บทที่ 1
บทนำ

ไบโอแก๊สเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งที่นำมาทดแทนพลังงานในโลกที่ใช้แล้วหมดไปในธรรมชาติไม่ว่าจะเป็น แก๊สธรรมชาติ น้ำมันปิโตรเลียม จึงมีการนำเอาแก๊สชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการย่อยสะลายจุลินทรีย์เพื่อนำมาอัดให้มีความดันที่มากขึ้นแล้วนำไปใช้ในเครื่องยนต์ เมื่อแก๊สชีวภาพสามารถใช้ได้กับเครื่องยนต์ดังนั้นนักลงทุนจึงนำเอาแก๊สชีวภาพมาขับเคลื่อนเครื่องยนต์เพื่อผลิตไฟฟ้า และยังเป็นการกำจัดวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมไปในตัว

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงานปฏิบัติการสหกิจ

ปัจจุบันจำนวนประชากรโลกมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วประกอบกับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และเทคโนโลยีของหลายๆประเทศที่เติบโตขึ้นอย่างต่อเนื่องส่งผลทำให้มีความต้องการใช้ทรัพยากรของมนุษย์เพิ่มขึ้น ในขณะที่จำนวนของทรัพยากรต่างๆที่มีอยู่อย่างจำกัด นอกจากนี้ทรัพยากรบางประเภทเริ่มลดลงโดยเฉพาะอย่างยิ่งทรัพยากรพลังงาน เช่น น้ำมันปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหินที่เริ่มหมดไปจนใกล้ถึงภาวะวิกฤตของพลังงานและยังรวมไปถึงสิ่งแวดล้อม จึงทำให้เกิดผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากการใช้พลังงาน,ผลกระทบจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากถ่านหิน ผลกระทบด้านมลภาวะทางอากาศ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการใช้น้ำมัน เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,2557) ดังนั้นเทคโนโลยีทางด้านพลังงานทดแทนก็เป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะสามารถมาใช้แทนพลังงานจากซากดึกดำบรรพ์ที่ใกล้จะหมดไป โดยที่พลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่ใช้แล้วไม่มีวันหมด นั่นก็คือพลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ และแก๊สชีวภาพ เป็นต้น นอกจากนี้พลังงานที่ได้จากมวลชีวภาพทั้งหลายที่สามารถนำมาหมุนเวียนมาใช้ใหม่ได้ เช่น พืชชนิดต่างๆ หรือเศษวัสดุทางการเกษตรและมูลสัตว์ต่างๆ (สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์,2553) โดยเฉพาะแก๊สชีวภาพเป็นเทคโนโลยีชนิดหนึ่งในการเปลี่ยนรูปเพื่อจัดการพวกเศษเหลือทิ้ง เช่น วัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม วัตถุดิบจากการเกษตร และปศุสัตว์ เป็นต้น

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีการปลูกมันสำปะหลังเป็นจำนวนมาก โดยในปี 2558 มีพื้นที่การเพาะปลูกรวมทั้งประเทศ 9.32 ล้านไร่ ภูมิภาคที่มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 4.89 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) สาเหตุสำคัญที่มีการเพาะปลูกมันสาปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด เนื่องมาจากมันสาปะหลังเป็นพืชที่มีต้นกำเนิดในเขตร้อนสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แห้งแล้งและเป็นกรด จึงเหมาะที่จะเป็นพืชเกษตรสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับกับร้อนแห้งแล้ง อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย43.9 องศาเซลเซียส และ

ลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายที่ไม่อุ้มน้ำ ส่งผลให้มีเศษวัสดุเหลือทิ้งจากมันสำปะหลังที่ผ่านกระบวนการแปรรูปของโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ไม่ว่าจะเป็น กากมัน ตะกอน และน้ำเสีย จึงมีการกำจัดเศษวัสดุเหลือทิ้งพวกนี้ โดยกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ในกระบวนการนี้จะได้แก๊สชีวภาพที่เป็นผลพลอยได้จากกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ แก๊สชีวภาพจะสามารถเกิดได้ดีในสภาวะอุณหภูมิ 30-45 องศาเซลเซียส ดังนั้นในช่วงเวลากลางคืนหรือช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำ ผลผลิตที่ได้จะมีปริมาณที่ต่ำ จึงส่งผลให้การผลิตไฟฟ้าลดน้อยลงไปด้วย

ผู้วิจัยตระหนักถึงความสำคัญของเทคโนโลยีพลังงานและผลผลิตที่เหลือทางการเกษตร จึงได้ทำการพัฒนาระบบการผลิตก๊าซชีวภาพรูปแบบใหม่ โดยการนำเอาหลอดไฟฟ้า(หลอดใส้) เข้ามาช่วยในกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพ เพื่อเป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิให้กับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำหรือช่วงกลางคืน เพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้ ระหว่างอุณหภูมิปกติ(กลางคืน) กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากหลอดไฟฟ้า(หลอดใส้)

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงานปฏิบัติการสหกิจศึกษา

1.2.1 เพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพในเวลากลางคืน กับปริมาณก๊าซชีวภาพที่มีหลอดไฟฟ้าที่ช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิ

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1.3.1 หลอดไฟฟ้าแบบหลอดใส้ จะเป็นตัวให้ความร้อนแก่ระบบ

1.3.2 ใช้วัตถุดิบของทางบริษัท เค-โวลเทจ

1.3.3 ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง(pH) อยู่ระหว่าง 5-6

1.3.4 ค่าของกรดระเหยง่าย(VFA.) อยู่ระหว่าง 3000-4000 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.5 ค่ารักษาความเป็นกรด-ด่าง(Alk.) อยู่ระหว่าง 3200-4200 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.6 ค่าความสกปรก(COD) ไม่เกิน 50000 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ปริมาณแก๊สที่เพิ่มมากขึ้น ที่เกิดจากการเพิ่มอุณหภูมิด้วยหลอดไฟฟ้า(หลอดใส้)

1.4.2 เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาในช่วงที่อุณหภูมิต่ำ

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.5.1 ก๊าซชีวภาพ หรือ ไบโอก๊าซ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจน(anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซมีเทน ที่เกิดจาก การหมัก(fermentation) ของ สารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้

สามารถเกิดขึ้นได้ในหลุมขยะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง กล่าวคือเมื่อไหร่ก็ตามที่มีสารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็อาจเกิดก๊าซชีวภาพ แต่นี่เป็นเพียงแค่หลักการทางทฤษฎี องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน(CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดเจน(H_2) ออกซิเจน(O_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ไนโตรเจน(N) และไอน้ำ

ก๊าซชีวภาพมีชื่ออื่นอีกคือ ก๊าซหนองน้ำและ มาร์ชก๊าซ (marsh gas) ขึ้นกับแหล่งที่มันเกิด กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยนของเสียประเภทอินทรีย์ทั้งหลายไปเป็นกระแสไฟฟ้า นอกจากกำจัดขยะได้แล้วยังทำลายเชื้อโรคได้ด้วย การใช้ก๊าซชีวภาพ เป็นการบริหารจัดการของเสีย ที่ควรได้รับการสนับสนุนเพราะไม่เป็นการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก(greenhouse effect) ส่วนการเผาไหม้ก๊าซชีวภาพซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลักจะสะอาดกว่า

1.5.2 Mesophilic คือ แบคทีเรียที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตอยู่ในช่วง 30-45 องศาเซลเซียส ซึ้งเป็นแบคทีเรียกลุ่มใหญ่ที่สุด ที่เป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้อาหารเน่าเสีย และ แบคทีเรียก่อโรค เกือบทุกชนิดจะอยู่ในกลุ่มนี้ ในแง่ของการนำมาใช้ประโยชน์ แบคทีเรียในกลุ่มนี้เป็นแบคทีเรียที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง ในการถนอมอาหารด้วยการหมัก เช่น การผลิตเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ โยเกิร์ต และใช้ในการบำบัดน้ำเสีย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในการการผลิตไฟฟ้า ได้ใช้วัสดุและอุปกรณ์เข้ามาช่วย เช่น กากมันสับปะหลัง ตะกอนจากมันสับปะหลัง หลอดไฟฟ้า ชุดควบคุมอุณหภูมิ และทฤษฎีการแพ่ความร้อน มีรายละเอียดดังนี้

2.1 ทฤษฎีก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ หมายถึง ก๊าซที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนโดย จุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic bacteria) ทำให้เกิดผลในรูปของก๊าซผสม ประกอบด้วย มีเทน (CH_4) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)เป็นส่วนใหญ่ และก๊าซอื่นๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ไฮโดรเจน(H_2) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ออกซิเจน (O_2) และไนโตรเจน (N_2) ดังแสดงในตารางที่ 3.1 การผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีโดยอาศัยจุลินทรีย์นั้น เป็นการผลิตพลังงานจากชีวมวลเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนพลังงานได้ เช่น พลังงานไฟฟ้า ก๊าซหุงต้ม เป็นต้น ซึ่งพลังงานชีวมวลที่ใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตไบโอก๊าซนั้นมีหลายรูปแบบทั้งจากมูลสัตว์และพืช

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบและคุณสมบัติทั่วไปของแก็สชีวภาพ

ชนิดของก๊าซ	ปริมาณ (%โดยปริมาตร)	คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	คุณลักษณะ
มีเทน(CH_4)	55-70	ค่าความร้อน	21 MJ/m^3 (CH_4 60%)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	25-40	ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
ไนโตรเจน (N_2)	0.5-0.3	อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 °C
ไฮโดรจน (H_2)	0.5-1.5	อุณหภูมิจุดติดไฟของมีเทน	600 °C
คาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO)	0.5-1.5	ความจุความร้อน (Cp)	1.6 KJ/m^3 °C
ไฮโดรเจนซัลไฟต์ (H_2S)	0.01-0.05	ความหนาแน่น (P)	1.5 KJ/m^3

(รัชพล พะวงศ์รัตน์, 2558)

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะปราศจากออกซิเจน (Anaerobic digestion) ก๊าซชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียเช่นจุลินทรีย์กลุ่มสร้างมีเทน (methane-producing bacteria)หรือเมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid-producing bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ ในกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศเป็นการที่จุลินทรีย์ต่างๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ลงจากสิ่งมีชีวิตซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนลงเป็นโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยลงเป็นขั้นๆไป ดังแสดงในภาพที่ 2.1 รายละเอียดขั้นตอนการย่อยสลายมีดังต่อไปนี้

2.1.1 ขั้นตอนในการเกิดก๊าซชีวภาพ

กระบวนการหมักในสภาวะไร้ออกซิเจนแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 Hydrolysis

ขั้นที่ 2 Acidogenesis

ขั้นที่ 3 Acetogenesis

ขั้นที่ 4 Methanogenesis

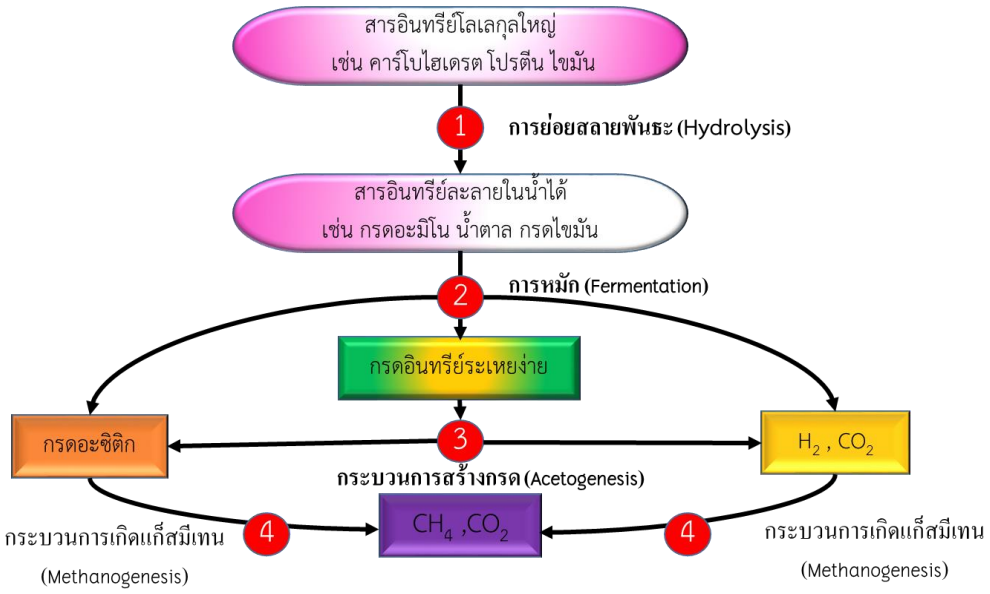
ขั้นที่ 1 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Hydrolysis) เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ (Polymer) เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กหรือสารอินทรีย์โมเลกุลเดี่ยว (Monomer) เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมัน เพื่อให้แบคทีเรียสามารถนำเข้าไปใช้ภายในเซลล์ได้ ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นภายนอกเซลล์แบคทีเรีย โดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียสร้างกรด (Acidogens) ปล่อยออกมา ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสละลายอนุภาคสารอินทรีย์และลดขนาดสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ให้เล็กลง เพื่อที่จะผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ได้ง่าย

ขั้นที่ 2 ขั้นตอนการสร้างกรด (Acidogenesis) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) โดยจุลินทรีย์ในกลุ่ม Fermentative bacteria หรือ Acid forming bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียสร้างกรดที่ทำหน้าที่ในการดูดซึมสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่สามารถละลายน้ำได้จากการไฮโดรไลซิสในขั้นที่ 1 เข้าสู่เซลล์ เพื่อใช้เป็นแหล่งคาร์บอนและพลังงานในการผลิตพวกกรดระเหยง่ายที่มีสายโซ่โมเลกุลสั้น เช่น กรดอะซิติก (Acetic acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic acid) กรดบิวไทริก (Butyric acid) เป็นต้น นอกจากนี้ในระหว่างกระบวนการทางชีวภาพเคมีของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กนี้ แบคทีเรียสร้างกรดจะผลิตไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วย

ขั้นที่ 3 ขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นกรดอะซิติก (Acetogenesis) โดยแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic) จะทำการย่อยสลายกรดระเหยที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่หรือมีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม และสารประกอบที่เป็นกลางซึ่งมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่าเมธา

นอล ได้แก่ แอลกอฮอล์ กรดโพรไพโอนิก กรดบิวไทริก กรดไอโซบิวไทริก (Isobutyric acid) กรดแลคติก (Lactic acid) เป็นต้น ให้กลายเป็นกรดอะซิติก คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน โดยแบคทีเรียกลุ่ม Homogenic bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียในกลุ่มของ Facultative bacteria

ขั้นที่ 4 ขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอะซิติกให้กลายเป็นมีเทน โดยแบคทีเรียกลุ่ม Methanogenic bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ไม่ใช้อากาศหรือออกซิเจนอิสระ (Strickly anaerobic bacteria) โดยจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีและเปลี่ยนกรดอะซิติกไปเป็นมีเทนได้ในสภาวะไร้อากาศเท่านั้น ดังนั้น ในขั้นตอนนี้กรดอะซิติกและไฮโดรเจนที่ได้จากการย่อยสลายกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะถูก Methanogenic bacteria นำไปใช้ในการสร้างมีเทนภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศ แต่อย่างไรก็ตาม Methanogenic bacteria อาจจะสร้างมีเทนได้จากซับสเทรตอย่างง่าย เช่น เมทธานอล กรดฟอร์มิก (HCOOH) แต่ไม่สามารถหมักซับสเทรตละลายน้ำได้ (Ponsa et al., 2008)



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไม่ใช้อากาศ
(ที่มา : Ponsa et al.ออนไลน์. 2008)

2.1.2 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้อง

แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้มีความเฉพาะเจาะจงสูง คือ แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenic producing bacteria) ได้แก่กลุ่ม Acetoclastic methanogenic bacteria (Acetophilic methanogen) และ Hydrogenophilic methanogen ในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศนี้ แบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะแวดล้อมมาก และมีอัตราการเจริญเติบโตต่ำกว่าแบคทีเรียกลุ่มอื่น

ๆดังนั้นการเจริญเติบโตและปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มนี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญสำหรับกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยมีแบคทีเรียที่เกี่ยวข้องหลักๆ 3 ชนิดคือ

1. Acidogenic Bacteria
2. Acetogenic Bacteria
3. Methanogenic Bacteria

2.1.3 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ

ในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ประกอบไปด้วยจุลินทรีย์ 2 กลุ่มที่ทำงานอย่างสัมพันธ์กัน ได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดและกลุ่มที่สร้างมีเทน การรักษาสภาวะแวดล้อมหรือระบบให้เหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยปัจจัยหลักมีดังต่อไปนี้

2.1.3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพเนื่องจากความเร็วของปฏิกิริยาทางเคมีจะขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิเป็นสำคัญ โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วง อุณหภูมิที่กว้างมากตั้งแต่ 4 – 60 องศาเซลเซียส ขึ้นอยู่กับชนิดของกลุ่มจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถแบ่ง ออกได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้ (พงษ์พันธ์ พรมพิพักต์, 2555)

ช่วงการเกิดปฏิกิริยา	ช่วงอุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)
Psychrophilic range	5-15
Mesophilic range	35-37
Thermophilic range	50-55

การควบคุมอุณหภูมิภายในถังหมักมักนิยมควบคุมให้อยู่ในช่วง Mesophilic เนื่องจากเป็นช่วงที่ทำให้เกิดอัตราการย่อยสลายสูง โดยจุลินทรีย์จะทำงานได้ดีในช่วง 20-42 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่จุลินทรีย์สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดคือประมาณ 35 องศาเซลเซียส ทั้งนี้ประสิทธิภาพการทำงานของจุลินทรีย์จะลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อลดอุณหภูมิลงไป 10 องศาเซลเซียส(รัชพล พะวงศ์รัตน์, 2558)

2.1.3.2 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมจะส่งผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งช่วงpH ที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 6.7-7.5 โดยปริมาณกรดไขมันที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียที่อยู่ในระดับสูง จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว (รัชพล พะวงศ์รัตน์, 2558) หากค่า pH ต่ำกว่า 6.5 ประสิทธิภาพการทางานของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทนจะต่ำลง หากค่า

pH ต่ำลงถึง 5 ก็จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์กลุ่มนี้อย่างรุนแรง ส่วนจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดจะสามารถทนได้ถึงค่า pH 4.5 โดยไม่เป็นอันตราย (พงษ์พันธ์ พรมพิพักต์, 2555)

2.1.3.3 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio)

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของสารอินทรีย์มีความสำคัญ เนื่องจากคาร์บอนและไนโตรเจน จะถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ในการสร้างเป็นโปรโตพลาสซึม (Protoplasm) ของเซลล์ใหม่อัตราส่วนที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพได้ คือ ตั้งแต่ 20-30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสาหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ไนโตรเจนจะถูกจุลินทรีย์กลุ่มเมทาโนเจนนาไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนในการเจริญเติบโต ทำให้ไนโตรเจนหมดไปอย่างรวดเร็วส่งผลให้อัตราการเกิดเซลล์จุลินทรีย์ลดลง ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ก็จะลดน้อยลงไปด้วย แต่ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก ไนโตรเจนที่มากเกินความจำเป็นของจุลินทรีย์จะเปลี่ยนมาสะสมอยู่ในรูปของแอมโมเนีย ซึ่งเป็นตัวยับยั้งการเกิดก๊าซชีวภาพได้เนื่องจากแอมโมเนียจะทำให้ค่า pH เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 จะเกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ในระบบ นอกจากนี้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมของกระบวนการหมักสารอินทรีย์ อาจเกิดจากการผสมสารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วน C/N สูงและต่าเข้าด้วยกัน เช่น ของเสียในรูปของแข็ง (Organic solid waste) กลุ่มวัสดุเหลือทิ้งเกษตรกรรม ซึ่งมี C/N ratio สูงผสมกับ น้ำเสียหรือมูลสัตว์ ซึ่งมี C/N ratio ต่ำ เป็นต้น(Balat and Balat, 2009)

2.1.3.4 สารอาหารและธาตุอาหาร (Nutrients and elements)

ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน ต้องใช้ธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) และฟอสฟอรัส(P) โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในสารอินทรีย์ คือ COD: N: P = 100:1: 0.2 ซึ่งถ้าไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าอัตราส่วนที่กำหนดจะทำให้ประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพลดต่ำลง แต่หากมีมากเกินไปจะก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ (พงษ์พันธ์ พรมพิพักต์, 2555) และอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับคาร์บอน ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส คือ C: N: P = 700: 5: 1 (วรพจน์ คาจันลา, 2555) นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่นๆ ที่มีความสำคัญในระดับรองลงไป เช่น แคลเซียม (Ca) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) สังกะสี (Zn)แมกนีเซียม (Mg) และโซเดียม (Na) ซึ่งมีความสำคัญในส่วนของการทำงานมากกว่าเป็นองค์ประกอบของเซลล์ โดยเฉพาะธาตุเหล็ก (Fe) นิกเกิล (Ni) และโคบอลท์ (Co) ที่เป็นธาตุที่เป็นองค์ประกอบสูงในเซลล์ของจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน

2.1.3.5 สภาพด่างไบคาร์บอเนต (Alkalinity)

สภาพด่างไบคาร์บอเนต คือ ความสามารถของน้ำในการรับอนุภาคโปรตอนในรูปของแคลเซียมคาร์บอร์เนต (CaCo3) โดย Alkalinity หมายถึง ความสามารถใน

การรักษาระดับความเป็นกรด-ด่าง โดย Alkalinity ในน้ำจะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต คาร์บอเนต และไฮดรอกไซด์ ซึ่งค่า pH จะเป็นตัวกำหนดจำนวนอนุภาพ Alkalinity เหล่านี้ ค่า Alkalinity ที่เหมาะสมต่อการหมักมีค่าประมาณ 1,000-5,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต

2.1.3.6 สารยับยั้งและสารที่เป็นพิษ (Inhibiting and Toxic materials)

สารยับยั้งและสารที่เป็นพิษเป็นสารประกอบที่มีผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่อาจจะส่งผลโดยตรงหรือส่งผลทางอ้อมต่อจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่จะเกิดจากการมีสารนั้นๆ ในปริมาณมากเกินไปในระบบพงษ์พันธ์ พรมพิพักต์ (2555) ได้กล่าวไว้ว่าสารจำพวกที่มีน้ำหนักอะตอมสูงจะส่งผลที่เป็นพิษรุนแรงกว่าพวกที่มีน้ำหนักอะตอมเบา และไอออนที่มี Valency สูงจะส่งผลที่เป็นพิษรุนแรงกว่าพวกที่มี Valency ต่ำกว่า แต่ทั้งนี้พบว่าในน้ำเสียมีปริมาณของสารพิษปะปนอยู่ค่อนข้างสูงซึ่งน้ำเสียดังกล่าวก็สามารถถูกย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนได้ โดยระบบไม่ได้รับผลกระทบจากสารพิษดังกล่าว อาจเนื่องมาจากในกระบวนการหมักเกิดปฏิกิริยาที่หลากหลาย เช่น การตกตะกอนของสารพิษ การถูกทำลายกลายเป็นสารรูปอื่นๆ และการรวมตัวของไอออนต่างๆ เป็นต้น สารยับยั้งและสารที่เป็นพิษมักจะมองในเชิงของปริมาณมากกว่าชนิดของสารพิษ เนื่องจากสารบางชนิดในปริมาณต่ำๆ อาจเป็นประโยชน์ต่อการทางานของระบบ แต่ถ้ามีความเข้มข้นสูงมากเกินความจำเป็นก็จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ส่งผลเสียต่อการ ทำงานของระบบเช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น

1) กรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid) อันเนื่องมาจากการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดจากสารอินทรีย์จะมีอัตราการทำงานที่เร็วกว่าจุลินทรีย์กลุ่มที่ย่อยสลายกรดไขมันให้ได้เป็นก๊าซมีเทน หากมีการเติมสารอินทรีย์หรือน้ำเสียลงในระบบการหมักก๊าซชีวภาพมากจนเกินไป จึงส่งผลให้มีการสะสมของกรดไขมันในระบบสูงซึ่งเป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทน

2) แอมโมเนีย (Ammonia) เกิดจากการย่อยสลายโปรตีนในน้ำเสียหรือสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสารที่มีความจำเป็นต่อระบบก๊าซชีวภาพ เนื่องจากแอมโมเนียเป็นสารอาหารที่จำเป็นต่อจุลินทรีย์และช่วยลดความเป็นกรดจากกรดไขมันที่สะสมในระบบ อย่างไรก็ตามแอมโมเนียที่มีปริมาณมากเกินความจำเป็นจะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน โดยทำหน้าที่เสมือนเป็นสารปฏิชีวนะ(Antibiotic) ที่ยับยั้งการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพลดลง วิธีการแก้ไขคือการลดปริมาณสารอาหารที่เข้าสู่ระบบเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถทำงานได้อย่างเป็นปกติ

นอกจากนี้สารยับยั้งและสารพิษที่มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่เกลือของโลหะ เช่น โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียม ที่จะแตกตัวให้ไอออนที่มีประจุบวกที่เป็นพิษมากกว่าประจุลบ และโลหะหนักต่างๆ เช่น แมงกานีส สังกะสี แคดเมียม โคบอลท์นิกเกิล ทองแดง และโครเมียม การลดความเป็นพิษของโลหะหนัก

อาจทำได้โดยการเติมสารประกอบซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้ลงไปเพื่อจับตัวกับโลหะหนักเกิดเป็นโลหะหนักซัลไฟด์ซึ่งไม่ละลายน้ำ

2.1.3.7 ค่าความสกปรก หรือค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand: COD)

ปริมาณออกซิเจนที่สารเคมีใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (COD)คือค่าที่วัดถึงปริมาณทั้งหมดของออกซิเจนที่ใช้โดยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้และที่เป็นสารอินทรีย์เฉื่อย) ให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ รวมไปถึงสารอนินทรีย์ที่สามารถถูกออกซิไดต์ได้

กระบวนการออกซิเดชั่น (oxidation) จะเกิดขึ้นโดยการใช้สารเคมีที่ทำหน้าที่ให้เกิดการรวมตัวกับออกซิเจนหรือเป็นตัวออกซิแด็นซ์ เช่น โพแทสเซียมไดโครเมต (potassium dichromate), โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส (potassium permanganate)การใช้สารเคมีนั้นจะเป็นตัวชี้วัดทางอ้อมถึงปริมาณของสารอินทรีย์ที่มีอยู่ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณของออกซิเจนที่ต้องใช้ ดังสมการที่ 2.1

$$COD(\text{mg/ L}) = \frac{(\text{A}-\text{B})\times \text{N}\times 8000}{\text{Sample(mL)}} \qquad (2.1)$$

เมื่อ A = FAS ที่ใช้ในการไทเทรต blank, mL
B = FAS ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ, mL
N = ความเข้มข้นของ FAS, normality

2.1.3.8 การกวนผสม

การกวนผสมเป็นการช่วยเพิ่มโอกาสให้จุลินทรีย์สัมผัสกับสารอินทรีย์ (สารอาหาร) มากยิ่งขึ้นและกระจายสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงเป็นการป้องกันการเกิดฝ้า (Scum) ที่จะขัดขวางการเคลื่อนที่ของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น รวมทั้งป้องกันการตกตะกอนของสารอินทรีย์ที่ทำให้ปริมาตรการทำงาน (Working volume) ของถังปฏิกรณ์ลดลงอีกด้วย ในกรณีของน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังการกวนผสมจะช่วยลดการจับตัวกันเป็นก้อนของแป้งช่วยให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้เร็วยิ่งขึ้น

การกวนผสมยังช่วยให้อุณหภูมิภายในระบบมีความสม่ำเสมอและทั่วถึง พร้อมทั้งช่วยลดระยะเวลาเก็บกักลงที่จะส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานภายในระบบ อย่างไรก็ตามการกวนผสมมากจนเกินไปอาจทำให้จุลินทรีย์สัมผัสกับสารอินทรีย์ได้ดี จนเกิดการสร้างกรดไขมันระเหยเป็นปริมาณมาก เป็นพิษต่อจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทน รูปแบบในการกวนผสมมีทั้งแบบต่อเนื่องและเป็นช่วงเวลา โดยการใช้เครื่องกล เครื่องสูบและการหมุนเวียนก๊าซ

2.1.4 หลักการการหมักร่วม (Co-digestion)

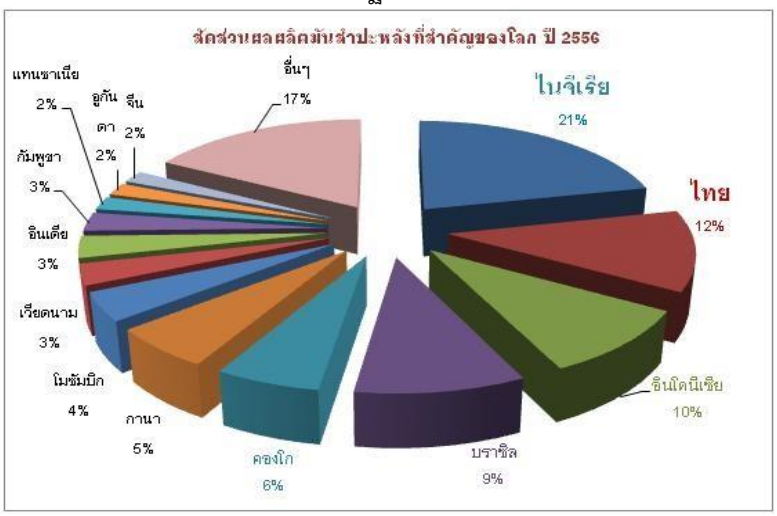
การหมักร่วมเป็นการนำสับสเตรทหรือสารอินทรีย์สองชนิดขึ้นไป มาทำการหมักร่วมกัน ซึ่งทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการย่อยสลายเพื่อเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพได้(Esposito et al, 2012) โดยการหมักร่วมจะช่วยสร้างความสมดุลระหว่างค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) โดยส่วนใหญ่จะช่วยเพิ่มค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้สูงขึ้นกว่าการหมักด้วยสับสเตรทเพียงชนิดเดียว (ชนกพร วงษ์วัน, 2555) ในกรณีของชีวมวลที่มีองค์ประกอบเป็นลิกโนเซลลูโลส เมื่อผ่านการปรับสภาพเบื้องต้นจะได้ไฮโดรไลเสต (Hydrolysate) ที่ประกอบด้วยโมเลกุลน้ำตาลต่างๆ โดยมีคาร์บอน ไฮโดรเจน และออกซิเจนเป็นหลัก ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเติมแหล่งไนโตรเจนเพื่อปรับสมดุลสารอาหารให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกระบวนการหมักภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (สุรีย์วัลย์ สิทธิจันดา,2557)

นอกจากนี้ผลพลอยได้ของการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ กากตะกอนที่ได้จากการย่อยสลายสับสเตรทหรือสารอินทรีย์ ซึ่งประกอบด้วยธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช จึงสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพแทนการใช้ปุ๋ยเคมีที่มีราคาสูงและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางเลือกหนึ่ง

2.2 มันสำปะหลัง

มันสำปะหลัง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Manihot esculenta (L.) Crantz หรือชื่อสามัญตามท้องถิ่นต่างๆ คือ Cassava, Tapioca, Yuca, Mandioa และ Manioc จัดเป็นพืชหัวที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจทั้งต่อประเทศไทยและโลก มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดจากทางตอนเหนือของประเทศอาร์เจนตินา ถึงทางใต้ของประเทศสหรัฐอเมริกา และได้มีการแพร่กระจายไปสู่ทวีปแอฟริกาและเอเชีย ในช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 15 และ 18 ตามลำดับ (FAO, 2013) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 สำหรับการแพร่กระจายของมันสำปะหลังในทวีปเอเชียพบว่าเป็นผลมาจากการขยายอาณานิคมของชนชาติยุโรป โดยเส้นทางการแพร่กระจายเริ่มมาจากประเทศฟิลิปปินส์ อินโดนีเซีย มาเลเซีย และประเทศไทยในที่สุด จากข้อมูลปี2558 ประเทศผู้ผลิตมันสาปะหลัง

สำคัญ 10 อันดับแรก ได้แก่ ไนจีเรีย ไทย อินโดนีเซีย บราซิลคองโก กานา เวียดนาม กัมพูชา อินเดีย และแองโกล่า (สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร, 2559)



ภาพที่ 2.2 สัดส่วนผลผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญของโลก ปี 2016

(ที่มา :.สำนักงานเศรษฐกิจเกษตร. ออนไลน์. 2016)

การเพาะปลูกมันสำปะหลังในประเทศไทยมีการแพร่กระจายอยู่ในทุกภูมิภาค โดยในปี 2558 มีพื้นที่การเพาะปลูกรวมทั้งประเทศ 9.32 ล้านไร่ ภูมิภาคที่มีพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลังมากที่สุด คือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 4.89 ล้านไร่ รองลงมา คือ ภาคกลาง 2.38 ล้านไร่ และภาคเหนือ2.05 ล้านไร่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) สาเหตุสำคัญที่มีการเพาะปลูกมันสาปะหลังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมากที่สุด เนื่องมาจากมันสาปะหลังเป็นพืชที่มีต้นกำเนิดในเขตร้อนสามารถเจริญเติบโตได้ในดินที่มีความอุดมสมบูรณ์ต่ำ แห้งแล้งและเป็นกรด จึงเหมาะที่จะเป็นพืชเกษตรสำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้นสลับกับร้อนแห้งแล้ง อุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ย43.9 องศาเซลเซียส และลักษณะดินส่วนใหญ่เป็นดินทรายที่ไม่อุ้มน้ำ

มันสำปะหลังเป็นไม้พุ่มที่สามารถปลูกได้ตลอดทั้งปี จัดเป็นพืชล้มลุกที่มีอายุหลายปี (Shrubby perennial crop) อายุการเก็บเกี่ยวโดยทั่วไปประมาณ 12 เดือน มีรากที่ใช้ในการสะสมอาหารจาพวกแป้งหรือคาร์โบไฮเดรต โดยจะเห็นว่า องค์ประกอบหลักในหัวมันสาปะหลังนอกจากน้าคือแป้ง ซึ่งมีปริมาณ 25 – 40 เปอร์เซ็นต์ ต่อ 100 กรัม น้ำหนักแห้งเนื้อมันสำปะหลัง ดังแสดงในตารางที่ 3.2 จึงถือว่ามันสำปะหลังเป็นแหล่งคาร์โบไฮเดรตที่มีความสำคัญต่อคนและสัตว์ โดยทั่วไปการตรวจวัดปริมาณแป้งในมันสาปะหลังจะวัดจากความหนาแน่นของหัวมันสำปะหลังโดยการชั่งน้ำหนักหัวมันสำปะหลังในน้ำ (Buoyancy) หากน้ำหนักของหัวมันสำปะหลังในน้ำมาก แสดงว่าหัวมันสำปะหลังที่มีปริมาณแป้งสูงและมีปริมาณน้ำน้อย

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบหลักในหัวมันสำปะหลัง

องค์ประกอบในหัวมันสำปะหลัง	ปริมาณ (ต่อ 100 กรัมน้ำหนักหัวมัน)
น้ำ	60.21 – 75.32
เนื้อ(ปริมารแป้ง)	4.08 – 14.08
เปลือก	4.08 – 14.08
ไซยาไนด์ (ppm)	2.85 – 39.27
แป้ง (Starch)	71.9 – 85.0
คาร์โบไฮเดรตที่ไม่ใช่แป้ง (Carbohydrate without starch)	3.59 – 8.66
เส้นใย (Cellulose)	1.77 – 3.95
โปรตีน (Protein)	1.57 – 5.78
เถ้า (Ash)	1.20 – 2.80
ไขมัน (Fats)	0.06 – 0.43

(ที่มา : กลุ่มอนุรักษ์ดินและน้ำ. ออนไลน์. 2002)

2.2.1 ของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

เสวียน เปรมประสิทธิ์ (2544) ได้แบ่งของเสียหรือวัสดุเหลือใช้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังออกเป็น 2 ประเภทหลัก ได้แก่ ของเสียที่เป็นของเหลวและของแข็ง โดยพบว่ากระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังจากหัวมันสำปะหลังสด 1 กิโลกรัม สามารถผลิตเป็นแป้งได้ 0.2 กิโลกรัม และในการผลิตแป้ง 1 ตัน ก่อให้เกิดน้ำเสียประมาณ 20-35 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีและซีโอดีสูง กล่าวคือ ถ้าเป็นน้ำเสียจากขั้นตอนการล้างหัวมันสำปะหลังจะมีค่าซีโอดีประมาณ 6,000-15,000 mg/l แต่ถ้าเป็นน้ำเสียจากขั้นตอนการแยก Fruit water และการทำให้แป้งบริสุทธิ์จะมีค่าซีโอดีที่สูงกว่าถึงประมาณ 25,000-45,000 mg/l มีความสกปรกสูงต้องผ่านการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ปัจจุบันโรงงานแป้งมันสำปะหลังส่วนใหญ่จึงมีการติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ประโยชน์จากน้ำเสียที่เกิดขึ้น ส่วนของเสียที่เป็นของแข็งประกอบไปด้วย ดินทรายแห้ง20 กิโลกรัม/ตันมันสำปะหลังสด ดินทรายเปียก 25 กิโลกรัม/ตันมันสำปะหลังสด เปลือกมันสำปะหลัง 30 กิโลกรัม/ตันมันสำปะหลังสด และกากมันสาปะหลัง 60 กิโลกรัม/ตันมันสำปะหลังสดซึ่งเปลือกและกากมันสำปะหลังสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นปุ๋ยวัสดุเพาะเห็ดอาหารสัตว์และเชื้อเพลิงอัดแท่ง

จะเห็นได้ว่าของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังที่สำคัญสามารถแบ่งได้ 3 ส่วน ได้แก่ น้ำเสียอุตสาหกรรมแป้งมัน กากมันสำปะหลัง และเปลือกมันสำปะหลัง

ก.น้ำเสียจากกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีการใช้น้ำเป็นจำนวนมากตลอดกระบวนการผลิตส่งผลให้กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมาก ทั้งจาก

กระบวนการล้างทำความสะอาดมันสำปะหลัง การแยก Fruit water และการทำให้แป้งบริสุทธิ์ โดยคุณสมบัติของน้ำเสียจากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดจะมีค่าความสกปรกในรูปของบีโอดีซีโอดี และปริมาณของแข็งสูง ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดค่อนข้างต่ำ ซึ่งแสดงว่าองค์ประกอบในน้ำเสียส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ คุณสมบัติของน้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสาปะหลังขนาดต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 2.3 ค่าเฉลี่ยคุณสมบัติของน้ำเสียที่ออกจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง

พารามิเตอร์	**โรงงานขนาดเล็ก**	**โรงงานขนาดกลาง**	**โรงงานขนาดใหญ่**	**มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2539**
pH	4.75	4.69	6.33	5.5-9.0
COD (mg/l)	13,000	15,000	19,300	400
BOD (mg/l)	6,465	10,555	12,645	60
TKN (mg/l)	228	248	512	200
TS (mg/l)	13,030	12,550	19,845	-
SS (mg/l)	7,445	5,790	6,990	150
TDS (mg/l)	5,580	6,820	12,850	5,000

(ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. ออนไลน์. 2559)

ข.กากมันสำปะหลัง

กากมันสำปะหลังเป็นวัสดุเหลือทิ้งหรือของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตแป้งมัสำปะหลังซึ่งอยู่ในลักษณะของแข็งดังที่กล่าวข้างต้นที่มีปริมาณมากที่สุดจากกระบวนการ ลักษณะโดยทั่วไปของกากมันสำปะหลัง คือ มีความละเอียด สีขาวครีม และมีความชื้นสูงประมาณร้อยละ 75 มีปริมาณโดยเฉลี่ย 330 ตัน/วัน (บริษัท ชลเจริญ จำกัด, 2559) โดยกากมันสำปะหลังที่ได้จากกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลังมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์โบไฮเดรต ร้อยละ 55-56 มีปริมาณแป้งอยู่ปริมาณร้อยละ 50-60 ของน้ำหนักแห้ง ซึ่งแป้งนี้จะอยู่ในรูปลิกโนเซลลูโลส และ เพคตินของเซลล์พืช ปริมาณเซลลูโลสและเส้นใย ร้อยละ 10-15 โปรตีน ร้อยละ 1.5-5 และไขมัน ร้อยละ 0.1-4 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 3.4 นอกจากนี้ยังประกอบไปด้วยแร่ธาตุในปริมาณที่ต่ำ กล่าวคือกากมันสำปะหลังมีแร่ธาตุ Fe^{2+}, Mn^{2+}, Mg^{2+}, Cu^{2+} และ Zn^{2+} ในปริมาณ 155, 40, 1100, 4 และ21 มิลลิกรัม/กิโลกรัมกากมันสำปะหลังแห้ง ตามลำดับ (ตีรณันท์ เอกสมทราเมษฐ์2551)

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง

องค์ประกอบ	ปริมาณโดยน้ำหนักแห้ง (%)
ความชื้น	71.70
คาร์โบไฮเดรต	67
เส้นใย	25.80
เซลลูโลส	14.20
โปรตีน	3.58
ไขมัน	1.00
เถ้า	2.70
อื่นๆ	9.3

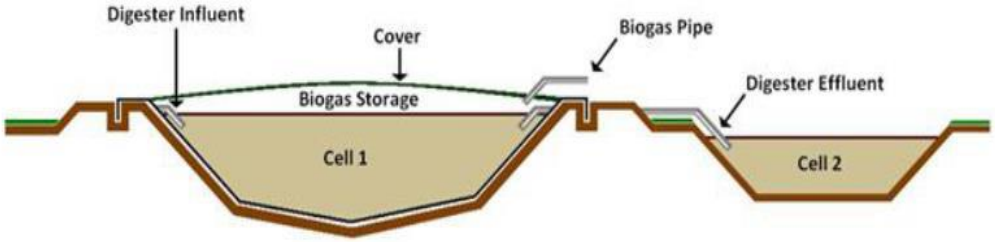
(ที่มา : กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. ออนไลน์. 2559)

2.3 เทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพ

ระบบการหมักแบบปราศจากออกซิเจนเพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพหรือการบำบัดน้ำเสียในปัจจุบันมีอยู่หลากหลายเทคโนโลยี ดังต่อไปนี้

2.3.1 เทคโนโลยี Anaerobic Covered Lagoon

ระบบ Anaerobic Covered Lagoon มีการดัดแปลงมาจากระบบบ่อปราศจากออกซิเจน ที่มีการคลุมบ่อด้วยแผ่นพลาสติกประเภท High Density Polyethylene (HDPE) หรือแผ่นพีวีซี (PVC) เพื่อเก็บรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นไปใช้ประโยชน์ การทำงานของระบบถูกออกแบบให้น้ำเสียไหลเข้าสู่ระบบทางด้านล่างของบ่อแล้วผสมกับตะกอนจุลินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่บริเวณก้นบ่อ จากนั้นให้ไหลไปตามแนวยาวของบ่อ โดยระบบรวบรวมน้ำออกจะอยู่ด้านบนของบ่อในอีกฝั่งหนึ่ง แต่ ทั้งนี้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบ Anaerobic Covered Lagoon ยังไม่สามารถปล่อยออกสู่ แหล่งน้ำธรรมชาติได้ จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดในระบบบาบัดขั้นต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในระบบ Anaerobic Covered Lagoon ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่อยู่ภายใต้ สภาวะไร้ออกซิเจนทั้งสองกลุ่ม คือ จุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างกรดและกลุ่มที่สร้างมีเทน ผลกระทบ เนื่องจากการทางานของจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มจะไม่รุนแรงเหมือนในระบบบาบัดแบบที่มีอัตราการย่อย สลายสารอินทรีย์สูง เพราะระบบ Anaerobic Covered Lagoon เป็นบ่อที่มีขนาดใหญ่และมีเวลา เก็บกักน้าที่ยาวนานจึงทาให้จุลินทรีย์มีเวลาปรับตัวให้เข้ากับสภาวะของระบบ ข้อดีของระบบ Anaerobic Covered Lagoon คือ ไม่มีกลิ่นเหม็นรบกวน การควบคุมและการดูแลรักษาระบบทาได้ ง่ายและไม่ซับซ้อน จึงเป็นระบบที่เหมาะสมกับฟาร์มเลี้ยงสัตว์หรือชุมชนที่ต้องการก่อสร้างระบบที่ไม่ ซับซ้อนและใช้เงินลงทุนต่ำ



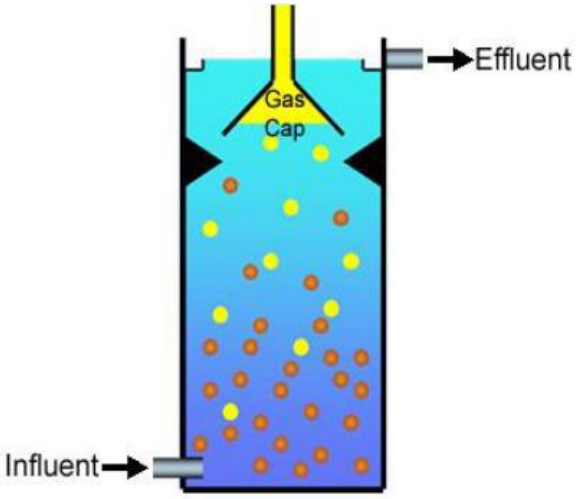
ภาพที่ 2.3 ระบบ Anaerobic Covered Lagoon

2.3.2 เทคโนโลยี Modified Anaerobic Covered Lagoon

ระบบ Modified Anaerobic Covered Lagoon มีลักษณะเป็นบ่อ คลุมด้วยแผ่นพลาสติก เช่นเดียวกับระบบ Anaerobic Covered Lagoon แต่มีการปรับปรุง เพิ่มเติมลักษณะพิเศษให้กับ ระบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ดียิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น การเพิ่มบ่อหมักกรดหรือ บ่อผลิตมีเทนและให้มีการไหลเป็นแบบอนุกรมตามขั้นตอนการย่อยสลายแบบปราศจากออกซิเจน การเพิ่มบ่อเพื่อดึงตะกอนย้อนกลับมาใช้ใหม่ โดยเพิ่มบ่อดักตะกอนและท่อปั๊มตะกอนย้อนกลับ การ เพิ่มท่อกระจายน้ำให้ทั่วบ่อเพื่อให้เกิดการกวนผสมที่มีประสิทธิภาพขึ้น เป็นต้น

2.3.3 เทคโนโลยี UASB (Up – flow Anaerobic Sludge Blanket)

ระบบ UASB หรือระบบถังปฏิกรณ์ปราศจากออกซิเจนแบบชั้นสลัดจ์ เป็นระบบที่มี ประสิทธิภาพสูงในการบาบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมได้หลากหลาย สามารถลดความสกปรกของน้ำเสียในรูป ซีโอดี ในช่วง 5,000-15,000 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ถึง 75-85% โดยใช้เวลาในการบำบัดสั้นเพียง 4-12 ชั่วโมง หลักการทำงานของระบบนี้ คือ ให้น้ำเสียที่ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของระบบทำให้น้ำเสียไหลขึ้นสู่ด้านบนของระบบ (Upflow feeding) สารอินทรีย์จากน้ำเสีย จะสัมผัสกับชั้นตะกอนจุลินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง โดยชั้นตะกอนจุลินทรีย์นี้จะแขวนลอยอยู่ในน้ำเป็นชั้นหนา (Blanket) ไม่ยึดเกาะกับวัสดุตัวกลาง (Media หรือ Supporting materials) เมื่อน้ำเสียผ่านเข้ามาและสัมผัสกับตะกอนจุลินทรีย์จะเกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนเกิดก๊าซชนิด ต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ระบบ Up – flow Anaerobic Sludge Blanket

2.3.4 เทคโนโลยี CSTR (Continuous Stirred Tank Reactor)

ระบบ CSTR หรือระบบถังปฏิกรณ์กวนสมบูรณ์แบบปราศจากออกซิเจน เป็นระบบที่ความเข้มข้นของสารละลายภายในถังเท่ากันทุกจุด (Completely mixed) เนื่องมาจากมีการติดตั้งใบกวน (Agitator) เช่น แบบ Paddle แบบสกรู (Screw) หรือการใช้ Gas diffuser ในการกวนผสม เพื่อเพิ่มโอกาสในการสัมผัสกันระหว่างจุลินทรีย์และสารอินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ให้มากยิ่งขึ้น ทำให้ ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์รวมทั้งการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยระบบ CSTR เหมาะ กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยสูง หรือมีสารพิษเจือปนสูง เนื่องจากระบบมีการกวนผสม ตลอดเวลาทำให้สารแขวนลอยหรือสารพิษถูกเจือจางทันทีจึงไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อจุลินทรีย์

2.3.5 เทคโนโลยี ABR (Anaerobic Baffle Reactor)

ระบบ ABR หรือระบบถังปฏิกรณ์ปราศจากออกซิเจนแบบแผ่นกั้นมีลักษณะเป็นถังยาวที่มี แผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นแบบไหลขึ้นไหลลง (หรือซ้าย ขวา) สลับกันไปหลายครั้ง เมื่อน้ำเสียไหลไปตามช่องทางที่ออกแบบไว้ในถัง สารอินทรีย์ในน้ำเสียจะสัมผัสกับจุลินทรีย์เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นจนความสกปรกของน้ำเสียลดลงก่อนออกจากระบบ

2.4.6 เทคโนโลยี AFFR (Anaerobic fixed film reactor)

ระบบ AFFR หรือระบบบำบัดแบบตรึงฟิล์มจุลินทรีย์ชนิดปราศจากออกซิเจน เป็นระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากมีการกักเก็บเซลล์จุลินทรีย์ให้คงอยู่ในระบบบำบัด โดยการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ไว้บนผิวของวัสดุตัวกลางที่บรรจุภายในระบบ เช่น ตาข่ายไนล่อนหรือเชือกไนล่อน เป็นต้น ให้อยู่ในรูปของฟิล์มชีวะ (Biofilm) ซึ่งทาให้ลดการสูญเสียจุลินทรีย์ออกไปพร้อมกับน้ำทิ้งที่ ผ่านการบำบัด ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้อย่างคงที่และกลับสู่สภาวะการทำงานปกติได้เร็วขึ้น หากมีการเปลี่ยนแปลงสภาพของน้ำเสียที่ไหลเข้าระบบหรือเกิดภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (Organic loading rate) สูงเกินไป ระบบ AFFR อาจมี

การป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์ (Up-flow anaerobic fixed film) หรือป้อนจากด้านบน (Down-flow anaerobic fixed film) โดยระบบที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือระบบที่ป้อนน้ำเสียจากด้านล่างของถังปฏิกรณ์เพื่อลดปัญหาการอุดตันลง

2.4 การถ่ายเทความร้อน

ความร้อนเป็นพลังงานชนิดหนึ่ง ที่คนเรานำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ในเรื่องต่างๆ ความร้อนสามารถถ่ายเทระหว่างสสารสองสสารได้ ในรูปแบบ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อนดังนี้

2.4.1 การนำความร้อน

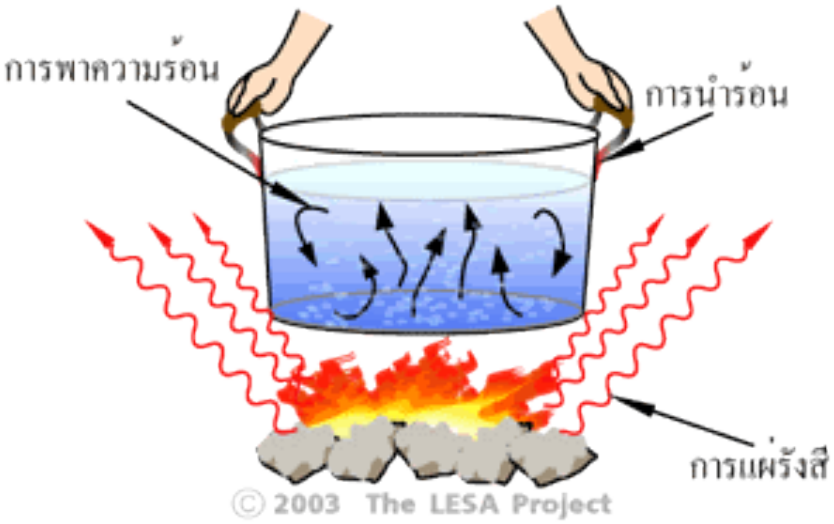
การนำความร้อน คือ พลังงานความร้อนได้ถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง หรือระหว่างวัตถุ 2 ชิ้นที่สัมผัสกัน โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงานจากบริเวณอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณอุณหภูมิต่ำกว่า โดยตัวกลางจะไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนเกิดขึ้นเพราะเกิดการสั่นสะเทือนระหว่างโมเลกุล พูดง่ายๆคือการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งโดยการสัมผัสกัน เช่น การเอามือไปจับหม้อน้ำร้อน ทำให้ความร้อนจากหม้อถ่ายเทไปยังมือ จึงทำให้รู้สึกร้อน เป็นต้น

2.4.2 การพาความร้อน

สามารถเกิดขึ้นได้ ในสสาร 2 สถานะคือ ของเหลวและก๊าซ เพราะเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น สาเหตุมาจากเมื่อสสารได้รับความร้อนก็จะมีการขยายตัว เป็นเหตุให้ความหนาแน่นลดต่ำลง และสสารมีอุณหภูมิต่ำกว่า แต่ความความหนาแน่นสูงกว่า ก็จะมาแทนที่ ยกตัวอย่างให้เข้าใจง่ายๆ ได้แก่ การเกิดลมบก ลมทะเล เป็นต้น

2.4.3 การแผ่ความร้อน

คือการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าอันเกิดจากการเคลื่อนที่ของความร้อน ทุกสสารที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาสัมบูรณ์ล้วนแผ่รังสีความร้อนทั้งสิ้น เมื่ออุณหภูมิกายสูงกว่า 0 องศาสัมบูรณ์ การชนระหว่างอะตอมก่อให้พลังงานจลน์ของอะตอมเปลี่ยน ซึ่งเป็นการผลิตการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 2.5 การถ่ายเทความร้อน

(ที่มา : lesa.biz.ออนไลน์.2005)

2.5 หลอดไฟฟ้า

2.5.1 หลอดไส้ร้อนแบบธรรมดา

หลอดไส้ร้อนแบบธรรมดา หรือหลอดความร้อน หรือหลอดไส้ ให้แสงสว่างโดยการให้ความร้อนแก่ไส้หลอดที่เป็นลวดโลหะ กระทั่งมีอุณหภูมิสูงและเปล่งแสง หลอดแก้วที่เติมแก๊สเฉื่อยหรือเป็นสุญญากาศป้องไม่ให้ไส้หลอดที่ร้อนสัมผัสอากาศ ในหลอดฮาโลเจนกระบวนการทางเคมีคืนให้โลหะเป็นไส้หลอด ซึ่งขยายอายุการใช้งาน หลอดไฟฟ้านี้ได้รับกระแสไฟฟ้าจากเทอร์มินอลต่อสายไฟ (feed-through terminal) หรือลวดที่ฝังในแก้ว หลอดไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้ในเต้ารับซึ่งสนับสนุนหลอดไฟฟ้าทางกลไกและเชื่อมกระแสไฟฟ้าเข้ากับเทอร์มินอลไฟฟ้าของหลอด แสดงดังภาพที่ 2.4

ภาพที่ 2.6 หลอดใส้ร้อนธรรมดา หรือหลอดใส้

(ที่มา : Wikipedia.ออนไลน์.2018)

หลอดไส้ร้อนแบบธรรมดาผลิตออกมาหลายขนาด กำลังส่องสว่าง และอัตราทนความต่างศักย์ ตั้งแต่ 1.5 โวลต์ ถึงราวๆ 300 โวลต์ หลอดประเภทนี้ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ควบคุมภายนอก มีค่าบำรุงรักษาต่ำ และทำงานได้ดีเท่ากันทั้งไฟฟ้ากระแสสลับหรือกระแสตรง ด้วยเหตุนี้ หลอดไส้ร้อนแบบธรรมดาจึงใช้กันอย่างกว้างขวางในครัวเรือนและไฟฟ้าใช้ในเชิงพาณิชย์ ตลอดจนไฟฟ้าแบบพกพา อย่างเช่น ไฟตั้งโต๊ะ ไฟหน้ารถยนต์ และไฟฉาย และไฟฟ้าสำหรับตกแต่ง

บ้างใช้ประโยชน์จากใช้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากไส้หลอดของหลอดไส้ร้อนแบบธรรมดา อาทิเช่น เครื่องฟักไข่ กล่องฟักไข่สำหรับสัตว์ปีก ไฟความร้อนสำหรับสวนจำลองสภาพแวดล้อม (vivarium) ของสัตว์เลื้อยคลาน การให้ความร้อนอินฟราเรดในกระบวนการให้ความร้อนและอบแห้งในอุตสาหกรรม ความร้อนส่วนเกินนี้เพิ่มพลังงานที่ต้องใช้ในระบบปรับอากาศของอาคาร

2.5.2 หลอดแฮโลเจน

หลอดแฮโลเจน หรือรู้จักกันในชื่อ หลอดแฮโลเจนทังสเตน เป็นหลอดไส้ที่มีไส้หลอดเป็นทังสเตน ซึ่งบรรจุในแก๊สเฉื่อยและแฮโลเจนปริมาณน้อย เช่น ไอโอดีนหรือโบรมีน วัฏจักรแฮโลเจนเคมีนำทังสเตนที่ระเหยไปกลับมาเป็นไส้หลอดอีกครั้ง ซึ่งขยายอายุการใช้งานของหลอด ด้วยเหตุนี้ หลอดแฮโลเจนจึงสามารถใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าหลอดเติมแก๊สมาตรฐานที่มีกำลังและอายุการใช้งานเท่ากัน หลอดแฮโลเจนจึงมีประสิทธิศักย์ความสว่างสูงกว่า (10-30 ลูเมน/วัตต์) หลอดนี้ให้แสงที่มีอุณหภูมิสีสูงกว่า และด้วยขนาดที่เล็กกว่า หลอดแฮโลเจนใช้งานได้เต็มที่กับระบบของแสงซึ่งมีประสิทธิภาพมากกว่าในแง่ของวิธีที่หลอดทอดแสงที่ปลดปล่อยออกมา แสดงดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.7 หลอดแฮโลเจน

(ที่มา : Wikipedia.ออนไลน์

2.5.3 หลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือที่เรียกกันติดปากว่าหลอดนีออน เป็นหลอดไฟฟ้าระบบปล่อยประจุ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านหลอด จะกระตุ้นให้อนุภาคปรอทปล่อยรังสีเหนือสีม่วงออกมา เมื่อรังสีนี้กระทบกับสารเรืองแสงที่ฉาบไว้ด้านในตัวหลอด สารเรืองแสงจะเปล่งแสงสว่างที่มองเห็นได้ออกมา และเนื่องจากไม่ได้เปล่งแสงโดยอาศัยความร้อน จึงมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากกว่าหลอดไฟไส้

การใช้งานปกติจะติดตั้งคู่กับบัลลาสต์และสตาร์ทเตอร์ เนื่องจากหลอดฟลูออเรสเซนต์จะต้องมีการอุ่นให้ไส้หลอดร้อน และใช้แรงดันไฟฟ้าสูงในการจุดหลอดให้ติดในตอนแรก

ภาพที่ 2.8 หลอดฟลูออเรสเซนต์

(ที่มา : Wikipedia.ออนไลน์.2018)

2.5.4 หลอดแบล็กไลต์

เป็นหลอดที่เปล่งรังสียูวีคลื่นยาว มีสีม่วงดำ ใช้ตรวจเอกสารสำคัญ เช่น ธนบัตร, หนังสือเดินทาง, บัตรเครดิต ฯลฯ ว่าเป็นของจริงหรือปลอม หลายประเทศได้ผลิตลายน้ำที่ไม่สามารถมองเห็นได้ในรังสีชนิดนี้ นอกจากนี้ แบล็กไลต์ยังสามารถใช้ล่อแมลงให้มาติดกับเพื่อที่จะกำจัดภายหลังได้

ภาพที่ 4.9 หลอดแบล็กไลต์

(ที่มา : Wikipedia.ออนไลน์.2018)

2.5.5 หลอดไดโอดเปล่งแสง หรือ หลอดแอลอีดี

เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำอย่างหนึ่ง จัดอยู่ในจำพวกไดโอด ที่สามารถเปล่งแสงในช่วงสเปกตรัมแคบ เมื่อถูกไบอัสทางไฟฟ้าในทิศทางไปข้างหน้า(ไบอัสตรง(Forward bias)) ปรากฏการณ์นี้อยู่ในรูปของ electroluminescence สีของแสงที่เปล่งออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุกึ่งตัวนำที่ใช้ และเปล่งแสงได้ใกล้ช่วงอัลตราไวโอเลต ช่วงแสงที่มองเห็น และช่วงอินฟราเรด ผู้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงขึ้นเป็นคนแรก คือ นิก โฮโลยัก (Nick Holonyak Jr.) (เกิด ค.ศ. 1928) แห่งบริษัทเจเนรัล อิเล็กทริก (General Electric Company) โดยได้พัฒนาไดโอดเปล่งแสงในช่วงแสงที่มองเห็น และสามารถใช้งานได้ในเชิงปฏิบัติเป็นครั้งแรก เมื่อ ค.ศ. 1962

ภาพที่ 2.10 หลอดไดโอดเปล่งแสง
(ที่มา : Wikipedia.ออนไลน์.2018)

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมยศ เนตรสงคราม และคณะ(2017) ศึกษาผลของอัตราส่วนน้ำเสียต่อกากมันสำปะหลังที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ เพื่อศึกษาอัตราส่วนน้ำ เสียต่อกากมันสำปะหลังที่เหมาะสม โดยใช้ถังหมักขนาดขนาด 1200 มิลลิลิตรและใช้เวลาทดลอง 15 วัน เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดมาทำการทดลองในถังต้นแบบขนาด 50 ลิตรโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นการทดลองจาก บ่อหมักก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียโรงงานแป้งมัน ควบคุมค่า pH เท่ากบ 8 พบว่าการเกิดก๊าซชีวภาพจะเริ่มเกิดเมื่อการ ทดลองผ่านไป 3 วันและมีระยะอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 4-5 วัน และพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด 4:6 สัดส่วนโดยปริมาตร มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 1294 มิลลิลิตรและมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพสูงสุด 258 มิลลิลิตรต่อวัน และมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 4:6 มากกวาอัตราส่วน 8:2, 6:4, 5:5, 2:8 และกากมันสำปะหลัง อย่างเดียว 88.5% 16.8% 41.2% 15.9% 87.1% ตามลำดับ และมีสัดส่วนของก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 4:6 ก๊าซมีเทน(CH_4) 50.3% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 45.9 % และก๊าซอื่นๆ 3.80%

ดาวัลย์ วิวรรธณเดช และอรทัย ชวาลภาฤทธิ์ (2016) ศึกษาแนวทางการใช้ประโยชน์กากของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง ได้แก่กากมันสำปะหลังและเปลือกมันสำปะหลังในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพด้วยเทคนิคบีเอ็มพี พร้อมทั้งศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกมัน โดยการปรับสภาพเบื้องต้น (Pretreatment) ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ รวมทั้งศึกษาการหมักร่วม (Co-digestion) ระหว่าง เปลือกหรือกากมันสำปะหลัง กับน้ำเสียจากกระบวนการผลิต ผลการศึกษาพบว่ากรณีการผลิตก๊าซชีวภาพจากสับสเตรทเดี่ยวๆ (Single Substrate) น้ำเสียและกากมันมันสำปะหลัง มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพสูงใกล้เคียงกัน คือ 0.601 และ 0.589 m3/kg VS added ตามลำดับ ขณะที่การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกมันสำปะหลัง มีประสิทธิภาพเพียง 0.306 m3/kg VS added ซึ่งเมื่อนำเปลือกมันไปปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 3% เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ก่อนนำไปหมักผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่าประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นจาก 0.306 m3/kg VS added เป็น 0.400 m3/kg VS added หรือเพิ่มขึ้นเพียง 31% ส่วนผลการหมักร่วมระหว่างกากมันกับน้ำเสีย เปลือกมันกับน้ำเสีย และกากมันกับเปลือกมัน พบว่าไม่ได้มีส่วนช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างมีนัยสำคัญ จึงอาจสรุปได้ว่า ทั้งกากของเสียและน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลังมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูง โดยที่กากมันสามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพได้โดยตรง ไม่ต้องผ่านการปรับสภาพ และ/หรือ การหมักร่วม ขณะที่การใช้ประโยชน์เปลือกมันเป็นวัสดุหมักร่วมกับกากมันหรือน้ำเสียในการผลิตก๊าซชีวภาพ ก็เป็นอีกหนึ่งทางเลือกสำหรับการจัดการกากของเสียของโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง แม้เปลือกมันจะมีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพต่ำกว่ากากมันและน้ำเสียจากกระบวนการผลิตก็ตาม

วรพจน์ คำจันลา และรัชพล สันติวิรากร (2016) ศึกษาการหมักก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนบ่อพักน้ำเสียร่วมกับน้ำเสียจากกระบวนการล้างหัวมันสำปะหลังที่ผ่านการสับโดยหมักส่วนผสมแบบไร้อากาศในท่อพีวีซีขนาด 6 นิ้ว โดยมีมอเตอร์ช่วยในการกวนผสมปริมาตรความจุ 13.7 ลิตร ปริมาตรการหมัก 10 ลิตรเป็นเวลา 24 วันที่สัดส่วนต่างๆเพื่อหาสัดส่วนที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพผลของการเติมสารอาหาร ค่าพีเอช โดยวัดค่าคุณสมบัติของวัตถุดิบ พีเอช ปริมาณก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบก๊าซชีวภาพและค่าความร้อน จากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วน 1:4 สามารถผลิตก๊าซได้มากที่สุด 1.031 ลูกบาศก์เซนติเมตร(ก๊าซ)/ลูกบาศก์เมตร(ปริมาตรหมัก) เมื่อเปรียบเทียบผลของผลการเติมสารอาหารแบบเติมสารอาหารครั้งเดียวและกึ่งต่อเนื่องที่อัตราส่วน 1:4 พบว่าการเติมสารอาหารแบบกึ่งต่อเนื่องผลิตแก๊สชีวภาพได้มากว่าการเติมครั้งเดียว 1.44 เท่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดได้ 1.487 ลูกบาศก์เซนติเมตร(ก๊าซ)/ลูกบาศก์เมตร(ปริมาตรหมัก) เมื่อศึกษาผลของพีเอชพบว่าการปรับค่าพีเอชก่อนเข้าระบบและในระบบสามารถผลิตก๊าซได้มากกว่าแบบไม่มีการปรับค่าพีเอช 4.19 เท่าที่การกวนผสมที่ 15 นาที

หยุด 15 นาที ผลิตแก๊สได้สูงสุด ได้ 1.481ลูกบาศก์เซนติเมตร(ก๊าซ)/ลูกบาศก์เมตร(ปริมาตรหมัก)

พงษ์พันธ์ พรมพิพักต์ และ ธนากร วงวัฒนาเสถียร (2018) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและทดสอบหาหัวเชื้อจุลินทรีย์และสภาวะที่เหมาะสม สำหรับการผลิต ก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังหลังกระบวนการผลิตแป้งมัน และศึกษาผลของอุณหภูมิและสภาพความเป็น กรด-ด่าง ที่มีผลต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพให้มีปริมาณสูงสุด โดย ใช้ค่าที่ทดลองในระดับสเกล เพื่อที่จะนำผลการทดลองดังกล่าว มาใช้ในระบบถังหมักก๊าซชีวภาพขนาด เครื่องต้นแบบในลำดับต่อไป การออกแบบการทดลองแบ่งออกเป็นสามส่วนโดยแต่ละส่วนใช้เวลาทดลอง 7 วัน ส่วนแรกเป็นการทดสอบหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เหมาะสมโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากฟาร์มสุกร, ฟาร์มวัว และ โรงงานแป้งมันสำปะหลังและปรับค่า pH เท่ากับ 7 (เป็นกลาง) ที่อุณหภูมิ35 องศาเซลเซียส พบว่าหัวเชื้อจุลินทรีย์จากโรงแป้ง มันสำปะหลังเกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุด ส่วนที่สองเป็นการทดสอบผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยการทดลองได้มีการ เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เพิ่มขึ้นครั้งละ 5 องศาเซลเซียส จากอุณหภูมิตั้งแต่ 25 ถึง 50 องศาเซลเซียส และได้ควบคุมค่า pH เท่ากับ 7 (เป็นกลาง) พบว่าอุณหภูมิที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพสูงที่สุดคือ 35 องศาเซลเซียส ส่วนที่สามเป็นการทดสอบผลของความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ การทดลองได้นำ อุณหภูมิจากการทดลองในส่วนที่สองที่พบว่าทำให้เกิดก๊าซสูงสุด 35 องศาเซลเซียส มาเป็นตัวแปรควบคุมในการทดลองส่วนที่ สาม ซึ่งได้มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 5 จนถึง 10 โดยเพิ่มขึ้นครั้งละ 1.0 และจากผลการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างที่มีแนวโน้มต่อการเกิดก๊าซมากที่สุดคือ ค่า pH เท่ากับ 8 ดังนั้นจากการศึกษานี้ พบว่า การใช้กากมันสำปะหลังมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ควรใช้หัว เชื้อจุลินทรีย์จาก โรงงานแป้งมันสำปะหลัง และควบคุมอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส ค่า pH เท่ากับ 8 เพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ สูงสุด เวลาที่ให้อัตราการเกิดก๊าซสูงสุดคือ 3-4 วัน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

ในการทดลองนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้างานวิจัย และทฤษฎีต่างๆ ที่จำเป็นต่อการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้หลอดไฟฟ้า(หลอดไส้) เข้ามาช่วยในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ในบทนี้ผู้วิจัยจะได้แสดงถึงวิธีการวิจัย โดยหลังจากได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลในสถานที่จริง และสภาพแวดล้อมจริง และใช้วัสดุจริงตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้

3.1 เตรียมวัตถุดิบและอุปกรณ์

3.1.1 อุปกรณ์

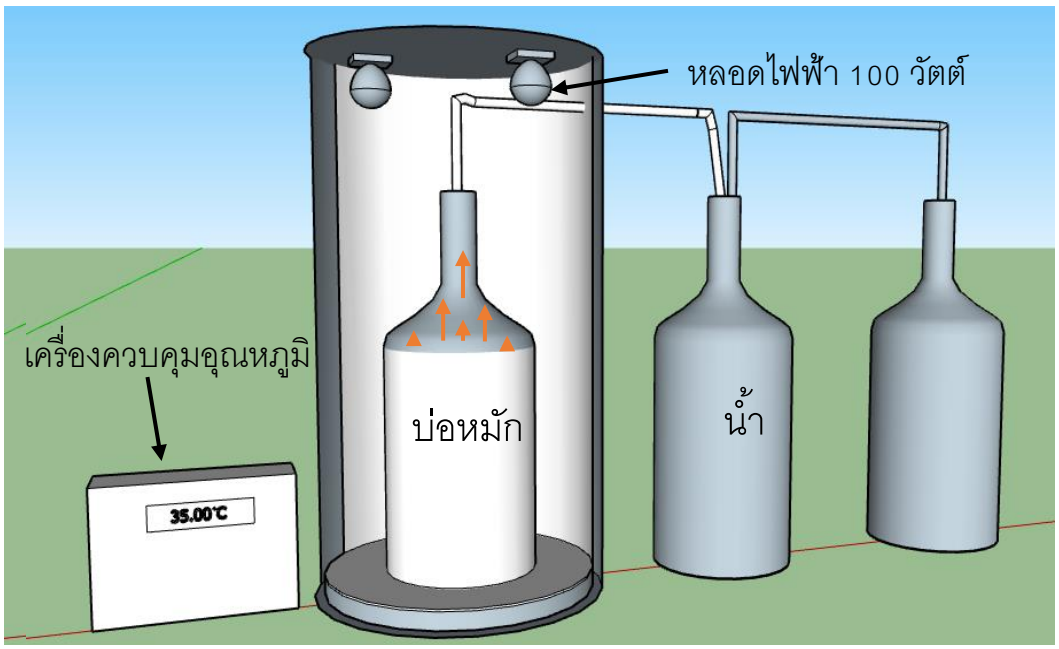
1). ถังพลาสติก (25 ลิตร)	1 ใบ
2). หลอดไฟฟ้า (หลอดใส้ 100 วัตต์)	2 หลอด
3). แผงควบคุมอุณหภูมิ	1 แผง
4). แหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง	1 ชุด
5). ขวดพลาสติก (1.5 ลิตร)	3 ขวด
6). สายยาง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร)	2 เมตร
7). ฟอยล์อลูมิเนียมสำหรับห่ออาหาร	1 กล่อง
8). บีกเกอร์ (1000 มิลลิลิตร)	1 ใบ
9). บีกเกอร์ (50 มิลลิลิลิตร)	1 ใบ
10). ปิเปต (5 มิลลิลตร)	1 อัน
11). ขวดรูปชมพู่	4 ใบ
12). เครื่องวัดความเป็น กรด-ด่าง (pH)	1 เครื่อง
13). เครื่องต้มสาร	1 เครื่อง
14). เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก	1 เครื่อง

3.1.2 การเตรียมวัตถุดิบ

3.1.2.1). นำกากมันสับปะหลังผสมกับน้ำหมักกรด ในอัตราส่วน 3:1 ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.1.2.2). นำวัตถุดิบจากขั้นตอนที่ 3.1.2.1 มาวัดค่า ความเป็น กรด-ด่าง (PH) ,Alk. , กรดอินทรีย์ระเหยง่าย(VFA) และความสกปรกของวัตถุดิบ(COD) (โดยที่ค่าทั้งหมดต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้)

3.1.2.3). เมื่อได้ค่าตามที่กำหนดไว้ ให้นำวัตถุดิบที่เตรียมไว้ มาผสมกับตะกอน(ที่ได้จากการหมัก) ในอัตราส่วน 1:1 โดยให้มีปริมาตรทั้งหมด 1200 มิลลิลิตร



ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1). นำวัตถุดิบจากขั้นตอนที่ 3.1.2.3มาเข้าสู่ระบบควบคุมอุณหภูมิ ดังภาพที่ 3.1

3.2.2). ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส

3.2.3). วัดปริมาณน้ำที่ถูกก๊าซดันออกมาทุกๆ 24 ชั่วโมง เป็นเวลา 7 วัน

3.2.4). เมื่อครบ 7 วัน ให้เปลี่ยนอุณหภูมิเป็น 30 35 และ 40 แล้ววัดปริมาณน้ำดังขั้นตอนที่ 3.2.3

3.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

3.3.1 วิเคราะห์ร้อยละของการกำจัดความสกปรก(COD%)

นำค่าความสกปรก(COD) ก่อน-หลัง มาคำนวณจากสมการที่ 2.1 แล้วนำมาวาดภาพความสัมพันธ์ ระหว่างร้อยละของการกำจัดความสกปรก(COD%)(แกนy) กับอุณหภูมิ(แกนx)

3.3.2 วิเคราะห์ปริมาณก๊าซที่อุณหภูมิต่างๆ

นำปริมาณก๊าซที่วัดได้(มิลลิลิตร) มาวาดภาพความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาณก๊าซ(มิลลิลิตร) (แกนy) กับอุณหภูมิ(องศาเซลเซียส) (แกนx)

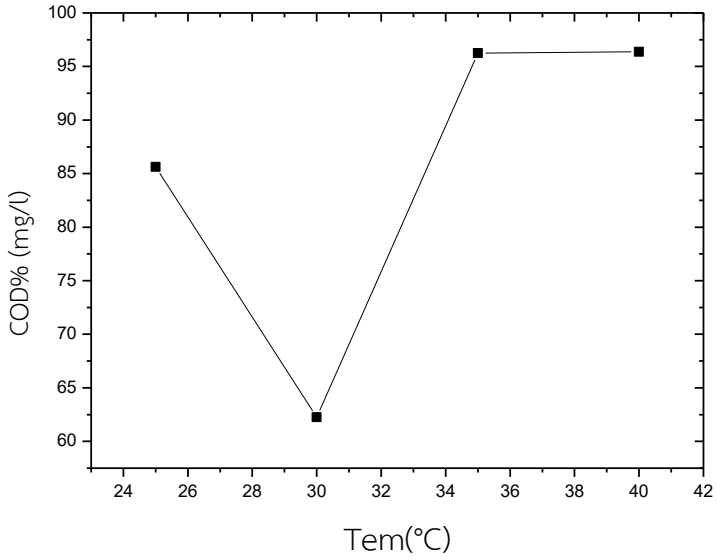
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้หลอดไฟฟ้า(หลอดไส้) เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ เป็นการทำงานของจุลินทรีย์จำพวก Mesophilic เพราะเป็นจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 30 – 40 องศาเซลเซียส ซึ่งในการทดลองได้กำหนดอุณหภูมิสำหรับการผลิตก๊าซชีภาพไว้ที่ 25 30 35 40 ตามลำดับ เพื่อดูอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ แล้วนำมาเปรียบเทียบมีรายละเอียดดังนี้

4.1 ร้อยละของการกำจัดความสกปรก (COD%)

ขั้นตอนนี้เป็นการหาอัตราการกำจัดความสกปรกของระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกัน โดยการวัดความสกปรกก่อนเข้าระบบ(CODก่อน) และวัดความสกปรกหลังระบบ(CODหลัง) แล้วคำนวณหาร้อยละของการกำจัดความสกปรก(COD%) จะเห็นได้ว่าจุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซได้ดีที่อุณหภูมิ 35 และ40 องศาเซลเซียส และจุลินทรีย์สามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์เป็นก๊าซได้ต่ำที่สุดจะอยู่ที่ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งตามทฤษฎีแล้วค่าความเป็นจริงไม่ควรเป็นเช่นนี้ เกิดจากจุลินทรีย์เริ่มต้นมีค่าความสกปรกน้อย จึงส่งผลให้จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสารอินทรีย์ได้ไม่ดีเท่าที่ควร แสดงดังภาพที่ 4.1

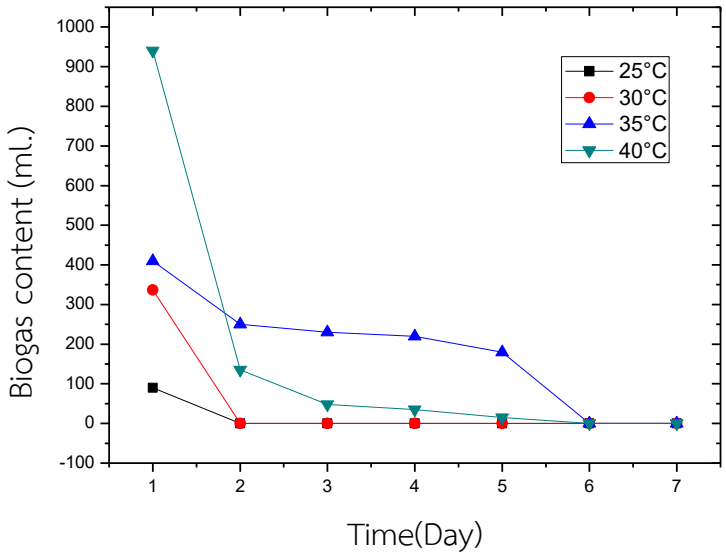


ภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของการกำจัดความสกปรก (COD%) กับอุณหภูมิ

4.2 ปริมาณก๊าซที่อุณหภูมิต่างกัน

เมื่อเราพิจารณาค่าร้อยละของการกำจัดความสกปรก (COD%) เราสามารถคาดการได้ว่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นจะมีแนวโน้มไปในทิศทางใด พบว่าปริมาณก๊าซที่มากที่สุดจะอยู่ที่ 40

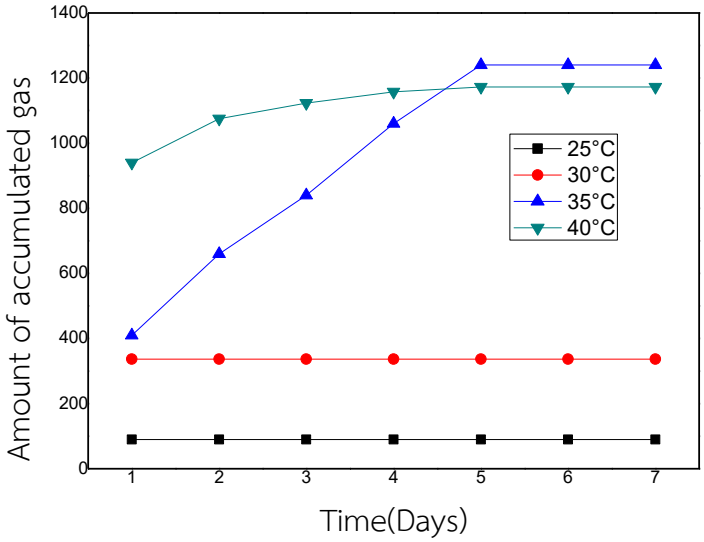
องศาเซลเซียส สูงถึง 940 ml. และปริมาณก๊าซที่ต่ำที่สุดจะอยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส มีปริมาณก๊าซทั้งหมด 90 ml. ถ้ากลับไปพิจารณาค่าร้อยละของการกำจัดความสกปรก (COD%) ซึ่งไม่เป็นไปตามที่คาดการไว้ เกิดจากอุณหภูมิที่เพิ่มมาขึ้น ถึงแม้ค่าความสกปรกของจุลินทรีย์เริ่มต้นจะน้อยก็ตาม (กรณีอุณหภูมิที่ 30 องศาเซลเซียส ที่มีความสกปรกของจุลินทรีย์เริ่มต้นน้อยกว่าอุณหภูมิที่ 25 แต่กลับมีปริมาณก๊าซที่มากกว่า) จากเหตุการณ์นี้ทำให้เห็นว่าอุณหภูมิมีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพเป็นอย่างมาก แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ กับอุณหภูมิ

4.3 ปริมาณก๊าซสะสมที่อุณหภูมิต่างๆ

ปริมาณก๊าซสะสม คือการที่นำปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมารวมกัน พบว่าปริมาณก๊าซสะสมที่มากที่สุดจะอยู่ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และปริมาณก๊าซที่ต่ำสุดอยู่ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เกิดจากอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในการเจณิญเติมโตจึงส่งผลทำให้ปริมาณก๊าซสะสมมากที่สุด แสดงดังภาพที่ 4.3 แต่ถ้าพิจารณาความรวดเร็วในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ใช้ในวันต่อวัน โดยไม่คำนึงถึงระยะเวลาในการเกิดก๊าซ อุณหภูมิที่ดีต่อความรวดเร็วนี้จะอยู่ที่อุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส แสดงดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.3 แสดงปริมาณก๊าซสะสมที่อุณหภูมิต่างกัน

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพโดยมีตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยใช้เป็นหลอดไฟฟ้า(หลอดไส้)เป็นตัวให้ความร้อน เนื่องจากการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีต้องมีอุณหภูมิอยู่ที่ 30-40 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในช่วงนี้ประเทศไทยสามารถมีได้ตลอดปี แต่ช่วงที่มีอุณหภูมิต่ำกว่านั้นคือ ช่วงฤดูหนาว ช่วงฝนตก และช่วงกลางคืน ถ้าเปรียบเทียบแล้วเวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพหายไปเยอะมาก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดใหม่ๆ โดยการใช้หลอดไฟฟ้า(หลอดไส้)มาเป็นตัวให้อุณหภูมิเพื่อทดแทนช่วงเวลาที่สูญเสียไป

5.1 สรุปผลการทดลอง

การผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้หลอดไฟฟ้า(หลอดไส้)เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ โดยเตรียมวัตถุดิบให้ได้ตามที่กำหนดไว้ โดยมี ค่าpH อยู่ระหว่าง 5-6, ค่าAlk อยู่ระหว่าง3200-4200 มิลลิกรัมต่อลิตร, ค่าVFA อยู่ระหว่าง 3000-4000, ค่าCOD(ก่อน) ไม่เกิน 50000 มิลลิกรัมต่อลิตร และตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิไว้ที่ 25,30,35 และ40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการหมักเป็นเวลา 7 วัน โดยจะเก็บข้อมูลการทดลองทุกวัน แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวาดภาพความสำคัญระหว่างปริมาณก๊าซกับอุณหภูมิ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่มากที่สุด จะอยู่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส มีปริมาณก๊าซในวันแรกทั้งหมด 940 มิลลิลิตร และมีร้อยละของการกำจัดความสกปรก(COD%)ที่ดีที่สุด อยู่ที่ 96.36 เปอร์เซ็นต์

ค่าร้อยละของการกำจัดความสกปรก(COD%) บ่งบอกได้ว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองนี้และวัตถุดิบในการทดลองนี้ ได้ผลผลิตที่เป็นก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดและการกำจัดความสกปรกมากที่สุด ต้องใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสและปรับสภาพวัตถุดิบทั้งหมดตามที่กำหนดไว้

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้หลอดไฟฟ้า(หลอดไส้)เป็นตัวควบคุมอุณหภูมิ ข้อมูลในงานวิจัยนี้บ่งบอกให้เห็นว่า ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพมีดังนี้ อุณหภูมิ วัตถุดิบ อัตราส่วนผสมที่เหมาะสม

บรรณานุกรม

อุตสาหกรรม, กระทรวง. กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553). **คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพและการใช้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม.** 500 เล่ม, พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : กรมโรงงานอุตสาหกรรม.

ชุติมา สนั่นศรีสาคร (2555). **ผลของการบาบัดขั้นต้นต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากวัชพืช.** วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมยศ เนตรสงคราม (2557). **ผลของอัตราส่วนน้าเสียต่อกากมันสาปะหลังและการควบคุมความเร็วรอบการกวนที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ.**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สานักวิจัย ค้นคว้า. พลังงาน2549. **หลักสูตรเทคโนโลยีก๊าซชีวภาพจากน้าเสียอุตสาหกรรมและมูลสัตว์**. กรุงเทพฯ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.

มาโนช ผดุงเวียง (2557). **การผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษเปลือกมันสาปะหลังโดยกระบวนการหมักไร้อากาศสองขั้นตอนแบบตรึงฟิล์มชีวภาพร่วมกับวิธีการวนน้ำหมัก.** วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต.สาขาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ณัฐธิชา มะโน (2548). **ศักยภาพการใช้แก๊สชีวภาพจากโรงงานแป้งมันสำปะหลังในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม.**วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธีรพล วัฒนโกศล (2548). **ฐานข้อมูลระบบผลิตก๊าซชีวภาพในโรงงานแป้งมันสำปะหลัง.** วิศวกรรมศาสตร์ มหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พงษ์พันธ์ พรมพิพักต์ (2555). **การผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กากมันสำปะหลังจากกระบวนการผลิตแป้งมัน**. วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต.สาขาวิศวกรรมเครื่องกล บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
การเตรียมและวิเคราะห์COD

ก.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) ภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย (Digestion vessel)

2) เตาหลอม (Heater block)

3) ตู้อบ (Hot air oven)

4) บิวเรต

5) ขวดรูปกรวยขนาด 125 mL

ก.2 การเตรียมสารเคมี

1) สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต (Standard potassium dichromate solution, $K_2Cr_2O_7$) ความเข้มข้น 0.1 N ได้จากการละลายโพแทสเซียมไดโครเมตซึ่งอบแห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส หนัก 4.913 g เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ในน้ำกลั่น 500 mL จากนั้นเติมกรดกำมะถันเข้มข้น 167 mL และปรอทซัลเฟต 33.3 g คนให้ละลายปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น แล้วเจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ ปริมาตรเป็น 1,000 mL

2) สารละลายกรดซัลฟิวริก ได้จากการละลายซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) 8.8 g ลงในกรดซัลฟิวริก เข้มข้น 1 L ตั้งทิ้งไว้ 1-2 วัน เพื่อให้ซิลเวอร์ซัลเฟตละลายได้ทั้งหมดก่อนนำไปใช้

3) เฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ ได้จากการละลายเฟอร์รัสซัลเฟต (Ferrous sulfate, $FeSo_4 \cdot 7H_2O$) 695 mg และ 1,10-ฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1,10-phenanthroline monohydrate, $C_{12}H_8N_2H_2O$) 1.485 g ในน้ำกลั่นแล้วเจือจางเป็น 100 mL

4) สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Standard ferrous ammonium sulfate, FAS) ความเข้มข้น 0.5 N ได้จากการละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียซัลเฟต ($Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) 19.6 g ในน้ากลั่นประมาณ 500 mL เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 mL คนให้ละลาย ทิ้งให้เย็นแล้วเติมน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1,000 mL

ก.3 วิธีการตรวจสอบความเข้มข้นของสารละลาย FAS

สารละลาย FAS ต้องเทียบมาตรฐานกับสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ใน การย่อยสลายทุกครั้งที่นามาใช้ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไดโครเมต 0.1 N ปริมาตร 5.0 mL ใส่ขวดรูปกรวย เติมน้ำกลั่น 50 ml แล้วจึงค่อยๆ เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 15 mL ปล่อยทิ้งให้เย็น

2) เติมเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด ไทเทรตด้วยสารละลายมาตรฐาน FAS จนได้สีน้ำตาลเป็นจุด ยุติ ความเข้มข้นของ FAS สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$\text{ความเข้มข้นของ FAS, (N)} = (5.0 \times 0.1) / \text{FAS ที่ใช้, (mL)}$$

ก.4 วิธีการวิเคราะห์ค่าซีโอดี

การเลือกขนาดของหลอดย่อยสลายสำหรับช่วงค่าซีโอดีให้เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญในการทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดี โดยถ้าตัวอย่างน้ำมีค่าซีโอดีต่ำควรเลือกใช้หลอดแก้วขนาด 25 x 150 mL (ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 10 mL) ถ้าซีโอดีค่อนข้างสูงสามารถใช้หลอดแก้วขนาด 16 x 100 mL (ปริมาตรตัวอย่างน้ำ 5 mL) และถ้าซีโอดีสูงสามารถใช้หลอดแก้วขนาด 16 x 100 mL (ปริมาตร ตัวอย่างน้า 2.5 mL) หรือใช้หลอดขนาด 25 x 150 mL สำหรับซีโอดีที่มีค่าต่ำและขนาด 20 x 150 mL สำหรับซีโอดีที่มีค่าสูง หากตัวอย่างมีค่าสูงมากควรเจือจางตัวอย่างน้ำก่อนทำการทดลอง

การเลือกปริมาตรตัวอย่างน้ำก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกัน โดยถ้าเป็นน้ำสะอาด น้ำธรรมชาติ หรือน้ำที่มีค่าซีโอดีต่ำๆ (มากกว่า 40 mg/L) ควรใช้ตัวอย่างน้ำ 10 mL โดยใช้หลอดขนาด 25 x 150 mL แต่ถ้ามีค่าซีโอดีสูงกว่านั้นให้ใช้หลอดแก้วขนาด 20 x 150 mL โดยเลือกใช้ตัวอย่างน้ำมากสุด 5 mL หรือใช้น้อยกว่า แล้วเติมน้ากลั่นให้เป็น 5 mL ควรประมาณค่าซีโอดีของตัวอย่างน้ำคร่าวๆ ก่อนเพื่อที่จะเลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างได้อย่างเหมาะสม การประมาณค่าซีโอดีสามารถทำได้โดยพิจารณา จากลักษณะตัวอย่างน้ำ แหล่งที่มาของน้ำ และจากค่า Rapid COD การเลือกขนาดตัวอย่างน้ำที่จะใช้ วิเคราะห์ให้เหมาะสมอาจเทียบได้จากตาราง ที่ ก-1 โดยในทางปฏิบัติควรเลือกใช้ปริมาตรตัวอย่างน้ำ ให้ผลต่างของ FAS ที่ใช้ในการไทเทรต blank และตัวอย่างน้ำอยู่ระหว่าง 1-5 mL

ตารางที่ ก.1 ขนาดตัวอย่างและอัตราเจือจางที่เหมาะสม* (มาโนช ผดุงเวียง, 2557)

ช่วงซีโอดี	ขนาดตัวอย่าง (mL)	อัตราเจือจาง
>200	5	1 : 1
200-400	4	1 : 1
400-800	2	1 : 1
800-1,600	1	1 : 1
1,600-3,200	5	1 : 1
2,700-5,300	3	1 : 1
4,000-8,000	4	1 : 1
8,000-16,000	2	1 : 20
13,000-26,500	3	1 : 50
20,000-40,000	2	1 : 50
40,000-80,000	2	1 : 100
80,000-160,000	1	1 : 100

ขนาดของหลอดแก้ว (mm)	ตัวอย่างน้ำ (mL)	สารละลายไดโครเมต (mL)	สารละลายกรดซัลฟิวริก (mL)	ปริมาตรทั้งหมด (mL)
16 x 100	2.5	1.5	3.5	7.5
20 x 150	5.0	3.0	7.0	15.0
25 x 150	10.0	6.0	14.0	30.0

ตารางที่ ก.2 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างน้ำและสารเคมีที่เหมาะสม

1) ใส่ตัวอย่างน้ำลงในหลอดแก้วขนาดที่เหมาะสม เติมน้ำยาย่อยสลายหรือสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไดโครเมต ตามด้วยกรดกำมะถันอย่างช้าๆ ในปริมาตรตามตารางที่ ก-2 โดยถ้าใช้ ปริมาณตัวอย่างน้ำน้อยกว่าที่แสดงไว้ในตารางให้เติมน้ำกลั่นให้ครบตามจานวน หลังจากนั้นปิดฝาให้แน่นและเขย่าผสมให้เข้ากันดี สำหรับ blank ให้ใช้น้ำกลั่นแทนแล้วทำขั้นตอนเหมือนที่ทำกับน้ำตัวอย่าง

2) วางหลอดแก้วในบล็อกแล้วใส่ตู้อบอุณหภูมิ 150+5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อเวลานำออกจากตู้อบปล่อยทิ้งไว้ให้เย็น

3) เทสารละลายออกจากหลอดแก้วลงในขวดรูปกรวย ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายในหลอดแก้วให้หมด แล้วเทรวมลงในขวดรูปกรวย เติมเฟอโรอีนอินดิเคเตอร์ 2-3 หยด แล้วไทเทรตด้วยสารละลาย FAS สีของสารละลายจะค่อยๆ เปลี่ยนจากเหลืองเป็น เขียวอมเหลือง ฟ้า น้ำตาลแดง ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าถึงจุดยุติแล้ว จดปริมาณ FAS ที่ใช้ในการไทเทรตเพื่อนำไปคำนวณตามสมการ ดังนี้

$$COD(\text{mg/ L}) = \frac{(\text{A}-\text{B})\times \text{N}\times 8000}{\text{Sample(mL)}}$$

เมื่อ A = FAS ที่ใช้ในการไทเทรต blank, mL

B = FAS ที่ใช้ในการไทเทรตตัวอย่างน้ำ, mL

N = ความเข้มข้นของ FAS, normality

ภาคผนวก ข.
การเตรียมและวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยได้(Volatile fatty acid : VFA) และค่าความเป็นด่าง (Alkalinity: ALK)

ข.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1) เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge)
2) เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)
3) เตาให้ความร้อน (Hotplate)
4) บิวเรต
5) บีกเกอร์
6) แท่งแม่เหล็ก (Magnatic stirrer)

ข.2 สารเคมี

1) Sulfuric acid (H2SO4) ความเข้มข้น 0.05 N
2) Sodium hydroxide (NaOH) ความเข้มข้น 0.05 N

ข.3 วิธีการ

1) ตั้งตัวอย่างให้ตกตะกอนหรือ centrifuge ตัวอย่างประมาณ 5 นาที เพื่อใช้น้ำตัวอย่างเฉพาะส่วนที่ ใสประมาณ 50 มิลลิลิตร
2) วัดค่าพีเอชของน้ำตัวอย่าง แล้วไทเทรตกับสารละลาย H_2SO_4 ความเข้มข้น 0.05 N จนได้ค่าพีเอช เท่ากับ 4 บันทึกจานวนกรดที่ใช้ แล้วไทเทรตต่อจนได้ค่าพีเอชเท่ากับ 3.5
3) ต้มบน hotplate เพื่อไล่ CO_2 ให้เดือดเบาๆ ประมาณ 3 นาที แล้วทิ้งให้เย็น
4) ไทเทรตด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.05 N จนได้ค่าพีเอชเท่ากับ 4 แล้วไทเทรตต่อจนพี เอชเท่ากับ 7 บันทึกจำนวนสารละลายที่ใช้ไทเทรตจากพีเอช 4 ถึง 7

ข.4 วิธีการคำนวณ

ปริมาณกรดไขมันระเหย (VFA) (mg CH_3COOH/L) หาได้จากสมการ

$$\text{VFA} = \frac{(\text{ปริมาณ } NaOH \text{ ที่ใช้ปรับ } pH \text{ จาก } 4-7)\ x\ normality\ x\ 50\ x\ 1{,}000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง}, mL}$$

ค่าความเป็นด่าง (ALK) (mg CaCO3/L) หาได้จากสมการ

$$\text{ALK} = \frac{(\text{ปริมาณ } H_2SO_4 \text{ ที่ใช้ปรับ } pH \text{ เป็น } 4)\ x\ normality\ x\ 50\ x\ 1{,}000}{\text{ปริมาตรน้ำตัวอย่าง}, mL}$$