



ประสิทธิภาพการใช้ถั่วลันเตาเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ
จากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์

เปรมวิช ธาดาไชโยสิทธิ์

GRAD VRU

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

พ.ศ. 2563



THE PERFORMANCE OF TRACE ELEMENT FOR BIOGAS PRODUCTION
FROM CO-DIGESTION BETWEEN COW DUNG AND NAPIER GEASS

PREMWISS TADACHAIYOSIT

GRAD VRU

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN INNOVATION OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
GRADUATE SCHOOL
VALAYA ALONGKORN RAJABHAT UNIVERSITY
UNDER THE ROYAL PATRONAGE PATHUM THANI

2020

ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพการใช้ถั่วลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ
จากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์
ชื่อนักศึกษา เปรมวิชัย ธาดาไชโยสิทธิ์
รหัสประจำตัว 60G54800105
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา นวัตกรรมจัดการสิ่งแวดล้อม

คณะกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันสพรศรีม์ สวัสดิ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน)

..... กรรมการ

(ดร.ชนากานต์ เพิ่มฉลาด)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน

(อาจารย์ ดร.สุนทรี จินธรรม)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์)

..... กรรมการ

(ดร.ชนากานต์ เพิ่มฉลาด)

..... กรรมการและเลขานุการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันสพรศรีม์ สวัสดิ์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิ

(ดร.สมชาย ดารารัตน์)

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.กันต์ฤทัย คลังพหล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 21 เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2563

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์ จังหวัดปทุมธานี

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	ประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์
ชื่อนักศึกษา	เปรมวิช ธาดาไชโยสิทธิ์
รหัสประจำตัว	60G54800105
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	นวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม
ประธานที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันสพรศม์ สวัสดิ์
กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	อาจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน ดร.ชนากานต์ เพิ่มฉลาด

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ และ 2) เพื่อเสนอแนะความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์โดยใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุ ทำการทดลองแบบแบบซ้ำ กำหนดปริมาณสารอินทรีย์ในระบบที่ 2% ควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C และค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 7 มีการกำหนดสถานะควบคุมที่ไม่เติมเถ้าลอย และสถานะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม และ 20 กรัม ตามลำดับ ทำการหมักจนเข้าสู่สภาวะคงที่ คือ ไม่มีการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น และวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในทุก ๆ 3 วัน

ผลการวิจัยพบว่า

1) สภาวะที่เหมาะสม คือ สภาวะการใช้ปริมาณเถ้าลอย 15 กรัม เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนมีค่าสูงสุดที่ 56.89% อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดมีค่า 205 ml และค่าผลผลิต 178.26 g/TVS_{remove} ที่สภาวะควบคุมที่ไม่ได้เติมเถ้าลอย เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทนมีค่าสูงสุดที่ 34.59% อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุดมีค่า 90 ml ค่าผลผลิต 30 g/TVS_{remove} ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมเถ้าลอยสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้

2) การพิจารณาความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์นั้น พบว่า ที่สภาวะการใช้ปริมาณเถ้าลอย 15 กรัม โครงการสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 4 ปี 4 เดือน ค่าอัตราผลตอบแทนภายใน ร้อยละ 20.25 ในการพิจารณาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนนั้น ถ้าค่าที่ได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการเหมาะสำหรับการลงทุน สำหรับโครงการนี้มีค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนเท่ากับ 1.382 เมื่อพิจารณาทุกองค์ประกอบร่วมกัน ทั้งด้านประสิทธิภาพการผลิต และความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ พบว่า การใช้เถ้าลอยสามารถรักษาสภาพต่าง และยังเป็นแร่ธาตุทำให้จุลินทรีย์ในระบบทำงานได้ดี

อีกทั้งยังเหมาะสมสำหรับการนำมาปรับใช้และเผยแพร่ข้อมูลโดยคู่มือการผลิตก๊าซชีวภาพ
ในครัวเรือนและชุมชน

คำสำคัญ : ก๊าซชีวภาพ มูลวัว ถ้ำลอย หล้าเนเปียร์ แร่ธาตุ



Thesis Title	The Performance of Trace Element for Biogas Production from Co-digestion between Cow Dung and Napier Grass
Student	Preamwisss Tadachaiyosit
Student ID	60G54800105
Degree	Master of Science
Field of Study	Innovation of Environmental Management
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr.Vanatpornratt Sawasdee
Thesis Co-Advisor	Dr.Sasitorn Hasin
Thesis Co-Advisor	Dr.Chanakan Puemchaiad

ABSTRACT

This research objectives were 1) studied the performance of fly ash for trace element in biogas production from co-digestion between cow dung and Napier grass, and 2) suggestion the economic feasibility for biogas production from co-digestion between cow dung and Napier grass with fly ash for trace element. The condition was fixed with batch condition, 2% total solid, temperature 37 °C, and pH 7. Fly ash was fixed to 5, 10, 15 and 20 grams, respectively. The experiment was finished when condition lead to steady state and parameters of biogas production monitoring every 3 days.

The research results were as follows:

1) The suitable condition for biogas production was obtained 15 grams of fly ash. It was obtained highest percentage of methane 56.89%, cumulative methane production 205 ml and yield 178.26 g/TVS_{remove}, respectively. The control condition was obtained highest percentage of methane 34.59%, cumulative methane production 90 ml and yield 30 g/TVS_{remove}, respectively. These results were presented fly ash can be improve the performance of biogas production.

2) The consideration of economic feasibility in suitable condition 15 grams of fly ash was found payback period 4 years 4 months, and internal rate return 20.25%. The consideration of benefit/cost ratio is more than 1 that project is suitable for investment. This research was obtained benefit/cost ratio 1.382. The factors consideration in this research for biogas production in term of efficiency and

economic feasibility was found that fly ash can be maintain the alkalinity and trace element for microorganisms in the system. It was also suitable for apply and data disseminate with biogas production guideline in household and communities.

Keywords: Biogas, Cow Dung, Napier Grass, Fly Ash, Trace Element



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จบรรลุล่วงวัตถุประสงค์ได้เป็นอย่างดี ทางผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วันสพร์ธัมม์ สวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้ความกรุณาเป็นที่ปรึกษา คอยให้คำปรึกษาและแนะนำ ตลอดจนแนวทางการดำเนินการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.สมชาย ดารารัตน์ ดร.ชนากานต์ เพิ่มฉลาด และอาจารย์ ดร.ศศิธร หาสิน ที่ให้คำแนะนำคำปรึกษาอันเป็นประโยชน์ และท่านคณะกรรมการทุกท่าน อาจารย์ ดร.สุนทรี จินธรรม อาจารย์ ดร.อนัญญา โพธิ์ประดิษฐ์ ที่สละเวลาให้เกียรติทำหน้าที่ คณะกรรมการ และผู้ทรงคุณวุฒิคุมสอบวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.นิพนธ์ พิสุทธิไพศาล ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้งาน ห้องปฏิบัติการทดลอง จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ ทุนสนับสนุนจากโครงการ “การสร้างภาคีในการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก ระหว่าง วว. (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) กับสถานศึกษา” รหัสโครงการ 6213105010 ประจำปี 2562

ขอกราบขอบคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้องทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้ความช่วยเหลือสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้ทำวิทยานิพนธ์ จนประสบความสำเร็จ

เปรมวิชัย ธาดาไชโยสิทธิ์

GRAD VRU

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อไทย.....	ก
บทคัดย่ออังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 เถ้าลอย (Fly Ash).....	6
2.2 ก๊าซชีวภาพ (Biogas).....	7
2.3 หญ้าเนเปียร์ (Napier Grass).....	11
2.4 การปรับสภาพ (Pretreatment).....	14
2.5 จุลินทรีย์ (Microorganisms).....	15
2.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility).....	16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
3.1 การดำเนินการวิจัย.....	23
3.2 วัตถุดิบสำหรับกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ.....	23
3.3 การออกแบบวิธีการทดลอง.....	26
3.4 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง.....	28
3.5 การคำนวณค่าทางจลศาสตร์ที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ.....	29
3.6 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์.....	29

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล.....	33
4.1 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	33
4.2 การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production).....	43
4.3 ผลผลิต (Yield).....	52
4.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (Economic Feasibility of Biogas Production).....	52
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ.....	57
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	57
5.2 อภิปรายผล.....	57
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	60
บรรณานุกรม.....	62
ภาคผนวก.....	66
ภาคผนวก ก ข้อมูลการผลิตก๊าซมีเทน.....	67
ภาคผนวก ข ข้อมูลการคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์.....	73
ภาคผนวก ค ตัวอย่างภาพการทำวิจัย.....	75
ภาคผนวก ง ตัวอย่างคู่มือก๊าซชีวภาพ.....	79
ประวัติผู้วิจัย.....	86

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงการแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C 618-01.....	7
2.2 คุณค่าทางโภชนาการหญ้าเนเปียร์ อายุ 45 วัน : 100 กรัม.....	12
2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NPV B/C Ratio และ IRR.....	18
3.1 ชุดการทดลอง.....	26
3.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการทดลอง.....	27
3.3 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน.....	32
4.1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	56



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 แผนภาพในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้ถั่วลันเตาเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์.....	3
2.1 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ.....	8
2.2 แสดงตัวอย่างหญ้าเนเปียร์ปากช่อง1.....	13
2.3 แสดงลักษณะของโครงสร้างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน.....	13
2.4 แสดงลักษณะการปรับสภาพให้โครงสร้างของสารชีวมวลสลายจากการย่อยของลิกนิน.....	14
3.1 มูลวัวที่ใช้ในงานวิจัย.....	24
3.2 หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพโดยทำให้มีขนาดเล็ก.....	25
3.3 ถั่วลันเตาที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดนครปฐม.....	25
3.4 ถึงปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) และลักษณะการเก็บตัวอย่าง.....	27
3.5 สรุปแผนการดำเนินการวิจัย.....	31
4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะที่ไม่เติมถั่วลันเตา.....	33
4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะที่เติมถั่วลันเตา (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม.....	34
4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะที่เติมถั่วลันเตา (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม.....	34
4.4 ค่าสภาพความเป็นด่างในสภาวะที่ไม่เติมถั่วลันเตา.....	35
4.5 ค่าสภาพความเป็นด่างในสภาวะที่เติมถั่วลันเตา (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม.....	36
4.6 ค่าสภาพความเป็นด่างในสภาวะที่เติมถั่วลันเตา (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม.....	36
4.7 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในสภาวะที่ไม่เติมถั่วลันเตาในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (■) ของการเดินระบบ.....	37
4.8 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เติมถั่วลันเตา 5 กรัม ในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (■) ของการเดินระบบ 10 กรัม ในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (□) ของการเดินระบบ.....	38
4.9 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เติมถั่วลันเตา 15 กรัม ในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (□) ของการเดินระบบ และ 20 กรัม ในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (■) ของการเดินระบบ.....	38
4.10 ค่าของแข็งทั้งหมดที่ไม่เติมถั่วลันเตา.....	39
4.11 ค่าของแข็งทั้งหมดที่เติมถั่วลันเตา (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม.....	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.12 ค่าของแข็งทั้งหมดที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม.....	40
4.13 ค่าของแข็งระเหยง่ายที่ไม่เติมเถ้าลอย.....	42
4.14 ค่าของแข็งระเหยง่ายที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม.....	42
4.15 ค่าของแข็งระเหยง่ายที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม.....	43
4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่ไม่เติมเถ้าลอย.....	44
4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม.....	44
4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม.....	45
4.19 ค่าปริมาณก๊าซรวมสะสมที่ไม่เติมเถ้าลอย.....	46
4.20 ค่าปริมาณก๊าซรวมสะสมที่เติมเถ้าลอยที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม	46
4.21 ค่าปริมาณก๊าซรวมสะสมที่เติมเถ้าลอยที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม.....	47
4.22 ค่าปริมาณมีเทนสะสมที่ไม่เติมเถ้าลอย.....	48
4.23 ค่าปริมาณมีเทนสะสมที่เติมเถ้าลอยที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม.....	48
4.24 ค่าปริมาณมีเทนสะสมที่เติมเถ้าลอยที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม...	49
4.25 ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max}) และอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max}) ที่ไม่เติมเถ้าลอย.....	50
4.26 ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max}) และอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max}) ที่เติมเถ้าลอย (■) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม.....	51
4.27 ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max}) และอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max}) ที่เติมเถ้าลอย (■) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม.....	51
4.28 ค่าผลผลิต (Yield) ในสภาวะที่ใช้ปริมาณเถ้าลอย แตกต่างกัน.....	52

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานนั้นเป็นสิ่งจำเป็นของมนุษย์ในโลกในปัจจุบันและทวีความสำคัญมากยิ่งขึ้น เมื่อมนุษย์มีความต้องการใช้พลังงานอย่างมากมายมหาศาลในการพัฒนาต่าง ๆ ของชีวิต เป็นเหตุให้เกิดปัญหาผลกระทบโดยตรงคือ ปัญหาการขาดแคลนพลังงานและสถานการณ์การใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองกับทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยเหตุนี้ถือเป็นวิกฤตการณ์ของโลก ที่ทุกฝ่ายควรตระหนักและให้ความสำคัญอย่างยิ่งในการสนับสนุนแนวทางการอนุรักษ์พลังงานอย่างรู้คุณค่าและใช้นวัตกรรมจัดการสิ่งแวดล้อม เพื่อเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด ประเทศไทยต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานเชิงพาณิชย์จากต่างประเทศ เป็นหลักใช้เงินลงทุนอย่างมหาศาล การนำเข้าส่วนใหญ่ คือ น้ำมันดิบ ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน เมื่อพิจารณาในช่วง 10 ปี ที่ผ่านมา (พ.ศ. 2551-2560) พบว่าปริมาณการนำเข้าพลังงานมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ในขณะที่ปริมาณการส่งออกนั้น พลังงานมีแนวโน้มคงที่ (สำนักงานนโยบาย และแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2561) อย่างไรก็ตามการที่รัฐบาลมีนโยบายส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทนในประเทศเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและดำเนินการตาม แผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี (พ.ศ.2554-2573) ทำให้สถานการณ์การใช้พลังงานสิ้นเปลืองเริ่มเปลี่ยนแปลงสู่การใช้พลังงานหมุนเวียนทดแทนต่อไป

ประเทศไทยถือว่าเป็นดินแดนแห่งเกษตรกรรมที่มีผู้ประกอบการด้านปศุสัตว์อยู่เป็นจำนวนมาก ในการทำฟาร์มปศุสัตว์นอกจากผลผลิตทางเกษตรที่จะได้รับแล้ว ของเสียที่เกิดจากการประกอบกิจกรรม คือ มูลสัตว์ เป็นผลพวงที่ตามมาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ สร้างปัญหาทำให้เกิดมลพิษในสิ่งแวดล้อมทางอากาศ และเกิดพิษต่อแหล่งน้ำให้กับชุมชน แนวทางแก้ไขปัญหในปัจจุบัน นอกจากใช้มูลสัตว์ ทำปุ๋ยหมักทดแทนปุ๋ยเคมี หรือเป็นอาหารแก่วัวชนิดอื่นแล้ว ยังสามารถนำมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพที่มีคุณภาพดี เหมาะสมกับเป็นพลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยหนึ่งในวัตถุดิบที่น่าสนใจคือ มูลวัว เนื่องจากเป็นของเสียจากมูลสัตว์ที่สามารถหาได้ง่ายในพื้นที่ จังหวัดปทุมธานีและพื้นที่อื่น ๆ ของประเทศไทย มูลวัวมีลักษณะเป็นของแข็ง ประกอบไปด้วยเศษพืช และสัตว์ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จึงเหลือเป็นกากของเสียที่สัตว์ขับถ่ายออกมาโดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้ว ในทางเดินอาหาร ดังนั้นส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อรวมเข้าด้วยกัน มีองค์ประกอบที่สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่สมบูรณ์ของพืชได้ ส่วนมูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีธาตุอาหารชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์

ชนิดนั้นกินเข้าไปเป็นปัจจัยสำคัญรวมทั้งปัจจัยอื่น เช่น ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหารและการเก็บรักษามูลวัว เป็นต้น

เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นวัตถุดิบผลพลอยได้จากการเผาไหม้ ไม่ว่าจะเป็นการเผาถ่านหินหรือชีวมวลจากพืช นำมาใช้เพื่อให้ความร้อนแก่หม้อไอน้ำ (Boiler) และนำไปผลิตกระแสไฟฟ้าในลำดับต่อไป โดยทั่วไปเถ้าลอยจะนำไปใช้ในการผสมกับสารปอร์ตแลนด์ เพื่อผลิตคอนกรีตได้ในปริมาณสูง และยังเพิ่มความแข็งแรงของคอนกรีตได้อีกด้วย ซึ่งเถ้าลอยนั้นมีส่วนผสมของแคลเซียมออกไซด์ (CaO) แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) โซเดียมออกไซด์ (Na₂O) โพแทสเซียมออกไซด์ (K₂O) และไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO₂) นอกจากนี้ เถ้าลอยยังสามารถเพิ่มปริมาณการผลิตมีเทน และลดความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย อีกทั้งองค์ประกอบของเถ้าลอยยังมีความน่าสนใจสำหรับการเป็นธาตุอาหารสำคัญสำหรับกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนอีกด้วย (Montalvo et al., 2018)

หญ้าเนเปียร์ (Napier Grass) ในปัจจุบันมีหลายสายพันธุ์โดยสายพันธุ์ที่น่าสนใจในประเทศไทยคือหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 เนื่องจากมีปริมาณสารอาหารที่ค่อนข้างสูง อัตราการเจริญเติบโตที่ดีและให้ค่าผลผลิตในประเทศไทยถึง 14 ตัน/ไร่/ปี ปลูกครั้งเดียวเก็บเกี่ยวต่อเนื่องได้นาน 8-9 ปี ซึ่งเป็นพืชชีวมวลที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ (ก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงานกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558) จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะทำมาเป็นวัตถุดิบในการหมักร่วมกับมูลวัว โดยใช้เถ้าลอยเป็นธาตุอาหาร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานก๊าซชีวภาพ ดังนั้นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาเป็นวัตถุดิบหลักและแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพโดยหมักร่วมกับพืชพลังงานและมูลสัตว์ เป็นแนวทางหนึ่งของการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน นอกจากเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดมลพิษทางอากาศจากการเผาวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแล้วยังอาจเพิ่มผลผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักของเสียจากมูลสัตว์ ส่งผลให้มีแหล่งพลังงานในชุมชนเพิ่มเติม สามารถใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม (Liquefied Petroleum Gas: LPG) ในครัวเรือน หรือกรณีที่มีปริมาณมากพอ อาจนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปผลิตไฟฟ้าขายให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพิ่มรายได้และคุณภาพชีวิตให้แก่ชุมชนต่อไป

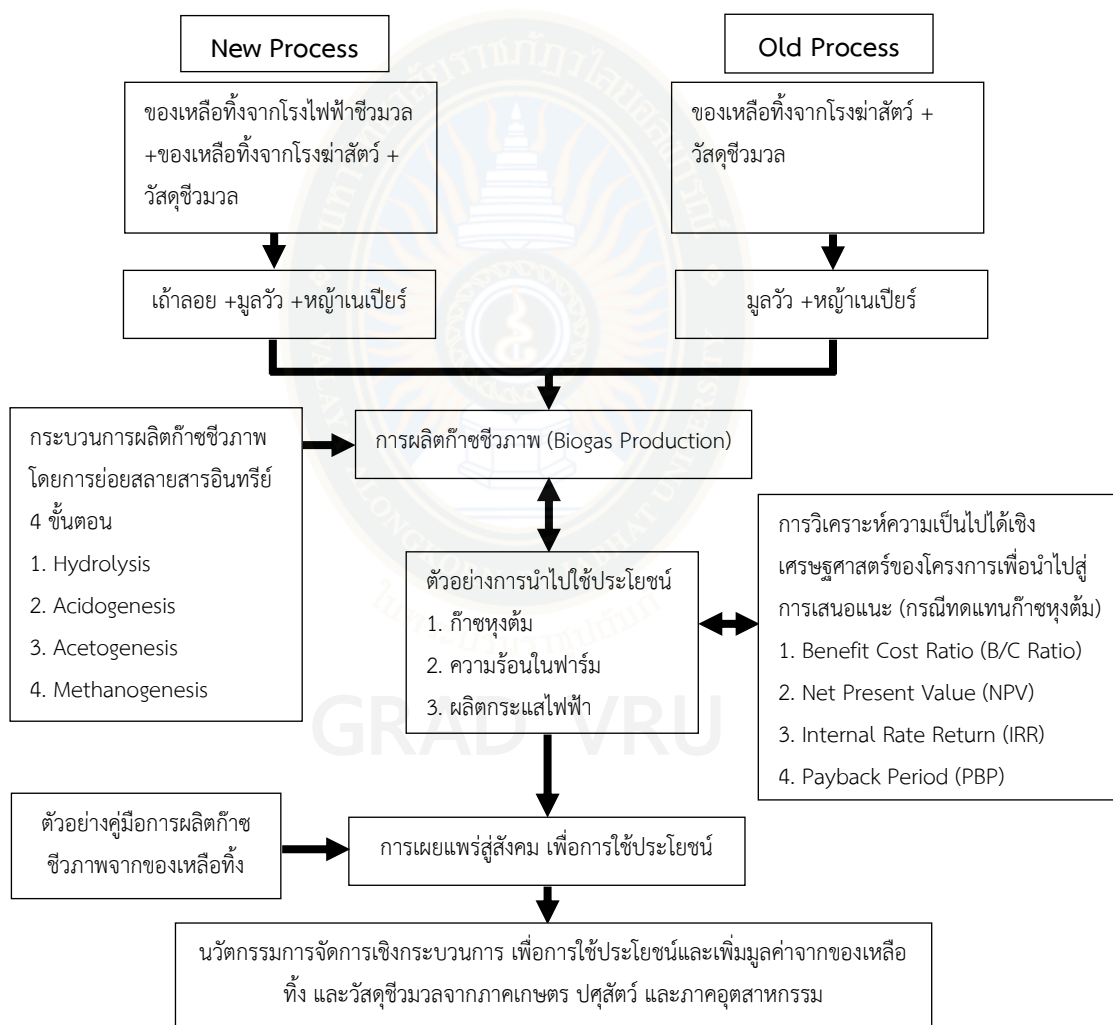
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุในผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์

1.2.2 เพื่อเสนอแนะความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์โดยใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุ

1.3 กรอบแนวคิดในการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นการดำเนินงานการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ นำไปสู่ตอบโจทยนโยบายของรัฐบาลที่ส่งเสริมการผลิตและการใช้พลังงานทดแทนที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียเหลือทิ้ง เพื่อให้ผลิตพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการและใช้เป็นพลังงานทางเลือกเพื่อพัฒนาประเทศสู่อนาคต



ภาพที่ 1.1 แผนภาพในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ โดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Fermentation) โดยใช้การทดลองแบบกะหรือแบช (Batch) กำหนดปริมาณสารอินทรีย์ในระบบที่ 2% Total solid ควบคุมอุณหภูมิที่ 37°C และค่าความเป็นกรด-ด่าง มีค่าเท่ากับ 7 โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารอินทรีย์ต่อเชื้อจุลินทรีย์ คือ 1:2 และแปรผันปริมาณเถ้าลอยที่ 5, 10, 15 และ 20 กรัม ตามลำดับ ทำการหมักจนกระทั่งระบบเข้าสู่ภาวะ Steady state คือ ไม่มีการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น เก็บตัวอย่างก๊าซ และของเหลวในระบบเพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ทุก ๆ 2 วัน ดังนี้ เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (%CH₄) ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid: VFA) ของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS) ค่าของแข็งระเหยง่ายทั้งหมด (Total Volatile Solid: TVS) ในอัตราส่วนต่าง ๆ วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility) ของการนำมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ มาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุ เพื่อพิจารณาว่าโครงการนี้มีความเหมาะสมกับการลงทุน เป็นแหล่งพลังงานในชุมชนเพิ่มเติม สามารถใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม (LPG) ในครัวเรือน หรือกรณีที่มีปริมาณมากพอ อาจนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ไปผลิตไฟฟ้าขายให้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเพิ่มรายได้และคุณภาพชีวิตให้แก่ชุมชน

1.5 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1.5.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลสัตว์ หรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ในสภาพไม่มีอากาศเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH₄) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซไนโตรเจน (N₂) และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ส่วนใหญ่แล้วจะประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นหลัก ซึ่งมีคุณสมบัติ ติดไฟได้

1.5.2 มูลวัว (Cow Dung) มีลักษณะเป็นของแข็ง ประกอบไปด้วยเศษของพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จึงเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมาโดยเศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร ดังนั้นส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด

1.5.3 เถ้าลอยหรือเถ้าปลิว (Fly Ash) คือ ขี้เถ้าที่หลงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ของแกลบ จากโรงไฟฟ้าชีวมวลแกลบ จังหวัดนครปฐม มีขนาดเล็กและละเอียดมาก

1.5.4 หญ้าเนเปียร์ (Napier Grass) เป็นหญ้าเขตร้อนที่มีอายุหลายปี มีทรงต้นเป็นกอตั้งตรงคล้ายอ้อย ขยายพันธุ์ด้วยท่อนพันธุ์ เจริญเติบโตได้ดีในดินร่วนปนทรายถึงดินเหนียว สามารถทน

ต่อความแห้งแล้งได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตมากและรวดเร็วถึง 2 รอบการเก็บเกี่ยวต่อปี ในงานวิจัยในครั้งนี้ที่ใช้คือ หนุ่ยเนเปียร์สายพันธุ์ปากช่อง1 ที่ปลูกในจังหวัดสระแก้ว

1.5.5 การหมักแบบกะ (Batch) ในงานวิจัยนี้ใช้การหมักแบบกะ ซึ่งเป็นการหมักที่เติมสารอินทรีย์เพียงครั้งเดียว จากนั้นจึงให้ระบบดำเนินไปจนกระทั่งเข้าสู่ Stationary Phase

1.5.6 อาร์เคีย (Archaea) เป็นกลุ่มแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน หรือเมทาโนเจน ซึ่งจะมีรูปร่างแตกต่างกันออกไปในแต่ละจีนัส (Genus) เช่น *Methanococcus* มีรูปร่างกลม (Cocci) *Methanobrevibacter* มีรูปร่างเป็นท่อนสั้น (Short Rod) โดยอาร์เคียในระบบจะทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติก จากการใช้อิโตรเจนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน และการผลิตมีเทนจากสารอินทรีย์ที่มีหมู่เมทิลประกอบอยู่

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถนำนวัตกรรมการจัดการเชิงกระบวนการที่ได้จากงานวิจัยนี้ ไปสู่การใช้ประโยชน์และเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้ง และชีวมวลจากภาคการเกษตร ปศุสัตว์ และภาคอุตสาหกรรม

1.6.2 เพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับพลังงานทดแทน ทั้งการใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม และใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า

1.6.3 นำข้อมูลความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการสร้างระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างมูลวัวและหนุ่ยเนเปียร์ โดยมีเถ้าลอยเป็นแร่ธาตุ สำหรับนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ และยังได้ตัวชี้วัดทางจุลชีวศาสตร์สำหรับการออกแบบระบบที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

1.6.4 นำองค์ความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการจัดการสิ่งแวดล้อมในการผลิตก๊าซชีวภาพของชุมชน

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ศึกษา “ประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์” ได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

- 2.1 เถ้าลอย (Fly Ash)
- 2.2 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)
- 2.3 หญ้าเนเปียร์ (Napier Grass)
- 2.4 การปรับสภาพ (Pretreatment)
- 2.5 จุลินทรีย์ (Microorganisms)
- 2.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility)
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เถ้าลอย (Fly Ash)

2.1.1 ความหมายของเถ้าลอย

เถ้าลอย (Fly Ash) คือ สารที่คงเหลือจากกระบวนการเผาไหม้ถ่านหินหรือชีวมวล ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งเถ้าลอยถือเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างหนึ่ง ถ่านหินลิกไนต์ใช้ในการเผาไหม้โรงไฟฟ้าแม่เมาะใช้ลิกไนต์ประมาณวันละ 40,000 ตัน ซึ่งก่อให้เกิดเถ้าหนักและเถ้าลอยปริมาณถึง 10,000 ตัน/วัน ซึ่งจำเป็นต้องใช้พื้นที่ใหญ่มากในการฝังกลบ เถ้าลอยนั้นมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน ถึง 200 ไมครอน ซึ่งถือได้ว่าเป็นมลพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (นิชชา บุรณสิงห์, 2560)

2.1.2 คุณสมบัติของเถ้าลอย

โดยทั่วไปมีการแบ่งชั้นคุณภาพตามคุณสมบัติของเถ้าลอยโดยอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C 618-01 (American Society for Testing and Materials) โดยสามารถแบ่งเป็น 2 แบบ ดังนี้ ASTM C 618 Type F และ ASTM C 618 Type C โดยเถ้าลอยที่ Type F จะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์น้อยกว่าร้อยละ 5 ส่วนเถ้าลอยที่ Type C จะมีปริมาณแคลเซียมออกไซด์สูง ประมาณร้อยละ 15-25 ดังตารางที่ 2.1 นอกจากนี้ยังมีจุดเด่นสามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่ให้ลดต่ำลงแทนการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระบบ และเมื่อสัมผัสกับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติ สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีให้มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious) ได้อย่างดี จึงนิยมนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ (นิชชา บุรณสิงห์, 2560)

โดยทั่วไปองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอย คือ ซิลิกาออกไซด์ (SiO_2) อลูมินาออกไซด์ (Al_2O_3) ไออนอนออกไซด์ (Fe_2O_3) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นองค์ประกอบหลัก และแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ออกไซด์ของอัลคาไล (Na_2O , K_2O) และซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) เป็นองค์ประกอบรอง ดังตาราง 2.1 (ศศิธร สิงห์เสริมวงษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์, 2560)

ตารางที่ 2.1 แสดงการแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C 618-01

คุณสมบัติ	ASTM C Type F (%)	ASTM C Type C (%)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	≥ 70	≥ 50
SO_3	5.0	5.0
MgO	≤ 5.0	≤ 5.0
Na_2O	≤ 1.5	≤ 1.5
Moisture	3.0	3.0

ที่มา: ศศิธร สิงห์เสริมวงษ์ และคณิตา ตังคณานุรักษ์ (2560)

2.2 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

2.2.1 ความหมายของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เป็นก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกาศ โดยถูกย่อยสลายโดยเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยก๊าซที่ได้จะเป็นก๊าซที่ผสมระหว่างก๊าซชนิดต่าง ๆ ดังนี้ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยก๊าซชีวภาพนั้นจะประกอบด้วยก๊าซมีเทนเป็นหลัก

2.2.2 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซมีเทน (CH_4) 65% โดยปริมาตร เป็นก๊าซที่ติดไฟได้ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) 30% โดยปริมาตร ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีอันตรายต่อร่างกายถ้าได้รับในปริมาณมากกว่า 5,000 ppm

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 2% โดยปริมาตร เป็นก๊าซพิษ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถเสียชีวิตในทันทีหากได้รับในปริมาณเกินกว่า 1,000 ppm ก๊าซอื่น ๆ 3% โดยปริมาตร

2.2.3 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

1) ประโยชน์ด้านพลังงาน

ก๊าซชีวภาพมีส่วนประกอบหลักคือก๊าซมีเทน ดังนั้นคุณสมบัติเด่นของก๊าซชีวภาพคือสามารถจุดติดไฟได้ดีทำให้สามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ดังนี้

1.1) นำก๊าซชีวภาพไปเผาเพื่อใช้ความร้อนโดยตรง ซึ่งสามารถใช้กับอุปกรณ์เตาปรุงอาหารในครัวเรือนเครื่องกกกลูกลูกสุกร หม้อต้มไอน้ำ

1.2) นำไปเผาเพื่อให้ความร้อนและใช้ในการขับเคลื่อนเครื่องจักรต่าง ๆ เช่น การใช้กับ เครื่องยนต์เบนซินและดีเซล

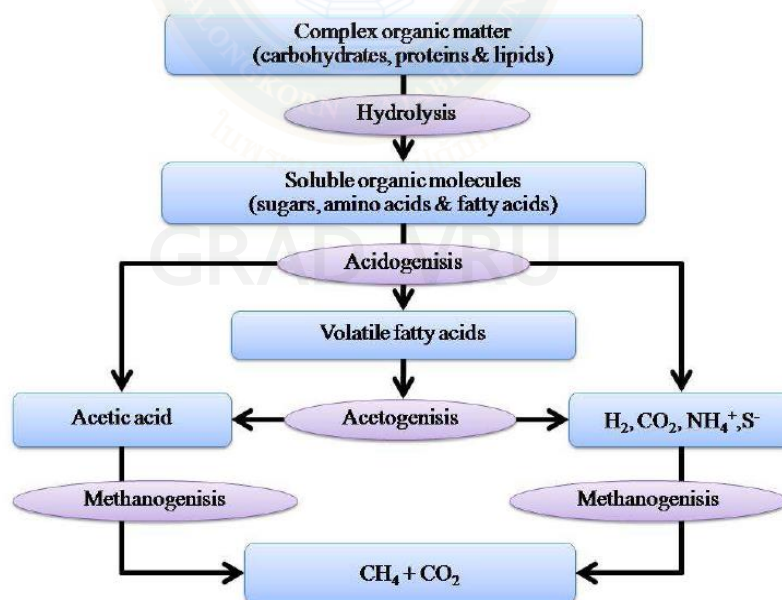
1.3) การเผาเพื่อให้ความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้า โดยสามารถนำไปใช้กับเครื่องจักรกลชุดกังหันไอน้ำ และชุดกังหันก๊าซ ร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2) ประโยชน์ด้านการเกษตร

สำหรับด้านการเกษตรนั้น สามารถใช้ประโยชน์จากกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้สามารถเกิดประโยชน์สูงสุด นอกเหนือจากการผลิตพลังงาน คือ การทำปุ๋ย อาหารของพืชและสัตว์ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2558)

2.2.4 การย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ

เป็นกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มี 4 ขั้นตอน (ภาพที่ 2.1) ดังนี้ (สันต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)



ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

ที่มา: Ramaraj and Dussadee (2015)

1) ปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

เป็นกระบวนการย่อยสลายอแกนิค หรือสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ เช่น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต โดยแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะมิโน น้ำตาลกลูโคส กรดไขมัน ความเร็วในการเกิดปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น ชนิดของเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมา ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ หรือ การสัมผัสของเอนไซม์กับสารอินทรีย์

2) ปฏิกริยาอะซิโดจีนิซิส (Acidogenesis)

กระบวนการสร้างกรด ผลผลิตจากกระบวนการปฏิกริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ในขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรีย พวกสร้างกรดนำไปใช้เพื่อผลิตเป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) เช่น กรดอะซิติก กรดโฟลโพนิก กรดบิวทิริก กรดวาเลอริก และเอทานอล ซึ่งกรดอะซิติกนั้นมีปริมาณมากที่สุดและยังเกิด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนขึ้นในขั้นตอนนี้อีกด้วย

3) ปฏิกริยาการสร้างกรดอะซิติก (Acetogenesis)

กระบวนการสร้างกรดอะซิติก จาก กรดไขมันระเหยง่าย ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียอะซิโตจีนิค (Acetogenic Bacteria) เปลี่ยนให้เป็น กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการสร้างมีเทน ปฏิกริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากการลด การสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณที่สูงนั้นสามารถยับยั้งกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนได้

4) ปฏิกริยาการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

กระบวนการย่อยสลายสู่การสร้างก๊าซมีเทน กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลจากการปฏิกริยาของแบคทีเรียที่สร้างกรด จะถูกแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) ใช้สร้างมีเทน

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

1) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีความสำคัญสำหรับประสิทธิภาพการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยอัตราการเกิดปฏิกิริยาชีวเคมีจะสูงขึ้น เมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้น อย่างไรก็ตามความเหมาะสมของอุณหภูมิกับระบบยังขึ้นอยู่กับกลุ่มจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ โดยช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แบบไร้อากาศสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

คือเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) มีช่วงอุณหภูมิประมาณ 50-65°C โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า เทอร์โมฟิลิกแบคทีเรีย

มีโซฟิลิก (Mesophilic) มีช่วงอุณหภูมิประมาณ 20-45°C โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่า มีโซฟิลิกแบคทีเรีย

ไซโครฟิลิก (Psychrophilic) มีช่วงอุณหภูมิประมาณ 5-15°C โดยเรียกแบคทีเรียที่ทำงานในช่วงอุณหภูมินี้ว่าไซโครฟิลิกแบคทีเรีย

โดยทั่วไประบบผลิตก๊าซชีวภาพสามารถใช้กลุ่มจุลินทรีย์เทอร์โมฟิลิก หรือมีโซฟิลิก แต่ในกลุ่มเทอร์โมฟิลิกนั้นเป็นจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในอุณหภูมิสูง ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมากกว่ากลุ่มมีโซฟิลิก ส่งผลให้เสถียรภาพของระบบที่มีอุณหภูมิสูงน้อยกว่าอุณหภูมิปานกลาง

2) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

การผลิตก๊าซชีวภาพเกิดในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่าง 6.0-8.5 อาร์เคียที่สร้างมีเทน (Methanogenic Archaea) เจริญเติบโตได้ดีที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 7-8.5 แต่จุลินทรีย์ผลิตกรดจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงค่าความเป็นกรด-ด่าง 6-7 ค่าความเป็นกรด-ด่างส่งผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และยังส่งผลต่อการละลายของแอมโมเนีย ซัลไฟด์ และกรดอินทรีย์ ซึ่งเหล่านี้ส่งผลต่อกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน

เพื่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะถูกยับยั้งเมื่อค่าความเป็นกรด-ด่างต่ำกว่า 6 หรือสูงกว่า 8.5 โดยปกติในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาพร้อมกับอุณหภูมิในระบบแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิสูงมีค่าการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์น้อยลง ทำให้แนวโน้มในการเกิดกรดในระบบลดลง นอกจากนี้ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ ถือเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยถ้ามีการป้อนสารอินทรีย์เข้าระบบมากเกินไป จะทำให้จุลินทรีย์ผลิตกรดทำงานและผลิตกรดไขมันระเหยง่ายมากขึ้น จนกลุ่มอาร์เคียที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซชีวภาพไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยง่ายได้ทันเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความเป็นกรด-ด่าง (สันทนต์ ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

3) สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างในระบบเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณบัฟเฟอร์ (Buffering Capacity) ของการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง และยังเป็นตัวบ่งชี้ถึงเสถียรภาพของระบบอีกด้วย กล่าวคือ ถ้าในระบบมีค่าความเป็นด่างสูง แสดงว่าระบบมีปริมาณบัฟเฟอร์สูง ทำให้สามารถรักษาค่าความเป็นกรด-ด่างของระบบให้คงตัวอยู่ได้นาน โดยไม่เกิดการแปรปรวนของค่าความเป็นกรด-ด่างได้ง่าย เมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายเกิดขึ้นในระบบมากขึ้น โดยค่าที่เหมาะสมสำหรับสภาพความเป็นด่างของระบบควรอยู่ในช่วง 1,000 – 5,000 มิลลิกรัมของแคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร ซึ่งค่าที่เหมาะสมควรมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมของ

แคลเซียมคาร์บอเนตต่อลิตร จะสามารถควบคุมค่าความเป็นกรดต่างในระบบได้เป็นอย่างดี (สันตติศรีอนันต์ไพบูลย์, 2557)

4) สารยับยั้งและสารพิษ (Inhibiting and Toxic Substances)

การสะสมของสารบางชนิด เช่น กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) แอมโมเนียซัลไฟด์ และโลหะหนักบางตัว เช่น โซเดียม โปแตสเซียม สามารถทำให้การย่อยสลายในสภาพไร้ออกซิเจนหยุดชะงักได้ (สันตติศรีอนันต์ไพบูลย์, 2557)

5) การกวน (Mixing)

การกวนเป็นสิ่งสำคัญในระบบการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีหลักการ คือ ทำให้สารอินทรีย์อยู่ในสภาพแขวนลอย เพื่อให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของสารอินทรีย์ตามจุดต่าง ๆ ของถังหมัก และทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน

2.2.6 กระบวนการหมักร่วม (Co-digestion)

กระบวนการหมักร่วมเป็นกระบวนการที่หมักร่วมกันระหว่างวัตถุดิบที่มากกว่า 1 ชนิดขึ้นไปภายในถังปฏิกรณ์เดียวกัน โดยกระบวนการหมักร่วมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ รวมไปถึงผลผลิตมีเทนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากมีสารอาหาร วัตถุดิบสำหรับเชื้อจุลินทรีย์ในระบบซึ่งเอื้ออำนวยต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่นำกระบวนการหมักร่วมเข้ามาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต เช่น การหมักร่วมระหว่างมูลสุกร และเปลือกมันสำปะหลัง

การหมักร่วมระหว่างสาหร่าย และของเสียจากโรงงานผลิตเบียร์ เป็นต้น โดยจากงานวิจัยเหล่านี้สามารถเพิ่มผลผลิตของมีเทนได้มากกว่า 60% ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า กระบวนการหมักร่วมถือเป็นกระบวนการที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี (Patil et al., 2014)

2.3 หญ้าเนเปียร์ (Napier Grass)

2.3.1 ความหมายของหญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ (Napier Grass) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Pennisetum purpureum* หญ้าเนเปียร์จัดเป็นหญ้าในเขตร้อนมีลักษณะใบหนาและกว้างมีลำต้นคล้ายอ้อย (ภาพที่ 2.2) หญ้าเนเปียร์ไม่ใช่หญ้าท้องถิ่นในประเทศไทยแต่มีการนำเข้ามาจากประเทศแอฟริกาและประเทศมาเลเซีย เพาะปลูกในประเทศไทยมานานมากกว่า 30 ปีมาแล้วโดยสายพันธุ์ดั้งเดิมที่นำมาปลูกในประเทศไทยนั้นประกอบด้วย หญ้าเนเปียร์ธรรมดา หญ้าเนเปียร์แคระ (Mott Dwarf Elephant Grass) และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ (King Elephant Grass)

2.3.2 องค์ประกอบของหญ้าเนเปียร์

ในปัจจุบันประเทศไทย มีหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 มีลักษณะลำต้นเป็นปล้องข้อชัดเจน มีรากฝอยแพร่กระจายและแข็งแรงเมื่อโตเต็มที่จะมีความสูงถึง 5 เมตร แตกกอได้ดี ทนแล้ง และไม่มีระยะพักตัว ให้ผลผลิตที่ได้ค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอตลอดทั้งปี และใบนั้นยังประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 11-12 และนอกจากนี้ยังมีโปรตีนประมาณร้อยละ 13-17 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 จัดเป็นหญ้าที่มีคุณค่าทางอาหารค่อนข้างสูง (ตารางที่ 2.2)

ตารางที่ 2.2 คุณค่าทางโภชนาการหญ้าเนเปียร์ อายุ 45 วัน : 100 กรัม

สารอาหาร	ปริมาณ	หน่วย
พลังงาน	175.40	แคลอรี
โปรตีน	7.32	กรัม
ไขมัน	0.99	กรัม
คาร์โบไฮเดรต	34.32	กรัม
ความชื้น	8.68	กรัม
เถ้า	11.51	กรัม
กาก	37.21	กรัม
แคลเซียม	247.50	มิลลิกรัม
ฟอสฟอรัส	203.90	มิลลิกรัม
เหล็ก	12.40	มิลลิกรัม

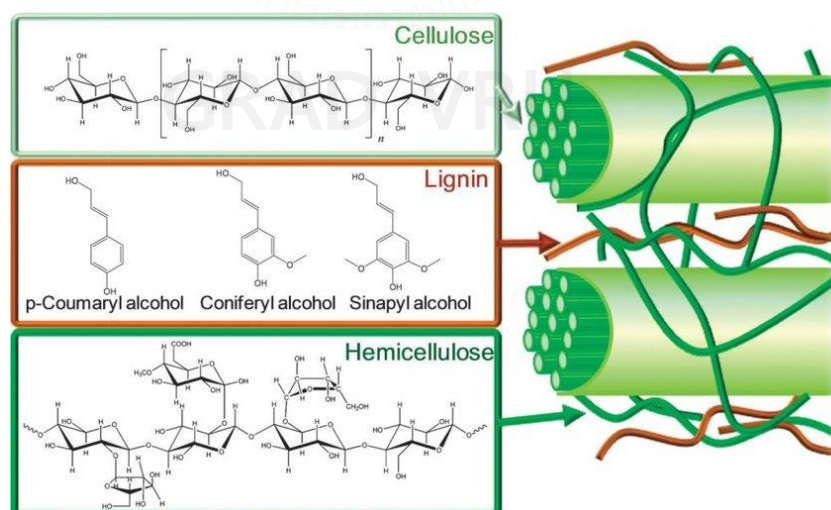
ที่มา: พาริดา พรหมมา และคนอื่น ๆ (2557)



ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างหญ้าเนเปียร์ปากช่อง1

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน (2558)

หญ้าเนเปียร์เป็นวัสดุลิกโนเซลลูโลส (Lignocellulose) ประกอบไปด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ตามลำดับ (ภาพที่ 2.3) ทั้ง 3 องค์ประกอบนี้ส่วนที่สามารถนำมาใช้ในการผลิตเป็นก๊าซชีวภาพได้แก่เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ซึ่ง เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส นั้นประกอบไปด้วย น้ำตาล คาร์บอน 6 และ 5 อะตอม ซึ่งน้ำตาลดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเริ่มการผลิตก๊าซชีวภาพโดยจุลินทรีย์ได้ (พาริตา พรหมมา และคนอื่น ๆ, 2557)



ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะของโครงสร้างเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

ที่มา: Horvat (2016)

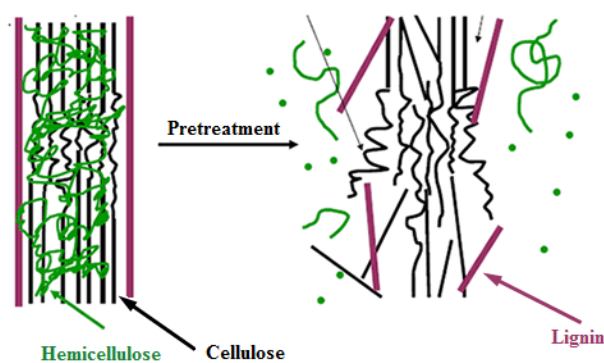
1) เซลลูโลส (Cellulose) เซลลูโลสเป็นส่วนที่อยู่ภายในสุดของโครงสร้างพืช เชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่ ยาวเหมือนตาข่ายลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลสเป็นเส้นใย เซลลูโลสพบได้ในส่วนของลำต้นพืช

2) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) คือชั้นที่อยู่ถัดมาจากเซลลูโลสประกอบไปด้วย น้ำตาล โมเลกุลเดี่ยวหลายชนิด ได้แก่ กลุ่มน้ำตาลเพนโตส (น้ำตาลคาร์บอน 5 อะตอม C-5) เช่น ไซโลส อะราบิโนสและกลุ่มน้ำตาลเฮกโซส (น้ำตาลคาร์บอน 6 อะตอม หรือน้ำตาล C-6) ได้แก่ แมนโนส กาแลกโตส และกลูโคส เป็นต้น ในผนังเซลล์พืช เฮมิเซลลูโลสทำหน้าที่เชื่อมระหว่าง โครงสร้างของเส้นใยเซลลูโลสและลิกนินร่วมกับแพคติน ทำให้ผนังเซลล์พืชมีความแข็งแรง และสามารถคงรูปอยู่ได้

3) ลิกนิน (Lignin) เป็นส่วนประกอบที่อยู่นอกสุดในผนังเซลล์อยู่ติดกับเฮมิเซลลูโลส ลิกนินเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีขนาดใหญ่ ประกอบไปด้วย สารกลุ่มคาร์บอน ไฮโดรเจน และ ออกซิเจนรวมตัวกันเป็นวงแหวนหรือเรียกว่า อะโรมาติก ลิกนินเป็นส่วนที่เสริมความแข็งแรงให้กับ ผนังเซลล์พืชเนื่องจากโครงสร้างที่ซับซ้อนทำให้ลิกนินมีความแข็งแรงและย่อยสลายได้ยากทั้งจาก จุลินทรีย์และจากปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นลิกนิน จึงไม่สามารถนำมาใช้ผลิตก๊าซชีวภาพได้ (สุริยวรรณ สิทธิจินดา, 2560)

2.4 การปรับสภาพ (Pretreatment)

การปรับสภาพขั้นต้น คือ เพื่อแยกคาร์โบไฮเดรตออกจากการยึดจับของลิกนิน และขณะเดียวกัน จะต้องมีการทำลายโครงสร้างทางเคมีของน้ำตาลให้น้อยที่สุด นอกจากนี้การปรับสภาพยังเพิ่ม ความสามารถในการเข้าย่อยสลายด้วยเอนไซม์ เพิ่มพื้นที่ผิวและรูพรุนของสับสเตรท ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะการปรับสภาพให้โครงสร้างของสารชีวมวลสลายจากการยึดจับของลิกนิน
ที่มา: Kumar, et al., (2009)

2.4.1 การปรับสภาพทางกายภาพ (Physical Pretreatment)

การปรับสภาพทางกายภาพเป็นการทำให้สารตั้งต้นมีขนาดเล็กลงโดยการ การตัด การบด การฉีก การใช้รังสี การใช้ไอน้ำ การใช้น้ำร้อน เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวต่อหน่วยปริมาตรและเพิ่มรูพรุนเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการเข้าทำปฏิกิริยาเป็นการช่วยเพิ่มความสามารถในการย่อยสลายวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวในการย่อยสลายต่าง ๆ ได้ (Amin, et al., 2017)

2.4.2 การปรับสภาพทางเคมี (Chemical Pretreatment)

การปรับสภาพทางเคมีเป็นการใช้สารเคมี เช่น สารละลายกรดเจือจาง สารละลายด่างเจือจาง การใช้ตัวทำละลาย เช่น เมทานอล เอทานอล หรืออะซิโตน การใช้แอมโมเนีย ซัลเฟอร์ไดออกไซด์คาร์บอนไดออกไซด์ และสารเคมีอื่น ๆ เช่น EDTA (Ethylene Diamine Tetra – Acetic acid) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต โอโซน และยูเรีย เป็นต้น วิธีนี้จะละลายส่วนที่เป็นเฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เพื่อแยกส่วนที่เป็นเซลลูโลสเพื่อเตรียมสู่ขั้นตอน Acid Hydrolysis หรือ Enzyme Hydrolysis (Amin, et al., 2017)

2.4.3 การปรับสภาพทางชีวภาพ (Biological Pretreatment)

การปรับสภาพทางชีววิทยาเป็นการใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส เช่น การใช้ *Trichoderma reesei* และ *Aspergillus niger* สามารถผลิตเอนไซม์ Extra-Cellular Cellulolytic ได้เป็นจำนวนมาก ข้อดีของกระบวนการนี้คือ ใช้พลังงานน้อย ไม่ใช้สารเคมี ทำให้เป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม แต่อย่างไรก็ตามวิธีการปรับสภาพทางชีวภาพนั้น ใช้เวลานานในการย่อยสลาย และยังต้องใช้พื้นที่เป็นจำนวนมาก (Amin, et al., 2017)

2.5 จุลินทรีย์ (Microorganisms)

2.5.1 แบคทีเรีย (Bacteria) เป็นสิ่งมีชีวิตที่มีรูปร่างหลายแบบ เช่น กลม (Cocci) แท่ง (Rod, Bacillus) เกลียว (Spirillum) เป็นต้น แบคทีเรียมีโครงสร้างไม่ซับซ้อน สามารถดูดซึมสารอาหารจากพื้นผิวหรือสิ่งแวดล้อมที่อยู่อาศัยได้ องค์ประกอบของเซลล์แบคทีเรียประกอบด้วยน้ำถึง 80% และเป็นของแข็ง 20% ภายในของแข็งประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ 90% และสารอนินทรีย์ 10% ในส่วนสารอินทรีย์ประกอบไปด้วย C O N และ H ในส่วนสารอนินทรีย์ ประกอบไปด้วย P_2O_5 SO_3 N_2O CaO MgO K_2O Fe_2O_3 ทำให้แบคทีเรียต้องใช้ธาตุอาหารเหล่านี้ในการเจริญเติบโต (สันตติศรีอนันต์ไพบุลย์, 2557)

2.5.2 อาร์เคีย (Archaea) กลุ่มจุลินทรีย์อาร์เคีย ถือเป็นกลุ่มสำคัญกลุ่มหนึ่งเนื่องจากเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถสร้างก๊าซมีเทนได้โดยกิจกรรมของอาร์เคีย จะย่อยสลายสารกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่อยู่ในระบบผลิตก๊าซชีวภาพแบบไร้อากาศให้เป็นก๊าซมีเทน (วรวิทย์ ฤทธิพร และคนอื่นๆ, 2558)

2.5.3 รา (Fungi) สิ่งมีชีวิตชนิดนี้ส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยเซลล์หลายเซลล์เรียงต่อกัน แต่มีราบางชนิดที่อยู่เป็นเซลล์โดด คือ ยีสต์ (Yeast) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ยังถือได้ว่ามีประโยชน์ต่อระบบ เช่นระบบบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสามารถอยู่ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศเช่นใช้การบำบัดสีของเสียจากน้ำโรงงานสุรา หรือ การบำบัดไนโตรเจน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

2.5.4 โปรโตซัว (Protozoa) สิ่งมีชีวิตนี้สามารถพบได้ในแหล่งน้ำหรือแหล่งน้ำเสียที่ไม่มี ความสกปรกในรูปแบบสารอินทรีย์มากนัก ดังนั้นโปรโตซัว ถือว่าเป็นตัวชี้วัดว่าถ้าพบ ในแหล่งน้ำหรือ น้ำเสียใด ๆ หมายถึง น้ำเสียนั้น ยังมีปริมาณออกซิเจนละลายอยู่ในปริมาณสูง

โปรโตซัวยังมีประโยชน์อีกคือสามารถกินตะกอนจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำทำให้น้ำมีคุณภาพดีขึ้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

2.5.5 ไวรัส (Virus) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กไม่เป็นเซลล์ และไม่สามารถเห็นได้ด้วยตาเปล่า ไม่สามารถดำรงชีวิตได้เป็นอิสระ แต่ต้องอาศัยสิ่งมีชีวิตเซลล์อื่นที่เรียกว่า Host ซึ่งเป็นเซลล์ของพืช สัตว์หรือมนุษย์ โดยไวรัส ที่พบในน้ำเสียนั้น สามารถใช้เป็นตัวชี้วัด แหล่งที่มาของน้ำเสียได้ นำไปสู่ การเลือกวิธีบำบัดน้ำเสียได้อย่างถูกต้อง (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

2.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ (Economic Feasibility)

2.6.1 ต้นทุน (Cost)

เป็นมูลค่าของทรัพยากรที่สูญเสียไปเพื่อให้ได้สินค้าหรือบริการ โดยมูลค่านั้นจะต้อง สามารถวัดได้เป็นหน่วยเงินตรา ซึ่งเป็นลักษณะของการลดลงในสินทรัพย์หรือเพิ่มขึ้นในหนี้สิน ต้นทุน ที่เกิดขึ้นอาจจะให้ประโยชน์ในปัจจุบันหรือในอนาคตก็ได้ เมื่อต้นทุนใดที่เกิดขึ้นแล้วและกิจการได้ใช้ ประโยชน์ไปทั้งสิ้นแล้ว ต้นทุนนั้นก็จะเป็น “ค่าใช้จ่าย” (Expenses) (Public and Private Infrastructure Investment Management Center, 2008) [PIMAC]

2.6.2 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost ratio หรือ B/C ratio)

เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่า ปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ ถ้า B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ ผลตอบแทนคุ้มค่างบที่ลงทุนไป แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้ม กับเงินลงทุนที่เสียไป (PIMAC, 2008)

$$B/C \text{ Ratio} = \text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน} / \text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย} \dots\dots (2.1)$$

2.6.3 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

เป็นผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาในโครงการนั้นแล้ว โดยมุ่งหวังว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือมีกำไรต่อส่วนรวมหรือไม่ นั่นคือ ถ้าค่า NPV ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์หรือเป็นบวก แสดงว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่หากค่า NPV ที่ได้มีค่าลบหรือต่ำกว่าศูนย์ แสดงว่า การลงทุนตามโครงการนั้นจะไม่คุ้มค่า สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้ (PIMAC, 2008)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

2.6.4 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

คือ อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก หลักเกณฑ์ กิจการจะตอบรับโครงการลงทุน ถ้าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (r) นั่นคือ ตอบรับโครงการลงทุนเมื่อ $IRR > r$ วิธี IRR ใช้หลักเกณฑ์การเปรียบเทียบมูลค่าของเงิน 2 ประเภท คือ มูลค่าปัจจุบันของเงินสดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก ณ จุดเวลาเดียวกัน

เนื่องจากการหามูลค่าปัจจุบันของเงินจำนวนหนึ่งในอนาคต ก็คือ การหาค่าของเงินจำนวนนั้นในอนาคตย้อนกลับมายังจุด ณ เวลาปัจจุบัน ดังนั้น การหามูลค่าปัจจุบันของเงินในอนาคตซึ่งคิดผลตอบแทนแบบทบต้น สูตรการคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ ดังนี้

$$IRR = i_L + (i_U - i_L) \times \frac{NPV_L}{(NPV_L - NPV_U)} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง NPV B/C Ratio และ IRR

ตารางที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง NPV B/C Ratio และ IRR

NPV	B/C Ratio	IRR	การตัดสินใจลงทุน
>0	>1	>อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	ลงทุน
<0	<1	<อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	ไม่ลงทุน
=0	=1	=อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	ลงทุนหรือไม่ลงทุนก็ได้

ที่มา: Sawasdee and Pisutpaisal (2015)

2.6.5 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period, PBP)

ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุน

โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \text{เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ} - \text{กระแสเงินสดรับสุทธิตายปีสะสมกระทั่งเงินจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการเท่ากับศูนย์} \dots\dots\dots (2.4)$$

เกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการขึ้นอยู่กับว่าโครงการนั้นมีความต้องการเงินต้นคืนกลับมาในช่วงเวลาใด

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยในประเทศไทย

พาริตา พรหมมา และคนอื่น ๆ (2557) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของหญ้าเนเปียร์ (*Pennisetum purpureum*) ทั้งหมด 3 สายพันธุ์ ได้แก่ หญ้าเนเปียร์ยักษ์ หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 และหญ้าอาลาฟิล ได้ทำการศึกษาขึ้น 5 อัตราส่วน ระหว่างหญ้าต่อเชื้อจุลินทรีย์ ที่ 1:1 1:2 1:3 2:1 และ 3:1 ในปริมาตร 5 ลิตรและทำการย่อยสลายแบบแบช (Batch) ในสภาวะที่ไม่ต้องการออกซิเจนใช้เวลา 45 วัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพที่ดีที่สุดจากการศึกษาพบว่าหญ้าเนเปียร์สายพันธุ์อาลาฟิล มีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงมากกว่าหญ้าเนเปียร์ยักษ์ และหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 โดยให้ผลผลิตที่สูงสุดในอัตราส่วนของหญ้าต่อจุลินทรีย์ที่ 1:2 ผลพบว่าปริมาณของก๊าซชีวภาพสะสมเท่า 24.29 ลิตร

ผลของค่าเฉลี่ยผลิตก๊าซชีวภาพได้ที่ปริมาณ 2.19 ลิตร ก๊าซชีวภาพ/กรัม มีความเข้มข้นของก๊าซมีเทนในของแข็งระเหย เท่ากับ ก๊าซชีวภาพ 52.8% และประสิทธิภาพส่วนของการจัดการ COD ร้อยละ 85.0 มีค่า pH ระหว่างย่อยสลายเท่ากับ 6 ถึง 7.1 ระหว่างหลุ่เนเปียรต่อเชื้อจุลินทรีย์ ที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ในการศึกษาครั้งต่อไปอาจศึกษาปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ ได้แก่ การกวนผสม ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยได้ และค่าความเป็นด่าง เป็นต้น และศึกษาเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซมีเทนโดยใช้หลุ่เนอาลาฟลเป็นวัตถุดิบ เพื่อผลิตพลังงานทดแทน

ดวงใจ จินานุรักษ์ (2557) การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนโรงไฟฟ้าชีวมวลจากหลุ่เนเปียรปากช่อง 1 อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี การศึกษาครั้งนี้ได้ ศึกษาสภาพทั่วไปของโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวลในอำเภอมวกเหล็ก โดยใช้หลุ่เนเปียรปากช่อง 1 เป็นเชื้อเพลิง และหาความเป็นไปได้ด้านเทคนิคของโครงการผลิตไฟฟ้าจากหลุ่เนเปียรปากช่อง 1 ประกอบไปด้วยความเป็นไปได้ทางการเงิน และ ค่าอัตราส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้า (Adder) ของโครงการลงทุนดังกล่าว การศึกษาใช้ข้อมูลปฐมภูมิจากการสังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วม และการสัมภาษณ์เชิงลึกกับที่ปรึกษาการสร้างโรงไฟฟ้าชีวมวล ผู้เชี่ยวชาญด้านหลุ่เนเปียร และเกษตรกรที่ปลูกหลุ่เนเปียร และใช้ข้อมูลทุติยภูมิจากเอกสารวิชาการต่าง ๆ จากทางภาครัฐ และเอกชน ข้อมูลทั้งสองแบบถูกนำมาวิเคราะห์เชิงพรรณนาและเชิงปริมาณ เครื่องมือที่ใช้ ได้แก่ ต้นทุนเงินทุนถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนักมูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนภายในทั้งก่อนและหลังการปรับค่าแล้ว ดัชนีกำไร และการทดสอบค่าความแปรเปลี่ยน

ผลการศึกษาพบว่า ในพื้นที่นี้มีการปลูกหลุ่เน ประมาณ 500 ไร่ การปลูกครั้งหนึ่งเก็บเกี่ยวได้นาน 6-7 ปี และให้ผลผลิต 60-80 ตันต่อไร่ต่อปี โดยเก็บเกี่ยวปีละ 3 ครั้ง เพียงพอต่อการนำหลุ่เนเปียรเป็นเชื้อเพลิงในโครงการโรงไฟฟ้าชีวมวล ใช้ปริมาณหลุ่เนเท่ากับ 35,837 ตันต่อปี โรงไฟฟ้าตั้งอยู่บนพื้นที่ 12 ไร่ ในอำเภอมวกเหล็ก ใช้เทคโนโลยีแบบเปลี่ยนชีวมวลเป็นก๊าซเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าด้วยขบวนการเชิงเคมีความร้อนแบบอากาศไหลลง ขนาด 1 เมกะวัตต์ เมื่อหาการศึกษาความเป็นไปได้ทางการเงิน โดยกำหนดอายุโครงการ 26 ปี ที่ต้นทุนเงินทุนร้อยละ 9.91 โดยพบว่ามีมูลค่าปัจจุบันสุทธิเท่ากับ -51,853,492 บาท อัตราผลตอบแทนภายในโครงการก่อนและหลังการปรับค่าเท่ากับร้อยละ 0.29 และ 6.61 ต่อปี ตามลำดับ และดัชนีกำไรเท่ากับ 0.45 ดังนั้นสามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่าโครงการไม่มีความคุ้มค่าในการลงทุน และผลการวิเคราะห์ค่าความแปรเปลี่ยนพบว่าถ้าโครงการสามารถเพิ่มผลตอบแทนขึ้นได้ร้อยละ 21.04 หรือลดต้นทุนการดำเนินงานลงร้อยละ 25.47 หรือลดต้นทุนในการลงทุนลงร้อยละ 54.78 จึงจะทำให้โครงการมีความคุ้มค่า แต่ถ้ารัฐบาลจะสนับสนุนควรเพิ่มอัตราส่วนเพิ่มราคาซื้อไฟฟ้า (Adder) จาก 0.50 บาท เป็น 2.03 บาท ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง

ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์ และคนอื่น ๆ (2555) ศึกษาการผลิตแก๊สชีวภาพจากซากชีวมวลในร่องสวนของชุมชน ในอำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม ศึกษาการผลิตและการใช้ประโยชน์จากแก๊สชีวภาพที่ผลิตจากซากชีวมวลในร่องสวนในพื้นที่ใช้กระบวนการวิจัย 4 ขั้นตอนประกอบด้วย

- 1) การสร้างกระบวนการมีส่วนร่วมของชุมชน และคัดเลือกพื้นที่ตัวอย่างในอำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม
- 2) ทำการสำรวจเก็บตัวอย่างแก๊สในร่องสวนผลไม้ จำนวน 5 จุดในตำบลบางนางลี่ ซึ่งได้ผ่านการคัดเลือกเป็นพื้นที่ศึกษา
- 3) เก็บซากชีวมวลในรูปของตะกอนโคลนมาทดลองผลิตแก๊สชีวภาพโดยผสมกับมูลสัตว์ในสัดส่วนที่ต่างกัน นำผลที่ได้จากการทดลองนำไปแนะนำให้ชุมชนและทดลองผลิตแก๊สชีวภาพ
- 4) ประเมินระดับความพึงพอใจของชุมชน ที่ระยะเวลาจนถึง 40 วัน ผลการประเมินผลระดับความพึงพอใจของชุมชน

จากผลการวิจัยและสรุปผลการวิจัย พบว่า ในพื้นที่ลุ่มที่มีการสะสมของตะกอนดินที่เป็นส่วนประกอบของซากชีวมวลที่เกิดจากการทำสวนผลไม้ของชุมชนต้องใช้กระบวนการและเทคโนโลยีทางชีวภาพมาช่วยในการศึกษา เนื่องจากแก๊สชีวภาพในโคลนจำเป็นต้องมีการขุดตะกอนกลับ เพื่อให้เกิดการคายแก๊สชีวภาพออกมาจากเนื้อโคลน ซึ่งในร่องสวนในพื้นที่ดังกล่าวอาจจะดำเนินการเช่นนี้ได้ยาก เนื่องจากในพื้นที่มีการขึ้นลงของกระแสน้ำในรอบวันถึง 2 ครั้ง ดังนั้นสิ่งที่เป็นไปได้ คือ การนำตะกอนโคลนเหล่านี้ขึ้นมาทำการหมักในหลุมหมักที่การเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่สามารถทำงานในสภาวะไร้อากาศ จึงสามารถดำเนินการได้

ส่วนการพัฒนาไปใช้ประโยชน์เพื่อผลิตเป็นแก๊สชีวภาพใช้ในครัวเรือนสามารถดำเนินการได้ด้วยวิธีการนี้และควรเพิ่มเทคนิคการกวนในหลุมหมักแก๊สเพื่อเพิ่ม การคายแก๊สชีวภาพมาใช้ประโยชน์

ณัฐธินิชา สุขเกษม (2559) ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำผักตบชวามาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบร่วม (Co-Digestion) ระหว่างมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ โดยใช้อัตราส่วนของวัตถุดิบที่แตกต่างกัน พร้อมประเมินศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาสดและแห้ง และวิเคราะห์ความคุ้มค่าในเชิงทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้กากน้ำตาล ฟางข้าว ขยะอินทรีย์ เป็นวัตถุดิบ ปรับสภาพฟางข้าวในสภาวะต่างโดยใช้สารละลายปรับสภาพ คือปูนขาว 10% w/v โดยมี อัตราส่วนฟางข้าวต่อสารละลายปรับสภาพที่อัตราส่วน 1:15% w/v ใช้มูลสัตว์ผสมที่ได้จากเกษตรกร ทำการหมักร่วมระหว่างวัตถุดิบเริ่มต้นที่เหมาะสมกับมูลสัตว์ ในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก หมักในถังขนาด 1 ลิตร สภาวะไร้ออกซิเจน นาน 45 day โดยใช้ฮีตเตอร์ควบคุมอุณหภูมิที่ 37 ± 2 °C ทั้งนี้ ปริมาณก๊าซ

ชีวภาพที่ได้จากการหมักร่วมจากวัสดุทั้ง 3 ชนิด มีค่าสูงกว่าการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าวอย่างเดียวและมูลหมูอย่างเดียว ซึ่งได้ปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 10.41% and 71.67% ตามลำดับ การยับยั้งการผลิตก๊าซชีวภาพโดย Volatile Fatty Acids (VFA) จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเติมขยะอินทรีย์จากครัวเรือนมากกว่า 26% ของปริมาณซับสเตรททั้งหมด ผลงานวิจัยที่เกิดขึ้นจะเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากผักตบชวาสด และแห้ง ในการนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการผลิตก๊าซชีวภาพแบบเปียก นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลพื้นฐานการเรียนรู้ให้แก่ชาวบ้านชุมชนในพื้นที่และจังหวัดใกล้เคียงต่อไป

2.7.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Thorsten & Elke (2014) ได้ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะชีวมวลและขยะมูลฝอยในประเทศสวีเดน ทำการปรับสภาพทางกายภาพ โดยแยกขยะและของแข็งในอัตราส่วนที่เหมาะสมและนำเข้า ห้องปฏิบัติการ โดยควบคุมช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิก ที่ 55°C และแบคทีเรียฟิลิก ที่ 40°C โดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกาศ มีการเติมจุลินทรีย์เป็นอาหารเข้าสู่ระบบอย่างต่อเนื่อง สุดท้ายจึงนำโครงการนี้มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนจากผลการวิจัยพบว่าขยะชีวภาพและขยะชุมชนสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ประกอบด้วยค่าความเข้มข้นของมีเทนสูง มีคุณภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพ แต่มีต้นทุนการลงทุนสูงด้วยเช่นกัน เป็นปัจจัยหลักที่มีการตัดสินใจลงทุนต่อไป

Nugraha, Syafrudin, Matin, and Budiyono (2018) ทำการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวา โดยพิจารณาในส่วนของอัตราส่วนระหว่าง F/M ratio เนื่องจากผักตบชวาถือเป็นวัชพืชที่ก่อปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม รวมถึงระบบการชลประทาน และภาคการเกษตร แต่อย่างไรก็ตามผักตบชวาก็ยังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตก๊าซชีวภาพ จากผลการวิจัยพบว่ากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถเสร็จสิ้นภายใน 60 วัน โดยประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากผักตบชวาได้จากอัตราส่วนระหว่าง 10.01-20.03

Vanatpornratt Sawasdee and Nipon Pisutpaisal (2015) ศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตก๊าซชีวภาพโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนแบบขั้นตอนเดียวของหญ้าเนเปียร์เพื่อนำมาผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทำการเปรียบเทียบความคุ้มค่าในการปลูกหญ้าเนเปียร์และการปลูกข้าวต่อพื้นที่ 1 ไร่ การคิดค่าพลังงานตั้งแต่เริ่มปลูกว่ามีพลังงานที่เข้าในระบบเท่าไร ในส่วนของการหมักก๊าซชีวภาพนั้นจะนำหญ้ามาทำการปรับสภาพทางกายภาพก่อน โดยการบดหรือตัดให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิวของหญ้าทำให้จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ดีขึ้น และจากนั้นนำหญ้าเข้าสู่กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกาศโดยในขั้นแรกจะทำในห้องปฏิบัติการ โดยควบคุมปริมาณของแข็งที่เข้าสู่ระบบที่ 5, 10 และ 15% และหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการหมักก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ สุดท้าย

จึงนำโครงการนี้มาวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตก๊าซชีวภาพว่าโครงการนี้เหมาะสมกับการลงทุนสำหรับการทดแทนก๊าซหุงต้ม

จากผลการวิจัยการนำหญ้าเนเปียร์มาผลิตก๊าซชีวภาพ ผลการทดสอบการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นได้ค่าก๊าซมีเทน 53% ปริมาณก๊าซรวมสะสม 690 ml ปริมาณผลผลิตที่ได้ 122.41 mL $\text{CH}_4 \text{ g}^{-1}$ และ TVS removal อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด 350 ml อัตราเร็วในการผลิตมีเทนสูงสุด 4.8 mL h^{-1} จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในสภาวะที่มีปริมาณของแข็งรวม 5% นั้นเป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ และเมื่อนำต้นทุนมาคิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์โดยนำมาแทนก๊าซหุงต้มนั้นพบว่า ได้ค่า B/C Ratio มากกว่า 1 ถือได้ว่าโครงการนี้น่าลงทุน และ โครงการนี้มีระยะเวลาคืนทุนที่ 2 ปี 8 เดือน ผลงานวิจัยแสดงให้เห็นว่าหญ้าเนเปียร์นั้น ถือได้ว่าเป็นพืชที่น่าสนใจและสามารถนำมาใช้เป็นพืชพลังงานอีกตัวหนึ่ง

Zamanzadeh, Hagen, Svensson, Linjordet and Horn (2017) ในงานวิจัยนี้ศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารโดยผ่านกระบวนการหมักร่วมแบบไม่ใช้อากาศระหว่างมูลวัวและขยะเศษอาหาร โดยใช้อุณหภูมิ 37 °C และ 55 °C ซึ่งปริมาณผลผลิตมีเทนสูงสุดได้รับจากสภาวะที่มีอุณหภูมิ 37 °C โดยใช้วัตถุดิบชนิดเดียว คือ ขยะเศษอาหาร มีค่า 480 mL g^{-1} VS และเมื่อพิจารณาการหมักร่วมระหว่างขยะเศษอาหารและมูลวัว พบว่าได้เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนมากกว่าถึง 26% นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ยังมีการวิเคราะห์ประชากรจุลินทรีย์ในระบบพบ *Methanosaeta*, *Methanobacterium*, *Methanosaeta* ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การดำเนินการวิจัย

การวิจัยเป็นการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนระหว่างมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ โดยมีเถ้าลอยเป็นแร่ธาตุ ซึ่งเดิมวัตถุดิบในการหมักเพียงครั้งเดียวเรียกว่าการหมักแบบกะหรือแบช (Batch) การผลิตก๊าซชีวภาพให้ดีและมีคุณภาพนั้นต้องจำลองสภาวะการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อหาสภาวะที่ดีที่สุดในการผลิต และในการจำลองสภาวะนั้นผู้วิจัยได้เลือกใช้การกำหนดเปอร์เซ็นต์ของแข็ง หรือปริมาณสารอินทรีย์ที่เติมในระบบโดยกำหนดที่ 2% Total solid สำหรับอัตราส่วนของการหมักระหว่างสารอินทรีย์ (หญ้าเนเปียร์) ต่อเชื้อจุลินทรีย์ (มูลวัว) คือ 1:2 เนื่องจากเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ (พาริตาพรหมมา, 2557) และแปรผันปริมาณเถ้าลอยที่ไม่เติมเถ้าลอยและที่เติมเถ้าลอย 5, 10, 15 และ 20 กรัมตามลำดับ และต้องมีการกำหนดค่า pH ภายในระบบด้วยซึ่งค่า pH ควรอยู่ที่ประมาณ 6.5 - 7.5 เพราะถ้าค่า pH ต่ำเกินไปแสดงว่าจุลินทรีย์ที่ผลิตกรดมีมากเกินไป ทำให้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นล้มเหลว เพราะจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนนั้นไม่ทนต่อสภาวะความเป็นกรดสูง ซึ่งค่า pH ภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลวัวนั้นมีค่า pH อยู่ระหว่างที่ 6.8 - 7 ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่มีความเหมาะสมต่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

3.2 วัตถุดิบสำหรับกระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน

3.2.1 มูลวัว

มูลวัว ได้จากโรงฆ่าสัตว์ในพื้นที่จังหวัดปทุมธานี (ภาพที่ 3.1) เป็นของเหลือทิ้งที่สามารถหาได้ง่าย มูลวัวอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่าง ๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อรวมเข้าด้วยกันก็จะมียูเรียประกอบที่สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่สมบูรณ์ของพืชได้รวมถึงนำมาเป็นวัตถุดิบตั้งต้นในผลิตก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 3.1 มูลวัวที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.2 หญ้าเนเปียร์

หญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 ที่ปลูกในพื้นที่จังหวัดสระแก้ว (ภาพที่ 3.2) มีปริมาณสารอาหารที่ค่อนข้างสูง ทั้งโปรตีน คาร์โบไฮเดรตและแร่ธาตุอื่น ๆ จึงเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำมาเป็นวัตถุดิบในการหมักร่วมระหว่างมูลวัว โดยใช้ แฉ่ล่อยเป็นธาตุอาหารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ และควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่างในระบบ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการใช้แฉ่ล่อยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ รวมถึงการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์โดยใช้แฉ่ล่อยเป็นแร่ธาตุ



ภาพที่ 3.2 หล้าเนเปียร์ที่ผ่านการปรับสภาพทางกายภาพโดยทำให้มีขนาดเล็ก

3.2.3 เถ้าลอย

เถ้าลอย (Fly Ash) เป็นวัสดุขี้เถ้าที่ได้จากการเผาไหม้กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าจากสารชีวมวลเปลือกข้าว ณ โรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดนครปฐม (ภาพที่ 3.3) ซึ่งเป็นประเภท Type F เนื่องจากมีปริมาณซิลิกาสูงกว่าร้อยละ 70 นอกจากนี้เถ้าลอยยังมีจุดเด่นสามารถควบคุมค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ไม่ให้ลดลง แทนการเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ในระบบ และเมื่อสัมผัสกับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติ สามารถเกิดปฏิกิริยาเคมีให้มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน (Cementitious) ได้อย่างดี จึงนิยมนำเถ้าลอยมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมซีเมนต์ (ณิชชา บุณยสิงห์, 2560)



ภาพที่ 3.3 เถ้าลอยที่ได้จากโรงไฟฟ้าชีวมวล จังหวัดนครปฐม

3.3 การออกแบบวิธีการทดลอง

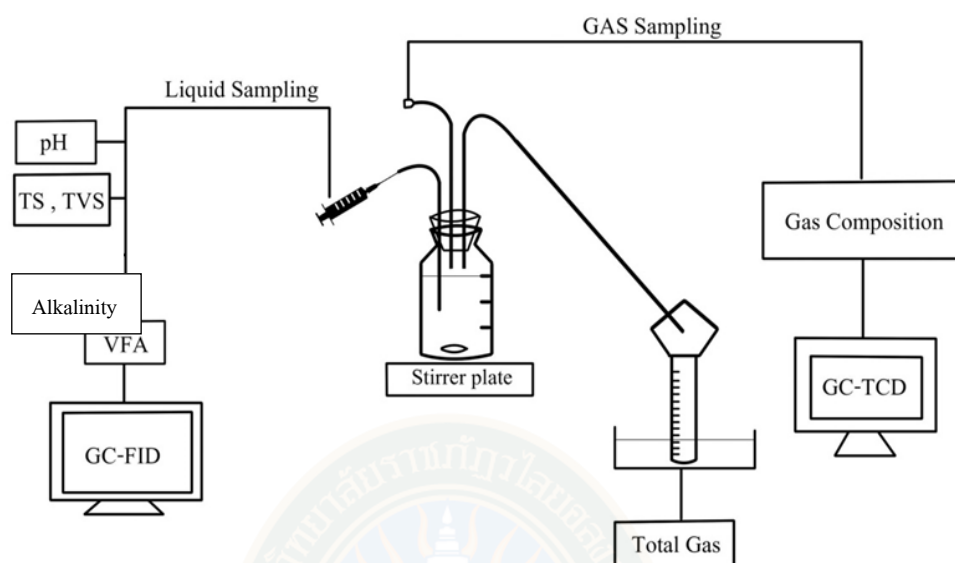
การออกแบบวิธีการทดลอง สามารถแบ่งตามอัตราส่วนการหมักรวม คือ 1:2 และปริมาณ แอลกอฮอล์ 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม และ 20 กรัม ตามลำดับ โดยกำหนดชุดการทดลอง ดังนี้

ตารางที่ 3.1 ชุดการทดลอง

อัตราส่วนระหว่างหญ้าเนเปียร์ และมูลวัว	(กรัม) แอลกอฮอล์
1:2	5 กรัมต่อลิตร
1:2	10 กรัมต่อลิตร
1:2	15 กรัมต่อลิตร
1:2	20 กรัมต่อลิตร

หมายเหตุ: ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ถึงปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีขนาด 1 ลิตร เป็นถึงปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) โดยมีการเสียบสายยางไว้สำหรับเก็บตัวอย่างก๊าซและของเหลว ซึ่งประกอบด้วยสายยาง 2 เส้น ที่มีปลายสายยางลอยอยู่เหนือผิวของเหลวภายในขวดหมัก โดยสายยางเส้นแรกใช้สำหรับเก็บตัวอย่าง ก๊าซเพื่อใช้วิเคราะห์องค์ประกอบก๊าซด้วย เทคนิคก๊าซโครมาโทกราฟี (Gas Chromatography) และสายยางเส้นที่ 2 ต่อ กับอุปกรณ์วัดปริมาตรก๊าซที่แทนที่น้ำด้วยก๊าซ ส่วนสายยางเส้นที่ 3 ที่ปลาย สายยางจะจมอยู่ใต้ผิวน้ำในขวดหมักเพื่อใช้เป็นจุดเก็บตัวอย่างน้ำ (ภาพที่ 3.4) สำหรับนำไปวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อไป



ภาพที่ 3.4 ถังปฏิกรณ์แบบกวนสมบูรณ์ (Completely Mix) และลักษณะการเก็บตัวอย่าง
ที่มา: เสาวลักษณ์ เข้าสกุล (2555)

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการทดลอง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์/เครื่องมือ	ความถี่ในการวิเคราะห์
ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid)	Total Solid dried at 103-105°C	3 วัน
ค่าของแข็งระเหยง่าย (Volatile Solid)	Volatile Solid ignited at 550°C	3 วัน
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH Meter	3 วัน
ปริมาณก๊าซชีวภาพแต่ละวัน	ปริมาณการแทนที่น้ำในกระบอกตวง	3 วัน
องค์ประกอบก๊าซชีวภาพ	Gas chromatography	3 วัน
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)	Gas chromatography	3 วัน
สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)	วิธีอินดิเคเตอร์ (Indicator Method)	3 วัน

3.4 วิธีวิเคราะห์ตัวอย่าง

3.4.1 พีเอช (pH)

วิเคราะห์ตัวอย่างของของเหลวโดยใช้ pH meter (Mettler Toledo รุ่น LE 409, Ohio, USA)

3.4.2 ของแข็ง (Solids)

ของแข็งทั้งหมด (Total Solid: TS) ของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (Total Volatile Solid: TVS) ของหญ้าเนเปียร์ มูลวัว และตัวอย่างของเหลว ตามวิธีมาตรฐาน นำไปอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักถ้วยก่อนและหลัง นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จดบันทึกน้ำหนักถ้วยหลังเผา นำไปคำนวณหาปริมาณค่าของแข็งทั้งหมด (TS) และของแข็งระเหยได้ทั้งหมด (TVS)

3.4.3 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid: VFA)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายวิเคราะห์โดยใช้เครื่องโครมาโทกราฟี (Shimadzu GC-2010 Gas Chromatograph, Japan) แบบฉีดตัวอย่างอัตโนมัติ ซึ่งมี Syringe ขนาด 10 μL (NS 105404, 10 μL SYA N Shimadzu, USA) ทำการฉีดสารตัวอย่าง 1 μL โดยอาศัยก๊าซตัวพา 4 ชนิด คือ ไฮโดรเจน (อัตราการไหล 40 mL min^{-1}) อากาศ (อัตราการไหล 400 mL min^{-1}) ไนโตรเจน (อัตราการไหล N_2/Air 30 mL min^{-1}) และฮีเลียมพาสารตัวอย่างเข้าสู่คอลัมน์ Stabiwax capillary (Restek, USA) (ความยาว 29.4 m เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.25 mm) ที่มีอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการแยกชนิดของสารตัวอย่างตาม retention time ภายในคอลัมน์แล้วถูกพามายัง Detector ชนิด FID (Flame Ionization Detector) ที่มีอุณหภูมิ 230 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำหน้าที่วัดปริมาณของสารตัวอย่างตามปริมาณของกระแสของไอออนที่เกิดขึ้น (อะตอมของคาร์บอนที่เกิดการออกซิไดซ์) จำแนกตามสารมาตรฐานที่เตรียม แบ่งออกเป็น 7 ชนิด เอทานอล อะซิติก โปรไพโอนิก บิวทริก และ วาลริก

3.4.4 องค์ประกอบของก๊าซ

องค์ประกอบก๊าซวิเคราะห์โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโทกราฟี (Shimadzu GC-2010 Gas Chromatography, Japan) โดยทำการฉีดก๊าซตัวอย่างที่อยู่ใน Gastight Syringe ขนาด 500 μL ผ่าน Injector อุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส โดยมีก๊าซฮีเลียม (Total flow 50 mL min^{-1}) เป็นตัวพาสารเข้าสู่แพคคอลัมน์ (Shincarbon ST 50/80 mesh 2.0 m $\times$ 3.0 mm I.D., stainless steel) ที่มีอุณหภูมิคอลัมน์ 150 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการแยก ชนิดของสารตัวอย่างตาม Retention Time ภายในคอลัมน์ แล้วถูกพามายัง Detector ชนิด TCD (Thermal Conductivity Detector) ที่มีอุณหภูมิ 210 องศาเซลเซียส ซึ่งจะทำการวัดการสูญเสียความร้อนของไฮสเลนดที่มีโมเลกุลของตัวอย่างมาสัมผัสแล้วแปลงค่าความร้อนดังกล่าวออกเป็นของก๊าซทั้ง 4 ชนิด คือ

ไฮโดรเจน อากาศ (ไนโตรเจนและออกซิเจน) มีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยในการวิเคราะห์ ปริมาณก๊าซตัวอย่าง แต่ละชนิดจะใช้วิธีคิดเทียบกับก๊าซมาตรฐาน

3.5 การคำนวณค่าทางจลศาสตร์ที่ได้จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพ

การคำนวณค่าทางจลศาสตร์ของการผลิตมีเทน คือ ระยะเวลาแล็กเฟส (λ) อัตราการผลิตมีเทนสูงสุด ($R_{\max}$) และ ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด ($H_{\max}$) นำข้อมูลดิบจากการทดลองก๊าซมีเทน สะสม และเวลาที่ได้จากการหมัก เข้าสมการ Modify Gompertz แสดงดังสมการที่ 1 ของโปรแกรม Sigma Plot Version 11.0 คำนวณพารามิเตอร์ทางจลศาสตร์โดยการลากเส้นสมการแบบถดถอย (Regression) การคำนวณแต่ละครั้งจะได้ค่า R^2

$$H = H_{\max} \times \exp \left\{ - \exp \left[\frac{R_{\max}}{H_{\max}} (\lambda - t) + 1 \right] \right\} \quad \text{..... (3.1)}$$

โดยที่	H	คือ	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสม (ml)
	T	คือ	ระยะเวลาในการหมัก (hr)
	$R_{\max}$	คือ	อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (ml hr ⁻¹)
	$H_{\max}$	คือ	ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด (ml)
	λ	คือ	ระยะเวลาแล็กเฟส (hr)
	E	คือ	ค่าคงที่ 2.7182818

3.6 วิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์

3.6.1 อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/C Ratio)

เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุนและค่าใช้จ่ายในโครงการ ถ้า B/C ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทนคุ้มค่างบที่ลงทุนไป แต่ถ้าค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่า ผลตอบแทนที่ได้รับจากโครงการไม่คุ้มกับเงินลงทุนที่เสียไป (PIMAC, 2008)

$$B/C \text{ Ratio} = \text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน} / \text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย} \quad \text{..... (3.2)}$$

3.6.2 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV)

เป็นผลรวมของผลตอบแทนสุทธิที่ได้ปรับค่าของเวลาในโครงการนั้นแล้ว โดยมุ่งหวังว่าโครงการที่กำลังพิจารณาอยู่นั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือมีกำไรต่อส่วนรวมหรือไม่ นั่นคือ ถ้าค่า NPV ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์หรือเป็นบวก แสดงว่าเป็นการลงทุนที่คุ้มค่า แต่หากค่า NPV ที่ได้มีค่าลบหรือต่ำกว่าศูนย์ แสดงว่า การลงทุนตามโครงการนั้นจะไม่คุ้มค่า สามารถเขียนเป็นสูตรคำนวณได้ดังนี้ (PIMAC, 2008)

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

3.6.3 อัตราผลตอบแทนจากโครงการ (Internal Rate of Return: IRR)

อัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของเงิน สดรับสุทธิตลอดอายุโครงการมีค่าเท่ากับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก หลักเกณฑ์ กิจการจะตอบรับโครงการลงทุน ถ้าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ (IRR) มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนที่ต้องการ (r) นั่นคือ ตอบรับโครงการลงทุนเมื่อ $IRR > r$ วิธี IRR ใช้หลักเกณฑ์การเปรียบเทียบมูลค่าของเงิน 2 ประเภท คือ มูลค่าปัจจุบันของเงิน สดรับสุทธิตลอดอายุโครงการกับเงินสดจ่ายสุทธิลงทุนเริ่มแรก ณ จุดเวลาเดียวกัน (PIMAC, 2008) เนื่องจากการหามูลค่าปัจจุบันของเงินจำนวนหนึ่งในอนาคต ก็คือ การหาค่าของเงินจำนวนนั้นใน อนาคตย้อนกลับมายังจุด ณ เวลาปัจจุบัน ดังนั้น การหามูลค่าปัจจุบันของเงินในอนาคตซึ่งคิดผลตอบแทนแบบทบต้น

สูตรการคำนวณค่าอัตราผลตอบแทนจากโครงการ ดังนี้

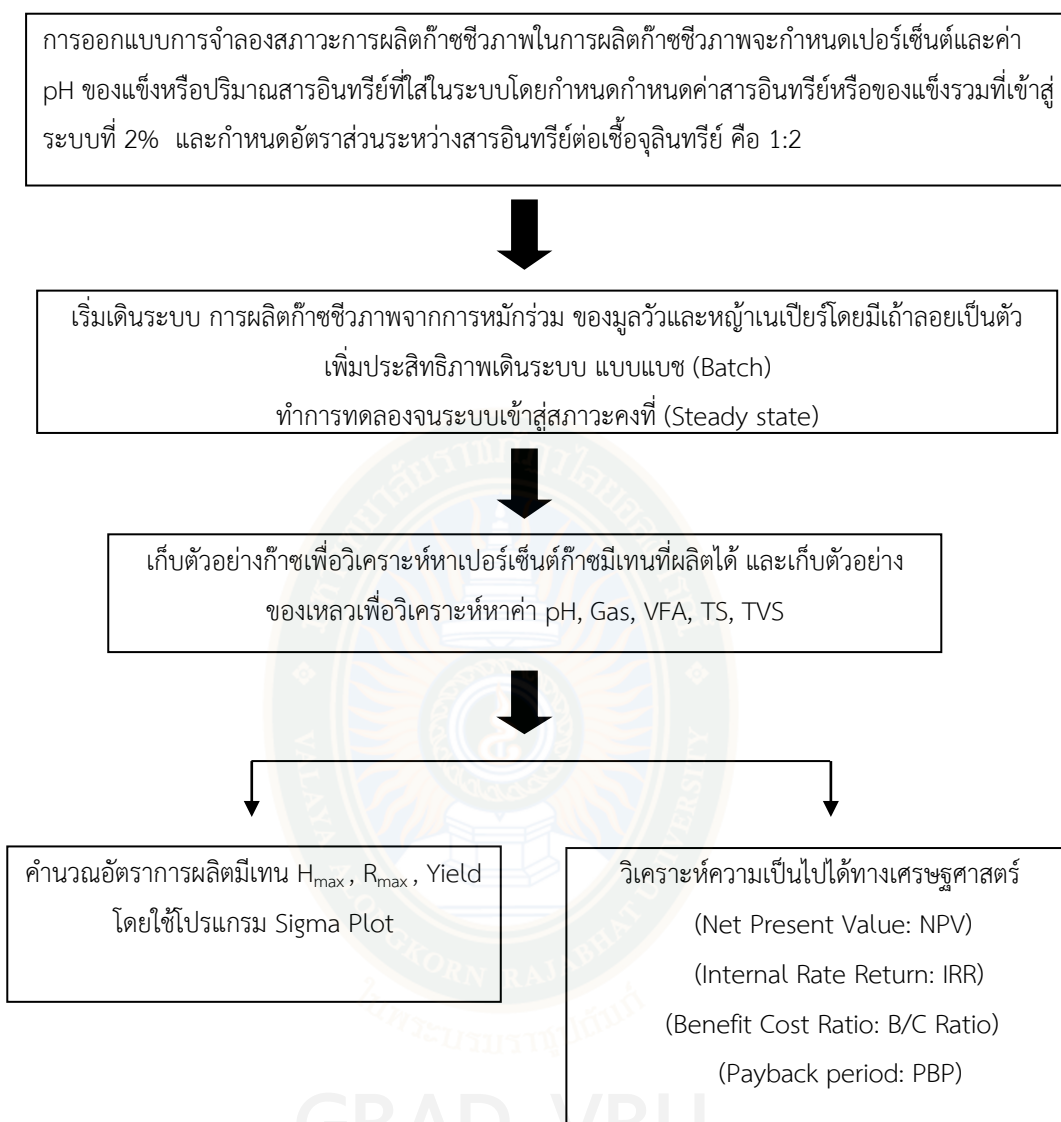
$$IRR = i_L + (i_U - i_L) \times \frac{NPV_L}{(NPV_L - NPV_U)} \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

3.6.4 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period: PBP)

ระยะเวลาของการลงทุนที่กระแสเงินสดรับสุทธิจากโครงการเท่ากับกระแสเงินสดจ่ายสุทธิพอดี หรือกล่าวได้ว่าการลงทุนไม่มีกำไรและไม่ขาดทุน โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร

ระยะเวลาคืนทุน = เงินสดจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ - กระแสเงินสดรับสุทธิ รายปีสะสมกระทั่งเงินจ่ายลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการเท่ากับศูนย์

เกณฑ์ตัดสินใจว่าจะลงทุนหรือไม่นั้นจะพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุนที่คำนวณ ได้เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งอาจแตกต่างกันไปในแต่ละโครงการขึ้นอยู่กับว่าโครงการ นั้นมีความต้องการเงินต้นคืนกลับมาในช่วงเวลา



ภาพที่ 3.5 สรุปแผนการดำเนินการวิจัย

แผนการดำเนินงานกำหนดระยะเวลา 15 เดือน ดังตาราง ดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1. วางแผนงานวิจัย และศึกษาข้อมูล															
2. การออกแบบการจำลอง สภาวะการผลิตก๊าซ ชีวภาพจากการหมักรวม ของมูลวัวและหญ้า เนเปียร์ และโดยเถ้าลอย เป็นแร่ธาตุ															
3. วิเคราะห์ตัวอย่างแก๊ส และของเหลวที่ได้จาก ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ															
4. วิเคราะห์ความเป็นไปได้ ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อ เป็นข้อเสนอแนะ															
5. วิจัยและสรุปผลการ ทดลอง พร้อมทั้งจัดทำ ตัวอย่างคู่มือการผลิต ก๊าซชีวภาพ															
6. จัดทำรูปเล่ม															

บทที่ 4

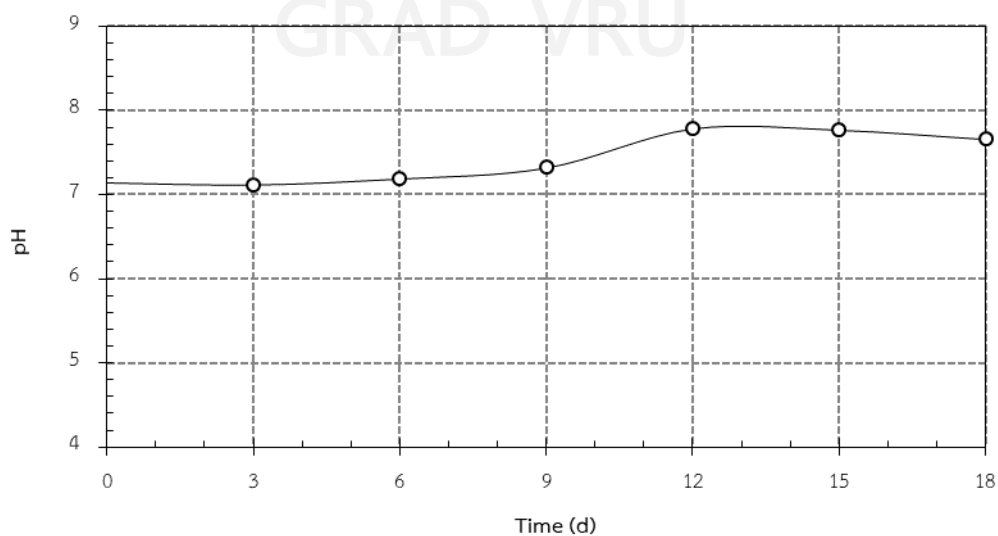
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การดำเนินงานการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ เป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียเหลือทิ้ง เพื่อให้ผลิตพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการและใช้เป็นพลังงานทางเลือกเพื่อพัฒนาประเทศสู่อนาคต โดยมีอัตราส่วนระหว่างสารอินทรีย์ต่อเชื้อจุลินทรีย์ คือ 1:2 และแปรผันปริมาณเถ้าลอยที่ 5 10 15 และ 20 กรัม ตามลำดับ เริ่มทำการหมักจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะ Steady State คือ ไม่มีการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในทุก ๆ 3 วัน

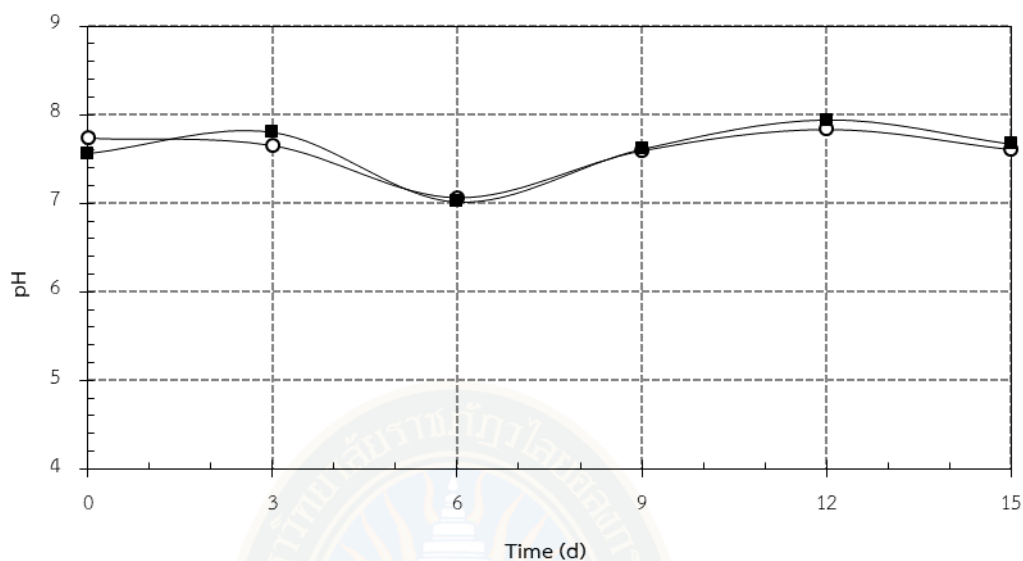
4.1 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

4.1.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

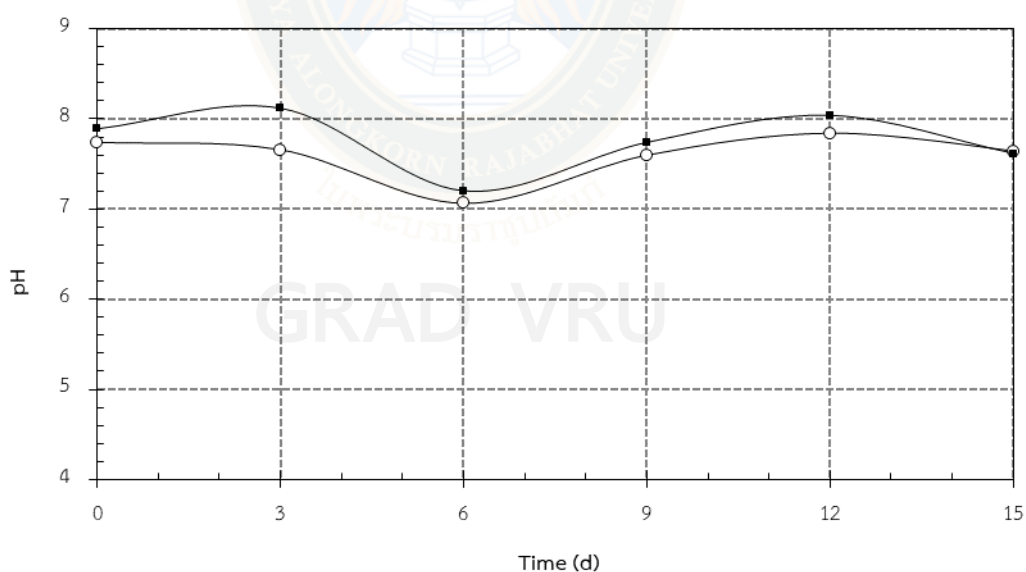
เมื่อพิจารณาในส่วนค่าความเป็นกรด-ด่างนั้นในสภาวะที่ไม่ได้เติมเถ้าลอย ค่า pH อยู่ในช่วง 7-7.6 (ดังภาพที่ 4.1) ซึ่งถือได้ว่าเป็นค่า pH ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากค่า pH นั้นถือเป็นค่าที่มีความสำคัญต่อกลุ่มจุลินทรีย์ ในระบบเป็นอย่างมากโดยทั่วไป จุลินทรีย์ในระบบจะถูกแบ่งการทำงานออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตกรดและกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทน โดยกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตกรดจะทำการผลิตกรดอินทรีย์ระเหยง่าย เช่น กรดอะซิติก กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทีริก เป็นต้น จากนั้นในช่วงถัดไปของระบบกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตมีเทนจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ระเหยง่ายให้กลายเป็นก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อไป



ภาพที่ 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะที่ไม่เติมเถ้าลอย



ภาพที่ 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม



ภาพที่ 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่างในสภาวะที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม

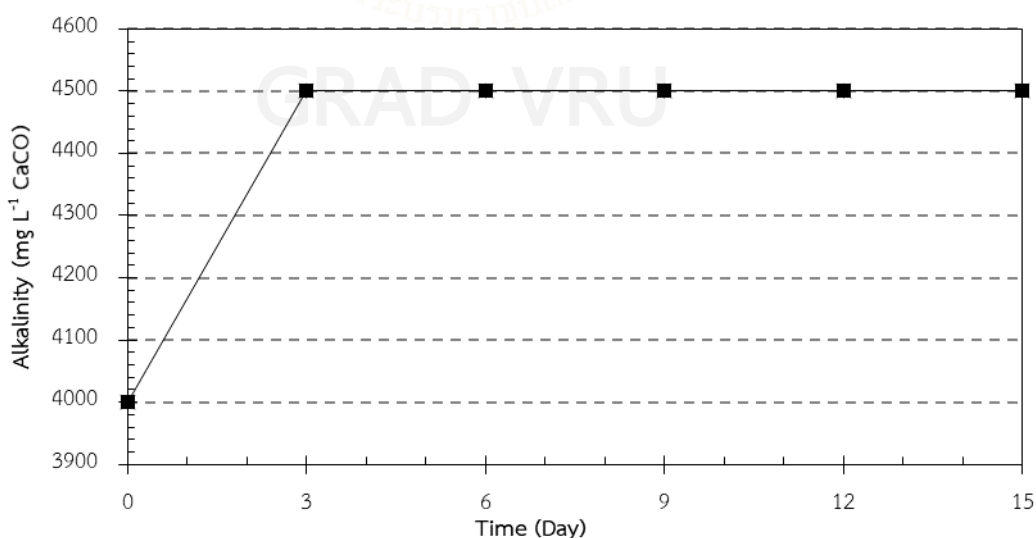
ในส่วนของการเติมเถ้าลอย 5, 10, 15 และ 20 กรัม ค่า pH อยู่ในช่วงระหว่าง 7.1-8.0 (ภาพที่ 4.2 และ 4.3) เนื่องจาก เถ้าลอยมีค่า pH 8 จึงทำให้เมื่อเข้าสู่ระบบผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถควบคุมค่า pH ได้เป็นอย่างดี เมื่อพิจารณาในส่วน of ค่าสภาพความเป็นด่าง พบว่า สภาพ

ต่างในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม และ 10 กรัม มีค่าอยู่ระหว่าง 3,000 – 4,500 มก./ลิตร CaCO_3 และสภาพต่างในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม และ 20 กรัม มีค่าอยู่ระหว่าง 3,700 – 4,500 มก./ลิตร CaCO_3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม้จะมีกรดสะสมอยู่ในระบบแต่ยังคงสภาวะ ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพได้

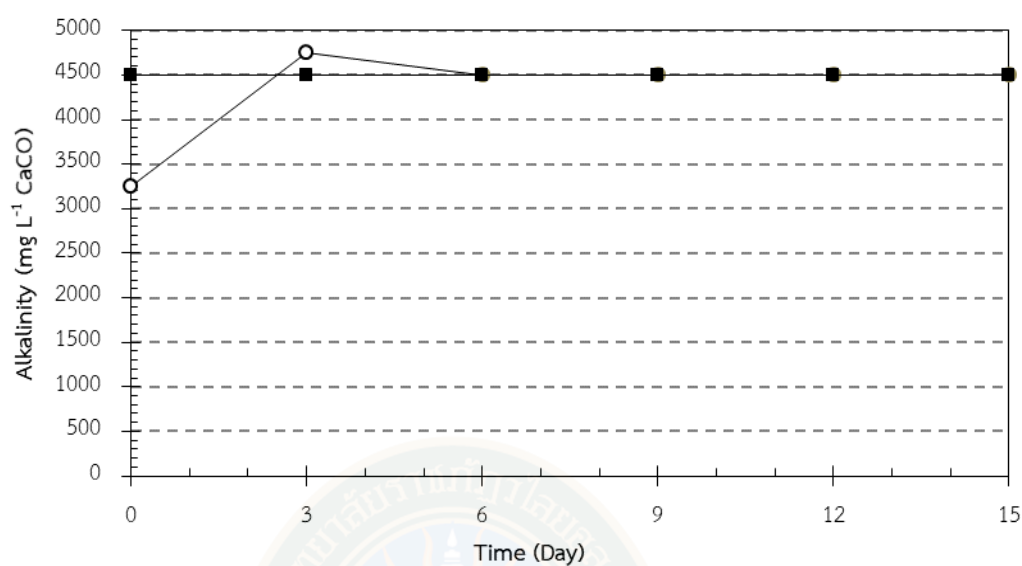
4.1.2 สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่าง เป็นความสามารถในการต้านทานหรือคงสภาพการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรดต่างของน้ำเสีย เมื่อระบบผลิตก๊าซชีวภาพเริ่มต้นเดินระบบ สารอินทรีย์ในระบบหรือถึงปฏิกิริยาจะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจน และถูกเปลี่ยนไปเป็นกรดอินทรีย์ ซึ่งส่งผลให้ค่าความเป็นกรดต่างในถังปฏิกิริยาลดลง และจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตของกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) และกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน (Methane Producing Bacteria) ในถังปฏิกิริยา

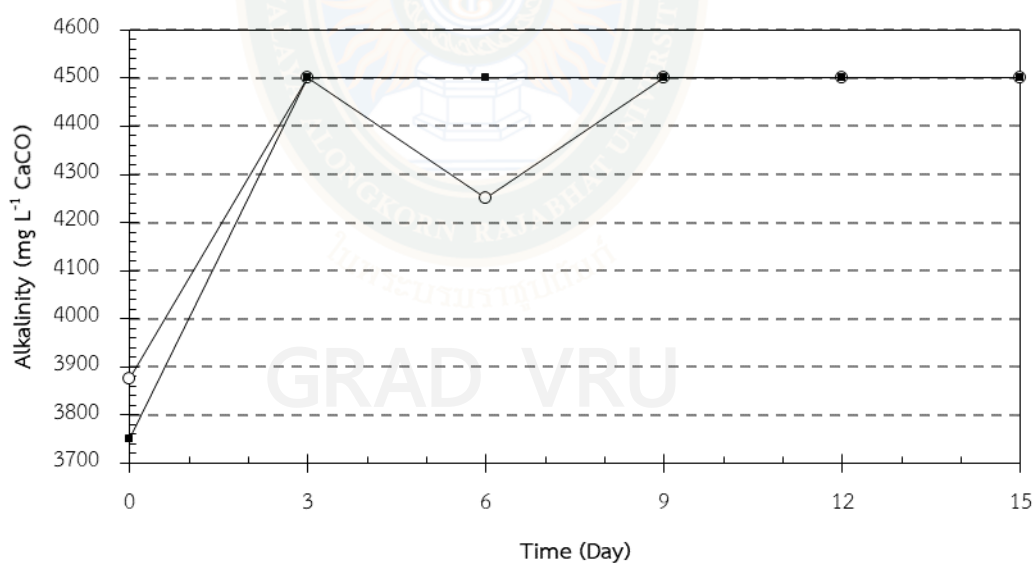
โดยค่าสภาพความเป็นด่างที่เหมาะสมสำหรับระบบผลิตก๊าซมีเทนอยู่ในช่วงระหว่าง 1,000 – 3,000 มก./ลิตร CaCO_3 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงสภาพต่างทั้งหมดในระบบผลิตก๊าซมีเทนจากงานวิจัยนี้ พบว่าสภาพต่างในสภาวะที่ไม่เติมเถ้าลอยมีค่าอยู่ระหว่าง 4,000 – 4,500 มก./ลิตร CaCO_3 ดังรูปที่ 4.4 สภาพต่างในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม และ 10 กรัม มีค่าอยู่ระหว่าง 3,000 – 4,500 มก./ลิตร CaCO_3 ดังรูปที่ 4.5 และสภาพต่างในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม และ 20 กรัม มีค่าอยู่ระหว่าง 3,700 – 4,500 มก./ลิตร CaCO_3 ดังรูปที่ 4.6 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 ค่าสภาพความเป็นด่างในสภาวะที่ไม่เติมเถ้าลอย



ภาพที่ 4.5 ค่าสภาพความเป็นด่างในสภาวะที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม



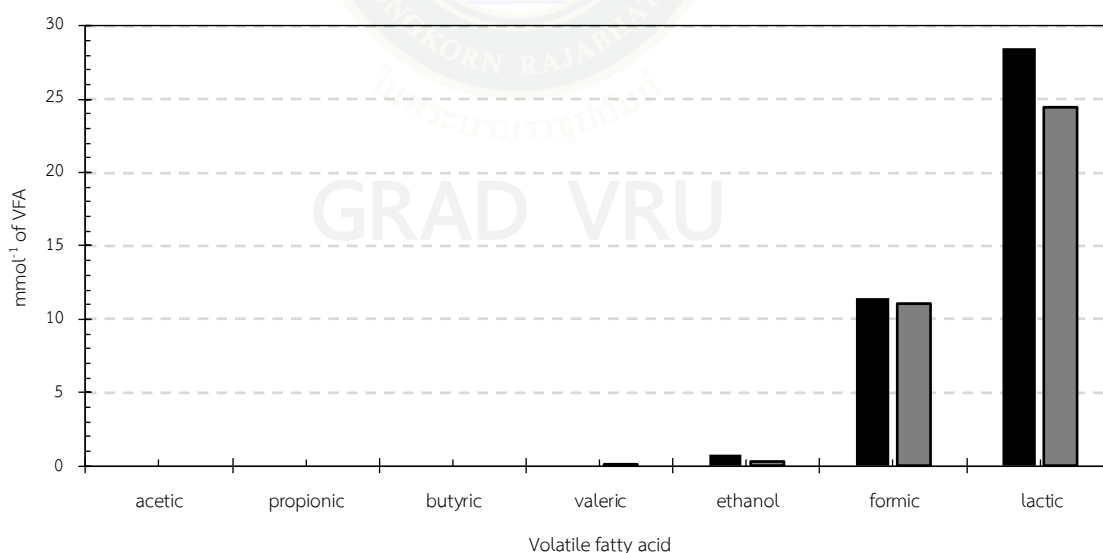
ภาพที่ 4.6 ค่าสภาพความเป็นด่างในสภาวะที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม

ดังนั้น เมื่อพิจารณาสภาพความเป็นด่างในสภาวะทั้งหมดของระบบ พบว่า เป็นค่าสภาพด่างที่อยู่ในช่วงตามทฤษฎีกำหนด ทำให้ระบบสามารถรักษาค่าความเป็นกรดต่างได้เป็นอย่างดี ส่งผลให้กลุ่มจุลินทรีย์ผลิตกรดและผลิตมีเทนสามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

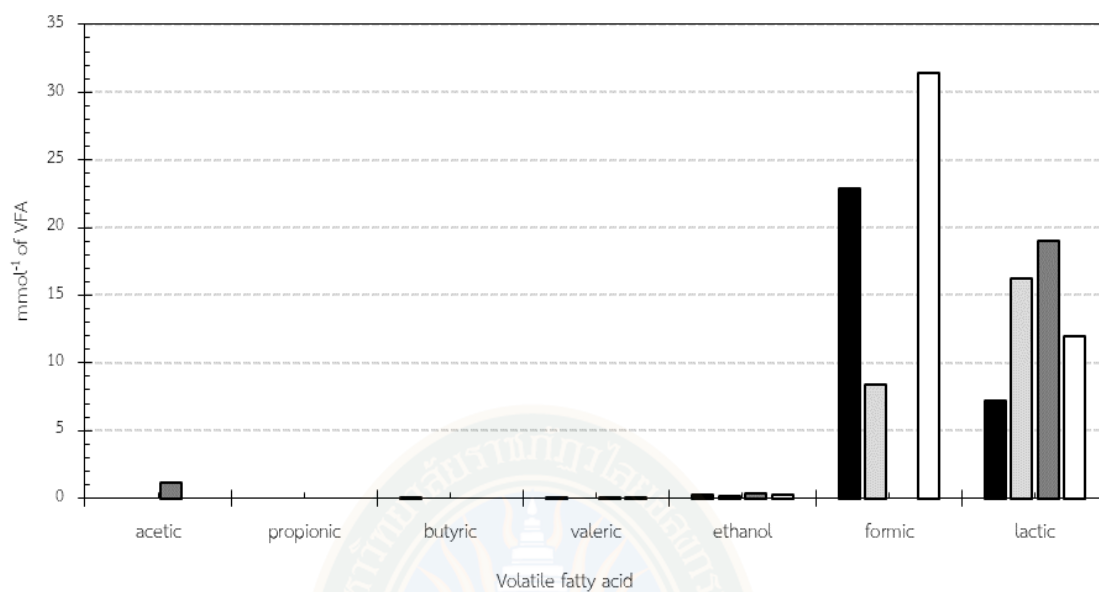
4.1.3 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญสำหรับกลุ่มจุลินทรีย์สร้างมีเทนในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ โดยทั้งกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) และกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน (Methane Producing Bacteria) ในถังปฏิกรณ์นั้นต้องมีความสัมพันธ์กันเนื่องจากปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดขึ้นในระบบถูกผลิตโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) อย่างรวดเร็ว ทำให้อาจเกิดการสะสมกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ส่งผลให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าสภาพความเป็นด่าง (Alkalinity) มีค่าลดลง ส่งผลเสียต่อกลุ่มจุลินทรีย์ในระบบ อย่างไรก็ตามกรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดจากกลุ่มจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ผลิตกรด (Acid Forming Bacteria) นั้น เป็นอาหารของกลุ่มจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน (Methane Producing Bacteria) เพื่อนำไปสู่การผลิตก๊าซมีเทน (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2557)

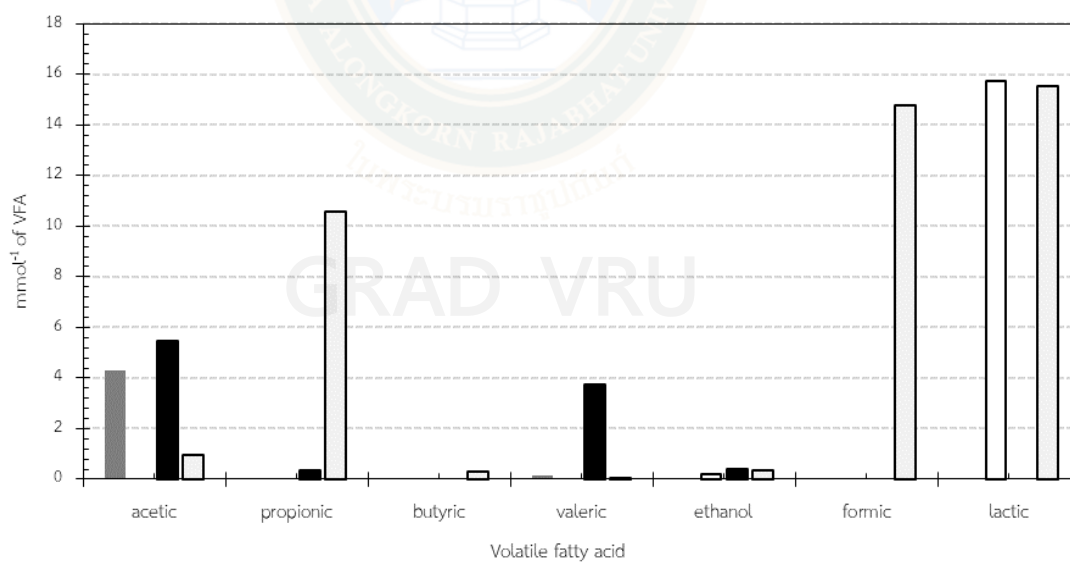
เมื่อพิจารณาจากกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในสภาวะที่ไม่เติมเถ้าลอยพบว่ามีการสะสมของกรดฟอร์มิกในวันที่เริ่มต้นและวันสุดท้าย 10-20 มิลลิโมลต่อลิตร กรดแลคติกในวันที่เริ่มต้นและวันสุดท้าย 24-28 มิลลิโมลต่อลิตร (ภาพที่ 4.7) เมื่อนำไปพิจารณาร่วมกับเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบพบว่าผลิตได้เพียง 30% ซึ่งน้อยกว่าค่าทางทฤษฎีเมื่อเทียบกับสภาวะที่มีการเติมเถ้าลอยแสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยมีความสามารถในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 4.7 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในสภาวะที่ไม่เติมเถ้าลอยในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (■) ของการเดินระบบ



ภาพที่ 4.8 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เติมแล้วลอย 5 กรัม ในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (□) ของการเดินระบบ 10 กรัม ในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (□) ของการเดินระบบ

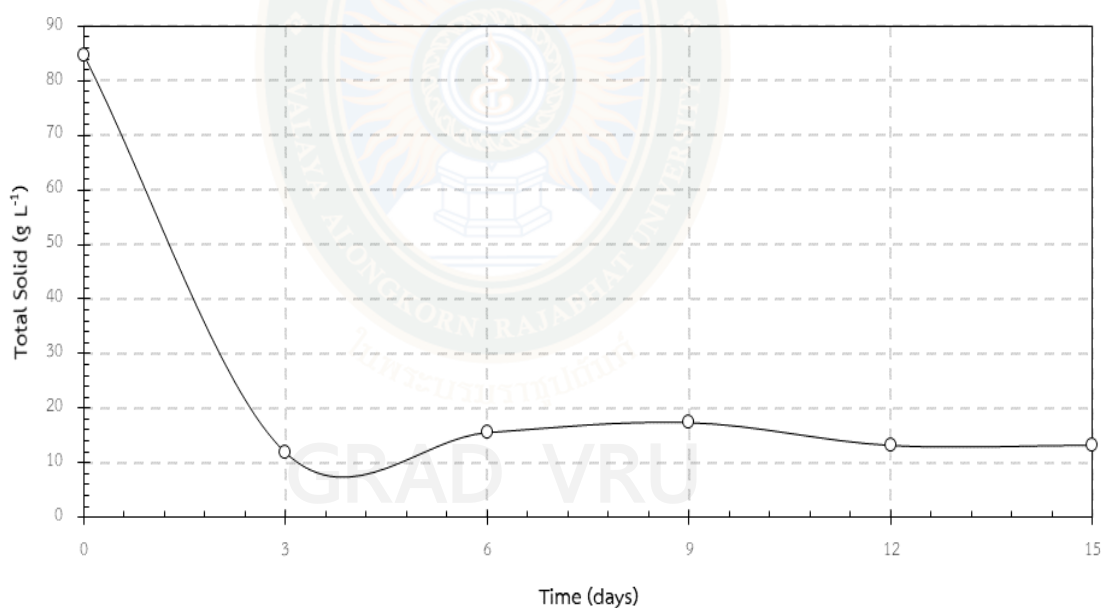


ภาพที่ 4.9 ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เติมแล้วลอย 15 กรัม ในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (□) ของการเดินระบบ และ 20 กรัม ในวันเริ่มต้น (■) และวันสุดท้าย (■) ของการเดินระบบ

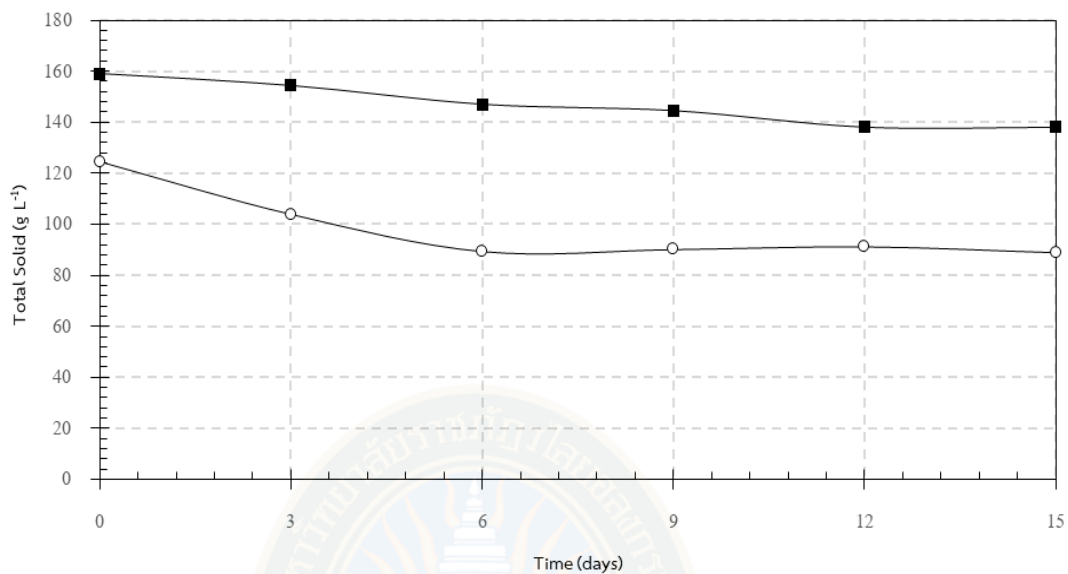
ในส่วนของการอินทรีย์ระเหยง่ายในสถานะที่เติมแฉะลอย 5 กรัม และ 10 กรัม พบว่า มีการสะสมของกรดฟอร์มิก และกรดแลกติกเช่นกัน แต่มีปริมาณการสะสมน้อยกว่าสถานะที่ไม่เติมแฉะลอย และในสถานะที่เติมแฉะลอย 15 กรัม และ 20 กรัม พบว่า ในวันที่เริ่มต้นมีการดอะซิดิก ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนส่งผลให้ประสิทธิภาพผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าสถานะที่ไม่เติมแฉะลอย (ภาพที่ 4.8-4.9)

4.1.4 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

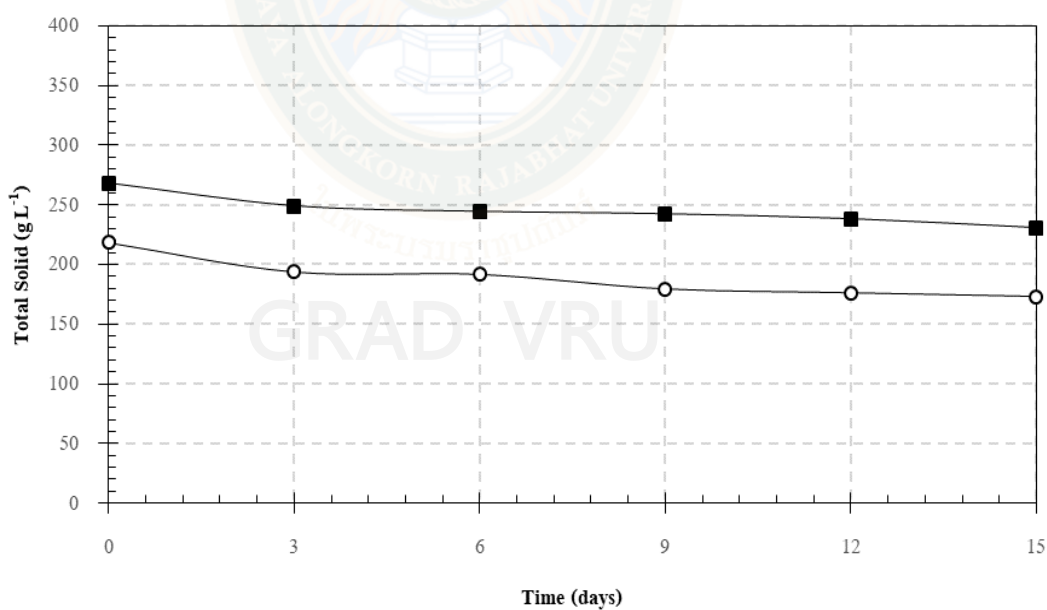
ค่าของแข็งทั้งหมดประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ (Organic Matter) และสารอนินทรีย์ (Inorganic Matter) เป็นปริมาณที่สิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสียหรือภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพในสถานะที่ไม่เติมแฉะลอย ค่าของแข็งในระบบลดลงตั้งแต่ วันที่ 3 ซึ่งลดลงจาก 95 กรัมต่อลิตร เหลือน้อยกว่า 13 กรัมต่อลิตร และคงที่จนถึงวันที่ 15 (ดังรูปที่ 4.10) แสดงให้เห็นว่ากลุ่มจุลินทรีย์ในระบบมีการใช้สารอินทรีย์ในระบบเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 4.10 ค่าของแข็งทั้งหมดที่ไม่เติมแฉะลอย



ภาพที่ 4.11 ค่าของแข็งทั้งหมดที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม



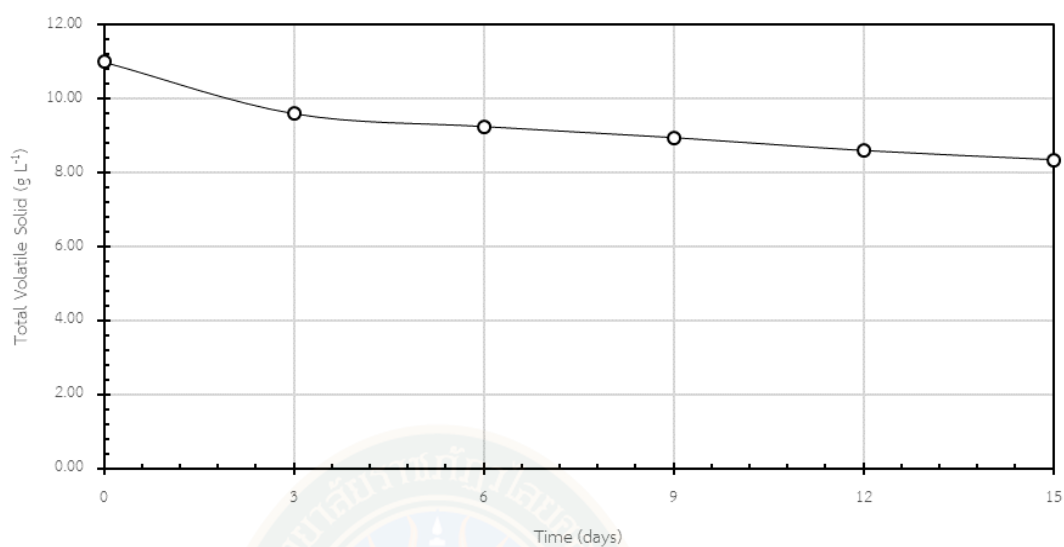
ภาพที่ 4.12 ค่าของแข็งทั้งหมดที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม

ในส่วนของสภาวะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม และ 20 กรัม นั้นพบว่า ค่าของแข็งทั้งหมดลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากในระบบมีปริมาณเถ้าลอยซึ่งเป็นของแข็งอยู่ภายในระบบ

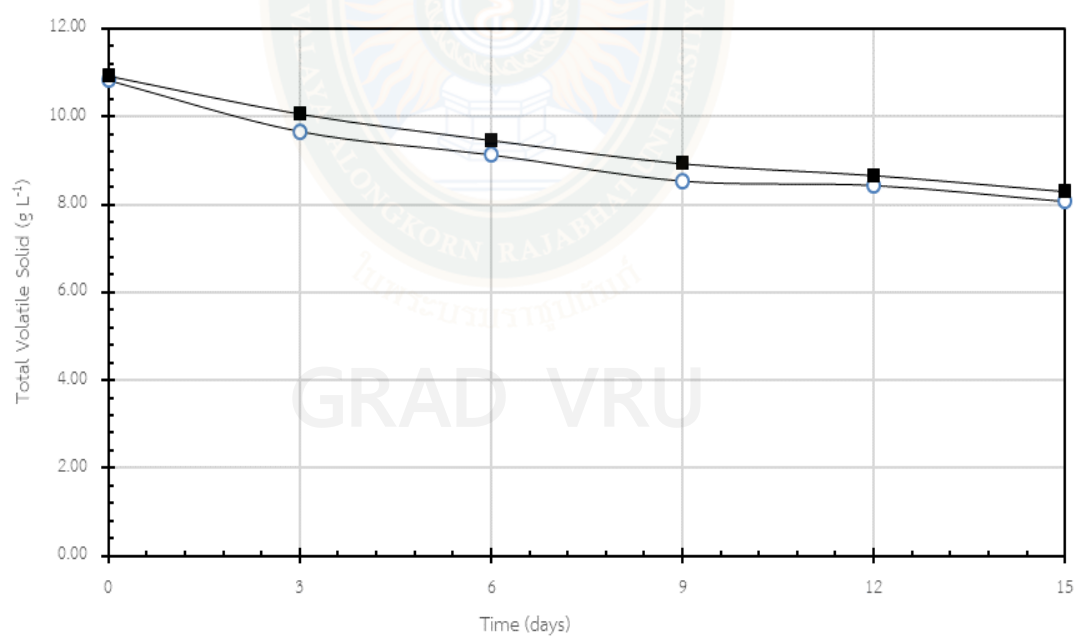
ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้จึงทำให้ค่าของแข็งในระบบในช่วงเริ่มต้น และช่วงสุดท้ายมีปริมาณไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าของแข็งที่หายไปดังแสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12 นั้นเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ แต่อย่างไรก็ตามในสถานะที่มีการเติมเถ้าลอยนั้นยังสามารถผลิตมีเทนได้ดีกว่าสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย แสดงให้เห็นว่า เถ้าลอยนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี

4.1.5 ค่าของแข็งระเหยง่าย (Total Volatile Solid)

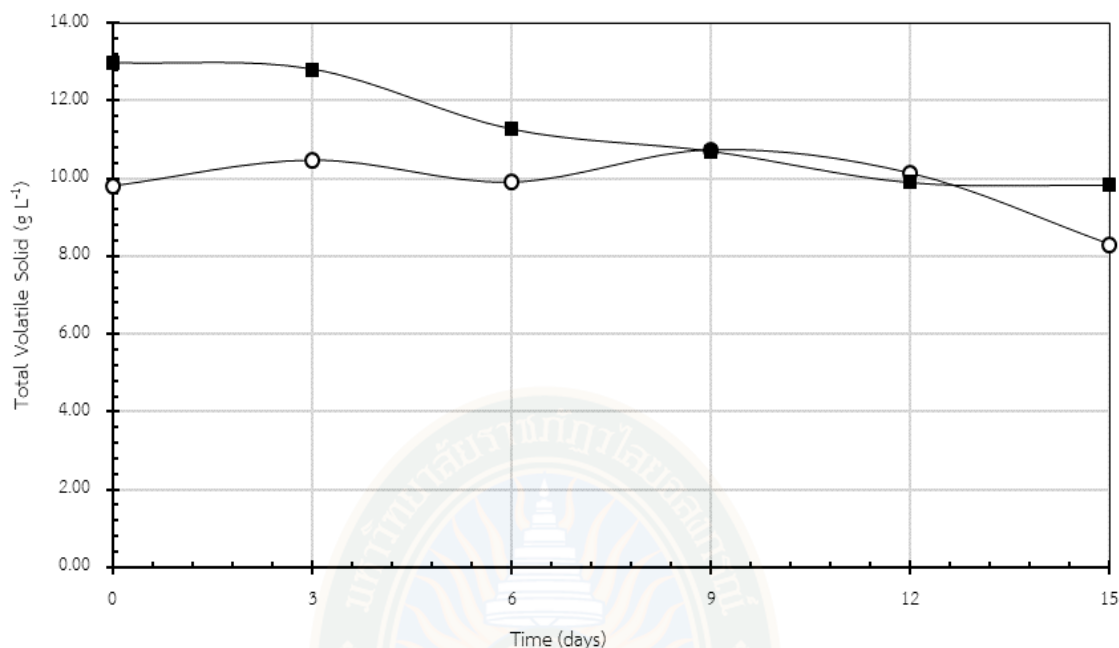
การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งระเหยง่ายนั้น ถือเป็นการวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่เหลืออยู่ภายในระบบ เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าของแข็งระเหยง่าย เมื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส จะทำให้ของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์หายไป ทำให้สามารถคำนวณค่าของของแข็งระเหยง่ายในระบบได้ เมื่อพิจารณาที่สถานะไม่มีการเติมเถ้าลอยพบว่า มีค่าของแข็งระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 11 กรัมต่อลิตร และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแข็งระเหยง่ายเหลืออยู่ 8.5 กรัมต่อลิตร ดังรูปที่ 4.13 ในสถานะที่มีการเติมเถ้าลอยที่ 5 กรัม มีค่าของแข็งระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 11 กรัมต่อลิตร และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแข็งระเหยง่ายเหลืออยู่ 8 กรัมต่อลิตร ในสถานะที่มีการเติมเถ้าลอยที่ 10 กรัม มีค่าของแข็งระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 11 กรัมต่อลิตร และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแข็งระเหยง่ายเหลืออยู่ 8.5 กรัมต่อลิตร สถานะที่มีการเติมเถ้าลอยที่ 15 กรัม มีค่าของแข็งระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 9.8 กรัมต่อลิตร และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแข็งระเหยง่ายเหลืออยู่ 8.25 กรัมต่อลิตร และ สถานะที่มีการเติมเถ้าลอยที่ 20 กรัม มีค่าของแข็งระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 13 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแข็งระเหยง่ายเหลืออยู่ 10 กรัมต่อลิตร



ภาพที่ 4.13 ค่าของแข็งระเหยง่ายที่ไม่เต็มแก๊สลอย



ภาพที่ 4.14 ค่าของแข็งระเหยง่ายที่เต็มแก๊สลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม



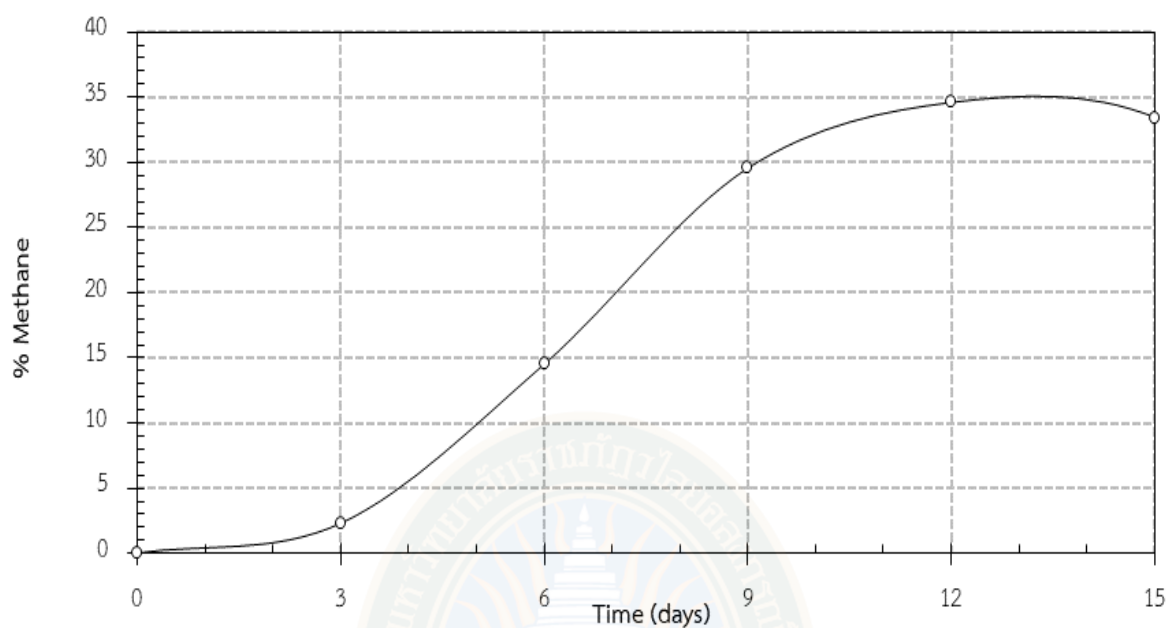
ภาพที่ 4.15 ค่าของแข็งระเหยง่ายที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม

เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างซับซ้อน จึงทำให้มีโครงสร้างบางส่วนที่ยังยึดเกาะกัน แม้ว่าจะมีการปรับสภาพทางกายภาพก่อนนำหญ้าเนเปียร์เข้าสู่ระบบ ทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในขั้นตอนไฮโดรไลซิสใช้เวลาในการย่อยสลายให้กลายเป็นสารอินทรีย์ขนาดเล็กใช้เวลานาน

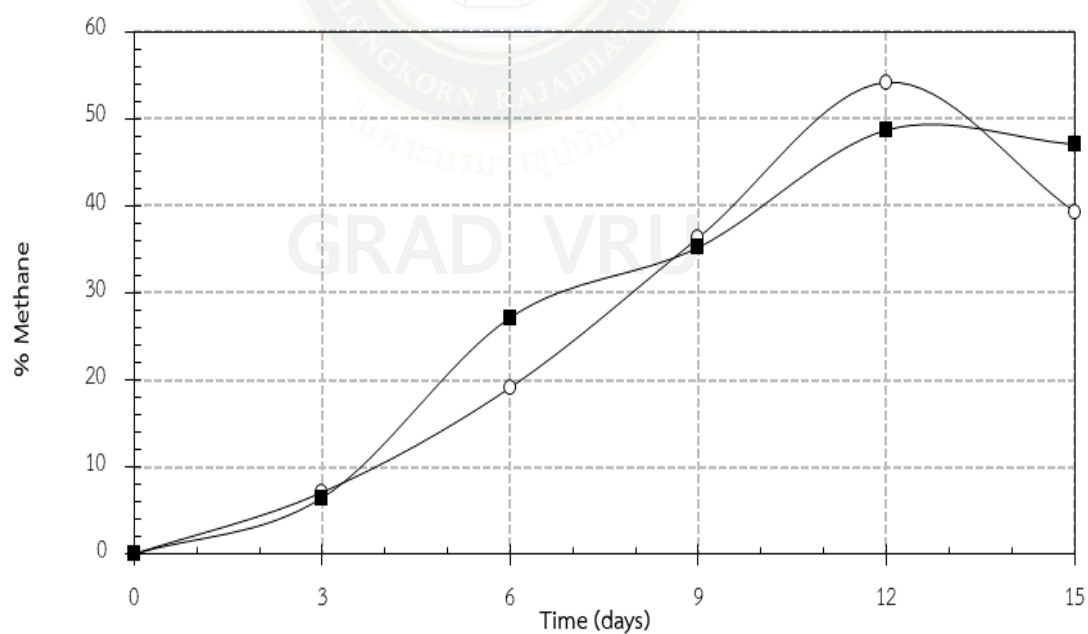
4.2 การผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas Production)

4.2.1 ก๊าซมีเทน (CH₄)

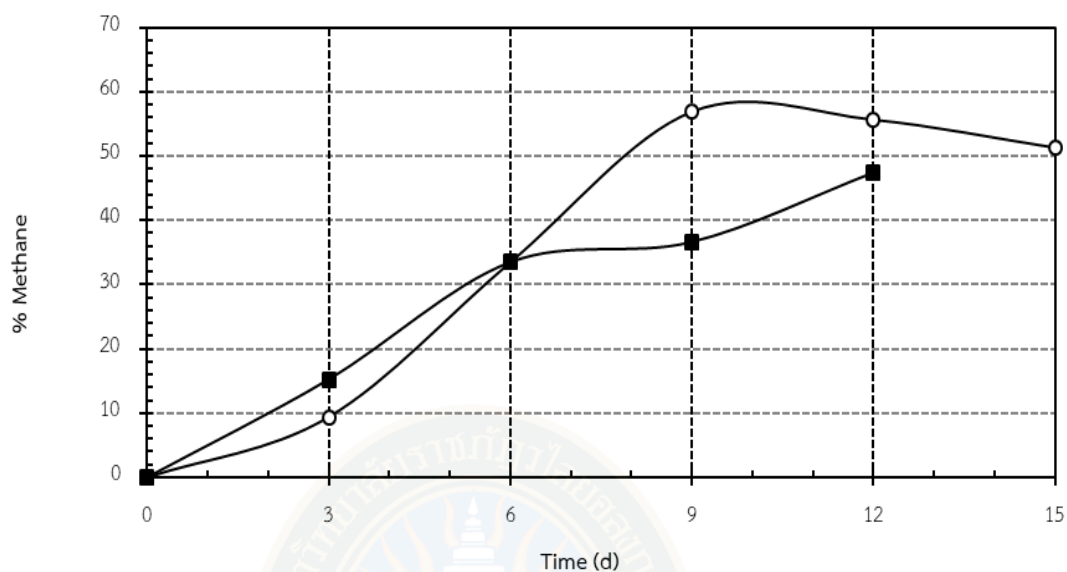
เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นภายในระบบการทดสอบประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์พบว่า เมื่อมีการเปรียบเทียบกันทั้งในสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย และในสถานะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม และ 20 กรัม ตามลำดับ พบว่า ในสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอยนั้นได้ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนสูงสุดที่ 35% ดังรูปที่ 4.13 เมื่อพิจารณาร่วมกับค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนตามทฤษฎี (50-60%) พบว่ามีค่าน้อยกว่าทฤษฎี ดังนั้นจึงสามารถนำข้อมูลในส่วนที่ไม่เติมเถ้าลอยไปเปรียบเทียบประสิทธิภาพในสถานะที่เติมเถ้าลอย เพื่อหาสถานะที่ดีที่สุดต่อไป



ภาพที่ 4.16 ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่ไม่เติมเถ้าลอย



ภาพที่ 4.17 ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม

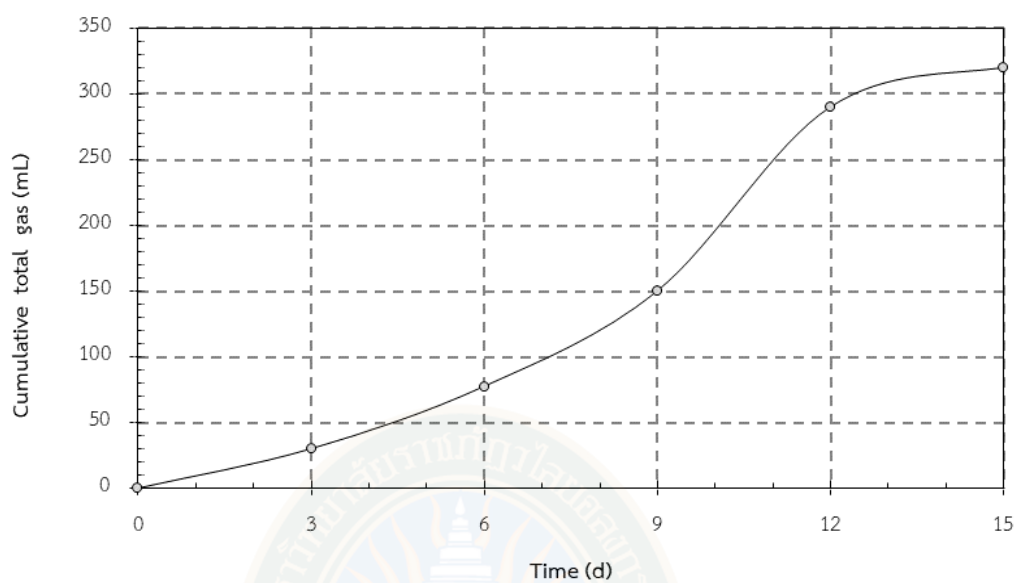


ภาพที่ 4.18 ค่าเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เต็มถังลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม

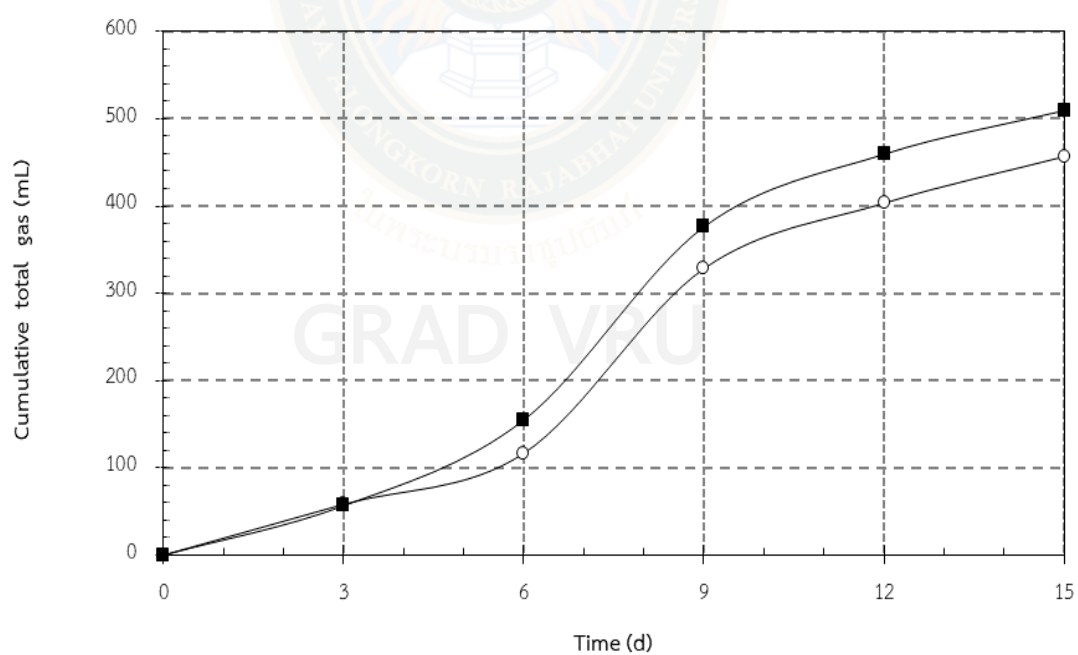
ในสภาวะที่ปริมาณถังลอยที่ 5 กรัม พบว่ามี เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 54.14% ในสภาวะที่ปริมาณถังลอยที่ 10 กรัม เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 48.68% ในสภาวะที่ปริมาณถังลอยที่ 15 กรัม เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 56.89% ปริมาณมีเทน และในสภาวะที่ปริมาณถังลอยที่ 20 กรัม เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 47.39% ตามลำดับ

4.2.2 ปริมาณก๊าซรวมสะสม (มิลลิลิตร)

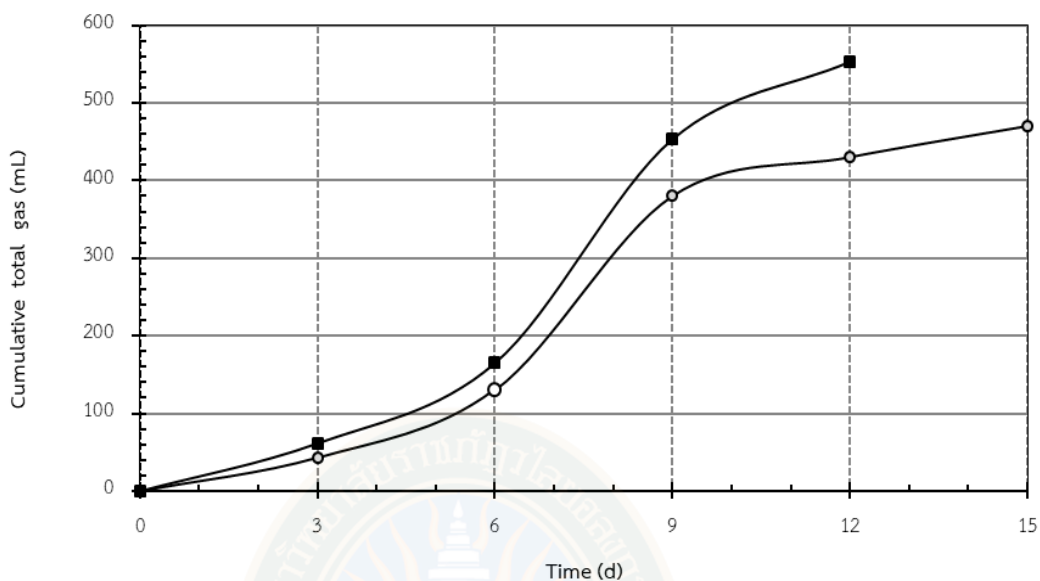
นอกจากเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนแล้ว ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ถังลอยเป็นแร่ธาตุจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ สามารถวัดปริมาณก๊าซรวมโดยการแทนที่น้ำเพื่อทราบถึงปริมาณก๊าซรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบเป็นมิลลิลิตร เนื่องจากในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพไม่เพียงมีก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเท่านั้น ยังมีก๊าซอื่น ๆ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน รวมถึง ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อีกด้วย การติดตามปริมาณก๊าซรวมสะสมจะทำให้ทราบถึงปริมาณมิลลิลิตร หรือลิตร ของก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณมิลลิลิตร หรือลิตรของมีเทนในระบบต่อไป



ภาพที่ 4.19 ค่าปริมาณก๊าซรวมสะสมที่ไม่เติมเถ้าลอย



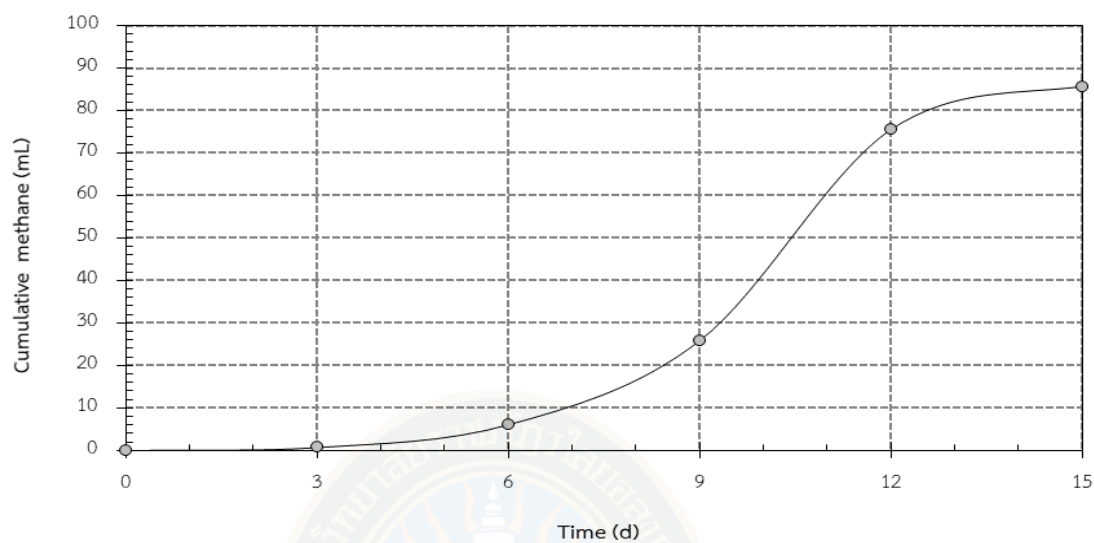
ภาพที่ 4.20 ค่าปริมาณก๊าซรวมสะสมที่เติมเถ้าลอยที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม



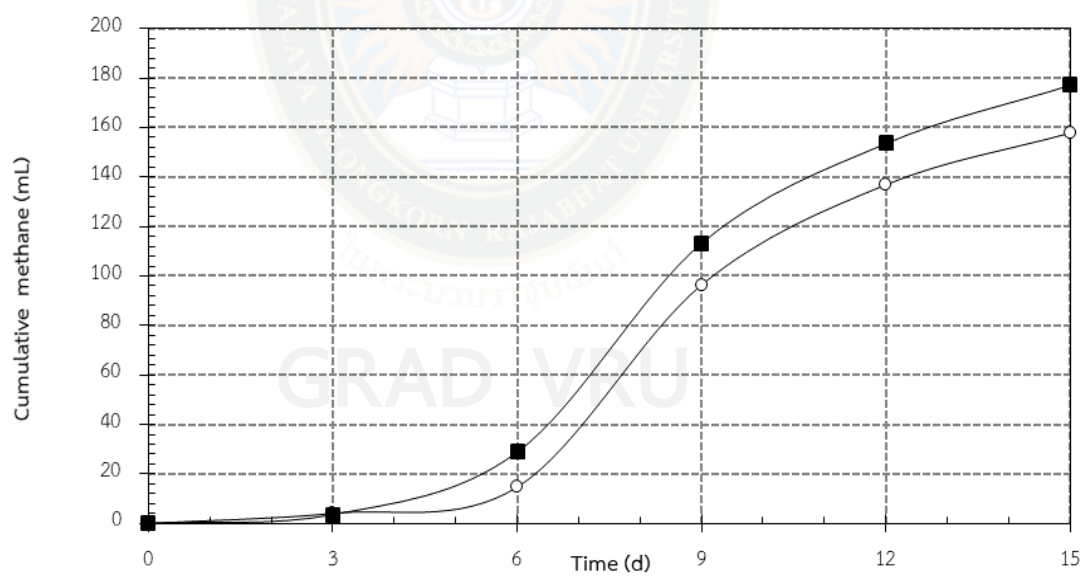
ภาพที่ 4.21 ค่าปริมาณก๊าซรวมสะสมที่เติมเถ้าลอยที่เติมเถ้าลอย (○) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม

4.2.3 ปริมาณมีเทนสะสม (มิลลิลิตร)

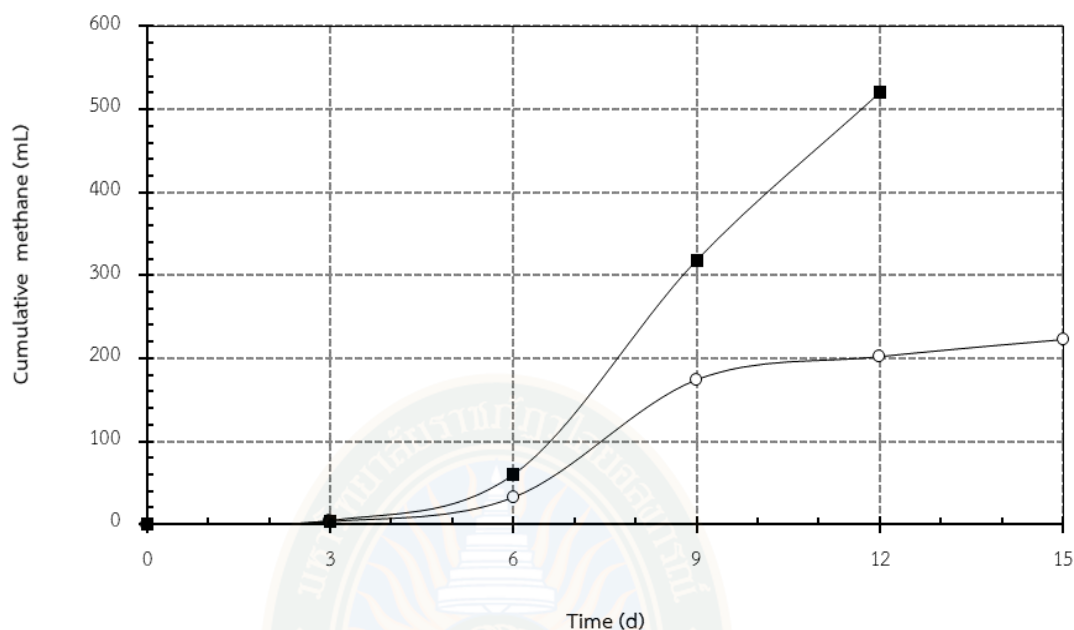
ในระบบการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ มีการคำนวณเพื่อติดตามค่าปริมาณมิลลิลิตรมีเทนที่สะสมในระบบเพื่อทราบค่าปริมาณที่แท้จริงในการเกิดก๊าซมีเทนเป็นมิลลิลิตร เมื่อคำนวณแล้วนำมาคิดรวมในแต่ละชั่วโมงเพื่อทราบปริมาณสะสมของการเกิดก๊าซมีเทน ดังรูปที่ 4.22 พบว่า ในสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอยมีค่าปริมาณมีเทนสะสม 85 มิลลิลิตร ในสถานะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม มีค่าปริมาณมีเทนสะสม 157 มิลลิลิตร สถานะที่เติมเถ้าลอย 10 กรัม มีค่าปริมาณมีเทนสะสม 177 มิลลิลิตร สถานะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม มีค่าปริมาณมีเทนสะสม 200 มิลลิลิตร สถานะที่เติมเถ้าลอย 20 กรัม มีค่าปริมาณมีเทนสะสม 500 มิลลิลิตร



ภาพที่ 4.22 ค่าปริมาณมีเทนสะสมที่ไม่เติมเถ้าลอย



ภาพที่ 4.23 ค่าปริมาณมีเทนสะสมที่เติมเถ้าลอยที่เติมเถ้าลอย (○) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม



ภาพที่ 4.24 ค่าปริมาณมีเทนสะสมที่เติมแล้วลอยที่เติมแล้วลอย (O) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม

4.2.4 จลศาสตร์การผลิตมีเทน (Kinetic of Methane Production)

1) อัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max})

เป็นการหาค่าอัตราการผลิตเพื่อพิจารณาความสามารถในการผลิตมีเทนในสภาวะที่กำหนดไว้ การคำนวณ H_{max} นั้นจะใช้ค่าปริมาณมีเทนสะสม (มิลลิลิตร) มาใช้ในการคิดโดยเข้าโปรแกรม Sigma Plot เมื่อได้ค่าจึงนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูอัตราการผลิตสูงสุด (H_{max}) ซึ่งจากการคำนวณอัตราการผลิตมีเทนสูงสุดจากการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ พบว่า ในสภาวะที่ไม่เติมเถ้าลอย มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 90 มิลลิลิตร

ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 175 มิลลิลิตร

ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 10 กรัม มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 160 มิลลิลิตร

ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 205 มิลลิลิตร

ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 20 กรัม มีค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด 280 มิลลิลิตร

เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์อื่น ๆ คือ เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน ปริมาณมีเทนสะสม และค่าอัตราผลิตสูงสุดแล้ว พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ ถือได้ว่ามีความเหมาะสมที่จะนำไปต่อยอดสำหรับการใช้เถ้าลอย หญ้าเนเปียร์

และมูลวัว เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพใช้ในชุมชน และอุตสาหกรรม ทั้งยังเป็นเพิ่มศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์

2) อัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max})

การคำนวณอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน เพื่อดูความเร็วในการผลิตมีเทนที่สภาวะที่กำหนดไว้ ซึ่งการคิดค่า R_{max} นั้นจะนำค่าปริมาณมีเทนสะสมมาคำนวณโดยโปรแกรม Sigma Plot เมื่อได้ค่าจึงนำมาพล็อตกราฟเพื่อดูอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max}) ซึ่งจากการคำนวณอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน โดยใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ พบว่า

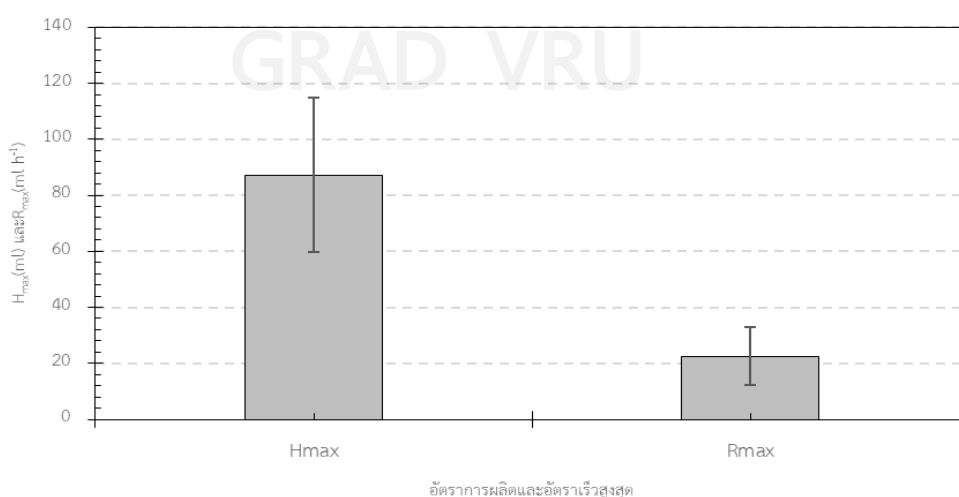
ในสภาวะที่ไม่เติมเถ้าลอย มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 25 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 35 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

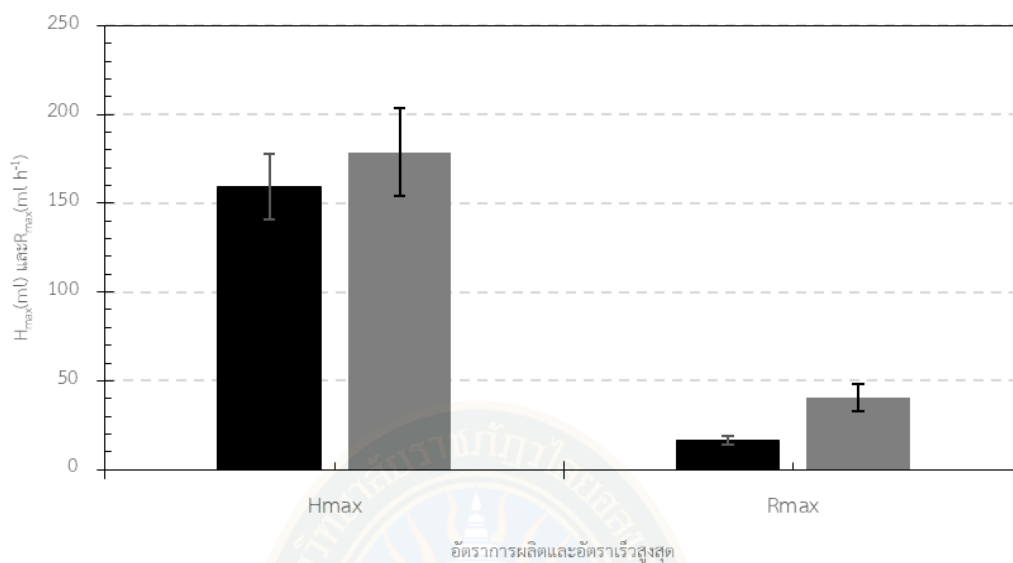
ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 10 กรัม มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 20 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 55 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

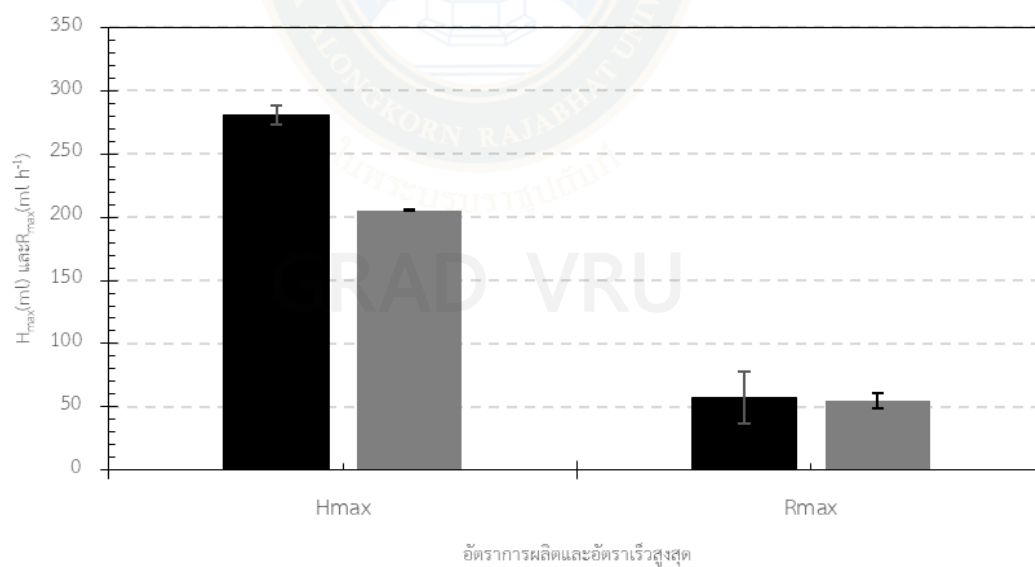
ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 20 กรัม มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง (ภาพที่ 4.25-4.27)



ภาพที่ 4.25 ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max}) และอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max}) ที่ไม่เติมเถ้าลอย



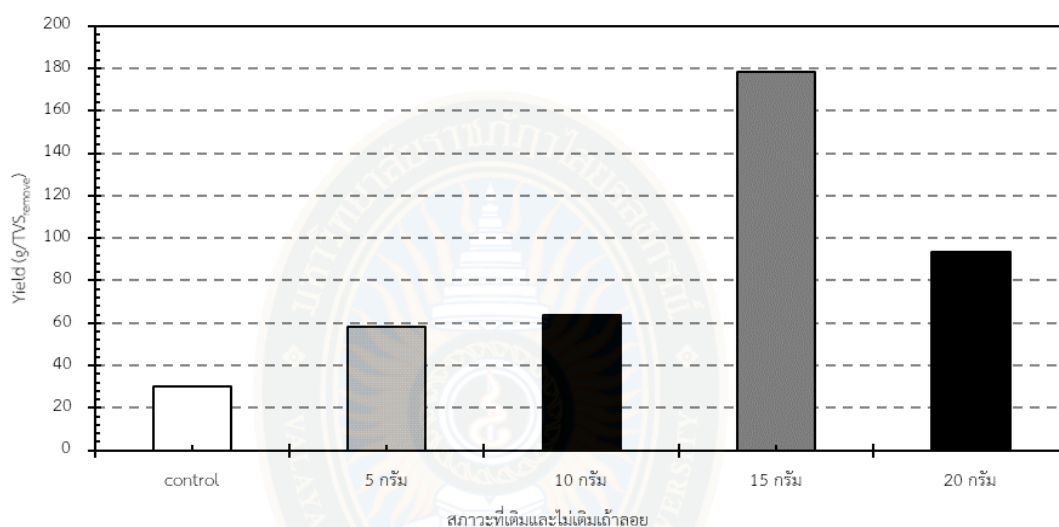
ภาพที่ 4.26 ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max}) และอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max}) ที่เติมเถ้าลอย (■) 5 กรัม และ (■) 10 กรัม



ภาพที่ 4.27 ค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนสูงสุด (H_{max}) และอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max}) ที่เติมเถ้าลอย (■) 15 กรัม และ (■) 20 กรัม

4.3 ผลผลิต (Yield)

พารามิเตอร์สุดท้ายที่สำคัญในการพิจารณาผลผลิตมีเทน คือ ผลผลิตซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่สามารถบ่งบอกถึงความสามารถในการผลิตมีเทน โดยในการทำวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบทั้งในสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย สถานะที่เติมเถ้าลอย 5, 10, 15, และ 20 กรัม ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.28



ภาพที่ 4.28 ค่าผลผลิต (Yield) ในสถานะที่ใช้ปริมาณเถ้าลอย แตกต่างกัน

จากกราฟแสดงให้เห็นว่าในสถานะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม ได้ค่าผลผลิตมากที่สุดที่ 178.26 g/TVS_{remove} เมื่อนำทุกพารามิเตอร์มาพิจารณาข้อมูลร่วมกันพบว่า สถานะ 15 กรัม เป็นสถานะที่ดีที่สุดสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ในครั้งนี้

4.4 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (Economic Feasibility of Biogas Production)

ในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์นั้น สามารถนำก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มาทดแทนก๊าซหุงต้ม และนำไปใช้ในครัวเรือนได้ ซึ่งอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพ จะคำนวณจากถังพลาสติก PVC และอุปกรณ์อื่น 1 ชุด ราคา 2,000 บาท และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเพื่อให้หญ้าเนเปียร์เจริญเติบโต 1,000 บาทต่อปี นำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการซื้อก๊าซหุงต้ม อีกทั้งยังเป็นแนวทาง

สำหรับการนำไปสู่การนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากหญ้าเนเปียร์ไปสู่การผลิตกระแสไฟฟ้า สำหรับพื้นที่ที่มีศักยภาพในการปลูกหญ้าเนเปียร์ได้อีกด้วย

4.4.1 การลงทุนสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์สำหรับใช้ในครัวเรือน

โดยพื้นที่ 1 ไร่ สามารถปลูกหญ้าเนเปียร์ได้ 14 ตันต่อไร่ต่อปี ซึ่งการนำหญ้าเนเปียร์มาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้น จะคิดจากอัตราส่วนจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ใช้ถึงปฏิกรณ์ขนาด 1 ลิตร เมื่อนำไปใช้ในชุมชนจึงมีการปรับขนาดให้เหมาะสมต่อความต้องการและเพียงพอต่อครัวเรือน จึงคิดต้นทุนที่ถึงปฏิกรณ์ขนาด 200 ลิตร

เมื่อคำนวณจากอัตราส่วนพบว่าหญ้าเนเปียร์ที่ใส่ในถังปฏิกรณ์ขนาด 200 ลิตร มีจำนวน 1 กิโลกรัม และใช้มูลวัวเป็นเชื้อตั้งต้น เพื่อช่วยในการย่อยสลายให้เกิดก๊าซชีวภาพ ดังนั้นหญ้าเนเปียร์ 1 ไร่ จึงสามารถนำมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงนำปริมาณการเก็บเกี่ยวหญ้าเนเปียร์ต่อปีมาใช้ในการคำนวณผลประโยชน์ (Benefit) ดังนี้

การคำนวณที่หญ้าเนเปียร์ 10 กิโลกรัม สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 0.3727 ลบ.ม. ต่อวัน และ สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 136.045 ลบ.ม. ต่อปี

ค่าใช้จ่ายในการลงทุนครั้งแรก (Fix Cost)

ถังพลาสติก PVC และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพ ราคา 2,000 บาท

ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อปี (Variable Cost)

ค่าบำรุงรักษา (น้ำ+ปุ๋ย) 1,000 บาท

การคำนวณก๊าซ LPG สามารถคำนวณได้จากสูตร = ลบ.ม. ของก๊าซมีเทน $\times$ 0.46 ดังนั้นจึงสามารถแทนค่าสูตรได้ ดังนี้

$$= 136.045 \text{ ลบ.ม.} \times 0.46$$

$$= 62.581 \text{ กิโลกรัม LPG ต่อปี}$$

$$= \text{ราคาก๊าซ LPG ปัจจุบัน } 26.5 \text{ บาท ต่อ กิโลกรัม ณ วันที่ 6 กุมภาพันธ์ 2563}$$

$$\text{ดังนั้น สามารถนำมาคำนวณเป็นเงิน } 26.5 \times 62.581 \text{ กิโลกรัม LPG} = 1,658.40 \text{ บาท}$$

โดยนำจำนวนเงินที่ทดแทนก๊าซ LPG ที่ได้ เข้าสู่การคำนวณการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการลงทุนของโครงการนั้นสามารถวิเคราะห์ได้โดยมีพารามิเตอร์ ดังนี้ อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) และระยะเวลาคืนทุน (PBP)

4.4.2 การคำนวณอัตราส่วนระหว่างผลตอบแทนต่อต้นทุน หรือ Benefit/Cost ratio เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน กับมูลค่าปัจจุบันของเงินลงทุน และค่าใช้จ่ายในโครงการ

โดยที่ ถ้า Benefit/Cost ratio มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการให้ผลตอบแทน
คุ้มค่า เหมาะแก่การลงทุน

ถ้า Benefit/Cost ratio มีค่าน้อยกว่า 1 แสดงว่าผลตอบแทนที่ได้รับ
จากโครงการไม่คุ้มค่า ไม่เหมาะแก่การลงทุน การคำนวณ (คิดตั้งแต่ปีที่ 1-10)

$$B / C \text{ Ratio} = \frac{\text{มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทน}}{\text{มูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่าย}}$$

$$= 7,681.60 \div 5,558.32$$

$$= 1.38$$

4.4.3 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) นั้นค่าอัตราคิดลดที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่า
มากกว่าอัตราคิดลดที่เลือกใช้ จะถือได้ว่าเป็นโครงการที่น่าลงทุน โดยสามารถคำนวณได้จากสูตร Net
present value (NPV) โดยเปลี่ยนเปอร์เซ็นต์อัตราคิดลดให้เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยการคำนวณหาค่า IRR
ต้องมีการคำนวณค่า NPV ในขั้นต้น จากสูตร

$$\frac{(Benefit - Cost)}{(1 + \text{อัตราคิดลด})^n}$$

ซึ่งสามารถแทนค่าในสูตรได้ดังนี้ (สมมติ อัตราคิดลดที่ 0.08% คิดปีที่ 9)

$$\frac{(1,658.40 - 1,000)}{(1 + 0.08)^9}$$

จากนั้นจึงนำมาคำนวณค่า IRR ที่แท้จริงโดยคำนวณเมื่อค่า NPV sum ติดลบจึง
นำมาคำนวณ จากสูตร

$$IRR = i_L + (i_U - i_L) \times \frac{NPV_L}{(NPV_L - NPV_U)}$$

ซึ่งสามารถแทนค่าในสูตรได้ ดังนี้

$$IRR = 30 + \{(31 + 30) \times \frac{35.47}{(35.47 - (-18.83))}\}$$

$$IRR = 20.25$$

4.4.4 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) คำนวณปีที่ 0-10 จากสูตร

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t}$$

โดยตัวอย่างการคำนวณ เป็นการคำนวณในปีที่ 1 ซึ่งสามารถแทนค่าในสูตรได้ ดังนี้

$$NPV = \frac{(1,658.40 - 1,000)}{(1 + 0.08)^1}$$

ดังนั้น NPV ในปีที่ 1 = 609.69

คำนวณตั้งแต่ปีที่ 0 - 10 และคิดค่าผลรวมทั้งหมด จากการคำนวณพบว่า NPV Sum มีค่า 2,417.92

4.4.5 ระยะเวลาคืนทุน (PBP) ในการคำนวณระยะเวลาคืนทุนนั้น คิดได้จากค่า NPV สะสมที่เปลี่ยนเป็นบวก ซึ่งจากโครงการนี้มีระยะเวลา 10 ปี ซึ่งตัวอย่างการคิดระยะเวลาคืนทุนแสดงได้ดังนี้

$$Payback\ period = 4 + \frac{2,000}{483.94} = 4 \text{ ปี } 4 \text{ เดือน}$$

โดยค่าการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ที่ได้สามารถแสดงค่าได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

พารามิเตอร์ทางเศรษฐศาสตร์	ค่าสถานะที่เต็มถ้ำลอย 15 กรัม
NPV สะสม	2,417.92
ระยะเวลาคืนทุน (PBP)	4 ปี 4 เดือน
อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR)	ร้อยละ 20.25
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C Ratio)	1.38

จากการวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถสรุปได้ว่า ในสถานะที่เต็มถ้ำลอย 15 กรัมสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 4 ปี 4 เดือน และเมื่อพิจารณาทุกองค์ประกอบร่วมกัน ทั้งด้านประสิทธิภาพการผลิต และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่าการใช้ถ้ำลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ นั้นมีความคุ้มค่า และมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาปรับใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพในครัวเรือนต่อไป

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ เป็นการใช้ประโยชน์จากของเสียเหลือทิ้ง เพื่อให้ผลิตพลังงานให้เพียงพอต่อความต้องการและใช้เป็นพลังงานทางเลือกเพื่อพัฒนาประเทศสู่อนาคต ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพ รวบรวม และวิเคราะห์ข้อมูล ตามวัตถุประสงค์วิจัยเสร็จสิ้นแล้วจึงสามารถสรุปผล อภิปรายผล และมีข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัย ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ ในสภาวะที่ไร้อากาศ มีอัตราส่วนระหว่างสารอินทรีย์ต่อเชื้อจุลินทรีย์ คือ 1:2 และแปรผันปริมาณเถ้าลอยที่ 5 10 15 และ 20 กรัม ตามลำดับ เริ่มทำการหมักจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะ Steady state คือ ไม่มีการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในทุก ๆ 3 วัน จากการศึกษาได้ทราบถึงข้อมูล สภาวะการใช้เถ้าลอยที่เหมาะสมในการผลิตก๊าซชีวภาพ คือปริมาณเถ้าลอยที่ 15 กรัม เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ร้อยละ 56.89% ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane) มีค่า 165.33 มิลลิลิตร และในปริมาณเถ้าลอยที่ไม่ได้เติมเถ้าลอยเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 34.59% ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane) มีค่า 85.53 มิลลิลิตร เมื่อวิเคราะห์ถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ โดยนำไปทดแทนก๊าซ LPG สามารถสรุปได้ว่า ในสภาวะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัมสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 4 ปี 4 เดือน อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 20.25 NPV สะสม 2,417.92 และค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 1.38 จึงถือได้ว่าเถ้าลอยเป็นวัตถุดิบที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพในครั้งนี้ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังสามารถใช้ในการทดแทนก๊าซหุงต้มได้อีกด้วย

5.2 อภิปรายผล

การศึกษาศักยภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ ผลการวิจัยสรุปได้ว่า

5.2.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ในสภาวะที่ไม่ได้เติมเถ้าลอย ค่า pH อยู่ในช่วง 7-7.6 ส่วนของการเติมเถ้าลอย 5 10 15 และ 20 กรัม ค่า pH อยู่ในช่วง 7.1-8.0 เนื่องจากเถ้าลอยมีค่า pH 8 จึงทำให้ เมื่อเข้าสู่ระบบ

ผลิตก๊าซชีวภาพ สามารถควบคุมค่า pH ได้เป็นอย่างดี สภาพต่างในสถานะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม และ 10 กรัม มีค่าอยู่ระหว่าง 3,000 – 4,500 มก./ลิตร CaCO_3 สภาพต่างในสถานะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม และ 20 กรัม

มีค่าอยู่ระหว่าง 3,700 – 4,500 มก./ลิตร CaCO_3 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม้จะมีกรดสะสมอยู่ในระบบแต่ยังคงสถานะค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพได้

5.2.2 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid)

เมื่อพิจารณาจากกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย พบว่า มีการสะสมของกรดฟอร์มิกในวันที่เริ่มต้นและวันสุดท้าย 10-20 มิลลิโมลต่อลิตร กรดแลคติกในวันที่เริ่มต้นและวันสุดท้าย 24-28 มิลลิโมล ต่อลิตร เมื่อนำไปพิจารณาร่วมกับเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นในระบบพบว่าผลิตได้เพียง 30% ซึ่งน้อยกว่า ค่าทางทฤษฎีเมื่อเทียบกับสถานะที่มีการเติมเถ้าลอยแสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยมีความสามารถในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี

ในส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในสถานะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม และ 10 กรัม พบว่ามีการสะสมของกรดฟอร์มิก และกรดแลคติกเช่นกัน แต่มีปริมาณการสะสมน้อยกว่าสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย และในสถานะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม และ 20 กรัม พบว่า ในวันที่เริ่มต้นมีกรดอะซิติกซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักของจุลินทรีย์กลุ่มผลิตมีเทนส่งผลให้ประสิทธิภาพผลิตก๊าซมีเทนสูงกว่าสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย

5.2.3 ค่าของแข็งทั้งหมด (Total Solid)

ในสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย ค่าของแข็งในระบบลดลงตั้งแต่ วันที่ 3 ซึ่งลดลงจาก 95 กรัมต่อลิตร เหลือน้อยกว่า 13 กรัมต่อลิตร จนถึงวันสุดท้าย สถานะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม 10 กรัม 15 กรัม และ 20 กรัม พบว่า ค่าของแข็งทั้งหมดลดลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากในระบบมีปริมาณเถ้าลอยซึ่งเป็นของแข็งอยู่ภายในระบบ ซึ่งกลุ่มจุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายได้จึงทำให้ค่าของแข็งในระบบในช่วงเริ่มต้น และช่วงสุดท้ายมีปริมาณไม่แตกต่างกันมาก โดยค่าของแข็งที่หายไปนั้นเป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบ แต่อย่างไรก็ตามในสถานะที่มีการเติมเถ้าลอยนั้นยังสามารถผลิตมีเทนได้ดีกว่าสถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย แสดงให้เห็นว่าเถ้าลอยนั้นสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้เป็นอย่างดี

5.2.4 ค่าของแข็งระเหยง่าย (Total Volatile Solid)

เมื่อพิจารณาที่สถานะไม่มีการเติมเถ้าลอยพบว่ามีค่าของแข็งระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 11 กรัมต่อลิตร และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแข็งระเหยง่ายเหลืออยู่ 8.5 กรัมต่อลิตร ในสถานะที่มีการเติมเถ้าลอยที่ 5 กรัม มีค่าของแข็งระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 11 กรัมต่อลิตร และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแข็งระเหยง่ายเหลืออยู่ 8 กรัมต่อลิตร ในสถานะที่มีการเติมเถ้าลอยที่ 10 กรัม มีค่าของแข็งระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 11 กรัมต่อลิตร

และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแก๊สระเหยง่ายเหลืออยู่ 8.5 กรัมต่อลิตร สภาวะที่มีการเติมแก๊สลอยที่ 15 กรัม มีค่าของแก๊สระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 9.8 กรัมต่อลิตร และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแก๊สระเหยง่ายเหลืออยู่ 8.25 กรัมต่อลิตร และสภาวะที่มีการเติมแก๊สลอยที่ 20 กรัม มีค่าของแก๊สระเหยง่ายในช่วงเริ่มต้นระบบ 13 กรัมต่อลิตรตามลำดับ และในช่วงสุดท้ายของการเดินระบบมีค่าของแก๊สระเหยง่ายเหลืออยู่ 10 กรัมต่อลิตร เนื่องจากวัตถุดิบที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุประเภทลิกโนเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างซับซ้อน จึงทำให้มีโครงสร้างบางส่วนที่ยังยึดเกาะกัน แม้ว่าจะมีการปรับสภาพทางกายภาพก่อนนำหญ้าเนเปียร์เข้าสู่ระบบ ทำให้แบคทีเรียที่อยู่ในขั้นตอนไฮโดรไลซิสใช้เวลาในการย่อยสลายให้กลายเป็นสารอินทรีย์ขนาดเล็กใช้เวลานาน

5.2.5 แก๊สมีเทน (CH_4)

ในการผลิตแก๊สมีเทนจากระบบนั้น แสดงค่าตามสภาวะที่กำหนดไว้ดังนี้ ในสภาวะที่ไม่เติมแก๊สลอย เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 34.59% ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane) มีค่า 85.53 มิลลิลิตร ในสภาวะที่ปริมาณแก๊สลอยที่ 5 กรัม เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 54.14% ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane) มีค่า 157.64 มิลลิลิตร ในสภาวะที่ปริมาณแก๊สลอยที่ 10 กรัม เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 48.68% ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane) มีค่า 177.13 มิลลิลิตร ในสภาวะที่ปริมาณแก๊สลอยที่ 15 กรัม เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 56.89% ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane) มีค่า 200 มิลลิลิตร และในสภาวะที่ปริมาณแก๊สลอยที่ 20 กรัม เปอร์เซ็นต์แก๊สมีเทน (CH_4) มีค่าสูงสุดที่ 47.39% ปริมาณมีเทนสะสม (Cumulative Methane) มีค่า 592 มิลลิลิตร จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าที่สภาวะที่ปริมาณแก๊สลอยที่ 15 กรัม สามารถผลิตแก๊สมีเทนที่เหมาะสมในครั้งนี้

5.2.6 อัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงสุด ($H_{\max}$)

อัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงสุด ในแต่ละสภาวะแสดงถึงความสามารถในการผลิตแก๊สมีเทนในระบบสภาวะที่ไม่เติมแก๊สลอย มีค่าอัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงสุด 90 มิลลิลิตร สภาวะที่เติมแก๊สลอย 5 กรัม มีค่าอัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงสุด 175 มิลลิลิตร สภาวะที่เติมแก๊สลอย 10 กรัม มีค่าอัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงสุด 160 มิลลิลิตร สภาวะที่เติมแก๊สลอย 15 กรัม มีค่าอัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงสุด 205 มิลลิลิตร สภาวะที่เติมแก๊สลอย 20 กรัม มีค่าอัตราการผลิตแก๊สมีเทนสูงสุด 280 มิลลิลิตร ตามลำดับ ซึ่งในส่วนของการผลิตแก๊สมีเทนสูงสุดนั้นพบว่าที่สภาวะการเติมแก๊สลอย 20 กรัม ได้อัตราการผลิตที่สูงสุดเมื่อเทียบกับสภาวะอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามในการพิจารณาสภาวะที่ดีและเหมาะสมที่สุดนั้น ต้องพิจารณาในพารามิเตอร์อื่น ๆ ประกอบกัน

5.2.7 อัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน (R_{max})

อัตราเร็วสูงสุดในการผลิตก๊าซมีเทนนั้น ถือเป็นหนึ่งพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญสำหรับระบบการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยในแต่ละสถานะให้ค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทนแตกต่างกันไป ดังนี้ สถานะที่ไม่เติมเถ้าลอย มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 25 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง สถานะที่เติมเถ้าลอย 5 กรัม มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 35 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง สถานะที่เติมเถ้าลอย 10 กรัม มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 20 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง สถานะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 55 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง สถานะที่เติมเถ้าลอย 20 กรัม มีค่าอัตราเร็วสูงสุดในการผลิตมีเทน 60 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง

5.2.8 ผลผลิต (Yield)

ในสถานะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัม ได้ค่าผลผลิตมากที่สุดที่ 178.26 กรัม เมื่อนำทุกพารามิเตอร์มาพิจารณาข้อมูลร่วมกันพบว่า สถานะ 15 กรัม เป็นสถานะที่ดีที่สุดสำหรับการศึกษาประสิทธิภาพการใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์ ในครั้งนี้

5.2.9 การวิเคราะห์ความเป็นไปได้เชิงเศรษฐศาสตร์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ (Economic Feasibility of Biogas Production)

จากการวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์สามารถสรุปได้ว่า ในสถานะที่เติมเถ้าลอย 15 กรัมสามารถคืนทุนได้ในระยะเวลา 4 ปี 4 เดือน ซึ่งในการพิจารณาอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุนนั้น ถ้าค่าที่ได้มีค่ามากกว่า 1 แสดงว่าโครงการเหมาะสำหรับการลงทุน ซึ่งในโครงการนี้มีค่าอัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน 1.38 อัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) ร้อยละ 20.25 และ NPV สะสม 2,417.92 และเมื่อพิจารณาทุกองค์ประกอบร่วมกัน ทั้งด้านประสิทธิภาพการผลิต และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ พบว่า การใช้เถ้าลอยเป็นแร่ธาตุเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมของมูลวัวและหญ้าเนเปียร์นั้นมีความคุ้มค่า และมีความเหมาะสมสำหรับการนำมาปรับใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพในครัวเรือนต่อไป

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ในการคิดค่าทางเศรษฐศาสตร์นั้นราคาของก๊าซชีวภาพควรคำนวณ ณ เวลาปัจจุบัน วิเคราะห์ความคุ้มค่าเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติม ในการหาวัตถุดิบมาใช้ในการหมักมีเทนนั้น อาจมีการใช้มูลสัตว์ต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็น มูลสุกร หรือมูลสัตว์อื่น ๆ ของเหลือทิ้งจากชุมชนอื่น ๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตมีเทน และในการวิจัยครั้งต่อไป อาจมีการเพิ่มการปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น เพราะในกรณีการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานในระบบผลิตไฟฟ้าและเครื่องยนต์

อาจมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เข้าไปก่ดกร่อนเครื่องยนต์ได้ การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ
ให้บริสุทธิ์เป็นการต่อยอดเพื่อการใช้ประโยชน์สูงสุด





บรรณานุกรม

GRAD VRU

บรรณานุกรม

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2558). **สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม 2558**. เอกสารข้อมูลกลุ่มสถิติพลังงานศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 1-2.
- ชัยศรี ธาราสวัสดิ์พิพัฒน์. (2555). **การผลิตพลังงานทดแทนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ร่วมกับวัชพืชน้ำ ในพื้นที่อำเภออัมพวา จังหวัดสมุทรสงคราม**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา.
- ณิชา บุณสิงห์. (2560). **ประโยชน์ของถั่วลอยจากการผลิตกระแสไฟฟ้า : วัสดุทดแทนที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม**. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร.
- ณัฐธินิชา สุขเกษม. (2559). **การพัฒนาชุมชนต้นแบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักร่วมระหว่างขยะอินทรีย์ ฟางข้าว และมูลสัตว์ ในสถานะที่มีตัวกลางยึดเกาะในอำเภอสนทรายและแมริม จังหวัดเชียงใหม่**. เชียงใหม่: วิทยาลัยพลังงานทดแทนมหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- ดวงใจ จินานุรักษ์. (2557). **การศึกษาความเป็นไปได้ในการลงทุนโรงไฟฟ้าชีวมวลจากหญ้าเนเปียร์ปากช่อง 1 อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พาริดา พรหมมา และคนอื่น ๆ. (2557). **การผลิตก๊าซชีวภาพจากหญ้าเนเปียร์ 3 สายพันธุ์**. กรุงเทพฯ: คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- รายงานฉบับสุดท้าย. (2561). **โครงการส่งเสริมเทคโนโลยีด้านพลังงานทดแทนให้เกิดศักยภาพในภาคอุตสาหกรรม**. กรุงเทพฯ: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน.
- วรุณิ เกิดปราง และคนอื่น ๆ. (2558). **จุลินทรีย์ท้องถิ่นในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามหลักเกษตรธรรมชาติ**. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 8(1), 52-57.
- วรารณ กิจชัยนุกูล. (2556). **การดูดซับปรอทในน้ำสังเคราะห์ด้วยถั่วลอยจากโรงไฟฟ้า**. *Bulletin of Applied Science*. 2(2), 33-39.
- ศศิธร สิงห์เสริมวงษ์ และคนอื่น ๆ. (2560). **การใช้ประโยชน์ของเสียจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ในการลดการชะละลายโลหะหนักออกจากดินที่ปนเปื้อนจากพื้นที่เหมือง**. *Thai Journal of Science and Technology*. 6(1), 60-71.
- สันหัต ศิริอนันต์ไพบูลย์. (2557). **ระบบบำบัดน้ำเสีย Wastewater Treatment System**. กรุงเทพฯ: ท็อป.

- สุรีย์วรรณ สิทธิจินดา. (2560). หน้าเนเปียร์กับการผลิตพลังงานทดแทน. **วารสารสิ่งแวดล้อม ENVIRONMENTAL JOURNAL**. 21(1), 19-24.
- เสาวลักษณ์ เข้าสกุล. (2555). การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วยและกลีเซอรอลโดยใช้ **กระบวนการหมักร่วม**. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- Amin F R., Khalid H., Zhang H., Rahman Su., Zhange R., Liu G., and Chen C. (2017). Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion, **AMB Express**. 7(7), 72.
- Ahmaruzzaman, M. (2010). A Review on the Utilization of Fly Ash. **Progress in Energy and Combustion Science**. 36(6), 327–363.
- Bundhoo, Mauthoor, & Mohee. (2016). Potential of Biogas Production from Biomass and Waste Materials in The Small Island Developing State of Mauritius. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 56(5), 1087-1100.
- Horvat A. (2016). **A study of the uncertainty associated with tar measurement and an investigation of tar evolution and composition during the air-blown fluidised bed gasification of torrefied and nontorrefied grassy biomass**. Chemical and Environmental Sciences Department. University of Limerick
- Khann, & Martin. (2016). Review of Biogas Digester Technology in Rural Bangladesh. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 62(62), 247-259.
- Kumar P., Barret D.M., Delwiche M.J., and Stroeve P. (2009). Methods for Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Efficient Hydrolysis and Biofuel Production. **Ind. Eng. Chem. Res**. 48 (8), 3713-3729.
- Montalvo S., Vielma S., Borja R., Huilinira C., Guerrero L. (2018). Increase in Biogas Production in Anaerobic Sludge Digestion by Combining Aerobic Hydrolysis and Addition of Metallic Wastes. **Renewable Energy**. 12(123), 541-548.
- Patil, H.J., AntonyRaj, M.A.L., BB S., Shetty, K.M., & Pradeep, K. B.P. (2014). Anaerobic Co-Digestion of Water Hyacinth and Sheep Waste. **Energy Procedia**. 52(52), 572-578.
- Public and Private Infrastructure Investment Management Center (PIMAC). (2008). **General Guidelines for Preliminary Feasibility Studies (Fifth Edition)**. Sejong-si, Korea.

Thorsten A., & Elke W. (2014). **Biogas Production from Presorted Biowaste and Municipal Solid Waste from Sweden**. pp: 114.

Ramaraj R., and Dussadee N. (2015). Biological Purification Processes for Biogas using Algae Cultures: A Review. **International Journal of Sustainable and Green Energy**. 4(1-1), 20-32.

Sawasdee V., & Pisutpaisal N. (2015). Economic Feasible Evaluation of Biogas Production from Napier Grass. **Research Journal of Biotechnology**. 10(3), 94- 98.





ภาคผนวก

GRAD VRU



ภาคผนวก ก
ข้อมูลการผลิตก๊าซมีเทน

GRAD VRU

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณก๊าซรวมสะสมในแต่ละสภาวะ

Cumulative total gas (mL) : control				
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่ว ลอย		Avg	Std
	# 1	# 2		
0	0	0	0	0.00
3	30	30	30	0.00
6	45	110	78	45.96
9	140	160	150	14.14
12	265	315	290	35.36
15	295	345	320	35.36

Cumulative total gas (mL) : 5g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลอย			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0.00
3	55	60	60	58	2.89
6	90	115	145	117	27.54
9	300	370	315	328	36.86
12	360	445	405	403	42.52
15	410	495	465	457	43.11

Cumulative total gas (mL) : 10g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลอย			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0.00
3	60	50	60	56.66666667	5.77
6	185	125	155	155	30.00
9	375	400	355	376.6666667	22.55
12	450	475	455	460	13.23
15	500	530	500	510	17.32

Cumulative total gas (mL) : 15g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0.00
3	45	40	45	43.33	2.89
6	110	145	135	130	18.03
9	400	365	375	380	18.03
12	465	395	430	430	35.00
15	515	430	465	470	42.72

Cumulative total gas (mL) : 20g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0	0	0	0	0.00
3	50	75	60	61.66	12.58
6	145	195	155	165	26.46
9	510	480	370	453.33	73.71
12	570	570	520	553.33	28.87

ตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทนในแต่ละสภาวะ

% Methane : Control				
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา		Avg	Std
	# 1	# 2		
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	3.41000	1.16800	2.28900	1.58533
6	19.22000	9.81090	14.51545	6.65324
9	22.37000	36.74330	29.55665	10.16346
12	26.60000	42.59030	34.59515	11.30685
15	24.60000	42.28710	33.44355	12.50667

% Methane : 5g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	8.43000	10.77000	2.04900	7.08300	4.51384
6	25.28000	14.46000	17.63650	19.12550	5.56156
9	46.27000	48.37000	14.39100	36.34367	19.04054
12	55.33000	55.33000	51.76760	54.14253	2.05675
15	41.00330	40.42100	36.36635	39.26355	2.52588

% Methane : 10g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	7.96000	10.14000	1.27560	6.45853	4.61900
6	13.60000	28.15000	39.76500	27.17167	13.10991
9	23.02000	59.12000	23.52420	35.22140	20.69833
12	49.23000	51.43000	45.40000	48.68667	3.05150
15	45.03940	49.02419	46.98360	47.01573	1.99259

% Methane : 15g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	8.56000	10.24000	9.37120	9.39040	0.84016
6	33.06000	32.53000	34.74000	33.44333	1.15379
9	52.98000	63.00000	54.68700	56.88900	5.36066
12	55.45200	56.93000	54.47240	55.61813	1.23719
15	50.19330	52.03450	51.57450	51.26743	0.95824

% Methane : 20g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	8.56000	10.22000	1.21090	6.66363	4.79459
6	33.06000	32.53000	34.74000	33.44333	1.15379
9	52.98000	63.00000	54.68700	56.88900	5.36066
12		56.83000	54.40240	55.61620	1.71657

ตารางที่ 3 แสดงปริมาณมีเทนสะสมในแต่ละสภาวะ

Cumulative Methane (mL) : Control					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา		Avg	Std	
	# 1	# 2			
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	1.02	0.35	0.69	0.48	
6	3.91	8.20	6.05	3.04	
9	25.16	26.57	25.86	1.00	
12	58.41	92.59	75.50	24.17	
15	65.79	105.27	85.53	27.92	

GRAD VRU

Cumulative Methane (mL) : 5g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+ถั่วลันเตา			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4.64	6.46	1.23	4.11	2.66
6	13.48	14.42	16.22	14.71	1.39
9	110.65	137.76	40.69	96.37	50.09
12	143.85	179.26	87.28	136.79	46.39
15	164.35	199.47	109.10	157.64	45.56

Cumulative Methane (mL) : 10g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+เถ้าลอย			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4.78	5.07	0.77	3.54	2.40
6	21.78	26.18	38.54	28.83	8.69
9	65.51	188.76	85.59	113.29	66.13
12	102.44	227.34	130.99	153.59	65.44
15	124.96	254.30	152.13	177.13	68.20

Cumulative Methane (mL) : 15g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+เถ้าลอย			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	3.85	4.10	4.22	4.06	0.19
6	25.34	38.25	35.48	33.03	6.80
9	178.98	176.85	166.73	174.19	6.55
12	215.03	193.93	196.69	201.88	11.47
15	240.12	212.14	214.74	222.34	15.46

Cumulative Methane (mL) : 20g					
Time (d)	มูลวัว+หญ้าเนเปียร์+เถ้าลอย			Avg	Std
	# 1	# 2	# 3		
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	4.28	7.67	0.73	4.22	3.47
6	52.22	71.10	54.57	59.30	10.29
9	322.42	373.50	256.92	317.61	58.44
12	322.42	697.43	539.81	519.88	188.30



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการคำนวณค่าทางเศรษฐศาสตร์

GRAD VRU



GRAD VRU



ภาคผนวก ค
ตัวอย่างภาพการทำวิจัย

GRAD VRU







GRAD VRU



ภาคผนวก ง
ตัวอย่างคู่มือก๊าซชีวภาพ

GRAD VRU

ก๊าซชีวภาพ คืออะไรครับ?



ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดจาก
กระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยมี
องค์ประกอบหลักคือ ก๊าซมีเทน (CH_4)
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) หรือก๊าซ
ไข่เน่า



แล้วเรานำก๊าซชีวภาพ
ไปทำอะไรได้บ้าง?



ก๊าซชีวภาพ เรานำไปใช้ทดแทนก๊าซหุงต้ม
ในครัวเรือนได้ และยังสามารถนำไปใช้เดิน
เครื่องยนต์ เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้กันได้อีกด้วยนะ



3



ก๊าซชีวภาพ เราสามารถผลิตได้จากวัตถุดิบ
หลากหลายชนิด เช่น มูลสุกร มูลวัว ขยะเปียกจาก
ภาคเกษตร รวมถึงหญ้าเนเปียร์ อีกด้วย

ดีจังเลย ฉันพามาไปรู้จัก
กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ และ
วิธีการทำได้มีครับ



ได้เลยค่ะ



4



กระบวนการเกิดก๊าซชีวภาพ มีทั้งหมด 4
ขั้นตอน คือ

1. Hydrolysis ย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้
เป็นโมเลกุลเล็ก
2. Acidogenesis เปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุล
เล็กให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย
3. Acetogenesis เปลี่ยนกรดไขมันระเหยเป็น
กรดอะซิติก ไพรไพโอติก คาร์บอนไดออกไซด์
ไฮโดรเจน
4. Methanogenesis เปลี่ยนกรดอะซิติก ไพร
ไพโอติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ให้
เป็นมีเทน และก๊าซอื่นๆ

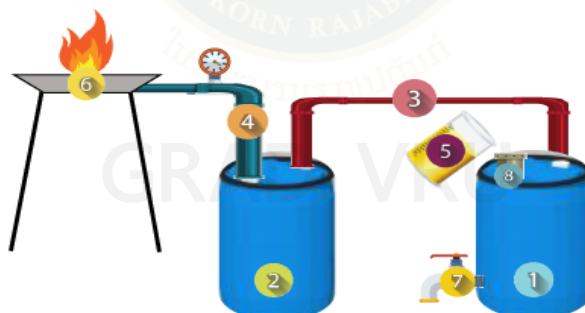


โดยการผลิตก๊าซชีวภาพจะมีปัจจัยที่สำคัญที่ส่งผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ค่าความเป็นกรดต่าง สารอาหารที่ใส่ในถังหมัก ระยะเวลาในการหมัก การกวน รวมถึงการที่มีอากาศเข้าไปในระบบ ก็อาจจะทำให้การผลิตก๊าซ

ขอบคุณมากครับ ผมได้ความรู้มากเลยครับ ผมอยากให้พี่แนะนำการทำก๊าซชีวภาพใช้ในครัวเรือนครับ เพราะที่บ้านผมมีการเลี้ยงหมูด้วยครับ จะได้นำไปต่อยอดใช้ใน



นี่เป็นโมเดลการทำก๊าซชีวภาพในครัวเรือนนะคะ



หมายเลข 1 คือ ถังหมัก
 หมายเลข 2 คือ ถังเก็บก๊าซชีวภาพ
 หมายเลข 3 คือ ท่อส่งก๊าซจากถังหมัก
 หมายเลข 4 คือ ท่อส่งก๊าซไปยัง
 หมายเลข 5 คือ สารอินทรีย์ หรือสารตั้งต้น ที่ใส่เข้าถังหมัก
 เช่น มูลวัว มูลไก่ เศษอาหาร มูลสัตว์ เป็นต้น
 หมายเลข 6 คือ เตาแก๊ส
 หมายเลข 7 คือ ก๊อกสำหรับระบายสารอินทรีย์ในถังหมักออกไปทำปุ๋ย
 หมายเลข 8 คือ ท่อใส่สารอินทรีย์ หรือสารตั้งต้น เข้าถังหมัก



ที่บ้านผมปลูกหญ้าเนเปียร์ไว้เลี้ยงสัตว์เยอะเลย
ครับ ผมสามารถนำหญ้าเนเปียร์มาเป็นวัตถุดิบใน
การผลิตก๊าซชีวภาพใช้ในครัวเรือนของผมได้
ไหมครับ

ได้เลยค่ะ แต่ก่อนนำหญ้าเนเปียร์ไปใช้ ให้นำไปบด
ให้มีขนาดเล็กหน่อย เหมือนในรูปหน้าถัดไปนะคะ
เชื้อจุลินทรีย์จะได้ย่อยสลายได้ง่ายขึ้นและยังได้ก๊าซ
ชีวภาพที่มีประสิทธิภาพด้วยค่ะ
นอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต
ก๊าซชีวภาพโดยนำเถ้าลอยมาเติมในระบบได้ด้วย
นะคะ



8



หญ้าเนเปียร์ที่ผ่านการบด เพื่อลดขนาด

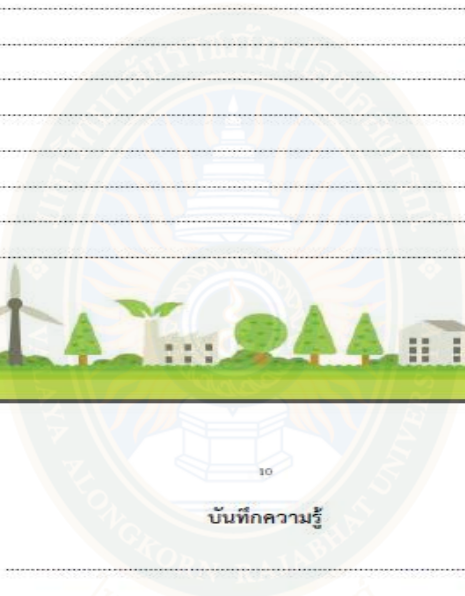
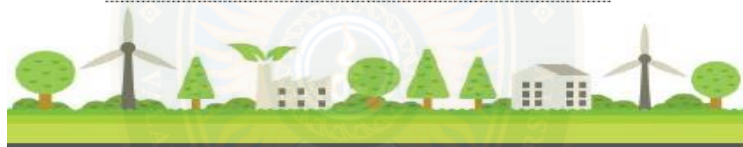


มูลวัว เป็นเชื้อจุลินทรีย์ในถังหมัก



เถ้าลอยเหลือจากการเผาของ
โรงไฟฟ้าชีวมวล

บันทึกความรู้

The watermark is a large, light blue circular crest of the University of Toronto. It features a central shield with a book and a lamp, surrounded by the university's name in Hebrew and English. The crest is positioned at the bottom center of the page, partially overlapping the horizontal lines.

บันทึกความรู้

GRAD VRU



บันทึกความรู้



ผู้เรียบเรียงและจัดทำคู่มือ

นายเปรมวิทย์ ฐาตาไชโยสิทธิ์

นักศึกษาปริญญาโทหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม

วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ

มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

ได้รับทุนสนับสนุนจาก

โครงการ “การสร้างภาคีในการผลิตบัณฑิตระดับปริญญาโท-เอก
ระหว่าง วว. (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย) กับสถานศึกษา” รหัสโครงการ 6213105010 ประจำปี 2562



ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ-นามสกุล	นายเปรมวิชัย ธาดาชโยสิทธิ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	5 มกราคม 2533
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่ปัจจุบัน	78/17 ตำบลสันกลาง อำเภอพวน จังหวัดเชียงราย 57120
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2553	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง คณะวิศวกรรมศาสตร์ (สาขาไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาเชียงราย
พ.ศ. 2559	นิเทศศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาการสื่อสาร โฆษณา และประชาสัมพันธ์ มหาวิทยาลัยเกริก
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2560-2561	ผู้ช่วยนักวิชาการสิ่งแวดล้อม โครงการจัดการน้ำทิ้งชุมชน ทสจ สำนักงานทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมจังหวัดปทุมธานี และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
พ.ศ. 2562-ปัจจุบัน	สำนักงานเวชสำอางฟิโอน่า กรุงเทพฯ-ลาดกระบัง
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	ที่ปรึกษาด้านสิ่งแวดล้อม แก้ปัญหาเรื่องกลิ่นด้วยจุลินทรีย์
ที่ทำงานปัจจุบัน	สำนักงานเวชสำอางฟิโอน่า กรุงเทพฯ-ลาดกระบัง

GRAD VRU