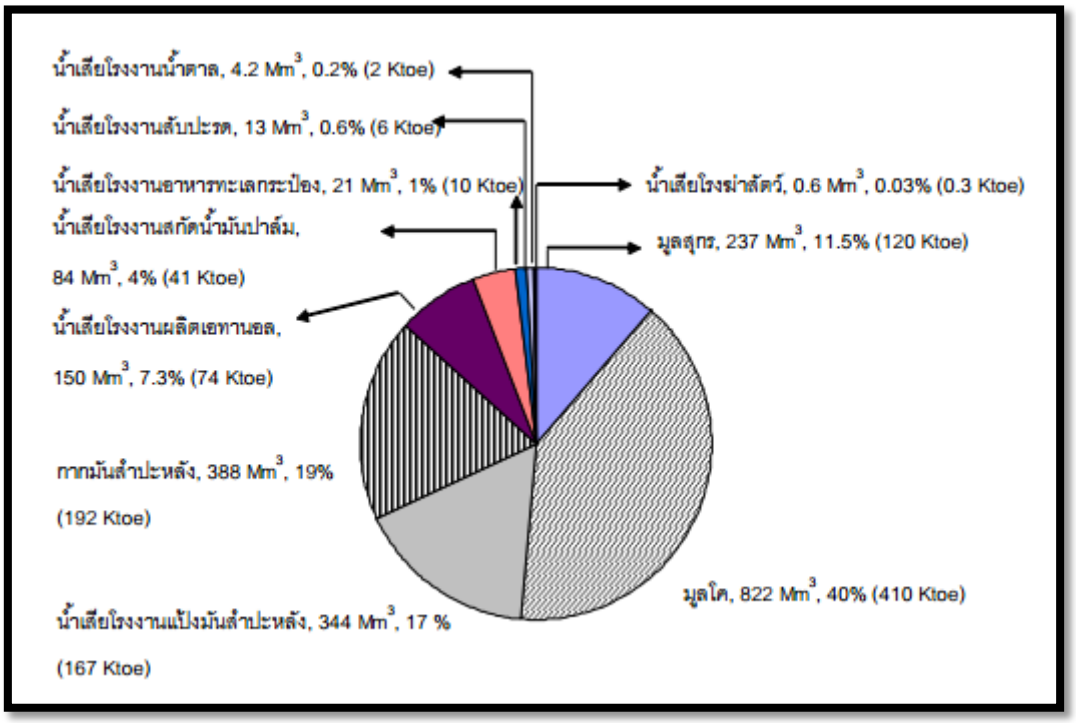
ศักยภาพแหล่งชีวมวลเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

น้ำเสียและของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมนั้น พบว่ามีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพรวมกันประมาณ 1,000 ล้านลบ.ม. ต่อปีหรือเทียบเท่า 500 ktoe จากการประเมินศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรม 7 ประเภท (ที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ไม่น้อยกว่า 400 ลบ.ม./วัน) และจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก กลางและใหญ่ และรวบรวมสานภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจนถึงปัจจุบันเพื่อให้ทราบถึงศักยภาพคงเหลือเพื่อใช้สำหรับการวางแผนส่งเสริม สนับสนุน ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในปัจจุบัน

ลำดับ	ประเภทโรงงาน	ศักยภาพ		สถานภาพ			
		โรงงาน/ล้านตัว	ก๊าซชีวภาพ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	มีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ		ยังไม่มี	
				โรงงาน/ล้านตัว	ก๊าซชีวภาพ (ล้าน ลบ.ม./ปี)	โรงงาน/ล้านตัว	ก๊าซชีวภาพ (ล้าน ลบ.ม./ปี)
1	แป้ง	77	377	36	162.74	41	214.26
2	สุราและเบียร์	13	110	13	110	0	0
3	อาหาร	108	100	44	40.74	64	59.26
4	ปาล์ม (เฉพาะโรงสกัดน้ำมันปาล์มแบบหีบเปียก)	44	25.3	5	2.9	39	22.4
5	กระดาษ	23	29	2	2.52	21	26.48
6	ยาง	87	84	2	1.62	85	82.38
7	เอทานอล(กำลังการผลิตประมาณ 150000 ลิตร/วัน)	24	218.4	4	36.4	20	182
8	ฟาร์มสุกรเล็ก	3	131.69	1.77	77.7	1.23	53.99

9	ฟาร์มสุกรกลางและใหญ่	4.14	181.67	2.19	96.1	1.95	85.57
10	ฟาร์มโค (โคเนื้อและโคนม)	8	822	N/A	N/A	N/A	N/A
11	ฟาร์มสัตว์อื่นๆ	N/A	125	N/A	N/A	N/A	N/A
			2204.06		530.72		726.34



รูปที่ 4.2 แผนภูมิแสดงศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากแหล่งชีวมวลต่างๆ

ปัจจุบันมูลสัตว์ น้ำเสียและของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์ เช่น สุกร โค และจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรและการแปรรูป เป็นแหล่งชีวมวลเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพหลัก จากการประเมินศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากโรงงานอุตสาหกรรมและ (ไม่รวมขยะและน้ำเสียชุมชน) มูลสัตว์ที่สำคัญคือ สุกรและโค แต่เนื่องจากรูปแบบการเลี้ยงของโคเนื้อ (มากกว่า 80% เป็นโคเนื้อ) เป็นแบบเดินทุ่งหรือปล่อยเลี้ยงทำให้ยากที่จะรวบรวมมูลมาใช้ประโยชน์ได้ จึงมีเฉพาะมูลสุกรเท่านั้นที่มีการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพอย่างจริงจัง ทั้งนี้เพื่อเพิ่มทางเลือกของวัตถุดิบในการผลิตเป็นพลังงานให้มากขึ้น ในอนาคตยังมีการวางแนวทางในการพัฒนาระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์เดิมที่มีอยู่ในประเทศไทยให้เป็นระบบแบบ Central Treatment Plant ซึ่งสามารถรองรับของเหลือทิ้งทางการเกษตรและอุตสาหกรรมอื่นๆ เช่น ซังข้าวโพด ฟางข้าว แกลบ กากมันสำปะหลัง เศษอาหาร ขยะชุมชน เป็นต้น ทั้งนี้เทคนิคการ Co-digestion ของน้ำเสียจากฟาร์มปศุสัตว์และเศษวัสดุที่เหลือจากการเกษตรยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพให้เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

4.8. ภาพรวมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ปัญหา อุปสรรคและแนวโน้มในอนาคต

นอกจากประโยชน์พื้นฐานจากการลดปริมาณของเสียในรูปของซีโอดีได้มากกว่า 0.8 ล้านตนซีโอดีต่อปีแล้ว เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพยังเอื้อประโยชน์อื่นๆ อีกหลายประการ ได้แก่ การเป็นแหล่งพลังงานทดแทนโดยก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ 380 ล้านลบ.ม. ต่อปีนั้น คิดเป็นพลังงานเทียบเท่าน้ำมันเตา 180 ล้านลิตรหรือนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าได้กว่า 460 ล้าน kWh สำหรับประโยชน์ทางอ้อม เช่น ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยลดการปลดปล่อยมีเทนประมาณ 0.15 ล้านตัน มีเทนต่อปีและคาร์บอนไดออกไซด์ประมาณ 0.22 ล้าน

ตันคาร์บอนไดออกไซด์ต่อปีลดการใช้พลังงานที่สร้างผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น น้ำมัน ไฟฟ้า ถ่านหิน และลดความขัดแย้งของชุมชนรอบแหล่งกำเนิดของเสียต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อ

สังคมโดยรวม ดังนั้นจากภาพรวมเทคโนโลยี ก๊าซชีวภาพแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาอย่างต่อเนื่องกว่า 50 ปี ผันผวนตามภาวะราคาน้ำมันและนโยบายของหน่วยงานรัฐซึ่งมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริม ทำให้ปัจจุบันประเทศไทยนับว่ามีความก้าวหน้าของเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพเป็นลำดับ แต่ปัญหาของการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพยังคงมีอยู่ เช่น นโยบายที่ไม่ชัดเจน ต้นทุนก่อสร้างระบบที่สูง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเร่งส่งเสริมให้เกิดการใช้งานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพอย่างแพร่หลาย ภาครัฐควรมีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนและมีมาตรการสนับสนุนที่เป็นรูปธรรม เช่น มาตรการด้านการเงิน ทั้งเงินสนับสนุนการก่อสร้างระบบ เงินกู้ดอกเบี้ยต่ำ หรือมาตรการทางภาษีเป็นต้น นอกจากนี้ควรส่งเสริมให้มีการศึกษาวิจัยและหาวิธีการใช้ประโยชน์แหล่งชีวมวลที่มีศักยภาพสูงแต่มีการใช้ประโยชน์ต่ำในปัจจุบัน เช่น มูลโค ซึ่งมีปัญหาในการจัดเก็บ ดังนั้นหากสามารถหาวิธีรวบรวมมูลโคได้มากขึ้นทั้งจากการปรับรูปแบบการเลี้ยงให้ยืนคอกนานขึ้น และการย่อยสลายมูลโคร่วมกับมูลสัตว์หรือของเสียชนิดอื่นๆ จะทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลโคได้มากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามจากการที่ระดับราคาพลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดในปัจจุบัน จะเป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในอนาคต เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างก้าวหน้าและหลากหลาย และมีการใช้ประโยชน์จากแหล่งชีวมวลอื่นๆ เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจะเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการของเสียอย่างบูรณาการ ทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขนต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

4.9. ตัวอย่างโรงไฟฟ้าพลังงานชีวภาพในเครือของบริษัท ไทย ไบโอแก๊ส เอนเนอรจี จำกัด

โครงการกิจรุ่งเรือง เริ่มก่อตั้งโครงการกิจรุ่งเรืองเป็นโครงการแรก เมื่อเดือนมิถุนายน พ.ศ.2547 โครงการตั้งอยู่ที่ 208 ถ.ห้วยโป่ง – หนองบอน ตำบลห้วยโป่ง อำเภอเมืองระยอง จังหวัดระยอง ปัจจุบันโครงการกิจรุ่งเรืองดำเนินการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว โดยเริ่มจำหน่ายก๊าซตั้งแต่วันที่ 12 กันยายน พ.ศ. 2548 และในส่วนของไฟฟ้าทำการทดสอบระบบ เมื่อเดือนพฤศจิกายน พ.ศ.2548 และเริ่มจำหน่ายไฟเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2549

ประเภทอุตสาหกรรม : แป้งมันสำปะหลัง
กำลังการผลิต : ก๊าซชีวภาพ 15,000 ลบ.ม./วัน
กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง 1.4 เมกกะวัตต์

รูปที่ 4.3 ภาพโครงการกิจรุ่งเรือง

โครงการจิรัฐพัฒนา ตั้งอยู่ที่ 31 หมู่ 4 ถนน กาฬสินธุ์-สหัสขันธ์ ตำบลภูดิน อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ ปัจจุบันได้ดำเนินการผลิตและจำหน่ายก๊าซชีวภาพแล้ว โดยเริ่มผลิตและจำหน่ายก๊าซเมื่อวันที่ 14 สิงหาคม 2549 ส่วนระบบไฟฟ้าเริ่มดำเนินการทดสอบระบบเมื่อวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2550

ประเภทอุตสาหกรรม : แป้งมันสำปะหลัง

กำลังการผลิต : ก๊าซชีวภาพ 30,000 ลบ.ม./วัน

กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง 2.0 เมกกะวัตต์

รูปที่ 4.4 ภาพโครงการจิรัฐพัฒนา

โครงการเจ้าคุณเกษตรพืชผล ตั้งอยู่ที่ 44 หมู่ 2 ถนนอดิเรกสาร ตำบลสองคอน อำเภอแก่งคอย จังหวัดสระบุรี ปัจจุบันได้ดำเนินการผลิตและจำหน่ายก๊าซชีวภาพแล้ว โดยเริ่มผลิตและจำหน่ายก๊าซเมื่อวันที่ 15 ธันวาคม 2549 ส่วนระบบไฟฟ้าเริ่มทำการทดสอบระบบเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2550

ประเภทอุตสาหกรรม : สารให้ความหวานจากมันสำปะหลัง

กำลังการผลิต : ก๊าซชีวภาพ 25,000 ลบ.ม./วัน

กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง 2.0 เมกกะวัตต์

รูปที่ 4.5 ภาพโครงการเจ้าคุณเกษตรพืชผล

โครงการท่าฉาง ตั้งอยู่ที่ 111 หมู่ 3 ต.ท่าฉาง อ.ท่าฉาง จ.สุราษฎร์ธานี 84150 โดยเริ่มผลิตและจำหน่ายกระแสไฟฟ้าเมื่อวันที่ 6 มกราคม 2552

ประเภทอุตสาหกรรม : น้ำมันปาล์ม/น้ำยางข้น

กำลังการผลิต : ก๊าซชีวภาพ 35,000 ลบ.ม./วัน

กำลังการผลิตไฟฟ้าติดตั้ง 2.8 เมกกะวัตต์

รูปที่ 4.6 ภาพโครงการท่าฉาง

บทที่ 5
บทสรุป

ก๊าซชีวภาพหรือ Biogas คือก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ไม่ใช้อากาศ (anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึงก๊าซมีเทนที่เกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติ เช่น กองขยะ,หลุมขยะ,กองมูลสัตว์และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง เป็นต้น โดยเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นแตกต่างจากเชื้อเพลิงฟอสซิล (ถ่านหินและปิโตรเลียม) ตรงที่เชื้อเพลิงชีวภาพจัดเป็นพลังงานหมุนเวียนที่สามารถฟื้นฟูหรือสร้างขึ้นใหม่ได้ ทั้งยังมีสถานะที่หลากหลายของเชื้อเพลิงทั้งใน

สถานะของแข็ง ของเหลว และก๊าซ จึงสะดวกและสามารถใช้งานได้ตามวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่สำคัญคือ การเผาเชื้อเพลิงชีวภาพไม่ก่อให้เกิดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นและยังก่อให้เกิดปริมาณก๊าซพิษน้อยกว่าเชื้อเพลิงชนิดอื่นอีกด้วย อย่างไรก็ตามการเกิดก๊าซชีวภาพในสภาวะที่กล่าวในข้างต้นนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดในธรรมชาติ ซึ่งอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพจะเร็วหรือช้านั้นถูกกำหนดโดยธรรมชาติ แต่ในเชิงวิศวกรรมแล้ววิศวกรจะสร้างระบบขึ้นมาเพื่อควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆให้เหมาะสมเพื่อให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้รวดเร็วตามที่ต้องการ

การออกแบบและควบคุมระบบผลิตแก๊สชีวภาพนั้น ผู้ออกแบบและผู้ควบคุมระบบจะต้องเข้าใจธรรมชาติของน้ำเสียนั้นเสียก่อน ซึ่งในการรายงานผลของลักษณะน้ำเสียนั้นมักรายงานในค่าของ PH BOD TKN ฟอสฟอรัส ซัลเฟต ความเป็นด่าง สารอินทรีย์ระเหยง่าย เป็นต้น ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะมุ่งเน้นที่จะให้ผู้ออกแบบและผู้ควบคุมระบบเข้าใจในประเด็นต่อไปนี้ คือ

(1) สารอินทรีย์ย่อยสลายยากหรือง่าย เร็วหรือช้า

(2) สารอาหารเสริมเพียงพอหรือไม่

(3) มีสารพิษที่อาจรบกวนการทำงานของแบคทีเรียหรือไม่

(4) ระบบผลิตก๊าซชีวภาพมีเสถียรภาพง่ายหรือยาก ความเสี่ยงสูงหรือต่ำ

โดยหลักการออกแบบและควบคุมที่ถูกต้องคือ การออกแบบและการควบคุมให้ระบบมีค่าคงที่ความปลอดภัย (safety factor, SF) ที่เหมาะสม โดยที่ค่าคงที่ความปลอดภัยนั้นอาจคำนวณได้โดยนำค่าความสามารถของระบบ (reactor capacity) มาหารด้วยค่าภาระสารอินทรีย์ (organic load) โดยที่ความสามารถของระบบนั้นขึ้นอยู่กับปริมาณและคุณภาพของแบคทีเรียที่มีในระบบ (คำนวณโดยสมการ reactor capacity = biomass * bacterial activity) และภาวะสารอินทรีย์นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารอินทรีย์และอัตราไหลน้ำเสีย (คำนวณโดยสมการ organic Load = flow rate * biodegradable COD concentration) สำหรับปริมาณแบคทีเรียที่สามารถเก็บกักไว้ในระบบและปริมาตรของระบบที่ต้องการนั้นจะขึ้นอยู่กับเทคนิคที่เลือกใช้ซึ่งอาจได้แก่ การรวมตัวกันของแบคทีเรียจนเป็นตะกอนเม็ดแบคทีเรียในระบบ UASB การตรึงฟิล์มของแบคทีเรียบนตัวกลางในระบบตรึงฟิล์ม การใช้แผ่นเมมเบรนในการกักเซลไว้ในระบบและการหมุนเวียนตะกอนแบคทีเรีย เป็นต้น สำหรับการควบคุมให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นต้องเฝ้าระวังและคอยควบคุมสภาพแวดล้อมในน้ำให้เหมาะสมเสมอเพื่อกำหนดให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสภาพแวดล้อมที่ควรให้ความสำคัญได้แก่ PH อุณหภูมิ ความเข้มข้นสารอาหารและชนิดสารอาหาร ความพอเพียงของสารอาหารเสริมหลักและรอง สารพิษ เป็นต้น

เทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบช้า (Low rate anaerobic digester) ที่เป็นแบบที่อาศัยกลุ่มของแบคทีเรียชนิดที่ไม่ต้องการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งเทคโนโลยีในกลุ่มนี้นั้นจะมีอัตราย่อยขั้นหมักมีเทนช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นหมักกรดและ Hydrolysis โดยประสิทธิภาพในการบำบัด COD และผลิตก๊าซชีวภาพต่ำเมื่อเทียบกับกลุ่มบ่อหมักไร้ออกซิเจนแบบเร็ว (High rate anaerobic digester) ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายค่อนข้างเร็วและมีประสิทธิภาพการกำจัด COD สูงถึงร้อยละ 80-90

การผลิตไฟฟ้าจากก๊าซชีวภาพมีต้นทุนเฉลี่ย 1.8 – 2.00 บาท/kwh โดยในปี 2549 ประเทศไทยมีการผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงรวมแล้วประมาณ 5.37 MW ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่าในชนบทของประเทศกำลังพัฒนาการใช้ก๊าซชีวภาพจากขยะทางการเกษตรหรือเศษอาหารจากครัวเรือนซึ่งจะสามารถเป็นทางเลือกสำหรับพลังงานราคาถูก ไม่ว่าจะเพื่อแสงสว่างหรือการทำอาหาร ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ทั้งรัฐบาลของอินเดียและจีนต่างก็ได้ให้การสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพ ระดับครัวเรือนซึ่งนอกจากจะลดค่ายัง

ชีพแล้ว ยังเป็นการลดภาระของโครงข่ายพลังงานของชาติอีกด้วย ในประเทศพัฒนาแล้วนั้นการนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้ยังเป็นการลดการปล่อยมลภาวะ รวมถึงก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมที่นับวันจะยิ่งเสื่อมโทรมลง นอกจากนี้ยังมีผลผลิตพลอยได้ต่างๆ เช่นปุ๋ยอินทรีย์ เป็นต้น ยิ่งในทุกวันนี้โลกกำลังเผชิญวิกฤติปัญหาสิ่งแวดล้อมและวิกฤติพลังงาน ก๊าซชีวภาพจึงยิ่งมีความสำคัญมากขึ้นเพราะเป็นการช่วยแก้ทั้งสองปัญหา ดังในปัจจุบันรัฐบาลของหลายๆ ประเทศรวมถึงประเทศไทยต่างก็ให้การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพและสนับสนุนผู้ที่ทำการผลิตก๊าซชีวภาพ ในรูปแบบต่างๆเพิ่มมากขึ้น

ประเทศไทยมีการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพมานานกว่า 20 ปีแล้ว แต่ในระยะแรกจำกัดอยู่ในระดับครัวเรือนหรือเกษตรกรรายย่อย ต่อมาในปี พ.ศ. 2531 คณะทำงานของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ร่วมกับกรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยการสนับสนุนจากองค์การ GTZ (Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit) ประเทศเยอรมนีได้จัดตั้ง "โครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน" ขึ้นเพื่อศึกษาปัญหาการใช้ระบบก๊าซชีวภาพในช่วงเวลาที่ผ่านมา พร้อมทั้งปรับปรุงและพัฒนาเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพให้มีความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับฟาร์มเลี้ยงสัตว์ในประเทศไทยมากขึ้น ต่อมาปี พ.ศ. 2534 ได้มีการจัดตั้งหน่วยบริการก๊าซชีวภาพ สังกัดสถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เพื่อดำเนินการส่งเสริมเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ ต่อเนื่องจากโครงการก๊าซชีวภาพไทย-เยอรมัน รวมทั้งเพื่อดำเนินการศึกษาวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีให้สามารถประยุกต์ใช้ในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ได้อย่างกว้างขวางมากยิ่งขึ้น และในปลายปี พ.ศ. 2538 กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานสำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ หรือ สพช. (ปัจจุบัน คือ สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานหรือ สนพ. กระทรวงพลังงาน) ได้ให้การสนับสนุนแก่หน่วยบริการก๊าซชีวภาพและดำเนินงาน "โครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพในฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ระยะที่ 1" จนกระทั่งในปี พ.ศ. 2551 หน่วยบริการก๊าซชีวภาพได้รับการจัดตั้งเป็น "สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงาน มหาวิทยาลัยเชียงใหม่" และต่อมา ในปี พ.ศ. 2553 สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารีได้พระราชทานชื่อหน่วยงานใหม่เป็น "สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่" ซึ่งได้ดำเนินโครงการส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพต่อเนื่องมาจวบจนปัจจุบัน

ในส่วนของชีวมวลหรือสารอินทรีย์ทุกรูปแบบที่ได้จากสิ่งมีชีวิตรวมถึงของเสียและวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ป่าไม้ปศุสัตว์ขยะและน้ำเสียจากชุมชน ประเทศไทยจะมีการใช้มูลสัตว์ โดยเฉพาะมูลสุกรและมูลโค (ปัจจุบันมักใช้เฉพาะมูลสุกรเท่านั้นเนื่องจากโคส่วนใหญ่ในประเทศเป็นโคเนื้อที่เลี้ยงแบบเดินทุ่งหรือปล่อยเลี้ยงที่ทำให้ยากแก่การเก็บรวบรวมมูลโคมาใช้ประโยชน์) ใช้น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง เอทานอล น้ำมันปาล์ม อาหารทะเลกระป๋อง สับปะรดกระป๋อง โรงงานน้ำตาลและโรงฆ่าสัตว์ (อุตสาหกรรมเกษตรและอุตสาหกรรมแปรรูปพวกสารประกอบอินทรีย์สูง) มาผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องจากสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพรวมกันประมาณ 1,000 ล้านลบ.ม.ต่อปีหรือเทียบเท่ากับ 500 ktoe แต่ในการผลิตก๊าซชีวภาพจะไม่นิยมใช้น้ำเสียจากชุมชนเนื่องจากมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ต่ำ (ต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร)

อย่างไรก็ตามจากการที่ระดับราคาพลังงานเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ตลอดจนมาตรการด้านสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดในปัจจุบัน เป็นแรงผลักดันสำคัญที่ทำให้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในอนาคตเกิดการพัฒนาเทคโนโลยีอย่างก้าวหน้าและหลากหลายและมีการใช้ประโยชน์จากแหล่งชีวมวลอื่นๆ เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจะเข้าไปเป็นส่วนหนึ่งของการจัดการของเสียอย่างบูรณาการทั้งนี้เพื่อลดผลกระทบที่จะเกิดขนต่อสิ่งแวดล้อมให้น้อยที่สุด

อ้างอิง

กฎหมายการประเมินผลกระทบทางสิ่งแวดล้อม. สำนักงานนโยบายและแผนยุทธศาสตร์ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน แนวทางการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน; วารสารเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, ค้นได้จากhttp://www.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id

เทคโนโลยี แก๊สชีวภาพ. ค้นได้จาก http://www.ku.ac.th/e-magazine/september43/bio_gass/

แบ่งปันความรู้เกี่ยวกับระบบไฟฟ้า, การผลิตไฟฟ้าและอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า (Electrical power system knowledge). โรงไฟฟ้าก๊าซชีวภาพ, ค้นได้จาก http://protectionrelay.blogspot.com/2010/10/blog-post_25.html.

ปฏิกรณ์ แสนสั่ง Biogas Energy from Biological Conversion of Organic Waste สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.เทคโนโลยีสุรนารี กุมภาพันธ์ 2548
บริษัท ศรีวิโรจน์ ฟาร์ม จำกัด อ.ชุมแพ จ.ขอนแก่น.

ประยุทธ์ ถนอมบุญ. การออกแบบระบบก๊าซชีวภาพ. Thailand Energy and Evironment network, ค้นได้จาก http://teenet.cmu.ac.th/btc/documents/BiogasDesignation.pdf.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ “คู่มือวิชาการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ.” กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กรกฎาคม 2546.

สถานเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. หลักการทำงานของระบบก๊าซ. Thailand Energy and Evironment network, ค้นได้จาก http://teenet.cmu.ac.th/btc/documents.php.

สมชัย จันทร์สว่าง. เอกสารเผยแพร่ “เทคโนโลยีก๊าซชีวภาพ”. ค้นได้จาก http://www.eto.ku.ac.th/neweto/e-book/other/other24.pdf.

สมพงษ์ ใจมา. การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ. Thailand Energy and Evironment network, ค้นได้จาก http://teenet.cmu.ac.th/btc/documents/BiogasUsability.pdf.

สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน (2550) “การส่งเสริมการพลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียเพื่อเป็นพลังงานทดแทนและปรับปรุงสิ่งแวดล้อม”, เอกสารประกอบการอบรม.

อุเทน กันทา. การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทน. Thailand Energy and Evironment network, ค้นได้จาก http://teenet.cmu.ac.th/btc/documents.php.

Thai Biogas Energy Company. โครงการของเรา. ค้นได้จาก http://www.tbec.co.th/our_project.htm

The Environmental Center. งานวิจัยขยะมูลฝอย. การศึกษาปริมาณ จำแนกประเภทและแนวทางการจัดการมูลฝอยอันตรายจากบ้านเรือน , ค้นได้จาก http://www.envcenter.dusit.ac.th/SDU_Envcenter/Activities/December%202553/1/Gas.pdf UBA Wastewater Treatment's Blog.

UAB Wastwater Treatment. (2010). สถานการณ์ไบโอแก๊ส Biogas ในประเทศไทย. ค้นได้จาก http://wastewatertreatments.wordpress.com/2010/11/22.