

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกและแกนสับประรด โดยเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ



นางสาวพนิดา เจริญสุข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR) เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

BIOMETHANATION OF PINEAPPLE PULP AND PEEL BY USING SLUDGE FROM
ANAEROBIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM

Miss Panida Jarunsuk



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกและแกนสับประรด โดย
เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

โดย

นางสาวพนิดา เจริญสุข

สาขาวิชา

เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร. เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์)

พนิดา เจริญสุข : การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกและแกนสับปะรด โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (BIOMETHANATION OF PINEAPPLE PULP AND PEEL BY USING SLUDGE FROM ANAEROBIC WASTEWATER TREATMENT SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร. เสกศักดิ์ อัสวะวิสิทธิ์ชัย, 78 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากของผสมร่วมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากบ่อบำบัดแบบไร้อากาศเป็นจุลินทรีย์ตั้งต้น เพื่อหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกและแกนสับปะรด ปริมาณวัตถุดิบในระบบคือ 5 gVS ทำการหมักแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียวเป็นระยะเวลา 20 วัน ใช้สัดส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดต่อแกนสับปะรด 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ผลการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราส่วนของแกนสับปะรดเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเพิ่มขึ้นคือ 900, 1000, 1000, 1100, 1200 และ 1500 ml ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดมาจากอัตราส่วนเปลือกและแกนสับปะรด 50:50 ซึ่งใช้เวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพเร็วที่สุด คือ 1 วันหลังจากเริ่มการทดลอง มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ 300 ml/gVS จากนั้นทำการทดลองหมักสัดส่วน 50:50 แบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่อง โดยปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80%ของปริมาณทั้งหมด และเติมครั้งต่อไปทุกๆ 5วัน เป็นระยะเวลา 20วัน มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดคือ 360 ml/gVS มากกว่าการเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือจากหลายๆฝ่าย ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. เสกศักดิ์ อัคระวิสิทธิ์ชัย อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะด้วยความเอาใจใส่ อีกทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่อง และเป็นกำลังใจ ทำให้งานวิจัยนี้ เสร็จสิ้นสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา ยงเจริญ ประธานคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์ กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องให้งานวิจัยนี้ สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อบรมสั่งสอน ให้วิชาความรู้ตลอดจนข้อคิดที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่องานวิจัย

ขอขอบคุณ โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท อีสเทิร์น ปาล์มมอย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบในงานวิจัย

ขอขอบคุณ โรงงานแปรรูปสับปะรดกระป๋อง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์วัสดุดิบในงานวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นิสิตมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือเกื้อกูลกันเป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจสำคัญ ให้ความห่วงใยและสนับสนุนตลอดมาจนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญรูป.....	ฅ
สารบัญตาราง.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas).....	4
2.2 เทคโนโลยีระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย.....	4
2.2.1 กระบวนการแบบใช้อากาศ.....	4
2.2.2 กระบวนการแบบไม่ใช้อากาศ.....	4
2.3 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ.....	5
2.4 กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน.....	8
2.4.1 บ่อปิด (Covered lagoon).....	8
2.4.2 บ่อโดมคงที่ (Fixed dome).....	9
2.4.2.1 บ่อเติมมูลสัตว์ (Mixing chamber).....	9
2.4.2.2 บ่อหมัก (Digester chamber).....	9

2.4.2.3 บ่อล้น (Expansion chamber)	9
2.4.3 บ่อหมักเร็วน้ำขึ้น (Upflow anaerobic sludge blanket : UASB).....	10
2.4.4 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic baffled reactor).....	11
2.4.5 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบผสมกวน (Completely stirred tank reactor : CSTR)....	11
2.4.6 ถังปฏิกรณ์แบบตรึงเซลล์บนผิววัสดุตัวกลาง (Anaerobic filter/fixed film)	12
2.5 แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ	12
2.5.1 ขยะชุมชน.....	12
2.5.1.1 ขยะย่อยสลาย (Compostable waste).....	12
2.5.1.2 ขยะรีไซเคิล (Recyclable waste).....	13
2.5.1.3 ขยะอันตราย (Hazardous waste).....	13
2.5.1.4 ขยะทั่วไป (General waste).....	14
2.5.2 น้ำเสีย.....	15
น้ำเสียคือ น้ำหรือของเหลวที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ในปริมาณสูงจนกระทั่งเป็นน้ำที่ไม่มี	
ความต้องการ เป็นมลพิษทางทัศนียภาพและก่อให้เกิดความเสียหายต่อ	
สิ่งแวดล้อม น้ำเสียมาจากแหล่ง ดังต่อไปนี้ 2.5.2.1 น้ำเสียจากชุมชน.....	15
2.5.2.2 น้ำเสียจากการเกษตร.....	16
2.5.2.3 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม.....	16
2.5.3 ชีวมวลจากอุตสาหกรรมการเกษตร	19
2.5.3.1 ชีวมวลจากอ้อย.....	19
2.5.3.2 ชีวมวลจากมันสำปะหลัง	20
2.5.3.3 ชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน	23
2.5.3.6 ชีวมวลจากสับปะรด.....	26
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	34

3.1 แผนการทดลอง.....	34
3.2 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี.....	34
3.2.1 ถังหมัก.....	34
3.2.1.1 การออกแบบและวิธีการใช้งานถังหมักและชุดวัดก๊าซชีวภาพ (พรหมมา, ฐานะบริวัฒน์ et al., 2557).....	34
3.2.1.2 การตรวจสอบรอยรั่วของระบบหมักก๊าซชีวภาพ.....	35
3.2.2 อุปกรณ์อื่นๆ.....	36
3.3 วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ.....	37
3.3.1. เปลือกสับประรด (Pineapple peel) และแกนสับประรด (Pineapple pulp).....	37
3.3.2. ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	37
3.3.3 การเตรียมสารตั้งต้น.....	37
3.3.3.1 การปรับขนาดเปลือกและแกนสับประรด.....	37
3.3.3.2 การปรับสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity).....	38
3.4 การทดลองส่วนที่ 1.....	38
3.5 การทดลองส่วนที่ 2.....	40
3.6 ตัวแปรในการศึกษาวิจัย.....	42
3.6.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีค่าคงที่.....	42
3.6.2 พารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาวิจัย.....	42
3.6.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์.....	42
3.6.4 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์.....	43
3.6.4.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% Total solid content), ของแข็งที่ระเหยได้.....	43
(% Volatile solid content) ((นนทบุรี), 2554).....	43
3.6.4.2 วิธีการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด/การติเตรต.....	43

บทที่ 4 วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง.....	45
4.1 การตรวจสอบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	45
4.1.1 ชุดอุปกรณ์การหมักที่ 1	45
4.1.2 ชุดอุปกรณ์การหมักที่ 2.....	47
4.2 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง.....	49
4.2.1 เปลือกสับประรด (Pineapple peel).....	50
4.2.2 แกนสับประรด (Pineapple pulp).....	50
4.2.3 ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ.....	51
4. 3 ผลการทดลอง.....	52
4.3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับประรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว	52
4.3.1.1 ค่าพีเอช (pH).....	53
4.3.1.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Accumulated biogas volume)	56
4.3.2 ผลการศึกษาหาปริมาณการเติมวัตถุดิบที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซ ชีวภาพระหว่างการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับประรดและแกนสับประรด ผ่าน กระบวนการหมักที่มีการเติมแบบกึ่งต่อเนื่อง.....	62
4.3.2.1 ค่าพีเอช (pH).....	62
4.3.2.2 การบำบัดซีโอดีทั้งหมด (Total chemical oxygen demand: TCOD)	63
4.3.2.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Accumulated biogas volume)	65
4.4 อภิปรายผลการทดลอง	69
4.4.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบ	69
4.4.2 พีเอช (pH).....	69
4.4.3 การบำบัดซีโอดีทั้งหมด (Total chemical oxygen demand: TCOD).....	69
4.4.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Accumulated biogas volume).....	70

4.4.5 จุดเด่นของงานวิจัย.....	71
บทที่5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	72
5.1 สรุปผลการทดลอง	72
5.2 ข้อเสนอแนะ	73
5.3 ปัญหาและอุปสรรค.....	73
รายการอ้างอิง	74
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	78



สารบัญรูป

หน้า

รูป 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ [4]	4
รูป 2.2 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ [5]	6
รูป 2.3 ระบบบ่อบิดผลิตก๊าซชีวภาพ [7]	9
รูป 2.4 ระบบบ่อดมคังที่ [7]	10
รูป 2.5 ระบบบ่อหมักเร็วน้ำขึ้น [6]	10
รูป 2.6 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น [7]	11
รูป 2.7 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบผสมกวน [7]	11
รูป 2.8 ถังปฏิกรณ์แบบตรึงเซลล์บนผิววัสดุตัวกลาง [7]	12
รูป 2.9 ขยะย่อยสลาย [8]	13
รูป 2.10 ขยะรีไซเคิล [8]	13
รูป 2.11 ขยะอันตราย [8]	14
รูป 2.12 ขยะทั่วไป [8]	14
รูป 2.13 ลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอย [8]	15
รูป 2.14 กากอ้อย หรือขานอ้อย [10]	19
รูป 2.15 ใบและยอดอ้อย [10]	20
รูป 2.16 กากมันสำปะหลัง [10]	20
รูป 2.17 เปลือกมันสำปะหลัง [10]	21
รูป 2.18 เหง้ามันสำปะหลัง [10]	21
รูป 2.19 ยอดและใบมันสำปะหลัง [10]	22
รูป 2.20 ลำต้นมันสำปะหลัง [10]	23
รูป 2.21 ทะลายปาล์มเปล่า [10]	23

รูป 2.22	กะลาปาล์ม [10].....	24
รูป 2.23	เส้นใยปาล์ม [10].....	24
รูป 2.24	ก้านใบและใบยอดปาล์ม [10].....	25
รูป 2.25	ต้นปาล์ม [10].....	25
รูป 2.26	เปลือกสับประรด [10].....	26
รูป 2.27	ตอซังสับประรด [10].....	26
รูป 3.1	แบบจำลองชุดหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	35
รูป 3.2	แบบจำลองการทดสอบรอยรั่วของอุปกรณ์.....	36
รูป 3.3	เปลือกสับประรดและแกนสับประรดจากโรงงานแปรรูปสับประรดกระป๋อง.....	37
รูป 3.4	เปลือกและแกนสับประรดหลังปรับสภาพเพื่อเข้าสู่กระบวนการหมัก.....	38
รูป 3.5	แสดงขั้นตอนการทดลองของส่วนที่ 1.....	39
รูป 3.6	การเตรียมวัตถุดิบ และการเดินระบบการทดลองส่วนที่ 1.....	40
รูป 3.7	แสดงขั้นตอนการทดลองของส่วนที่ 2.....	41
รูป 4.1	ชุดอุปกรณ์การหมักที่ 1.....	46
รูป 4.2	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 1.....	46
รูป 4.3	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 1.....	47
รูป 4.4	แสดงแบบจำลองของชุดอุปกรณ์ที่ 2.....	48
รูป 4.5	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 2 (ชุดตัวอย่างที่ 1).....	48
รูป 4.6	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 2 (ชุดตัวอย่างที่ 2).....	49
รูป 4.7	แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 2 (ชุดตัวอย่างที่ 3).....	49
รูป 4.8	ลักษณะเปลือกสับประรดที่ใช้ในการทดลอง.....	50
รูป 4.9	ลักษณะแกนสับประรดที่ใช้ในการทดลอง.....	50
รูป 4.10	แสดงผลการวิเคราะห์ซีไอดีการทดลองที่ 1 ครั้งที่ 1.....	54
รูป 4.11	แสดงผลการวิเคราะห์ซีไอดีการทดลองที่ 1 ครั้งที่ 2.....	55

รูป 4.12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีการทดลองที่ 1	55
รูป 4.13 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1	57
รูป 4.14 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพแต่ละวันของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1	57
รูป 4.15 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 2	59
รูป 4.16 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพแต่ละวันของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 2	59
รูป 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ซีไอดีการทดลองที่ 2 ครั้งที่ 1	63
รูป 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ซีไอดีการทดลองที่ 2 ครั้งที่ 2	64
รูป 4.19 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีการทดลองที่ 2	64
รูป 4.20 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1	66
รูป 4.21 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2	66
รูป 4.22 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพแต่ละวันของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1	67
รูป 4.23 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพแต่ละวันของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2	67

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1 การประมาณอัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน [8]	16
ตาราง 2.2 แสดงค่าตัวแปรและค่ามาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ [9]	17
ตาราง 2.3 แสดงผลพยากรณ์ ของการผลิต สับปะรดปี 2556-2559 [11].....	27
ตาราง 2.4 แสดงผลพยากรณ์ ของผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของพืชผลทางการเกษตรปี	28
ตาราง 3.1 ปริมาณวัตถุดิบในการทดลองที่ 1	39
ตาราง 3.2 ปริมาณวัตถุดิบการทดลองส่วนที่ 2	41
ตาราง 4.1 แสดงลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ.....	52
ตาราง 4.2 สรุปปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ml) จากของผสมเปลือกและแกนสับปะรด (ครั้งที่1)	58
ตาราง 4.3 สรุปปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ml) จากของผสมเปลือกและแกนสับปะรด (ครั้งที่ 2)...	60
ตาราง 4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการหมักร่วมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดส่วนที่ 1	61
ตาราง 4.5 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการหมักร่วมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดส่วนที่ 2	68
ตาราง 4.6 แสดงข้อมูลและจุดเด่นของงานวิจัย.....	71

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สศช.) รายงานปี 2557 ที่ผ่านมามีมากกว่า 60% ของความต้องการ พลังงานเชิงพาณิชย์ขึ้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึง 80% ของปริมาณการใช้น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศและยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้น การพัฒนาพลังงานทดแทนอย่างจริงจังจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิดอื่นและยังช่วยกระจายความเสี่ยงในการจัดหาเชื้อเพลิง โดยพลังงานทดแทนถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้ โดยเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลมแบบทุ้งกิ่งหันลม พลังน้ำขนาดเล็ก ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ และขยะ

หนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีในประเทศไทย คือ พลังงานทดแทนในรูปก๊าซชีวภาพ (Biogas) จากชีวมวลเหลือทิ้งของพืชผลการเกษตร ซึ่งมีการนำมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงานยังไม่แพร่หลาย ทั้งที่พลังงานที่ได้จากชีวมวลเหลือใช้เหล่านี้เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้ได้ไม่มีวันหมดและสร้างมลพิษให้สิ่งแวดล้อมน้อยอย่างไรก็ตาม การผลิตไฟฟ้าจากชีวมวลเหลือใช้ทางการเกษตรมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามนโยบายของรัฐบาลที่ต้องการผลักดันให้ใช้พลังงานหมุนเวียนเพิ่มมากขึ้น

สับปะรด เป็นหนึ่งในผลผลิตทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูงในการผลิตพลังงานทดแทนในรูปของก๊าซชีวภาพ โดยส่วนของสับปะรดที่นิยมนำมาใช้ประโยชน์คือส่วนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เปลือก แกน เป็นต้น ในโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งมักจะถูกกองทิ้งไว้โดยไม่ได้รับการจัดการที่ดีพอเมื่อถูกทิ้งชีวมวลที่มีความชื้นสูงจะเกิดการหมักย่อยสลายโดยธรรมชาติและส่งกลิ่นเหม็นรบกวนในพื้นที่ บางแห่งก็ถูกกองทิ้งไว้ให้แห้งและเผาทำลายเป็นการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก จากผลการสำรวจของสำนักงานเศรษฐกิจพบว่าในปี 2557 ผลผลิตของสับปะรดที่จะป้อนสู่อุตสาหกรรมอาหารกระป๋องอยู่ที่ 1,916,830 ตัน ปี 2558 อยู่ที่ 1,825,195 ตัน และผลประมาณการณ์ของปี 2559 อยู่ที่ 1,794,216 ตัน (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558) จึงทำให้มีเปลือกสับปะรดเกิดเป็นชีวมวลของเสีย ที่มีปริมาณมากชนิดหนึ่งในประเทศไทย วิธีการจัดการเปลือกสับปะรดเหล่านี้สามารถทำได้โดยการนำไปใช้เป็นอาหารสำหรับสัตว์เลี้ยง และแปรรูปเป็นพลังงานได้การแปรรูปเปลือกสับปะรดเป็นพลังงานสามารถทำได้โดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพื่อการผลิตเป็นก๊าซชีวภาพ ตัวอย่าง

การหมักเปลือกสับปะรด ได้แก่ การหมักเปลือกสับปะรดร่วมกับส่วนพัลพ์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์จากมูลสัตว์ หรือจะเป็นการหมักเปลือกสับปะรดร่วมกับส่วนพัลพ์โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์เป็นกากตะกอนน้ำเสียในถังบำบัดของเทศบาล เป็นต้น

ปัจจุบันมีการศึกษาผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกและพัลพ์สับปะรด โดยใช้น้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานแปรรูปสับปะรดเป็นจุลินทรีย์ตั้งต้น ผ่านวิธีการหมักแบบไร้อากาศ เพื่อศึกษาปริมาณเชื้อเริ่มต้น และผลของปริมาณวัตถุดิบ อันได้แก่ เปลือก พัลพ์ และของผสมระหว่างเปลือกและพัลพ์สับปะรด พบว่าปริมาณของวัตถุดิบมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ โดยวัตถุดิบที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น ซึ่งของผสมระหว่างเปลือกและพัลพ์สับปะรดจะให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากกว่าการใช้เปลือกหรือพัลพ์เพียงอย่างเดียว (Namsree, Suvajittanont et al., 2012) มีการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล เช่น ทะลายปาล์ม ทางปาล์ม ยอดอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง และต่อซังสับปะรด ด้วยวิธีการหมักแบบไม่ใช้อากาศ พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ผลิตได้ มาจากชีวมวลคือ ทะลายปาล์ม 150 มิลลิลิตรและต่อซังสับปะรดเท่ากับ 105 มิลลิลิตร ที่ระยะเวลาการทดลอง 30 วัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) แสดงให้เห็นว่าส่วนเหลือทิ้งของสับปะรด ซึ่งได้แก่ เปลือก แกน และต่อซังสับปะรดมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งก๊าซชีวภาพนี้สามารถเป็นพลังงานทดแทนเพื่อนำไปใช้ในโรงงาน และเป็นแนวทางหนึ่งในการจัดการวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ดีและยั่งยืน จึงเป็นที่มาในการสนใจศึกษาการนำเปลือกสับปะรดหมักร่วมกับส่วนอื่นๆของสับปะรด เช่นแกนสับปะรด โคนการใช้เชื้อจุลินทรีย์เป็นกากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศเป็นเชื้อเริ่มต้นในการหมัก

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาศักยภาพการผลิตเป็นก๊าซชีวภาพจากเปลือกร่วมกับแกนสับปะรดซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยวิธีการหมักแบบไร้อากาศโดยใช้จุลินทรีย์ในบ่อบำบัดแบบไร้อากาศมาเป็นจุลินทรีย์ตั้งต้นในการหมัก
2. เพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนเปลือกร่วมกับแกนสับปะรดโดยการหมักไร้อากาศแบบกึ่งต่อเนื่องซึ่งมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพในการหมักแบบไร้อากาศ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วัตถุดิบที่ใช้คือเปลือกและแกนสับปะรดจากโรงงานแปรรูปสับปะรดกระป๋อง
2. เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียไร้อากาศแบบระบบถังกวนสมบูรณ์ (Completely tank reactor, CSTR) โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัทอิสเทิร์น ปาล์มมอย จำกัด

3. ทำการศึกษาโดยวิธีการหมักแบบไร้อากาศ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เปลือกซึ่งเป็นส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดในโรงงานแปรรูปสับปะรดกระป๋องมีปริมาณลดลง ส่งผลให้มลพิษทางกลิ่นภายในพื้นที่โรงงานลดลง

2. โรงงานสามารถนำก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นใช้เป็นพลังงานทางเลือกทางหนึ่งในการผลิตกระแสไฟฟ้าใช้ภายในพื้นที่โรงงาน

3. เพื่อเพิ่มมูลค่าให้ของเหลือทิ้งอย่างเปลือกสับปะรด ทำให้ปริมาณขยะจากชีวมวลชนิดนี้ลดลง

4. เป็นหนึ่งในตัวอย่างพลังงานทดแทนจากชีวมวลเหลือทิ้งของสับปะรดให้แก่หน่วยงานหรือชุมชนในท้องถิ่นนำมาประยุกต์ใช้ ส่งผลให้ความต้องการใช้พลังงานจากน้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติลดลง

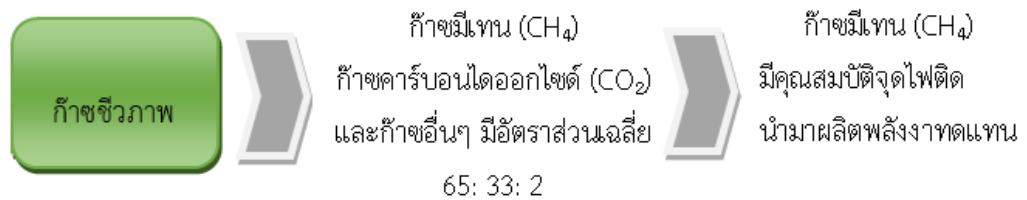


บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

คือ ก๊าซที่เกิดจากหมักย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำเสียและของเสียโดยอาศัยกลุ่มของจุลินทรีย์ชนิดไม่ใช้ออกซิเจน หรือใช้ออกซิเจน ทำหน้าที่หมักย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เปลี่ยนรูปเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2558) ดังรูปที่ 2.1



รูป 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2558)

2.2 เทคโนโลยีระบบการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศไทย

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีวภาพ(Biological wastewater treatment) โดยอาศัยจุลินทรีย์ในการย่อยสลายสารอินทรีย์สามารถแบ่งได้เป็น 2 กระบวนการใหญ่ คือ กระบวนการแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic digestion) และกระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic digestion)

2.2.1 กระบวนการแบบใช้ออกซิเจน

สารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียชนิดที่ใช้ออกซิเจน ดังนั้น การย่อยสลายแบบนี้ต้องใช้การเติมอากาศอยู่ตลอดเวลา ซึ่งสารอินทรีย์นั้นจะถูกย่อยสลายไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีการสร้างเซลล์จุลินทรีย์ขึ้นจำนวนมาก

2.2.2 กระบวนการแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจน หลายกลุ่มทำงานร่วมกัน ซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ คือ ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน แป้ง ให้เป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก และขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2558)

2.3 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ

สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ตามลำดับดังนี้

- **ขั้นตอนที่ 1** เป็นกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

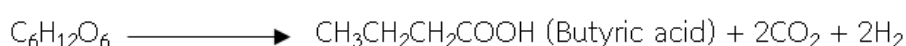
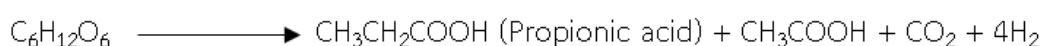
โดยอาศัยเอนไซม์จากแบคทีเรียในกลุ่ม Hydrolytic microorganisms ปล่อยออกมาออกเซลล์ เพื่อเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ให้เป็นสารโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดไขมัน กรดอะมิโน แอลกอฮอล์ เป็นต้น

- **ขั้นตอนที่ 2** เป็นกระบวนการสร้างกรด (Acidogenesis)

โดยแบคทีเรียพวกสร้างกรด (Acid former) ซึ่งจะเปลี่ยนผลผลิตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในขั้นตอนที่ 1 ไปเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile fatty acid; VFA) เช่น กรดอะซิติก (CH_3COOH) กรดโพรพิโอนิก ($\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$) และกรดบิวทีริก ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$) เป็นต้น

- **ขั้นตอนที่ 3** เป็นกระบวนการสร้างกรดอะเซติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis)

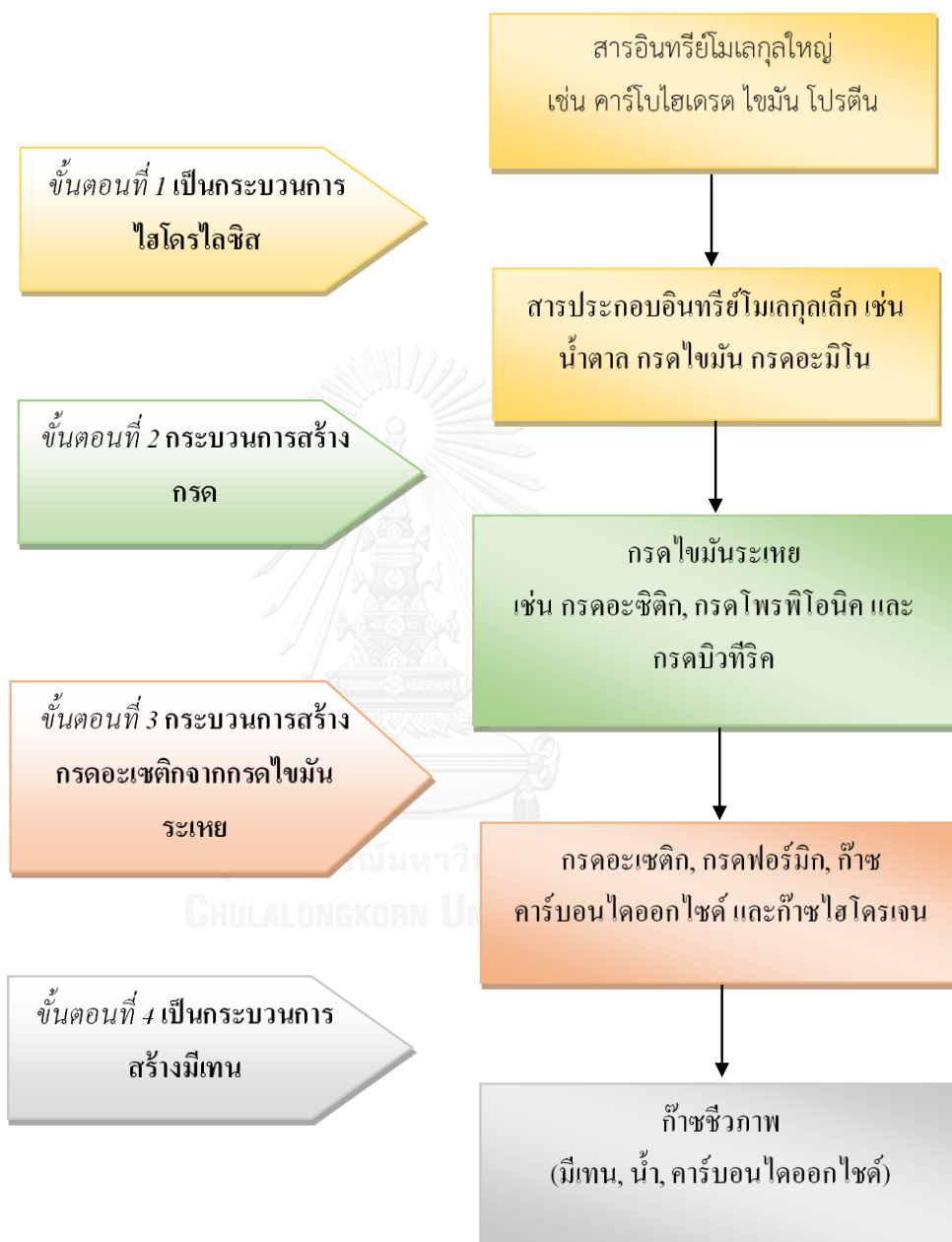
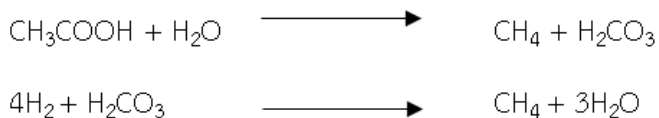
โดยแบคทีเรียกลุ่มอะซิโตเจนิก (Acetogenic bacteria) ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมจะเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นผลผลิตสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทน ได้แก่ กรดอะเซติก, กรดฟอร์มิก, ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไฮโดรเจน ซึ่งมีกระบวนการเกิด แสดงดังสมการต่อไปนี้



- **ขั้นตอนที่ 4** เป็นกระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

โดยผลผลิตที่ได้จากแบคทีเรียสร้างกรดในขั้นตอนที่ 3 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) แบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนนี้

แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ชนิดแรกคือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน (Hydrogenotrophic bacteria) โดยได้คาร์บอนมาจากคาร์บอนไดออกไซด์และได้พลังงานจากไฮโดรเจน ชนิดที่สองคือ แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากกรดอะเซติก (Acetotrophic bacteria) ซึ่งใช้อะซิเตดเป็นตัวรับอิเล็กตรอน และใช้ไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน การเกิดแสดงดังสมการ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)



รูป 2.2 กลไกการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดเป็นก๊าซชีวภาพในสภาวะไร้อากาศ

(กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

ปัจจัยที่มีผลต่อการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ

1 อุณหภูมิ (Temperature)

ในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ อุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ถูกแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ

- ช่วงไซโครฟิลิก (Psychrophilic) คือช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 20°C
- ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic) คือช่วงอุณหภูมิระหว่าง 20-45°C
- ช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) คือช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า 45°C

โดยทั่วไปช่วงเทอร์โมฟิลิกแบคทีเรียจะมีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าในช่วงมีโซฟิลิก เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์เร็วขึ้น ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงมีผลในการเพิ่มประสิทธิภาพทำงานและการเจริญเติบโตของแบคทีเรียจนถึงระดับหนึ่ง แต่ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านั้นการทำงานและการเจริญเติบโตจะลดลงเป็นศูนย์อย่างรวดเร็ว

2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

แบคทีเรียในการสร้างก๊าซมีเทน จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชมากที่สุด โดยขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจะเกิดได้ดีที่พีเอช 6.2-7.3 ทั้งนี้ประสิทธิภาพจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชมีค่าต่ำกว่า 6.2 ในขณะที่แบคทีเรียชนิดที่สร้างกรด สามารถอาศัยอยู่ในสภาพที่พีเอชระหว่าง 5.0-8.0 ดังนั้นในการควบคุมระบบให้การทำงานดำเนินไปอย่างปกติ จำเป็นต้องรักษาค่าพีเอชไม่ให้มีค่าต่ำจนเกินไป เพื่อรักษาสภาวะที่เหมาะสม

3 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acids: VFA)

กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ได้แก่ กรดอะซิติก กรดบิวทีริก และกรดโพรพิโอนิก สารเหล่านี้เป็นสารตัวกลางส่วนใหญ่ที่เกิดขึ้นในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศของแบคทีเรียกลุ่มผลิตกรด ซึ่งหากพบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายมีในปริมาณมาก (> 2,000 มิลลิกรัมของกรดอะซิติก/ลิตร) จะเป็นสัญญาณเตือนถึงความผิดปกติที่กระทบโดยตรงต่อค่าพีเอชของระบบโดยช่วงแรกจะทำให้ค่าพีเอชลดต่ำลง และถ้ามีค่าพีเอชที่ต่ำกว่า 6.2 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนและถ้าพีเอชต่ำลงจนถึง 4.5-5.0 จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้เกิดการล้มเหลวในการปฏิบัติงาน

4 อัตราการเติมสารอินทรีย์เข้าระบบ (Organic loading rate, OLR)

เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เนื่องจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในระบบให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพต้องมีความเข้มข้นของแบคทีเรียที่เหมาะสมกับปริมาณของสารอินทรีย์จึงก่อให้เกิดการย่อยสลายที่มีประสิทธิภาพ หากมีการป้อนสารอินทรีย์มากหรือจนเกินไปจะทำให้ระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์มีปัญหาเพราะแบคทีเรียบางส่วนจะถูกทำลายไปเนื่องจากสภาวะที่ไม่สมดุลของระบบ อย่างไรก็ตามค่าของอัตราการเติมสารอินทรีย์จะแตกต่างกันไปตามประเภทของวัตถุดิบ

5 การกวน (Mixing)

เนื่องจากในกระบวนการหมักมีโอกลาสสูงมากที่สารอินทรีย์จะอยู่ในสภาพแขวนลอย ดังนั้นเพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์กับจุลินทรีย์การกวนเป็นกระบวนการหนึ่งที่มีความสำคัญเพื่อทำให้การทำงานของระบบมีประสิทธิภาพสำหรับการผลิตก๊าซ

6 สารพิษ (Toxic substances)

สารพิษที่มีผลต่อแบคทีเรียในระบบไร้อากาศ ระดับความรุนแรงนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดและความเข้มข้นของสารนั้นๆ บางตัวมีความจำเป็นแต่ต้องมีในปริมาณที่เหมาะสมซึ่งถ้ามากเกินไปจะกลายเป็นพิษ เช่นโซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) แมกนีเซียม (Mg) และแคลเซียม (Ca) สารเหล่านี้ถ้ามีปริมาณเหมาะสมจะเป็นประโยชน์ต่อจุลินทรีย์ สำหรับสารพิษที่ก่อให้เกิดพิษต่อแบคทีเรียโดยตรงคือพวกโลหะหนักต่างๆ เช่น แมงกานีส (Mn) สังกะสี (Zn) แคดเมียม (Cd) นิกเกิล (Ni) โคบอลต์ (Co) ทองแดง (Cu) โครเมียม (Cr) และสารประกอบพวกแอมโมเนียที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2553)

2.4 กระบวนการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน

ที่นิยมกันทั่วไปในขณะนี้ มี 6 ประเภท ได้แก่

2.4.1 บ่อปิด (Covered lagoon)

บ่อหมักระบบปิดเป็นบ่อหมักก๊าซอีกรูปแบบหนึ่ง โครงสร้างบ่ออาจเป็นบ่อคอนกรีตหรือดินชุกก็ได้ ในกรณีที่ เป็นบ่อดินชุกอาจปูแผ่นยางที่ใช้ปูสระเก็บน้ำมาปูทับเพื่อไม่ให้เกิดการรั่วซึมของเสียลงสู่ดินด้านบนของบ่อคลุมด้วยผืนพลาสติกขนาดใหญ่เพื่อรวบรวมก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในบ่อและเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดกลิ่นแพร่กระจาย หลักการทำงานของระบบนี้เนื่องจากด้านบนมีพลาสติกคลุมทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายอินทรีย์ในน้ำเสียในสภาพไร้ออกซิเจนก่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ (มาดหมาย, 2009) ซึ่งลักษณะทางกายภาพของบ่อหมักระบบปิด ดังรูปที่ 2.3



รูป 2.3 ระบบบ่อปิดผลิตก๊าซชีวภาพ (กระทรวงพลังงาน, 2557)

2.4.2 บ่อโดมคงที่ (Fixed dome)

เป็นบ่อหมักก๊าซที่ส่งเสริมให้มีการใช้ในฟาร์มสุกรขนาดเล็ก โดยทั่วไปจะมีลักษณะเป็นทรงกลมฝังอยู่ใต้ดินส่วนที่เก็บก๊าซมีลักษณะเป็นโดมส่วนประกอบของบ่อโดมคงที่มีดังนี้

2.4.2.1 บ่อเติมมูลสัตว์ (Mixing chamber)

เป็นพื้นที่สำหรับการผสมมูลสัตว์กับน้ำก่อนเติมลงในบ่อหมัก

2.4.2.2 บ่อหมัก (Digester chamber)

เป็นพื้นที่สำหรับรับมูลสัตว์และน้ำจากบ่อเติมมูลสัตว์มาหมักให้เกิดก๊าซมีเทนและก๊าซอื่น ๆ ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะผลักดันให้มูลสัตว์และน้ำที่อยู่ด้านล่างของบ่อหมักไหลไปอยู่ก้นบ่อ

2.4.2.3 บ่อล้น (Expansion chamber)

เป็นพื้นที่สำหรับรับมูลสัตว์และน้ำที่ถูกก๊าซผลักดันจากบ่อหมักโดยการทำงานจะเป็นระบบไคโนนา มิก คือ เมื่อก๊าซเกิดขึ้นภายในบ่อหมักก๊าซจะมีแรงผลักดันมูลสัตว์และน้ำที่อยู่ส่วนด้านล่างให้ทะลักขึ้นไปเก็บไว้ในบ่อล้นเมื่อนำก๊าซไปใช้น้ำในบ่อล้นจะไหลย้อนกลับเข้าไปในบ่อหมักเพื่อผลักดันก๊าซให้มีความดันเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ (มาตหมาย, 2009)

ข้อดีของระบบบ่อโดมคงที่ คือ ประหยัดพื้นที่บริเวณฟาร์มเนื่องจากถังหมักอยู่ใต้ผิวดินจึงทำให้สามารถระบายน้ำมูลสุกรจากโรงเรือนไปสู่บ่อหมักโดยอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลก อุณหภูมิในบ่อหมักค่อนข้างคงที่ทำให้การหมักของมูลสัตว์เป็นไปอย่างต่อเนื่องสำหรับข้อเสียของระบบนี้ คือ ในบริเวณที่ระดับน้ำใต้ดินสูง การทำงานและการสร้างบ่อหมักจะค่อนข้างลำบากและในบริเวณส่วนโค้ง

ของถังหมักจะต้องใช้เทคนิคและความชำนาญสูงลักษณะของบ่อโดมคองที่มี การสร้างเพื่อใช้ งาน ณ สถานที่ปฏิบัติงาน ดังรูปที่ 2.4

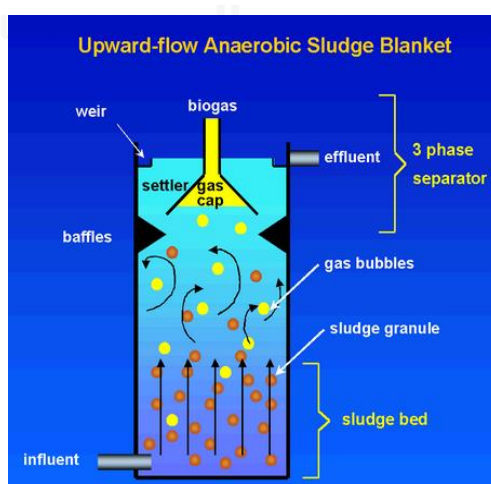


รูป 2.4 ระบบบ่อโดมคองที่ (กระทรวงพลังงาน, 2557)

2.4.3 บ่อหมักเร็วน้ำขึ้น (Upflow anaerobic sludge blanket : UASB)

ลักษณะการทำงานของบ่อ UASB คือ น้ำเสียจะถูกสูบเข้าก้นถังตั้งคอนแบคทีเรียที่กั้นถัง แบ่งเป็น 2 ชั้น ชั้นล่างหรือ Sludge Bed เป็นตะกอนเม็ด เป็นแบคทีเรียชนิดเส้นใยยาวเกาะกันแน่น มีความหนาแน่นสูงส่วนชั้นที่ 2 เรียกว่า Sludge Blanket เป็นแบคทีเรียตะกอนเบา ช่วงบนของถัง หมักจะมีอุปกรณ์แยกก๊าซชีวภาพและตะกอนแบคทีเรีย (Gassolidseparator) (มาตรฐาน, 2009) ดัง ในรูปที่ 2.5

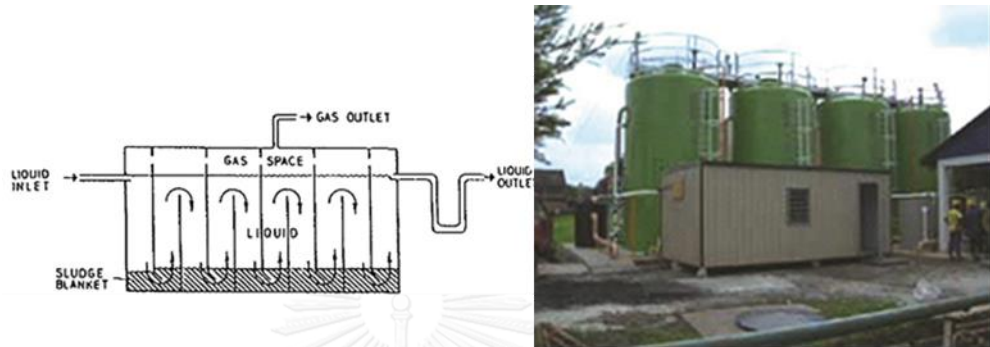
ข้อดีของถังหมักแบบ UASB คือ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงและค่าก่อสร้างต่ำเมื่อ เปรียบเทียบกับระบบอื่นๆ แต่ข้อเสียคือมีความยุ่งยากในการเลี้ยงตะกอนเม็ดจากตะกอนเบาและไม่ เหมาะสมกับน้ำเสียที่มีสาร แหวนลอยสูง



รูป 2.5 ระบบบ่อหมักเร็วน้ำขึ้น (มาตรฐาน, 2009)

2.4.4 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (Anaerobic baffled reactor)

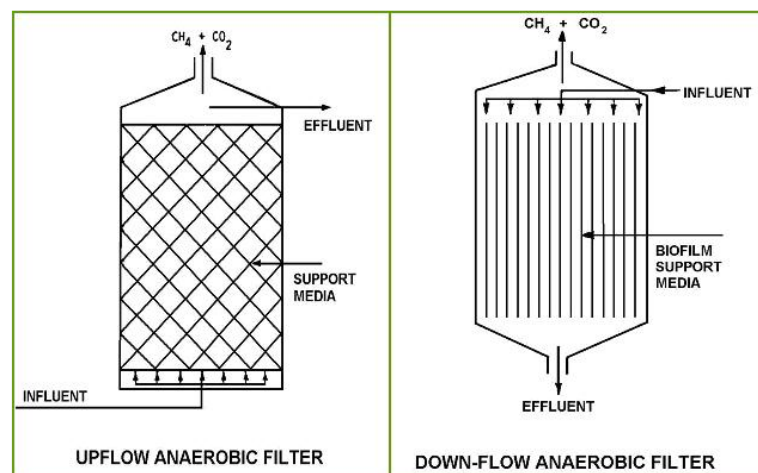
ระบบน้ำเสียแบบนี้มีลักษณะเป็นถังหรือบ่อดินที่มีแผ่นกั้นขวางหลายแผ่นติดตั้งไว้ การไหลของน้ำเสียเข้าสู่ระบบจะเป็นในลักษณะไหลขึ้นลงสลับกันหลายครั้ง โดยมีความเร็วในการไหลขึ้นลงประมาณ 0.2-0.4 m/hr. ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพจะคล้ายกับระบบ UASB ระบบนี้สามารถใช้กับน้ำเสียที่มีสารแขวนลอยสูง (มาตหมาย, 2009) ลักษณะการทำงานเบื้องต้นดังรูปที่ 2.6



รูป 2.6 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบแผ่นกั้น (กระทรวงพลังงาน, 2557)

2.4.5 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบผสมกวน (Completely stirred tank reactor : CSTR)

ถังหมักในระบบนี้อาศัยหลักการทำงานของจุลินทรีย์เป็นตัวย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายในถังมีการกวนผสมในถังอย่างทั่วถึง (Mixing system) วิธีการกวนผสมอาจใช้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตขึ้นวนกลับภายในถังหรือการกวนโดยใช้เครื่องกวนผสมทำให้ประสิทธิภาพในการย่อยสลายสูงสามารถรับภาระปริมาณการเติมสารอินทรีย์สูงช่วยลดระยะเวลาในการกักเก็บน้ำเสียในถังหมัก (มาตหมาย, 2009) ลักษณะทางกายภาพของถังปฏิกรณ์มีรูปแบบดังรูปที่ 2.7



รูป 2.7 ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศแบบผสมกวน (กระทรวงพลังงาน, 2557)

2.4.6 ถังปฏิกรณ์แบบตรึงเซลล์บนผิววัสดุตัวกลาง (Anaerobic filter/fixed film)

เป็นถังหมักภายในบรรจุด้วยตัวกลางที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงเพื่อให้แบคทีเรียเกาะและมีรูพรุนสูง น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะต้องผ่านถังตกตะกอนเพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออก (มาตรฐาน, 2009) ลักษณะโครงสร้างเบื้องต้นของถังปฏิกรณ์ดังรูปที่ 2.8

ข้อดีของระบบนี้ คือ การดูแลและควบคุมระบบง่ายมีประสิทธิภาพสูงและสามารถรับการเปลี่ยนแปลงของน้ำเสียได้ดี ข้อเสีย คือ วัสดุตัวกลางมีราคาแพงและมีปัญหาอุดตันได้ง่าย ดังนั้นการใช้งานจะต้องใช้ตัว กลางที่มีพื้นที่ผิวและรูพรุนสูงโดยบรรจุเพียง 10-20 % ของปริมาตรถัง



รูป 2.8 ถังปฏิกรณ์แบบตรึงเซลล์บนผิววัสดุตัวกลาง (กระทรวงพลังงาน, 2557)

2.5 แหล่งวัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ

2.5.1 ขยะชุมชน

หมายถึง ขยะมูลฝอยชุมชน สามารถจำแนกตามลักษณะทางกายภาพได้ 4 ประเภท

2.5.1.1 ขยะย่อยสลาย (Compostable waste)

หรือมูลฝอยย่อยสลายคือขยะที่เน่าเสียและย่อยสลายได้เร็ว สามารถนำมาหมักทำปุ๋ยได้ เช่น เศษผัก เปลือกผลไม้เศษอาหาร ใบไม้เศษเนื้อสัตว์ เป็นต้น แต่จะไม่รวมถึงซากหรือเศษของพืช ผัก ผลไม้หรือสัตว์ที่เกิดจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ลักษณะของขยะมูลฝอยแสดงดังรูปที่ 2.9 โดยที่ขยะย่อยสลายนี้เป็นขยะที่พบมากที่สุด คือ พบมากถึง 64% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ (ศิลปสุวรรณ, 2557)



รูป 2.9 ขยะย่อยสลาย (ศิลปสุวรรณ, 2557)

2.5.1.2 ขยะรีไซเคิล (Recyclable waste)

หรือมูลฝอยที่ยังใช้ได้คือของเสียบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุเหลือใช้ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ เช่น แก้วกระดาษ เศษพลาสติก กล่องเครื่องดื่มแบบยูเอชทีที่กระป๋องเครื่องดื่ม เศษโลหะ อะลูมิเนียม ยางรถยนต์ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.10 สำหรับขยะรีไซเคิลนี้เป็นขยะที่พบมากเป็นอันดับสองในกองขยะ กล่าวคือพบประมาณ 30% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ (ศิลปสุวรรณ, 2557)



รูป 2.10 ขยะรีไซเคิล (ศิลปสุวรรณ, 2557)

2.5.1.3 ขยะอันตราย (Hazardous waste)

หรือมูลฝอยอันตรายคือขยะที่ปนเปื้อนเป็นวัตถุอันตรายชนิดต่างๆ ซึ่งได้แก่ วัตถุระเบิด วัตถุไวไฟ วัตถุออกซิไดซ์วัตถุพิษ วัตถุกัดกร่อน วัตถุที่ก่อให้เกิดการระคายเคือง วัตถุอย่างอื่นไม่ว่าจะเป็นเคมีภัณฑ์หรือสิ่งอื่นใดที่อาจทำให้เกิดอันตรายแก่บุคคล สัตว์พืช ทรัพย์สินหรือสิ่งแวดล้อมเช่น ถ่านไฟฉาย หลอดฟลูออเรสเซนต์แบตเตอรี่โทรศัพท์เคลื่อนที่ ภาชนะ บรรจุสารกำจัดศัตรูพืช กระป๋องสเปรย์บรรจุสี หรือสารเคมีเป็นต้นลักษณะดังรูปที่ 2.11 ขยะอันตรายนี้เป็นขยะที่พบได้น้อยประมาณ 3% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ (ศิลปสุวรรณ, 2557)



รูป 2.11 ขยะอันตราย (ศิลปสุวรรณ, 2557)

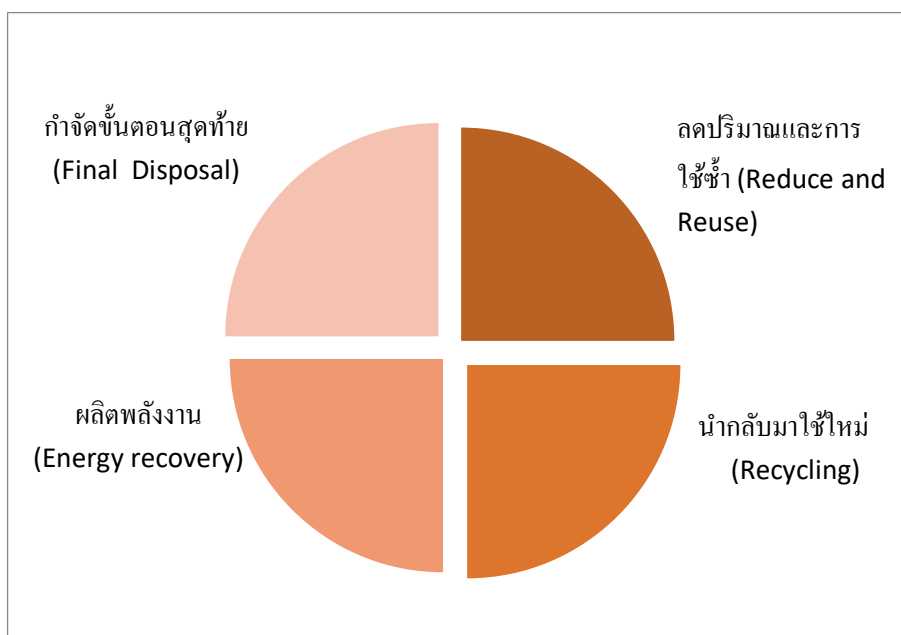
2.5.1.4 ขยะทั่วไป (General waste)

หรือมูลฝอยทั่วไปคือ ขยะประเภทอื่นนอกเหนือจากขยะย่อยสลาย ขยะรีไซเคิลและขยะอันตราย มีลักษณะที่ย่อยสลายยากและไม่คุ้มค่าสำหรับการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ เช่น ห่อพลาสติกบรรจุภัณฑ์ต่างๆ ถุงพลาสติกเปื้อนเศษอาหาร โฟมเปื้อนอาหาร พอลีสเตอีนอาหาร เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12 เป็นขยะที่มีปริมาณใกล้เคียงกับขยะอันตราย ประมาณ 3% ของปริมาณขยะทั้งหมดในกองขยะ (ศิลปสุวรรณ, 2557)



รูป 2.12 ขยะทั่วไป (ศิลปสุวรรณ, 2557)

หลักการในการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน (ศิลปสุวรรณ, 2557) กล่าวถึงองค์ประกอบของการจัดการขยะมูลฝอยไว้ว่าการดำเนินการจัดการขยะมูลฝอยนั้นสามารถแบ่งหลักการในการดำเนินการออกเป็นส่วนสำคัญ 4 ส่วนตามลำดับความสำคัญ ดังรูปที่ 2.13



รูป 2.13 ลำดับความสำคัญของการจัดการขยะมูลฝอย (ศิลปสุวรรณ, 2557)

2.5.2 น้ำเสีย

น้ำเสียคือ น้ำหรือของเหลวที่มีสิ่งเจือปนต่างๆ ในปริมาณสูงจนกระทั่งเป็นน้ำที่ไม่มีความต้องการ เป็นมลพิษทางทัศนียภาพและก่อให้เกิดความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม น้ำเสียมาจากแหล่ง ดังต่อไปนี้

2.5.2.1 น้ำเสียจากชุมชน

น้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันของประชาชนในชุมชน โดยมีแหล่งกำเนิดมาจากอาคารบ้านเรือน ร้านค้าพาณิชยกรรม ตลาดสด ร้านอาหาร สถาบันศึกษา สถานที่ราชการ โรงแรม โรงเรียน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

การคาดการณ์ปริมาณน้ำเสียชุมชนเบื้องต้น โดยทั่วไปจะประเมินจากความสกปรกที่ระบายสู่แหล่งน้ำ ซึ่งมีการรวบรวมข้อมูลโดยอาศัยผลคูณระหว่างจำนวนประชากรกับอัตราการใช้น้ำของประชากรแต่ละคน (ศิลปสุวรรณ, 2557) พบว่าอัตราการเกิดน้ำเสียจากคนในภูมิภาคต่างๆ ต่อวันมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตั้งแต่ปี 2536 โดยอัตราการเพิ่มขึ้นนั้นพบได้ในทุกภูมิภาค ดังตารางที่ 2.1

ตาราง 2.1 การประมาณอัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน (ศิลปสุวรรณ, 2557)

อัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน						
ภาค	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร / คน-วัน)					
	2 536	2 540	2 545	2 550	2 555	2 556
กลาง	1 60-214	1 65-242	1 70-288	1 76-342	1 83-406	1 89-482
เหนือ	1 83	2 00	2 25	2 52	2 82	3 16
ตะวันออกเฉียงเหนือ	2 00-253	2 16-263	2 39-227	2 64-291	2 91-306	3 18-322
ใต้	1 71	1 95	2 04	2 26	2 49	2 75

2.5.2.2 น้ำเสียจากการเกษตร

น้ำเสียที่เกิดจากอุตสาหกรรมทางการเกษตร เช่นน้ำเสียจากการล้างคอกสัตว์เลี้ยง เช่น คอกหมู คอกวัว เล้าไก่ น้ำเสียจากนาข้าว น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงกุ้ง เป็นต้น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ จะปนเปื้อนสารเคมี ยาฆ่าแมลง หรือปุ๋ย (ศิลปสุวรรณ, 2557)

2.5.2.3 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม

น้ำเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานเบียร์ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม โรงงานผลิตน้ำตาล น้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เป็นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นน้ำล้างในกระบวนการผลิตต่างๆ ซึ่งมีคุณสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม (ศิลปสุวรรณ, 2557) ลักษณะของน้ำเสียจากแหล่งกำเนิดซึ่งเมื่อมีการใช้น้ำแล้วจะมีสารพิษประเภทต่างๆตามกิจกรรมที่ต้องใช้สารประกอบนั้นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งจะมีความแตกต่างกันออกไปตามประเภทของอุตสาหกรรม ดังนั้นก่อนที่จะนำไปผ่านกระบวนการกำจัดหรือนำกลับมาใช้ใหม่อีกครั้งในรูปแบบต่างๆ จำเป็นต้องตรวจสอบดัชนี

คุณภาพน้ำซึ่งตัวแปรและค่ามาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ, 2012) ดังตารางที่ 2.2

ตาราง 2.2 แสดงค่าตัวแปรและค่ามาตรฐานในการตรวจสอบคุณภาพน้ำ (ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ, 2012)

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	pH 5.5 – 9.0
ค่าทีดีเอส (TDS/Total dissolved solids)	<ul style="list-style-type: none"> ● ไม่เกิน 3,000 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 mg/l ● น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 mg/l หรือลงสู่ทะเลค่า TDS ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า TDS ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อย หรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 mg/l
สารแขวนลอย (Suspended solids)	ไม่เกิน 50 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 mg/l
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40°C
สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
ซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
ไซยาไนด์ (Cyanide)	ไม่เกิน 0.2 mg/l

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
น้ำมันและไขมัน	ไม่เกิน 5.0 mg/l หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภท ของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 mg/l
สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
คลอรีนอิสระ (Free chlorine)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือ สัตว์(Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่ กำหนด
ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20OC / Biochemical oxygen demand: BOD)	ไม่เกิน 20 mg/l หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือ ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภท ของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุม มลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 60 mg/l
ค่าทีเคเอ็น (TKN: Total kjeldahl nitrogen)	ไม่เกิน 100 mg/l หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือ ประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 200 mg/l
ค่าซีโอดี (COD: Chemical oxygen demand)	ไม่เกิน 120 mg/l หรืออาจแตกต่างกัน แล้วแต่ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือ ประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการ ควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 400 mg/l

2.5.3 ชีวมวลจากอุตสาหกรรมการเกษตร

ชีวมวลพลังงาน หมายถึง พืชและสัตว์ที่เป็นแหล่งพลังงานทดแทน เศษวัสดุเหลือใช้จากการแปรรูปสินค้าทางการเกษตรหรือจากการเก็บเกี่ยววัชพืชและพืชที่ปลูกเพื่อผลิตพลังงาน โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงพลังงานจากชีวมวลจะเป็นการนำชีวมวลที่เป็นของแข็งไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ หรือการแปรรูปชีวมวลให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ซึ่งมีชีวมวลบางชนิดไม่เหมาะสมที่จะนำไปเผาไหม้เนื่องจากมีความชื้นสูงและไม่ได้มีการนำไปใช้ประโยชน์ปล่อยทิ้งไว้จะเกิดการเน่าส่งกลิ่นเหม็นไปทั่ว การที่ชีวมวลนี้มีส่วนที่ย่อยสลายง่ายและมีความชื้นสูงจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ

2.5.3.1 ชีวมวลจากอ้อย

ชีวมวลหรือวัสดุที่เหลือจากอ้อย มีทั้งที่อยู่ในโรงงาน (กากอ้อย) และอยู่ในพื้นที่การเกษตร (ใบและยอดอ้อย) มีลักษณะดังนี้

(1) กากอ้อยหรือชานอ้อย ดังรูปที่ 2.14 เป็นส่วนของลำต้นที่เหลือหลังจากการหนีบน้ำอ้อยไปผลิตน้ำตาล กากอ้อยจะถูกส่งไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำของโรงงาน หรือจะนำไปใช้ประโยชน์อื่นๆ เช่น นำไปผลิตเยื่อกระดาษ หรือแผ่นอัดชานอ้อย เป็นต้น ปัจจุบันกากอ้อยมีการนำไปใช้ประโยชน์ได้ทั้งหมด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.14 กากอ้อย หรือชานอ้อย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(2) ใบและยอดอ้อยดังรูปที่ 2.15 คือ ส่วนที่เกษตรกรตัดทิ้งในพื้นที่เกษตรก่อนที่จะขนส่งอ้อยเข้าโรงงานปัจจุบันมีการนำไปใช้เป็นอาหารสัตว์ ใช้เป็นเชื้อเพลิงและทำปุ๋ยบางส่วน ส่วนใหญ่มีการเผาทิ้งในพื้นที่เกษตร (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ซึ่งจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศเป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก



รูป 2.15 ใบและยอดอ้อย (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

2.5.3.2 ชีวมวลจากมันสำปะหลัง

ชีวมวลหรือวัสดุที่เหลือจากมันสำปะหลัง มีทั้งที่อยู่ในโรงงาน เช่น กากมัน และอยู่ในพื้นที่การเกษตร เช่น เหง้า ลำต้น ยอด และใบ มีลักษณะดังนี้

(1) กากมันสำปะหลังดังรูปที่ 2.16 คือ ส่วนที่เหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันภายในโรงงานอุตสาหกรรม อดีตขายให้เกษตรกรนำไปเลี้ยงสัตว์แต่ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) จึงทำให้เหลือทิ้งภายในพื้นที่โรงงานเป็นปัญหาต้องหาวิธีการจัดการ เนื่องจากหากปล่อยทิ้งไว้ในพื้นที่ที่มีความชื้นสูงจะเกิดการหมักย่อยโดยธรรมชาติและจะส่งกลิ่นเหม็นกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ก่อเกิดมลพิษทางกลิ่นรบกวนภายในพื้นที่ปฏิบัติงาน และชุมชนใกล้เคียง



รูป 2.16 กากมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(2) เปลือกมันสำปะหลังดังรูปที่ 2.17 คืออีกหนึ่งที่เป็นส่วนเหลือจากกระบวนการผลิตแป้งมันภายในโรงงานอุตสาหกรรม อดีตขายให้เกษตรกรนำไปเลี้ยงสัตว์แต่ปัจจุบันไม่เป็นที่นิยม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) จึงทำให้เหลือทิ้งในโรงงานเป็นปัญหาต้องจัดการโดยวิธีการจัดการ เช่น การเผาทิ้ง เป็นต้น



รูป 2.17 เปลือกมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(3) เหง้ามันสำปะหลังดังรูปที่ 2.18 คือ ส่วนโคนของลำต้นซึ่งอยู่เหนือดินเป็นส่วนที่เหลือหลังจากการตัดลำต้นและหัวมันออกไปส่วนนี้ไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์โดยเกษตรกรจะทิ้งไว้ในไร่และไถกลบไปพร้อมกับการเตรียมดินในการปลูกครั้งต่อไป (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.18 เหง้ามันสำปะหลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(4) ยอดและใบมันสำปะหลังดังรูปที่ 2.19 ประกอบด้วย ยอดของลำต้น ใบ และก้านใบ ส่วนนี้ไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ เกษตรกรจะทิ้งไว้ในไร่และไถกลบไปพร้อมกับเหง้ามันสำปะหลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 2.19 ยอดและใบมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(5) ลำต้นมันสำปะหลังดังรูป 2.20 คือส่วนของลำต้นตอนกลางยาวประมาณ 100-200 เซนติเมตร โดยทั่วไปเกษตรกรจะเก็บส่วนนี้ไว้สำหรับการเพาะปลูกครั้งต่อไปในแปลงของตนเอง และมีบางส่วนขายให้เกษตรกรรายอื่นเพื่อเป็นพันธุ์ในการเพาะปลูกในครั้งต่อไปถ้าหากเหลือก็จะทิ้งในไร่และไถกลบไปพร้อมกับเหง้ามันสำปะหลังเช่นเดียวกัน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.20 ลำต้นมันสำปะหลัง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

2.5.3.3 ชีวมวลจากปาล์มน้ำมัน

ชีวมวลหรือวัสดุที่เหลือจากปาล์มน้ำมันมีทั้งที่อยู่ในโรงงาน เช่น ทะลายปาล์มเปล่า เส้นใย และกะลาปาล์ม ส่วนที่อยู่ในพื้นที่การเกษตร เช่น ทะลายปาล์มตัวผู้ ทางใบ และลำต้น ซึ่งมีลักษณะดังนี้

(1) ทะลายปาล์มเปล่าดังรูปที่ 2.21 เป็นส่วนที่เหลือหลังจากกระบวนการผลิตในโรงงาน เมื่อเมล็ดปาล์มถูกแกะออกไปสกัดน้ำมัน ปัจจุบันนำไปใช้ประโยชน์โดยนำเข้าระบบผลิตก๊าซชีวภาพส่วนกากแห้งจะนำไปเป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำในโรงงานหรือขายให้เกษตรกรนำไปใช้ในการเพาะเห็ดฟาง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.21 ทะลายปาล์มเปล่า (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(2) กะลาปาล์มดังรูปที่ 2.22 เป็นส่วนที่เหลือหลังจากกระบวนการผลิตในโรงงานปัจจุบันมีผู้มารับซื้อถึงโรงงาน เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.22 กะลาปาล์ม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(3) เส้นใยดังรูปที่ 2.23 คืออีกส่วนที่เหลือหลังจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ นำไปใช้ประโยชน์ด้านเชื้อเพลิงสำหรับหม้อไอน้ำภายในโรงงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.23 เส้นใยปาล์ม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(4) ทางใบ หมายถึง ส่วนที่เป็นก้านใบและใบย่อย และทะลายปาล์มตัวผู้หรือช่อดอกตัวผู้ ดังรูปที่ 2.24 เป็นวัสดุเหลือใช้จะทิ้งอยู่ในพื้นที่การเกษตรไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ที่ชัดเจน มักจะถูกเผาทิ้งในพื้นที่เกษตรซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก หรือมีบางส่วนนำไปเป็นเชื้อเพลิง (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.24 ก้านใบและใบยอดปาล์ม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(5) ต้นปาล์มดังรูปที่ 2.25 เกิดจากการโค่นล้มปาล์มเก่าที่มีอายุมากหรือให้ผลผลิตต่ำ เพื่อปลูกใหม่หรือเปลี่ยนพืชที่ปลูก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.25 ต้นปาล์ม (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

2.5.3.6 ชีวมวลจากสับปะรด

ชีวมวลหรือวัสดุที่เหลือจากสับปะรด มีทั้งที่อยู่ในโรงงาน เช่น เปลือกสับปะรดและอยู่ในพื้นที่การเกษตรเช่น ในรูปตอซังสับปะรดซึ่งมีลักษณะดังนี้

(1) เปลือกสับปะรด แสดงดังรูปที่ 2.26 และส่วนที่เหลือจากการตัดแต่งมีน้ำหนักประมาณ 28.40 % ของหัวสับปะรด มีความชื้น 91.00% ในโรงงานที่มีการผลิตน้ำสับปะรดจะนำส่วนนี้ไปผลิตน้ำสับปะรดหรือจัดจำหน่ายให้เกษตรกรนำไปผลิตอาหารสัตว์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.26 เปลือกสับปะรด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(2) ตอซังสับปะรด แสดงดังรูปที่ 2.27 มีลักษณะเป็นเหง้าหรือต้นตอสับปะรดเป็นส่วนที่เหลือในพื้นที่เกษตรหลังการเก็บเกี่ยวผลผลิตหรือหลังการเก็บหน่อสำหรับขยายพันธุ์แล้วบางพื้นที่นำไปเป็นอาหารสัตว์แต่ส่วนใหญ่เกษตรกรต้องทำการกำจัดมีปริมาณคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 50 % ของผลผลิตหัวสับปะรด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)



รูป 2.27 ตอซังสับปะรด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553)

(3) ผลพยากรณ์การผลิตสับประรด ปี 2556-2559 (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) แสดงดังตารางที่ 2.3

ตาราง 2.3 แสดงผลพยากรณ์ ของการผลิต สับประรดปี 2556-2559 (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2559)

จังหวัด	ผลผลิต (ตัน)			
	2556	2557	2558	2559
รวมทั้งประเทศ	2,067,908	1,916,830	1,825,195	1,794,216
ภาคเหนือ	409,321	261,408	259,073	260,001
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	60,131	96,906	108,172	108,619
ภาคกลาง	1,661,396	1,537,062	1,437,828	1,398,572
ภาคใต้	37,060	21,454	20,122	27,024

(4) ปริมาณชีวมวลของปี 2556-2558 และปริมาณชีวมวลจากการพยากรณ์ของปี 2559 เพื่อป้อนสู่อุตสาหกรรมการเกษตร (สำนักเศรษฐกิจการเกษตร, 2559) พบว่าสับประรดมีผลผลิตต่อไร่ สำหรับใช้ในการแปรรูปในระดับอุตสาหกรรมสูงที่สุดแสดงดังตารางที่ 2.4 นั้นแสดงว่าสับประรดจากอุตสาหกรรมนี้จะมีปริมาณของเสียที่เกิดจากการแปรรูปสูง

ตาราง 2.4 แสดงผลพยากรณ์ ของผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ของพืชผลทางการเกษตรปี 2556-2557
(กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558)

ชื่อพืช	ผลผลิต(ตัน) ,ปีเพาะปลูก			ผลผลิตต่อไร่(กก.) , ปีเพาะปลูก		
	2556	2557	2558	2556	2557	2558
มันสำปะหลัง	30,022,052	31,096,140	31,040,268	3,561	3,584	3,562
ปาล์มน้ำมัน	12,374,489	12,503,447	11,842,485	3,285	3,014	2,691
ข้าวนาปี	27,090,184	26,047,429	22,983,230	436	430	411
ยางพารา	4,305,069	4,427,337	4,271,827	262	254	236
สับปะรด โรงงาน	2,067,908	1,916,830	1,784,573	3,880	4,237	3,966

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nirmala Bardiya et al (Bardiya, Somayaji et al., 1996) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนจากเปลือกกล้วยและชิ้นส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดโดยเทคนิคการย่อยสลายแบบไร้อากาศภายในบ่อหมัก โดยเชื้อจุลินทรีย์ช่วยในการหมักคือมูลวัว ในอัตราส่วน 10 % ของปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ ภายใต้สภาวะอุณหภูมิ 37°C โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลของระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียจากการหมัก (Hydraulic retention time : HRT) เพื่อหาระยะเวลาที่ใช้ในการกักเก็บน้ำเสียที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการศึกษาได้มีการควบคุมตัวแปร คือ เปลือกกล้วยและชิ้นส่วนเหลือทิ้งของสับปะรด ให้มีขนาด 5-10 mm ในการออกแบบการทดลองปริมาณเปลือกกล้วยที่ใช้เท่ากับ 10% W/V และปริมาณชิ้นส่วนเหลือทิ้งของสับปะรด เท่ากับ 7% W/V ผลของการทดลองพบว่า เปลือกกล้วย ที่ HRT 25 วัน ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดที่ 38% ของปริมาณสารตั้งต้น หรือเท่ากับ 0.76 vol/vol/day ชิ้นส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดที่ HRT 10 วัน ให้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุดที่ 58% ของปริมาณสารตั้งต้น หรือเท่ากับ 0.93 vol/vol/day

Pimjai Namsree et al. (Namsree, Suvajittanont et al., 2012) ผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกและพัลล์สับปะรด โดยวิธีการหมักแบบไร้อากาศ ในถังปฏิกรณ์แบบท่อไหล (Plug-flow reactor) กับเชื้อจุลินทรีย์ที่ช่วยในการหมักคือ น้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียในโรงงานแปรรูปสับปะรด โดยในงานวิจัยนี้ แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนที่ 1 เป็นการศึกษาปริมาณเชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้น ซึ่งปริมาณเริ่มต้นที่ศึกษาเท่ากับ 2.5, 5, 10 g/l ภายในขวดทดลองขนาด 100 ml. โดยใช้เปลือก พัลล์ และส่วนผสมของเปลือกและพัลล์สับปะรดที่อัตราส่วน เท่ากับ 1:1 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพและศึกษาผลของการใช้วัตถุดิบ เปลือก พัลล์ และส่วนผสมเปลือกและพัลล์อัตราส่วน 1:1 ภายในขวดทดลองขนาด 100 ml ซึ่งผลการศึกษาปริมาณเชื้อเริ่มต้นพบว่าที่ 10g/l ให้ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุด คือ 27.9 ml/100 ml ส่วนที่ 2 ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพในถังปฏิกรณ์แบบท่อไหล เชื้อจุลินทรีย์เริ่มต้นเท่ากับ 10 g/l (จากการทดลองส่วนที่ 1) โดยในส่วนนี้เป็นการศึกษาผลของการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียจากการหมัก (HRT) จาก 30 วัน เป็น 20, 10, 7 และ 5 วัน ตามลำดับความเข้มข้นของวัตถุดิบ ปริมาณของส่วนผสมระหว่างเปลือกและพัลล์ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการ และศึกษาผลของการหมุนเวียนน้ำหมักที่เข้าของถังปฏิกรณ์ต่อประสิทธิภาพ การผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนการศึกษาผลของการใช้วัตถุดิบ ผลการศึกษาพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของวัตถุดิบทำให้ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น โดยพบว่าวัตถุดิบที่เป็นส่วนผสมระหว่างเปลือกและพัลล์สับปะรดจะให้ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพมากกว่าการใช้เปลือกหรือพัลล์เพียงอย่างเดียว การศึกษาผลของลดระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียจากการหมักพบว่าที่ HRT 7 วัน ให้ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีกว่าที่ HRT 20

และ 30 วัน คือให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ถึง 0.06 v/v-d ส่วนการศึกษาผลการเพิ่มความเข้มข้นของวัตถุดิบของส่วนผสมเปลือกและฟัฟสับประรดที่ป้อนเข้าถังปฏิกรณ์จาก 1% เป็น 2% และ 4% พบว่า ที่ปริมาณการป้อนวัตถุดิบ 4% HRT 10 วัน ให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีกว่าคือ เท่ากับ 0.25 v/v-d และผลของการหมუნเวียนน้ำหมักที่ออกจากระบบช่วยในการปรับ pH และเป็นการเพิ่มหรือทดแทนจุลินทรีย์ที่ออกจากระบบ การหมუნเวียนน้ำหมัก 40% ของปริมาตรถังหมัก ให้การผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุด คือ 0.48 m³ / kg COD removed

Ching-Hsiung Wang et al. (Wang, Lin et al., 2006) ทำการศึกษาการหมักเพื่อเปลี่ยนน้ำตาลซูโครสและส่วนเหลือทิ้งของสับประรดเป็นก๊าซไฮโดรเจนในชนิด Phosphate-buffered ซึ่งมาจากกากตะกอนของน้ำเสียในเขตเทศบาลเมือง โดยงานวิจัยนี้ทำการศึกษาผลกระทบของ pH ต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากน้ำตาลซูโครส และส่วนเหลือทิ้งของสับประรด ศึกษาชนิดของวัตถุดิบอันได้แก่ น้ำตาลซูโครส และส่วนเหลือทิ้งของสับประรด และศึกษาชนิดของ Buffer ระหว่าง Phosphate และ Carbonate-buffered จากการศึกษาผลกระทบของ pH พบว่าเมื่อวัตถุดิบคือ น้ำตาลซูโครส pH ที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน คือ 7.5 โดยใช้เวลาในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน 7-8 ชั่วโมง การศึกษาชนิดของวัตถุดิบจะต่อเนื่องกับการศึกษาชนิดของ Buffer พบว่า เมื่อใช้วัตถุดิบเป็นน้ำตาลซูโครสปริมาณ 20 g COD/L ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน Buffer ที่เหมาะสมคือ Medium A (Phosphate-buffer) ให้อัตราการผลิตก๊าซสูงสุดคือ 745 ml/hr/l และเมื่อวัตถุดิบ คือ ส่วนเหลือทิ้งของสับประรด ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจน Buffer ที่เหมาะสมคือ Medium B (Phosphate-buffer) ให้อัตราการผลิตก๊าซสูงสุดคือ 383 ml/hr/l จากการทดสอบ buffer ทั้งสองชนิดในวัตถุดิบพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สุดของ Buffer ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนคือ Phosphate-buffered

D. Swaroopa Rani , Krishna Nand (Rani and Nand, 2004) กระบวนการผสมหมักส่วนเหลือทิ้งของสับประรดเพื่อการผลิตก๊าซมีเทน ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นส่วนของเสียที่เป็นเปลือกของสับประรดที่มีที่มาจากตลาดค้าขายผักและผลไม้โดยจะทำการศึกษาเปรียบเทียบจากการเตรียมวัตถุดิบในแบบต่างๆ คือ แบบแห้ง แบบเปียก และ แบบ Ensilage เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมของวัตถุดิบสำหรับการผลิตก๊าซมีเทน โดยในการทดลองศึกษาผลของการป้อนวัตถุดิบ (Loading rate) จาก 40, 60 , 80 ,100 ,120 และ 140 kg/m³ และศึกษาระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสียจากการหมัก (HRT) จาก 10, 15, 20, 25, 30 และ 35 วัน เพื่อดูผลกระทบต่อการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งผลการศึกษาพบว่าในส่วนของ การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมแบบ Ensilage สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 0.67 m³ /kg คิดเป็นปริมาณก๊าซมีเทนเท่ากับ 65% ซึ่งสูงกว่าการเตรียมวัตถุดิบแบบแห้งและแบบเปียก ผลของการศึกษาการป้อนวัตถุดิบ พบว่ายังมีการป้อนวัตถุดิบมาก การผลิตก๊าซชีวภาพยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่จากการศึกษาอัตราการป้อนวัตถุดิบที่เป็นไปได้สูงสุดคือ 60 kg/m³ ภายใต้สภาวะวัตถุดิบทั้งแบบ

แห้ง แบบเปียก และแบบ Ensilage โดยการเตรียมวัตถุดิบแบบ Ensilage ยังคงให้ผลการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุดคือ $0.52 \text{ m}^3/\text{kg}$ ต่อมาคือผลการศึกษาเวลาการกักเก็บ ที่อัตราการป้อนวัตถุดิบ $60 \text{ kg}/\text{m}^3$ พบว่าระยะเวลาการกักเก็บที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือ 25 วัน

กรมพัฒนาพลังงานทดแทน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ศึกษาและสาธิตการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล ด้วยวิธีการหมักแบบไม่ใช้อากาศ โดยทำการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล เช่น ทะลายปาล์ม ทางปาล์ม ยอดอ้อย เหง้ามันสำปะหลัง และต่อซังสับประรด ศึกษาความเหมาะสมของเทคโนโลยีการหมักแบบไม่ใช้อากาศ ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล และทำต้นแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลที่มีประสิทธิภาพที่สุด ในการศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล มีการเตรียมตัวตัวอย่างโดยการบดด้วยเครื่องย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ และควบคุมน้ำหนักของชีวมวลต่างๆ คือสภาวะแห้ง เท่ากับ 25 กรัม สภาวะเปียกเท่ากับ 135 กรัม ซึ่งในการศึกษาจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นที่ 1 ศึกษาปริมาณเอนไซม์ที่เหมาะสมกับชีวมวลเพื่อใช้ย่อยเยื่อใยที่เป็นคาร์โบไฮเดรตที่อุณหภูมิปกติ โดยเอนไซม์ที่ใช้คือ Accellerase 1000 ปริมาณที่ศึกษา คือ 0.05, 0.1, 0.25 ml/g โดยมีค่าผลต่างของ COD ละลายน้ำเป็นตัวชี้วัด พบว่า ปริมาณเอนไซม์ 0.1, 0.25 ml/g ให้ค่า COD สูงที่สุดในชีวมวลที่เป็นทะลายปาล์ม และต่อซังสับประรด ขั้นที่ 2 ศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการหมักแบบไม่ใช้อากาศในการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล โดยการนำตัวอย่างจากขั้นตอนที่ 1 ปรับ pH ให้อยู่ในช่วง 6.9-7 เติมหัวเชื้อไล่อากาศด้วย $\text{N}_2:\text{CO}_2$ เท่ากับ 70:30 บันทึกปริมาณก๊าซเป็นเวลา 60 วัน พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ผลิตได้ มาจากชีวมวลคือ ทะลายปาล์ม และต่อซังสับประรด ที่ปริมาณเอนไซม์ 0.25 ml/g

นฤมล เชาวะกระโทก (เชาวะกระโทก, 2556) ทำการศึกษากาการผลิตก๊าซชีวภาพจากการใช้น้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งร่วมกับตะกอนดีแคแเตอร์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ซึ่งมีการจำลองชุดอุปกรณ์การหมักก๊าซและการตรวจวัดก๊าซชีวภาพเพื่อใช้ในการทดสอบผ่านหลักการแทนที่ด้วยน้ำ การทดสอบแบ่งเป็น 4 ส่วนการทดลองที่ 1 ศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนที่อัตราส่วนต่างๆ พบ ว่าอัตราส่วนน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง 180 ml หมักร่วมกับตะกอนดีแคแเตอร์ 10 g ที่อุณหภูมิ $35 \pm 1^\circ\text{C}$ เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุด มีศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด $0.350 \text{ LCH}_4/\text{gTCOD}_{\text{removal}}$ การทดลองที่ 2 หมักน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งเพียงอย่างเดียว โดยเวลาในการกวนเท่ากับ 24 ชั่วโมง การทดลองที่ 3 คือการหมักร่วมระหว่างน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งร่วมกับตะกอนดีแคแเตอร์เวลาในการกวน 24 ชั่วโมง สุดท้ายการทดลองที่ 4 ใช้น้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งหมักร่วมกับตะกอนดีแคแเตอร์เวลาในการกวน 12 ชั่วโมง เวลาการกักเก็บ 10, 20 และ 30 วัน ตามลำดับพบว่า การทดลองที่ 3 และใช้ระยะเวลาการกักเก็บ 20 วัน สามารถผลิตก๊าซได้ดีที่สุด โดยก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2.88 L/d มีองค์ประกอบก๊าซมีเทน 64.6% สามารถ

ผลิตก๊าซมีเทนได้สูงสุด 1.86 V/d ศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 0.292 LCH₄/gTCOD_{removal} ซึ่งมากกว่าการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง ที่เวลาถนอม 24 ชั่วโมง ถึง 3.7 เท่า ผลการประเมินทางด้านพลังงานพบว่า การหมักน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งร่วมกับตะกอนดีแคนเตอร์สามารถเปลี่ยนก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นพลังงานความร้อนได้ 19×10^9 MJ/year ซึ่งเพิ่มศักยภาพในการเปลี่ยนก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานความร้อนได้มากกว่าการหมักน้ำเสียโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็งอย่างเดียว

พาริดา พรหมมาคุณิ ณะบริพัฒน์ และปราโมทย์ ศิริโรจน์ (พรหมมา, ณะบริพัฒน์ et al., 2557) ทำการศึกษาผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์หญ้าเนเปียร์ยักษ์ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และหญ้าอาลาฟิล โดยศึกษาที่ 5 อัตราส่วนระหว่างหญ้าต่อเชื้อจุลินทรีย์ ดังนี้ 1:1, 1:2, 1:3, 2:1 และ 3:1 ปริมาตร 5 ลิตร ทำการย่อยสลายแบบแบคทีเรียได้สภาวะไม่ต้องการออกซิเจนเป็นเวลา 45 วัน โดยชุดอุปกรณ์ถังหมักที่ผ่านการออกแบบที่ขนาด 6 l และ 1.5 l บันทึกผลของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นโดยหลักการแทนที่ด้วยน้ำในทุกๆ วัน พบว่าอัตราส่วนของหญ้าต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซชีวภาพได้ดีที่สุดสำหรับหญ้าเนเปียร์ยักษ์ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง และอาลาฟิล คืออัตราส่วน 1:3, 1:2 และ มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 22.45, 26.25 และ ลิตร คิดเป็นผลผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 0.37, 0.53 และ 0.47 ลิตรก๊าซชีวภาพต่อกรัมของแข็งระเหย มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 82.8, 76.9 และ ตามลำดับจากนั้นคัดเลือกหญ้าสายพันธุ์หญ้าเนเปียร์ปากช่อง และอาลาฟิล อัตราส่วนระหว่างหญ้าต่อเชื้อจุลินทรีย์ มาทำการทดลองโดยปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างเริ่มต้นให้เท่ากันที่ ปริมาตร 1 ลิตร เป็นเวลา 36 วัน พบว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 2.46 และ 6.97 ลิตร และมีร้อยละของก๊าซมีเทนเท่ากับร้อยละ และ

Viswanath et al.(Viswanath, Sumithra Devi et al., 1992) ศึกษาการผลิตก๊าซจากเศษผลไม้ชนิดต่างๆ เช่น มะม่วง ส้ม ขนุนสับประรด กล้วยและมะเขือเทศ ใช้ถังย่อยขนาด 60 l ปริมาตรใช้งาน 45 l ถังที่ใช้เป็นถังย่อยแบบไร้อากาศที่ทำงานแบบSemi – Continuous จำนวน 5 ถังมีการถนอมผสมทุกๆ 5 วัน ทำงานที่อุณหภูมิ 30+2 องศาเซลเซียสแต่ละถังจะใส่ผลไม้ผสมกัน 4- 5 ชนิด ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบมีการใส่มูลวัวและเชื้ออีก 10% ลงในถังย่อย เมื่อครบ 4-6 สัปดาห์จึงเริ่มใส่เศษผลไม้ การทดลองออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองที่ 1 ศึกษาที่ค่า HRT ต่างๆกัน คือ 8, 12, 16, 20 และ 24วัน โดยใช้อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์คงที่ที่ 40 กก.ของแข็งระเหย/(ลบ.ม.-วัน) วิเคราะห์คุณสมบัติผลไม้แต่ละชนิดพบว่ามีความคาร์บอนทั้งหมดใกล้เคียงกันคือ 40 % หรือมากกว่า ค่าปริมาณไนโตรเจนอยู่ระหว่าง 0.5-4.0% ส่งผลให้มีค่า C/N อยู่ระหว่าง 21.3-76.5 ซึ่งค่า C/N ที่เหมาะสมต่อการเกิดปริมาณก๊าซสูงสุดอยู่ในช่วง 20-30 ดังนั้นจึงได้มีการลดปริมาณผลไม้ที่ใส่ลงไปเพื่อให้ได้ค่า C/N ที่เหมาะสม จากผลการทดลองพบว่าที่ HRT 8 วัน และ 12 วัน ค่า pH มี

สภาพเป็นกรด และที่ HRT 16, 20 และ 24 วัน มีค่า pH เท่ากับ 7 โดยที่ HRT ที่ 20 วัน ให้ปริมาณก๊าซสูง

ที่สุดคือ 0.6 ลบ.ม./(กก.ของแข็งระเหยที่เติม-วัน) การทดลองที่ 2 กำหนด HRT คงที่คือ 16 วัน และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ คือ 40, 60, 80 และ 100 กก.ของแข็งระเหย/(ลบ.ม-วัน) ใช้ถังทั้งหมด 4 ถัง พบว่าที่อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 40 กก.ของแข็งระเหย/(ลบ.ม-วัน) ให้ผลดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์อื่นๆ โดยเกิดมีเทนมากที่สุดคือ 53% การทดลองที่ 3 เป็นการศึกษาการผลิตก๊าซโดยตรวจวัดเป็นรายชั่วโมง ใช้ค่า HRT ที่ 16, 20 และ 24 วัน มีอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ 40 กก.ของแข็งระเหย/(ลบ.ม-วัน) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณการผลิตก๊าซเกิดสูงสุดในช่วง 4 ชั่วโมงแรกหลังจากใส่เศษผลไม้ลงไปในถัง และพบว่า 60% ของก๊าซเกิดขึ้นในช่วง 12 ชั่วโมงแรก จากการเปรียบเทียบระหว่างค่า HRT ต่างๆ พบว่าที่ HRT 16 วัน ผลิตก๊าซได้ถึง 74.5% ของก๊าซชีวภาพ ซึ่งมากกว่าที่ HRT 24 วันซึ่งผลิตได้เพียง 59.03% ของก๊าซชีวภาพ

ลาแพน หล้าคำมี (หล้าคำมี, 2553) ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้มูลสุกรเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นแบบกะและแบบกึ่งกะ เริ่มต้นการทดลองโดยทำการปรับสภาพทะเลลายปาล์มเปล่าด้วยสารละลายการหมักทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้น้ำมูลสุกรเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นแบบกะและแบบกึ่งกะ โดยการผลิตก๊าซชีวภาพแบบกะเป็นเวลา 12 วันพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม 937 ml ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ย 78.08 ml/d สำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพแบบกึ่งกะที่ปริมาณสารตั้งต้นต่างๆกัน คือ 25, 40, 45 และ 70 g ของน้ำหนักแห้ง หมักเป็นเวลา 12 วัน พบว่าการผลิตก๊าซชีวภาพจากทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้น้ำมูลสุกรเป็นหัวเชื้อเริ่มต้นแบบกึ่งกะ สามารถผลิตก๊าซได้ดีกว่าแบบกะ โดยการหมักแบบกึ่งกะที่ปริมาณสารตั้งต้น 70 g ของน้ำหนักแห้ง ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยและปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสูงกว่าชุดตัวอย่างอื่น โดยมีค่าก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 105.67 ml/d และปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 1268 ml

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยการออกแบบและจำลองถังหมักการย่อยสลายแบบไร้อากาศมีระบบการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมโดยการแทนที่น้ำ ขนาด 1.2 ลิตร อุณหภูมิในการทดลองคือ 35 ± 2 °C ดำเนินการทดลอง ณ อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ

การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับปะรด โดยใช้จุลินทรีย์จากตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว

การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้สัดส่วนที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดจากผลการทดลองส่วนที่ 1 ทำการศึกษาหาปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่เป็นไปได้โดยผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่อง

3.2 เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมี

3.2.1 ถังหมัก

งานวิจัยนี้มีการออกแบบถังหมัก (Digester) เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งประกอบด้วย

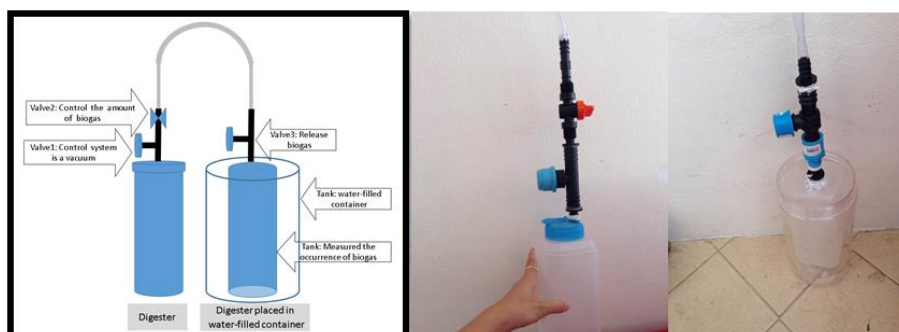
- ขวดพลาสติก (Plastic) ขนาด 1.2 ลิ
- สายยาง ความยาว 1 m.
- ถังพลาสติก
- วาล์วพลาสติก
- ซิลิโคน

3.2.1.1 การออกแบบและวิธีการใช้งานถังหมักและชุดวัดก๊าซชีวภาพ (พรหมมา, ธนะบริพัทธ์ et al., 2557)

- ถังหมักก๊าซชีวภาพประกอบขึ้นจากขวดพลาสติกขนาด 1.2 ลิ ด้านบนฝาขวดซึ่งสามารถถอดเปิดปิดได้มีการเจาะรูเชื่อมต่อและวาล์ว โดยวาล์วที่หนึ่งเป็นทางออกเพื่อใช้ไล่อากาศทำให้ถังเป็น

สูญญากาศ วาล์วที่สองทำหน้าที่ควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพ จากนั้นเชื่อมด้วยท่อพลาสติกใสความยาว 1m เพื่อเป็นทางเดินของก๊าซชีวภาพสู่ชุดถังหมัก ดังรูปที่ 3.1

- ชุดวัดก๊าซชีวภาพสะสม (Hills and Roberts, 1981) ประกอบด้วยขวดน้ำพลาสติกขนาด 1.2 l เจาะรูที่ทำยวบเพื่อรองรับก๊าซที่มาจากถังหมัก มีการติดตั้งวาล์วที่ช่องทางออกท้ายขวดเพื่อเป็นทางออกของก๊าซในกรณีที่ระบบมีก๊าซสะสมอยู่ในปริมาณมากจำเป็นต้องปล่อยก๊าซส่วนที่วัดแล้วออก เพื่อเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นใหม่ ขวดพลาสติก นี้จะถูกลวางอยู่ในถังน้ำที่มีการบรรจุน้ำ ดังรูปที่ 3.1



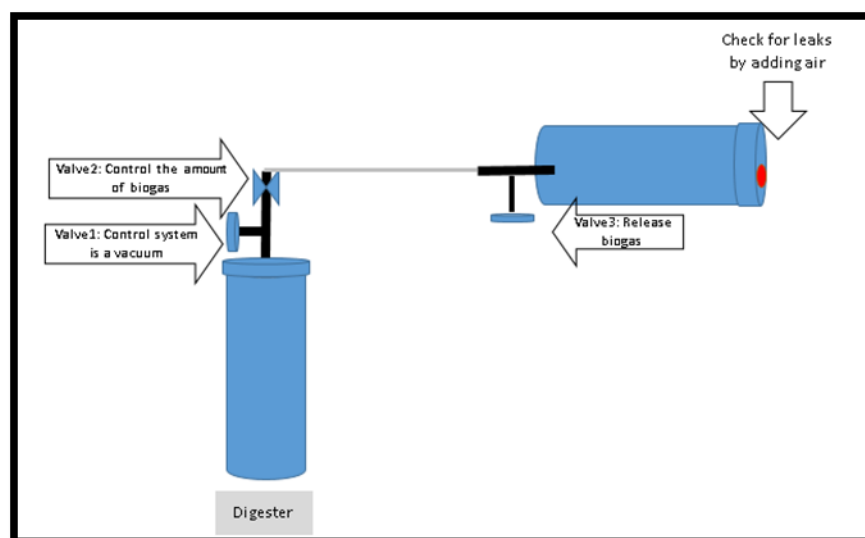
รูป 3.1 แบบจำลองชุดหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

- วิธีการใช้งานถังหมักและชุดวัดก๊าซชีวภาพ วัตถุประสงค์ที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมเรียบร้อยแล้วจะถูกบรรจุในถังหมักก๊าซชีวภาพ ปิดฝาให้สนิทและปิดรอยร้าวอีกครั้งด้วยการซิลิโคน (Silicone) ใส่ชุดวัดก๊าซลงในถังพลาสติกที่มีการบรรจุน้ำปริมาณ 1.2 l เปิดวาล์วที่หนึ่งเหนือถังหมักเพื่อทำให้ระบบเป็นสูญญากาศ เมื่อได้สภาวะที่ต้องการปิดวาล์วที่หนึ่ง ทำการปิดรอยต่อต่างๆอีกครั้งด้วยการซิลิโคน ศึกษาสังเกตการเกิดก๊าซชีวภาพในทุกๆวัน การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะพบเมื่อก๊าซเคลื่อนมาที่ชุดวัดก๊าซแล้วทำให้ขวดพลาสติกในถังเกิดการลอยตัวขึ้นจากระดับน้ำ ทำการอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงของระดับดังกล่าว

3.2.1.2 การตรวจสอบรอยรั่วของระบบหมักก๊าซชีวภาพ

- ทดสอบรอยรั่วของชุดอุปกรณ์ถังหมัก (เซาะกระโตน, 2556) โดยต่อชุดอุปกรณ์ในส่วนของถังหมักปิดวาล์วทุกตัวให้สนิทและปิดด้วยซิลิโคนอีกครั้ง ปลายอีกด้านของสายยางต่อเข้ากับชุดเป่าลม

แสดงดังรูปที่ 3.2 ใช้น้ำสบู่ทาบริเวณสายยางและข้อต่อต่างๆ อัดลมผ่านสายยาง ตรวจสอบรอยรั่วโดยการสังเกตว่าเกิดฟองอากาศปรากฏขึ้นที่ตำแหน่งใดหรือไม่ หากมีฟองอากาศเกิดขึ้นที่จุดใดต้องทำการอุดรอยรั่วด้วยกาวร้อนและซิลิโคน



รูป 3.2 แบบจำลองการทดสอบรอยรั่วของอุปกรณ์

- ทดสอบสถานะที่เหมาะสมในการทดลองโดยใช้ชุดหมักที่ผ่านการตรวจรอยรั่ว จนได้สถานะที่เหมาะสม พบว่าชุดหมักมีประสิทธิภาพรองรับการหมักก๊าซ โดยพิจารณาจากเมื่อทำการทดสอบยืนยันสถานะที่แน่นอน ผลการทดสอบให้ค่าที่สม่ำเสมอ

3.2.2 อุปกรณ์อื่นๆ

- เครื่องวัดค่าซีโอดี (COD) โดยระบบ Closed reflux, colorimetric method
- อุปกรณ์วัดพีเอช (pH)
 - พีเอช มิเตอร์, กระดาษลิตมัส
- ตาชั่ง
- ตู้อบปรับอุณหภูมิได้ 150°C
- เตาเผาที่อุณหภูมิ 550°C
- เครื่องปั่นน้ำผลไม้ Philips รุ่นHR2108/03 กำลังไฟ 400 วัตต์

- สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3)

3.3 วัตถุดิบและการเตรียมวัตถุดิบ

3.3.1. เปลือกสับประรด (Pineapple peel) และแกนสับประรด (Pineapple pulp)

เปลือก และแกนสับประรดคือส่วนเหลือทิ้งของสับประรดที่มาจากโรงอาหารแปรรูปสับประรด เปลือกสับประรดลักษณะเป็นแผ่นมีความหนาที่ใกล้เคียงกัน แกนสับประรดลักษณะเป็นทรงกระบอก ลักษณะดังกล่าวของเปลือกและแกนสับประรด แสดงดังรูปที่ 3.3



รูป 3.3 เปลือกสับประรดและแกนสับประรดจากโรงงานแปรรูปสับประรดกระป๋อง

3.3.2. ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

- เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ เป็นกากตะกอนของเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศถังกวนสมบูรณ์ (Completely stirred tank reactor, CSTR) โรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม บริษัท อีสเทิร์นปาล์มมอย จำกัด จังหวัดชลบุรี ประเทศไทย

- กระบวนการจัดเก็บตัวอย่าง โดยการเปิดวาล์วดูดตะกอนจากก้นบ่อ CSTR ตะกอนไหลผ่านท่อสู่ถังขนาด 20 ลิตร จากนั้นทำการปิดฝาถัง ซึ่งถังดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำมาใช้ในการทดลอง ลักษณะตะกอนจุลินทรีย์เป็นตะกอนน้ำขุ่น สีน้ำตาลแดง

3.3.3 การเตรียมสารตั้งต้น

3.3.3.1 การปรับขนาดเปลือกและแกนสับประรด

โดยใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ Philips รุ่นHR2108/03 กำลังไฟ 400 วัตต์ ที่รอบเบอร์ 1 เป็นเวลา 1 นาที ซึ่งลักษณะของวัตถุดิบหลังจากปรับขนาดแสดงดังรูปที่ 3.4



รูป 3.4 เปลือกและแกนสับปะรดหลังปรับสภาพเพื่อเข้าสู่กระบวนการหมัก

3.3.3.2 การปรับสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

โดยเติมโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต (NaHCO_3) จำนวน 5.25 g ผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ในปริมาณ 1,000 ml คนให้เข้ากันเพื่อใช้เป็นสารจุลินทรีย์ตั้งต้นในการหมัก จากนั้นนำไปผสมรวมกับเปลือกและแกนสับปะรดตามอัตราส่วนต่างๆ

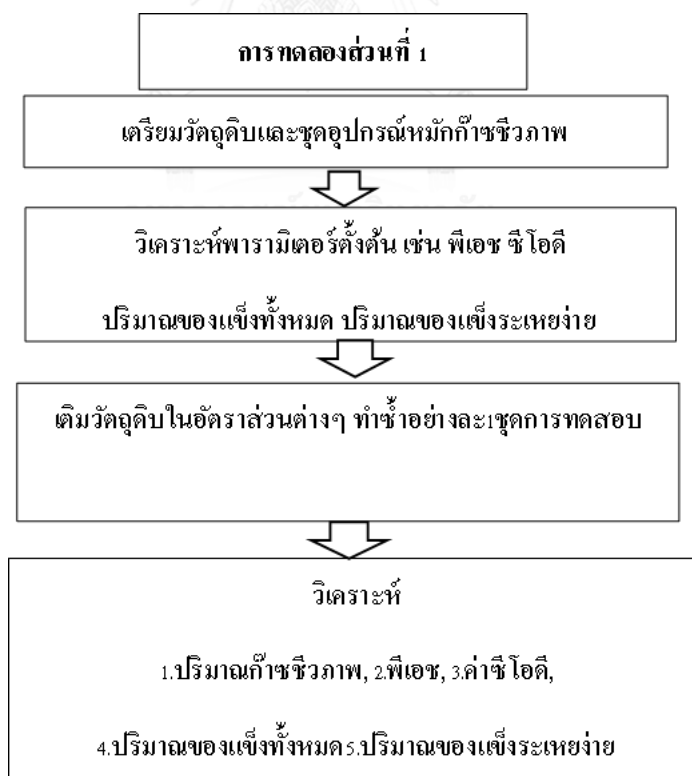
3.4 การทดลองส่วนที่ 1

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับปะรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเดิมวัดฤดูบครั้งเดียว

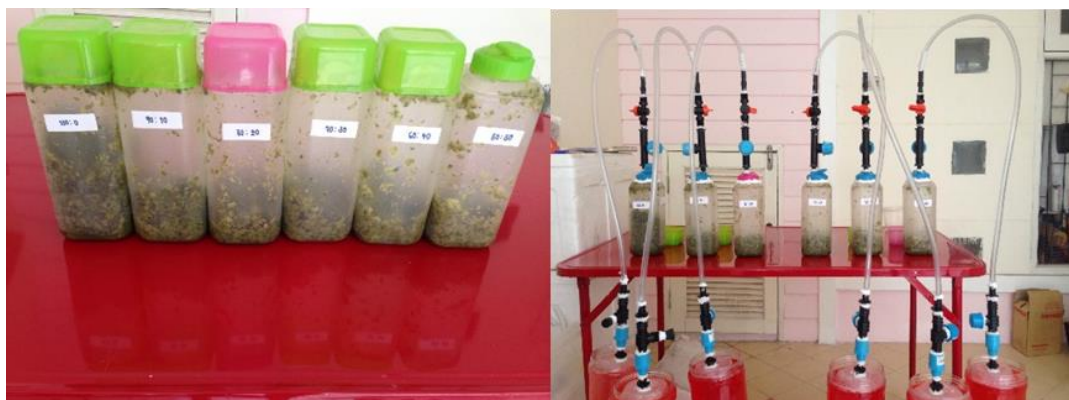
เริ่มต้นจากการผสมเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรดในสัดส่วน 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50: 50 จำนวน 5 gVS โดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด ระยะเวลาการศึกษา 20 วัน (Bouallagui, Ben Cheikh et al., 2003) บรรจุลงถังหมักขนาด 1.2 l สัดส่วนละ 2 ขวด โดยปริมาณวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 3.1 ปิดฝาภาชนะเขย่าเป็นจำนวน 30 รอบในทุกขวดการทดลอง นำถังหมักต่อเข้ากับชุดวัดก๊าซ ขณะทำการต่อเปิดวาล์วเพื่อปรับความดันในถังหมัก เมื่อได้สถานะที่ต้องการทำการปิดวาล์วทุกตัว ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำทำให้ชุดวัดก๊าซลอยตัวขึ้น อ่านและทำการบันทึกค่าทุก 24 ชั่วโมง โดยลำดับขั้นตอนการทดลองแสดงดังรูปที่ 3.5 และรูปแสดงการทดลองในส่วนที่ 1 แสดงดังรูปที่ 3.6

ตาราง 3.1 ปริมาณวัตถุติดในการทดลองที่ 1

ตัวอย่าง ที่	สัดส่วนระหว่าง เปลือกสับปะรด และแกน สับปะรด	ปริมาณการ เติมเปลือก สับปะรด (gVS)	ปริมาณการ เติมแกน สับปะรด (gVS)	ปริมาณการ เติมวัตถุติด ทั้งหมด (gVS)	ปริมาณการ เติมตะกอน จุลินทรีย์ (%/weight)
1	100:0	5	0	5	10
2	90:10	4.5	0.5	5	10
3	80:20	4	1	5	10
4	70:30	3.5	1.5	5	10
5	60:40	3	2	5	10
6	50:50	2.5	2.5	5	10
Blank	-	-	-	-	10



รูป 3.5 แสดงขั้นตอนการทดลองของส่วนที่ 1



รูป 3.6 การเตรียมวัตถุดิบ และการเดินระบบการทดลองส่วนที่ 1

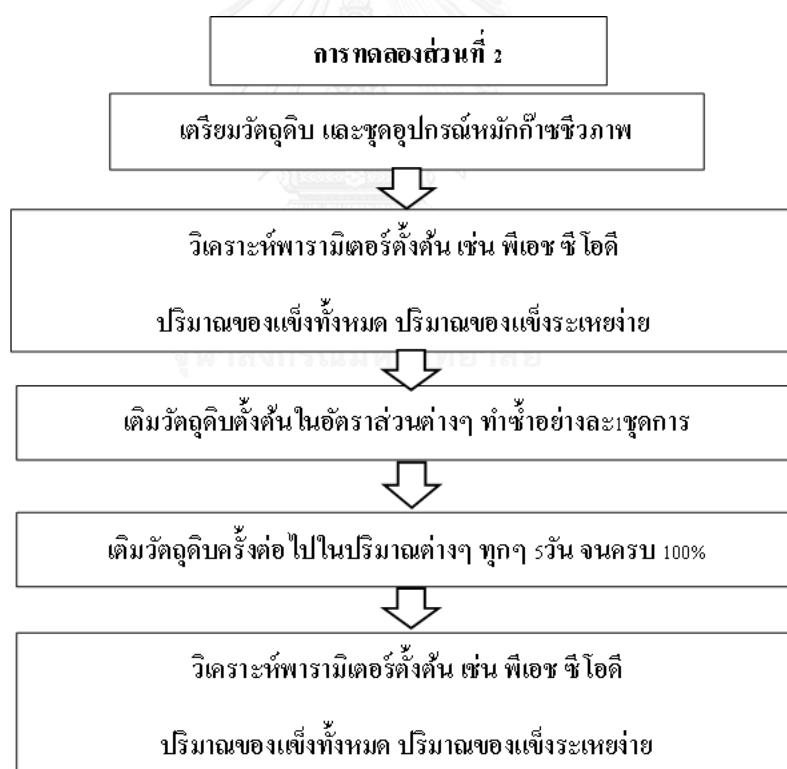
3.5 การทดลองส่วนที่ 2

เป็นการศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่ผลิตได้ ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบกึ่งต่อเนื่อง (Fed batch) โดยนำอัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกและแกนสับปะรดที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูงสุดจากการทดลองส่วนที่ 1

ศึกษาโดยการนำผลการทดลองส่วนที่ 1 ซึ่งได้สัดส่วนที่เหมาะสมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด ทดลองหมักแบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่อง ใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด โดยมีการเติมวัตถุดิบในครั้งแรก และเติมทุกๆ 5 วัน ในปริมาณที่แตกต่างกันซึ่งระยะเวลาการศึกษา คือ 20 วัน (Bouallagui, Ben Cheikh et al., 2003) โดยวัตถุดิบถูกบรรจุลงถังหมักขนาด 1.2 ลิ สัดส่วนละ 2 ขวด ปริมาณวัตถุดิบแสดงดังตารางที่ 3.2 ปิดฝาภาชนะเขย่าเป็นจำนวน 30 รอบในทุกขบวนการทดลอง นำถังหมักต่อเข้ากับชุดวัดก๊าซ ขณะทำการต่อเปิดวาล์วเพื่อปรับความดันในถังหมัก เมื่อได้สภาวะที่ต้องการทำการปิดวาล์วทุกตัว ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นซึ่งมีความหนาแน่นน้อยกว่าน้ำทำให้ชุดวัดก๊าซลอยตัวขึ้น อ่านและทำการบันทึกค่าทุก 24 ชั่วโมง แผนผังขั้นตอนการทดลองในส่วนที่ 2 แสดงดังรูปที่ 3.7

ตาราง 3.2 ปริมาณวัตถุดิบการทดลองส่วนที่ 2

ปริมาณสารตั้งต้น	ปริมาณการเติม	No. Reactor	Day
30%	124.5/96.83	1	20
		2	20
60%	249/55.33	3	20
		4	20
80%	332/27.7	5	20
		6	20



รูป 3.7 แสดงขั้นตอนการทดลองของส่วนที่ 2

3.6 ตัวแปรในการศึกษาวิจัย

3.6.1 พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีค่าคงที่

- 1 น้ำหนักแห้งของวัตถุดิบ 5 gVS
- 2 ตะกอนจุลินทรีย์ ปริมาณ 10%โดยน้ำหนักของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด
- 3 ถังหมักขนาด 1.2 l
- 4 ถังวัดก๊าซขนาด 1.2 l
- 5 อุณหภูมิในการทดลอง $35 \pm 2^{\circ}\text{C}$
- 6 เขย่าถังหมักเพื่อการเข้ากันของวัตถุดิบวันละ 1 ครั้ง จำนวน 30 รอบ

3.6.2 พารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาวิจัย

1. การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับปะรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50: 50
2. การทดลองส่วนที่ 2 ศึกษาปริมาณการเติมวัตถุดิบในครั้งแรกและเติมทุกๆ 5 วันในอัตราส่วนที่ต่างกัน

3.6.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์

เปลือกสับปะรดและแกนสับปะรดนั้นมีการวิเคราะห์คุณสมบัติทั้งทางกายภาพและทางเคมี โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์คือ พีเอช ซีโอดี ปริมาณของแข็งระเหยง่าย ปริมาณของแข็งทั้งหมด ซึ่งวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์มีดังนี้

- ค่าพีเอช (pH)
- ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total solid)
- ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (Volatile solid: VS)
- ซีโอดีทั้งหมด (Total chemical oxygen demand: TCOD)

3.6.4 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์

3.6.4.1 วิธีการวิเคราะห์ปริมาณของแข็งทั้งหมด (% Total solid content), ของแข็งที่ระเหยได้ (% Volatile solid content) ((นนทบุรี), 2554)

1. ทำการอบครุชชีเบิ้ลที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ครอบคลุมเวลาที่ทิ้งให้เย็นภายในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 15-30 นาที ชั่งน้ำหนักครุชชีเบิ้ล

2. ชั่งตัวอย่างลงในครุชชีเบิ้ล บันทึกน้ำหนัก นำไปอบที่อุณหภูมิ 103°C เวลา 1 ชั่วโมง ครอบคลุมเวลาที่ทิ้งให้เย็นภายในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 15-30 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมครุชชีเบิ้ลหลังการอบ

3. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 °C เป็นเวลา 20 นาที ครอบคลุมเวลาที่ทิ้งให้เย็นภายในเดซิเคเตอร์ ประมาณ 15-30 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างพร้อมครุชชีเบิ้ลหลังการเผา ดังสมการ 3.1 และ 3.2

$$\text{ปริมาณของแข็งทั้งหมด(\% Total solid content)} = (Y \times 100) / XZ \quad \text{————— (3.1)}$$

$$\text{ปริมาณของแข็งที่ระเหยได้(\% Volatile solid content)} = ((Y-Z) \times 100) / X \quad \text{————— (3.2)}$$

เมื่อ X=น้ำหนักตัวอย่าง

Y= น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ

Z= น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา

3.6.4.2 วิธีการวิเคราะห์ค่าซีไอดีโดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด/การติเตรต

ซึ่งมีหลักการวิเคราะห์คือ ใช้โพแทสเซียมไดโครเมต (Potassium Dichromate; $K_2Cr_2O_7$) เป็นตัวออกซิไดส์ (Oxidizing Agent) ในสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่มีซิลเวอร์ซัลเฟสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในสภาวะที่ร้อนและมีความเป็นกรดสูง สารผสมระหว่างกรดโครมิกและกรดซัลฟิวริกจะออกซิไดส์สารประกอบอินทรีย์ในสารละลาย ซึ่งการวิเคราะห์ค่าซีไอดีนี้ทำได้โดยการหาปริมาณของโพแทสเซียมไดโครเมตที่ใช้ในการย่อยสารอินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่างแล้วคำนวณเทียบเป็นปริมาณออกซิเจน

โพแทสเซียมไดโครเมตที่ทราบปริมาณและความเข้มข้นที่แน่นอนจะถูกเติมลงในน้ำตัวอย่างในปริมาณที่มากเกินไปแต่ทราบปริมาณที่แน่นอน หลังจากการรีฟลักซ์ตัวอย่างที่ 150°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โพแทสเซียมไดโครเมตที่เหลือในสารละลายหลังจากการรีฟลักซ์หาได้โดยการติเตรตกับ สารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต (Standard Ferrous Ammonium Sulfate Solution) โดยใช้เฟอโรอิน (Ferroun) เป็นอินดิเคเตอร์

การคำนวณหาซีไอดี ดังสมการที่ 3.3

$$\text{COD} = (A-B)(8000M)/C \quad (3.3)$$

A = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการติเตรตแบบลงค์

B = ปริมาตรของสารละลายเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตที่ใช้ในการติเตรตตัวอย่าง

M = ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานเฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต

C = ปริมาตรตัวอย่างที่ใช้



บทที่ 4

วิเคราะห์และอภิปรายผลการทดลอง

4.1 การตรวจสอบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ

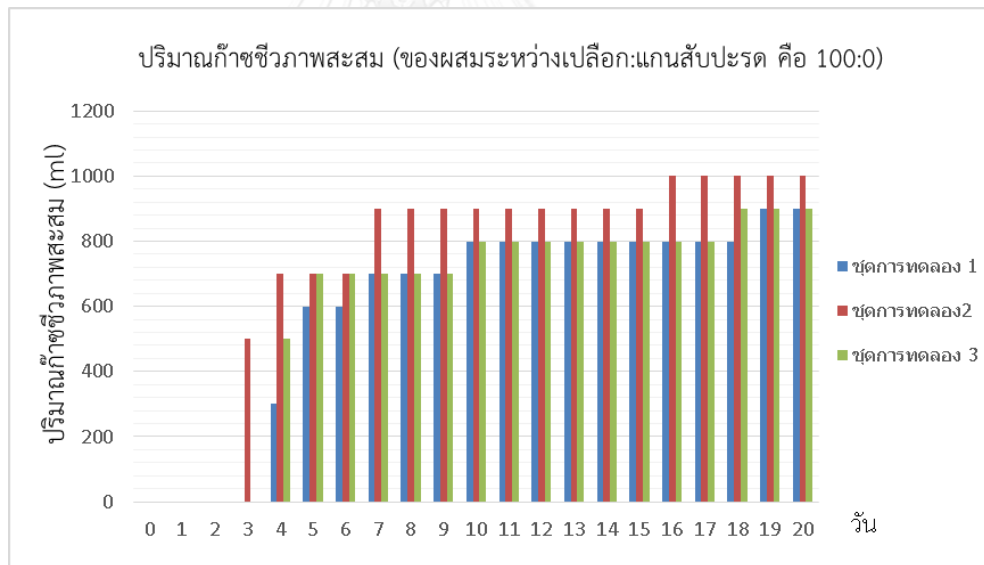
ในการวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาชุดอุปกรณ์เพื่อใช้ในการวิจัย ซึ่งมีการพัฒนาในหลายลำดับขั้นตอนเพื่อให้ใช้งานได้มีประสิทธิภาพและแม่นยำ โดยชุดอุปกรณ์และผลการทดสอบสามารถแบ่งได้ดังนี้

4.1.1 ชุดอุปกรณ์การหมักที่ 1

การออกแบบและจำลองผลิตก๊าซชีวภาพประกอบด้วยถังหมักขนาด 1.2 ลิตร พลาสติกในการนำพากล้าชขนาดความยาว 1m ชุดวัดก๊าซชีวภาพอันได้แก่ ถังสำหรับวัดก๊าซขนาด 1.2 ลิตร และถังบรรจุน้ำ แสดงดังรูป 4.1 หลังจากออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์มีการดำเนินการทดสอบบรยรั้วโดยต่อชุดอุปกรณ์ในส่วนของถังหมักปิดวาล์วทุกตัวให้สนิทและปิดด้วยซิลิโคนอีกครั้ง ปลายอีกด้านของสายยางต่อเข้ากับชุดเป่าลม ใช้น้ำสบู่ทาบริเวณสายยางและข้อต่อต่างๆอัดลมผ่านสายยาง ตรวจสอบบรยรั้วโดยการสังเกตว่าเกิดฟองอากาศปรากฏขึ้นที่ตำแหน่งใดหรือไม่ (เซาะกระโถน, 2556) และทำการหมักของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับประรด แบบการเติมวัตถุดิบครั้งเดียว เพื่อทดสอบระบบการหมักแบบไร้อากาศ การทดลองใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับประรด คือ 100:0 และ 50:50 จำนวน 5gVS ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด ทำการทดลองเป็นเวลา 20 วัน จำนวน 3 ตัวอย่าง การทดลองวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากสัดส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับประรด 100:0 พบว่าใช้เวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพและตรวจวัดได้ในครั้งแรกคือวันที่ 3 และ 4 สามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ตามกำหนดระยะเวลาในการทดสอบ โดยปริมาณที่ตรวจวัดได้ของชุดการทดลองที่ 1, 2 และ 3 คือ 900, 1,000 และ 900 ตามลำดับ กรณีผลการทดลองสัดส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับประรด 50:50 ผลการทดลองพบว่าใช้เวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพและตรวจวัดได้ในครั้งแรกคือ 1 วัน หลังจากทำการหมักซึ่งสามารถตรวจวัดก๊าซได้ทุกๆวัน กระทั่งวันที่ 4 และ 3 ของชุดการทดลองที่ 1 และ 2, 3 ตามลำดับ พบว่าเกิดเหตุการณ์ก๊าซล้นจากชุดอุปกรณ์การวัดทำให้ไม่สามารถตรวจวัดก๊าซในกำหนดระยะเวลา 20 วัน ซึ่งผลการทดลองวัดก๊าซชีวภาพแสดงดังรูปที่ 4.2-4.3

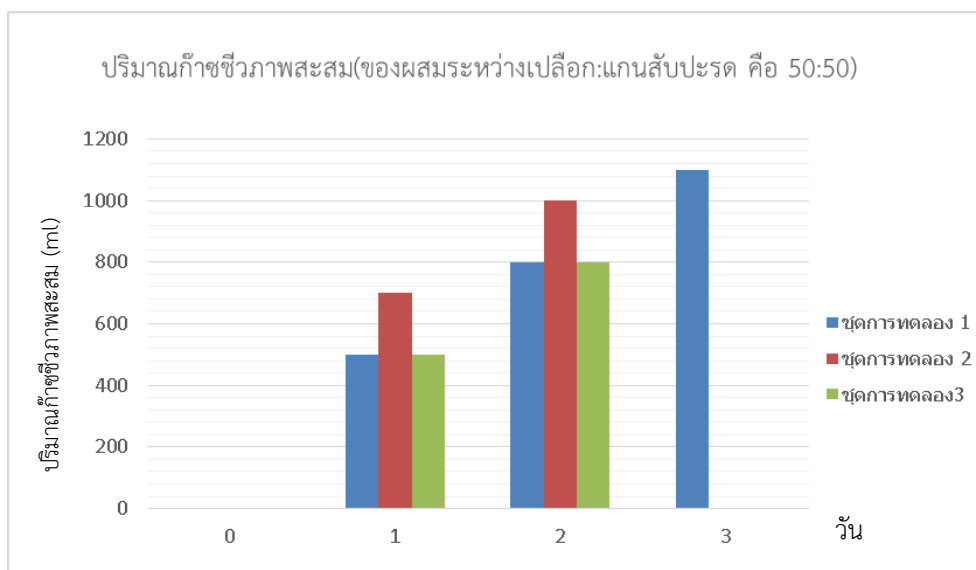


รูป 4.1 ชุดอุปกรณ์การหมักที่ 1



รูป 4.2 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 1

(ของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด เท่ากับ 100:0)

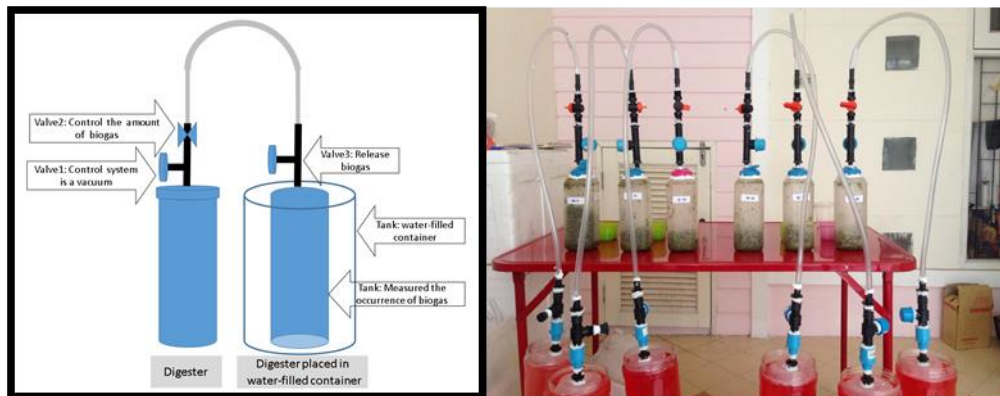


4.3 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 1
(ของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด เท่ากับ 50:50)

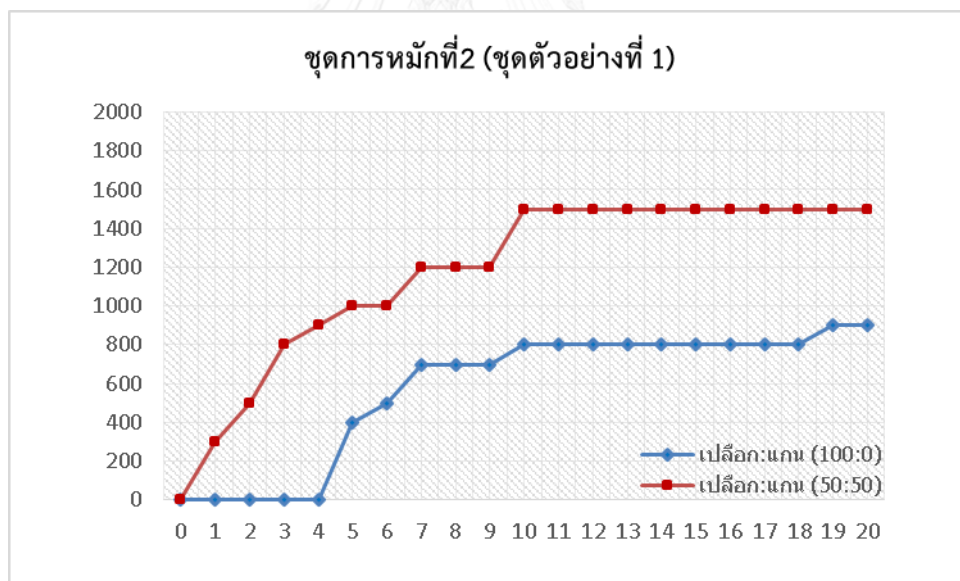
4.1.2 ชุดอุปกรณ์การหมักที่ 2

พัฒนาจากชุดอุปกรณ์การหมักที่ 1 โดยการต่ออุปกรณ์จำพวกวาล์วเพิ่มเติมเพื่อใช้ในการควบคุมระบบดังนี้ วาล์วที่ 1 ต่อเข้ากับถังหมักก๊าซชีวภาพ เพื่อใช้ในการเซ็่ระบบก่อนเริ่มการหมักให้ระบบอยู่ในสภาวะสูญญากาศ วาล์วที่ 2 เป็นส่วนหนึ่งของถังหมักก๊าซชีวภาพ โดยตำแหน่งที่ติดตั้งจะอยู่เหนือวาล์วที่ 1 มีหน้าที่ควบคุมปริมาณก๊าซชีวภาพที่ออกจากถังหมักก๊าซชีวภาพ วาล์วที่ 3 ต่อเข้ากับชุดวัดก๊าซชีวภาพ ตำแหน่งเหนือถังวัดทำหน้าที่เป็นทางออกของก๊าซในกรณีที่ระบบมีก๊าซสะสมอยู่ในปริมาณมากจำเป็นต้องปล่อยก๊าซส่วนที่วัดแล้วออกไปสู่บรรยากาศ เพื่อเก็บก๊าซที่เกิดขึ้นใหม่ซึ่งรูปแบบของการพัฒนาอุปกรณ์แสดงดังรูปที่ 4.4 หลังจากจำลองอุปกรณ์มีการดำเนินการทดสอบบรยรั้วโดยต่อชุดอุปกรณ์เข้ากับชุดเป่าลม ใช้น้ำสบู่ทาบริเวณสายยางและข้อต่อต่างๆอัดลมผ่านสายยางตรวจสอบบรยรั้วโดยการสังเกตว่าเกิดฟองอากาศปรากฏขึ้นที่ตำแหน่งใด (เชาจะกระโทน, 2556) และทำการหมักของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด แบบการเติมวัตถุดิบครั้งเดียว เพื่อทดสอบระบบการหมักแบบไร้อากาศ การทดลองใช้อัตราส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด คือ 100:0 และ 50:50 จำนวน 5 gVS ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด ทำการทดลองเป็นเวลา 20 วัน จำนวน 3 ชุดตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่า ทั้ง 3 ชุดตัวอย่าง สามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพได้ดังนี้ อัตราส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด คือ 100:0 และ 50:50 สำหรับชุดตัวอย่างที่ 1 สามารถตรวจวัดก๊าซได้วันที่ 5 และวันที่ 1 หลังจากเริ่มผลิตอุปกรณ์สามารถตรวจวัดก๊าซได้ทุกวัน กระทบ 20 วันวัดได้ 900 ml และ 1,500 ml ตามลำดับ ชุดตัวอย่างที่ 2 สามารถตรวจวัดก๊าซได้วันที่ 2 และวันที่ 1 หลังจากเริ่มผลิต

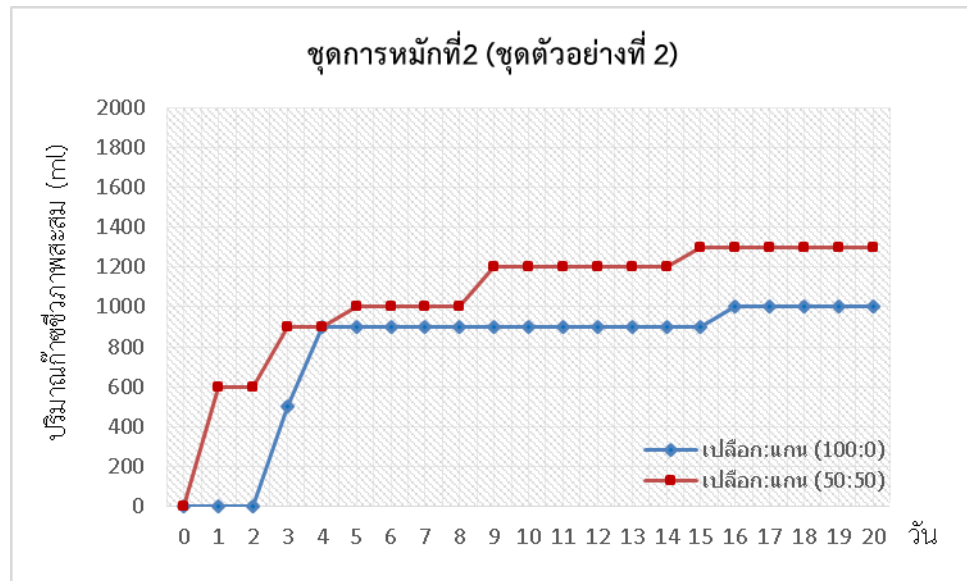
อุปกรณ์สามารถตรวจวัดก๊าซได้ทุกวัน กระทั่งครบ 20 วันวัดได้ 1,000 ml และ 1,300 ml ตามลำดับ และชุดตัวอย่างที่ 3 สามารถตรวจวัดก๊าซได้วันที่ 3 และวันที่ 1 หลังจากเริ่มผลิต อุปกรณ์สามารถตรวจวัดก๊าซได้ทุกวัน กระทั่งครบ 20 วันวัดได้ 1,000 ml และ 1,300 ml ตามลำดับ ผลการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพจากชุดอุปกรณ์ที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.5-4.7



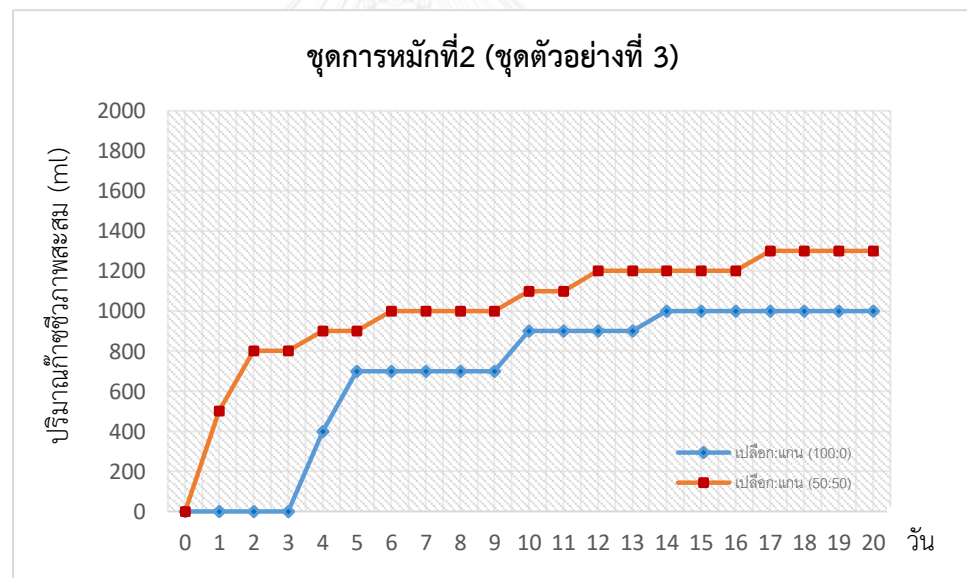
รูป 4.4 แสดงแบบจำลองของชุดอุปกรณ์ที่ 2



รูป 4.5 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 2 (ชุดตัวอย่างที่ 1)



รูป 4.6 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 2 (ชุดตัวอย่างที่ 2)



รูป 4.7 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมจากการทดสอบอุปกรณ์การหมักที่ 2 (ชุดตัวอย่างที่ 3)

4.2 คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง

วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเปลือกสับปรดพบว่า มีลักษณะแข็งสีเขียวเข้มสลับกับสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะทางด้านกายภาพของแกนสับปรดพบว่า มีความแข็งมากกว่าส่วนเนื้อสีเหลือง มีองค์ประกอบของน้ำอยู่ในปริมาณค่อนข้างมากกว่าเปลือกสับปรด ในการปรับสภาพทางกายภาพ

โดยการปั่นให้มีขนาดเล็กลงเป็นการช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสระหว่างวัตถุดิบและเชื้อตะกอนจุลินทรีย์

4.2.1 เปลือกสับปะรด (Pineapple peel)

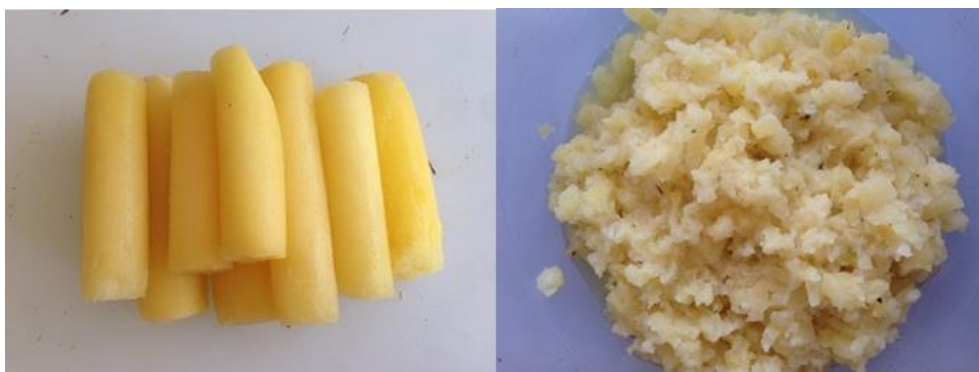
ลักษณะทางกายภาพของเปลือกสับปะรดก่อนการปรับสภาพคือ เป็นแผ่นลักษณะสีเหลืองผืนผ้าที่มีสีเขียวสลับกับสีน้ำตาลของส่วนที่เป็นตาสับปะรด เมื่อผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและทางเคมี แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS) มีค่า 12.15% , ปริมาณของแข็งระเหยง่าย(VS) มีค่า 11.30% เมื่อคิดเป็นสัดส่วนระหว่าง(TS/VS) มีค่าเท่ากับ 93% ลักษณะเปลือกสับปะรดในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.8



รูป 4.8 ลักษณะเปลือกสับปะรดที่ใช้ในการทดลอง

4.2.2 แกนสับปะรด (Pineapple pulp)

ลักษณะทางกายภาพของแกนสับปะรดก่อนการปรับสภาพคือ เป็นแท่งทรงกระบอกมีความแข็งมากกว่าส่วนเนื้อสีเหลือง มีองค์ประกอบของน้ำอยู่ในปริมาณค่อนข้างมากกว่าเปลือกสับปะรด เมื่อผ่านการปรับสภาพทางกายภาพและทางเคมี แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะทางเคมีพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) มีค่า 7.83% , ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) มีค่า 7.65% คิดเป็นสัดส่วนระหว่าง (TS/VS) เท่ากับ 98% ลักษณะแกนสับปะรดในการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.9



รูป 4.9 ลักษณะแกนสับปะรดที่ใช้ในการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะทางกายภาพของเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด พบว่าเปลือกสับปะรดมีความแข็งกว่าแกนสับปะรด และมีองค์ประกอบในส่วนที่เป็นน้ำน้อยกว่าแกนสับปะรด โดยพิจารณาจากสัดส่วนระหว่าง (TS/VS) ของเปลือกสับปะรดมีค่า 93% และแกนสับปะรดมีค่า 98% โดยมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชื้นของเปลือกสับปะรดที่ 86.9% และแกนสับปะรดคือ 90.89% (Namsree, Suvajittanont et al., 2012)

4.2.3 ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ

ลักษณะทางกายภาพของเชื้อจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ CSTR ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบพบว่า เชื้อจุลินทรีย์มีสีน้ำตาลดำ เป็นตะกอนชั้น มีกลิ่นเหม็นก๊าซไข่เน่า ซึ่งเป็นกลิ่นของไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อตั้งต้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) เมื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีพบว่า ค่าของแข็งแขวนลอย (SS) เท่ากับ 34,700 mg/L และค่าของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย (VSS) เท่ากับ 25,400 mg/L คิดเป็นสัดส่วนระหว่าง SS/VSS เท่ากับ 73.20% แสดงว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบจำนวนมาก มีค่าความเป็นกรดต่างเฉลี่ยอยู่ที่ 7.6 ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซมีเทนอยู่ที่ 5.0-8.0 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ดังนั้นจึงสามารถนำเชื้อจุลินทรีย์นี้มาใช้ในการทดลอง คุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 แสดงลักษณะทางเคมีของวัตถุดิบ

พารามิเตอร์	หน่วย	เปลือก สับปะรด	แกน สับปะรด	เชื้อจุลินทรีย์
ค่าพีเอช	-	4-5	4-5	7.5-8
ค่าของแข็งทั้งหมด (TS)	g/100g	12.15	7.83	-
ค่าของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (TVS)	g/100g	11.30	7.65	-
ค่าของแข็งแขวนลอย (SS)	mg/L	-	-	34,700
ค่าของแข็งแขวนลอยระเหย ง่ายทั้งหมด (VSS)	mg/L	-	-	25,400
TVS/TS	%	93	98	-
VSS/SS	%	-	-	73.20

4. 3 ผลการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกสับปะรดร่วมกับแกนสับปะรด โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ มีตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ CSTR เป็นจุลินทรีย์ตั้งต้นในการหมัก การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ส่วนการทดลอง คือ การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับปะรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว การทดลองที่ 2 ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้สัดส่วนที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด จากผลการทดลองส่วนที่ 1 ทำการศึกษาหาปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่เป็นไปได้โดยผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่อง

4.3.1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับปะรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว

การหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด ในอัตราส่วนต่างๆ คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ จำนวน 5 gVS ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด ทำการทดลอง

เป็นเวลา 20 วัน จำนวน 2 ชุดการทดลอง ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบ ได้แก่ ค่าพีเอช, ค่าซีไอดี, ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย, ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน ผลการทดลองดังนี้

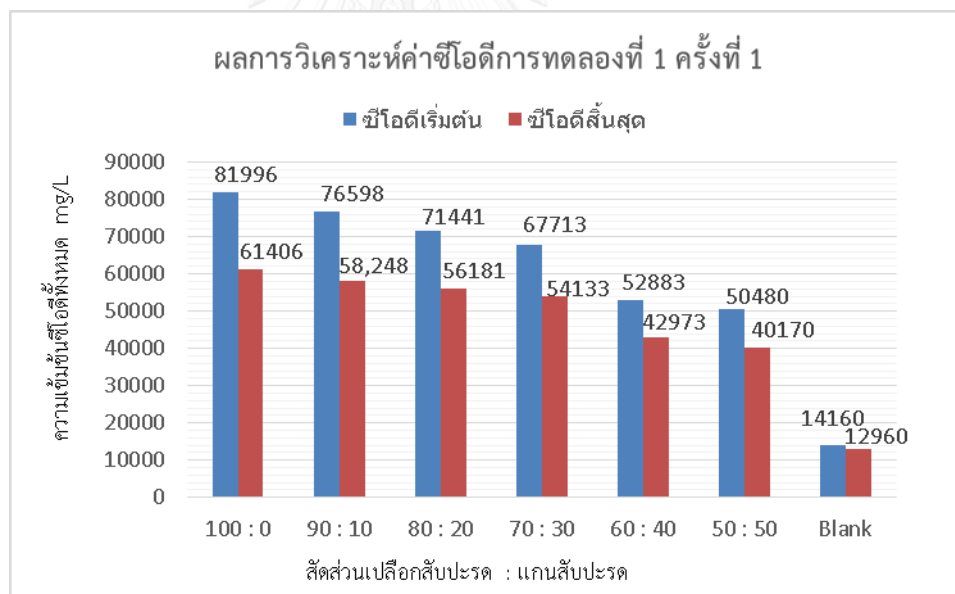
4.3.1.1 ค่าพีเอช (pH)

จากการทดลองได้ทำการปรับค่าพีเอชของวัสดุผสมก่อนดำเนินการทดลอง ในทุกๆ อัตราส่วนของวัสดุหมักด้วยโซเดียมคาร์โบเนต (NaHCO_3) ให้ค่าพีเอชในระบบอยู่ในช่วง 6.2-7.8 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) โดยในการทดลองส่วนที่ 1 มีการตรวจวัดค่าพีเอชโดยกระดาษลิตมัสก่อนเริ่มผลิตพบว่า ค่าพีเอชมีค่าอยู่ระหว่าง 6-7 ทั้งการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ซึ่งในการเดินระบบการทดลองนี้ไม่มีการควบคุมพีเอช ระหว่างดำเนินการหมัก เมื่อทำการทดลองเป็นเวลา 20 วัน หลังการทดลองทำการวัดค่าพีเอชโดยกระดาษลิตมัสอีกครั้งพบว่า ค่าพีเอชมีค่า 7 ซึ่งแนวโน้มไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าก่อนเริ่มผลิตซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) การสร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณที่มาก จะส่งผลกระทบต่อค่าพีเอชของระบบคือพีเอชจะลดต่ำลง และถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.2 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนและถ้าพีเอชต่ำลงจนถึง 4.5-5.0 จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้เกิดการล้มเหลวในการปฏิบัติงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ในการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ค่าพีเอช ที่ได้จากการวัดด้วยกระดาษลิตมัสมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าในกระบวนการหมักของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับประรดระบบมีการสร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณที่เหมาะสม ไม่ส่งผลกระทบต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนซึ่งสามารถอาศัยและทำงานได้ดีในสภาพที่พีเอชระหว่าง 5-8

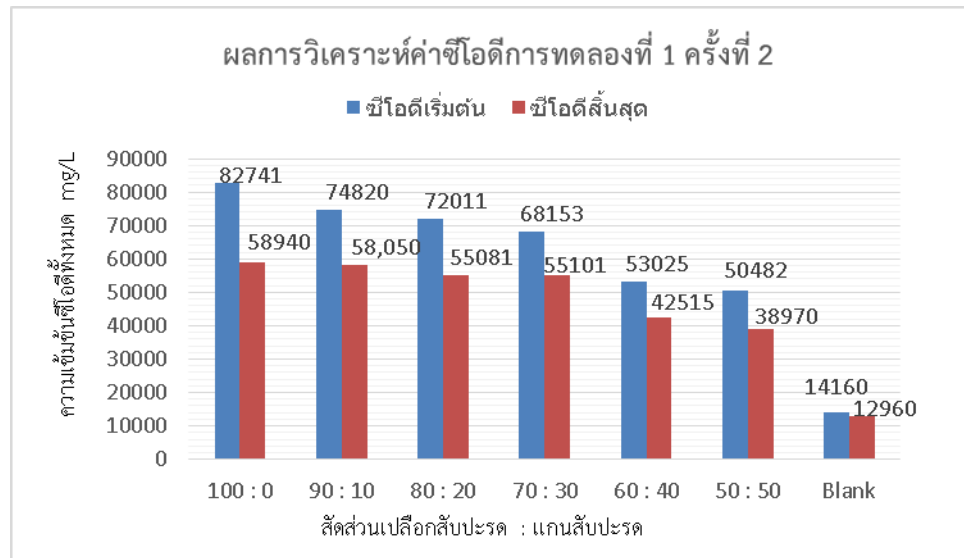
เนื่องจากวัตถุดิบในการหมักมีสถานะเป็นกรดค่อนข้างสูง ก่อนการเดินระบบมีการปรับ pH เพื่อให้ระบบมีค่าเป็นด่าง (Alkalinity) ซึ่งทั่วไปแล้วระบบการหมักแบบไร้อากาศ ควรมีความเป็นด่าง 1,000-5,000 ml/L ในกรณีงานวิจัยนี้เรามีการปรับค่าความเป็นด่างที่ 5,000 ml/L pH ที่วัดได้ก่อนเดินระบบคือ 6-7 ในทุกๆ อัตราส่วนคือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ หากในกรณีที่เพิ่มปริมาณวัตถุดิบในส่วนที่เป็นแกนมากกว่า 50% คาดว่าการควบคุมความเป็นด่างในระบบจะค่อนข้างยากสำหรับงานวิจัยนี้เพราะมีการปรับค่าความเป็นด่างไปที่ขอบสูงสุดแล้ว

4.3.1.2 การบำบัดซีโอดีทั้งหมด (Total chemical oxygen demand: TCOD)

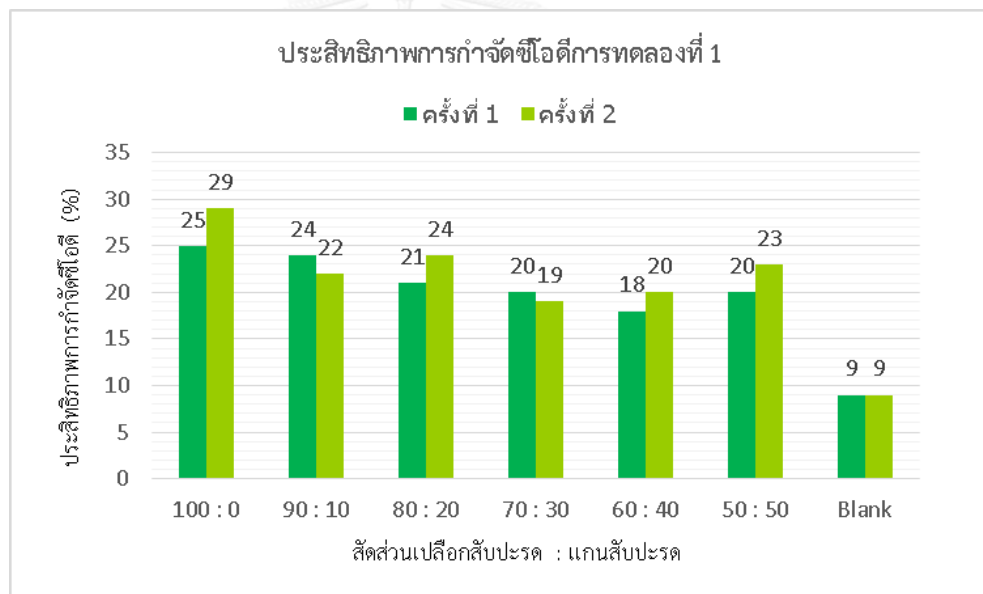
ค่าซีโอดีคือ ปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ในน้ำให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ และในระบบกระบวนการหมักแบบไร้อากาศก็จะกลายเป็นก๊าซชีวภาพ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) จากการทดลองแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียวในอัตราส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรดที่แตกต่างกันพบว่า ผลการวิเคราะห์ก่อนดำเนินการเดินระบบคืออัตราส่วนที่มีแกนสับปะรดมากขึ้นจะมีค่าซีโอดีลดลงในการทดลองทั้งครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 สัดส่วนที่มีค่าซีโอดีมากที่สุดคือ สัดส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดเท่ากับ 100:0 รองลงมาคือ 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ซึ่งวิเคราะห์ซีโอดีได้ค่าน้อยที่สุด จากนั้นทำการเดินระบบการหมักเป็นเวลา 20 วัน จุลินทรีย์ในระบบทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซชีวภาพ ดังนั้นหลังกำหนดการหมัก 20 วันเมื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดีของระบบอีกครั้งพบว่า มีค่าลดลง โดยในการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 แสดงค่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีระหว่าง 18-29% ผลการวัดค่าซีโอดีก่อนและหลังการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.10 และ 4.11 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีแสดงดังรูปที่ 4.12



รูป 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ซีโอดีการทดลองที่ 1 ครั้งที่ 1



รูป 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ซีไอดีการทดลองที่ 1 ครั้งที่ 2

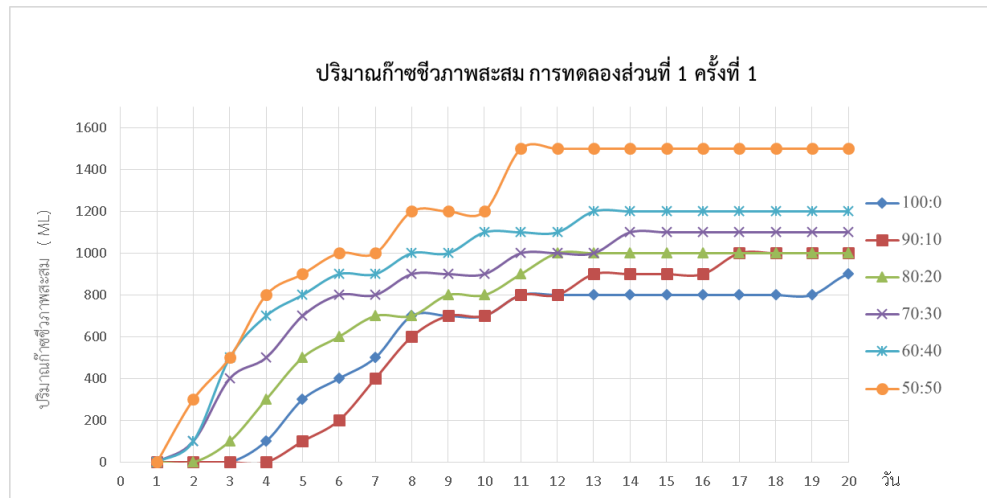


รูป 4.12 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีการทดลองที่ 1

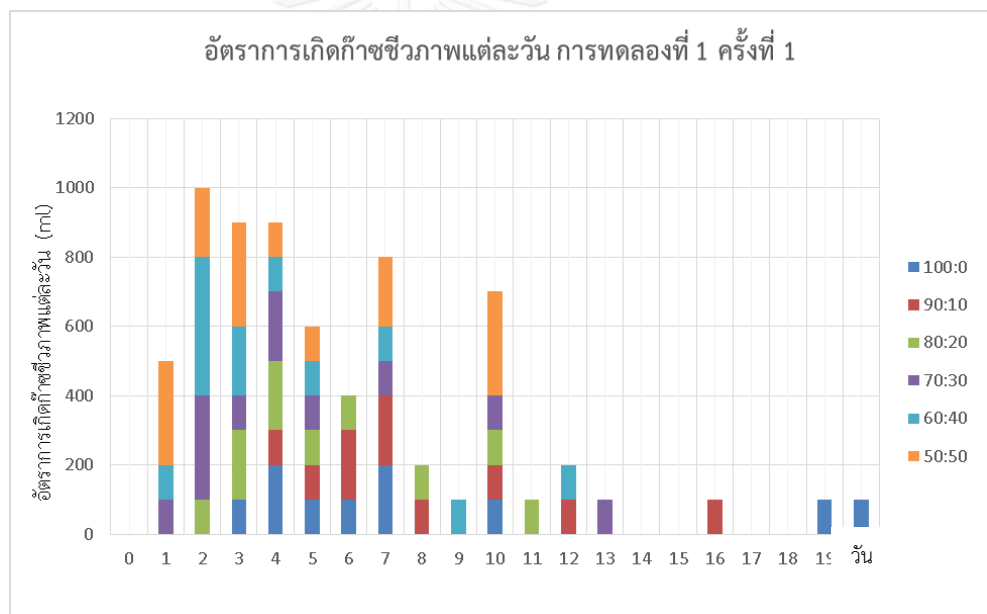
4.3.1.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Accumulated biogas volume)

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด ตามอัตราส่วนต่างๆ คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ ณ ระยะเวลาในการศึกษา 20 วัน ในการทดลองวันที่ 1-7 อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพไปในทิศทางที่ ในการทดลองพบว่าตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของเปลือกสับปะรดมากต้องใช้ระยะเวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพนานกว่า นั่นคือใช้ระยะเวลาในช่วงแรกก่อนตรวจพบก๊าซชีวภาพนานกว่าตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากเปลือกสับปะรดมีค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เท่ากับ 63 ในขณะที่แกนสับปะรดมีค่า C/N เท่ากับ 54 (Namsree, Suvajittanont et al., 2012) การปรับสภาพวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักจึงช่วยสนับสนุนการย่อยสลายจากการทดลองครั้งที่ 1 พบว่าสัดส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดคือ 100:0 และ 90:10 ใช้เวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพกระทั่งตรวจวัดในครั้งแรกนานที่สุดคือ 4 วันและ 5 วันหลังจากเริ่มผลิต รองลงมาคือสัดส่วน 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ใช้ระยะเวลาในการเกิดก๊าซและตรวจวัดในครั้งแรกคือ 3, 2, 2 และ 1 วันตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 2 พบว่าสัดส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด 100:0 ใช้เวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพกระทั่งตรวจวัดในครั้งแรกนานที่สุดคือ 5 วันหลังจากเริ่มผลิต รองลงมาคือสัดส่วน 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ใช้ระยะเวลาในการเกิดก๊าซและตรวจวัดในครั้งแรกคือ 3, 3, 2, 2 และ 1 วันตามลำดับ

การทดลองที่ 1 สัดส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรดที่ 50:50 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดคือ 1500 mL รองลงมาคือ 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมได้เท่ากับ 1,200 , 1,100 , 1,000 , 1,000 และ 900 mL ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 2 สัดส่วน 50:50 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดคือ 1500 mL รองลงมาคือ 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมได้เท่ากับ 1,300 , 1,300 , 1,100 , 1,000 และ 900 mL ตามลำดับ ผลการทดลองแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมดังรูปที่ 4.13 - 4.14 และแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแต่ละวันดังรูปที่ 4.15 - 4.16



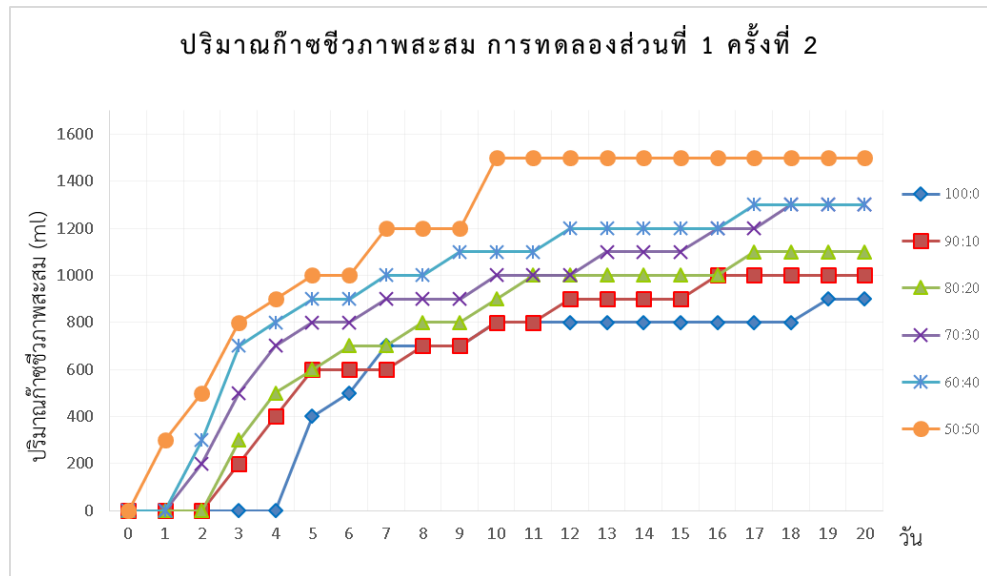
รูป 4.13 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1



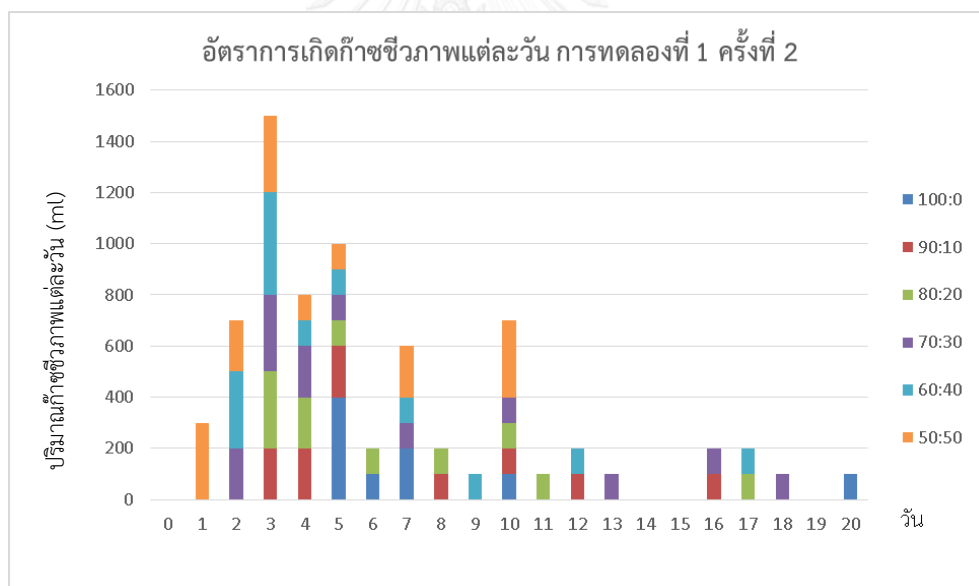
รูป 4.14 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพแต่ละวันของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1

ตาราง 4.2 สรุปปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ml) จากของผสมเปลือกและแกนสับปะรด (ครั้งที่ 1)

Day	100:0 (%)	90:10 (%)	80:20 (%)	70:30 (%)	60:40 (%)	50:50 (%)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	100	100	300
2	0	0	100	400	500	500
3	100	0	300	500	700	800
4	300	100	500	700	800	900
5	400	200	600	800	900	1000
6	500	400	700	800	900	1000
7	700	600	700	900	1000	1200
8	700	700	800	900	1000	1200
9	700	700	800	900	1100	1200
10	800	800	900	1000	1100	1500
11	800	800	1000	1000	1100	1500
12	800	900	1000	1000	1200	1500
13	800	900	1000	1100	1200	1500
14	800	900	1000	1100	1200	1500
15	800	900	1000	1100	1200	1500
16	800	1000	1000	1100	1200	1500
17	800	1000	1000	1100	1200	1500
18	800	1000	1000	1100	1200	1500
19	900	1000	1000	1100	1200	1500
20	900	1000	1000	1100	1200	1500



รูป 4.15 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 2



รูป 4.16 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพแต่ละวันของการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 2

ตาราง 4.3 สรุปปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม (ml) จากของผสมเปลือกและแกนสับปะรด (ครั้งที่ 2)

Day	100:0 (%)	90:10 (%)	80:20 (%)	70:30 (%)	60:40 (%)	50:50 (%)
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	300
2	0	0	0	200	300	500
3	0	200	300	500	700	800
4	0	400	500	700	800	900
5	400	600	600	800	900	1000
6	500	600	700	800	900	1000
7	700	600	700	900	1000	1200
8	700	700	800	900	1000	1200
9	700	700	800	900	1100	1200
10	800	800	900	1000	1100	1500
11	800	800	1000	1000	1100	1500
12	800	900	1000	1000	1200	1500
13	800	900	1000	1100	1200	1500
14	800	900	1000	1100	1200	1500
15	800	900	1000	1100	1200	1500
16	800	1000	1000	1200	1200	1500
17	800	1000	1100	1200	1300	1500
18	800	1000	1100	1300	1300	1500
19	900	1000	1100	1300	1300	1500
20	900	1000	1100	1300	1300	1500

เมื่อคำนวณศักยภาพการเกิดก๊าซชีวภาพของการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรดของแต่ละตัวอย่างต่อปริมาณของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด จากผลการทดลองพบว่า การหมักร่วมระหว่างวัตถุดิบสองชนิดให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ดีกว่าการใช้วัตถุดิบเพียงชนิดเดียว ในการทดลองส่วนที่ 1 ครั้งที่ 1 สัดส่วนที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดคือ 50:50 โดยมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ 300 ml/gVS รองลงมาคือสัดส่วน 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพคือ 240, 220, 200, 200 และ 180 ml/gVS ตามลำดับ ในการทดลองครั้งที่ 2 ผลการทดลองสอดคล้องกับการทดลองครั้งที่ 1 คือสัดส่วน 50:50 โดยมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ 300 ml/gVS รองลงมาคือสัดส่วน 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพคือ 260, 260, 220, 200 และ 180 ml/gVS ตามลำดับ จากผลการทดลองสอดคล้องกับงานวิจัย (Namsree, Suvajittanont et al., 2012) ที่ศึกษาการหมักของเปลือกและแกนสับปะรดร่วมกับจุลินทรีย์จากบ่อบำบัดน้ำเสียในโรงงานแปรรูปสับปะรด พบว่าสัดส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด 50:50 สามารถผลิตก๊าซได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับการหมักวัตถุดิบเพียงชนิดเดียว ค่าเฉลี่ยศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพแสดงดังตารางที่ 4.4

ตาราง 4.4 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการหมักร่วมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดส่วนที่ 1

สัดส่วนวัตถุดิบ	น้ำหนักวัตถุดิบ	ปริมาณก๊าซชีวภาพ	ศักยภาพในการผลิตก๊าซ
เปลือก : แกน	ที่ใช้หมัก(gVS)	สะสม (ml)	ชีวภาพ (ml/gVS)
100 : 0	5	900	180
90 : 10	5	1000	200
80 : 20	5	1000	210
70 : 30	5	1100	240
60 : 40	5	1200	250
50 : 50	5	1500	300

4.3.2 ผลการศึกษาหาปริมาณการเติมวัตถุดิบที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ ระหว่างการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด ผ่านกระบวนการหมักที่มีการเติมแบบกึ่งต่อเนื่อง

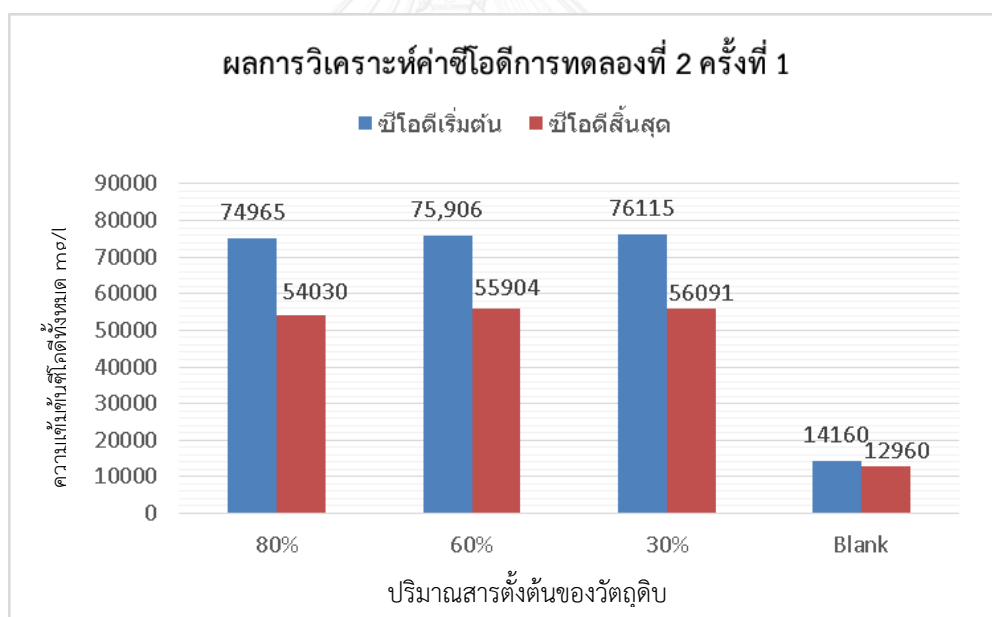
จากการทดลองส่วนที่ 1 พบว่าการหมักร่วมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดที่สัดส่วน 50:50 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด จึงนำมาทำการทดลองโดยการหมักแบบกึ่งต่อเนื่องใน ปริมาณการเติมที่ต่าง ๆ กันทุกๆ 5 วัน โดยให้ปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดเท่ากับ 5gVS ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด ทำการทดลองเป็นเวลา 20 วัน จำนวน 2 ชุดการทดลอง ทำการวิเคราะห์คุณสมบัติของวัตถุดิบ ได้แก่ ค่าพีเอช, ค่าซีไอดี, ปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย, ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม และ อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน

4.3.2.1 ค่าพีเอช (pH)

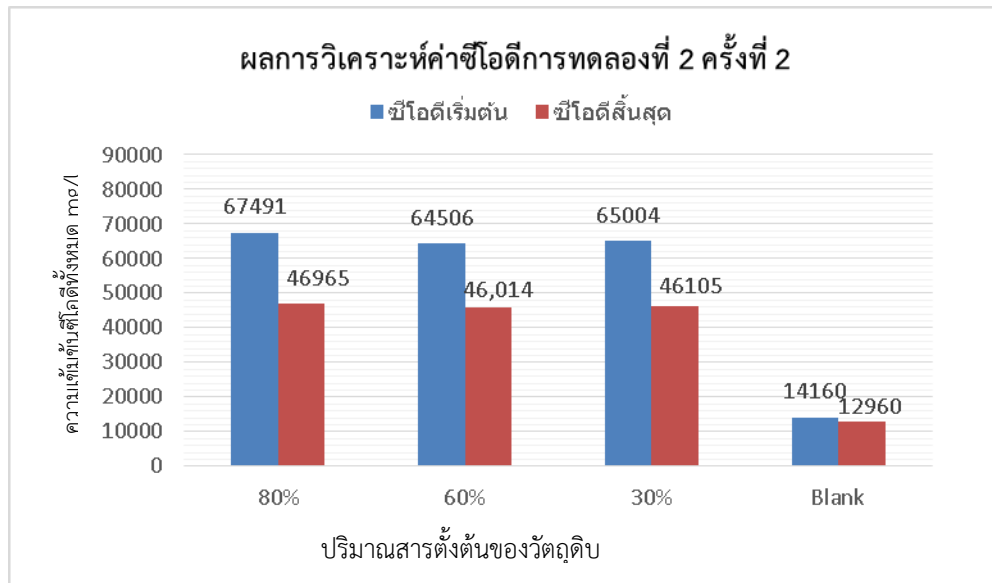
ในการทดลองส่วนที่ 2 ได้ทำการปรับค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) เพื่อควบคุมพีเอชของวัสดุผสมในทุกๆอัตราส่วนของวัสดุหมักด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) ให้ค่าพีเอชในระบบอยู่ในช่วง 6.2-7.8 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ซึ่งการทดลองส่วนที่ 2 มีการตรวจวัดค่าพีเอชโดยกระดาศลิตมีสก่อนเริ่มผลิตพบว่า ค่าพีเอชมีค่าอยู่ระหว่าง 6-7 ทั้งการทดลองชุดที่ 1 และชุดที่ 2 ซึ่งในการเดินระบบการทดลองนี้ไม่มีการควบคุมพีเอช ระหว่างดำเนินการหมัก เติมวัตถุดิบทุกๆ 5 วัน โดยปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดเท่ากับ 5gVS ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 20 วัน หลังการทดลองทำการวัดค่าพีเอชโดยกระดาศลิตมีสพบว่าค่าพีเอช มีแนวโน้มไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าก่อนเริ่มผลิต ซึ่งการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมาจากการทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) การสร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณที่มาก จะส่งผลกระทบต่อค่าพีเอชของระบบคือพีเอชจะลดต่ำลง และถ้าพีเอชต่ำกว่า 6.2 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนและถ้าพีเอชต่ำลงจนถึง 4.5-5.0 จะทำให้ระบบเสียสมดุลเป็นผลให้เกิดการล้มเหลวในการปฏิบัติงาน (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2553) ในการทดลองส่วนที่ 2 พบว่าเมื่อระบบเสถียรขึ้นทั้งการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ค่าพีเอช ที่ได้จากการวัดด้วยกระดาศลิตมีสมีค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าปริมาณการเติมสารอินทรีย์มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชของระบบน้อยมาก นั่นคือกระบวนการหมักของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดระบบมีการสร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณที่เหมาะสม ไม่ส่งผลเสียต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนซึ่งสามารถอาศัยและทำงานได้ดีในสภาพที่พีเอชระหว่าง 5-8

4.3.2.2 การบำบัดซีโอดีทั้งหมด (Total chemical oxygen demand: TCOD)

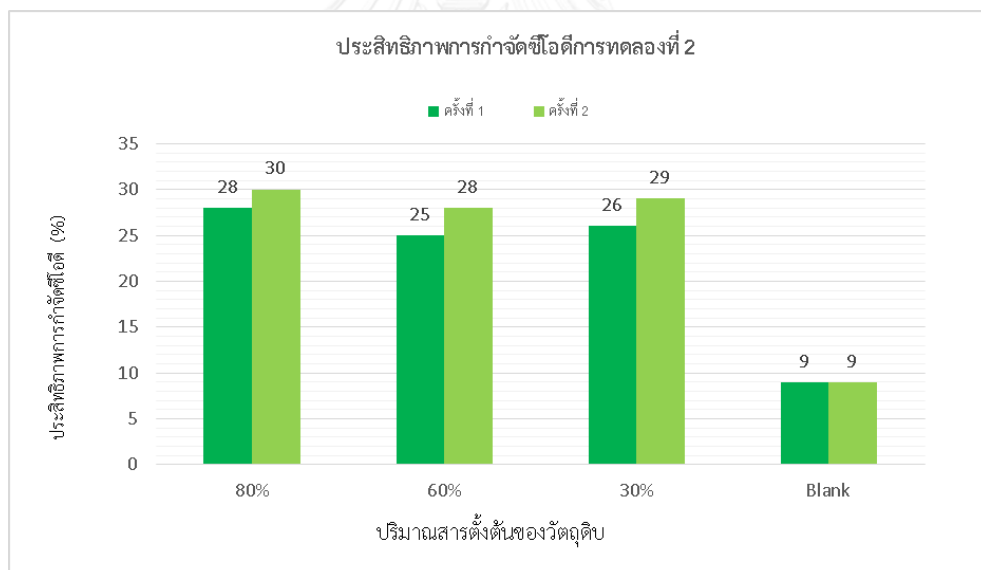
ในการทดลองส่วนที่ 2 เป็นการทดลองแบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่อง วันแรกของการเดินระบบ ปริมาณวัตถุดิบของตัวอย่างจะแตกต่างกันไป และมีการเติมในทุกๆ 5 วันในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยสุดท้ายปริมาณวัตถุดิบรวมทั้งหมดคือ 5 gVS การวิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมดก่อนดำเนินการเดินระบบ ตัวอย่างที่มีปริมาณสารวัตถุดิบตั้งต้นมากที่สุดจะมีค่าซีโอดีทั้งหมดมากกว่าทั้งในการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80% วิเคราะห์ค่าซีโอดีทั้งหมดได้มากที่สุด รองลงมาคือตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 60% และ 30% เมื่อทำการเดินระบบเป็นเวลา 20 วัน จุลินทรีย์ในระบบทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เกิดเป็นก๊าซชีวภาพ ดังนั้นหลังกำหนดการหมัก 20 วัน เมื่อวิเคราะห์ค่าซีโอดีของระบบอีกครั้งพบว่า มีค่าลดลง ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดสูงกว่าการหมักวัตถุดิบแบบเติมครั้งเดียว โดยการทดลองครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีทั้งหมดคือ 25 – 28% และ 28 – 30% ตามลำดับ ผลการวัดค่าซีโอดีก่อนและหลังการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.17 และ 4.18 ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีแสดงดังรูปที่ 4.19



รูป 4.17 แสดงผลการวิเคราะห์ซีโอดีการทดลองที่ 2 ครั้งที่ 1



รูป 4.18 แสดงผลการวิเคราะห์ซีไอดีการทดลองที่ 2 ครั้งที่ 2



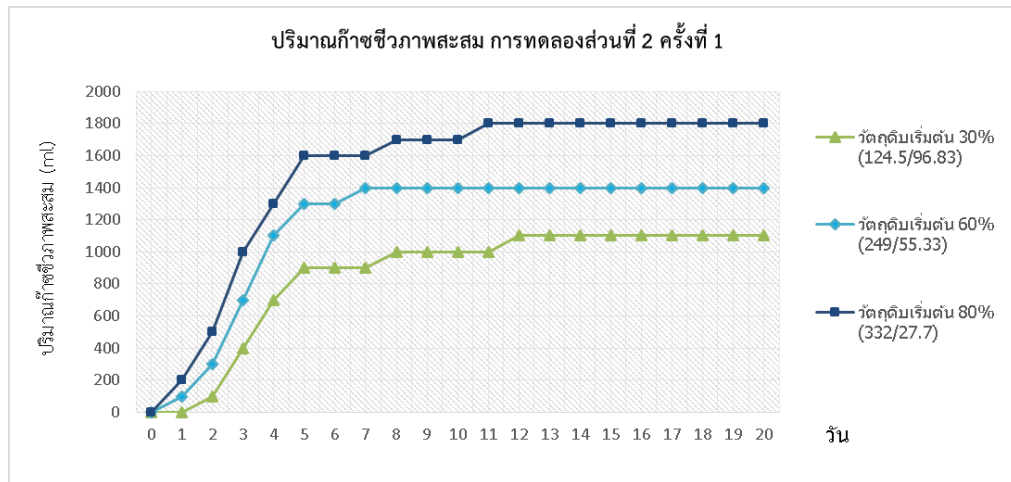
รูป 4.19 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีการทดลองที่ 2

4.3.2.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Accumulated biogas volume)

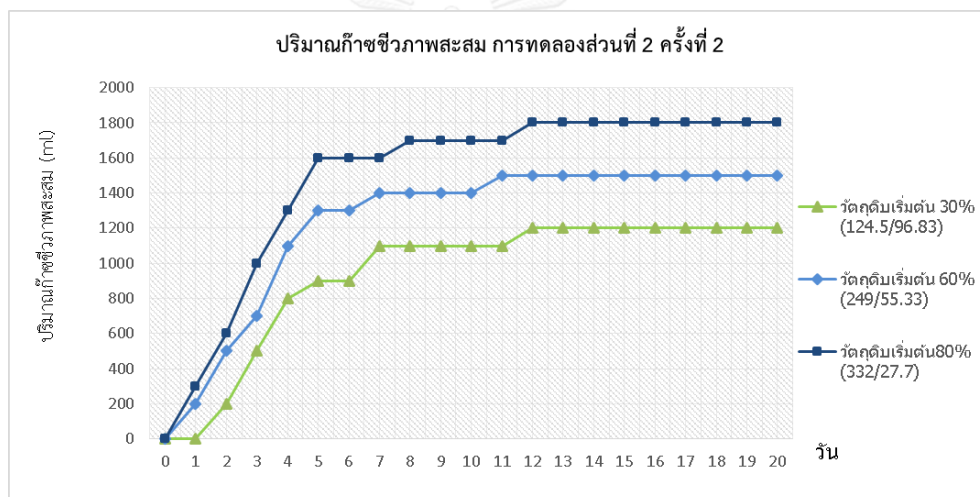
จากการทดลองที่ 1 ศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่เกิดขึ้นจากการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด พบว่าสัดส่วน 50:50 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงที่สุด จึงเป็นที่มาในการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรดแบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่อง โดยปริมาณวัตถุดิบทั้งหมดคือ 5 gVS เริ่มวันแรกในการเดินระบบด้วยปริมาณวัตถุดิบตั้งต้นที่แตกต่างกัน ทำการเติมวัตถุดิบในปริมาณที่ต่างกันทุกๆ 5 วัน ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 20 วัน จากการทดลองพบว่าระบบการหมักแบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่องอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากกว่า และกระบวนการเกิดก๊าซค่อนข้างสม่ำเสมอเมื่อเปรียบเทียบกับระบบหมักแบบเติมวัตถุดิบเพียงครั้งเดียว โดยช่วงแรกของการทดลองจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กก่อนเพราะง่ายต่อการย่อยสลายทำให้ช่วงแรกของการทดลองแสดงปริมาณก๊าซชีวภาพในปริมาณที่มาก การเติมวัตถุดิบแบบกึ่งต่อเนื่องทำให้ระบบเกิดการปรับตัว การย่อยสลายเกิดขึ้นได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ กระทั่งคงเหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก จุลินทรีย์ในระบบมีน้อยลงการเกิดของก๊าซชีวภาพจึงน้อยลง

ผลการทดลองครั้งที่ 1 ชุดตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80 % ของปริมาณทั้งหมดสามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดคือ 1,800 ml รองลงมาคือชุดตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 60% และ 30% ตามลำดับ มีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,400 และ 1,100 ml ตามลำดับ ผลการทดลองครั้งที่ 2 สอดคล้องกับการทดลองครั้งที่ 1 คือ ชุดตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80% สามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดคือ 1,800 ml รองลงมาคือชุดตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 60% และ 30% ตามลำดับ มีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,500 และ 1,200 ml ตามลำดับ ผลการทดลองชี้ให้เห็นว่าปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80% มีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพในช่วงแรกสูงกว่าการทดลองตัวอย่างอื่นๆ เพราะว่า ในกระบวนการหมักมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายอยู่มากเมื่อเทียบกับตัวอย่างอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งมักทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายก่อนทำหน้าที่ย่อยสลายเกิดก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่มากกว่า เมื่อทำการเติมสารอินทรีย์อย่างสม่ำเสมอในทุกๆ 5 วัน ปริมาณสารอินทรีย์ในระบบมีต่อเนื่องทำให้จุลินทรีย์ใช้เพื่อการเจริญเติบโตได้ต่อเนื่อง กระบวนการย่อยสลายจึงเกิดขึ้นได้ดี และสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงพบว่าการเติมวัตถุดิบเข้าระบบสม่ำเสมอจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ต่อเนื่อง

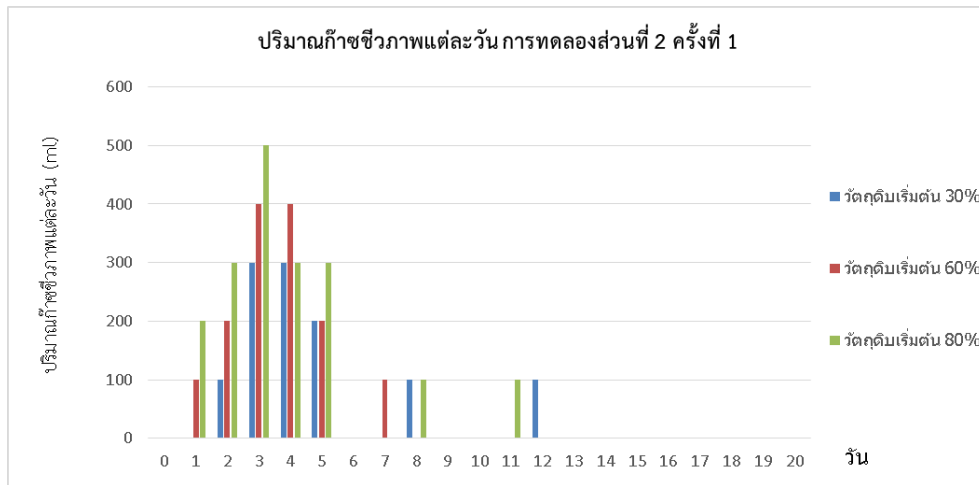
การวิเคราะห์ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพพบว่าชุดตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80% มีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดคือ 360 ml/gVS รองลงมาคือชุดตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 60% และ 30% ตามลำดับมีศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 290 และ 230 ml/gVS ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.20 – 4.23 และตารางที่ 4.5



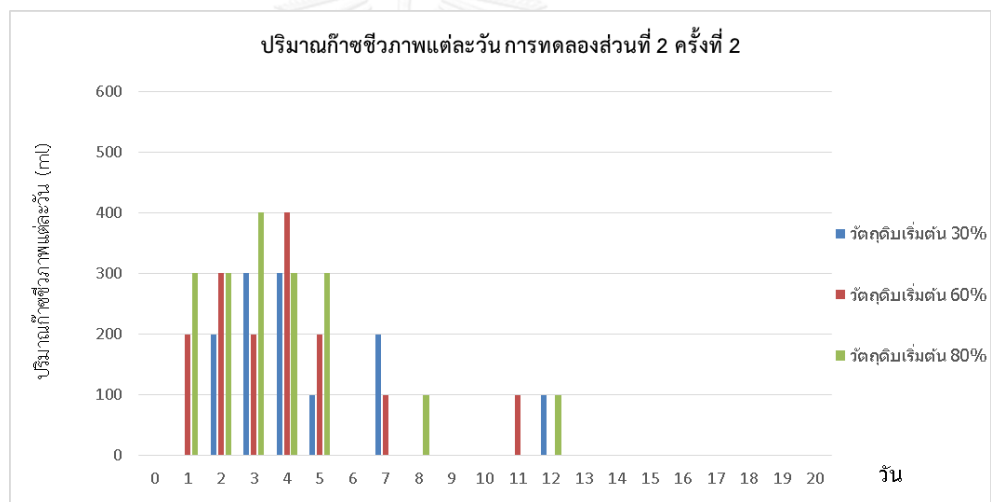
รูป 4.20 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1



รูป 4.21 แสดงปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2



รูป 4.22 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพแต่ละวันของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 1



รูป 4.23 แสดงอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพแต่ละวันของการทดลองส่วนที่ 2 ครั้งที่ 2

ตาราง 4.5 ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพของการหมักร่วมระหว่างเปลือกและแกนสับประรดส่วนที่ 2

ชุดตัวอย่าง การทดลอง (จัดตาม ปริมาณสารตั้งต้น)	ปริมาณ วัตถุดิบ (gVS)	ปริมาณก๊าซ ชีวภาพสะสม (ml)	ศักยภาพการ ผลิตก๊าซชีวภาพ (ml/gVS)
30%	5	1,150	230
60%	5	1,450	290
80%	5	1,800	360

จากการทดลองซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนการทดลองคือ การทดลองส่วนที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับประรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว การทดลองที่ 2 ศึกษาศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้สัดส่วนที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างเปลือกและแกนสับประรดจากผลการทดลองส่วนที่ 1 ทำการศึกษาหาปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดที่เป็นไปได้โดยผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่อง พบว่าในการทดลองส่วนที่ 1 ตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของเปลือกสับประรดมากต้องใช้ระยะเวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพนานกว่า นั่นคือใช้ระยะเวลาในช่วงแรกก่อนตรวจพบก๊าซชีวภาพนานกว่าตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากเปลือกสับประดามีคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N) เท่ากับ 63 ในขณะที่แกนสับประดามีค่า C/N เท่ากับ 54 (Namsree, Suvajittanont et al., 2012) รวมถึงการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนเข้าสู่กระบวนการหมักซึ่งแกนสับประรดหลังจากปรับสภาพจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสช่วยให้การย่อยสลายมากกว่าเปลือกสับประรด เมื่อศึกษาต่อในการทดลองส่วนที่ 2 ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบกึ่งต่อเนื่อง โดยให้อัตราส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับประรดคงที่ คือ 50:50 ณ ปริมาณสารตั้งต้นที่ต่างกันพบว่า ปริมาณสารตั้งต้นสูงที่สุดคือ 80% ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุด เนื่องจากในกระบวนการหมักมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายอยู่มากเมื่อเทียบกับปริมาณสารตั้งต้นอื่นๆ ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของจุลินทรีย์ซึ่งมักทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายก่อนทำหน้าที่ย่อยสลายเกิดก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณที่มากกว่า

4.4 อภิปรายผลการทดลอง

4.4.1 คุณสมบัติของวัตถุดิบ

ในการวิเคราะห์ทางเคมีของเปลือกสับประรดผลพบว่า ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) มีค่า 12.15% ,ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) มีค่า 11.30% คิดเป็นสัดส่วนระหว่าง (TS/VS) มีค่าเท่ากับ 93% และแกนสับประรดมีผลการวิเคราะห์ทางเคมีคือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) มีค่า 7.83%, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) มีค่า 7.65% คิดเป็นสัดส่วนระหว่าง (TS/VS) เท่ากับ 98% ซึ่งจากผลการศึกษาเปรียบเทียบสัดส่วนระหว่าง (TS/VS) ของเปลือกและแกนสับประรด สามารถชี้บ่งได้ว่า แกนสับประรดมีองค์ประกอบของส่วนที่เป็นน้ำมากกว่าเปลือกสับประรด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Pimjai namsree et al. (2012) ซึ่งได้ค่าความชื้นของแกนสับประรดมากกว่าเปลือกสับประรด คือ 90.89% และ 86.9% ตามลำดับ

4.4.2 พีเอช (pH)

จากการวิเคราะห์คุณสมบัติเบื้องต้นค่าพีเอชของวัตถุดิบคือเปลือกและแกนสับประรดพบว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 4-5 ซึ่งเป็นสภาพที่ไม่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ จากข้อมูลกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553) ระบุว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์คือ 6.2-7.8 ดังนั้นเพื่อให้จุลินทรีย์ทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ ควรมีการปรับพีเอชของระบบโดยโซเดียมคาร์โบเนต (NaHCO_3)

ในการทดลองส่วนที่ 1 และการทดลองส่วนที่ 2 ก่อนการเดินระบบมีการปรับ pH โดยโซเดียมคาร์โบเนต ให้ pH เท่ากับ 6-7 ในแต่ละชุดการทดลอง ระบบดำเนินไปเป็นระยะเวลา 20 วัน โดยปราศจากการควบคุม pH หลังการทดสอบเช็ค pH อีกครั้งพบว่าค่าพีเอชมีค่า 7 ซึ่งแนวโน้มไปในทิศทางที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับค่าก่อนเริ่มระบบ จากข้อมูลกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553) พบว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นมาจากการทำงานของจุลินทรีย์และปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นต่อการผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile fatty acid) และจุลินทรีย์กลุ่มผลิตก๊าซ ซึ่งถ้าจุลินทรีย์ทำงานไม่สมดุลกันจะส่งผลให้ระบบมีค่าพีเอชลดลง จนอาจก่อให้เกิดสภาวะล้นเหลวต่อระบบ

4.4.3 การบำบัดซีโอดีทั้งหมด (Total chemical oxygen demand: TCOD)

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553 ระบุค่าซีโอดีคือปริมาณออกซิเจนทั้งหมดที่ต้องการเพื่อใช้ในการออกซิเดชันสารอินทรีย์ให้กลายเป็น คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในกรณีที่เป็น้ำเสียจะตรวจวัดค่าซีโอดีได้สูง แสดงว่าความต้องการใช้ออกซิเจนมากในการเข้าทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ที่มีอยู่มากเช่นกัน ซึ่งกระบวนการหมักแบบไร้อากาศผลิตก๊าซ

ที่ได้จากการทำปฏิกิริยา คือ ก๊าซชีวภาพ ในการทดลองส่วนที่ 1 การหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรด และแกนสับปะรด ในอัตราส่วนต่างๆ คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ หลังจากการทดลอง 20 วัน พบว่าค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีอยู่ระหว่าง 18-29% โดยพบว่าสัดส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับปะรด 100:0 มีประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีสูงที่สุด รองลงมาได้แก่สัดส่วน 90:10, 80:20, 50:50, 70:30 และ 60:40 ตามลำดับ ในการทดลองส่วนที่ 2 ปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80% สามารถวัดค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีได้สูงที่สุดคือ 28-30% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Pimjai namsree et al. (2012) ทดลองหมักเปลือกและแกนสับปะรดในอัตราส่วน 1:1 ที่ปริมาณวัตถุดิบ 4% TS ระยะเวลาการทดลองที่ 10 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีเท่ากับ 60.41%

4.4.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพ (Accumulated biogas volume)

การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับปะรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเดิมวัตถุดิบครั้งเดียวพบว่า การทดลองครั้งที่ 1 สัดส่วนระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรดที่ 50:50 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดคือ 1500 mL รองลงมาคือ 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมได้เท่ากับ 1,200 , 1,100 , 1,000 , 1,000 และ 900 mL ตามลำดับ การทดลองครั้งที่ 2 สัดส่วน 50:50 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดคือ 1500 mL รองลงมาคือ 60:40, 70:30, 80:20, 90:10 และ 100:0 ตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมได้เท่ากับ 1,300 , 1,300 , 1,100 , 1,000 และ 900 mL ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Pimjai namsree et al. (2012) ทดลองหมักเปลือกสับปะรด, แกนสับปะรด และของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดในอัตราส่วน 1:1 พบว่าของผสมเปลือกและแกนสับปะรดในอัตราส่วน 1:1 ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงกว่าการหมักวัตถุดิบชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงอย่างเดียว

การทดลองที่ 2 ศึกษาหาปริมาณการเติมวัตถุดิบที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด ผ่านกระบวนการหมักที่มีการเติมแบบกึ่งต่อเนื่อง การทดลองใช้ของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดที่อัตราส่วน 50:50 เป็นวัตถุดิบตั้งต้น โดยให้อัตราการไหลวัตถุดิบตั้งต้นที่ต่างกัน ผลพบว่าชุดตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80 % ของปริมาณทั้งหมด สามารถตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดคือ 1,800 ml รองลงมาคือชุดตัวอย่างที่มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 60% และ 30% ตามลำดับ มีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1,400 และ 1,100 ml ตามลำดับ สอดคล้องกับงานวิจัยของ D. Swaroop Rani & Krishna Nand (2004) ศึกษาเปรียบเทียบการผลิตก๊าซมีเทนส่วนเหลือทิ้งของสับปะรดที่มีลักษณะของวัตถุดิบที่แตกต่างกันคือ แบบแห้ง แบบเปียก และแบบ กึ่งแห้งกึ่งเปียก, ศึกษาอัตราการไหลของวัตถุดิบใน

ระดับ ถังหมักขนาดกลาง ที่ 40, 60, 80, 100 and 120, 140 kg TS/m³ ผลการศึกษาพบว่าในส่วนของ การเตรียมวัตถุดิบ การเตรียมแบบกึ่งแห้งกึ่งเปียก สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้เท่ากับ 0.67 m³ /kg คิดเป็นปริมาณก๊าซมีเทนเท่ากับ 65% ซึ่งสูงกว่าการเตรียมวัตถุดิบแบบแห้งและแบบเปียก อัตรา การไหลวัตถุดิบที่มากมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ สำหรับในงานหมักขนาดกลาง ระดับการไหล วัตถุดิบที่เหมาะสมคือ 60 kg TS/m³

4.4.5 จุดเด่นของงานวิจัย

โดยการศึกษาเปรียบเทียบในเชิงข้อมูลและการนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยของ Suppana Chaipa(2016) การผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มร่วมกับทะเลสาบปาล์มเปล่าโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ (ไชยปา, 2016) แสดงดังตารางที่ 4.6

ตาราง 4.6 แสดงข้อมูลและจุดเด่นของงานวิจัย

ตัวแปรในการวิเคราะห์	รายละเอียด
1. วัตถุดิบ	เมื่อพิจารณาอัตราส่วนระหว่าง C/N พบว่าเปลือกและแกนสับปะรดมีค่าต่ำคือ 63 และ 54 ตามลำดับ ในขณะที่วัตถุดิบที่เป็นเส้นใยปาล์มและทะเลสาบปาล์มมีค่าเท่ากับ 104 และ 62 ตามลำดับ เมื่ออยู่ในรูปของผสมพบว่าของผสมระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดมีแนวโน้มการย่อยสลายที่ดีกว่า สอดคล้องกับข้อมูล กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2553 ที่ว่าสารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนระหว่าง C/N ต่ำกว่า 100 จะสามารถย่อยสลายได้ดี
2. การเตรียมวัตถุดิบ	เปลือกและแกนสับปะรดเป็นวัตถุดิบที่มาจากความอ่อนนิ่ม การปรับสภาพกระทำโดยวิธีทางกายภาพเพื่อให้มีขนาดเล็กลง แต่ในส่วนของวัตถุดิบที่เป็นเส้นใยปาล์มและทะเลสาบปาล์ม วัตถุดิบมีลักษณะเหนียวการปรับสภาพต้องทำโดยวิธีทางกายภาพและวิธีทางเคมี
3. การเกิดก๊าซชีวภาพ	ระยะเวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างการหมักร่วมระหว่างของเปลือกและแกนสับปะรดคือ 20 วัน ระยะเวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพระหว่างการหมักร่วมระหว่างเส้นใยปาล์มและทะเลสาบปาล์ม คือ 40 วัน ทั้งนี้เพราะว่าเปลือกและแกนสับปะรดจัดอยู่ในสารอินทรีย์ประเภทที่ย่อยง่ายกว่า
4. แนวโน้มการประยุกต์ใช้	งานวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกและแกนสับปะรด มีการออกแบบอุปกรณ์จากวัสดุทั่วไปซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าชุดอุปกรณ์สามารถใช้งานได้จริงสามารถพัฒนาสู่ครัวเรือนชุมชนได้ แต่ในส่วนของงานวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพเส้นใยและทะเลสาบปาล์ม เป็นการศึกษาเบื้องต้นในท้องทดลองหากต้องการประยุกต์ใช้จริงต้องมีการทดสอบสภาวะและออกแบบอุปกรณ์ใหม่

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ชุดอุปกรณ์ในการทดลองเกิดจากการออกแบบและจำลองประดิษฐ์ขึ้น โดยชุดการหมักที่ 2 เป็นอุปกรณ์ที่ให้ความถูกต้องในการตรวจวัดก๊าซชีวภาพที่สุด จากผลการทดสอบย่อยพบว่า อุปกรณ์ไม่แสดงอาการดังกล่าว และเมื่อทดสอบโดยการเดินระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียวในอัตราส่วนเปลือกและแกนของสับปะรดคือ 100:0 และ 50:50 จำนวน 3 ตัวอย่างผลปรากฏว่าอัตราส่วน 100:0 ปริมาณก๊าซชีวภาพ คือ 900, 1,000 และ 1,000 ml/gVS อัตราส่วน 50:50 ปริมาณก๊าซชีวภาพ คือ 1,500, 1,300 และ 1,300 ml/gVS ตามลำดับ

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด ร่วมกับตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ แบ่งการทดลอง 2 ส่วนคือ ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับปะรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว โดยศึกษาในอัตราส่วนต่างๆ คือ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 และ 50:50 ตามลำดับ จำนวน 5gVS ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศในปริมาณ 10% โดยน้ำหนักของปริมาณวัตถุดิบทั้งหมด ทำการทดลองเป็นเวลา 20 วัน จากนั้นนำผลการทดลองในส่วนที่ 1 มาทำการศึกษาต่อในส่วนที่ 2 โดยศึกษาหาปริมาณการเติมวัตถุดิบที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด ผ่านกระบวนการหมักที่มีการเติมแบบกึ่งต่อเนื่อง จำนวนวัตถุดิบทั้งหมด 5gVS มีปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 30, 60 และ 80% ทำการเติมทุกๆ 5 วันจนสัดส่วนครบ 100% ผลการทดลองสรุปดังนี้

สรุปผลการทดลองส่วนที่ 1

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมจากการหมักร่วมกันของเปลือกและแกนของสับปะรด ผ่านระบบการหมักไร้อากาศแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว สัดส่วนระหว่างเปลือกและแกนสับปะรดที่ 50:50 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดเฉลี่ยคือ 1500 ml มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงที่สุดเท่ากับ 300 ml/gVS ใช้เวลาในการเกิดก๊าซชีวภาพ 10 วัน ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆพบว่า ค่าพีเอชซึ่งตรวจวัดด้วยกระดาษลิตมัสก่อนเดินระบบอยู่ในช่วง 6-7 หลังการเดินระบบซึ่งตรวจวัดด้วยกระดาษลิตมัสพบพีเอชเท่ากับ 7 ซึ่งผลการทดลองค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5-8 ซึ่งไม่ส่งผลเสียต่อแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนซึ่งสามารถอาศัยและทำงานได้ดีในช่วงนี้ ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอดีอยู่ระหว่าง 18 – 29%

สรุปผลการทดลองส่วนที่ 2

ศึกษาหาปริมาณการเติมวัตถุดิบที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพระหว่างการหมักร่วมระหว่างเปลือกสับปะรดและแกนสับปะรด ผ่านกระบวนการหมักที่มีการเติมแบคทีเรียต่อเนื่องโดยใช้สัดส่วนของวัตถุดิบคือ 50:50 พบว่าปริมาณวัตถุดิบตั้งต้น 80%ของปริมาณทั้งหมด มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากกว่าตัวอย่างที่มีการโหลดสารตั้งต้นในปริมาณที่น้อยกว่า โดยมีปริมาณก๊าซชีวภาพเฉลี่ยคือ 1,800 ml คิดเป็นศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ 360 ml/gVS กระบวนการหมักแบบเติมวัตถุดิบต่อเนื่องให้ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่ากระบวนการหมักแบบเติมวัตถุดิบครั้งเดียว เมื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์อื่นๆพบว่า พีเอชซึ่งตรวจวัดด้วยกระดาษลิตมัสก่อนเดินระบบอยู่ในช่วง 6-7 หลังการเดินระบบซึ่งตรวจวัดด้วยกระดาษลิตมัสพบพีเอชเท่ากับ 7 ซึ่งผลการทดลองค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5-8 ซึ่งไม่ส่งผลเสียต่อระบบการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน ประสิทธิภาพการบำบัดซีโอคือปุระหว่าง 25 - 28%

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เมื่อเกิดก๊าซชีวภาพ ก๊าซจะเดินทางมายังชุดวัดก๊าซต้นชุดวัดก๊าซขึ้นด้านบน จึงต้องคอยสังเกตการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง ในกรณีก๊าซที่เกิดมีปริมาณมากควรปล่อยก๊าซออกจากระบบด้วยวาล์วที่ติดตั้งในชุดอุปกรณ์ เพื่อป้องกันความล้มเหลวของระบบการตรวจวัด

5.2.2 อุปกรณ์ในการวัดก๊าซเปิดสู่บรรยากาศ น้ำในระบบอาจเกิดการระเหย จึงควรมีการสังเกตและเติมเพื่อรักษาระดับน้ำในระบบให้คงที่

5.2.3 เนื่องจากชุดอุปกรณ์ในการทดลอง เป็นชุดอุปกรณ์ที่ประดิษฐ์จำลองขึ้นมา อาจเกิดความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากการวัด

5.2.4 ในการทดลอง ต้องทำการเขย่าของผสมอย่างสม่ำเสมอ เพื่อปฏิบัติการในการหมักที่ต่อเนื่อง

5.3 ปัญหาและอุปสรรค

ในการออกแบบอุปกรณ์ มีการศึกษาและเปลี่ยนแปลงชุดอุปกรณ์ให้เหมาะสมกับการหมักอยู่หลายครั้ง ทำให้เสียเวลาในการทดลองค่อนข้างนาน

รายการอ้างอิง

- ห้องปฏิบัติการสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 6 (นนทบุรี), ห. (2554). คู่มือทดสอบตัวอย่างน้ำ.
สำนักงานปลัดกระทรวง กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553). ศึกษาและสาธิตการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล. Retrieved กันยายน 2553, 2553, from <http://webkc.dede.go.th/webmax/sites/default/files/finalreport.pdf>.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553). ศูนย์ศึกษาและสาธิตการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวล from <http://webkc.dede.go.th/webmax/sites/default/files/finalreport.pdf>.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม (2553). คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิตและการควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ Retrieved พฤศจิกายน, 2553, from http://energy-safety.ete.eng.cmu.ac.th/biogas/handbook_detail.php?hid=3.
- กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, ส. (2558). ข้อมูลการผลิตสินค้าเกษตร. from http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577.
- กระทรวงพลังงาน, ก. แ. (2557). รายงานการติดตามและประเมินผลการผลิตก๊าซชีวภาพในประเทศ. Retrieved 30 กันยายน, 2557, from http://biogas.dede.go.th/biogas/web_biogas/.
- ไชยปา, ส. (2016). การผลิตก๊าซชีวภาพจากเส้นใยปาล์มร่วมกับทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา). กรุงเทพมหานคร, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เขาะกระโทน, น. (2556). การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากตะกอนดีแคนเตอร์ของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบร่วมกับน้ำเสียจากโรงงานแปรรูปอาหารทะเลแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- พรหมมา, พ., et al. (2557). การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์. วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง ปีที่ 23 2.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, ส. แ. (2558). Biogas Production System : เทคโนโลยี ก๊าซชีวภาพ.

Retrieved 29 กันยายน 2558 from

<http://www.erd.cmu.ac.th/index.php/services/view?pid=1>.

มาตหมาย, บ. (2009). การใช้เทคโนโลยีพลังงานชีวภาพ เพื่อการจัดการพลังงานที่ยั่งยืน. Retrieved

JUNE-JULY, 2009, from

<http://www.tpa.or.th/publisher/pdfFileDownloadS/TN%20205A%20p60-67.pdf>.

ศิลปสุวรรณ, ป. (2557). ขยะมูลฝอยชุมชน ปัญหาใหญ่ที่ประเทศกำลังเผชิญ. สำนักวิชาการ

สำนักงานเลขาธิการวุฒิสภา 7.

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการป้องกันและจัดการภัยพิบัติ (2012). ภัยจากสารเคมี, น้ำเสียจากโรงงาน

อุตสาหกรรม. Retrieved 24 September 2012 2012, from

<http://dpm.nida.ac.th/main/index.php/articles/chemical-hazards>.

สำนักเศรษฐกิจการเกษตร (2559). ข้อมูลการผลิตสินค้าการเกษตร. 2557-2559, from

http://www.oae.go.th/ewt_news.php?nid=13577.

หล้าคำมี, ล. (2553). ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากทะเลลายปาล์มเปล่าโดยใช้มูลสุกรเป็นหัวเชื้อเริ่ม

ต้นแบบกะและแบบกึ่งกะ. from [https://kruvijai.files.wordpress.com/2010/11/6-](https://kruvijai.files.wordpress.com/2010/11/6-eng-lapae.pdf)

[eng-lapae.pdf](https://kruvijai.files.wordpress.com/2010/11/6-eng-lapae.pdf).

Bardiya, N., et al. (1996). Biomethanation of banana peel and pineapple waste.

Bioresource Technology 58(1): 73-76.

Bouallagui, H., et al. (2003). Mesophilic biogas production from fruit and vegetable

waste in a tubular digester. Bioresource Technology 86(1): 85-89.

Hills, D. J. and D. W. Roberts (1981). Anaerobic digestion of dairy manure and field

crop residues. Agricultural Wastes 3(3): 179-189.

Namsree, P., et al. (2012). Anaerobic digestion of pineapple pulp and peel in a plug-

flow reactor. Journal of Environmental Management 110: 40-47.

Rani, D. S. and K. Nand (2004). Ensilage of pineapple processing waste for methane

generation. Waste Management 24(5): 523-528.

Viswanath, P., et al. (1992). Anaerobic digestion of fruit and vegetable processing

wastes for biogas production. Bioresource Technology 40(1): 43-48.

Wang, C.-H., et al. (2006). Fermentative conversion of sucrose and pineapple waste into hydrogen gas in phosphate-buffered culture seeded with municipal sewage sludge. *Process Biochemistry* 41(6): 1353-1358.





ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวพนิดา เจริญสุข เกิดเมื่อวันที่ 25 มีนาคม พุทธศักราช 2530 มีภูมิลำเนาอยู่ที่ จังหวัดสุราษฎร์ธานี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2552 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2557 ปัจจุบันทำงาน บริษัท เซ้าท์ ซิตี ปีโตรเคมี จำกัด ตั้งแต่ปีพุทธศักราช 2558 จนถึงปัจจุบัน

