รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและประยุกต์ใช้ในการผลิตและแปรรูปมะขาม

Biogas Production from Waste and Application in Production and Processing Tamarind

พรทวี กองร้อย
สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ประจำปีงบประมาณ 2566

รหัสโครงการ 182089

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและประยุกต์ใช้ในการผลิตและแปรรูปมะขาม

Biogas Production from Waste and Application in Production and Processing Tamarind

พรทวี กองร้อย สาขาการจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทุนอุดหนุนประเภทงานวิจัย พัฒนาวิทยาศาสตร์ วิจัยและนวัตกรรม
ประจำปีงบประมาณ 2566
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

ชื่องานวิจัย การผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและประยุกต์ใช้ในการผลิตและแปรรูปมะขาม
Biogas Production from Waste and Application in Production and Processing Tamarind
ผู้วิจัย พรทวี กองร้อย
สาขาวิชา การจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีเสร็จวิจัย 2567

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขาม และเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและประยุกต์ใช้แก๊สชีวภาพเพื่อทดแทนแก๊สหุงต้มในการผลิตและแปรรูปมะขาม ผลการวิจัยพบว่า ของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขามสามารถนำมาผลิตแก๊สชีวภาพได้ โดยปริมาณและอัตราการเกิดแก๊สชีวภาพขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของมูลวัวกับน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว โดยในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 1:1.5 ซึ่งให้ปริมาณแก๊สชีวภาพที่สูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ นอกจากนี้ บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบรางที่ออกแบบต้องมีขนาดเหมาะสม ใช้วัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมและสามารถหาได้ในท้องถิ่น และสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพได้ การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการช่วยให้สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ มีความรู้ ความเข้าใจ และสามารถนำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ได้จริง เป็นการช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากปัญหาด้านของเสียและน้ำเสียและช่วยเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์ ป้องกันปัญหาด้านมลพิษสิ่งแวดล้อมในชุมชน ลดต้นทุนทางเศรษฐกิจจากการใช้แก๊สชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนก๊าซหุงต้ม รวมถึงเป็นการสร้างความร่วมมือการมีส่วนร่วมของชุมชนและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องพัฒนาเชิงพื้นที่

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ, มะขามแช่อิ่ม, พลังงานทดแทน, การจัดการของเสียและน้ำเสีย

Abstract

This research aimed to study the potential of biogas production from waste and wastewater generated from tamarind production and processing. It also sought to transfer technology and apply biogas to replace liquefied petroleum gas (LPG) in tamarind processing. The results showed that waste and wastewater from tamarind production and processing can be used to produce biogas. The amount and rate of biogas production depend on the ratio of cow dung to treated wastewater. In laboratory-scale experiments, the optimal ratio was found to be 1:1.5, which yielded the highest amount of biogas compared to other ratios. Furthermore, the designed biogas digester must be of an appropriate size, utilize suitable and locally available construction materials, and allow for the control of various factors affecting biogas production. The workshop training provided community enterprise members with the knowledge and understanding necessary to apply the technology effectively. This helps to mitigate environmental problems related to waste and wastewater, adds value and benefits, prevents environmental pollution within the community, reduces economic costs by using biogas as an alternative energy source to LPG, and fosters collaboration and participation between the community and relevant agencies for local development.

Keyword : Biogas, Crystallized Tamarind, Renewable Energy, Waste and Wastewater Management

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยคำแนะนำต่าง ๆ จากองค์การบริหารส่วนตำบลวังบาล ชุมชนตำบลวังบาล คณาจารย์ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำคำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอบพระคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกๆท่าน เป็นอย่างสูง ที่ได้ให้ความกรุณาให้คำปรึกษาแนะนำให้แก่ผู้วิจัย จึงขอขอบพระคุณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

พรทวี กองร้อย
ผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า
บทคัดย่อ ..... ก
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูปภาพ ..... ฌ
บทที่ 1 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 กรอบการวิจัย 3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย 4
1.5 สมมุติฐานงานวิจัย 4
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4
บทที่ 2 5
2.1 คุณภาพน้ำและน้ำเสีย 5
2.2 การบำบัดน้ำเสีย 9
2.3 หลักการบำบัดน้ำเสีย 10
2.4 ก๊าซชีวภาพ 15
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
บทที่ 3 26
3.1 การศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ 26
3.2 การพัฒนาออกแบบระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ 31
3.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยี 31
3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 31
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล 31

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 33
4.1 ศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ 33
4.1 การพัฒนาออกแบบระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ 40
4.2 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี 42
บทที่ 5 44
5.1 สรุปผลการวิจัย 44
5.2 อภิปรายผล 44
5.3 ข้อเสนอแนะ 45
บรรณานุกรม
ภาคผนวก
ประวัติผู้วิจัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ตารางที่ 2-1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็กที่ผลิตสินค้าหรือให้บริการบางประเภท พ.ศ. 2564 กลุ่มที่ 2 น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก 6

ตารางที่ 2-2 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากวัตถุอินทรีย์แต่ละชนิด 18

ตารางที่ 2-3 ประโยชน์ของการผลิตแก๊สชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสีย 23

ตารางที่ 3-1 การเตรียมการปรับภาพน้ำเสีย 28

ตารางที่ 3-2 อัตราส่วนของวัสดุหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพ 29

ตารางที่ 3-3 การวิเคราะห์ข้อมูล 32

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำทิ้งแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากสถานประกอบการขนาดเล็ก 36

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การปรับสภาพน้ำเสีย 37

ตารางที่ 4-3 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ 39

ตารางที่ 4-4 การประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการถ่ายทอดองค์ความรู้ 43

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ หน้า
รูปที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย 3
รูปที่ 2-1 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ 17
รูปที่ 2-2 ปฏิกิริยากระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ 22
รูปที่ 3-1 วิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย 27
รูปที่ 3-2 ชุดการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพ 30
รูปที่ 4-1 ภาพแหล่งกำเนิดของเสียและน้ำเสียจากการแปรรูปมะขามแช่อิ่ม 33
รูปที่ 4-1 กราฟเส้นแสดงถึงปริมาตรการเกิดของก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน 40
รูปที่ 4-2 บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบราง (Plug flow anaerobic digester) 42

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประชาชนในพื้นที่ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ได้แก่ ทำนาปี ข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ ปลูกผักกะหล่ำปลี ทำสวนมะขาม เลี้ยงเป็ดและไก่ และมีการประกอบอาชีพผลิตและแปรรูปมะขามเป็นอาชีพเสริม โดยข้อมูลจากสำนักงานเกษตรอำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ในปี พ.ศ. 2563 กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรในพื้นที่หมู่ 12 (บ้านขี้นาค) ตำบลวังบาล ได้จดทะเบียนจัดตั้งเป็นกลุ่มวิสาหกิจชุมชน “กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรขี้นาคแผนใหม่” มีวัตถุประสงค์เพื่อรวมกลุ่มประกอบอาชีพเสริมสร้างรายได้ พึ่งพาตนเองจากการผลิตและแปรรูปมะขาม มีสมาชิกจำนวน 64 ราย สร้างผลิตภัณฑ์เพื่อส่งออกและจำหน่ายในประเทศ เช่น มะขามไร้เมล็ด มะขามจี๊ดจ๊าด กล้วยใส่มะขาม มะขามคลุกไร้เมล็ด มะขามแช่อิ่ม เป็นต้น จนได้รับรางวัลผลการประกวดวิสาหกิจชุมชนดีเด่นระดับเขต ปี 2563 รางวัลที่ 1 จากสำนักงานส่งเสริมและพัฒนาการเกษตรที่ 6 จังหวัดเชียงใหม่ ที่มีการบริหารจัดการที่ดี มีแนวโน้มในการพัฒนาที่ยังยืน เป็นตัวอย่างหรือต้นแบบสำหรับวิชาหกิจชุมชนอื่นในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

จากการลงพื้นที่สำรวจเพื่อเก็บข้อมูลการดำเนินการผลิตและแปรรูปมะขามจากสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ ได้สะท้อนความต้องการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากกิจกรรมการผลิตและแปรรูปมะขาม ซึ่งมีขอเหลือทิ้งจากการผลิต ได้แก่ เปลือก เมล็ด และรกมะขาม รวมถึงน้ำเสียจากการล้างมะขามและการผลิตมะขามแช่อิ่ม โดยประเภทน้ำเสียเกิดจากการล้าง น้ำปูนใส และน้ำเชื่อมที่เหลือทิ้ง ซึ่งหากจัดการไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการจะสร้างปัญหาเกิดขึ้นในชุมชน ทำให้เกิดความสกปรก กลิ่นเหม็นรบกวน เป็นแหล่งเพาะพันธ์เชื้อโรคได้ ที่ผ่านมาเกิดกรณีการร้องเรียนเรื่องกลิ่นเหม็นรบกวนที่เกิดขึ้นจากน้ำเสียการผลิตมะขามแช่อิ่ม การแก้ไขปัญหาเบื้องต้นของสมาชิกผู้ผลิตมะขามแช่อิ่มได้ทำการแยกประเภทของเสียและน้ำทิ้งหมุนเวียนกลับมาใช้ประโยชน์ โดยเก็บเมล็ดมะขามเพื่อจำหน่าย และนำเปลือกมะขาม รกมะขามไปทำเป็นปุ๋ยหมักแล้วนำน้ำเชื่อมที่เหลือทิ้งไปรดในพื้นที่สวนมะขามของตนเองที่อยู่ห่างไกลจากชุมชนเพื่อลดปัญหาด้านกลิ่นเหม็นรบกวน การดำเนินการดังกล่าวทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมและขนส่งไปทิ้ง ซึ่งสมาชิกกลุ่มต้องการองค์ความรู้ด้านวิชาการและเทคโนโลยีรูปแบบใหม่ที่จะนำมาประยุกต์แก้ไขปัญหาในเรื่องนี้ และสามารถก่อให้เกิดประโยชน์และเพิ่มมูลค่าในด้านเศรษฐกิจจากของเหลือทิ้งจากการผลิตได้

สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรขี้นาคแผนใหม่ มีความต้องการที่จะนำของเสียและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิตและแปรรูปมะขามมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ เพื่อลดปริมาณของเสียและน้ำเสียที่ต้องนำไปกำจัด รวมถึงผลิตเป็นพลังงานทดแทนเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้อแก๊สหุงต้มมาใช้ในเป็นเชื้อเพลิงสร้างพลังงานความร้อนในการผลิตมะขามแช่อิ่ม ข้อมูลในปี 2563 จากกลุ่มสมาชิก พบว่า มีศักยภาพผลิตและแปรรูปมะขามแช่อิ่มรวมกันได้ประมาณ 1,000 ตัน/ปี จากจำนวน

10 ราย (เฉลี่ยรายละ 50-200 ตัน/ปี ระยะการผลิตประมาณ 4 เดือน เริ่มตั้งแต่เดือนกันยายน ถึง ธันวาคม) ในกระบวนการผลิตก่อให้เกิดของเสียโดยรวมประมาณ 250 ตัน/ปี น้ำเสียโดยรวมปริมาณ 14,200 ลูกบาศ์กเมตร/ปี (น้ำล้างประมาณร้อยละ 70 และน้ำปูนใส น้ำเกลือ น้ำเชื่อมเหลือ อีกร้อยละ 30) คิดเป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นเฉลี่ยต่อรายประมาณ 6-24 ลูกบาศก์เมตร/วัน และใช้ก๊าซหุงต้มประมาณ 3,000 ตัน/ปี หรือเฉลี่ยรายละ 1.5- 5 ตัน/วัน ถือได้ว่าการผลิตมะขามแช่อิ่มในรูปแบบกลุ่มวิสาหกิจมีปริมาณของเสียและน้ำเสีย รวมถึงใช้ก๊าซหุงต้มในปริมาณค่อนข้างสูงซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดการที่เหมาะสม

เทคโนโลยีการผลิตแก๊สชีวภาพถูกนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นจากของเสียและน้ำเสียอย่างแพร่หลาย โดยระบบหมักแก๊สชีวภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณและลักษณะของน้ำเสียตามแหล่งกำเนิด การทบทวนวรรณกรรมพบว่า ประเทศไทยในภาคโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่เป็นโรงงานแป้งมันและแปรรูปอาหารที่มีการนำระบบหมักแก๊สชีวภาพไปใช้ โดยเป็นระบบแบบตะกอนลอยยูเอเอสบี (UASB) และบ่อแบบราง (Plug flow) (Aggarangsi et al., 2013) ในภาคปศุสัตว์การเลี้ยงสุกร วัว นำระบบหมักแก๊สชีวภาพบ่อแบบราง (Plug flow) (Sritrakul & Hudakorn, 2020) และถังหมักแบบโดมคงที่ (Fixed dome) และแบบฝาครอบลอย (Floating drum) ส่วนในระดับครัวเรือนจะมีขนาดเหล็กเพื่อใช้หมักเศษอาหาร เช่น แบบฝาครอบลอย และถุงบอลลูนที่ทำจากพลาสติกพีวีซี (Tansom et al,2020) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษา ความยากง่ายในการเดินระบบแตกต่างกันไป ทั้งนี้แก๊สชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่มีองค์ประกอบก๊าซมีเทนประมาณร้อยละ 60 สามารถทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) ได้ 0.46 กิโลกรัม (DEDE, 2013) ถึงแม้ว่าจะมีการวิจัยเรื่องผลิตแก๊สชีวภาพค่อนข้างหลากหลาย แต่ข้อมูลการวิจัยการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการแปรรูปมะขามในระดับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนยังไม่แพร่หลาย เนื่องจากมะขามแช่อิ่มพึ่งเป็นที่นิยมของตลาดเมื่อไม่นานมานี้ประกอบกับเป็นการผลิตเฉพาะกลุ่มสมาชิกหรือเกษตรกรรายครัวเรือนเท่านั้น ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้จะเป็นส่วนเติมเต็มข้อมูลด้านวิชาการในด้านการจัดการของเสียและเกิดประโยชน์ต่อการลดต้นทุนจากผลผลิตของแก๊สชีวภาพ และจะสามารถนำไปปรับใช้ในการผลิตและแปรรูปมะขามต่อพื้นที่อื่นๆ ต่อไป

ความพร้อมของกลุ่มวิสาหกิจกลุ่มแม่บ้านเกษตรกรขี้นาค พบว่า มีความตะหนักและเข้าใจถึงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นจากการจัดด้านสิ่งแวดล้อมที่ไม่ถูกต้อง พร้อมที่จะปรับตัวเพื่อรับความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่จะมีประโยชน์ต่อการดำเนินงานของสมาชิก ซึ่งสะท้อนจากความตั้งใจรวมกลุ่มสมาชิกเพื่อสร้างรายได้และพึ่งพาตัวเอง มีการพัฒนา ปรับปรุง ขับเคลื่อนงานจนมีผลเชิงประจักษ์และได้รางวัลเป็นเครื่องการันตี รวมถึงสมาชิกมีความพร้อมในเรื่องตัวบุคคล ทัศนคติ อุปกรณ์และสถานที่จะเป็นส่วนสำคัญทำให้งานวิจัยเรื่อง “การผลิตแก๊สชีวภาพและประยุกต์ใช้ในการผลิตและแปรรูปมะขาม” สำเร็จลุร่วงเป็นไปตามเจตนารมณ์ของกลุ่มสมาชิก ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยจะเป็นการช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมจากจัดการของเสียและน้ำเสียที่ถูกต้องและช่วยเพิ่มมูลค่าให้เกิดประโยชน์ป้องกันปัญหาด้านมลพิษรบกวนชุมชนที่จะทำให้สังคมอยู่ร่วมกันได้ ลดต้นทุนทางเศรษฐกิจจากการใช้แก๊สชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนก๊าซหุงต้ม รวมถึงเป็นการสร้างความร่วมมือระหว่างชุมชนหน่วยงานที่เกี่ยวข้องและมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ที่เป็นหน่วยสนับสนุนสร้างงานวิจัยที่พัฒนาเชิงพื้นที่ต่อไป

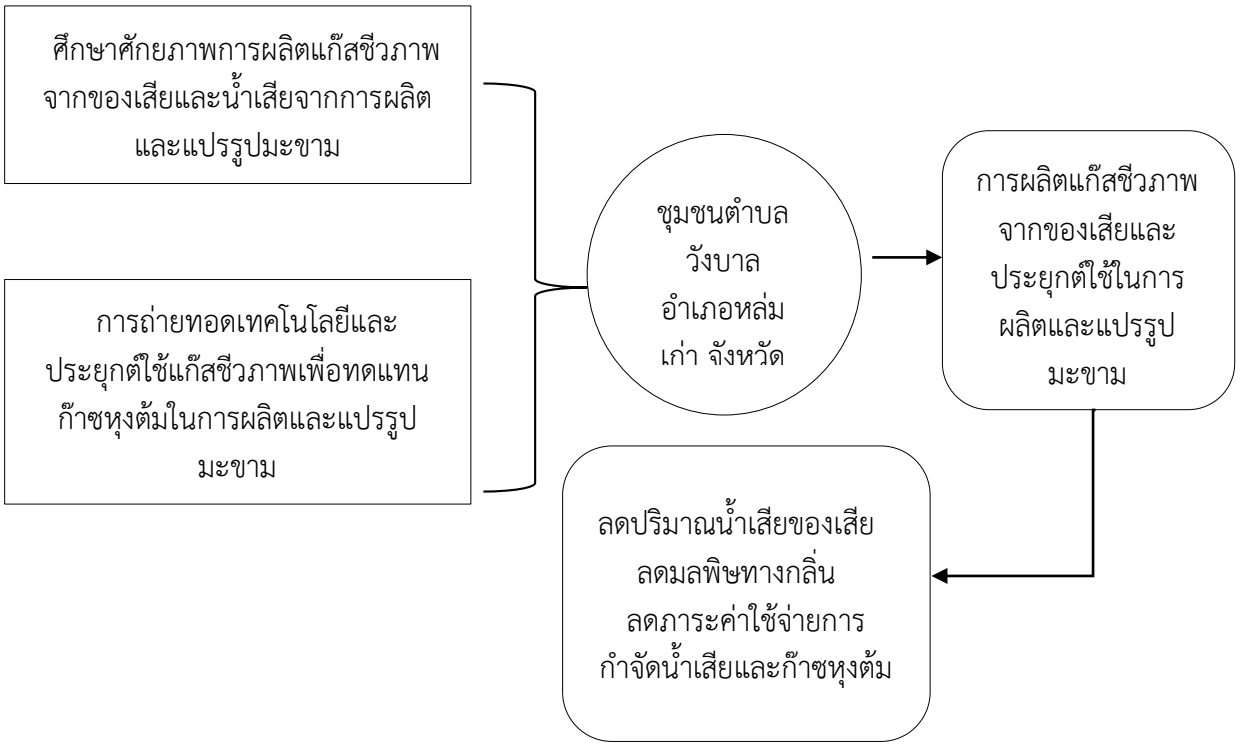
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1) เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขาม

2) เพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและประยุกต์ใช้แก๊สชีวภาพเพื่อทดแทนก๊าซหุงต้มในการผลิตและแปรรูปมะขาม

1.3 กรอบการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการวิจัยและพัฒนา โดยใช้การวิจัยแบบผสานวิธี (Mixed-Method Research) ระหว่างการวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) และการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Research) พื้นที่วิจัย คือ ชุมชนตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ โดยการคัดเลือกแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยมี 2 ชนิด คือ แบบสำรวจ และการทดลองในห้องปฏิบัติการ ผู้วิจัยรวบรวมข้อมูลด้วยตนเอง ส่วนการวิเคราะห์ข้อมูลนั้น การวิจัยเชิงปริมาณ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป สถิติที่ใช้ ได้แก่ ร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และนำเสนอด้วยตาราง พร้อมการอธิบายเพิ่มเติม สำหรับการวิจัยเชิงคุณภาพ ได้ข้อมูลจากการศึกษาเอกสาร การสำรวจ นำมาวิเคราะห์ข้อคำถามปลายเปิดด้วยการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) หลังจากนั้นทำการสังเคราะห์ สรุปข้อมูล แล้วเขียนบรรยายเชิงพรรณนา เพื่อมุ่งพัฒนาและสร้างองค์ความรู้ศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขามต่อไป ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบและวิธีวิจัยดังนี้



รูปที่ 1-1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1) เชิงพื้นที่: การวิจัยนี้จะดำเนินการในพื้นที่ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์

2) เชิงเวลา: การวิจัยจะดำเนินการในปีงบประมาณ 2566

3) เชิงเนื้อหา: การวิจัยจะมุ่งเน้นศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและน้ำเสียจากการผลิตมะขามแช่อิ่มและการถ่ายทอดเทคโนโลยีการผลิตและการใช้แก๊สชีวภาพให้กับกลุ่มเป้าหมาย

1.5 สมมุติฐานงานวิจัย

1) การผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขามสามาถทำได้

2) การถ่ายทอดเทคโนโลยีและประยุกต์ใช้แก๊สชีวภาพเพื่อทดแทนก๊าซหุงต้มในการผลิตและแปรรูปมะขามสามารถแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของชุมชนได้

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1) น้ำเสีย หมายถึง น้ำที่มีสารใด ๆ หรือสิ่งปฏิกูลที่ไม่พึงปรารถนาปนอยู่ การปนเปื้อนของสิ่งสกปรกเหล่านี้ จะทำให้ คุณสมบัติของน้ำเปลี่ยนแปลงไปจนอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ สิ่งปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเสีย

2) ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่ไม่มี ออกซิเจน (Anaerobic digestion) โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-40 ส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจน (H_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แต่จะมีอยู่ในปริมาณที่น้อย ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซ ที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้ประมาณ 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 21,000 กิโลจูนต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น เผา เพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ หรือใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากน้ำเชื่อมเหลือทิ้งจากการทำมะขามแช่อิ่ม สามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นพลังงานทดแทนได้

2) สามารถลดปัญหาการเกิดน้ำเสียภายในโรงงานได้

3) สามารถนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานประกอบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้

4) ส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่ดีและลดผลกระทบด้านสุขภาพจากมลพิษของเสีย

5) เพิ่มความรับรู้และตระหนักในการจัดการน้ำเสียเพื่อช่วยลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมและส่งเสริมในการทำกิจกรรมร่วมกันของชุมชนต่อไป

บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณภาพน้ำและน้ำเสีย

2.1.1 คุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำ (Water Quality) เป็นคำที่มีความหมายกว้างมากแต่มีขอบเขตซึ่งจะถูกกำหนดโดยคุณลักษณะของน้ำที่ต้องการหรือเหมาะสมสำหรับกิจกรรมต่างๆ โดยปกติน้ำในธรรมชาติจะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกันออกไปโดยมีสารเจือปนอยู่ในน้ำมากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาของน้ำคุณลักษณะของน้ำที่เหมาะสมจะแตกต่างกันออกไปตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานว่าต้องการคุณลักษณะน้ำอย่างไร มีส่วนประกอบอะไรและไม่ควรมีส่วนประกอบหรือสารเจือปนชนิดใด คุณภาพของน้ำขึ้นอยู่กับสิ่งเจือปนหรือปนเปื้อนอยู่ในน้ำซึ่งมีอยู่หลากหลายชนิด ได้แก่ ธาตุหรืออิออนต่างๆ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว ซัลเฟต ฟอสเฟต ไนเตรต เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ชนิดอื่นๆที่ทำให้น้ำมีคุณภาพต่างกัน คุณลักษณะที่สำคัญของน้ำสามารถแบ่งออกเป็นลักษณะใหญ่ๆ ได้ 3 ลักษณะ คือ

2.1.3.1 คุณลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics)

คุณลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics) เป็นคุณลักษณะของน้ำที่บ่งบอกถึงคุณภาพของน้ำทางกายภาพ ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ (Temperature) สภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) ปริมาณของแข็ง (Solid content) กลิ่น(Odor) สี (Color) และรส (Taste)

2.1.3.2 คุณลักษณะทางเคมี (Chemical Characteristics)

คุณลักษณะทางเคมี (Chemical Characteristics) เป็นคุณลักษณะที่เกิดจากสารเคมีที่เจือปนอยู่ในน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ต้องใช้การตรวจสอบด้วยวิธีทางห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์ซึ่งมีทั้งที่เป็นปริมาณสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่เจือปนอยู่ในน้ำ ตัวอย่างเช่น ความกระด้าง (Hardness) ความเป็นกรดด่าง (pH Value) และสภาพกรด-สภาพด่าง (Acidity-Alkalinity)ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen) ค่าที่แสดงถึงความสกปรกในรูปต่างๆ เช่น ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand; BOD)

2.1.3.3 คุณลักษณะทางชีววิทยา (Biological Characteristics)

คุณลักษณะทางชีววิทยา (Biological Characteristics) เป็นคุณลักษณะที่แสดงถึงคุณภาพน้ำที่เกิดจากจุลินทรีย์ที่เจือปนในน้ำ โดย จุลินทรีย์บางชนิดทำให้เกิดโรคในคนและจุลินทรีย์บางชนิดทำให้คุณภาพน้ำเปลี่ยนไป

สำหรับค่ามาตรฐานที่ใช้ควบคุมการระบายน้ำทิ้งที่สอดคล้องกับสถานประกอบการได้แก่ ประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐาน

ควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็กที่ผลิตสินค้าหรือให้บริการบางประเภท พ.ศ. 2564 โดยสรุปแสดงดัง**ตารางที่ 2-1**

ตารางที่ 2-1 มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็กที่ผลิตสินค้าหรือให้บริการบางประเภท พ.ศ. 2564 กลุ่มที่ 2 น้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก

ดัชนีคุณภาพน้ำ	**หน่วย**	**ค่ามาตรฐาน**	
		กลุ่มที่ 1 กลุ่มที่น้ำเสียมีสารอนินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก	**กลุ่มที่ 2 กลุ่มที่น้ำเสียมีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก**
1.ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH)	-	ระหว่าง 5-9	ระหว่าง 5-9
2.อุณหภูมิ	-	ไม่เกิน40℃	ไม่เกิน40℃
3.ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด	มก./ล.	ไม่เกิน 50	ไม่เกิน 50
4.ซีโอดี	มก./ล.	ไม่เกิน 120	-
5.บีโอดี(BOD)	มก./ล.	-	ไม่เกิน 60
6.น้ำมันและไขมัน	มก./ล.	ไม่เกิน 20	ไม่เกิน 20
7. โครเมียมเฮกซะวาเลนท์	มก./ล.	ไม่เกิน 0.25	-
8. แคดเมียม	มก./ล.	ไม่เกิน 0.03	-
9. ตะกั่ว	มก./ล.	ไม่เกิน 0.2	-

2.1.2 น้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึง ของเหลวหรือน้ำที่มีสิ่งเจือปนต่าง ๆ ในปริมาณสูงมาก ทั้งในรูปแขวนลอยหรือละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งความสกปรกหรือความไม่น่าใช้จึงมีมากกว่าแหล่งน้ำธรรมชาติ จนกระทั่งกลายเป็นน้ำที่ไม่เป็นที่ต้องการ น่ารังเกียจ เป็นมลพิษทางทัศนีภาพ ก่อให้เกิดผลเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม และไม่เหมาะสมสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกต่อไป รวมถึงน้ำที่ได้รับผลกระทบในด้านคุณภาพจากอิทธิพลของมนุษย์ ระบบบำบัดน้ำเสียของเมืองระบายลงในในท่อหรือคลองระบายน้ำเพื่อส่งไปบำบัดที่โรงงานบำบัดน้ำเสียหรือลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีการปล่อยลงไปในแหล่งน้ำธรรมชาติต่อไปหรืออาจนำไปใช้ประโยชน์ทางใด

2.1.3 แหล่งกำเนิดของน้ำเสีย (Source Wastewater)

แหล่งกำเนิดของน้ำเสีย (Source Wastewater) ที่สำคัญสามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 3 ประเภท ดังนี้

2.1.3.1 น้ำเสียชุมชน (Domestic Wastewater)

น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในการดำรงชีวิตในการประกอบอาชีพของประชาชนที่อยู่อาศัยในชุมชน เช่น น้ำเสียจากบ้านเรือน ที่พักอาศัย ร้านค้า ตลาด โรงแรม โรงพยาบาล โรงเรียน และสำนักงาน ฯลฯ ซึ่งส่วนใหญ่จะมีความสกปรกในรูปสารอินทรีย์ (Organic Matters) เป็น ส่วนประกอบสำคัญ

2.1.3.2 น้ำเสียอุตสาหกรรม (Industrial Wastewater)

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ ในโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นน้ำเสียไหลลงสู่แม่น้ำลำคลอง บางโรงงานนั้น อาจมีวัสดุเหลือจากผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมบางประเภทปะปนไปกับน้ำเสีย ทั้งหมดนี้เป็นเหตุให้แม่น้ำ ลำคลองเน่าเสียส่งกลิ่นเหม็น มีสารพิษปะปนอยู่ กลายเป็นมลภาวะที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมนั้น ส่วนใหญ่น้ำเสียจะเจือปน ทั้งสารอินทรีย์ และอนินทรีย์ เช่น สารอินทรีย์เคมี สารเคมี หรือโลหะหนัก ซึ่งน้ำเสียที่เกิดขึ้นมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม ดังนี้

1) การทำความสะอาดเครื่องมือ, เครื่องจักร และพื้นที่ในโรงงานอุตสาหกรรม

2) จากกระบวนการผลิตสารเคมีที่เป็นอันตรายเจือปนอยู่ เช่น สารปรอท ตะกั่ว แคดเมียม แมงกานีส โครเมียม ฯลฯ สารพิษเหล่านี้เมื่อปนเปื้อนในแหล่งน้ำธรรมชาติจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ และทำให้เกิดการสะสมสารพิษในห่วงโซ่อาหารได้

3) จากอุตสาหกรรมผลิตอาหาร จะมีสารอินทรีย์เจือปนอยู่สูงเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำทำให้แหล่งน้ำเน่าเสีย มีกลิ่นเหม็นอับ อันเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในน้ำ และบางครั้งการปนเปื้อนจากความร้อนในกระบวนการ ทำให้แหล่งน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ลดลง ส่งผลให้พืชน้ำ และสัตว์น้ำ เสี่ยงต่อการติดเชื้อจาก

หนอนพยาธิและสารเคมีได้ง่ายขึ้น ผลกระทบต่อไป คือ ปริมาณและคุณภาพของพืชน้ำและสัตว์น้ำลดจำนวนลง

4) น้ำมันจากการอุตสาหกรรมและการเดินเรือ ถ้ามีการรั่วไหลลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้แพร่กระจาย ปกคลุมผิวน้ำทำให้การละลายของแก๊สออกซิเจนในน้ำลดลง ส่งผลต่อการดำรงชีวิตที่อยู่ในแหล่งน้ำ

5) น้ำที่ปนเปื้อนจากอินทรีย์สารในกระบวนการอุตสาหกรรมโรงงานสามารถก่อให้เกิดผลกระทบและเกิดอันตรายต่อมนุษย์ได้ คือ ทำให้แหล่งน้ำไม่สามารถใช้อุปโภคบริโภค เป็นสาเหตุของมะเร็งที่ผิวหนังและอันตรายต่ออวัยวะภายในลำคอเป็นอันตรายต่อระบบประสาทตับและไต เป็นอันตรายต่อพืชและสัตว์น้ำ ซึ่งจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ของพืชและสัตว์ลดลง

2.1.3.3 น้ำเสียเกษตรกรรม (Agricultural Wastewater)

น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างในทางการเกษตร เช่น น้ำเสียจากการเพาะปลูกจะมีไนโตรเจนฟอสฟอรัส โปแตสเซียม และสารพิษต่าง ๆ ในปริมาณสูง ส่วนน้ำเสียจากการเลี้ยงสัตว์จะพบสิ่งสกปรกในรูปของสารอินทรีย์เป็นส่วนมาก

2.1.4 สาเหตุที่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ

1) เกิดจากน้ำทิ้งและสิ่งปฏิกูลจากแหล่งชุมชน เช่น น้ำที่ใช้ซักฟอกทำความสะอาดซึ่งส่วนใหญ่มีสารอินทรีย์ปะปนมากับน้ำทิ้งเหล่านั้นจนทำให้เกิดมลพิษทางน้ำ
2) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหากโรงงานมีการลักลอบปล่อยน้ำเสียลงในแหล่งน้ำทำให้น้ำเน่าเสียได้ง่ายเพราะมีปริมาณมากและสารปนเปื้อนมีอัตราสูง
3) น้ำเสียที่เกิดจากธรรมชาติ อาจเกิดจากการเน่าเสียเมื่อน้ำอยู่ในสภาพนิ่งไม่มีการไหลเวียนถ่ายเท
4) เกิดจากพื้นที่ทำการเกษตร เนื่องจากเกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้น้ำยาปราบศัตรูพืชกันมากขึ้น จึงทำให้มีสารตกค้างอยู่ตามต้นพืชและพื้นผิวดิน เมื่อฝนตกและพัดพาเอาสารพิษที่ตกค้างลงสู่แม่น้ำลำคลองก็ทำให้เกิดมลพิษทางน้ำขึ้นได้

2.1.5 ผลกระทบที่เกิดจากมลพิษทางน้ำ

1) กระทบต่อวงจรชีวิตของสัตว์น้ำ เช่นน้ำเสียที่เกิดจากสารพิษอาจทำให้ปลาและสิ่งมีชีวิตตายทันที ส่วนน้ำเสียที่เกิดจากออกซิเจนในน้ำลดต่ำลง อาจทำลายพืชและสัตว์น้ำเล็กๆที่เป็นอาหารของปลา ทำให้ความอุดมสมบูรณ์หรือแหล่งอาหารของสัตว์น้ำลดลง
2) เป็นแหล่งแพร่ระบาดของเชื้อโรค เช่น อหิวาตกโรค บิด และท้องเสีย
3) มีผลกระทบต่อการเพาะปลูก เพราะน้ำเสียที่มีความเป็นกรดและด่างไม่เหมาะสำหรับทำการเกษตร
4) มีผลต่อกระทบต่อทัศนียภาพ เพราะความสวยงามของแหล่งน้ำสามารถใช้เป็นสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ หรือจัดกิจกรรมทางน้ำเพื่อความบันเทิงได้

5) ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระบบนิเวศ เช่น มีกลิ่นเหม็นจากน้ำเน่าเสีย

2.2 การบำบัดน้ำเสีย

วิธีการบำบัดน้ำเสียการบำบัดน้ำเสีย สามารถแบ่งได้ตามขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

2.2.1 การบำบัดขั้นต้น (Preliminary Treatment)

การบำบัดขั้นต้น (Preliminary Treatment) และการบำบัดเบื้องต้น (Primary Treatment) : เป็นการบำบัดเพื่อแยกทราย กรวด และของแข็งขนาดใหญ่ ออกจากของเหลวหรือน้ำเสีย โดยเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบด้วย ตะแกรงหยาบ (Coarse Screen) ตะแกรงละเอียด (Fine Screen) ถังดักกรวดทราย (Grit Chamber) ถังตกตะกอนเบื้องต้น (Primary Sedimentation Tank) และเครื่องกำจัดไขฝ้า (Skimming Devices) การบำบัด น้ำเสียขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยได้ร้อยละ 50 – 70 และกำจัดสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของบีโอดีได้ ร้อยละ 25 – 40

2.2.2 การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment)

การบำบัดขั้นที่สอง (Secondary Treatment) เป็นการบำบัดน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดขั้นต้นและการบำบัดเบื้องต้นมาแล้ว แต่ยังคงมีของแข็งแขวนลอยขนาดเล็กและสารอินทรีย์ทั้งที่ละลายและไม่ละลายใน น้ำเสียเหลือค้างอยู่ โดยทั่วไปการบำบัดขั้นที่สองหรือเรียกอีกอย่างว่าการบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment) จะอาศัยหลักการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบภายใต้สภาวะที่สามารถควบคุมได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกินสารอินทรีย์ได้รวดเร็วกว่าที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ และแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ถังตกตะกอน (Secondary Sedimentation Tank) ทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดีขึ้น จากนั้นจึงผ่านเข้าระบบฆ่าเชื้อโรค (Disinfection) เพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีจุลินทรีย์ที่ก่อให้เกิดโรคปนเปื้อน ก่อนจะระบายน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ หรือนำกลับไป ใช้ประโยชน์ (Reuse) การบำบัดน้ำเสียในขั้นนี้สามารถกำจัดของแข็งแขวนลอยและสารอินทรีย์ซึ่งวัดในรูปของ บีโอดีได้มากกว่าร้อยละ 80

2.2.3 การบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment หรือ Tertiary Treatment)

การบำบัดขั้นสูง (Advance Treatment หรือ Tertiary Treatment) เป็นกระบวนการกำจัดสารอาหาร (ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส) สี สารแขวนลอยที่ตกตะกอนยาก และอื่นๆ ซึ่งยังไม่ได้ถูกกำจัดโดยกระบวนการบำบัดขั้นที่สอง ทั้งนี้เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำให้ดียิ่งขึ้นเพียงพอที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ได้ นอกจากนี้ยังช่วย ป้องกันการเติบโตผิดปกติของสาหร่ายที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดน้ำเน่า แก้ไขปัญหาความน่ารังเกียจของแหล่งน้ำอันเนื่องจากสี และแก้ไขปัญหาอื่นๆ ที่ระบบบำบัดขั้นที่สองมิสามารถกำจัดได้ กระบวนการบำบัดขั้นสูง ได้แก่ การกำจัดฟอสฟอรัส ซึ่งมีทั้งแบบใช้กระบวนการทางเคมีและแบบใช้กระบวนการทางชีวภาพการกำจัดไนโตรเจน ซึ่งมีทั้งแบบใช้กระบวนการทางเคมีและแบบใช้กระบวนการทางชีวภาพ โดยวิธีการทางชีวภาพนั้นจะมี 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการเปลี่ยนแอมโมเนียไนโตรเจนให้เป็น ไนเทรต ที่เกิดขึ้นในสภาวะแบบใช้ออกซิเจน หรือที่เรียกว่า “กระบวนการไนทริฟิเคชั่น (Nitrification)” และขั้นตอนการเปลี่ยนไนเทรตให้เป็นก๊าซ

ไนโตรเจน ซึ่งเกิดขึ้นในสภาวะไร้ออกซิเจน หรือที่เรียกว่า “กระบวนการดีไนทริฟิเคชั่น (Denitrification)”

การกำจัดฟอสฟอรัสและไนโตรเจนร่วมกันโดยกระบวนการทางชีวภาพ ซึ่งเป็นการใช้ทั้งกระบวนการแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศในการกำจัดไนโตรเจนโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันและกระบวนการดีไนตริฟิเคชันร่วมกับกระบวนการจับใช้ฟอสฟอรัสอย่างฟุ่มเฟือย (Phosphours Luxuty Uptake) ซึ่งต้องมีการใช้กระบวนการแบบไม่ใช้อากาศต่อด้วยกระบวนการใช้อากาศด้วยเช่นกัน ทั้งนี้จะต้องมีการประยุกต์ใช้โดยผู้มีความรู้ความเข้าใจในกระบวนการดังกล่าวเป็นอย่างดี

การกรอง (Filtration) ซึ่งเป็นการกำจัดสารที่ไม่ต้องการโดยวิธีการทางกายภาพ อันได้แก่ สารแขวนลอยที่ตกตะกอนได้ยาก เป็นต้น

การดูดติดผิว (Adsorption) ซึ่งเป็นการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสียโดยการดูดติดบนพื้นผิวของของแข็ง รวมถึงการกำจัดกลิ่นหรือก๊าซที่เกิดขึ้นด้วยวิธีการเดียวกัน

2.3 หลักการบำบัดน้ำเสีย

วิธีการกำจัด ลด หรือทำลายสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียให้หมด (เสริมพล และไชยยุทธ, 2524 ; Metcalf and Eddy, 1991) หรือทำให้คุณภาพน้ำเสียดีขึ้นจนถึงระดับที่สามารถจะปล่อยทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำ หรือแม้กระทั่งให้มีคุณภาพดีขึ้นจนสามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือนำกลับไปใช้ในกิจกรรมอื่น ๆ อีกสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียประกอบด้วยสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของสารที่ละลาย ของแข็งที่ตกตะกอนแยกออกจากน้ำเสียได้ สารแขวนลอยในน้ำเสียหรือเป็นของแข็งหรือของเหลวที่ลอยอยู่บนผิวของน้ำเสียเมื่อตั้งทิ้งไว้ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียต้อง ประกอบด้วยขั้นตอนย่อย ๆ หลายขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนย่อยก็มีวัตถุประสงค์ในการกำจัดสิ่งสกปรกที่แตกต่างกันออกไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.3.1 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ (Physical Wastewater Treatment)

การใช้หลักการทางกายภาพ อย่างเช่น แรงโน้มถ่วง แรงเหวี่ยง แรงหนีศูนย์กลาง เป็นต้น เพื่อเป็นการกำจัดหรือขจัดเอาสิ่งสกปรกออกจากน้ำเสีย โดยเฉพาะสิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำจึงนับเป็นหน่วยบำบัดน้ำเสียขั้นแรกที่ถูกนำมาใช้ก่อนที่น้ำเสียจะถูกนำไปบำบัดขั้นต่อไป จนกว่าจะมีคุณภาพดีพอที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ซึ่งการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพมีหลายวิธี ดังนี้

1) การกรองด้วยตระแกรง (Screening)
2) การทำให้ลอย (Flotation)
3) การตัดย่อย (Comminution)
4) รางดักกรวดทราย (Grit Chamber)
5) การปรับสภาพการไหล (Flow Equalization)
6) การตกตะกอน (Sedimentation)

การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพนี้จะเหมาะสมกับการแยกสิ่งสกปรกหรือปนเปื้อน ที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้แล้วยังมี การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพอื่น ๆ ที่มีการใช้อีก เช่น การลดอุณหภูมิของน้ำเสียโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเสียกับน้ำ หรือน้ำเสียกับอากาศ หรือแม้กระทั่งการใส่สิ่งปรกในน้ำเสีย

2.3.2 การบำบัดน้ำเสียทางเคมี (Chemical Wastewater Treatment)

การบำบัดน้ำเสียทางเคมีเป็นวิธีการแยกสารต่าง ๆ หรือสิ่งปนเปื้อนในน้ำเสียที่บำบัด เช่น โลหะหนัก สารพิษ สภาพความเป็นกรด-ด่างสูง ๆ ที่ปนเปื้อนอยู่ด้วยการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไป เพื่อให้เข้าไปทำปฏิกิริยาซึ่งจะมีประโยชน์ในการแยกสาร แต่วิธีนี้มีข้อเสีย คือ เมื่อเติมสารเคมีลงในน้ำเสีย จะทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและวิธีนี้จะมีค่าใช้จ่ายสำหรับสารเคมีค่อนข้างสูงดังนั้น กระบวนการทางเคมีจะเลือกใช้ก็ต่อเมื่อน้ำเสียไม่สามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพหรือชีวภาพ ซึ่งวัตถุประสงค์ในการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมี คือ ปรับสภาพของน้ำเสียให้เหมาะสมกับความต้องการ สร้างตะกอนเล็ก ๆ ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถตกตะกอนได้ง่าย (Coagulation and Flocculation) มลสารที่ละลายอยู่ในน้ำเสียเป็นมลสารที่ไม่ละลายในน้ำซึ่งเรียกว่า Precipitation การฆ่าเชื้อโรคในน้ำเสียออกสู่สิ่งแวดล้อมและปรับสภาพของตะกอนต่าง ๆ เพื่อใช้ในการย่อยตะกอนและการแยกน้ำออกจากตะกอน

การบำบัดน้ำเสียด้วยวิธี Coagulation และ Flocculation เป็นการกำจัดของแข็งแขวนลอยบีโอดี สารอินทรีย์ สารอาหาร สิ่งสกปรกที่ไม่ละลายน้ำออกจากน้ำเสีย สามารถกำจัดสิ่งสกปรกที่มีขนาดเล็ก เบาและพวกที่ไม่ตกตะกอน รวมถึงพวกที่เป็นอนุภาคคอลลอยด์ (Colloidal Particles)

2.3.3 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ (Biological Wastewater Treatment)

การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพเป็นการอาศัยสิ่งมีชีวิตซึ่งอาจจะเป็นจุลินทรีย์หรือพืชในการบำบัดหรือลดมลพิษในน้ำเสียซึ่งส่วนใหญ่จะย่อยสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในน้ำเสีย เช่น แบคทีเรีย โปรโตซัว สาหร่าย รา และ โรติเฟอร์ ฯลฯ ให้เป็นก๊าซลอยขึ้นสู่อากาศ และได้จุลทรีย์เพิ่ม ซึ่งการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ มีหลายวิธี ดังนี้

1) ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ (Activated Sludge : AS)

ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์เป็นขบวนการบำบัดน้ำเสีย ทางชีววิทยาที่มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูง ระบบหนึ่ง คือ ประมาณ85-95%จึงเป็นที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบันโดยเฉพาะ อย่างยิ่งในการบำบัดน้ำเสียจากอาคารและโรงงานอุตสาหกรรม การผลิตอาหาร โดยปกตินำ้เสียจะต้องผ่านตะแกรงดักขยะ บ่อดัก ไขมัน บ่อดักกรวดทราย เพื่อแยกเอาเศษวัสดุ และตะกอน ที่มีขนาดใหญ่ออกในขั้นหนึ่งก่อนจากนั้นน้ำเสียจะถูกนำเข้าสู่ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ซึ่งประกอบด้วยถังเติมอากาศถังตกตะกอนและระบบสูบตะกอนย้อนกลับเครื่องเติมอากาศที่ติดตั้งอยู่ในถังเติมอากาศจะเพิ่มออกซิเจนให้กับน้ำเสียเพื่อทำให้จุลินทรีย์นำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสิ่งสกปรกในน้ำเสียและการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนต่อไปน้ำตะกอนจากถังเติมอากาศจะนำเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์ออกจากน้ำที่บำบัดแล้วน้ำส่วนใสที่ไหลล้นออกจากถังตกตะกอนจะนำไปฆ่าเชื้อโรคก่อนระบายลงคูคลอง สำหรับตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ก้นถังตกตะกอนส่วนหนึ่งจะถูกสูบกลับไปยังถังเติมอากาศเพื่อรักษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ให้เหมาะสม ส่วนอีกส่วนหนึ่งซึ่งเป็นตะกอนส่วนเกินจะต้องนำไปกำจัดทิ้งด้วยระบบกำจัดตะกอนต่อไป

2) ระบบโปรยกรอง (Trickling Filter)

หลักการทำงาน ระบบ โปรยกรองเป็นระบบที่มีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่บนผิวตัวกลาง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดขั้นต้นแล้วจะถูกปล่อยให้ไหลผ่านชั้นของตัวกลาง จุลินทรีย์ที่เกาะติด

อยู่บนตัวกลางจะใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยาย่อยสลายสาร อินทรีย์ในน้ำเสีย น้ำที่ผ่านระบบจะถูกส่งไปเข้าถังตกตะกอนสุดท้ายเพื่อแยกสลัดจ์ออกให้ได้น้ำ ทิ้งที่สามารถระบายทิ้งได้

องค์ประกอบของระบบโปรยกรอง องค์ประกอบที่สำคัญของระบบโปรยกรอง คือ ระบบกระจายน้ำเข้า (Distribution System) ตัวกรอง (Filter Media) และระบบระบายน้ำทิ้ง (Underdrain System) โดย ที่ระบบกระจายน้ำเข้ามีหน้าที่ทำให้พื้นที่ภาคตัดขวางของฟิลเตอร์ได้รับน้ำ เสียเท่ากันทุกส่วน วัสดุตัวกลางซึ่งอาจเป็นหินหรือพลาสติกจะใช้เป็นที่เจริญเติบโตของ จุลินทรีย์ ระบบระบายน้ำซึ่งอยู่ตอนล่างของฟิลเตอร์มีหน้าที่รับน้ำเสียที่ไหลผ่านวัสดุ ตัวกลาง และระบายอากาศให้กับฟิลเตอร์

3) ระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon : AL)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยการเติมออกซิเจนจากเครื่องเติมอากาศ (Aerator) ที่ติดตั้งแบบทุ่นลอยหรือยึดติดกับแท่นเพื่อเพิ่มออกซิเจนในน้ำให้มีปริมาณเพียงพอสำหรับจุลินทรีย์สามารถนำไปใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้เร็วขึ้นกว่าการปล่อยให้ย่อยสลายตามธรรมชาติ ทำให้สามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียในรูปของค่าบีโอดี ได้ร้อยละ 80-95

4) ระบบกรองไร้อากาศ (Anaerobic Filter : AF)

บ่อกรองไร้อากาศเป็นระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศเช่นเดียวกับบ่อเกรอะ แต่มีประสิทธิภาพในการบำบัดของเสียมากกว่า โดยภายในถังช่วงกลางจะมีชั้นตัวกลาง (Media) บรรจุอยู่ ตัวกลางที่ใช้กันมีหลายชนิด เช่น หิน หลอดพลาสติก ลูกบอลพลาสติก กรงพลาสติก และวัสดุโปร่งอื่นๆ ตัวกลางเหล่านี้จะมีพื้นที่ผิวมากเพื่อให้จุลินทรีย์ยึดเกาะได้มากขึ้น น้ำเสียจะไหลเข้าทางด้านล่างของถังแล้วไหลขึ้นผ่านชั้นตัวกลาง จากนั้นจึงไหลออกทางท่อด้านบน ขณะที่ไหลผ่านชั้นตัวกลาง จุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้อากาศจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย เปลี่ยนสภาพให้กลายเป็นก๊าซกับน้ำ น้ำทิ้งที่ไหลล้นออกไปจะมีค่าบีโอดีลดลง

จากการที่จุลินทรีย์กระจายอยู่ในถังสม่ำเสมอ น้ำเสียจะถูกบำบัดเป็นลำดับจากด้านล่างจนถึงด้านบน ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของระบบนี้จึงสูงกว่าระบบบ่อเกรอะ แต่อาจเกิดปัญหาจากการอุดตันของตัวกลางภายในถังและทำให้น้ำไม่ไหล ดังนั้นจึงต้องมีการกำจัดสารแขวนลอยออกก่อน เช่น มีตะแกรงดักขยะและบ่อดักไขมันไว้หน้าระบบ หรือถ้าใช้บำบัดน้ำส้วมก็ควรผ่านเข้าบ่อเกรอะก่อน ถังกรองไร้อากาศอาจสร้างด้วยวงขอบซีเมนต์หรือคอนกรีตในที่ หรือใช้ถังสำเร็จรูปที่มีการผลิตออกจำหน่ายในปัจจุบันอย่างไรก็ตาม หากออกแบบบ่อกรองไร้อากาศหรือดูแลรักษาไม่ดี นอกจากจะไม่สามารถกำจัดของเสียได้แล้ว ยังเกิดปัญหากลิ่นเหม็นรบกวนได้อีกด้วย

5) ระบบบ่อผึ่ง (Stabilization Pond)

เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่อาศัยธรรมชาติในการบำบัดสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ซึ่งแบ่งตามลักษณะการทำงานได้ 3 รูปแบบ คือ บ่อแอนแอโรบิค (Anaerobic Pond) บ่อแฟคคัลเททีฟ (Facultative Pond) บ่อแอโรบิค (Aerobic Pond) และหากมีบ่อหลายบ่อต่อเนื่องกัน บ่อสุดท้ายจะทำหน้าที่เป็นบ่อบ่ม (Maturation Pond) เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำทิ้งก่อนระบายออกสู่สิ่งแวดล้อม บ่อปรับเสถียรสามารถบำบัดน้ำเสียจากชุมชน หรือโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานผลิตอาหาร โรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น และเป็นระบบที่มีค่าก่อสร้างและค่าดูแลรักษาต่ำ วิธีการเดินระบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน

ผู้ควบคุมระบบไม่ต้องมีความรู้สูง แต่ต้องใช้พื้นที่ก่อสร้างมากจึงเป็นระบบที่เหมาะกับชุมชนที่มีพื้นที่เพียงพอและราคาไม่แพง ซึ่งโดยปกติระบบบ่อปรับเสถียรจะมีการต่อกันแบบอนุกรมอย่างน้อย 3 บ่อ ได้แก่ บ่อแอนแอโรบิค (Anaerobic Pond) บ่อแอโรบิค (Aerobic Pond) และบ่อบ่ม (Maturation Pond) ข้อดีระบบบ่อปรับเสถียรสามารถบำบัดน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าจะเป็นน้ำเสียจากชุมชน โรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานผลิตอาหาร หรือน้ำเสียจากเกษตรกรรม เช่น น้ำเสียจากการเลี้ยงสุกร เป็นต้น การเดินระบบก็ไม่ยุ่งยากซับซ้อน ดูแลรักษาง่าย ทนทานต่อการเพิ่มอย่างกะทันหัน (Shock Load) ของอัตรารับสารอินทรีย์ และอัตราการไหลได้ดี เนื่องจากมีระยะเวลาเก็บกักนาน และยังสามารถกำจัดจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคได้มากกว่าวิธีการบำบัดแบบอื่น ๆ โดยไม่จำเป็นต้องมีระบบฆ่าเชื้อโรค ข้อเสียระบบบ่อปรับเสถียรต้องการพื้นที่ในการก่อสร้างมาก ในกรณีที่ใช้บ่อแอนแอโรบิคอาจเกิดกลิ่นเหม็นได้ หากการออกแบบหรือควบคุมไม่ดีพอ นอกจากนี้น้ำทิ้งอาจมีปัญหาสาหร่ายปะปนอยู่มาก โดยเฉพาะจากบ่อแอโรบิค

6) ระบบแผ่นจานหมุนชีวภาพ (Rotating Biological Contactor : RBC)

ระบบ แผ่นจานหมุนชีวภาพเป็นระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาให้น้ำเสียไหลผ่านตัวกลาง ลักษณะทรงกระบอกซึ่งวางจุ่มอยู่ในถังบำบัด ตัวกลางทรงกระบอกนี้จะหมุนอย่างช้า ๆ เมื่อหมุนขึ้นพ้นน้ำและสัมผัสอากาศ จุลินทรีย์ที่อาศัยติดอยู่กับตัวกลางจะใช้ออกซิเจนจากอากาศย่อยสลายสาร อินทรีย์ในน้ำเสียที่สัมผัสติดตัวกลางขึ้นมา และเมื่อหมุนจมลงก็จะนำน้ำเสียขึ้นมาบำบัดใหม่สลับกันเช่นนี้ตลอดเวลา หลักการทำงานของระบบกลไก การทำงานของระบบในการบำบัดน้ำเสียอาศัยจุลินทรีย์แบบใช้อากาศจำนวนมากที่ยึด เกาะติดบนแผ่นจานหมุนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย โดยการหมุนแผ่นจานผ่านน้ำเสีย ซึ่งเมื่อแผ่นจานหมุนขึ้นมาสัมผัสกับอากาศก็จะพาเอาฟิล์มน้ำเสียขึ้นสู่ อากาศด้วย ทำให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนจากอากาศ เพื่อใช้ในการย่อยสลายหรือเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์เหล่านั้นให้เป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และเซลล์จุลินทรีย์ ต่อจากนั้นแผ่นจานจะหมุนลงไปสัมผัสกับน้ำเสียในถังปฏิกิริยาอีกครั้ง ทำให้ออกซิเจนส่วนที่เหลือผสมกับน้ำเสีย ซึ่งเป็นการเติมออกซิเจนให้กับน้ำเสียอีกส่วนหนึ่ง สลับกันเช่นนี้ตลอดไปเป็นวัฏจักร แต่เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์ยึดเกาะแผ่นจานหมุนหนามากขึ้น จะทำให้มีตะกอนจุลินทรีย์บางส่วน หลุดลอกจากแผ่นจานเนื่องจากแรงเฉือนของการหมุน ซึ่งจะรักษาความหนาของแผ่นฟิล์มให้ค่อนข้างคงที่โดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ตะกอนจุลินทรีย์แขวนลอยที่ไหลออกจากถังปฏิกิริยานี้ จะไหลเข้าสู่ถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนจุลินทรีย์และน้ำทิ้ง ทำให้น้ำทิ้งที่ออกจากระบบนี้มีคุณภาพดีขึ้น

7) ระบบคลองวนเวียน (Oxidation Ditch : OD)

ลักษณะสำคัญของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบนี้ คือ รูปแบบของถังเติมอากาศจะมีลักษณะเป็นวงรีหรือวงกลม ทำให้น้ำไหลวนเวียนตามแนวยาว (Plug Flow) ของถังเติมอากาศ และรูปแบบการกวนที่ใช้เครื่องกลเติมอากาศตีน้ำในแนวนอน (Horizontal Surface Aerator) รูปแบบของถังเติมอากาศลักษณะนี้จะทำให้เกิดสภาวะที่เรียกว่า แอน็อกซิก (Anoxic Zone) ซึ่งเป็นสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนละลายในน้ำทำให้ไนเตรทไนโตรเจน (NO_3^{2-}) ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน (N_2) โดยแบคทีเรียจำพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (*Nitrosomonas Spp*. และ *Nitrobactor Spp*.) ทำให้ระบบสามารถบำบัดไนโตรเจนได้

8) ระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket : UASB)

ระบบชั้นตะกอนจุลินทรีย์ไร้อากาศแบบไหลขึ้น หรือระบบยูเอเอสบี (Upflow Anaerobic Sludge Blanket: UASB) เป็นระบบหนึ่งของระบบบำบัดทางชีววิทยาที่ได้รับความสนใจและมีการพัฒนาประสิทธิภาพให้สูงขึ้น โดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แขวนลอย ซึ่งมีการพัฒนาให้เกาะตัวกันในลักษณะเป็นเม็ดตะกอน (Granule) ระบบนี้อาศัยการกวนผสมที่เกิดจากการไหลของน้ำเสียที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์จากด้านล่างไหลขึ้นสู่ด้านบน และการกวนผสมที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซที่เกิดขึ้นจริงจากกิจกรรมการย่อยสลายเป็นสำคัญ โดยตะกอนจุลินทรีย์เหล่านี้จะถูกแยกออกจากน้ำเสียด้วยอุปกรณ์แยกของแข็ง-ของเหลว-ก๊าซ (Gas-Liquid-Solid Separator หรือ 3 Phase Separator) ทำให้สามารถรักษาจุลินทรีย์ประสิทธิภาพสูงไว้ในระบบได้ ระบบยูเอเอสบี เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีการป้อนน้ำเสียเข้าระบบจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ขึ้นสู่ด้านบน (Up-flow Feeding) โดยหัวใจสำคัญของระบบยูเอเอสบีอย่างหนึ่งคือ เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในระบบที่เจริญเติบโตอยู่ในลักษณะแขวนลอย ซึ่งอาศัยการยึดเกาะกันเองของจุลินทรีย์ (Self-Immobilization) หรือเรียกได้ว่าเม็ดตะกอน จูลินทรีย์ (Granule)

2.3.4 การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี (Physical-Chemical Wastewater Treatment)

การบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี เป็นวิธีการที่สามารถใช้ได้กับน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสารอินทรีย์หรือสาร อนินทรีย์ ซึ่งการบำบัดน้ำเสียทางกายภาพ-เคมี มีหลายวิธี ดังนี้

1) การดูดซับโดยสารคาร์บอน (Carbon Adsorption)

การดูดซับด้วยผงถ่านเป็นกระบวนการที่ใช้ผงถ่านดูดซับเอาสารเคมี (สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์) บางชนิดที่ละลายอยู่ในน้ำเสียไว้หลังจากแยกเอาผงถ่านออกแล้วจะได้น้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานระบายออกจากโรงงานได้ผงถ่านที่นำมาดูดซับสี สารอินทรีย์ หรือสารอนินทรีย์ เป็นผงถ่านที่มีขนาดเล็ก 0.1 มิลลิเมตร ผ่านการเผาในเตาที่มีออกซิจนจนร้อนแดงเพื่อไล่สารพวกไฮโดรคาร์บอนแล้วนำมาแอกติเวท (Activate) ด้วยก๊าซ (Oxidizing Gas) จนโครงสร้างพรุนไปทั่ว จากนั้นนำมาแยกขนาดผงถ่านพวกนี้เมื่อนำมาใช้คล้ายวัสดุกรองในถังกรอง โดยปล่อยให้น้ำเสียที่ต้องการกำจัดไหลผ่านถังกรองถ่านช้า ๆ เพื่อให้เกิดการดูดซับได้เต็มที่ น้ำที่ผ่านการกรองนี้แล้วจะระบายทิ้งหรือนำกลับมาใช้ประโยชน์อย่างอื่นได้ ส่วนตัวผงถ่านที่หมดประสิทธิภาพการดูดซับแล้ว สามารถนำกลับมาล้างด้วยสารเคมีเพื่อปรับคืนสภาพ แล้วนำมาใช้ใหม่ได้ ทำซ้ำๆ เช่นนี้ไปจนกว่าผงถ่านนั้นจะหมดสภาพไปจริง ๆ ในกรณีนี้ใช้ได้กับการดูดซับที่ไม่เกิดปฏิกิริยาเคมีติดแน่นกับผงถ่าน หากในระหว่างการกรองหรือดูดซับเกิดปฏิกิริยาเคมีติดแน่นกับผงถ่านก็ไม่สามารถนำมาปรับคืนสภาพได้ต้องนำไปกำจัดด้วยการเผาต่อไป

2) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)

วิธีการแลกเปลี่ยนไอออนสามารถใช้ในการแยกสารโดยให้สารที่ต้องการแยกถูกจับไว้ที่สารชนิดหนึ่งที่เรียกว่าเรซิน (exchanger resin) การจับของสารกับเรซินเกิดขึ้นได้เนื่องจากเกิดการแลกเปลี่ยนไอออนที่มีประจุเหมือนกันระหว่างไอออนในเรซินกับไอออนที่อยู่ในสารละลาย การแยกทำได้โดยบรรจุเรซินในคอลัมน์แล้วผ่านสารที่ต้องการแยกลงในคอลัมน์ สารที่ต้องการแยกจะถูกเรซินจับไว้ในคอลัมน์จะเห็นได้ว่าวิธีการนี้ยังคงใช้หลักการเดียวกับวิธีคอลัมน์โครมาโทกราฟี ดังนั้นจึงเรียกวิธีการนี้ว่า (lon-Exchange chromatography) ซึ่งพบว่าวิธีนี้จะเป็นประโยชน์มาก และใช้

แก้ปัญหาที่ยุ่งยากในการวิเคราะห์ได้หลายอย่าง เช่น การทำน้ำให้บริสุทธิ์เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ การทำให้สารละลายเข้มข้นขึ้นเพื่อสามารถใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณได้ วิธีของการเลกเปลี่ยนไอออน สามารถใช้ได้ดีกับการแยกไอออนของสารอนินทรีย์ และการแยกสารพวกกรดอะมิโนในขณะที่วิธีการของโครมาโทกราฟีอื่นๆ ใช้ได้ดีกับสารเชิงซ้อนอินทรีย์เท่านั้น

3) การกรองแบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse osmosis – RO)

ระบบรีเวิร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis System) ทำหน้าที่กรองสารละลายออกจากน้ำด้วยความละเอียดของรูของเมมเบรนที่ละเอียด 0.0001ไมครอน หลักการออสโมซิส (Osmosis) เป็นกระบวนการแพร่โมเลกุลของเหลวหรือน้ำผ่านเยื่อเลือกผ่าน(Membrane) จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำ ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูง ซึ่งในทางตรงกันข้าม ระบบรีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis System) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อเราใส่ความดันให้กับฝั่งที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูง จนความดันน้ำสูงกว่าความดันออสโมติก (Osmotic Pressure) โดยโมเลกุลของเหลวหรือน้ำจะถูกบีบให้ผ่านเยื่อเมมเบรน (Membrane) จากบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายสูง ไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นของสารละลายต่ำ ระบบเครื่องกรองน้ำ RO เป็น เทคโนโลยีที่นิยมสูงสุดในการกำจัดสารละลายในน้ำ (TDS) ออกจากน้ำดิบและเป็นระบบที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในกลุ่มอุตสาหกรรม

2.4 ก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic digestion) โดยทั่วไปก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วย ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณร้อยละ 50-70 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณร้อยละ 30-40 ส่วนที่เหลือจะเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจน (H_2) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) แต่จะมีอยู่ในปริมาณที่น้อย ก๊าซมีเทนเป็นก๊าซ ที่ให้ค่าพลังงานความร้อนสูง โดยสามารถให้พลังงานความร้อนได้ประมาณ 9,000 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร หรือ 21,000 กิโลจูนต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจึงสามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง เช่น เผา เพื่อใช้ประโยชน์จากความร้อนโดยตรง ใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ หรือใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น

2.4.1 กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งเป็น 4 ขั้นตอน คือ

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นการกระบวนการที่เกิดขึ้นภายนอกเซลล์เซลล์แบคทีเรีย โดยสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่จะถูกแบคทีเรีย ย่อยสลายโดยใช้เอนไซม์ปล่อยออกมาภายนอนเซลล์ (Extracellular enzyme) ให้กลายสภาพเป็น สารประกอบเชิงเดี่ยว (Monomer) สำหรับใช้ในกระบวนการสร้างกรด แบคทีเรียที่หน้าที่ในการย่อยสลาย คือ แบคทีเรียจำพวกแฟคคัลเททีฟแอนโรบิคแบคทีเรีย (Facultative anaerobic bacteria) โดยกลุ่มของ แบคทีเรียในขั้นตอนนี้จะแบ่งได้ตามขนิดของเอนไซม์ที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ คือ Cellulytic, Lipolytic และ Proeolytic

ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์แบคทีเรีย การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะใช้สารที่ได้จากการย่อยใน ขั้นตอนแรกเป็นสารตั้งต้นสำหรับแบคทีเรียประเภทสร้างกรด โดยแบคทีเรียกลุ่มนี้จะเปลี่ยนสารอาหาร ดังกล่าวให้เป็นกรดอินทรีย์โมเลกุลขนอดเล็ก เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดวาเลอริก (Valeric acid) และกรดแลคติก (Lactic acid) เป็นต้น โดยกรดที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะมี สัดส่วนของกรดซิกสูงสุด นอกจากนี้ยังมีการเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย

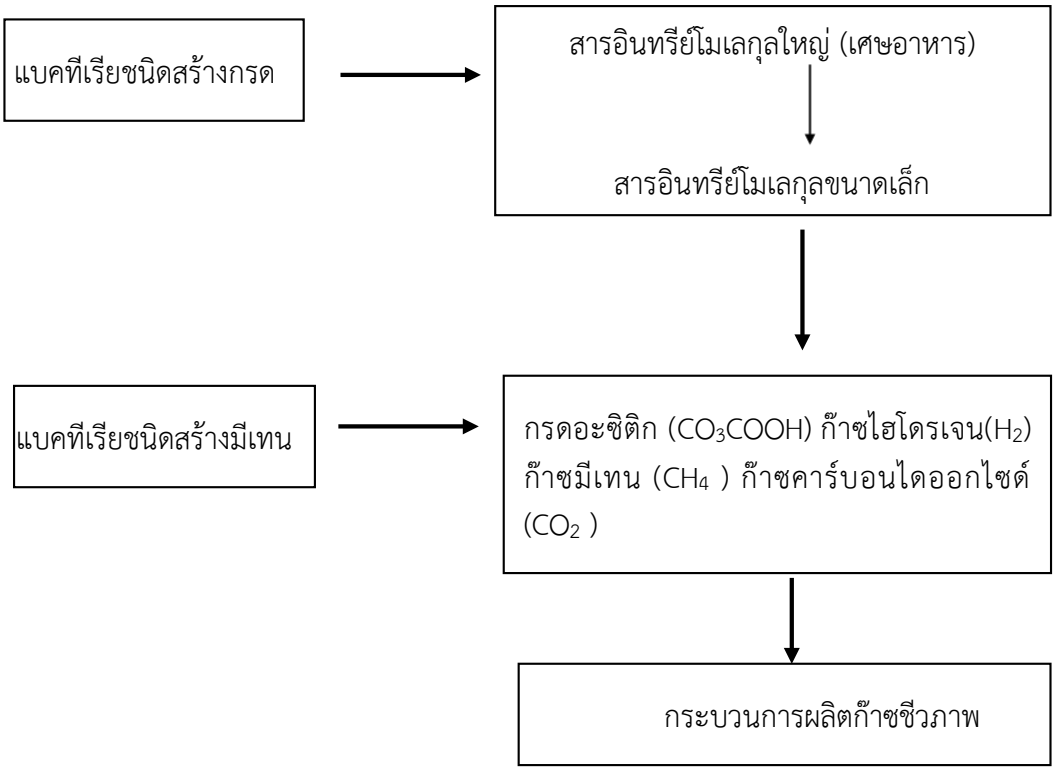
ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis) เป็นขั้นตอนที่แบคทีเรียสร้างสารอะซิติกจำพวกอะซิโตน (Acettone) จะเปลี่ยนสารจำพวก กรดไขมันระเหย ง่าย ให้เป็นสารอะซิเตต, ฟอร์เมต, ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารอาหารตั้งต้นของแบคทีเรีย ขั้นต่อไป

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) กรดอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่เกิดจากขั้นตอนการ สร้างกรดจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane forming bacteria) การเกิดก๊าซมีเทนเกิดได้ 2 แบบ แบบแรก คือ เกิดจากการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนและอีกส่วนหนึ่งจะเกิดจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียประเภท Hydrogen-Utilizing Methane Bacteria ดังสมการที่ 1 และ 2

$$CH_3\,COOH \longrightarrow CH_4+CO_2 \qquad (1)$$

$$4H_2+CO_2 \longrightarrow CH_4+2H_2O \qquad (2)$$

สำหรับกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ ดัง**รูปที่** ***2-1*** และปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากวัตถุอินทรีย์แต่ละชนิด ดัง**ตารางที่** ***2-2***



ที่มา: School of Renewable Energy and Smart Grid Technology. (2019)

รูปที่ 2-1 แสดงกระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2-2 ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากวัตถุอินทรีย์แต่ละชนิด

ชนิด	**ปริมาณก๊าซมีเทน (%)**
มูลวัว/ควาย	65
มูลสัตว์ปีก	60
มูลสุกร	67
มูลจากฟาร์มทั่วไป	55
ฟาง	59
หญ้า	70
ใบไม้	58
ขยะจากครัว	50
สาหร่าย	63
ผักตบชวา	52

ที่มา: สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2553).

2.4.2 แบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน

แบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจน ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียหลายชนิดรวมกัน ซึ่งแบคทีเรียที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้ออกซิเจนแบ่งเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) และแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methane producing bacteria)

1) แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด (Acid forming bacteria) แบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตกรดเป็นแบคทีเรียกลุ่ม Facultative anaerobic bacteria ซึ่งสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้ง ในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน โดยรับพลังงานจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก เช่น กรดไขมัน กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซ แอมโมเนีย เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มผลิตกรดจะแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1.1) อะซิโดเจนนิคแบคทีเรีย เป็นแบคทีเรียกลุ่มที่ใหญ่ที่สุดในกระบวนการย่อยสลาย สารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากสามารถใช้สารอินทรีย์เป็นอาหารได้หลายชนิด และมีอัตราการ เจริญเติบโตที่สูง แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างโมเลกุลขนาดใหญ่ให้เป็นโมเลกุล เดียวที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะซิติก กรดไพรพิออนิก กรดบิวทีริก เป็นต้น

1.2) อะซิโตเจนิคแบคทีเรีย แบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นพวกที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อย สลายของแบคทีเรียกลุ่มอะซิโดเจนนิคแบคทีเรีย แล้วเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ Hydrogen producing acetogenic bacteria แบคทีเรียในกลุ่มนี้ทำหน้าที่ย่อยสลาย สารอินทรีย์ที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนไฮโดรไลซีส ซึ่งได้แก่ แอลกอฮอล์และกรดอินทรีย์ ได้ เป็นกรดอะซิติก ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 3, 4 และ 5

$$C_2H_5OH + H_2O \rightarrow CH_3 + 2H_2 \quad (3)$$

$$C_2H_5COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2 \quad (4)$$

$$C_3H_7COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2 \quad (5)$$

สำหรับ Homoacetogenic bacteria แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ได้แก่

- Autotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอน 1 อะตอม เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซ ไฮโดรเจนในการเจริญเติบโต และได้ผลสุดท้ายเป็นกรดอะซิเตต ดังสมการที่ 6

$$4H_2 + 2CO_2 \rightarrow CH_3COOH + 2H_2O \quad (6)$$

- Heterotroph ได้แก่ แบคทีเรียที่ใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอมในการเจริญเติบโต ผลผลิตที่ได้มี ทั้งอะซิเตต และโพรพิออเนต ซึ่งเป็นสารตัวกลางที่สำคัญในการผลิตก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 7

$$3C_6H_{12}O_6 \rightarrow 4C_2H_5COOH + 2CO_2 + 2H_2O \quad (7)$$

2) แบคทีเรียกลุ่มผลิตมีเทน (Methane producing bacteria) แบคทีเรียที่สร้างผลิตมีเทนจะเจริญเติบโตได้ช้า และยังความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมาก โดยแบคทีเรียกลุ่มที่ ผลิตมีเทนแบ่งออกได้ 2 ชนิด คือ

2.1) Hydrogenotrophic methanogen ซึ่งเปลี่ยนก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไปเป็นก๊าซมีเทน ดังสมการที่ 8

$$CO_24H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (8)$$

แบคทีเรียกลุ่มนี้มีบทบาทสำคัญคือ จะใช้ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะ ไม่ใช้อากาศในกระบวนการสร้างกรด โดยช่วยคงสภาวะให้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนต่ำลง ซึ่งมีผลต่อการเกิดอะซิเตตอย่างต่อเนื่อง

2.2) Acetotrophlc methanogens จะเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ดังสมการที่ 9

$$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2 \quad (9)$$

ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นประมาณ 2 ใน 3 เกิดจากการเปลี่ยนอะซิเตตไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Acetotrophic methanogens และที่เหลือเป็นผลของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซ ไฮโดรเจนโดยแบคทีเรียกลุ่ม Hydrogenotrophic methanogens

2.4.3 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ

1) ค่าความเป็นกรดด่าง (Potential of Hydrogen ion, pH) ช่วงค่าความเป็นกรดด่างที่ เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียอยู่ในช่วง 6.5–7.5 ในช่วงแรกของการหมักแบคทีเรียที่สร้างกรด (Acidogenic Bacteria) จะสร้างกรดเป็นจำนวนมากทำให้ค่าความเป็นกรดด่าง ถ้าค่าความเป็นกรดด่างมีค่า ต่ำกว่า 5 จะทำให้มีอันตรายต่อแบคทีเรียสร้างมีเทน กล่าวคือแบคทีเรียตาย ส่งผลให้กระบวนการย่อยหยุดลง เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนอ่อนไหวต่อความเป็นกรดด่างมาก

2) อุณหภูมิในการเดินระบบ (operating temperature) แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10°C แบคทีเรียจะหยุดทำงาน โดยอุณหภูมิในการเดิน ระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของแบคทีเรียสร้างมีเทน ได้แก่ - กลุ่มแบคทีเรียเมโซฟิลิก (Mesophilic) ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิประมาณ 20°C–45°C แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง 37°C–41°C - กลุ่มแบคทีเรียเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ทำงานได้ดีในช่วง

อุณหภูมิที่สูงกว่า โดยอุณหภูมิ ที่เหมาะสมที่สุด คือ ประมาณ50°C–52°C แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70°C การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพจะเกิดขึ้นในอัตราสูงมากในช่วงอุณหภูมิปานกลาง และอุณหภูมิสูง โดยกลุ่มแบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่ากลุ่มแบคทีเรียเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิกอีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพ ที่ใช้กลุ่มแบคทีเรียเมโซฟิลิกมีความเสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิซึ่งสูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วยเร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของกลุ่มแบคทีเรียเทอร์โมฟิลิก คือ การที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

3) ระยะเวลาการกักเก็บของเหลวในถังหมัก (Retention time) คือ ระยะเวลากักเก็บของเหลว ไว้ในระบบจนกระทั่งหลุดออกจากระบบ ระยะเวลากักเก็บของเหลวมีความสำคัญเนื่องจากถ้าเวลากักเก็บ ยาวนานเกินไปจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง เพราะต้องใช้ถังหมักขนาดใหญ่ ในทางตรงข้ามหาก ใช้เวลากักเก็บสั้นเกินไป แบคทีเรียจะเติบโตไม่ทันและเกิดการหลุดออกจากระบบจำนวนมาก ซึ่งส่งผลทำให้ ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบลดลง ดังนั้นการควบคุมระยะเวลากักเก็บของเหลวที่เหมาะสมจะช่วยให้ แบคทีเรียที่อยู่ในระบบมีปริมาณคงที่ หรือมีปริมาณเพิ่มขึ้น ระยะเวลากักเก็บของเหลวเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับปัจจัย สภาพแวดล้อมภายในระบบและลักษณะของของเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ รวมไปถึงชนิดของแบคทีเรียในระบบ

4) สารอาหาร (Nutrient) สารอาหารสำคัญที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต ได้แก่ คาร์บอนและไฮโดรเจน นอกจากนี้ยังมี ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โพแตสเซียม และแคลเซียม อีกทั้งธาตุ อื่น ๆ ที่จำเป็นในปริมาณน้อยมาก ๆ เช่น เหล็ก, แมงกานีส และสังกะสี เป็นต้น แต่ในน้ำเสียโดยทั่วไปจะมีธาตุ อาหารเหล่านี้ในระดับที่เพียงพออยู่แล้ว ดังนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใด ๆ ลงไปเพิ่มเติม

5) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพคือตั้งแต่ 8–30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก จะส่งผลให้ได้ก๊าซ น้อย แต่ถ้าหาก C/N Ratio) ต่ำจะทำให้ไปเพิ่มค่า pH สูงขึ้น ถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับแบคทีเรีย มูลสัตว์โดยเฉพาะวัว ควายมีอัตราส่วน (C/N Ratio) ที่เหมาะสมที่สุดรองลงมาก็ ได้แก่ พวกดอกจอก ผักตบและเศษอาหาร

6) ปริมาณสารอินทรีย์ที่เข้าสู่ระบบ (Loading) ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน จะมีผลต่อ กระบวนการย่อยสลายของแบคทีเรีย ซึ่งถ้าหากมากเกินไปก็ จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากจนทำให้ระบบล้มเหลว แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย

7) ระยะเวลาการกักเก็บในถังหมัก (Retention time) หมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ส่วนใหญ่จะประมาณ 14-60 วัน

8) การคลุกเคล้า (Mixing) ตะกอนน้ำและสารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญ เพราะจะทำให้แบคทีเรียท้างานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ท้าให้การเกิดก๊าซเร็วและมากขึ้น และเป็นการป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่ง จะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

9) สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and Toxic Materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้, สารพิษ, โลหะหนัก, สารท้าความสะอาดต่าง ๆ เช่น สบู่ น้ำยาล้างต่าง ๆ และยาปฏิชีวนะ

2.4.4 สมการการเกิดก๊าซชีวภาพ

ปฏิกิริยาเคมีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นก๊าซชีวภาพที่สำคัญ สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ ดัง**รูปที่ 2-2** แสดงให้เห็นถึงกระบวนการทางชีวภาพและเคมีที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นพลังงานทดแทนที่สำคัญ โดยอาศัยสารตั้งต้นที่หลากหลาย เช่น สารอินทรีย์ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ดังนี้

1) ปฏิกิริยาการสลายตัวของกรดอะซิติ ปฏิกิริยานี้มักเกิดขึ้นในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยจุลินทรีย์บางชนิดจะย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก แล้วปลดปล่อยก๊าซมีเทนออกมา

2) ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนจากเอทานอล ปฏิกิริยานี้เกิดจากกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถใช้ประโยชน์ในการผลิตก๊าซมีเทนจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีส่วนประกอบของเอทานอล เช่น กากน้ำตาล

3) ปฏิกิริยาการสร้างก๊าซมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ปฏิกิริยานี้เรียกว่า "Sabatier reaction" เป็นปฏิกิริยาที่ใช้ในการผลิตก๊าซมีเทนสังเคราะห์ โดยสามารถนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นก๊าซเรือนกระจกมาเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงสะอาดได้

$$\underset{\text{(กรดอะซิติก)}}{CH_3COOH} \longrightarrow \underset{\text{(มีเทน+ คาร์บอนไดออกไซด์)}}{CH_4 + CO_2}$$

$$\underset{\text{(เอทานอล+ คาร์บอนไดออกไซด์)}}{2CH_3CH_2OH + CO_2} \longrightarrow \underset{\text{(มีเทน+ กรดอะซิติก)}}{CH_4 + 2CH_3COOH}$$

$$\underset{\text{(คาร์บอนไดออกไซด์+ ไฮโดรเจน)}}{CO_2 + 4H_2} \longrightarrow \underset{\text{(มีเทน+ น้ำ)}}{CH_4 + 2H_20}$$

รูปที่ 2-2 ปฏิกิริยากระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ

2.4.5 การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน จะให้องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ ดังนี้ ก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-50 % และก๊าซไฮโดเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ อีกเล็กน้อย ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ โดยปกติการกำจัดค่า Chemical Oxygen Demand (COD) 1 กิโลกรัม จะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.3-0.5 ลบ.ม. ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำเสียแต่ละประเภท โดยก๊าซมีเทนจะมีค่าความร้อนประมาณ 39.4 เมกะจูลต่อลูกบาศ์กเมตร สามารถใช้ทดแทนน้ำมันเตาได้ 0.67 ลิตร ซึ่งเทียบเท่าพลังงานไฟฟ้า 9.7 กิโลวัตต์ (kWh)

แก๊สชีวภาพที่ผลิตได้จากการบำบัดน้ำเสียนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมายในหลากหลายด้าน ทั้งในด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเกษตรกรรม และด้านอุตสาหกรรม แสดงดัง **ตารางที่ 2-3**

ตารางที่ 2-3 ประโยชน์ของการผลิตแก๊สชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสีย

ประโยชน์ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากการบำบัดน้ำเสีย	
1. ด้านพลังงาน	➢ สามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้ม ➢ สามารถนำแก๊สชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ ➢ สามารถนำแก๊สชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในภาคอุตสาหกรรม ➢ สามารถนำก๊าซชีวภาพไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า
2. ด้านสิ่งแวดล้อม	➢ ช่วยลดปัญหามลพิษทางน้ำด้วยการบำบัดน้ำเสียและลดสารปนเปื้อนขอสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ➢ ช่วยลดปัญหากลิ่นเหม็นและแมลง ➢ ทำลายแหล่งเพาะพันธุ์และป้องกันการแพร่กระจายของเชื้อ ➢ ลดปริมาณการปล่อยแก๊สมีเทนเข้าสู่บรรยากาศซึ่งส่งผลต่อการเกิดภาวะเรือนกระจก
3. ด้านเกษตรกรรม	➢ น้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยน้ำส่วนกากตะกอนที่ ผ่านการย่อยสลายสามารถนำไปทำปุ๋ยอัดเม็ด เพื่อใช้การปรับปรุงคุณภาพดิน
4. ด้านอุตสาหกรรม	➢ สามารถนำน้ำที่ผ่านการบำบัดมาแล้วกลับมาไปใช้กระบวนการผลิตได้

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กัญญา สอนสนิท และคณะ (2557) งานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพตากของเสียในบ่อเกรอะ โดยใช้การหมักของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับวัชพืช 2 ชนิด ได้แก่ ผักตบชวา และธูปฤาษี และเชื้อ *Bacillus sp*. โดยใช้ส่วนผสมในการหมักในอัตราส่วนที่แตกต่างกันในถังหมักขนาด 9 ลิตร ในสภาพไม่ใช้ออกซิเจน และทำการหมักแบบกะ (Batch fermentation) ที่อุณหภูมิห้อง 30 วัน วัดปริมาณก๊าซด้วยการแทนที่น้ำ และตรวจวัดปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นโดยการจุดติดไฟ ผลการวิจัยพบว่า การเกิดก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด คือ ชุดทดลองที่มีอัตราส่วนผสมคิดเป็นร้อยละของของเสียจากบ่อเกรอะ: ธูปฤาษี: เชื้อ *Bacillus* ssp. เป็น 85: 15: 0 เนื่องจากใช้เวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพเร็วกว่าในชุดการทดลองอื่น คือ เริ่มผลิตก๊าซชีวภาพในวันที่ 3 ของการหมัก โดยสังเกตจากความสามารถในการจุดติดไฟได้ดี มีเปลวไฟสีน้ำเงิน ในขณะที่ชุดการทดลองอื่นการเกิดก๊าซชีวภาพจะใช้เวลาผลิตนานกว่า โดย พบว่าชุดทดลองที่มีปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงที่สุดในวันที่ 30 ของการหมัก คือ การหมักโดยใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับธูปฤาษี (80: 15: 0) ที่รองลงมา ได้แก่ การหมักโดยใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับธูปฤาษี และเชื้อ *Bacillus* ssp. (80: 15: 0) และการหมักโดยใช้ของเสียจากบ่อเกรอะร่วมกับผักตบชวา และเชื้อ *Bacillus* ssp. (80: 15: 5) ตามลำดับ โดยควบคุม คือ ของเสียจากบ่อเกรอะ (100%) ไม่พบการจุดติดไฟของก๊าซชีวภาพ

นิสา พักตร์วิไล และคณะ (2564) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างใบอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและมูลวัว โดยมีการเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพกระทั่งได้สภาวะที่เหมาะสม คือ การใช้อัตราส่วนของใบอ้อยต่อมูลวัว 1:1 มีการปรับสภาพทาง กายภาพเพื่อให้ใบอ้อยมีขนาดเล็กลง และมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนต 16 กรัมต่อลิตร เพื่อรักษาค่าพีเอช และสภาพด่าง ในระบบให้เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ภายในระบบ โดยสามารถรักษาสภาพด่างให้อยู่ในช่วง 1,480 ถึง 4,640 mgL -1 และค่าพีเอช มีค่าอยู่ในช่วง 6.95 ถึง 7.15 ซึ่งเป็นค่าพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามก่อนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะมีการวิเคราะห์องค์ประกอบของใบอ้อย พบว่ามีค่าเซลลูโลส 39.096 ± 0.559% เฮมิเซลลูโลส 25.291 ± 0.937% และลิกนิน 18.556 ± 1.399% ตามลำดับ จากการทดสอบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างใบอ้อย และมูลวัว พบว่า เปอร์เซ็นต์มีเทนสูงสุด มีค่า 65.11% ± 0.30% ปริมาณก๊าซชีวภาพรวมสะสมทั้งหมดสูงสุด คือ 1,978 ± 3.54 มิลลิลิตร และปริมาณมิลลิลิตรมีเทนสะสมทั้งหมด 1,148 ± 5.00 มิลลิลิตร ตามลำดับ จากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าการนำใบอ้อยหมักร่วมกับมูลวัว สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี ดังนั้น ใบอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสามารถเป็นวัสดุสำหรับการผลิตพลังงานทางเลือกในชุมชน

วรรณกร กุลศรี และคณะ (2549) ศึกษาการเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วย เล็บมือนาง ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ระดับ 5% โดยใช้ การหมักแบบเปียกหรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียวในขวดหมัก แบบไร้อากาศขนาด 1 L ปริมาตรใช้งานจริง 0.5 L ระยะเวลา หมัก 10 วัน การหมักแบบแห้งระยะเวลาหมัก 9 วัน และการ หมักแบบต่อเนื่องระยะเวลาหมัก 7 วัน จากการศึกษาพบว่า การ ทดลองหมักแบบเปียกมีประสิทธิภาพการกำจัด VS ที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด TS 5% จากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วย

เล็บมือนาง มีค่าเท่ากับ 60.27 %.และ 68.28 % ตามลำดับก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 1,439 mL และ 1,170 mL ตามลำดับ ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 57.56 mL/g และ 46.8 mL/g ตามลำดับ สรุปว่า เศษผักผลไม้มีความสามารถ ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าเปลือกกล้วยเล็บมือนาง การทดลองแบบแห้งมีประสิทธิภาพการกำจัด VS ที่ความเข้มข้นของ ของแข็งทั้งหมด TS 5% จากการหมักเปลือกกล้วยเล็บมือนาง เท่ากับ 41.14% ก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 2,099 mL และการ หมักแบบต่อเนื่องมีก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 158,200 mL

วัฒนณรงค์ มากพันธ์ และคณะ (2563) ศึกษาก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร 3 ประเภท ได้แก่ โปรตีน (เนื้อสัตว์), วิตามิน (ผักผลไม้) และคาร์โบไฮเดรต (ข้าว) ในชุดถังหมักขนาด 20 ลิตร ดังนี้ ถังหมักโปรตีน ถังหมักวิตามิน และถังหมักคาร์โบไฮเดรต ทำการศึกษาก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน ระยะเวลาทดลอง 40 วัน ที่อุณหภูมิแวดล้อมปกติ ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ เกิดขึ้นถูกเก็บไว้ในถังเก็บก๊าซ วัดปริมาตรก๊าซด้วยการแทนที่น้ำ และนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี (Gas Chromatography : GC) ผลการศึกษาพบว่า ถังหมักที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุด คือ ถังหมักโปรตีน (เนื้อสัตว์: มูล สุกร : กากน้ำตาล : น้ำ) อัตราส่วนระหว่าง 3:1:1:12 โดยปริมาตร ซึ่งให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด 8.8277×10^{-4} ลูกบาศก์เมตร และมีองค์ประกอบก๊าซมีเทนเฉลี่ย 13.70 เปอร์เซ็นต์ถือได้ว่าเศษอาหาร เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถสร้างพลังงานในรูปของก๊าซมีเทนได้

สมยศ เนตรสงคราม และคณะ (2560) การศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำเสียต่อกากมันสำปะหลังที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำเสียต่อกากมันสำปะหลังที่เหมาะสม โดยใช้ถังหมักขนาดขนาด 1200 มิลลิลิตรและใช้เวลาทดลอง 15 วัน เพื่อหา อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดลองในถังต้นแบบขนาด 50 ลิตรโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นการทดลองจากบ่อหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานแป้งมัน ควบคุมค่า pH เท่ากับ 8 พบว่าการเกิดก๊าซชีวภาพจะเริ่มเกิดเมื่อการ ทดลองผ่านไป 3 วันและมีระยะอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 4-5 วัน และพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด 4:6 สัดส่วนโดยปริมาตร มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 1294 มิลลิลิตรและมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 258 มิลลิลิตรต่อวัน และมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 4:6 มากกว่าอัตราส่วน 8:2, 6:4, 5:5, 2:8 และกากมันสำปะหลังอย่างเดียว 88.5' % 16.8% 41.2% 15.9% 87.1% ตามลำดับ และมีสัดส่วนของก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 4:6 ก๊าซมีเทน 50.3% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 45.9 % และก๊าซอื่น ๆ 3.80%

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่องการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและประยุกต์ใช้ในการผลิตและแปรรูปมะขาม มีการดำเนินการวิจัย ดังนี้

3.1 การศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ

3.2 การออกแบบบ่อหมักแก๊สชีวภาพ

3.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ

3.1.1 การเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์คุณสมบัติของเสียและน้ำเสีย

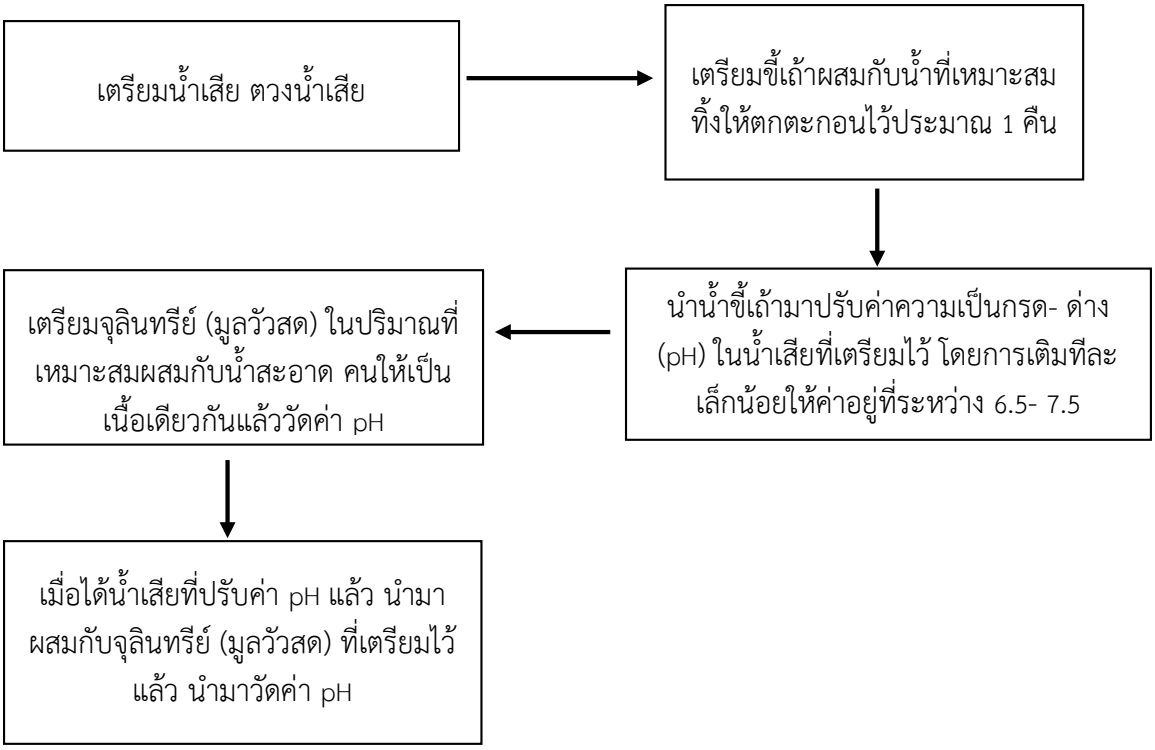
เก็บตัวอย่างของเสียในงานวิจัยนี้ดำเนินการสำรวจข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการนำของเสียมาผลิตเป็นแก๊สชีวภาพ จากกลุ่มวิสาหกิจชุมชน “กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรขี้นาคแผนใหม่”และนำมาปรับสภาพให้เหมาะสม และทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของเสียและน้ำเสีย โดยทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณของแข็งทั้งหมด ปริมาณสารอินทรีย์ อัตราส่วน C/N ค่าความเป็นกรดด่าง pH โดยมีขั้นตอนดัง**รูปที่ 3-1** และ**ตารางที่ 3-1** ดังนี้

1) เก็บตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการการทำมะขามแช่อิ่ม ทำการวัดค่าpH เพื่อต้องการทราบถึงสภาพความเป็นกรด- ด่าง

2) เตรียมขี้เถ้า 1kg ผสมกับน้ำสะอาดปริมาตร 4L เมื่อเตรียมเสร็จแล้วทิ้งไว้ประมาณ 1-2 คืน เพื่อให้เถ้าเกิดการตกตะกอนให้ได้น้ำเถ้า (น้ำด่าง) ส่วนที่ใสมาใช้ในการปรับสภาพ วัดค่า pH

3) น้ำเสียมีสภาพเป็นกรด จึงนำน้ำเถ้ามาปรับสภาพ โดยการทยอยเติมลงไปทีละเล็กน้อย เพื่อให้ได้ค่าpH อยู่ระหว่างที่ 6.5- 7.5 โดยในการทดลองนี้ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างน้ำเสียกับน้ำเถ้าในอัตราส่วน เพื่อให้ง่ายต่อการผสมปรับเสถียรให้น้ำเสียอยู่ในเกณฑ์กระบวนการสร้างกรดของก๊าซมีเทน

สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซโดยจุลินทรีย์ ต้องอาศัยตัวกลาง 2 ชนิด คือ ค่าความเป็นกรด- ด่าง และอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสร้างกรด จะอยู่ในช่วง 6.5- 7.5 อุณหภูมิ 37- 41 ℃ และจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างก๊าซมีเทน



รูปที่ 3-1 วิธีการเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย

ตารางที่ 3-1 การเตรียมการปรับภาพน้ำเสีย

การปรับสภาพน้ำเสีย	**อัตราส่วน**	**วัสดุหมัก**	**ก่อนปรับ pH**	**ปริมาณที่ใช้ปรับสภาพ (ml)**	**น้ำเสียที่ปรับสภาพ pH แล้ว**
ครั้งที่ 1	1: 0.5	น้ำเสีย	2.67	250	6.65
		น้ำเถ้า	10.30	250	
ครั้งที่ 2	1: 1	น้ำเสีย	2.67	500	6.68
		น้ำเถ้า	10.30	500	
ครั้งที่ 3	1: 1.5	น้ำเสีย	2.67	750	6.36
		น้ำเถ้า	10.30	750	
ครั้งที่ 4	1: 2	น้ำเสีย	2.67	1,000	6.67
		น้ำเถ้า	10.30	1,000	

3.1.2 การทดลองผลิตแก๊สชีวภาพ

ทำการทดลองผลิตแก๊สชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังหมักขนาดเล็ก แบบ ทีละเทและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่า pH ระยะเวลาการกักเก็บ พร้อมทำการบันทึกปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ โดยมีขั้นตอนการทดลอง **ตารางที่ 3-2** และ**รูปที่ 3-2** ดังนี้

1) ขั้นตอนการเตรียมหัวเชื้อจุลินทรีย์ (มูลวัวสด) ใช้การตักใส่บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ปริมาณใช้ความสูงของบีกเกอร์เป็นหลัก ผสมน้ำสะอาดปริมาตร 500 มิลลิลิตร คนให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH)

2) เมื่อได้น้ำเสียที่ปรับสภาพแล้ว นำไปผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เตรียมไว้ วัดค่า pH

3) เทผสมลงในขวดสีชาขนาด 4 ลิตร ปิดฝาที่ติดกับสายยาง และเติมน้ำสะอาดในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร จนถึงระดับคอบีกเกอร์ จากนั้นนำขวดพลาสติกที่ติดกับสายที่เชื่อมกับฝาขวดสีชาคว่ำลงในบีกเกอร์ โดยเปิดสายรูสายยางอีก 1 ทางไว้ เมื่อคว่ำเสร็จให้ทำการปิดรูสายยาง

4) วัดปริมาณก๊าซ ดำเนินการวัดการแทนที่น้ำทุกๆ วัน จนครบระยะเวลากำหนด

ตารางที่ 3-2 อัตราส่วนของวัสดุหมักในการผลิตก๊าซชีวภาพ

รายการ	**อัตราส่วน (มูลวัว/น้ำเสียที่ปรับสภาพแล้ว)**	**วัสดุหมัก**	**อัตราส่วน (มล.)**
ชุดการทดลองที่ 1	1: 0.5	มูลวัวสด+ น้ำ	1,000
		น้ำเสียที่ปรับสภาพแล้ว	500
ชุดการทดลองที่ 2	1: 1	มูลวัวสด+ น้ำ	1,000
		น้ำเสียที่ปรับสภาพแล้ว	1,000
ชุดการทดลองที่ 3	1: 1.5	มูลวัวสด+ น้ำ	1,000
		น้ำเสียที่ปรับสภาพแล้ว	1,500
ชุดการทดลองที่ 4	1: 2	มูลวัวสด+ น้ำ	1,000
		น้ำเสียที่ปรับสภาพแล้ว	2,000

รูปที่ 3-2 ชุดการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.2 การพัฒนาออกแบบระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

การสร้างบ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบราง (Plug flow anaerobic digester) เพื่อใช้กับของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขามนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย ได้แก่ ปริมาณของเสีย ชนิดของเสีย ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในของเสีย และพื้นที่ในการติดตั้ง

3.3 การถ่ายทอดเทคโนโลยี

3.2.1 การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ

จัดฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการให้กับสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชน “กลุ่มแม่บ้านเกษตรกรขี้นาคแผนใหม่” และประชาชนทั่วไป สำหรับเนื้อหาการฝึกอบรม ประกอบด้วย ความรู้เกี่ยวกับแก๊สชีวภาพ กระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ การใช้งาน และการบำรุงรักษาบ่อหมักแก๊สชีวภาพ และจัดกิจกรรมสาธิตการใช้งานบ่อหมักแก๊สชีวภาพ

3.2.2 การติดตามและประเมินผล

ติดตามผลการใช้งานถังหมักแก๊สชีวภาพ และให้คำปรึกษาแก่สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ ประเมินความรู้ ความเข้าใจ และความพึงพอใจของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ ต่อการถ่ายทอดเทคโนโลยี

3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องมือสำหรับเก็บตัวอย่าง: ถังเก็บตัวอย่าง ขวดเก็บตัวอย่าง

2) เครื่องมือสำหรับวิเคราะห์คุณสมบัติของเสียและน้ำเสีย: เครื่องวัด pH เครื่องวัดปริมาณของแข็งทั้งหมด เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

3) เครื่องมือสำหรับทดลองผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่
   - ขวดสีชาขนาด 4 ลิตร 4 ขวด
   - บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร
   - สายยาง
   - เครื่องวัดพีเอช pH mater
   - หัวเชื้อจุลินทรีย์ (มูลวัวสด)
   - น้ำเสียจากกระบวนการทำมะขามแช่อิ่ม
   - ขี้เถ้า (เตรียมน้ำด่างเพื่อปรับสภาพให้ค่าพีเอชอยู่ในระดับที่เหมาะสม)

4) เครื่องมือสำหรับถ่ายทอดเทคโนโลยี: เอกสารประกอบการฝึกอบรม แบบสอบถามความพึงพอใจ

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณ: วิเคราะห์ข้อมูลปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ และคุณสมบัติของเสียและน้ำเสีย โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา เช่น ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน **ตารางที่ 3-3**

2) วิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ: วิเคราะห์ข้อมูลจากการสังเกต การสัมภาษณ์ และแบบสอบถาม เพื่อประเมินความรู้ ความเข้าใจ และความพึงพอใจของสมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ

ตารางที่ 3-3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ลำดับ	ชื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน	วิธีการใช้ตรวจวิเคราะห์
1	Microsoft Word	ใช้ในการพิมพ์เอกสารงานวิจัย
2	Microsoft PowerPoint	ใช้ในการนำเสนองานวิจัย
3	Microsoft Excel	ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล สร้างรูปแบบตาราง และกราฟ

บทที่ 4
ผลการวิจัย

4.1 ศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ

4.1.1 แหล่งกำเนิดของเสียและน้ำเสีย

จากการลงพื้นที่ภาคสนามสำรวจและบันทึกข้อมูลพบว่าแหล่งมาของของเสียและน้ำเสียจากกระบวนการทำมะขามแช่อิ่ม ได้แก่ เปลือกมะขาม รกมะขาม เมล็ดมะขาม และน้ำเสียที่มีลักษณะของน้ำมีความเป็นกรด มีกลิ่นเหม็นและมีฟองอากาศ มีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นเฉลี่ยในแต่ละสถานประกอบการประมาณ 6-24 ลูกบาศก์เมตร/วัน

รูปที่ 4-1 ภาพแหล่งกำเนิดของเสียและน้ำเสียจากการแปรรูปมะขามแช่อิ่ม

4.1.2 คุณภาพน้ำเสียเบื้องต้น

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียเพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์เบื้องต้น ดังนี้ กลิ่น (Odor) (Color) อุณหภูมิ(Temperature) ค่าความเป็นกรด-ด่าง(pH) ค่าออกซิเจนละลายน้ำ(DO) ค่าบีโอดี(BOD) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) และค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) แสดงดัง**ตารางที่ 4-1** ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์คุณภาพน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็กที่ผลิตมะขามแช่อิ่ม โดยเปรียบเทียบคุณภาพน้ำทิ้งแต่ละประเภท ประกอบด้วย น้ำปูนผสมเกลือ น้ำเชื่อม น้ำเสียสถานประกอบการแห่งที่ 1 และ น้ำเสียสถานประกอบการแห่งที่ 2 และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด รวมถึงมีการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำล้างมะขามด้วย ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้ง ดังนี้

1) กลิ่น (Odor): น้ำเสีย 1 และ น้ำเสีย 2 มีกลิ่นเปรี้ยวและเหม็น ในขณะที่น้ำปูนผสมเกลือ, น้ำเชื่อม และน้ำล้างมะขามไม่มีกลิ่น

2) สี (Color): น้ำเสีย 1 และ น้ำเสีย 2 มีสีเหลืองขุ่น ในขณะที่น้ำปูนผสมเกลือ, น้ำเชื่อม และน้ำล้างมะขามมีสีใสหรือสีเหลืองขุ่นเล็กน้อย

3) อุณหภูมิ (Temperature): อุณหภูมิน้ำทิ้งทุกประเภทอยู่ในช่วง 24.8 - 25.7 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่ไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส

4) ค่าการนำไฟฟ้า: น้ำปูนผสมเกลือมีค่าการนำไฟฟ้าสูงที่สุด (567.87 mS/cm) ตามด้วยน้ำเสีย 2 (26.11 mS/cm) ซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณของแข็งที่ละลายในน้ำสูง

5) ค่า pH: น้ำปูนผสมเกลือและน้ำเชื่อมมีค่า pH สูง (เป็นด่าง) เกินมาตรฐาน (5.5 - 9) ในขณะที่น้ำเสีย 1 และน้ำเสีย 2 มีค่า pH ต่ำ (เป็นกรด) เกินมาตรฐานเช่นกัน

6) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS): น้ำเสีย 1 และ น้ำเสีย 2 มีค่า TSS สูงมาก (544 และ 1,212 mg/L ตามลำดับ) เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด (ไม่เกิน 50 mg/L)

7) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS): น้ำเสีย 2 มีค่า TDS สูงที่สุด (31,840 mg/L)

8) ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD): น้ำเสีย 1 และ น้ำเสีย 2 มีค่า BOD สูง (242.5 และ 200 mg/L ตามลำดับ) เกินค่ามาตรฐานที่กำหนด (ไม่เกิน 60 mg/L)

4.1.3 การปรับสภาพน้ำเสีย

ผลการวิเคราะห์การปรับสภาพน้ำเสียด้วยการนำน้ำเถ้ามาผสม โดยมีการวัดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่สำคัญในการประเมินคุณภาพน้ำเสีย และเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานที่กำหนด พารามิเตอร์ที่ทำการวัด ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) พบว่า ความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียอยู่ระหว่าง 7.01-7.2 บ่งชี้ว่ามีค่าที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 5.5-9.0 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO) พบว่า มีปริมาณออกซิเจนที่มีอยู่ในน้ำ 1.36-4.5 มิลลิกรัม/ลิตร ซึ่งออกซิเจนจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตในน้ำ บ่งชี้ว่ามีค่าที่สูงบ่งบอกถึงคุณภาพน้ำที่ดี ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS) พบว่า ปริมาณของแข็งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ สามารถทำให้เกิดความขุ่นและส่งผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ และค่าบีโอดี (BOD) พบว่า มีปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำอยู่ระหว่าง 90-105 มิลลิกรัม/ลิตร บ่งชีว่ามีค่าที่สูงแสดงว่าน้ำเสียนั้นมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาก

จากผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าค่าพีเอชมีค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานในการทดลองทั้ง 3 ครั้ง ค่าออกซิเจนละลายน้ำมีค่าลดลงอย่างมากในการทดลองครั้งที่ 2 และ 3 บ่งชี้ว่าคุณภาพน้ำเสียลดลง ค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมดมีค่าเกินค่ามาตรฐานในการทดลองทุกครั้ง แสดงว่ามีของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียมาก และค่าบีโอดีมีค่าเกินค่ามาตรฐานในการทดลองทุกครั้ง แสดงว่าน้ำเสียมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาก ดังนั้น ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่า การปรับสภาพน้ำเสียยังไม่ได้ผลดีเท่าที่ควร โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ของแข็งแขวนลอย และค่าบีโอดี ซึ่งจำเป็นต้องมีการปรับปรุงกระบวนการปรับสภาพน้ำเสียเพิ่มเติม เพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่เป็นไปตามมาตรฐาน

ตารางที่ 4-1 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์น้ำทิ้งแต่ละประเภทที่เกิดขึ้นจากสถานประกอบการขนาดเล็ก

ลำดับ	พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าน้ำล้างมะขาม	ค่าน้ำปูนผสมเกลือ	ค่าน้ำเชื่อม	ค่าน้ำเสีย 1	ค่าน้ำเสีย 2	ค่ามาตรฐาน
1	กลิ่น (Odor)	-	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	กลิ่นเปรี้ยว	กลิ่นเหม็น	กลิ่นเปรี้ยว	-
2	สี (Color)	-	ใส	สีเหลือขุ่น	สีแดงขุ่น		เหลืองขุ่น	-
3	อุณหภูมิ (Temperature)	°C	24.8	25.2	25.7	-	25.6	ไม่เกิน 40
4	ค่าการนำไฟฟ้า	Ms/cm	567.87	24.59	26.11	-	21.14	
4	ค่าพีเอช (pH)	-	8.56	12.50	2.56	6.68	2.36	5.5-9.0
5	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/L	-	-	-		-	-
6	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	mg/L	1	7.59	544	1,212	2522	ไม่เกิน 50
7	ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS)	mg/L	0.71	7.07	7.07	1,945	31,840	-
8	ค่าบีโอดี (BOD)	mg/L	1.1	0.40	4.27	242.5	200	ไม่เกิน 60
9	น้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)	mg/L	-	-	-			ไม่เกิน 20

หมายเหตุ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็ก กลุ่มที่ 2 ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็กที่ผลิตสินค้าหรือให้บริการบางประเภท พ.ศ. 2564

ตารางที่ 4-2 ผลการวิเคราะห์การปรับสภาพน้ำเสีย

ลำดับ	พารามิเตอร์	หน่วย	ค่าน้ำเสียหลังจากปรับสภาพน้ำเสีย			ค่ามาตรฐาน
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	ค่าพีเอช (pH)	-	7.01	7.12	7.2	5.5-9.0
2	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ (DO)	mg/L	4.5	1.8	1.36	-
3	ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS)	mg/L	1,235	1,487	1,524	ไม่เกิน 50
4	ค่าบีโอดี (BOD)	mg/L	90	110	105	ไม่เกิน 60

หมายเหตุ มาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็ก กลุ่มที่ 2 ตามประกาศกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เรื่อง กำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากสถานประกอบการขนาดเล็กที่ผลิตสินค้าหรือให้บริการบางประเภท พ.ศ. 2564

4.1.4 ปริมาณและองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ

ผลการศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ถังหมักขนาดเล็ก แบบทีละเทและควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่า pH ระยะเวลาการกักเก็บ พร้อมทำการบันทึกปริมาณแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้เพื่อนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ ดัง **ตารางที่ 4-3** และ**รูปที่ *4-3*** พบว่า อัตราการเกิดก๊าซการหมักด้วยน้ำเสียร่วมกับมูลวัวสด ดังนี้

1) ชุดที่ 1 (มูลวัว : น้ำเสีย = 1:0.5) ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรก (สูงสุดประมาณ 250 มล.) จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็วเช่นกัน และมีแนวโน้มคงที่ในช่วงท้ายของการทดลอง ชุดนี้มีปริมาณน้ำเสียน้อยที่สุด ซึ่งอาจทำให้จุลินทรีย์ขาดสารอาหารที่จำเป็นในการย่อยสลาย และส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นน้อย

2) ชุดที่ 2 (มูลวัว : น้ำเสีย = 1:1) ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 3 วันแรก (สูงสุดประมาณ 260 มล.) จากนั้นค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง ชุดนี้มีสัดส่วนของมูลวัวและน้ำเสียที่สมดุล ทำให้มีสารอาหารเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นยังน้อยกว่าชุดที่ 3

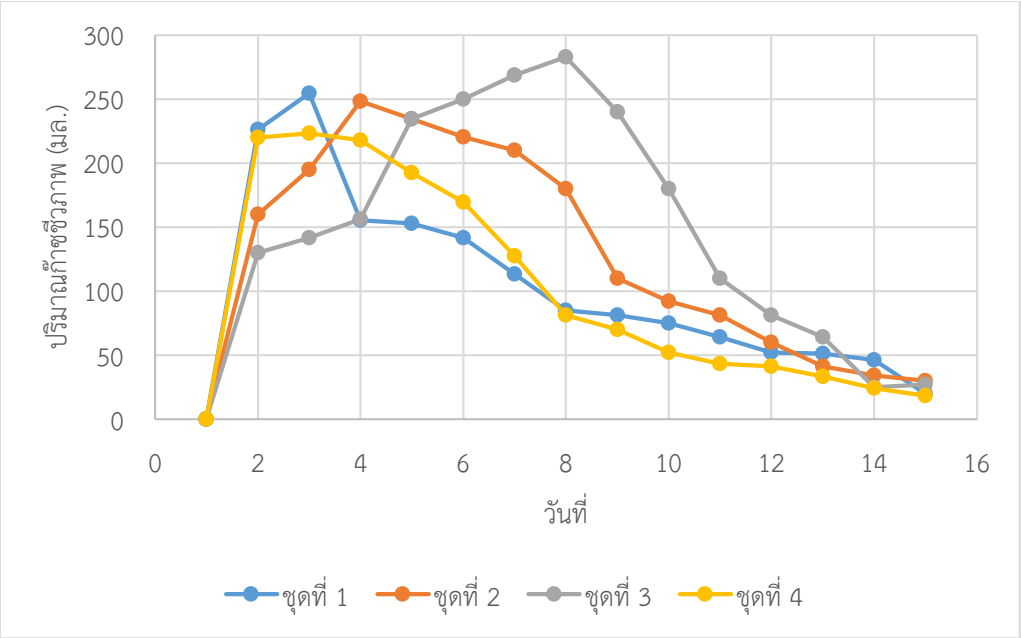
3) ชุดที่ 3 (มูลวัว : น้ำเสีย = 1:1.5) ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในช่วง 4 วันแรก (สูงสุดประมาณ 280 มล.) และคงระดับสูงไว้ได้นานกว่าชุดอื่นๆ ก่อนที่จะค่อยๆ ลดลง ชุดนี้มีปริมาณน้ำเสียมากที่สุด ซึ่งอาจช่วยส่งเสริมการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และทำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นสูงสุด

4) ชุดที่ 4 (มูลวัว : น้ำเสีย = 1:2) ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 วันแรก (สูงสุดประมาณ 230 มล.) จากนั้นลดลงอย่างรวดเร็ว และมีแนวโน้มคงที่ในช่วงท้ายของการทดลอง ชุดนี้มีปริมาณน้ำเสียมาก ซึ่งอาจทำให้ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ลดลง และอาจมีผลต่อสภาพแวดล้อมในการย่อยสลาย เช่น ค่า pH ส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นน้อย

จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่า อัตราส่วนผสมของมูลวัวกับน้ำเสียที่ปรับสภาพมีผลต่อปริมาณและอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยชุดที่ 3 (1:1.5) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดและคงระดับสูงไว้ได้นานกว่าชุดอื่นๆ

ตารางที่ 4-3 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ

วันที่	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (มิลลิลิตร)			
	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2	ชุดที่ 3	ชุดที่ 4
	อัตราส่วนผสม (มูลวัว : น้ำเสียที่ปรับสภาพ)			
	1 : 0.5	1 : 1	1 : 1.5	1 : 2
1	0	0	0	0
2	226	160	130	220
3	254	195	141	223
4	155	248	156	218
5	153	235	235	192
6	141	220	250	170
7	113	210	268	127
8	85	180	283	81
9	81	110	240	70
10	75	92	180	52
11	64	81	110	43
12	52	60	81	41
13	51	41	64	33
14	46	34	25	24
15	20	30	27	18



รูปที่ 4-2 กราฟเส้นแสดงถึงปริมาตรการเกิดของก๊าซชีวภาพในแต่ละวัน

4.1 การพัฒนาออกแบบระบบบ่อหมักก๊าซชีวภาพ

การสร้างบ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบราง (Plug flow anaerobic digester) เพื่อใช้กับของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขามนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย ได้แก่ ปริมาณของเสีย ชนิดของเสีย ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในของเสีย และพื้นที่ในการติดตั้ง ดัง**รูปที่ *4-3*** โดยมีขั้นตอนการสร้างบ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบรางดังนี้

1) การออกแบบและเตรียมพื้นที่

- ขนาดของบ่อหมัก: คำนวณขนาดของบ่อหมักให้เหมาะสมกับปริมาณของเสียที่จะนำมาหมัก โดยพิจารณาจากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นต่อวัน อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว และระยะเวลาการกักเก็บ
- ความลึกของบ่อ: โดยทั่วไป บ่อหมักแบบรางจะมีความลึกประมาณ 1-2 เมตร
- วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง: นิยมใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น เช่น คอนกรีต อิฐบล็อก หรือดินเหนียวอัด
- การเตรียมพื้นที่: เลือกพื้นที่ที่เหมาะสม เช่น ใกล้แหล่งของเสีย มีพื้นที่เพียงพอ ไม่เป็นที่ลุ่ม และไม่ไกลจากจุดที่จะนำแก๊สชีวภาพไปใช้

2) การก่อสร้างบ่อหมัก

- ขุดดิน: ขุดดินตามขนาดที่ออกแบบไว้

- ทำพื้น : เทคอนกรีตหรือใช้อิฐบล็อกเพื่อทำฐานราก หรือบดอัดดินให้มีลักษณะเป็นพื้นเรียบ

- สร้างหลังคา: อาจใช้พลาสติกคลุม หรือวัสดุอื่นๆ ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น

3) **การติดตั้งระบบท่อ**

- ระบบทางเข้า: สำหรับนำของเสียและน้ำเสียเข้าสู่บ่อหมัก

- ระบบทางออก: สำหรับระบายกากตะกอนที่ย่อยสลายแล้วออกจากบ่อหมัก

- ท่อแก๊ส: สำหรับเก็บรวบรวมแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์

4) การเติมเชื้อจุลินทรีย์

- เติมเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในของเสียจากมะขาม เช่น เชื้อจุลินทรีย์จากมูลสัตว์ น้ำเสียจากบ่อหมักอื่นๆ หรือเชื้อจุลินทรีย์ที่จำหน่าย commercially

5) การควบคุมสภาวะภายในบ่อหมัก

- อุณหภูมิ: ควบคุมอุณหภูมิภายในบ่อหมักให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ (โดยทั่วไปประมาณ 30-35 องศาเซลเซียส)

- ค่า pH: ควบคุมค่า pH ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (โดยทั่วไปประมาณ 6.5-7.5)

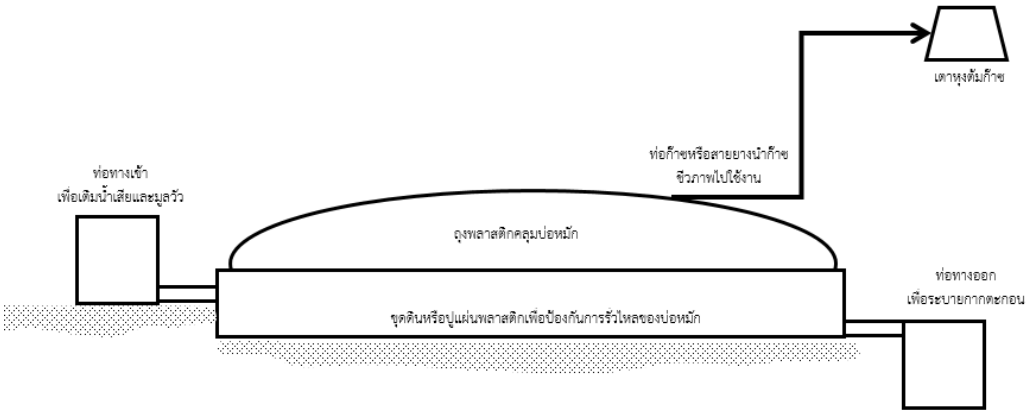
- การกวน: อาจใช้เครื่องกวน หรือวิธีอื่นๆ เพื่อช่วยให้ของเสียและจุลินทรีย์ผสมกันอย่างทั่วถึง

ทั้งนี้ ข้อควรพิจารณาในการประยุกต์ใช้กับของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขาม

- ลักษณะของเสีย: ของเสียจากมะขามมีลักษณะเฉพาะ เช่น มีปริมาณน้ำตาลสูง มีกรดอินทรีย์ และอาจมีสารเคมีตกค้างจากกระบวนการผลิต ดังนั้น ควรเลือกใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมและควบคุมสภาวะภายในบ่อหมักให้เหมาะสม

- การปรับสภาพของเสีย: อาจต้องมีการปรับสภาพของเสียก่อนนำเข้าสู่บ่อหมัก เช่น ปรับค่า pH ลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ หรือเติมสารอาหาร

- การบำบัดน้ำเสีย: น้ำเสียที่ออกจากบ่อหมักอาจต้องผ่านกระบวนการบำบัดเพิ่มเติมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ



รูปที่ 4-3 บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบราง (Plug flow anaerobic digester)

4.2 ผลการถ่ายทอดเทคโนโลยี

การวิจัยนี้ได้จัดอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้สู่กลุ่มเป้าหมายที่เข้ารับการอบรม ประกอบด้วย กลุ่มผู้ผลิตมะขามแช่อิ่ม ในพื้นที่หมู่ 12 ตำบลวังบาล อำเภอหล่มเก่า จังหวัดเพชรบูรณ์ ที่ดำเนินการผลิตมะขามแช่อิ่มและผู้ที่สนใจเข้าร่วมเรียนรู้ จำนวน 30 ราย โดยประเมินผลความพึงพอใจต่อการจัดการถ่ายทอดองค์ความรู้ โดยใช้เครื่องมือแบบสอบถาม ผลการการวิเคราะห์ผลการทำแบบสอบถาม พบว่า ค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในแต่ละหัวข้อแสดง**ตารางที่ 4-4**

ผลการประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการถ่ายทอดองค์ความรู้ โดยรวมแล้ว ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจอยู่ในระดับมาก (คะแนนเฉลี่ย 4.25) เมื่อพิจารณาในรายละเอียด พบว่า หัวข้อที่ผู้ตอบแบบสอบถามพึงพอใจมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ความประหยัดพลังงานของระบบ (คะแนนเฉลี่ย 4.50) ความน่าเชื่อถือและความทนทานของระบบ (คะแนนเฉลี่ย 4.10) ความคุ้มค่าของการลงทุน (คะแนนเฉลี่ย 4.13) ในทางกลับกัน หัวข้อที่ผู้ตอบแบบสอบถามพึงพอใจน้อยที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบบ่อหมัก (คะแนนเฉลี่ย 3.21) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและกำจัดของเสีย (คะแนนเฉลี่ย 3.24) ความง่ายในการใช้งานและบำรุงรักษา (คะแนนเฉลี่ย 3.50) โดยภาพรวมแล้ว ผู้ตอบแบบสอบถามมีความพึงพอใจต่อการจัดการถ่ายทอดองค์ความรู้ในระดับมาก แต่ยังมีบางหัวข้อที่ควรปรับปรุง เช่น ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและกำจัดของเสีย ความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบบ่อหมัก และ ความง่ายในการใช้งานและบำรุงรักษา

ตารางที่ 4-4 การประเมินความพึงพอใจต่อการจัดการถ่ายทอดองค์ความรู้

หัวข้อการประเมิน	คะแนนเฉลี่ย	ระดับความพึงพอใจ
1) ประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำเสียและกำจัดของเสีย	3.24	ปานกลาง
2) ความง่ายในการใช้งานและบำรุงรักษา	3.50	ปานกลาง
3) ความคุ้มค่าของการลงทุน	4.13	มาก
4) การติดตั้งและดูแลระบบ	3.58	ปานกลาง
5) ความน่าเชื่อถือและความทนทานของระบบ	4.10	มาก
6) ความประหยัดพลังงานของระบบ	4.50	มาก
7) ขนาดและพื้นที่ที่ใช้ในการติดตั้ง	3.98	ปานกลาง
8) การลดปัญหากลิ่นไม่พึงประสงค์	4.21	มาก
9) ความพึงพอใจโดยรวมต่อระบบบ่อหมัก	3.21	ปานกลาง
10) การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์	3.60	ปานกลาง
11) ผลประเมินโดยรวม	4.25	มาก

บทที่ 5
สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขาม และเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีและประยุกต์ใช้แก๊สชีวภาพเพื่อทดแทนแก๊สหุงต้มในการผลิตและแปรรูปมะขาม ผลการวิจัยพบว่า ของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขามสามารถนำมาผลิตแก๊สชีวภาพได้จริง โดยปริมาณและอัตราการเกิดแก๊สชีวภาพขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของมูลวัวกับน้ำเสียที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว โดยในการทดลองระดับห้องปฏิบัติการ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 1:1.5 ซึ่งให้ปริมาณแก๊สชีวภาพสูงสุดและคงระดับสูงไว้ได้นานกว่าอัตราส่วนอื่นๆ นอกจากนี้ บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบรางที่ออกแบบต้องมีขนาดเหมาะสม ใช้วัสดุก่อสร้างที่เหมาะสมและสามารถหาได้ในท้องถิ่น และสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพได้

การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการช่วยให้สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ มีความรู้ ความเข้าใจ และสามารถนำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับสมมติฐานของงานวิจัยที่ว่า การผลิตแก๊สชีวภาพจากของเสียและน้ำเสียจากการผลิตและแปรรูปมะขามสามารถทำได้ และการถ่ายทอดเทคโนโลยีและประยุกต์ใช้แก๊สชีวภาพเพื่อทดแทนแก๊สหุงต้มในการผลิตและแปรรูปมะขามสามารถแก้ไขปัญหาสิ่งแวดล้อมของชุมชนได้

5.2 อภิปรายผล

ผลการวิจัยนี้สอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่าน้ำเสียจากอุตสาหกรรมแปรรูปอาหารสามารถนำมาผลิตแก๊สชีวภาพได้ (ญานิศา และคณะ, 2567) ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยระบบจากน้ำเสียของโรงงานแปรรูปสับปะรด แต่ต้องมีการปรับสภาพน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนนำเข้าระบบ โดยปริมาณและคุณภาพของแก๊สชีวภาพที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิ อัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M ratio) ค่า C/N ratio ค่าอุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง (pH) ระยะเวลาการกักเก็บ เป็นต้น ซึ่งจากการศึกษาในครั้งนี้พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ ได้แก่ อัตราส่วนผสมระหว่างมูลสัตว์กับน้ำเสีย : อัตราส่วนที่เหมาะสมจะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของมูลสัตว์และลักษณะของน้ำเสีย ในการวิจัยนี้พบว่าอัตราส่วน 1:1.5 ให้ผลผลิตแก๊สชีวภาพสูงสุด ชนิดของวัตถุดิบโดยของเสียหรือน้ำเสียจากการผลิตมะขามแช่อิ่มมีผลต่อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการผลิตแก๊สชีวภาพ รวมถึงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตแก๊สชีวภาพ ค่า pH ที่เหมาะสมจะช่วยให้จุลินทรีย์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ (ศักรินทร์ และคณะ, 2563) ทั้งนี้ ลักษณะเฉพาะของน้ำเสียจากมะขามแช่อิ่ม

เป็นน้ำเสียประเภทนี้มีความเป็นกรดสูงมาก เนื่องจากมีกรดอินทรีย์จากมะขามเปรี้ยวเป็นองค์ประกอบ เช่น กรดทาร์ทาริก และกรดซิตริก เป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ ยังมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง ปัจจัยเหล่มนี้มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องปรับสภาพน้ำเสียโดยใช้น้ำเถ้าซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่างในการปรับสภาพ อย่างไรก็ตาม ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการลดปริมาณของแข็งแขวนลอย เช่น การตกตะกอน การกรอง หรือการใช้จุลินทรีย์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแก๊สชีวภาพ สำหรับมูลวัวที่ใช้เป็นวัสดุอินทรีย์ร่วมในการผลิตแก๊สชีวภาพ ซึ่งมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้หลากหลายชนิด การศึกษาพบว่า อัตราส่วนผสมของมูลวัวกับน้ำเสียมะขามมีผลต่อปริมาณและอัตราการเกิดแก๊สชีวภาพ ซึ่งอาจเป็นเพราะ อัตราส่วนที่เหมาะสมช่วยให้จุลินทรีย์ในมูลวัวสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยรักษาสมดุลของสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (กรกนก ศรีนวลสุข และคณะ,2564)

สำหรับข้อดีของบ่อหมักแก๊สชีวภาพต้นแบบ คือ ใช้วัสดุก่อสร้างในท้องถิ่น มีต้นทุนต่ำ ก่อสร้างง่าย มีขนาดเหมาะสม และสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพได้ ในส่วนข้อจำกัดของบ่อหมักแก๊สชีวภาพต้นแบบ คือ อาจมีปัญหาเรื่องการรั่วซึมของแก๊ส และการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพ การออกแบบระบบบ่อหมักแก๊สชีวภาพสำหรับของเสียจากมะขามแช่อิ่ม ต้องคำนึงถึงปัจจัยร่วมด้วย ได้แก่ ขนาดและชนิดของบ่อหมักควรเลือกขนาดและชนิดของบ่อหมักให้เหมาะสมกับปริมาณของเสีย เช่น บ่อหมักแบบราง บ่อหมักแบบโดมคงที่ หรือบ่อหมักแบบโดมลอย วัสดุที่ใช้ก่อสร้างต้องเลือกใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด และสามารถป้องกันการรั่วซึมของแก๊สชีวภาพได้ ระบบควบคุมอุณหภูมิมีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ควรมีระบบควบคุมอุณหภูมิภายในบ่อหมักให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม ระบบกวนผสมการกวนผสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลาย (วัฒนณรงค์ และคณะ, 2563) ซึ่งควรมีระบบกวนผสมภายในบ่อหมักร่วมด้วย เช่น การกวนด้วยมือ การกวนแบบใช้เครื่องจักร หรือการกวนด้วยการหมุนเวียนของแก๊ส ซึ่งแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้หากมีปริมาณมากพอสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้นหรือให้แสงสว่าง หรือผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ส่วนกากตะกอนที่เหลือจากกระบวนการหมัก สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อลดการใช้ปุ๋ยเคมี

ในด้านประสิทธิภาพของการถ่ายทอดเทคโนโลยี การฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการ ทำให้สมาชิกกลุ่มวิสาหกิจชุมชนฯ มีความรู้ ความเข้าใจ และทักษะในการสร้างบ่อหมัก การใช้งาน และการบำรุงรักษา ซึ่งส่งผลให้พวกเขาสามารถนำเทคโนโลยีไปประยุกต์ใช้ได้จริง อย่างไรก็ตาม ควรมีการติดตาม ประเมินผล และให้คำปรึกษาอย่างต่อเนื่อง เพื่อให้เกิดความยั่งยืนในการใช้เทคโนโลยี และควรคำนึงถึง ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับหลักการ วิธีการ และประโยชน์ของการผลิตแก๊สชีวภาพอย่างละเอียด ทักษะการปฏิบัติการใช้งานและบำรุงรักษาระบบบ่อหมักแก๊สชีวภาพ การสนับสนุนให้คำปรึกษา และสนับสนุนวัสดุอุปกรณ์ เพื่อส่งเสริมให้เกิดการนำเทคโนโลยีไปใช้จริง

5.3 ข้อเสนอแนะ

1) ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับวิธีการปรับสภาพน้ำเสียจากมะขามแช่อิ่มให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2) ควรมีการศึกษาองค์ประกอบของแก๊สชีวภาพที่ผลิตได้ในระดับห้องปฏิบัติการ

3) ควรมีการศึกษาต้นทุนและความคุ้มค่าในการลงทุนระบบบ่อหมักแก๊สชีวภาพในระดับภาคสนาม

4) ควรมีการติดตามประเมินผลการใช้งานระบบบ่อหมักแก๊สชีวภาพในระยะยาว

5) ควรมีการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำกากตะกอนจากบ่อหมักไปใช้ประโยชน์

บรรณานุกรม

กัญญา สอนสนิท และคณะ. (2566). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในบ่อเกรอะ.* คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เกษม จันทร์แก้ว. (2556). *การจัดการสิ่งแวดล้อมแบบผสมผสาน* (พิมพ์ครั้งที่ 3). สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรกนก ศรีนวลสุข และคณะ. (2564). *การศึกษาประสิทธิภาพและความเป็นไปได้ของการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศร่วมกับของเสียกลีเซอรอล.* สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.

โชติอนันต์ และคณะ. (2551). *สมุนไพรไทยสำหรับงานสาธารณสุขมูลฐาน*. ดวงกมลพับลิชชิ่ง.

นพดล. (2565). *วิสาหกิจชุมชนแม่บ้านเกษตรกรขี้นาคแผนใหม่. จ.เพชรบูรณ์ ต้นแบบการรวมกลุ่ม "ปลูกมะขามเปรี้ยว" สร้างกำไรปีละ 32.2 ล้าน*บาท. นครสวรรค์. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรที่ 12.

นิรันดร์ โพธิกานนท์วราภา และคณะ. (2545). *ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพและสถานภาพด้านสิ่งแวดล้อมในฟาร์มสุกรและโคนมทั่วประเทศไทย. วารสารเกษตร, 18*(1), 73-87.

นิสา พักตร์วิไล และคณะ. (2564). *ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยการหมักร่วมระหว่างใบอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและมูลวัว. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม*, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์.

ฟาริดา พรหมมา และคณะ. (2557). *การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์.* สาขาวิชาชีววิทยา, คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

สมยศ เนตรสงคราม และคณะ. (2566). *ผลของอัตราส่วนน้ำเสียต่อกากมันสำปะหลังที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ*. คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สำนักเทคโนโลยีความปลอดภัยกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. (2553). *คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิตการควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม (Biogas).*

เสริมพล และ ไชยยุทธ. (2524). *การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน Treatment of liquid wastes of industrial and domestic origins*.

วชิรา ดาวสุด, ญาณิศา ละอองอุทัย. (2561). *การผลิตแก๊สชีวภาพและพัฒนาแบบจำลองโดยระบบยูเอเอสบีจากของเสียอินทรีย์ร่วมกับการตรึงจุลินทรีย์.* คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยบูรพา.

วัฒนณรงค์ มากพันธ์ และคณะ. (2563). *ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*.

อรทัย วรรคาวิสันต์. (2552). *การวิเคราะห์ความเป็นไปได้โครงการลงทุนผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์. การศึกษาเฉพาะบุคคลเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต*, มหาวิทยาลัยกรุงเทพ.

Aggarangsi, P., Tippayawong, N., Moran, J., & Rerkkriangkrai, P. (2013). *Overview of livestock biogas technology development and implementation in Thailand*. *Energy for Sustainable Development, 17*(4), 371-377.

Department of Alternative Energy Development and Efficiency. (2013). *Construction, Operation and Maintenance handbook*. http://e-lib.dede.go.th/mm-data/Bib15381.pdf

Department of Industrial Works. (2010). *Design, Production, Quality Control and Use of Biogas Industry Operation handbook*. <https://www.diw.go.th/km/safety/pdf/biogas_2.pdf>

Metcalf & Eddy. (1991). *Wastewater engineering: Treatment, disposal, and reuse* (3rd ed.). McGraw-Hill.

School of Renewable Energy and Smart Grid Technology. (2019). *Floating drum digester handbook*. https://social.nia.or.th/wp-content/uploads/2019/12/02-การสร้างระบบก๊าซชีวภาพแบบฝาครอบลอย.pdf

Tansom, U., Paothong, S., Soontornnon, S., & Muhamud, N. (2020). *Biogas Dung Production: Community Participation Bangkro and Changhaitok Sub-District, Pattani Province*. *Area Based Development Research Journal, 12*(3), 207-222*. https://so01.tci-thaijo.org/index.php/abcjournal/article/view/240091

Sritrakul, N., & Hudakorn, T. (2020). *The economic value and satisfaction of substituting LPG in households by a biogas network: A case study of Bo Rae Subdistrict in Chai Nat Province,* Thailand. *Energy Reports, 6*(2), 565-571.

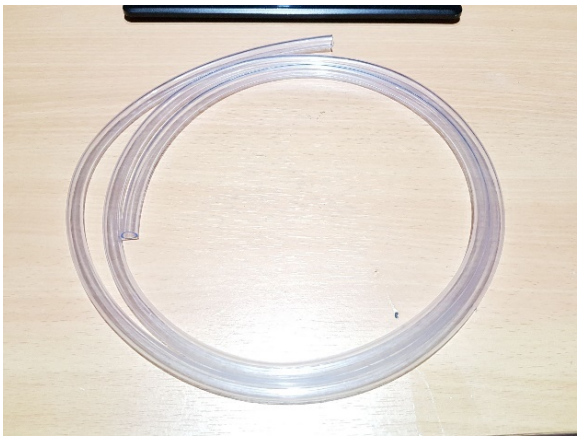
ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
เครื่องมือและอุปกรณ์

รูปที่ ก-1 ขวดสีชา (ขวดสารเคมีเก่า)

รูปที่ ก-2 บีกเกอร์ (Beaker)

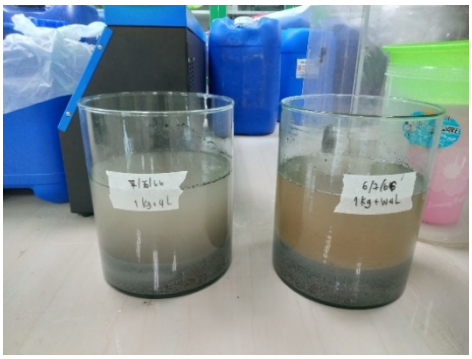
รูปที่ ก-3 เครื่องวัดความเป็นกรด- ด่าง (pH- meter)



รูปที่ ก-4 สายยาง

รูปที่ ก-5 เครื่องชั่ง 2 ตำแหน่ง

ภาคผนวก ข
วัตถุดิบในการหมักก๊าซชีวภาพ



รูปที่ ข-1 น้ำขี้เถ้า (น้ำด่าง)

รูปที่ ข-2 หัวเชื้อจุลินทรีย์ (มูลวัวสด)

รูปที่ ข-3 น้ำเสียจากโรงงานทำมะขามแช่อิ่ม

ภาคผนวก ค

จุดเก็บตัวอย่าง

รูปที่ ค-1 จุดเก็บตัวอย่าง

ภาคผนวก ง
การทดลองในห้องปฏิบัติการ

รูปที่ ง-1 การทดลองในห้องปฏิบัติการ

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย พรทวี กองร้อย
   ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Porntawee Kongroy
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3670400033908
3. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์
   เวลาที่ใช้ทำวิจัย (8 ชั่วโมง : สัปดาห์)
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ที่ติดต่อได้สะดวก
   สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
   มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ 67000
   โทรศัพท์ภายในเบอร์ 8201 มือถือ 082-5797769
   อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) Porntawee.kon@pcru.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
   ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)
   - การวิเคราะห์และประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อม, การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ การจัดการขยะและน้ำสีย
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นหัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

7.1 ผู้อำนวยการแผนงานวิจัย :

พรทวี กองร้อย, พิณทิพย์ แก้วแกมทอง, อิสระ ตั้งสุวรรณ์ และธนาวรรณ์ พิณะเวศน์. (2560). การถ่ายทอดองค์ความรู้การบริหารจัดการขยะชุมชนเพื่อพัฒนาต่อยอดสู่เชิงพาณิชย์. รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 4 “บูรณาการงานวิจัยสู่ไทยแลนด์ 4.0” ณ มหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 21 กรกฎาคม 2560. หน้า 1176-1183

7.2 หัวหน้าโครงการวิจัย

พรทวี กองร้อย (2560). การบริหารจัดการน้ำเพื่อการเพาะปลูกมะม่วงพันธุ์น้ำดอกไม้ด้วยแนวคิดวอเตอร์ฟุตพริ้นท์ กรณีศึกษา มะม่วงน้ำดอกไม้ของชุมชนดงมูลเหล็ก อำเภอเมือง จังหวัดเพชรบูรณ์. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมทางวิชาการระดับชาติ พะเยาวิจัย ครั้งที่ 6 “ศิลปวัฒนธรรมวิจัยเพื่อประเทศไทย 4.0” 26-27 มกราคม 2560 ณ หอประชุมพญาคำเมือง มหาวิทยาลัยพะเยา. หน้า 1337-1345

พรทวี กองร้อย และธนาวรรณ พิณะเวศน์ (2565). การประเมินผลกระทบสิ่งแวดล้อมและคาร์บอนฟุตพริ้นท์การผลิตน้ำมันจากขยะพลาสติก : กรณีศึกษาโรงงานต้นแบบขนาดเล็ก. วารสาร Life Sciences and Environment Journal ปีที่ 23 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน

2565: หน้า 66-81 เป็นวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของ TCI กลุ่มที่ 1 (จนถึง 31 ธันวาคม 2567)

พรทวี กองร้อย (2559). การกำจัดฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากการซักล้างโดยแหนแดง. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปีที่ 2 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม – ธันวาคม 2559.

Porntawee, K, Tantemsapya, N, Lin, F Y, ShuhRen Jing and W. Wirojanagud. (2010) Spatial Distribution of Metals in the Constructed Wetlands. International Journal of Phytoremediation, Vol.14, No.2, February 2012, p. 1835-1842

7.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องและทำเสร็จแล้ว :

พรทวี กองร้อย ,พิณทิพย์ แก้วแกมทอง, ธนาวรรณ พิณะเวศน์, อิสระ ตั้งสุวรรณ์ และฤทัยรัตน์ น้อยคนดี(2564). ความรู้ ความต้องการ และความพึงพอใจต่อโครงการธนาคารขยะรีไซเคิล มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ปี 2564.ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 มกราคม-มิถุนายน 2564: หน้า 75-85

ธนาวรรณ พิณะเวศน์ และพรทวี กองร้อย (2564). ขีดความสามารถในการรองรับด้านกายภาพของแหล่งท่องเที่ยวน้ำตกธารทิพย์ จังหวัดเพชรบูรณ์. วารสาร Life Sciences and Environment Journal ปีที่ 22 ฉบับที่ 2 มิถุนายน-ธันวาคม 2564: หน้า 346-361 เป็นวารสารที่ผ่านการรับรองคุณภาพของ TCI กลุ่มที่ 1 (จนถึง 31 ธันวาคม 2567)

กาญจน์ คุ้มทรัพย์, พรทวี กองร้อย, ธนาวรรณ สุขเกษม และรุจิรา คุ้มทรัพย์ (2560). การส่งเสริมการจัดทำคาร์บอนฟุตพริ้นในจังหวัดเพชรบูรณ์เพื่อมุ่งสู่การเป็นเมืองคาร์บอนต่ำ. รายงานสืบเนื่องการประชุมสัมมนาวิชาการ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 17 “บูรณาการงานวิจัยสู่การพัฒนาท้องถิ่นที่ยั่งยืน”. 21 กรกฎาคม 2560 ณ ศูนย์วัฒนธรรมภาคเหนือตอนล่าง วังจันทน์ริเวอร์วิว มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก, หน้า 2785-2791