

การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในหน่วยงานทหาร :  
กรณีศึกษากรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์

ร้อยตรีหญิงอภิญญา จันทเขตต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่วันที่กรกฎาคม 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของปีการศึกษา 2556 ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

BIOGAS PRODUCTION FROM WASTES IN MILITARY AREAS :  
A CASE STUDY OF 11<sup>th</sup> INFANTRY REGIMENT KINGS GUARD

Sub Lieutenant Apinya Chanthakett



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในหน่วยงานทหาร :

โดย

กรณีศึกษากรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์

สาขาวิชา

ร้อยตรีหญิงอภิัญญา จันทเขตต์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน

ดร.สุภวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

.....บัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ดร.สุภวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวลัย วิวรรณนะเดช)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(นาวาอากาศตรี ดร.ทรงวุฒิ นิรัฐศิลป์)

อภิญา จันทเขตต์ : การผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในหน่วยงานทหาร :กรณีศึกษา  
กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์. (BIOGAS PRODUCTION FROM WASTES IN  
MILITARY AREAS : A CASE STUDY OF 11<sup>th</sup> INFANTRY REGIMENT KING'S  
GUARD) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ดร.สุภวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ , 82 หน้า.

ประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญกับปัญหาขยะที่เหลือทิ้ง อาทิ วัสดุที่เหลือทิ้งจาก  
การเกษตร น้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงาน เศษอาหาร รวมถึงสิ่งปฏิกูลของสัตว์ต่างๆ ซึ่งของเหลือทิ้ง  
ในรูปของสารอินทรีย์ หากถูกนำไปทิ้งโดยปราศจากการบำบัดที่ดี ย่อมส่งผลกระทบต่อ  
สิ่งแวดล้อม และชุมชนรอบข้าง กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ (ร.11 รอ.) เป็นหน่วยทหาร  
หนึ่งที่สามารถเป็นต้นแบบให้กับชุมชน แต่หน่วยงานมีปัญหาเศษขยะเหลือทิ้งจำนวนมาก เพื่อให้  
สามารถลดปัญหาเศษขยะเหลือทิ้งที่มีภายในพื้นที่ในการนำมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน จึงได้ทำ  
การทดลองหาปริมาณก๊าซชีวภาพ จากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร  
ตามอัตราส่วน 100 : 0 อัตราส่วน 85 : 15 และ อัตราส่วน 70 : 30 โดยอัตราส่วน 85 : 15  
ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม เท่ากับ 1,134 ลิตร โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพ จำนวน  
21 วัน มีปริมาณมีเทนมากที่สุดเท่ากับ 18.74 % ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน มีปริมาณมากที่สุด  
เท่ากับ 32.26 % สามารถคำนวณค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองนี้โดยอัตราส่วน 100 : 0 ค่า  
ความร้อนได้ เท่ากับ 0.47 MJ/kg อัตราส่วน 85 : 15 ค่าความร้อนได้ เท่ากับ 1.49 MJ/kg และ  
อัตราส่วน 70 : 30 ค่าความร้อนได้ เท่ากับ 1.42 MJ/kg โดยอัตราส่วน 85 : 15 มีค่าความร้อนสูง  
ที่สุด เมื่อศึกษาจากข้อมูลของเสียภายในพื้นที่กับการทดลอง พบว่า ที่อัตราส่วน 85 : 15 ให้ค่า  
ความร้อนทั้งหมด 7,110.06 MJ/kg เทียบเท่า ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง LPG เท่ากับ 1,545.67  
กิโลกรัม หรือเทียบเท่า LPG ขนาด 15 กิโลกรัม/ถัง จำนวน 103 ถัง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน  
ปีการศึกษา 2556

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

# # 5587643820 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORDS: BIOGAS / FOOD WASTE / PIG MANURE

APINYA CHANTHAKETT: BIOGAS PRODUCTION FROM WASTES IN MILITARY AREAS : A CASE STUDY OF 11<sup>th</sup> INFANTRY REGIMENT KINGS GUARD. ADVISOR: SUPAWAT VIVANPATARAKIJ, D.Eng., 82 pp.

Thailand has recently given priority on problems with waste such as agricultural waste, industrial waste water and food waste in organic compound. If it will not reduce its, it could be impact to the environment and surround communities. The 11<sup>th</sup> INFANTRY REGIMENT KING'S GUARD is a part of military sector which can be a role model for communities and this area is facing loaded organic wastes problem. In order to reduce organic wastes in the area and to transform wastes into energy. This study finds out the suitable ratio between food and pig manure from 2,000 liter of biogas production system. The experiment was divided into three proportions of food waste and manure based on dry matter mass. The first is 100:0. The second is 85:15 and the third is 70:30. According to these results, the proportion 85:15 shows the large quantity of biogas which was 1,134 liters. Methane generation rate is increasing to 18.74 % and hydrogen is also high as 32.26%. Heating values of the proportion 100 : 0, 85:15 and 70:30 at 0.47 MJ/kg, 1.49 MJ/kg and 1.42 MJ/kg, respectively. The proportion 85:15 illustrated the highest heating value. For this study, the wastes in the military area can calculate biogas production by using biogas production yield of proportion 85:15. The heating value of biogas from this military area is 7,110.06 MJ/kg (equal LPG 1,545.67 kg or 103 tanks of LPG 15 kg)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Energy Technology and  
Management

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Academic Year: 2013

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.สุภวัฒน์ วีวรรธน์ ภัทรกิจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้เสียสละเวลาอันมีค่าตั้งแต่การเริ่มดำเนินงานวิจัยจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ประสทธิประสาทวิชา ความรู้ต่างๆ ตลอดจนให้คำปรึกษาชี้แนะ ช่วยเหลือ สนับสนุน และนาวาอากาศตรี ดร.ทรงวุฒิ นิรัฐศิลป์ ที่ได้แก้ไขปรับปรุงข้อบกพร่องในงานวิทยานิพนธ์ดังกล่าว อีกทั้งให้โอกาสในการศึกษาและทำวิทยานิพนธ์นี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ตลอดจนคุณอาจารย์ และ เจ้าหน้าที่ในภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้และคำปรึกษา ประสานงานในทุกๆ ด้านผู้วิจัยมีความซาบซึ้งในความกรุณาอย่างสูง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณผู้บังคับบัญชาระดับสูงทุกท่าน เช่น พลเอกกฤษพงษ์ แก้วจินดา ที่ได้กรุณาสนับสนุนและผลักดันให้ได้ศึกษาในระดับปริญญาโท นาวาโทหญิง ผุสดี อัมพะสุธากุล พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ กองพลังงานทดแทน ที่เป็นกำลังใจ เป็นแรงสนับสนุน ให้ความช่วยเหลือ ใ้ทำงานวิจัยนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่กรมการพลังงานทหารทุกท่าน ที่ให้การปรึกษา แนะนำช่วยเหลือ ในกระบวนการการเข้าศึกษาจนกระทั่งจบการศึกษา ตลอดจนสำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหมสนับสนุนเงินทุนในการศึกษาที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้สนับสนุนเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชาและเจ้าหน้าที่ในหน่วยทหารกรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ กองสรรพวุธเบา กองพลที่ 1 รักษาพระองค์ และกองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่ 1 มหาดเล็ก รักษาพระองค์ฯ ที่ได้ให้การสนับสนุนสถานที่ อุปกรณ์ และบุคลากรในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ครอบครัว ผู้มีพระคุณ ญาติๆ เพื่อนๆ ของผู้วิจัย ที่ได้ให้ความช่วยในทุกๆ อย่าง ทั้งความรัก กำลังใจ แรงบันดาลใจ ความปรารถนาดีที่ทำให้ข้าพเจ้าประสบความสำเร็จ และทุกๆ ท่านที่มีพระคุณที่ข้าพเจ้ามิได้เอ่ยนาม ขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
บทที่ 1 บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย .....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	2
1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas).....	5
2.1.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ.....	5
2.1.2 ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ .....	6
2.1.3 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์.....	7
2.1.4 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์.....	8
2.2 มูลสัตว์ .....	9
2.3 เศษอาหาร.....	14
2.4 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร.....	17
2.5 ข้อมูลพื้นที่.....	22
บทที่ 3 อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย .....	26
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย .....	26
3.2 วัสดุที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย .....	26
3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	29
บทที่ 4 ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย .....	30

4.1 ผลการวิเคราะห์เศษอาหาร และมูลสุกร .....	30
4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพ .....	31
4.2.1 อัตราส่วน 100 : 0 หรือ เศษอาหาร 26 กิโลกรัม และมูลสุกร 0 กิโลกรัม อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 31-33 องศาเซลเซียส .....	31
4.2.2 อัตราส่วน 85 : 15 หรือ เศษอาหาร 22 กิโลกรัม ต่อ มูลสุกร 4 กิโลกรัม อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 31-34 องศาเซลเซียส .....	32
4.2.3 อัตราส่วน 70 : 30 หรือ เศษอาหาร 18 กิโลกรัม ต่อ มูลสุกร 10 กิโลกรัม อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 30-34 องศาเซลเซียส .....	33
4.2.4 การพิจารณาเปรียบเทียบกราฟแนวโน้มของ 3 อัตราส่วนในการทดลอง.....	34
4.3 การพิจารณาปริมาณองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ .....	36
4.4 ผลของอุณหภูมิต่อการทดลอง .....	41
4.5 ผลของค่าพีเอช (pH) ต่อการทดลอง .....	46
4.6 การคำนวณค่าความร้อนจากการทดลอง .....	48
4.7 การจำลองเปรียบเทียบศักยภาพของของเสียภายในพื้นที่ .....	49
4.7.1 กรณีศึกษาจากอัตราส่วน 100 : 0 .....	49
4.7.2 กรณีศึกษาจากอัตราส่วน 85 : 15 .....	49
4.7.3 กรณีศึกษาจากอัตราส่วน 70 : 30 .....	50
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	52
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
รายการอ้างอิง .....	54
1.1 การคำนวณอัตราส่วนในการทดลอง .....	65
1.2 การคำนวณหาค่า อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N Ratio).....	66
ภาคผนวก ข.....	68
1.1 การคำนวณก๊าซมีเทนเฉลี่ย.....	75
1.2 การคำนวณก๊าซไฮโดรเจนเฉลี่ย .....	76
1.3 การคำนวณหาค่าความร้อนในแต่ละอัตราส่วนการทดลอง.....	77
1.4 การคำนวณกรณีศึกษา.....	79



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ ..... 82



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ .....	5
ตารางที่ 2 ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น .....	9
ตารางที่ 3 ตารางแสดงส่วนประกอบทางเคมีของมูลสัตว์.....	10
ตารางที่ 4 จำนวนสัตว์เลี้ยง เพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมในประเทศไทย ณ วันที่ 1 มกราคม.....	11
ตารางที่ 5 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ .....	12
ตารางที่ 6 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุต่างๆ.....	13
ตารางที่ 7 แหล่งที่มาของเศษอาหารจำแนกตามย่านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม คริวเรือน.....	14
ตารางที่ 8 การกระจายร้อยละของส่วนประกอบของขยะที่เก็บได้ในกรุงเทพฯ พ.ศ. 2531 และ 2541-2548.....	15
ตารางที่ 9 ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยในแต่ละพื้นที่ .....	16
ตารางที่ 10 ตารางแสดง Biogas Yield ของของเสียต่างๆ .....	17
ตารางที่ 11 แสดงจำนวนนักเรียน และบุคลากร โรงเรียนกองทัพกอบกู้ภัฏมภ์เพชรบุรีวิทยา .....	24
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของเศษอาหาร และมูลสุกร .....	30
ตารางที่ 13 ค่าความร้อนของอัตราส่วนต่างๆ.....	48
ตารางที่ 14 การคำนวณปริมาณและการเปรียบเทียบกับค่าแอลพีจี ของอัตราส่วน (100 : 0).....	49
ตารางที่ 15 การคำนวณปริมาณและการเปรียบเทียบกับค่าแอลพีจี ของอัตราส่วน (85 : 15).....	50
ตารางที่ 16 การคำนวณปริมาณและการเปรียบเทียบกับค่าแอลพีจีของอัตราส่วน (70 : 30).....	50
ตารางที่ 17 การคำนวณเศษอาหารต่อมูลสุกรในการทดลองของแต่ละอัตราส่วน .....	65

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1 ภาพกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน..... 7

รูปที่ 2 จำนวน โค กระบือ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ไก่พื้นเมือง เป็ดเนื้อ และเป็ดไข่ ณ วันที่ 1 มกราคม  
ปี 2546 - 2555 ..... 12

รูปที่ 3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร..... 18

รูปที่ 4 แบบอุปกรณ์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร..... 18

รูปที่ 5 บารอมิเตอร์น้ำขณะเกิดก๊าซภายในระบบฯ ..... 22

รูปที่ 6 พื้นที่กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ (ร.11 รอ.)..... 22

รูปที่ 7 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร..... 27

รูปที่ 8 เครื่องวัดก๊าซ (Digital Flow Switch รุ่น PFM750S-C6-A-M)..... 27

รูปที่ 9 การวางอุปกรณ์การทดลองและการเก็บผลก๊าซชีวภาพ..... 28

รูปที่ 10 ปริมาณก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 100 : 0..... 31

รูปที่ 11 ปริมาณก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 85 : 15..... 32

รูปที่ 12 ปริมาณก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 70 : 30..... 33

รูปที่ 13 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพของทุกอัตราส่วน..... 34

รูปที่ 14 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของทุกอัตราส่วน..... 35

รูปที่ 15 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ของอัตราส่วน 100 : 0..... 36

รูปที่ 16 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ของอัตราส่วน 85 : 15..... 37

รูปที่ 17 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) และก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ของอัตราส่วน 70 : 30..... 38

รูปที่ 18 ปริมาณก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ของอัตราส่วนทุกอัตราส่วน ..... 39

รูปที่ 19 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ของอัตราส่วนทุกอัตราส่วน..... 40

รูปที่ 20 อุณหภูมิของทุกอัตราส่วน ..... 41

รูปที่ 21 อุณหภูมิสูงสุด ปกติ และต่ำสุดของทุกอัตราส่วน ..... 42

รูปที่ 22 การเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละอัตราส่วนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ..... 43

รูปที่ 23 การเกิดก๊าซมีเทนในแต่ละอัตราส่วนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ..... 44

รูปที่ 24 การเกิดก๊าซไฮโดรเจนในแต่ละอัตราส่วนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ ..... 45

รูปที่ 25 ค่าพีเอช (pH) ในแต่ละอัตราส่วน ..... 46

รูปที่ 26 ค่าพีเอช (pH) เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละอัตราส่วน ..... 47

รูปที่ 27 เศษอาหารและมูลสุกรในการวัดค่าพารามิเตอร์..... 61

รูปที่ 28 ผลการวิเคราะห์เศษอาหาร และมูลสุกร ..... 62

รูปที่ 29 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนของเศษอาหารและมูลสุกร ..... 63

รูปที่ 30 ผลการวิเคราะห์เถ้าของเศษอาหาร และมูลสุกร ..... 64

รูปที่ 31 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพครั้งที่ 1 ..... 69

รูปที่ 32 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพครั้งที่ 2 ..... 72

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเริ่มให้ความสำคัญกับปัญหาขยะที่เหลือทิ้ง อาทิ วัสดุที่เหลือทิ้งจากการเกษตร น้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงาน เศษอาหาร รวมถึงสิ่งปฏิกูลของสัตว์ต่างๆ ซึ่งของเหลือทิ้งในรูปของสารอินทรีย์ หากถูกนำไปทิ้งโดยปราศจากการบำบัดที่ดี ย่อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และชุมชนรอบข้าง ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมอย่างมากในการบำบัดของเหลือทิ้งเหล่านี้ ซึ่งเป็นที่นิยมในหลายประเทศ และผลพลอยได้ออกมาเป็นพลังงาน คือ เทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยลดปัญหาขยะเหลือทิ้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ประเทศไทยมีตัวชี้วัดว่าพลังงานภายในประเทศมีจำนวนลดลง แนวโน้มว่าจะหมดลงภายในอีกไม่กี่ปีข้างหน้า จึงต้องมีการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศคิดเป็น ปีละประมาณ 155,000 ล้านบาท การนำเศษขยะเหล่านั้นมาเปลี่ยนเป็นพลังงาน จึงสามารถช่วยลดปัญหาขยะเหลือทิ้ง เป็นการเพิ่มมูลค่าของขยะ โดยเป็นพลังงานในรูปแบบก๊าซชีวภาพ ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดแทนเชื้อเพลิง เช่น ก๊าซหุงต้ม (LPG) และน้ำมันดีเซล ซึ่งสามารถลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการซื้อเชื้อเพลิงของภาคอุตสาหกรรมและภาคครัวเรือน นอกจากนี้ยังสามารถพัฒนาพลังงานมาใช้ในรูปแบบของการผลิตไฟฟ้า และการคมนาคมขนส่ง เพื่อทดแทนความต้องการพลังงานที่มีแนวโน้มสูงขึ้นได้ในอนาคต

กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ (ร.11 รอ.) เป็นหน่วยทหารหนึ่งที่สามารถเป็นต้นแบบให้กับชุมชนในการนำเทคโนโลยีพลังงานทดแทนต่างๆ เข้ามาดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้มีการติดตั้งระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียภายในพื้นที่อยู่แล้ว เพื่อช่วยในการแก้ไขปัญหาเศษอาหารที่เหลือจากการบริโภค และปัญหาในโครงการเลี้ยงสัตว์ต่างๆ ซึ่งระบบที่ติดตั้งนั้นใช้เฉพาะพื้นที่บางส่วนภายในหน่วยงาน จึงส่งผลให้มีปัญหาเศษขยะเหลือทิ้งจำนวนมาก และระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียที่ใช้งานอยู่ภายในพื้นที่มีขีดจำกัดในการผลิตก๊าซ ดังนั้นเพื่อให้สามารถลดปัญหาเศษขยะเหลือทิ้งที่มีภายในพื้นที่สามารถใช้ประโยชน์จากศักยภาพของของเสีย สามารถประเมินปริมาณก๊าซชีวภาพในการนำไปใช้ประโยชน์อื่นได้ (Suneerat Pipatmanomai, Sommas Kaewluan, & Tharapong Vitidsant, 2009) และเป็นต้นแบบการศึกษาให้กับชุมชนได้ตระหนักถึงคุณค่าของขยะต่างๆ ที่จะสามารถนำมาใช้ด้านพลังงานได้

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาศักยภาพของเสียในพื้นที่ศึกษา
2. ศึกษาการลดปริมาณของของเสีย ในการนำมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน
3. ศึกษาการนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์ให้เกิดประโยชน์สูงสุดสำหรับหน่วยงาน

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สํารวจและเก็บข้อมูลในพื้นที่ กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ (ร.11 รอ.) ประกอบด้วย ข้อมูลจํานวนประชากร ข้อมูลการเลี้ยงสัตว์ และระบบผลิตก๊าซชีวภาพเดิม
2. ทํากการทดลองและวิเคราะห์โดยใช้ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร กำหนดอัตราส่วนระหว่างเศษอาหาร กับ มูลสุกร มีอัตราส่วน คือ 100:0 85:15 และ 70:30
3. วิเคราะห์ผลการทดลองในการผลิตก๊าซชีวภาพ และวิเคราะห์ร่วมกับของเสียภายในพื้นที่ และวิเคราะห์เปรียบเทียบด้านพลังงาน (เชื้อเพลิง LPG)
4. วิเคราะห์และพิจารณาการลดปริมาณของของเสียภายในพื้นที่ทั้งหมด และพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพในการนำมาใช้ประโยชน์ได้มากที่สุด

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาอัตราส่วนในการใช้เศษอาหาร และมูลสุกร ในพื้นที่ในการนำมาหมักเพื่อลดปริมาณขยะที่มีในพื้นที่
2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพที่มีในพื้นที่
3. เพื่อเพิ่มมูลค่าของเศษอาหาร และมูลสัตว์
4. สามารถเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพในพื้นที่อื่น ๆ ได้

### 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าเอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ
2. สํารวจและเก็บข้อมูลจากพื้นที่ กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ (ร.11 รอ.) รวมทั้ง เทคโนโลยีระบบผลิตก๊าซชีวภาพ
3. ดําเนินการทดลองจากอัตราส่วนที่ได้จากการเก็บข้อมูลในพื้นที่ ระหว่างเศษอาหาร และ มูลสุกร ดังนี้
  - อัตราส่วน 100 : 0 คือ เศษอาหาร 26 กิโลกรัม (คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 10 กิโลกรัม)
  - อัตราส่วน 85 : 15 คือ เศษอาหาร 22 กิโลกรัม ต่อ มูลสุกร 4 กิโลกรัม (คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 10 กิโลกรัม)
  - อัตราส่วน 70 : 30 คือ เศษอาหาร 18 กิโลกรัม ต่อ มูลสุกร 8 กิโลกรัม (คิดเป็นน้ำหนักแห้ง 10 กิโลกรัม)
- 3.1 นำมูลโคมาเติมในปริมาณ 100 ลิตร โดยหมักเป็นเวลา 14 วัน ซึ่งใช้เป็นหัวเชื้อในการหมัก
- 3.2 นำเศษอาหารเติมในปริมาณตามอัตราส่วนทุก 2 วัน
- 3.3 เก็บผลปริมาณก๊าซชีวภาพทุกวัน และเก็บก๊าซชีวภาพจากการทดลองทุกๆ 3 วัน ส่งผลการเก็บก๊าซชีวภาพที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Gas Chromatography เพื่อหาปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน

4. วิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลอง และเปรียบเทียบกับด้านพลังงานทดแทน (เชื้อเพลิง LPG)
5. วิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการทดลองร่วมกับของเสียภายในพื้นที่ในการผลิตก๊าซชีวภาพ เปรียบเทียบด้านพลังงานทดแทน (เชื้อเพลิง LPG)
6. วิเคราะห์การลดของเสียภายในพื้นที่ และพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพภายในพื้นที่โดยใช้ข้อมูลของของเสียภายในพื้นที่ทั้งหมด เพื่อให้สามารถเปลี่ยนเป็นพลังงานมาใช้ประโยชน์ภายในพื้นที่ได้มากที่สุด
7. สรุปผลการวิจัย และจัดทำรายงานการศึกษา

## 1.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. จรัสศรี รุ่งวิชานุวัฒน์ (2546) ศึกษาประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพและการกำจัดของแข็งจากเศษผักผลไม้ผสมมูลโคโดยการใช้ถังย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศประเภทปริมาณของแข็งต่ำ กำหนดอัตราส่วนระหว่างปริมาณของแข็งระเหยของเศษผักและผลไม้ต่อปริมาณของแข็งระเหยของมูลโคเท่ากับ 100:0, 80:20, 60:40 และ 40:60 เพื่อป้อนเข้าสู่ถังย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ ขนาด 12.5 ลิตร จำนวน 4 ถัง ระยะเวลา 31.25 วัน พบว่า ถังที่มีอัตราส่วนเศษผักและผลไม้ต่อมูลโค 80:20 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงสุด เท่ากับ 0.73 ลบ.ม./ถัง/วัน สามารถให้ปริมาตรก๊าซมีเทนสูงสุด 0.37 ลบ.ม./ถัง/วัน
2. นำพร ปัญญาใหญ่ (2554) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารโดยการหมუნวนน้ำหมัก โดยมีอัตราส่วนของหัวเชื้อน้ำหมักเป็น มูลสุกร 1 กิโลกรัม ต่อ น้ำ 1 ลิตร จำนวนหัวเชื้อน้ำหมัก 300 ลิตร และเติมน้ำ 400 ลิตร และเศษอาหาร 52.5 กิโลกรัม ในถังหมัก ขนาด 1,000 ลิตร เปรียบเทียบระหว่างการหมუნวนน้ำหมัก 6 ชั่วโมงต่อวัน และไม่มีการหมუნวนน้ำหมักสำหรับระยะเวลาการหมัก 20 วัน พบว่า การไม่หมუნวนน้ำหมักในถังเกิดแก๊สชีวภาพ 1.8 ลิตร ต่อวัน ส่วนการหมუნวนน้ำหมักสามารถผลิตแก๊สได้ 24.3 ลิตรต่อวัน โดยอุณหภูมิของน้ำหมักค่อนข้างคงที่ที่ 31 องศาเซลเซียส ค่าความเป็นกรดต่าง 6.8 ค่าประสิทธิภาพการกำจัดของระบบ 73.9 สัดส่วนมีเทนเฉลี่ยของแก๊สชีวภาพร้อยละ 57 ค่าความร้อนเฉลี่ยของแก๊สผลิตภัณฑ์เท่ากับ 1611.4 kJ/kg และประสิทธิภาพเชิงความร้อนของแก๊สชีวภาพเท่ากับ 44.8% ดังนั้น จึงชี้ให้เห็นว่าการทำให้น้ำหมักเกิดการเคลื่อนที่จะสามารถเพิ่มการผลิตแก๊สชีวภาพได้ปริมาณมากกว่าที่น้ำหมักอยู่นิ่ง
3. น้ำเพชร พันธุ์พิพัฒน์ (2554) ได้ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร โดยการประเมินศักยภาพแก๊สชีวภาพ จากฟางข้าว ต้นและเห้งน้ำมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ เพื่อผลิตไฟฟ้า ขนาด 1 เมกะวัตต์ สำหรับชุมชน โดยต้นทุนวัตถุดิบสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพ จากฟางข้าว ต้นและเห้งน้ำมันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ โดยมีการจัดการเชิงปริมาณของวัตถุดิบต้นทุนอยู่ระหว่าง 1.38-4.44 บาทต่อกิโลวัตต์ ต้นทุนวัตถุดิบการผลิตแก๊สชีวภาพจากฟางข้าวมีราคาสูงสุด โดยการเพาะปลูกข้าวสามารถทำได้ 1-2 ครั้งต่อปี ดังนั้นจำเป็นต้องเก็บฟางข้าวหรือวัสดุเหลือใช้อื่นๆ ทดแทนเสริมในช่วงที่ไม่มีวัตถุดิบ ซึ่งเศษวัสดุเหลือใช้จากการเพาะปลูกมันสำปะหลังก็มีลักษณะเช่นเดียวกับฟางข้าว ส่วนหญ้าเนเปียร์มีศักยภาพในการผลิตเป็น

วัตถุดิบเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพสำหรับโรงไฟฟ้าได้เพราะสามารถเก็บเกี่ยวได้ตลอดทั้งปีและมีต้นทุนวัตถุดิบต่ำสุด เมื่อนำวัตถุดิบทั้ง 3 ชนิดมาศึกษาพิจารณาการใช้พื้นที่เพาะปลูกข้าว มันสำปะหลัง และหญ้าเนเปียร์ยักษ์ สำหรับการผลิตไฟฟ้าต้องใช้พื้นที่ 21,417 ไร่, 71,993 ไร่ และ 940 ไร่ ตามลำดับสำหรับวัตถุดิบที่จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้า 1 เมกะวัตต์ ภายในระยะเวลา 1 ปี จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การใช้หญ้าเนเปียร์ยักษ์เป็นเชื้อเพลิงหลักและผสมฟางข้าว เหง้าและต้นมันสำปะหลัง อัตราการตอบแทนภายในและระยะเวลาคืนทุน (FIRR %/PP ปี) 2.73/12.12, 0.71/14.2 และ 1.05/13.8 ตามลำดับ ที่ Adder 0.5 บาท ที่ราคาต้นทุนวัตถุดิบถูกกว่าราคาขายไฟฟ้า และกรณีต้นทุนวัตถุดิบสูงกว่าราคาขายไฟฟ้า ราคาซื้อขายไฟฟ้าจะอยู่ในช่วง 5-7.4 บาท/kWh ที่ FIRR มีค่า 3.45-12.28 % และ ระยะเวลาคืนทุน 6.7-12.6 ปี กรณีไม่มีกำไรสนับสนุนเงินเริ่มต้น



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas)

ก๊าซชีวภาพ และองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ภายใต้สภาวะแบบไม่ใช้ออกาศ (Anaerobic) โดยมีแบคทีเรียกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทน (Methanogens) ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ เป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สำคัญ โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนี้จะผ่านกระบวนการบำบัด หรือการทำให้ก๊าซที่ได้มีความสะอาดและปลอดภัยมากขึ้น องค์ประกอบส่วนใหญ่ของก๊าซชีวภาพ ประกอบไปด้วย ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) มากที่สุด 50-70 % รองลงมา คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) 30-40 % , ไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) และก๊าซอื่นๆ ตามลำดับ (สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550)

ตารางที่ 1 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซ	%
มีเทน ( $\text{CH}_4$ )	50 – 70
คาร์บอนไดออกไซด์( $\text{CO}_2$ )	30 – 40
ไฮโดรเจน( $\text{H}_2$ )	5 – 10
ไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ )	1 – 2
ไอน้ำ ( $\text{H}_2\text{O}$ )	0.3
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ )	เล็กน้อย

ที่มา : (สุกัญญา อติชะ, 2551)

##### 2.1.1 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2553)

1. ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ก๊าซไนโตรเจน ( $\text{N}_2$ ) ก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) แต่ส่วนใหญ่แล้วจะประกอบไปด้วยก๊าซมีเทนซึ่งมีคุณสมบัติติดไฟได้

2. ความหนาแน่น ก๊าซชีวภาพมีความหนาแน่นประมาณ 1.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่สภาวะปกติ (มีเทน 60%) โดยค่าความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับความดัน และอุณหภูมิ



3. ค่าความร้อน ก๊าซชีวภาพมีค่าความร้อน 23,400 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ที่สถานะปกติ โดยค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพจะขึ้นอยู่กับปริมาณมีเทนและความหนาแน่นของก๊าซ

4. การลุกไหม้ ก๊าซชีวภาพลุกไหม้ที่อุณหภูมิ 650-750 องศาเซลเซียส เมื่อปริมาตรของก๊าซชีวภาพผสมในอากาศ 9-23 % (โดยเฉลี่ย 15%) ที่สถานะปกติ

## 2.1.2 ขั้นตอนการเกิดก๊าซชีวภาพ

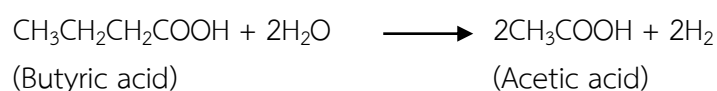
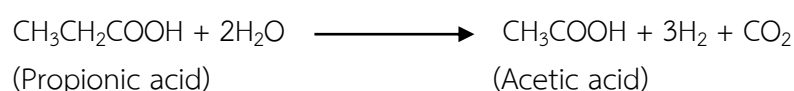
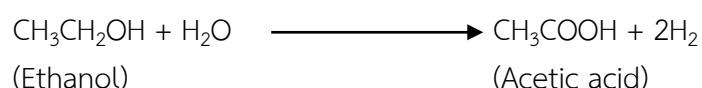
### 1. การย่อยสลายอินทรีย์ขนาดใหญ่ (Hydrolysis)

กระบวนการนี้เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย รวมถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น ในขั้นตอนนี้ยังไม่มีกรสร้างกรด (สุกัญญา อติชะ, 2551)

### 2. การสร้างกรด (Acidogenesis and Acetogenesis) (United Nations, 1984)

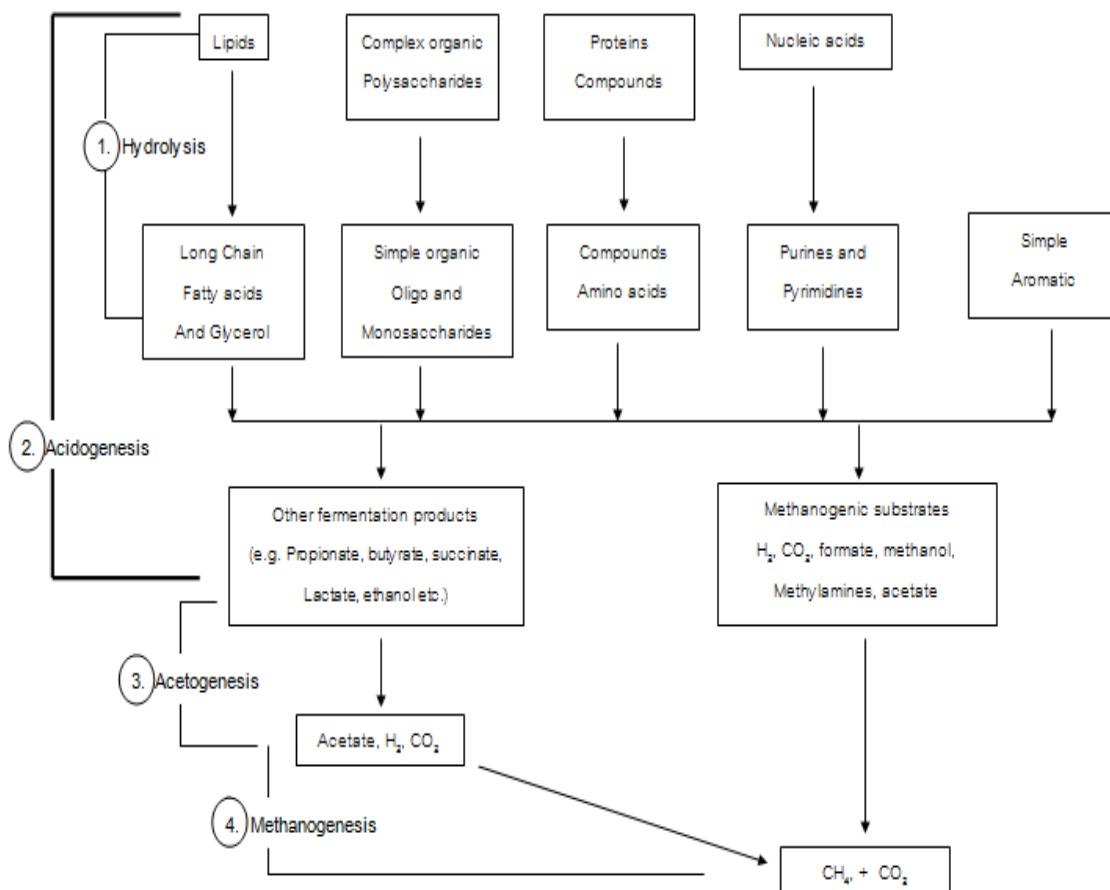
จากการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ในขั้นตอนที่ 1 จะทำให้เป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก และถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) กรดวาเลอริก (Valeric Acid) และกรดแลคติก (Lactic Acid) เป็นต้น โดยกรดที่เกิดขึ้นจะมีกรดอะซิติกในปริมาณที่มากที่สุด ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ นอกจากนี้ยังได้ แอลกอฮอล์ ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อีกด้วย จากนั้น กรดอินทรีย์ระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมจะถูกเปลี่ยนโดย acetogenic bacteria ให้กลายเป็นอะซิเตท (Acetate) ฟอर्मेट (Formate) ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นสารประกอบสำคัญในการสร้างก๊าซมีเทนและเป็นขั้นตอนที่สำคัญในการหลีกเลี่ยงการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยและไฮโดรเจนในปริมาณสูงพอที่จะยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้ (Banerjee A. P. & Tuhtar D, 1998)

ตัวอย่างปฏิกิริยาในการเปลี่ยนกรดอินทรีย์และแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นไปเป็นกรดอะซิติก และไฮโดรเจน (Gourdon A. & Ben R. M., 1989) แสดงได้ดังสมการต่อไปนี้



### 3. การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะสร้างจาก กรดอะซิติก เป็นก๊าซมีเทนโดยส่วนใหญ่ ประมาณ 70% นอกนั้นจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) ที่ได้จาก กระบวนการสร้างกรด โดยจะเกิดการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้ กลายเป็นก๊าซมีเทน (Yunnan Normal University, 2011)



รูปที่ 1 ภาพกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน

ที่มา : (Albagnac G, 1990)

#### 2.1.3 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ (United Nations, 1984)

##### 1. อุณหภูมิในการเดินระบบ (Temperature)

โดยทั่วไปแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซชีวภาพ หรือแบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methane Bacteria) จะทำงานได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส ซึ่งประเทศไทยอยู่เขตร้อน จึงมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพได้ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว

## 2. พีเอช (pH)

การเดินระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะต้องควบคุมค่าพีเอช (ค่าความเป็นกรด-ด่าง) ให้อยู่ในช่วง 6.6-7.8 โดยค่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแบคทีเรียในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจะอยู่ในช่วง 7.0-7.2

## 3. ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Organic Loading)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบจะต้องควบคุมให้เหมาะสม เนื่องจากหากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยเกินไปก็จะทำให้ไม่เพียงพอต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ ในขณะที่หากป้อนสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบมากเกินไปก็จะทำให้เกิดการสะสมของกรดระเหยง่าย ทำให้ค่าพีเอชลดลงส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรีย ทำให้ก๊าซชีวภาพไม่ถูกผลิตขึ้นในถังหมักเหมือนเช่นตามปกติ ดังนั้นการป้อนขยะอินทรีย์เข้าถังหมักจึงมีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยหากพบว่าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.8 โดยสังเกตได้จากระบบมีการผลิตก๊าซออกมาน้อยกว่าปกติ โดยไม่ได้เกิดมาจากสาเหตุอื่น เช่น ถังหมักรั่ว หรือมีการรั่วซึมตามข้อต่อต่าง ๆ ก็ให้หยุดป้อนขยะอินทรีย์ทันที จนกว่าค่าพีเอชของตะกอนในถังหมักจะเท่ากับ 6.8 ขึ้นไป หรือสังเกตได้จากก๊าซชีวภาพกลับมาเกิดได้ตามปกติ จึงค่อยป้อนขยะอินทรีย์ต่อไปได้

## 4. สารยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย (Inhibitory Factors)

โลหะหนัก สารพิษและสารปฏิชีวนะต่างๆ รวมทั้งผลไม้ที่มีรสเปรี้ยวเช่น มะนาว สามารถยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพของแบคทีเรียได้

## 5. การคลุกเคล้า (Mixing)

การคลุกเคล้าสารอินทรีย์ภายในถังหมักจะช่วยให้สารอินทรีย์ที่ป้อนเข้าสู่ถังหมักได้สัมผัสกับแบคทีเรียอย่างทั่วถึง เพื่อกระตุ้นการเกิดก๊าซชีวภาพและเพื่อลดการตกตะกอนของของแข็งบริเวณก้นถัง รวมทั้งเพื่อป้องกันการเกิดตะกอนลอย (Scum) บริเวณส่วนบนของถัง

## 6. การบดขยี้ (Grinding)

การบดขยี้มีความจำเป็นอย่างมาก สำหรับการใช้งานระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ชุดนี้เนื่องจากสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กจะสามารถถูกย่อยสลายเพื่อทำให้เกิดก๊าซชีวภาพได้เร็วยิ่งกว่าสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ นอกจากนั้นยังเป็นการลดปริมาณตะกอนที่อุดตันในท่อทางออกได้อีกด้วย

### 2.1.4 การนำก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์

สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 รูปแบบ ได้แก่

1. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตความร้อนและไฟฟ้าแบบ Cogeneration โดยก๊าซชีวภาพจะถูกเผาในเตาเผาและความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้สำหรับผลิตไฟฟ้า จากนั้น พลังงานความร้อนส่วนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าจะถูกนำกลับมาใช้ประโยชน์อีกครั้งหนึ่ง

2. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานยนต์ เนื่องจากก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติที่ใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ (ก๊าซ NGV) ดังนั้น หากได้รับการปรับปรุงคุณภาพโดยการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออก เพื่อให้สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนสูงขึ้น (เพิ่มค่าความร้อน) รวมถึงกำจัดสิ่งปนเปื้อนต่างๆ ออกเพื่อให้มีคุณภาพที่เทียบเท่ากับก๊าซ NGV ก๊าซชีวภาพอัด (Compressed Biogas) ก็สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนการใช้ก๊าซ NGV ได้

3. ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับให้ความร้อน (Heat Generation) ซึ่งถือเป็นรูปแบบการใช้งานที่แพร่หลายมาก เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่ไม่ซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายต่ำ โดยถือเป็นการทดแทนในรูปแบบแอลพีจี (LPG) โดยค่าความร้อน (Heating Value) ของแอลพีจี เท่ากับ 4.6 MJ/kg (อำพลพิชัยเชิด, วันชาติ ทรัพย์เฮง, & ชานนท์ ชื่นจิตร, 2552)

ตารางที่ 2 ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร เปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น

เชื้อเพลิง	ค่าความร้อนเทียบเท่า
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.67 ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร
ไม้ฟืน	1.50 กิโลกรัม

ที่มา : (นคร ทิพย์วงศ์, 2552)

นอกจากนี้การใช้ประโยชน์จากก๊าซชีวภาพที่ก่อให้เกิดประโยชน์ด้านพลังงานแล้ว ยังก่อให้เกิดประโยชน์ด้านอื่นๆ (สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2549) ดังนี้

#### 1. ประโยชน์ทางด้านสิ่งแวดล้อม

ลดปัญหาของกลิ่นและก๊าซพิษ ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นรบกวน ลดปัญหาการเกิดโรค ไม่เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ หรือแพร่พันธุ์เชื้อโรค และสัตว์นำโรค ลดการปล่อยก๊าซมีเทนสู่บรรยากาศ ซึ่งเป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจก ลดปัญหาเรื่องคุณภาพในแหล่งน้ำธรรมชาติ

#### 2. ประโยชน์ด้านการเกษตร

2.1 การทำเป็นปุ๋ย กากที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ดีกว่ามูลสัตว์สดๆ และปุ๋ยคอก ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมัก จะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้

2.2 การทำเป็นอาหารสัตว์ โดยการนำส่วนที่เหลือจากการหมัก นำไปตากแห้งแล้วนำไปผสมเป็นอาหารสัตว์ให้โคและสุกรกินได้ แต่ทั้งนี้ก็มีข้อจำกัด คือ ควรใส่อยู่ระหว่าง 5 – 10 กิโลกรัม ต่อส่วนผสมทั้งหมด 100 กิโลกรัม จะทำให้สัตว์เจริญเติบโตตามปกติและเป็นการลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย

#### 2.2 มูลสัตว์

มูลสัตว์ ส่วนใหญ่เป็นของแข็งประกอบไปด้วยเศษของพืชและสัตว์ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้ว ไม่สามารถย่อยหรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จึงเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมา โดย

เศษอาหารเหล่านี้ได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร ดังนั้นส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงอุดมไปด้วยธาตุอาหารชนิดต่างๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด แต่มูลสัตว์ไม่ว่าจะเป็น มูลโค, กระบือ, สุกร, ไก่, เป็ดและมูลช้าง อาจส่งผลต่อชุมชนและสภาพแวดล้อม การนำมูลสัตว์มาใช้ในการหมักเป็นก๊าซชีวภาพจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจ (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

### มูลสุกร

การเลี้ยงสุกรทำให้เกิดมูลสุกรเป็นจำนวนมากหากไม่มีการจัดการที่ดีโดยเฉพาะด้านความสะอาด จะเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น โดยเฉพาะบนพื้นคอกที่มีการหมักหมมของมูลสุกรและได้พื้นคอกที่มีการตกค้างของมูลสุกร ปัสสาวะ และน้ำจากการล้างคอก นอกจากนี้มูลสุกรที่เก็บกวาดออกจากพื้นคอก เมื่อนำมาตากแห้งต้องมีการดูแลโดยไม่ควรกองทิ้งมูลไว้เป็นเวลานาน เพราะความชื้นในอากาศและอุณหภูมิจะทำให้เกิดปฏิกิริยาเกิดก๊าซที่มีกลิ่นได้ โดยข้อมูลของเสียของสิ่งมีชีวิตต่างๆ (กฤษพนธ์ เพ็ญศรี, 2546) ดังแสดงในตาราง

**ตารางที่ 3** ตารางแสดงส่วนประกอบทางเคมีของมูลสัตว์

ชื่อ	ชนิดของของเสีย	ความชื้น (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)	N (%)	P (%)	K (%)	ของเสีย (กิโลกรัม/ตัว/ปี)
วัว และ กระบือ	แห้ง	80	18	0.31	0.21	0.12	9,000
	เหลว	92.5	3.10	1.10	0.10	-	-
ช้าง	แห้ง	82.0	19.6	0.45	0.15	0.10	14,600
	เหลว	86.0	4.20	1.30	0.11	0.43	-
ม้า	แห้ง	75.0	23.2	0.55	0.31	0.33	5,000
	เหลว	89.1	6.90	1.20	0.06	1.5	-
แพะ	แห้ง	68.0	29.0	0.60	0.30	0.20	750
	เหลว	87.5	8.00	1.50	0.1	1.8	-
สุกร	แห้ง	82.0	16.0	0.60	0.50	0.40	2,050-2,350
	เหลว	94.0	2.50	0.40	0.05	1	-

หมายเหตุ N = ไนโตรเจน, P = ฟอสฟอรัส, K= โพแทสเซียม

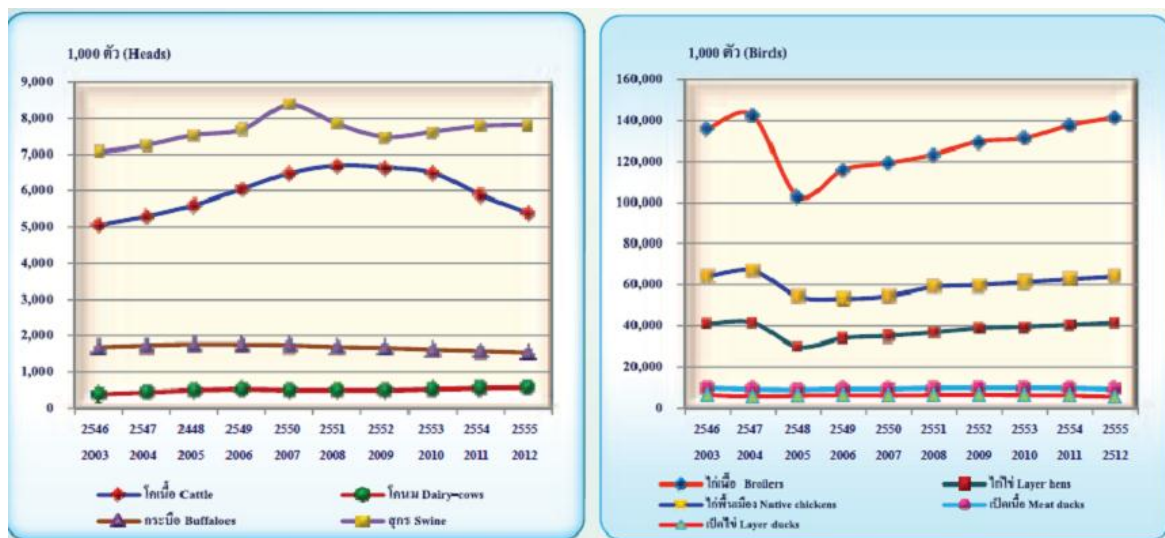
ที่มา : (Bibha k, 1981)

จากข้อมูลสถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2555 ได้สรุปจำนวนของสัตว์เลี้ยงทางการเกษตรเพื่อการบริโภคและการส่งออกของประเทศ ตั้งแต่ปี พ.ศ.2546 - 2555 จำนวนสุกรภายในประเทศไทยมีปริมาณสูงและแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากความต้องการทางการตลาดที่สูงขึ้น โดยในส่วนของสัตว์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น โค กระบือ เมื่อเปรียบเทียบกับสุกรแล้วมีปริมาณน้อยกว่าสุกรมาก เป็นตัวชี้วัดว่าปริมาณของสุกรมีปริมาณมากที่สุดในประเทศไทย (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556) ทั้งนี้เมื่อมีการเลี้ยงสุกรเพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมที่สูงย่อมทำให้มูลสุกรมีปริมาณที่มีมากมายเช่นกัน อันจะรวมไปถึงมลพิษทางอากาศ มลพิษทางน้ำที่ส่งผลกระทบต่อชุมชนรอบข้าง หากปราศจากการบำบัดที่ดีจะก่อให้เกิดปัญหาอื่นๆตามมา (ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม, 2548)

**ตารางที่ 4** จำนวนสัตว์เลี้ยง เพื่อการเกษตรและอุตสาหกรรมในประเทศไทย ณ วันที่ 1 มกราคม ปี 2546 - 2555

ปี	โคเนื้อ (1,000 ตัว) Cattle (1,000 heads)	โคนม (1,000 ตัว) Dairy-cows (1,000 heads)	กระบือ (1,000 ตัว) Buffaloes (1,000 heads)	สุกร (1,000 ตัว) Swine (1,000 heads)	ไก่เนื้อ (1,000 ตัว) Broilers (1,000 birds)	ไก่ไข่ (1,000 ตัว) Layer hens (1,000 birds)	ไก่พื้นเมือง (1,000 ตัว) Native chickens (1,000 birds)	เป็ดเนื้อ (1,000 ตัว) Meat ducks (1,000 birds)	เป็ดไข่ (1,000 ตัว) Layer ducks (1,000 birds)	Year
2546	5,048	393	1,690	7,064	136,086	41,019	63,982	9,831	6,598	2003
2547	5,297	445	1,738	7,254	142,607	41,514	66,835	9,182	5,871	2004
2548	5,610	497	1,771	7,534	102,996	29,981	54,395	8,917	6,297	2005
2549	6,042	522	1,763	7,688	115,964	33,957	53,281	9,305	6,466	2006
2550	6,481	495	1,744	8,381	119,366	35,131	54,609	9,370	6,320	2007
2551	6,700	494	1,699	7,845	123,570	36,742	58,838	9,762	6,500	2008
2552	6,647	495	1,671	7,481	129,623	38,721	59,864	9,790	6,588	2009
2553	6,498	525	1,623	7,624	131,332	39,424	61,162	9,876	6,485	2010
2554	5,891	555	1,588	7,786	137,647	40,450	62,615	9,736	6,377	2011
2555	5,393	574	1,542	7,824	141,818	41,489	63,895	9,255	5,635	2012

ที่มา : (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)



รูปที่ 2 จำนวน โค กระบือ สุกร ไก่เนื้อ ไก่ไข่ ไก่พื้นเมือง เป็ดเนื้อ และเป็ดไข่ ณ วันที่ 1 มกราคม ปี 2546 - 2555

ที่มา : (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)

โดยปกติมูลสุกรสามารถนำมาผลิตเป็นปุ๋ยสำหรับการเกษตร ในขณะที่เดียวกันมูลสุกรยังมีคุณสมบัติหรือองค์ประกอบของอินทรีย์ที่สามารถแปรเปลี่ยนรูปเพื่อทดแทนเป็นพลังงานได้ อันจะเป็นการเพิ่มมูลค่าของมูลสุกรให้มากขึ้น และการเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพเพื่อทดแทนแอลพีจี (LPG) จากตารางศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ สำหรับศักยภาพของมูลสุกรนั้น อยู่ในระดับรองลงมาจากมูลไก่ แต่มีประสิทธิภาพสูงกว่ามูลวัว ควาย ซึ่งสามารถเป็นสิ่งที่บ่งบอกได้ว่ามูลสุกรสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ดี

ตารางที่ 5 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสัตว์ชนิดต่างๆ

ชนิดของมูลสัตว์	ปริมาณก๊าซชีวภาพ (m <sup>3</sup> ) ต่อจำนวน กก. ของมูลสัตว์
วัว ควาย	0.023 – 0.040
หมู	0.040 – 0.059
ไก่	0.065 – 0.116
มนุษย์	0.020 – 0.028

ที่มา : (United Nations, 1984)

นอกเหนือจากศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพของมูลสุกร องค์ประกอบอื่นๆที่มีความสำคัญต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ C/N Ratio หรืออัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน

โดยปกติค่าที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการหมักแบบไร้อากาศ จะอยู่ระหว่าง 20-30 ถ้าอัตราส่วน C/N สูงมาก ๆ แบคทีเรียเมทาโนเจน (Methanogen) จะใช้ในโตรเจนจากวัสดุอย่างรวดเร็ว เพื่อสร้างโปรตีนที่ตัวมันต้องการ และจะไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนที่มีอยู่ในวัสดุ จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่ำ ในทางกลับกัน ถ้าอัตราส่วน C/N ต่ำมาก ๆ ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาและสะสมในรูปของแอมโมเนีย แอมโมเนียจะเพิ่มค่าความเป็นกรด-ด่าง ของวัสดุในบ่อหมัก ถ้าค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงกว่า 8.5 วัสดุหมัก จะเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรียทำให้ประชากรของแบคทีเรียเมทาโนเจนน้อยลง ทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่ำ นอกจากนี้หาก C/N Ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่น ๆ เช่นคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น

ความเข้มข้นของมูลสุกร ก่อนที่จะทำการป้อนเข้าสู่ถังหมักจะต้องผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 แต่ถ้าเป็นมูลแห้งจะต้องเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นเพื่อให้มีความเข้มข้นตามที่เหมาะสม เช่น 1:1.25 หรือ 1:2 แต่การเติมน้ำต้องไม่ให้มากเกินไป เพราะถ้าเจือจางมากเกินไป เนื้อของมูลจะจมลงก้นถัง และถ้าเติมน้ำน้อยไป มูลจะมีความเหนียวมากเกินไป มูลจะไปขวางการไหลของก๊าซที่เกิดขึ้นในส่วนล่างของถังหมัก (สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550)

โดยปริมาณ C/N ratio ของมูลสุกรมีค่าเท่ากับ 18 ซึ่งอยู่ในระหว่างช่วง 8-30 ที่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ อย่างไรก็ตามมูลวัว ควายซึ่งมีค่า C/N Ratio สูงก็ถือว่ามีความเหมาะสมเช่นกัน (นันทนา สีสุข, 2555)

ตารางที่ 6 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุต่างๆ

ชนิดมูลสัตว์	อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน (C/N Ratio)
1. มูลเป็ด	8
2. มูลคน	8
3. มูลไก่	10
4. มูลแพะ	12
5. มูลสุกร	18
6. มูลแกะ	19
7. มูลวัว ควาย	24
8. ผักตบชวา	25
9. มูลช้าง	43
10. เปลือกข้าวโพด	60
11. ฟางข้าว	70
12. ฟางข้าวสาลี	90

ที่มา : (กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2551)



### 2.3 เศษอาหาร

เศษอาหารจัดเป็น ขยะสด (Garbage) หรือขยะมูลฝอยชนิดหนึ่ง ได้แก่ เศษอาหาร พืชผัก เศษเนื้อสัตว์ ขยะดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจากการเตรียม การปรุง และเศษอาหารที่เหลือจากการรับประทานแล้ว นอกจากนั้น ขยะสดยังเกิดจากตลาดสด สถานที่จำหน่ายอาหารสด และสถานที่เก็บ และส่งจำหน่ายอาหารอีกด้วย ขยะสดจะมีส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงมาก และอินทรีย์วัตถุดังกล่าวสลายตัวได้ง่าย ดังนั้นถ้าขยะสดปล่อยทิ้งไว้นานเกินควร ก็จะเกิดการเน่าเปื่อยส่งกลิ่นเหม็นรบกวนได้โดยง่ายเนื่องจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ โดยปกติแล้วขยะสดจะมีปริมาณความชื้นปะปนประมาณร้อยละ 40-70 และค่อนข้างมีน้ำหนักสูง ขยะสดบางชนิด เช่น เศษอาหารพืชผัก และเศษเนื้อสัตว์ อาจจะมีคุณค่าทางอาหารเหลืออยู่บ้าง ดังนั้น จึงสามารถแยกขยะสดดังกล่าวนำไปใช้เลี้ยงสัตว์ให้เกิดประโยชน์ได้ ขยะสดควรนำไปกำจัดในเวลาไม่เกิน 24 ชั่วโมง ในประเทศไทย เศษอาหารเหล่านี้มาจากหลากหลายแหล่งตั้งแต่ด้านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม รวมทั้งครัวเรือนพักอาศัย (Shin et al., 2008)

**ตารางที่ 7** แหล่งที่มาของเศษอาหารจำแนกตามย่านเกษตรกรรม อุตสาหกรรม ครัวเรือน

แหล่งที่มา	ประเภทกิจกรรมหรือสถานที่	ชนิดของขยะ
ย่านที่พักอาศัย	บ้านพักเดี่ยว ห้องแถว อาคารชุด อพาร์ทเมนท์ คอนโดมิเนียม	เศษอาหาร กระดาษ พลาสติก ผ้า ขวดแก้ว ไม้ กิ่งไม้ ของเสียอันตรายจากบ้านเรือน เช่น ถ่านไฟฉาย แบตเตอรี่รถยนต์
ย่านพาณิชย์กรรม	ร้านค้า ภัตตาคาร ตลาด โรงพิมพ์ โรงแรมสำนักงาน อู่ซ่อมรถ โรงพยาบาล สถานเริงรมณ์	เศษอาหาร ขยะแห้ง ขี้เถ้า ขยะจากการก่อสร้าง สารพิษ กระดาษ ก่อ่ง แก้ว ไม้ กระจก
ระบบบำบัดต่างๆ	โรงประปา โรงกำจัดน้ำทิ้งทิ้งจากชุมชน โรงพยาบาล และโรงงานอุตสาหกรรม	กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ขี้เถ้าจากการเผา
ย่านอุตสาหกรรม	การก่อสร้าง โรงทอผ้า การกลั่นน้ำมัน โรงเลื่อย การทำเหมืองแร่ โรงงานผลิตสินค้าชนิดต่างๆ	ของเสียจากกระบวนการผลิตซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของโรงงาน เศษโลหะ ของเสียอันตราย
เกษตรกรรม	ไร่ นา สวนผัก ผลไม้ ฟาร์มโคนม ฟาร์มสัตว์อื่นๆ	ฟางข้าว ผัก ผลไม้ ขยะจากการอุปโภคบริโภคของเกษตรกร เช่น เศษอาหาร พลาสติกของเสียอันตราย เช่น สารเคมีจากกากเกษตร บรรจุภัณฑ์สารเคมี

ที่มา : (Tchobanoglous G., Hilary T., & Samuel V., 1993)

จากข้อมูลในช่วงหลายปีที่ผ่านมาตั้งแต่ ปี พ.ศ.2531 และ 2541-2548 เศรษฐกิจภายใน กรุงเทพมหานครมีปริมาณสูงขึ้น อันเนื่องมาจากประชากรเพิ่มมากขึ้น เทคโนโลยี หรือความก้าวหน้าของสิ่งต่างๆ รวมทั้งพฤติกรรมบริโภคของประชากรเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ปัญหาด้านขยะเพิ่มขึ้นด้วย (หทัยรัตน์ เสียงดั่ง & ชื่นฤทัย กาญจนะจิตรา, 2550)

**ตารางที่ 8** การกระจายร้อยละของส่วนประกอบของขยะที่เก็บได้ในกรุงเทพ พ.ศ. 2531 และ 2541-2548

ส่วนประกอบของขยะ	2531	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548
เศษอาหาร	36.5	35.5	35.4	46.9	46.9	34.2	30.6	34.7	44.3
พลาสติกและโฟม	11.0	19.8	25.8	19.5	19.4	20.8	23.3	25.1	28.2
กระดาษ	13.9	11.6	9.6	8.7	8.6	13.6	13.4	10.4	9.7
ไม้และใบไม้	14.9	14.5	7.9	6.7	7.5	6.6	8.5	6.2	5.2
ผ้าและเศษสิ่งทอ	6.9	3.7	11.0	6.4	4.0	4.5	8.1	4.8	4.6
หนังและยาง	2.9	0.8	2.2	0.1	0.8	2.1	0.6	0.2	0.8
แก้ว	4.4	4.1	1.6	2.6	2.3	5.1	2.6	3.0	3.2
โลหะ	2.2	2.0	1.0	1.5	1.6	2.2	1.3	0.9	2.1
หินและเซรามิค	8.3	0.0	0.0	0.5	1.0	0.6	0.7	0.4	0.5
กระดูกและเปลือกหอย	0.0	0.0	0.0	0.3	1.3	1.7	0.9	0.9	0.5
อื่นๆ	1.4	7.9	5.5	6.8	6.6	8.6	10.1	13.6	1.1
รวม	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

ที่มา : (ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร, 2550)

ปี 2555 ประเทศไทยมีปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นประมาณ 24.73 ล้านตัน เฉลี่ย 67,577 ตันต่อวัน จากปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในแต่ละวันพบว่า กรุงเทพมหานคร มีปริมาณมูลฝอย 11,000 ตันต่อวัน หรือร้อยละ 16.28 ของปริมาณมูลฝอยทั้งประเทศ เทศบาล มีปริมาณมูลฝอย 25,046 ตันต่อวัน หรือร้อยละ 37.06 องค์การบริหาร ส่วนตำบล มีปริมาณมูลฝอย 31,105 ตันต่อวัน หรือร้อยละ 46.03 และเมืองพัทยา มีปริมาณมูลฝอย 426 ตันต่อวัน คิดเป็นร้อยละ 0.63 ของปริมาณมูลฝอยทั่วประเทศ ซึ่งองค์ประกอบส่วนใหญ่ของขยะมูลฝอย คือ เศษอาหารและอินทรีย์รวมกัน 63.57% และอินทรีย์สาร (ใบไม้กิ่งไม้ และอื่นๆ) 32.98%

**ตารางที่ 9** ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยในแต่ละพื้นที่

พื้นที่	ปริมาณมูลฝอย (ตันต่อวัน)	
	ปี 2554	ปี 2555
กรุงเทพมหานคร <sup>1</sup>	11,470	11,000
เมืองพัทยา <sup>2</sup>	425	426
เทศบาล <sup>3</sup> (2,266 แห่ง)	19,011	25,046
องค์การบริหารส่วนตำบล <sup>3</sup> (5,509 แห่ง)	38,544	31,105
รวม	69,450	67,577

หมายเหตุ ที่มา : 1. ข้อมูลประมาณการปริมาณมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร มกราคม-ธันวาคม 2555 (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2555)

2. ข้อมูลประมาณการปริมาณมูลฝอยของเมืองพัทยา มกราคม-ธันวาคม 2555 (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2555)

3. ข้อมูลประมาณการปริมาณมูลฝอยของเทศบาล และองค์การบริหารส่วนตำบล มกราคม-ธันวาคม 2555 (กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, 2555)

จากสถานการณ์ของขยะเศษอาหารเพิ่มปริมาณขึ้นจึงเป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญของประเทศไทย และส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ และสิ่งแวดล้อม ซึ่งขยะเศษอาหารโดยส่วนใหญ่มาจากส่วนที่เหลือทิ้งจากการรับประทานอาหาร ประกอบไปด้วย เนื้อสัตว์ ข้าว ผลไม้ และผัก ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นอินทรีย์วัตถุที่สามารถย่อยสลายเน่าเปื่อยได้ง่าย มีความชื้นสูง และ หากทิ้งไว้นานจะส่งกลิ่นเหม็นได้รวดเร็ว ดังนั้นจึงมีการนำเศษอาหารเหลือทิ้งมาใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ และการเกิด Biogas Yield ของเศษอาหาร หรือเศษผักต่างๆ มีอัตราการเกิดสูงกว่ามูลสุกร และมูลวัวหรือกระบือ โดย Biogas Yield ของเศษอาหาร (Food Waste) เท่ากับ 46 m<sup>3</sup>/t และเศษผักต่างๆ (Veg waste) เท่ากับ 57 m<sup>3</sup>/t ในขณะที่ Biogas Yield ของมูลวัว (Cattle Slurry) เท่ากับ 25 m<sup>3</sup>/t และมูลสุกร เท่ากับ 26 m<sup>3</sup>/t

ตารางที่ 10 ตารางแสดง Biogas Yield ของของเสียต่างๆ

Feedstock	%Dry Matter	Biogas Yield (m <sup>3</sup> /t)
Cattle Slurry	10	25
Pig Slurry	7	26
Sour Whey	6	37
Food Waste	15	46
Veg waste	15	57
Broiler Manure	60	80
Laying Hen Litter	30	90
Grass Silage	25	150
Sugar Pulp	28	200
Maize	30	200
Cheese Whey	79	670

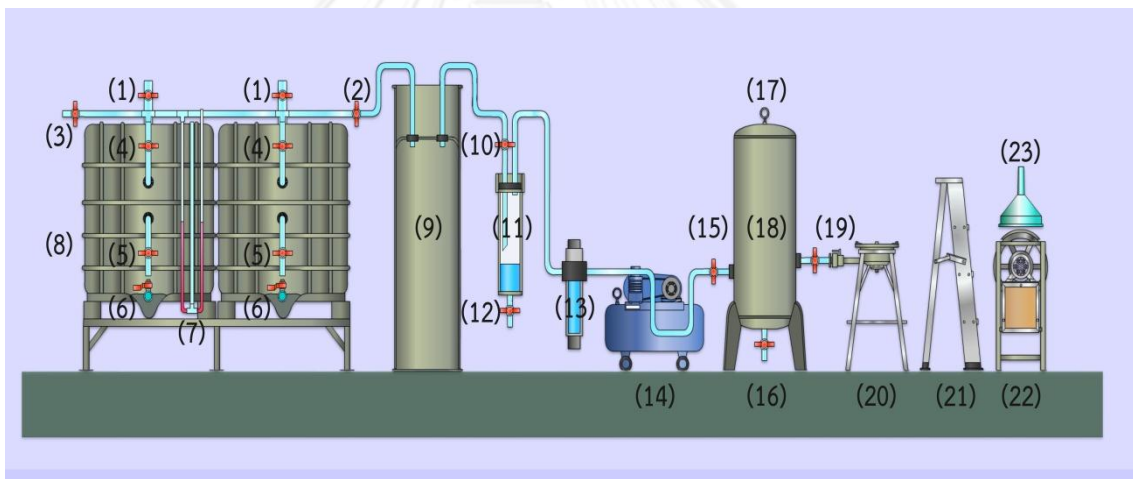
ที่มา : (Barry M. & Campbell S., 2012)

#### 2.4 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร

ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ถูกออกแบบให้มีปริมาตรความจุของถังหมักขนาด 2,000 ลิตร ตัวถังหมักทำจากวัสดุที่มีความเหนียวและยืดหยุ่น ทนต่อสารเคมี และมีโครงเหล็กรัดตัวถังหมัก โดยรอบสำหรับช่วยคงรูปตัวถังหมัก เมื่อมีการขยายตัวของถังขณะมีการเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นภายใน โดยอุปกรณ์ที่ประกอบในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์



รูปที่ 3 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร



- |                        |                          |                          |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| (1) วาล์วเติมเศษอาหาร  | (9) ถังเก็บก๊าซชีวภาพ    | (17) หัววัดแรงดันก๊าซ    |
| (2) วาล์วปล่อยก๊าซ     | (10) วาล์วล้างดักน้ำ     | (18) ถังจ่ายก๊าซชีวภาพ   |
| (3) วาล์วระบายก๊าซทิ้ง | (11) ถังดักน้ำ           | (19) วาล์วจ่ายก๊าซชีวภาพ |
| (4) วาล์วล้างหมักก๊าซ  | (12) วาล์วน้ำทิ้ง        | (20) หัวเตาก๊าซชีวภาพ    |
| (5) วาล์วน้ำล้น        | (13) อุปกรณ์ดักความชื้น  | (21) บันไดอลูมิเนียม     |
| (6) วาล์วล้างถังหมัก   | (14) ปุ่มอัดก๊าซชีวภาพ   | (22) เครื่องบดเศษอาหาร   |
| (7) มานอมิเตอร์น้ำ     | (15) วาล์วอัดก๊าซชีวภาพ  | (23) กรวยเติมเศษอาหาร    |
| (8) ถังหมักก๊าซชีวภาพ  | (16) วาล์วใต้ถังจ่ายก๊าซ |                          |

รูปที่ 4 แบบอุปกรณ์ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร

## องค์ประกอบและวาล์วภายในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร

### ประกอบด้วย

1. วาล์วเติมเศษอาหาร ทำหน้าที่ รับเศษอาหารที่ได้ทำการบดแล้ว โดยการเติม จะใช้กรวยพลาสติกขนาดใหญ่ช่วยในการเติมวัตถุดิบ และหลังจากเติมแล้วต้องปิดให้สนิท
2. วาล์วปล่อยก๊าซ ทำหน้าที่ ควบคุมการเปิด-ปิด ก๊าซชีวภาพจากถังหมัก ขนาด 2,000 ลิตร ไปยังถังเก็บก๊าซชีวภาพ โดย ปกติจะอยู่ในตำแหน่งเปิดเสมอ เพื่อให้ก๊าซ ชีวภาพที่เกิดขึ้นไปบรรจุในถังเก็บก๊าซชีวภาพ
3. วาล์วระบายก๊าซทิ้ง ทำหน้าที่ ระบายก๊าซชีวภาพและก๊าซอื่นๆที่ได้จากการ หมักในช่วงเดินระบบครั้งแรก หรือการหมักทำ หัวเชื้อ เนื่องจากก๊าซที่เกิดขึ้นยังไม่ติดไฟ และ ต้องอยู่ในตำแหน่งปิดเสมอ
4. วาล์วล้างหมักก๊าซ ทำหน้าที่ ควบคุมการเปิด-ปิด การไหลของก๊าซที่ผลิตใน ถังหมักก๊าซไปยังถังเก็บก๊าซ โดยปกติจะอยู่ในตำแหน่ง เปิดเสมอ นอกจากนี้จะมีการซ่อมแซมถังเก็บก๊าซจะต้อง ปิดวาล์วเพื่อให้ก๊าซที่ผลิตในถังหมักสามารถกักเก็บไว้ใน ถังหมักได้
5. วาล์วน้ำล้าง ทำหน้าที่ รักษาระดับน้ำหมักภายในถังหมักก๊าซชีวภาพ ให้คงที่ที่ระดับ 500 ลิตร โดยก่อนการเติมวัตถุดิบทุกครั้ง ให้ทำการเปิดวาล์วน้ำล้างเพื่อระบายน้ำหมักที่เกินระดับ ให้ออกมาก่อนที่จะเติมวัตถุดิบลงในถังหมักในลำดับต่อไป โดยปกติวาล์วอยู่ในตำแหน่งปิดเสมอ
6. วาล์วล้างถังหมัก ทำหน้าที่ ระบายน้ำหมักในถังหมักทิ้ง กรณีที่ กระทบวนการหมักล้มเหลว หรือต้องการย้าย ตำแหน่งของที่ตั้งระบบฯ ปกติวาล์วจะอยู่ใน ตำแหน่งปิดเสมอ
7. มานอมิเตอร์ ทำหน้าที่ วัดแรงดันก๊าซชีวภาพภายในระบบโดยแรงดัน สูงสุดที่สามารถวัดได้คือ 130 เซนติเมตรน้ำ
8. ถังหมักก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ เก็บสะสมเศษอาหารเพื่อใช้ในกระบวนการ หมักก๊าซชีวภาพ
9. ถังเก็บก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ เก็บก๊าซชีวภาพ โดยใช้ถังพีอีสีน้ำเงินความจุ 150 ลิตร คว่ำปากอยู่ภายในถังแกลลอนสีเขียว ที่ซ้อนต่อกันสองชั้น ก๊าซถูกกักเก็บในถังพีอีสี น้ำเงินด้วยการใช้น้ำเป็นตัวกั้นไม่ให้ก๊าซไหล ออกสู่ภายนอก โดยปริมาณน้ำที่เติมลงในถัง

10. วาล์วถังดักน้ำ ทำหน้าที่ แกลลอนควรให้ท่วมถึงฟิวส์น้ำเงินพอดี ควบคุมการเปิด-ปิด ก๊าซให้ไหลเข้าไปใน ถังดักน้ำ ปกติจะอยู่ในตำแหน่งปิดเสมอ ยกเว้นเมื่อต้องการอัดก๊าซ ให้เปิดวาล์วเพื่อให้ ก๊าซไหลผ่านถังดักน้ำไปยังปั๊มอัดก๊าซ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการอัดก๊าซให้ปิด วาล์วถังดักน้ำตามเดิม
11. ถังดักน้ำ ทำหน้าที่ ดักน้ำที่ติดมากับก๊าซชีวภาพ ตามท่อส่งก๊าซที่ ต่อมาจากถังเก็บก๊าซชีวภาพ ทำให้ก๊าซไหลใน ท่อส่งก๊าซได้สะดวก
12. วาล์วน้ำทิ้ง ทำหน้าที่ ระบายน้ำที่ซึ่งอยู่ในถังดักน้ำทิ้ง โดยก่อนการ ใช้งานก๊าซชีวภาพให้เปิดวาล์วระบายน้ำทิ้ง ก่อนเพื่อกำจัดน้ำที่อาจมีอยู่ในถังดักออกให้หมด ปกติวาล์วจะอยู่ในตำแหน่งปิดเสมอ
13. อุปกรณ์ดักความชื้น ทำหน้าที่ ดักละอองน้ำที่ติดมากับก๊าซชีวภาพ ก่อนที่จะเข้าสู่ปั๊มอัดก๊าซต่อไป
14. ปั๊มอัดก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ อัดก๊าซชีวภาพไว้ในถังจ่ายก๊าซชีวภาพ โดย แรงดันก๊าซไม่ควรเกิน 45 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เนื่องจากระบบถูกออกแบบให้ใช้ก๊าซชีวภาพ จากถังจ่ายก๊าซโดยตรง ไม่มีอุปกรณ์ลดแรงดันก๊าซ เพื่อความปลอดภัยจึงไม่ควรอัดก๊าซชีวภาพเก็บไว้ ที่แรงดันสูงเกินไป
15. วาล์วอัดก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ ควบคุมการเปิด-ปิด สำหรับอัดก๊าซชีวภาพ ปกติอยู่ในตำแหน่งปิดเสมอ ยกเว้นเมื่อ ต้องการอัดก๊าซจึงอยู่ในตำแหน่งเปิด
16. วาล์วใต้ถังจ่ายก๊าซ ทำหน้าที่ ระบายน้ำที่อยู่ในถังจ่ายก๊าซทิ้ง ปกติอยู่ใน ตำแหน่งปิดเสมอ นอกจากต้องการ ระบายน้ำทิ้ง
17. หัววัดแรงดัน ทำหน้าที่ แสดงระดับแรงดันก๊าซชีวภาพในถังจ่ายก๊าซใน หน่วยของปอนด์ต่อตารางนิ้ว และบาร์
18. ถังจ่ายก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ กักเก็บและจ่ายก๊าซชีวภาพภายใต้แรงดันสูง
19. วาล์วจ่ายก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ ควบคุมการจ่ายก๊าซชีวภาพ ปกติอยู่ใน ตำแหน่งปิดเสมอ ยกเว้นเมื่อต้องการใช้ก๊าซ ชีวภาพจะอยู่ในตำแหน่งเปิด
20. หัวเตาก๊าซชีวภาพ ทำหน้าที่ นำก๊าซชีวภาพไปใช้งานในการหุงต้ม
21. บันไดอะลูมิเนียม ทำหน้าที่ เป็นอุปกรณ์ช่วยสำหรับการเดินวัสดุดิบและ

## การดูแลระบบฯ

## 22. เครื่องบดเศษอาหาร ทำหน้าที่

บดเศษอาหารให้มีขนาดเล็ก และผสมกับน้ำใน  
สัดส่วนที่เท่ากันก่อนจะนำไปเติมในถังหมัก

การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ จำเป็นต้องมีแบคทีเรียที่ช่วยในการย่อยสารอินทรีย์ที่อยู่ในถังหมักก๊าซ เพื่อเปลี่ยนสภาพของสารอินทรีย์ในรูปของแข็งและของเหลว ให้อยู่ในรูปของก๊าซภายใต้สภาวะไร้อากาศ ดังนั้น การเริ่มต้นเดินระบบ จึงเป็นการเติมเชื้อแบคทีเรียเข้าสู่ถังหมักก๊าซ และทิ้งระยะไว้ประมาณ 1-2 สัปดาห์ เพื่อให้เข้าสู่สภาวะสมดุล โดยสังเกตได้จากก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้สามารถจุดไฟติดได้ หลังจากนั้น จะเป็นการป้อนขยะอินทรีย์เข้าสู่ถังหมักก๊าซชีวภาพในปริมาณที่เหมาะสม (กรมการพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร กระทรวงกลาโหม, 2554)

### การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย การเติมวัตถุดิบในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร และการเกิดก๊าซชีวภาพภายในระบบฯ

เชื้อแบคทีเรียสามารถเตรียมได้จากมูลสัตว์ต่างๆ เช่น หมู วัว ควาย และไก่ เป็นต้น โดยระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันจะต้องมีการเตรียมหัวเชื้อจากมูลสัตว์ปริมาณ 200 กิโลกรัม ผสมกับน้ำอีกปริมาณเท่าตัว โดยปริมาตรของของเหลวที่อยู่ในถังหมักอยู่ที่ระดับ 400-500 ลิตร ซึ่งสังเกตได้จากมาตรวัดปริมาตรด้านข้างตัวถัง หลังจากนั้นทิ้งระยะให้เชื้อแบคทีเรียภายในถังหมักเข้าสู่สภาวะสมดุล ประมาณ 1-2 สัปดาห์ และภายในระยะเวลาดังกล่าวจะมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นภายในระบบฯ ให้ทำการปล่อยก๊าซเหล่านั้นทิ้งประมาณ 4-5 ครั้ง เนื่องจากก๊าซที่ได้ยังมีปริมาณความเข้มข้นของมีเทนต่ำจึงไม่สามารถติดไฟได้สำหรับการเตรียมขยะอินทรีย์สำหรับระบบฯ ประกอบด้วย เศษอาหาร เศษผักผลไม้ ที่เหลือทิ้งในครัวเรือน หรือจากชุมชนสามารถนำมาเป็นอาหารสำหรับแบคทีเรียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพได้ แต่จะต้องนำมาคัดแยกจากเศษใบไม้ เศษพลาสติก เศษกระดูก เปลือกผลไม้แข็งต่างๆ และนำมาบดด้วยเครื่องบดแล้วจึงนำมาผสมกับน้ำในปริมาณในอัตราส่วนที่เท่ากัน โดยระบบฯ นี้สามารถเติมเศษอาหารได้ประมาณ 10-20 กิโลกรัม ต่อถัง หรือ 20-40 กิโลกรัมต่อระบบฯ นั่นเอง

การเกิดก๊าซชีวภาพ สามารถสังเกตได้จากบารอมิเตอร์น้ำ การอ่านค่าความดันของก๊าซชีวภาพได้ด้วยการวัดระยะห่างระหว่างระดับน้ำทั้งสองข้างหรืออ่านจากสเกลในหน่วยเซนติเมตรที่เขียนไว้บนท่อพีวีซีด้านหน้าซึ่งหากมีระยะหากมาก หมายถึง ก๊าซชีวภาพมีแรงดันและปริมาณมาก โดยค่าความดันก๊าซที่อ่านได้จะอยู่ในหน่วยของเซนติเมตรน้ำ หรือเทียบเท่ากับหน่วยมิลลิบาร์ ตัวอย่างเช่น แรงดันก๊าซ อ่านได้เท่ากับ 20 เซนติเมตรน้ำ หรือ 20 มิลลิบาร์ ค่าแรงดันที่เหมาะสมสำหรับการอัดก๊าซชีวภาพในแต่ละครั้งควรจะไม่น้อยกว่า 40 เซนติเมตรน้ำขึ้นไป เพื่อให้ปริมาณก๊าซที่ได้มีเพียงพอสำหรับการประกอบอาหาร โดยการอัดก๊าซชีวภาพลงถังจ่ายก๊าซชีวภาพต่อไป (กรมการพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร กระทรวงกลาโหม, 2554)





รูปที่ 5 บารอมิเตอร์น้ำขณะเกิดก๊าซภายในระบบฯ

## 2.5 ข้อมูลพื้นที่



รูปที่ 6 พื้นที่กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ (ร.11 รอ.)

ที่มา : (กองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์, 2553)

### พื้นที่ และประชากร

กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ ตั้งอยู่บนถนนพหลโยธิน แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพมหานคร โดยมีเนื้อที่ประมาณ 1,673 ไร่ ในพื้นที่ประกอบด้วย

1. กองบัญชาการกรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์
2. กองพันทหารราบที่ 1 กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์
3. กองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์
4. โรงเรียนกองทัพกอบกู้ธัมม์เพชรารัฐวิทยา

1.1 กองบัญชาการกรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ มีกำลังพลและครอบครัวที่อาศัยภายในพื้นที่ ดังนี้

- นายทหารสัญญาบัตร จำนวน 47 คน
- นายทหารประทวน จำนวน 348 คน
- พลทหาร จำนวน 320 คน
- ครอบครัว จำนวน 889 คน รวมทั้งสิ้น 1,604 คน

1.2 กองพันทหารราบที่ 1 กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ มีกำลังพลและครอบครัวที่อาศัยภายในพื้นที่ ดังนี้

- นายทหารสัญญาบัตร จำนวน 18 คน
- นายทหารประทวน จำนวน 226 คน
- พลทหาร จำนวน 651 คน
- ครอบครัว จำนวน 429 คน
- รวมทั้งสิ้น 1,324 คน

1.3 กองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ มีกำลังพลและครอบครัวที่อาศัยภายในพื้นที่ ดังนี้

- นายทหารสัญญาบัตร จำนวน 22 คน
- นายทหารประทวน จำนวน 231 คน
- พลทหาร จำนวน 650 คน
- ครอบครัว จำนวน 414 คน
- รวมทั้งสิ้น 1,317 คน

1.4 โรงเรียนกองทัพกอบกู้ธัมม์เพชรารัฐวิทยา มีจำนวนนักเรียน และบุคลากร ดังนี้

ตารางที่ 11 แสดงจำนวนนักเรียน และบุคลากร โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์เพชรบุรีวิทยา

ชั้น	จำนวนนักเรียน		
	ชาย	หญิง	รวม
อนุบาลศึกษาที่ 1	155	139	294
อนุบาลศึกษาที่ 2	147	135	282
อนุบาลศึกษาที่ 3	127	130	257
ประถมศึกษาปีที่ 1	193	139	332
ประถมศึกษาปีที่ 2	130	145	275
ประถมศึกษาปีที่ 3	153	114	267
ประถมศึกษาปีที่ 4	158	118	276
ประถมศึกษาปีที่ 5	165	118	283
ประถมศึกษาปีที่ 6	160	132	292
มัธยมศึกษาปีที่ 1	63	28	91
มัธยมศึกษาปีที่ 2	45	25	70
มัธยมศึกษาปีที่ 3	58	26	84
รวม	1,554	1,249	2,803

จำนวนครู-บุคลากร

จำนวนครู		
ชาย	หญิง	รวม
9	100	109

จำนวนครูพี่เลี้ยงอนุบาล

ชาย	หญิง	รวม
-	28	28

จำนวนเจ้าหน้าที่

ชาย	หญิง	รวม
14	24	38

ที่มา : (ร้อยเอก ชลอ แก้วสถิตย์, 2556)

- รวมจำนวนนักเรียน-บุคลากร 2,978 คน
- รวมจำนวนประชากรภายใน กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ 7,223 คน

บนพื้นที่ของ กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ นอกจากจะเป็นกองบัญชาการหน่วยเตรียมความพร้อมทางการทหาร และภารกิจความมั่นคงทางทหารอื่นๆ แล้ว ยังได้ดำเนินโครงการเศรษฐกิจพอเพียงภายในพื้นที่เพื่อเป็นต้นแบบให้กับชุมชนใกล้เคียง เช่น โครงการผลิตไบโอดีเซล, โครงการเพาะเลี้ยงไก่พันธุ์พื้นเมือง, โครงการเพาะเห็ดฟาง, โครงการเลี้ยงหมูป่า, โครงการเลี้ยงปลาในกระชัง, โครงการผลิตกะทิจากมะพร้าว, โครงการปลูกผัก, โครงการเผาถ่านและทำน้ำส้มควันไม้, โครงการทำปุ๋ยชีวภาพ, โครงการเลี้ยงกบ โครงการปลูกพืชสับตุ๋ม เป็นต้น ภายในพื้นที่ของกรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ได้ดำเนินการปลูกพืชทางการเกษตรประมาณ 12 ไร่ เพื่อส่งเสริมรายได้ให้กับครอบครัวของกำลังพล และเพื่อพัฒนาพื้นที่ว่างเปล่าให้เกิดประโยชน์มากที่สุด (กองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์, 2553)

## บทที่ 3

### อุปกรณ์และวิธีการดำเนินการวิจัย

#### เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

##### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

- 3.1.1 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร
- 3.1.2 เครื่องวัดก๊าซ (Digital Flow Switch รุ่น PFM750S-C6-A-M)
- 3.1.3 เครื่องชั่ง
- 3.1.4 ถังผสมเศษอาหารและมูลสุกร ขนาด 90 ลิตร
- 3.1.5 ถังใส่เศษอาหาร และมูลสุกร
- 3.1.6 อุปกรณ์สำหรับตัดเศษอาหารและมูลสุกร
- 3.1.7 กระจบอกดวงพลาสติก ขนาด 5 ลิตร
- 3.1.8 เทอร์โมมิเตอร์
- 3.1.9 ถูเก็บตัวอย่างก๊าซ ขนาด 1 ลิตร
- 3.1.10 ลังโพนเก็บตัวอย่างก๊าซ
- 3.1.11 กระดาษลิตมัส

##### 3.2 วัสดุที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

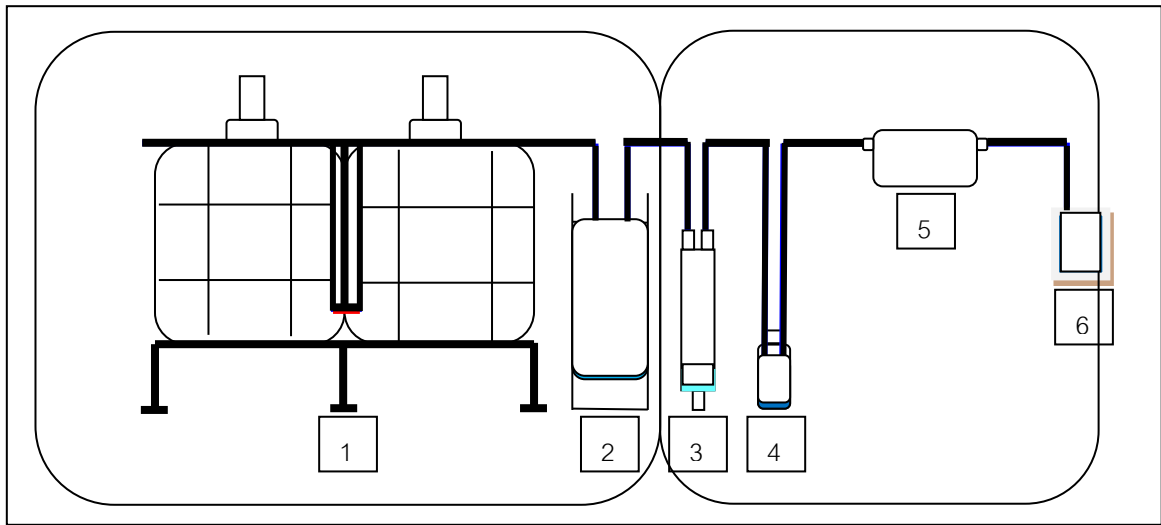
- 3.2.1 มูลสุกร จำนวน
- 3.2.2 เศษอาหาร
- 3.2.3 น้ำ



รูปที่ 7 ระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร



รูปที่ 8 เครื่องวัดก๊าซ (Digital Flow Switch รุ่น PFM750S-C6-A-M)



รูปที่ 9 การวางอุปกรณ์การทดลองและการเก็บผลก๊าซชีวภาพ

หมายเหตุ

หมายเลข 1 ถังหมักก๊าซชีวภาพ

หมายเลข 2 ถังเก็บก๊าซชีวภาพ

หมายเลข 3 ถังดักน้ำ

หมายเลข 4 ขวดพลาสติกบรรจุสารดูดความชื้น (Silica Gel)

หมายเลข 5 เครื่องวัดก๊าซ

หมายเลข 6 ถังบรรจุก๊าซชีวภาพ (ตัวอย่าง)

### 3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงประยุกต์ (Pilot Scale) เพื่อหาศักยภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร โดยเกณฑ์การคัดเลือกอัตราส่วน 100 : 0 85 : 15 70 : 30 จากศักยภาพของของเสียภายในพื้นที่ โดยไม่ได้เปรียบเทียบเฉพาะในห้องทดลอง และใช้พื้นที่ในการทดลอง จำนวน 3 พื้นที่ คือ กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ กองสรรพวุฒิบา กองพลที่ 1 รักษาพระองค์ และกองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่ 1 มหาดเล็กรักษาพระองค์ ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างเศษอาหารและมูลสุกร ทำการวัดค่าพารามิเตอร์ เพื่อคำนวณหาองค์ประกอบ และเพื่อคำนวณหาอัตราส่วนการทดลองในการเกิดก๊าซชีวภาพ ดังนี้

- ปริมาณ เปอร์เซ็นต์คาร์บอน (%C) เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจน (%H) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (%N) เปอร์เซ็นต์ออกซิเจน (%O) โดยใช้เครื่อง CHNS/O ANALYZER (Perkin Elmer PE2 400 Series II)

- ค่าความร้อน (Heating Value) โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter AC-350

- ซี้เถ้า (Ash) เพื่อหาค่า Loss on Ignition โดยการนำตัวอย่างไปเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง

- การทดลองเก็บผลการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ (ทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพทุกๆ 2 วัน และทำการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพทุกๆ 3 วัน) จากเครื่องวัดก๊าซ (Digital Flow Switch รุ่น PFM750S-C6-A-M) และการตรวจวิเคราะห์ที่ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) และก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) โดยเครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B

- การเก็บรวบรวมข้อมูล ข้อมูลทุติยภูมิ เป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมจากหน่วยงานในพื้นที่ศึกษา คือ กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ บางเขน กรุงเทพมหานคร

- การวิเคราะห์ข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบกับด้านพลังงานทดแทน (เชื้อเพลิง LPG) การลดของเสียภายในพื้นที่ และพิจารณาการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพภายในพื้นที่ โดยใช้ข้อมูลของของเสียภายในพื้นที่ทั้งหมด

ข้อจำกัดในการทดลอง คือ ไม่สามารถที่จะควบคุมค่าพารามิเตอร์ต่างๆได้ ดังนั้น การทดลองค่าก๊าซชีวภาพ และค่าพารามิเตอร์อื่นๆ จึงเป็นค่าที่ได้จากการทดลองจากการใช้งานจริง พื้นที่จริง และระบบผลิตก๊าซชีวภาพฯ ขนาดใหญ่จริง



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย และวิเคราะห์ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์เศษอาหาร และมูลสุกร

พารามิเตอร์ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอน (%C) เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจน (%H) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (%N) ค่าความร้อน (Heating Value) และขี้เถ้า (Ash) ผลดังแสดงในตาราง ดังนี้

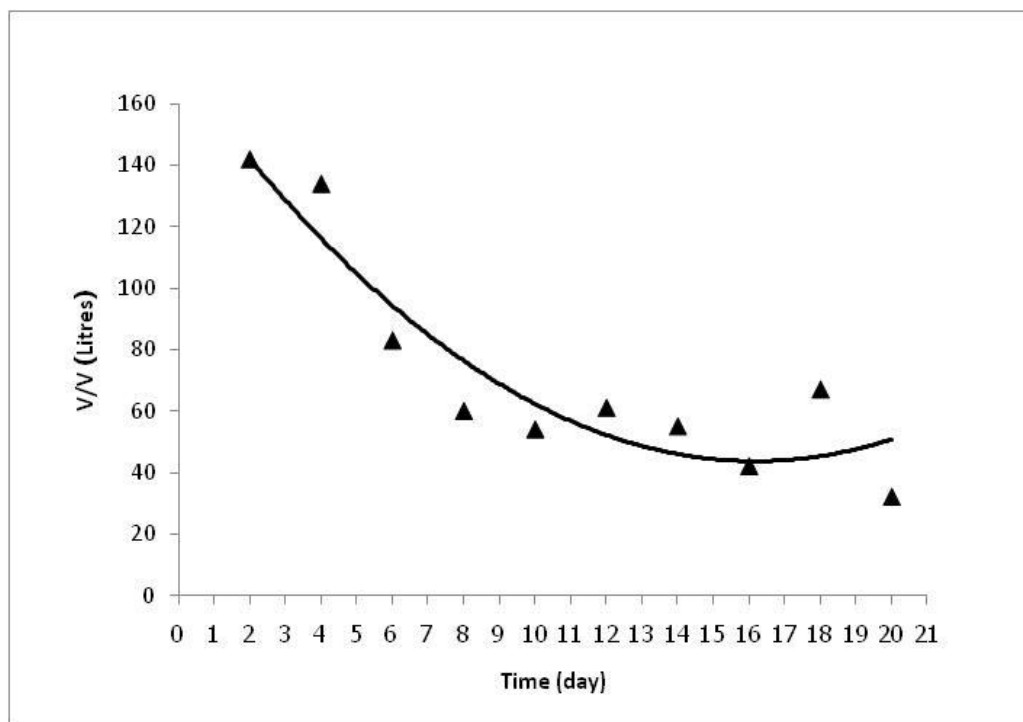
ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ของเศษอาหาร และมูลสุกร

	Material	
	Food Waste	Pig Manure
%C	48.18	26.54
%H	10.55	3.49
%N	2.55	3.18
%O	38.72	66.79
Heating Value (cal/g)	4,180.40	2,528.5
Ash	91.5	54.3

พบว่าพารามิเตอร์ของเศษอาหาร ได้แก่ ปริมาณเปอร์เซ็นต์คาร์บอน (%C) เปอร์เซ็นต์ไฮโดรเจน (%H) เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน (%N) ค่าความร้อน (Heating Value) และขี้เถ้า (Ash) สูงกว่าพารามิเตอร์ของมูลสัตว์ ยกเว้นเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน (%O) ซึ่งพารามิเตอร์เหล่านี้มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการทดลอง เนื่องจากเศษอาหารมีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และสารอาหารอื่นๆ ซึ่งแบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้ โดยเฉพาะคาร์โบไฮเดรต แบคทีเรียสามารถย่อยสลายได้รวดเร็วกว่าส่วนประกอบอื่นๆ(สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550) สำหรับอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N Ratio) ของเศษอาหารเท่ากับ 18.89 และของมูลสุกร เท่ากับ 8.34 ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ หาก C/N Ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8-30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่น ๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2554)

## 4.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพ

ในการเก็บผลปริมาณก๊าซชีวภาพในการทดลองใช้ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลทั้งหมด 21 วัน โดยเก็บข้อมูลปริมาณก๊าซชีวภาพทุกๆ 2 วัน โดยมีผลการวิจัยตามอัตราส่วน และพิจารณาตามกราฟ แนวโน้ม ดังนี้

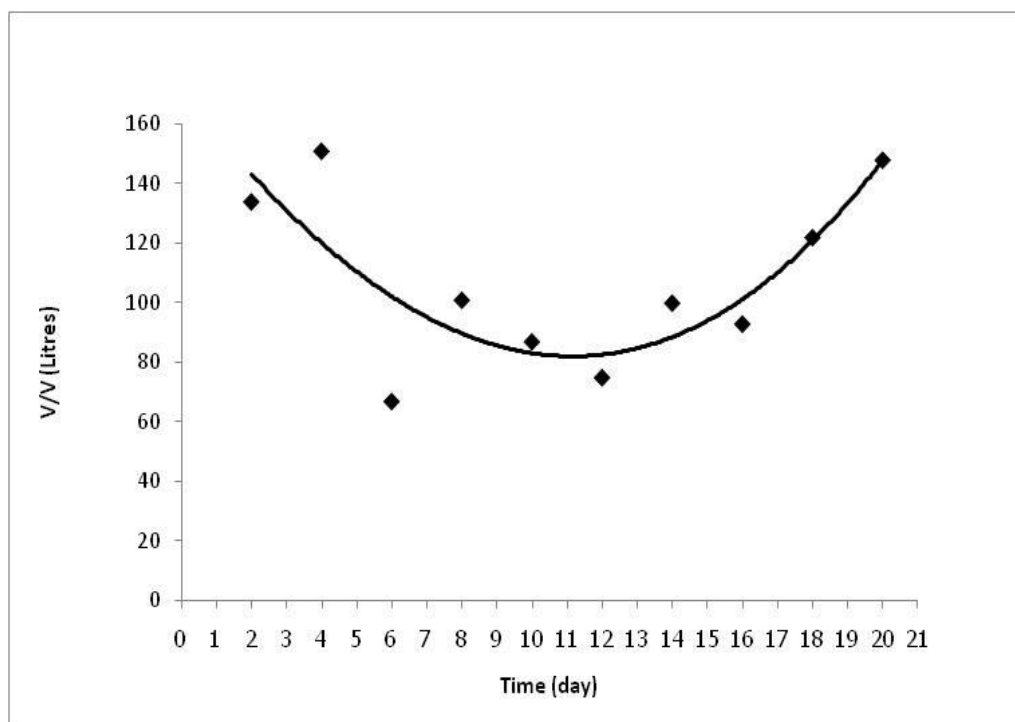


รูปที่ 10 ปริมาณก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 100 : 0

### 4.2.1 อัตราส่วน 100 : 0 หรือ เศษอาหาร 26 กิโลกรัม และมูลสุกร 0 กิโลกรัม อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 31-33 องศาเซลเซียส

ในช่วงของการทดลองช่วงเวลาวันที่ 0-4 มีการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพที่สูงที่สุด และหลังจากนั้นมีปริมาณลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในช่วงวันที่ 2 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 142 ลิตร และวันที่ 4 มีปริมาณเท่ากับ 134 ลิตร ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดของอัตราส่วน 100 : 0 เท่ากับ 142 ลิตร มีปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยที่สุดเท่ากับ 32 ลิตร จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมเศษอาหารหลังจากหมักหัวเชื้อจุลินทรีย์และไม่มีการเติมมูลสุกรร่วมด้วย ทำให้ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพลดลง เนื่องมาจากการเติมเศษอาหารจำนวนมาก ทำให้ปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพน้อยลง สอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ การเติมเศษอาหารที่มากเกินไป ทำให้แบคทีเรียย่อยสลายได้ช้า และเกิดภาวะเป็นกรดมาก (Shin H. S., Han S. K., Song Y. C., & Lee C. Y., 2001) และปริมาณการเติมปริมาณเศษอาหารที่มากเกินไป ส่งผลให้ค่าพีเอช (pH) ลดลง (เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการคือ Acidogenesis

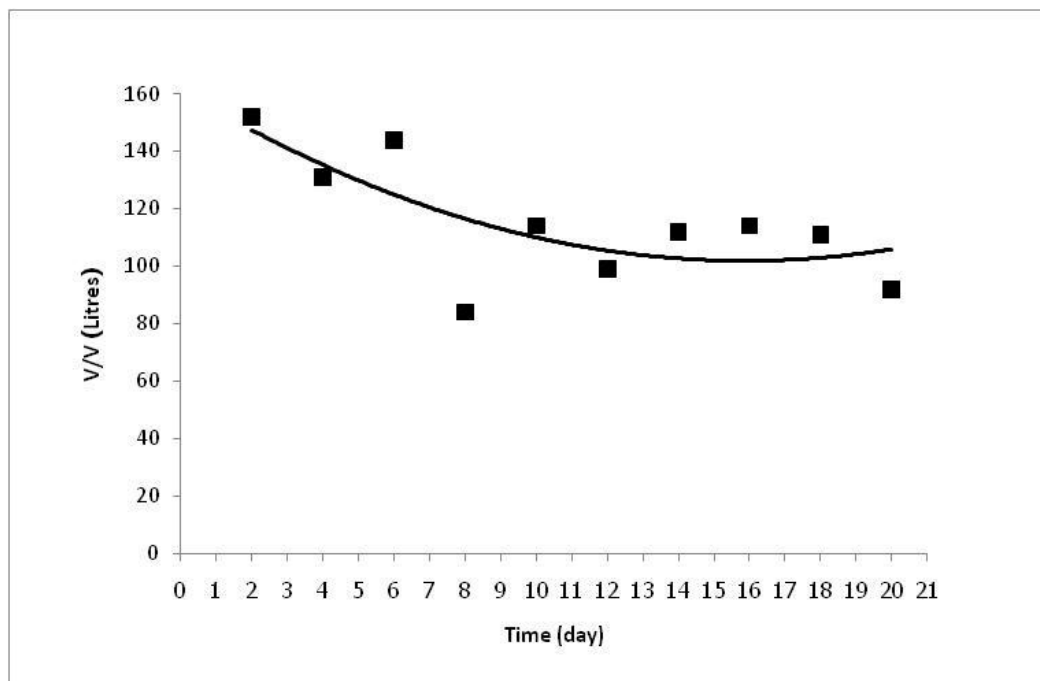
กรดจะถูกผลิตขึ้นมาจนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก Methanogen มีจำนวนน้อยลงและตายหมด ทำให้ประสิทธิภาพการเกิดปริมาณก๊าซน้อยลงอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 11 ปริมาณก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 85 : 15

#### 4.2.2 อัตราส่วน 85 : 15 หรือ เศษอาหาร 22 กิโลกรัม ต่อ มูลสุกร 4 กิโลกรัม อุณหภูมิอยู่ ในช่วงระหว่าง 31-34 องศาเซลเซียส

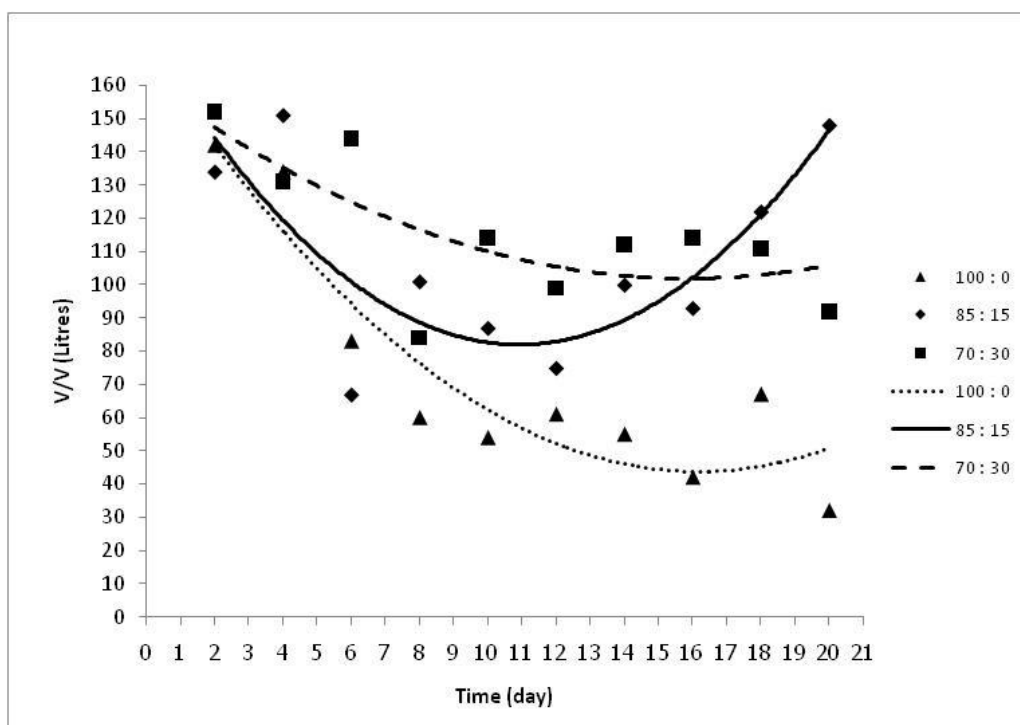
ในช่วงวันที่ 0-4 มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสูง วันที่ 2 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 134 ลิตร และวันที่ 4 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 151 ลิตร หลังจากวันที่ 4 มีปริมาณก๊าซชีวภาพลดลง จนถึงวันที่ 14 ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดของอัตราส่วน 85 : 15 เท่ากับ 151 ลิตร มีปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยที่สุดเท่ากับ 67 ลิตร จากการทดลองในอัตราส่วนนี้แม้ว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพจะมีแนวโน้มการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพลดลงหลังจากช่วงวันที่ 4-13 แต่แนวโน้มหลังจากนั้นซึ่งแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาเกิดก๊าซชีวภาพเมื่อถึงช่วงเวลาหนึ่ง และแสดงถึงการเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพอย่างเห็นได้ชัดเพราะลักษณะการโค้งของกราฟแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับการศึกษาก่อนหน้านี้ เมื่อมีการเติมมูลสุกรลงไปมากกว่าเดิม เปรียบเทียบกับอัตราส่วน 100 : 0 ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มเชื้อแบคทีเรียเข้าไปช่วยในการย่อยสลายและเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพ (Bui X. A. & Preston T. R., 1999)



รูปที่ 12 ปริมาณก๊าซชีวภาพของอัตราส่วน 70 : 30

#### 4.2.3 อัตราส่วน 70 : 30 หรือ เศษอาหาร 18 กิโลกรัม ต่อ มูลสุกร 10 กิโลกรัม อุณหภูมิอยู่ในช่วงระหว่าง 30-34 องศาเซลเซียส

พิจารณาจากกราฟแนวโน้มมีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพที่สูงในช่วงแรก คือ ในช่วงวันที่ 0-6 มีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ 152 ลิตร 131 ลิตร และ 144 ลิตร ตามลำดับ ปริมาณก๊าซชีวภาพสูงสุดของอัตราส่วน 70 : 30 เท่ากับ 152 ลิตร มีปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยที่สุดเท่ากับ 84 ลิตร กราฟแนวโน้มของอัตราส่วนนี้ค่อยๆลดลง จนกระทั่งเริ่มมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นหลังจากการหมักในช่วงหลังวันที่ 19 แต่ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพของอัตราส่วนนี้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้น เนื่องจากกราฟแนวโน้มมีลักษณะค่อยๆโค้งขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยก่อนหน้านี้โดยการทดลองและจำลองปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในอัตราส่วนเศษอาหาร 70 : 30 ที่มีอัตราการหมักในช่วง 20 วันแรกได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 322 L/kgVS ในช่วง 30 วัน ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นเป็น 344 L/kgVS แสดงให้เห็นว่าการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพของอัตราส่วนนี้จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากที่มีการหมักหรือมีระยะเวลาที่เก็บมากขึ้น (Hamed M. E. & Ruihong Z, 2010)



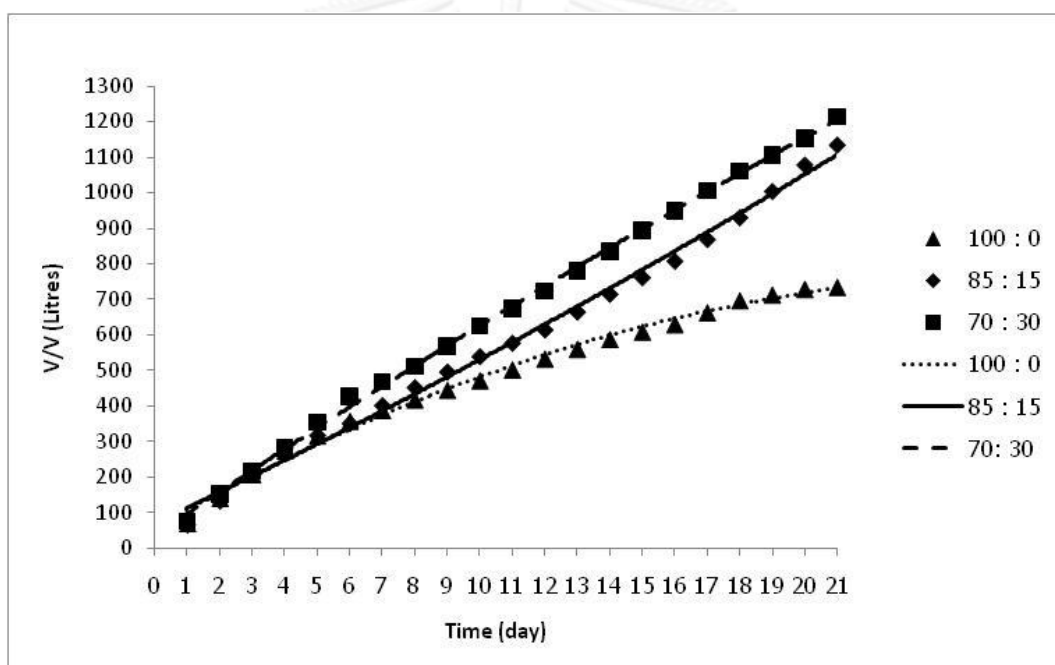
รูปที่ 13 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพของทุกอัตราส่วน

#### 4.2.4 การพิจารณาเปรียบเทียบกราฟแนวโน้มของ 3 อัตราส่วนในการทดลอง

เมื่อสังเกตจากเส้นกราฟแนวโน้มในช่วงแรกของการทดลองของทุกอัตราส่วน พบว่า มีปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพสูง แต่หลังจากวันที่ 4 ปริมาณก๊าซชีวภาพเริ่มลดน้อยลง ซึ่งเส้นกราฟแนวโน้มของอัตราส่วน 70 : 30 ในช่วงแรกจะมีปริมาณก๊าซชีวภาพค่อนข้างสูงกว่าเส้นกราฟแนวโน้มของอัตราส่วน 85 : 15 แต่หลังจากวันที่ 17 เส้นกราฟแนวโน้มเริ่มเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าเส้นกราฟแนวโน้มของอัตราส่วน 70 : 30 ในขณะที่เส้นกราฟแนวโน้มของอัตราส่วน 100 : 0 ต่ำกว่าเส้นกราฟแนวโน้มของอัตราส่วน 85 : 15 และ อัตราส่วน 70 : 30 ตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง แสดงว่าในช่วงแรกของการหมักเศษอาหารร่วมกับมูลสุกรในช่วงแรกของการทดลองจะมีการเกิดก๊าซชีวภาพมากที่สุด และลดลงมาเรื่อยๆจนเมื่อถึงช่วงหนึ่งของการหมัก สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาก่อนหน้านี้ (Ye J. D., Li Y. S., Wang G., & Wang Y., 2013)

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ กับการทดลองนี้พบว่า อัตราส่วน 85 : 15 และ อัตราส่วน 70 : 30 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสูงกว่าอัตราส่วน 100 : 0 และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่น (Mata J. A., Mace S., & Llabres P., 2000) พบว่าการหมักร่วมมากกว่าหนึ่งอย่างจะเป็นการเพิ่มสารอาหารให้กับแบคทีเรียในการย่อยสลาย และทำให้แบคทีเรียสามารถเติบโต ย่อยสลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นมากกว่าการหมักชนิดเดียว และเช่นเดียวกับการวิจัยมูลวัวกับกากน้ำตาล (Misi S.N. & Forster C. F., 2001) ในระบบ Co-digestion ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส มีการเพิ่มปริมาณของก๊าซชีวภาพ (Biogas Yield) จาก 60 L/kgVs เป็น 230 L/kgVs สำหรับจากผลงานวิจัยการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผัก เศษอาหารใน

หลากหลายการศึกษา (Gopi K.K. & Sang H.K. . 2013), (Zhang R., El-Mashad H.M., Hartman K., Wang F.G., & Choate P.G., 2007) พบว่า การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักต่างๆ ส่งผลต่อการผลิตการชีวภาพเพิ่มมากขึ้น โดยการสังเกตในช่วงวันที่ 5-10 ที่มีปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้น เศษผักซึ่งมีองค์ประกอบของคาร์โบไฮเดรตสูง สามารถที่จะมีการย่อยสลายเร็วกว่าพวกโปรตีนและไขมัน และทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ (Dhanalakshmi S.V. & Ramanujam R.A., 2012) งานวิจัยเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพ (Biogas Yield) เฉพาะมูลวัวที่ไม่ได้มีการหมักร่วมมีน้อยกว่างานวิจัยอื่นๆ (Hill D.T., 1983) และการผลิตก๊าซชีวภาพเฉพาะมูลสุกรเพียงอย่างเดียวทำให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนน้อยกว่าการหมักร่วมกับเศษอาหาร และการหมักเศษอาหารเพียงอย่างเดียวทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพน้อยที่สุดในการทดลอง โดยอัตราส่วนมูลสุกร 40 ต่อ เศษอาหาร 60 มีการเกิดปริมาณก๊าซมีเทนมากที่สุด (Shin et al., 2008)

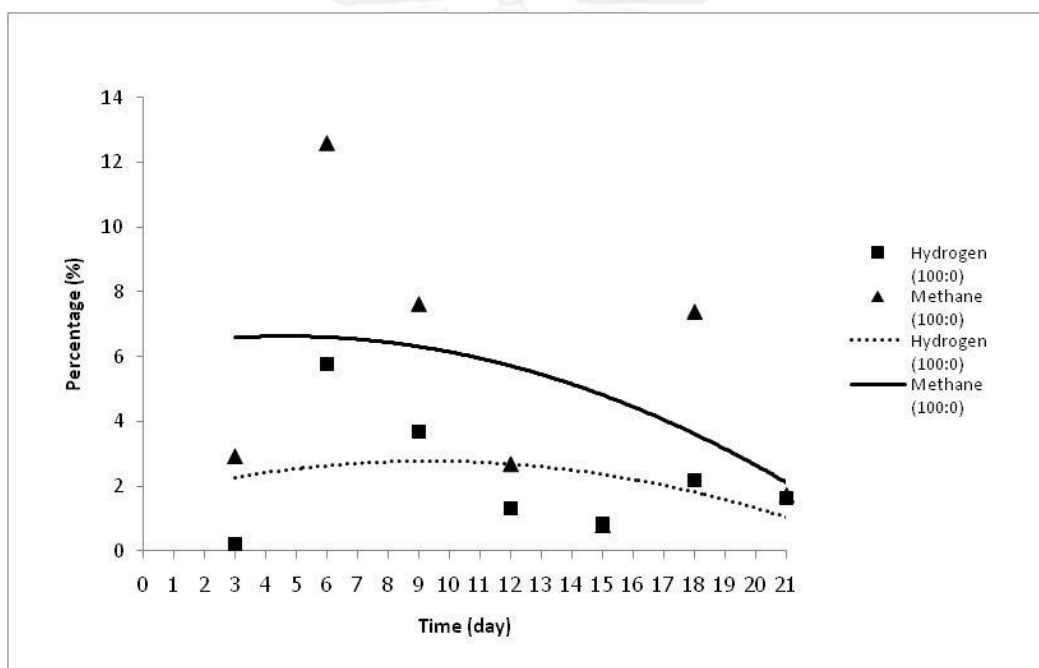


รูปที่ 14 การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของทุกอัตราส่วน

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราส่วน 100 : 0 เท่ากับ 735.5 ลิตร ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราส่วน 85 : 15 เท่ากับ 1,134 ลิตร ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราส่วน 70 : 30 เท่ากับ 1,214.5 ลิตร ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราส่วน 100 : 0 มีปริมาณน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาเส้นกราฟแนวโน้มก็มีแนวโน้มลดลงน้อยลงไปด้วย ในขณะที่อัตราส่วน 70 : 30 มีปริมาณมากที่สุด และอัตราส่วน 85 : 15 ตามลำดับ ซึ่งเส้นกราฟแนวโน้มของทั้งสองอัตราส่วนมีลักษณะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

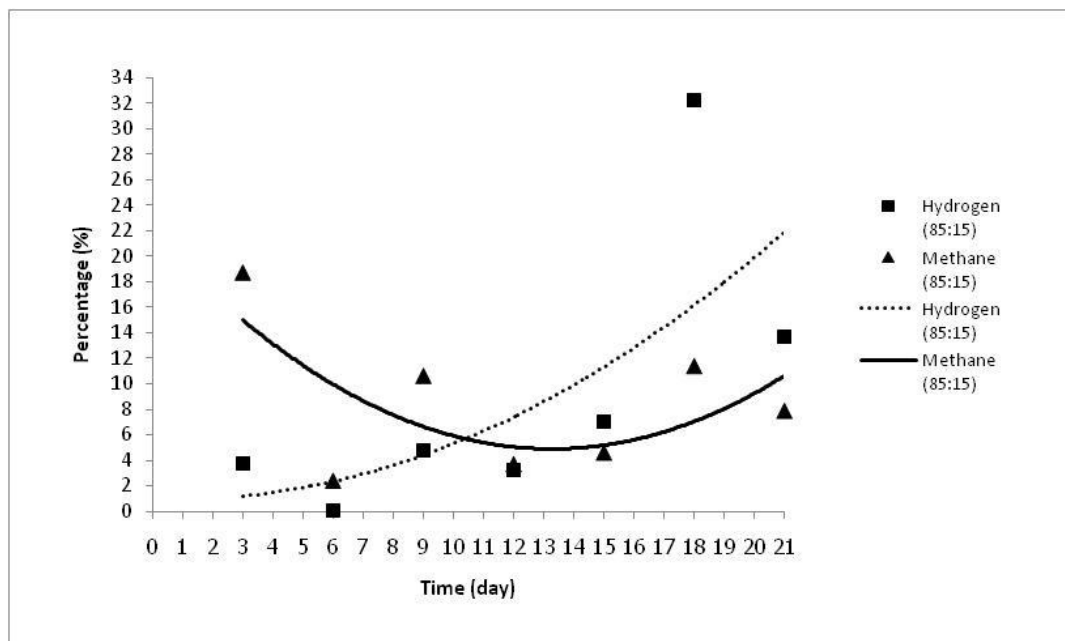
### 4.3 การพิจารณาปริมาณองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 60-65 ซึ่งเกิดขึ้นได้จากการย่อยสลายของชีวมวลรูปแบบต่างๆ โดยอาจพิจารณาการเกิดขึ้นของมีเทนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการให้พลังงาน (ฐปน ชื่นบาน, 2556) มีการศึกษาการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากมูลสุกรโดยใช้กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (มยุรา ศรีกัลยานุกูล, 2556) พบว่าการหมักจากระบบผลิตก๊าซชีวภาพสามารถที่จะผลิตก๊าซไฮโดรเจนซึ่งเป็นก๊าซที่มีประสิทธิภาพ มีความจุพลังงานหรือมีความสามารถในการให้พลังงาน ได้สูงเมื่อเทียบกับการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดอื่น (รัชนิกร วันจันทิก, 2554) งานวิจัยนี้จึงได้ทำการวิเคราะห์ที่มี 2 องค์ประกอบ คือ ปริมาณก๊าซมีเทน (Methane) และปริมาณก๊าซไฮโดรเจน (Hydrogen) โดยวิเคราะห์ตามอัตราส่วน ดังนี้



รูปที่ 15 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ของอัตราส่วน 100 : 0

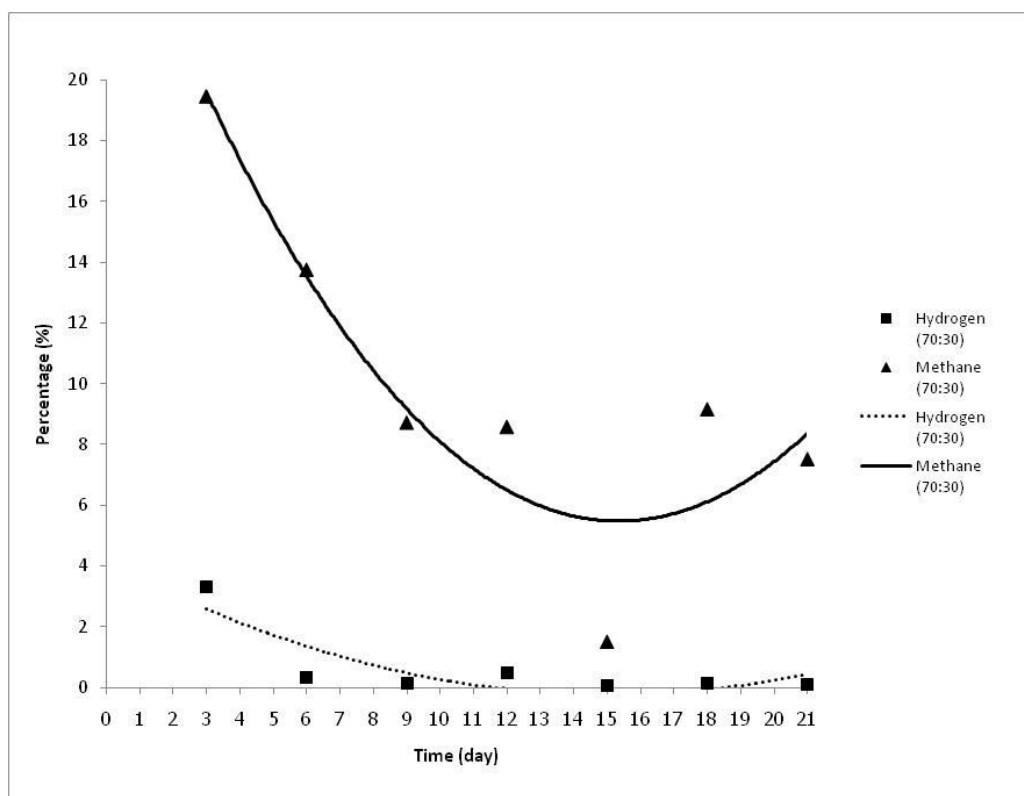
เมื่อพิจารณาจากกราฟแนวโน้มปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ของอัตราส่วน 100 : 0 มีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 5.76 % มีปริมาณน้อยที่สุดเท่ากับ 0.2 % เส้นกราฟแนวโน้มของอัตราส่วนนี้ในช่วงแรกมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ค่อนข้างมาก และหลังจากวันที่ 18 มีแนวโน้มลดลง สำหรับปริมาณก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ของอัตราส่วน 100 : 0 มีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 12.6 % และมีปริมาณน้อยที่สุดเท่ากับ 0.8 % โดยเมื่อพิจารณาจากกราฟแนวโน้มปริมาณก๊าซมีเทน พบว่า ในช่วงแรกจะมีปริมาณก๊าซมีเทนค่อนข้างสูง และปริมาณค่อยๆลดลง หากพิจารณาเปรียบเทียบกับกราฟแนวโน้มของก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทน จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซมีเทนมีปริมาณสูงกว่าก๊าซไฮโดรเจนอย่างเห็นได้ชัด แต่กราฟแนวโน้มทั้งสองเส้นแปรผันตามกัน โดยค่อยๆ ลดปริมาณลงภายหลังจากวันที่ 21



รูปที่ 16 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ของอัตราส่วน 85 : 15

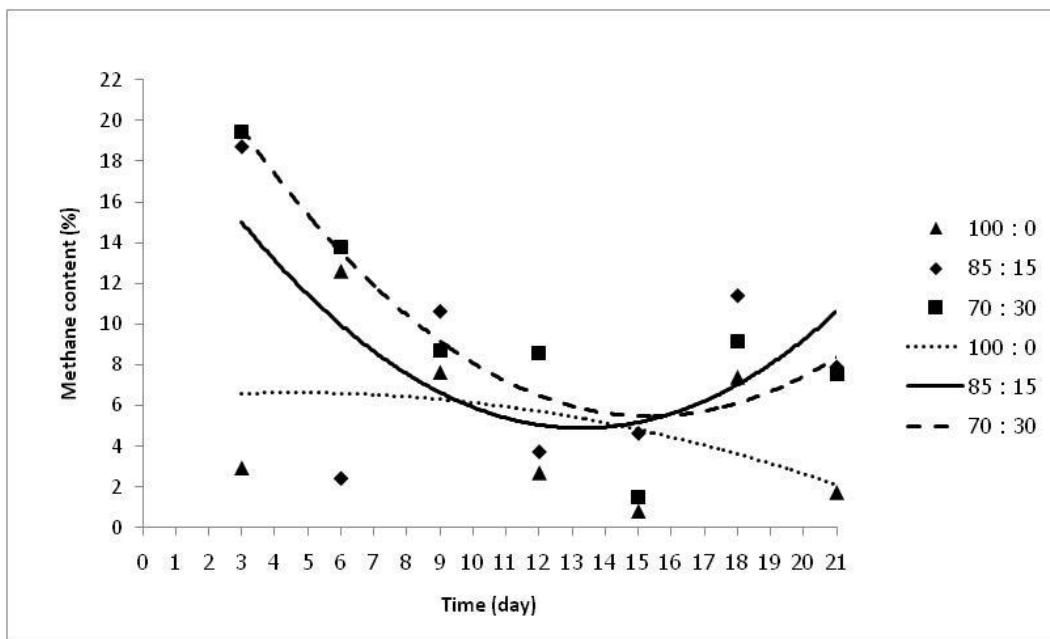
เมื่อพิจารณาจากกราฟแนวโน้มปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 32.26 % และมีปริมาณน้อยที่สุด 0.07 % ในช่วงแรกการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีปริมาณน้อย และค่อยๆ มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น ปริมาณก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ของอัตราส่วน 85 : 15 มีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 18.74 % และมีปริมาณน้อยที่สุด เท่ากับ 2.42 % กราฟแนวโน้มในช่วงแรกของการทดลองมีปริมาณ สูงที่สุด และค่อยๆ ลดลงไป และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นหลังจากวันที่ 15 กราฟแนวโน้มของอัตราส่วนนี้ ในช่วงระยะแรกของการทดลองแปรผกผันกัน แต่ค่อยๆ เพิ่มขึ้นหลังจากนั้น โดยปกติก๊าซชีวภาพจะมี องค์ประกอบของก๊าซมีเทนมากที่สุด แต่สำหรับในการทดลองอัตราส่วนนี้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจน มากกว่าก๊าซมีเทน และแนวโน้มการเพิ่มปริมาณก็สอดคล้องกันตามไปด้วย





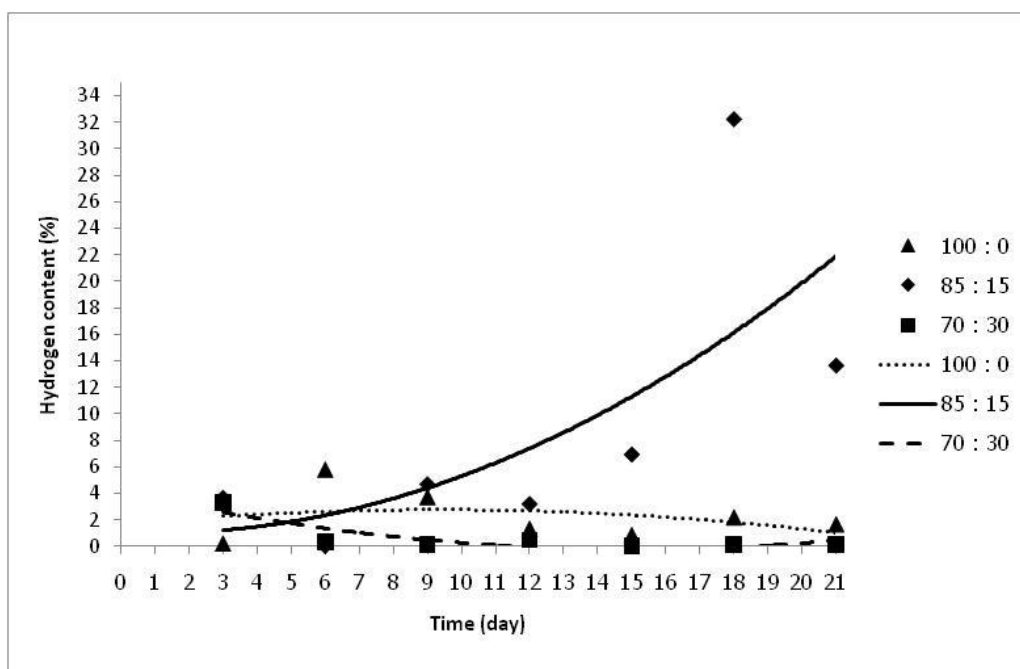
รูปที่ 17 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) และก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ของอัตราส่วน 70 : 30

เมื่อพิจารณาจากกราฟแนวโน้มปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 3.3 % และมีปริมาณน้อยที่สุด 0.06 % ในช่วงแรกการเกิดก๊าซไฮโดรเจนมีปริมาณสูง และค่อยๆ มีแนวโน้มลดลง ปริมาณก๊าซมีเทน ( $CH_4$ ) ของอัตราส่วน 70 : 30 มีปริมาณมากที่สุดเท่ากับ 19.46 % และมีปริมาณน้อยที่สุด เท่ากับ 1.52 % กราฟแนวโน้มในช่วงแรกของการทดลองมีปริมาณสูงที่สุด และค่อยๆ ลดลงไป และมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นหลังจากวันที่ 18 กราฟแนวโน้มของปริมาณก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซมีเทนของอัตราส่วนนี้แปรผันกันตามกัน และมีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนน้อยกว่าปริมาณก๊าซมีเทน และปริมาณแตกต่างกันอย่างชัดเจน เช่นเดียวกับงานวิจัยอื่น (ทวิรัตน์ สเลอาด, 2554)



รูปที่ 18 ปริมาณก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) ของอัตราส่วนทุกอัตราส่วน

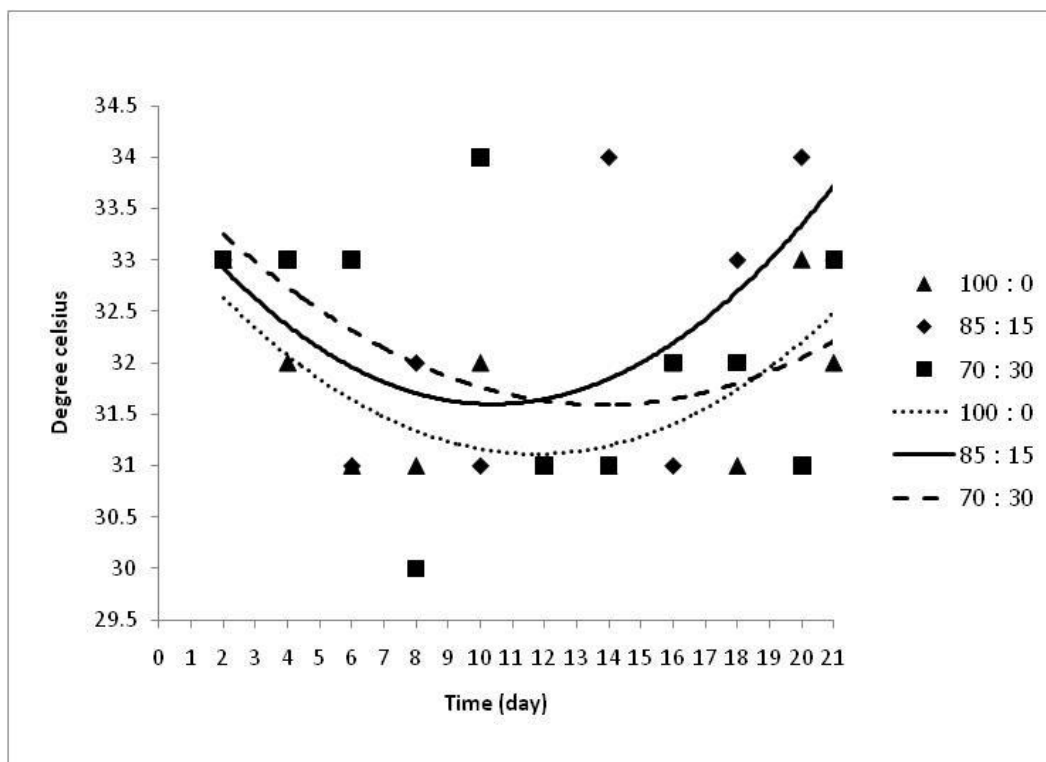
กราฟแนวโน้มปริมาณมีเทน ( $\text{CH}_4$ ) พบว่าปริมาณก๊าซมีเทนของอัตราส่วน 100 : 0 มีปริมาณก๊าซมีเทนน้อยที่สุด และมีแนวโน้มลดลงอย่างชัดเจน เป็นการแสดงให้เห็นว่าการเติมเศษอาหารเพียงอย่างเดียวและปริมาณมาก ทำให้เกิดปริมาณก๊าซมีเทนน้อย เนื่องจากแบคทีเรียไม่สามารถที่จะย่อยสลายเศษอาหารที่มีจำพวกคาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน และสารอาหารอื่นๆ ที่มีปริมาณมากได้หมด ในขณะที่อัตราส่วน 85 : 15 และ 70 : 30 ที่มีการผสมมูลสุกรด้วยนั้นมีแนวโน้มการเกิดก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น ในช่วงแรกพบว่าอัตราส่วนทั้งสองมีการเกิดปริมาณก๊าซมีเทนสูงเหมือนกัน ลดลงมาเหมือนกัน และเมื่อถึงช่วงระยะเวลาหลังวันที่ 16 เป็นต้นไปมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเหมือนกันอีกด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมเศษอาหารและมูลสัตว์มีประสิทธิภาพการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่าการเติมเศษอาหารเพียงอย่างเดียว และเมื่อพิจารณาระหว่างอัตราส่วน 85 : 15 และ 70 : 30 แล้ว พบว่า อัตราส่วน 70 : 30 มีปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่า อัตราส่วน 85 : 15 แต่หลังจากวันที่ 18 แนวโน้มอัตราส่วน อัตราส่วน 85 : 15 จะมีปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่าอัตราส่วน 70 : 30 ซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยการหมักระหว่างมูลวัว เศษผักและผลไม้ ในระบบ CSTR ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส ที่มีการเติมปริมาณเศษผักและผลไม้ในระบบฯ ส่งผลให้ปริมาณก๊าซมีเทน (methane yield) เพิ่มขึ้นจาก 230 L/kgVs เป็น 450 L/kgVs (Callaghan F. J., Waste D. A.J., Thayanithy K., & Forster C.F., 2002)



รูปที่ 19 ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ของอัตราส่วนทุกอัตราส่วน

กราฟแนวโน้มปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ของอัตราส่วน 70 : 30 มีปริมาณน้อยที่สุด และสอดคล้องกับอัตราส่วน 100 : 0 และมีแนวโน้มลดลง ในขณะที่ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ของอัตราส่วน 85 : 15 มีปริมาณสูงที่สุด และมีแนวโน้มเพิ่มปริมาณขึ้น ก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่สามารถไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสามารถใช้ได้หลายรูปแบบ เช่น ใช้เป็นเชื้อเพลิงเผาไหม้ให้พลังงานโดยตรง ใช้เป็นวัตถุดิบในการเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ โดยผ่านเซลล์เชื้อเพลิงหรือ Fuel cell หรือใช้เป็นสารตั้งต้นในปฏิกิริยาต่างๆ เช่น ในปฏิกิริยา Hydrogenation Processes เป็นต้น (Quakernaat J., 1995) ทำให้ก๊าซไฮโดรเจนเหมาะที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งพลังงานทดแทนน้ำมัน (Liu H. et al., 2006) นักวิทยาศาสตร์จึงหันมาพัฒนาการผลิตไฮโดรเจนโดยกระบวนการทางชีวภาพหรือไบโอไฮโดรเจน (Biohydrogen) (Hallenbeck P.C. & Benemann J.R., 2002) แต่ก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นในการหมักของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในภาคทดลองนี้มีปริมาณน้อย แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าในอัตราส่วน 85 : 15 มีการผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้สูงกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

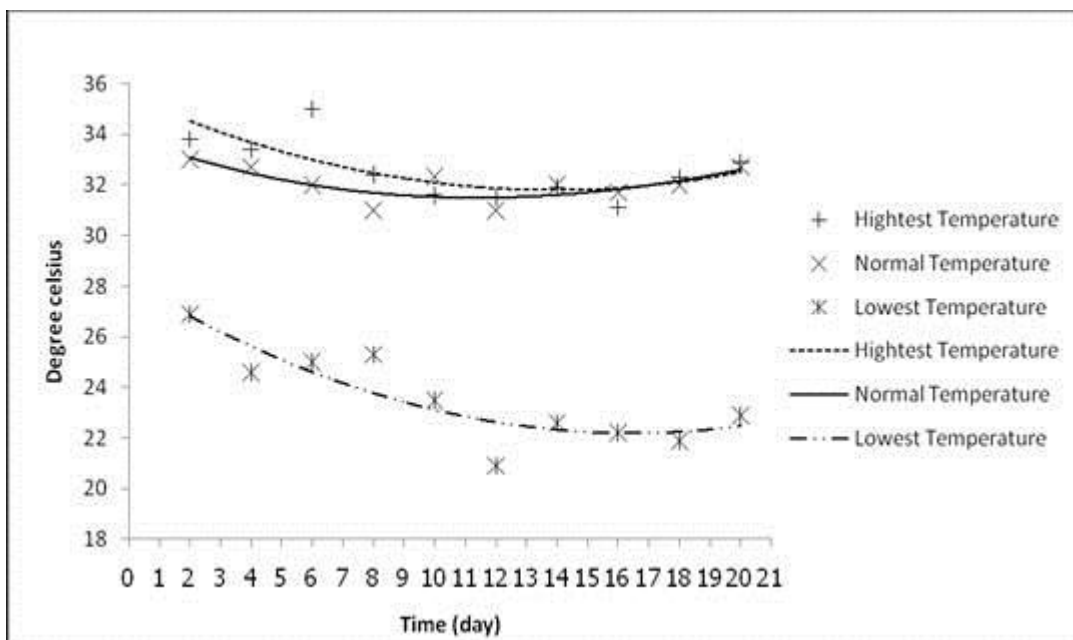
#### 4.4 ผลของอุณหภูมิต่อการทดลอง



รูปที่ 20 อุณหภูมิของทุกอัตราส่วน

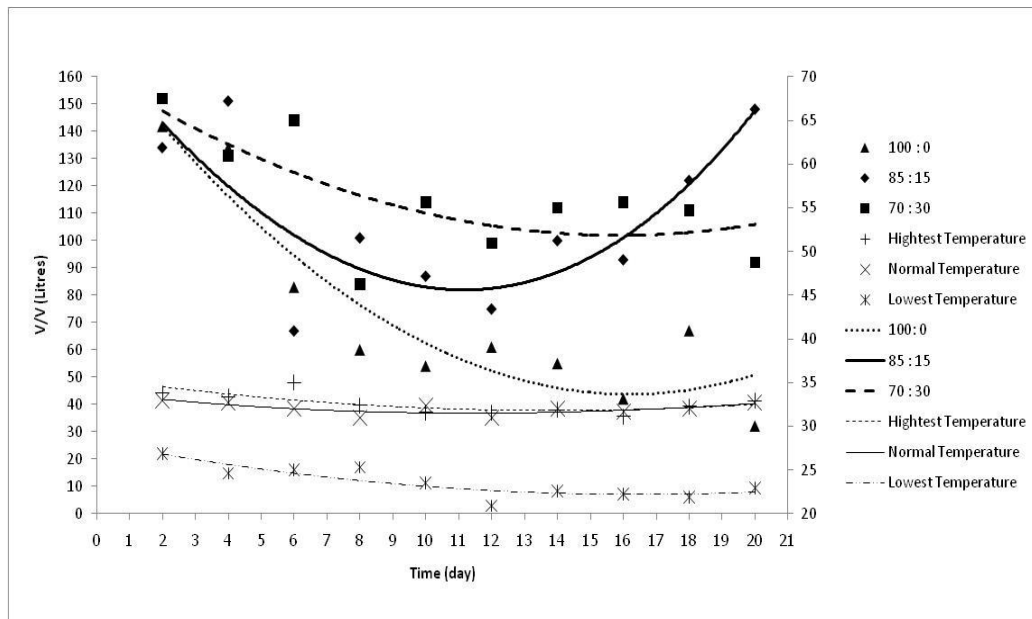
อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพและมีความสำคัญต่อกระบวนการเมทาบอลิซึมของจุลินทรีย์ภายในระบบ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแบคทีเรียมีแนวโน้มที่จะมีกระบวนการเมทาบอลิซึมสูงขึ้นด้วยส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น (วรรณกร กุลศรี, 2552) เมื่อพิจารณากราฟแสดงผลการเก็บอุณหภูมิในการทดลองซึ่งเก็บผลในช่วงเวลาระหว่าง 08.30-12.00 น. โดยทำการบันทึกทุก 2 วัน ในทุกอัตราส่วน พบว่าอุณหภูมิใกล้เคียงกัน แต่อุณหภูมิของอัตราส่วน 100 : 0 มีอุณหภูมิต่ำที่สุด ซึ่งอุณหภูมิมิผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ ปกติประเทศไทยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-31 องศาเซลเซียส โดยอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ ช่วงมีโซฟิลิก (Mesophilic Range) คือ 25-40 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีความเหมาะสม จากการศึกษาก่อนหน้านี้ได้เปรียบเทียบช่วงอุณหภูมิมิโซฟิลิก (Mesophilic) และเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ภายในการทดลองแบบทรีกลุ่มที่ไม่ต้องการออกซิเจนและกลุ่มที่อยู่ได้ทั้งสภาพที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจนส่วนใหญ่ชอบอุณหภูมิสองช่วงนี้มากที่สุด และอุณหภูมิช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ทำให้เกิดปฏิกิริยาเร็วและมีประสิทธิภาพดีกว่ามีโซฟิลิก (Mesophilic) (Ahn J.H. & Forster C.F., 2002) อย่างไรก็ตามแบคทีเรียไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิช่วงเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic) ได้มากเท่าที่ควร ทำให้แบคทีเรียสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ในปริมาณมากในช่วงอุณหภูมิมิโซฟิลิก (Mesophilic) (Campos E., Palatsi j., & Flotats X., 1999) ทั้งนี้ งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ ขนาด

2,000 ลิตร ลักษณะอุณหภูมิที่ไม่สามารถควบคุมได้ จึงถือว่าเป็นอุณหภูมิปกติที่มีความเหมาะสมในการเดินระบบ โดยอยู่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 30-34 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกับงานวิจัยก่อนหน้านี้ที่สนับสนุนว่าอุณหภูมิมีความเหมาะสมในการทดลอง (อัจฉรา พิเลิศ et al., 2555)



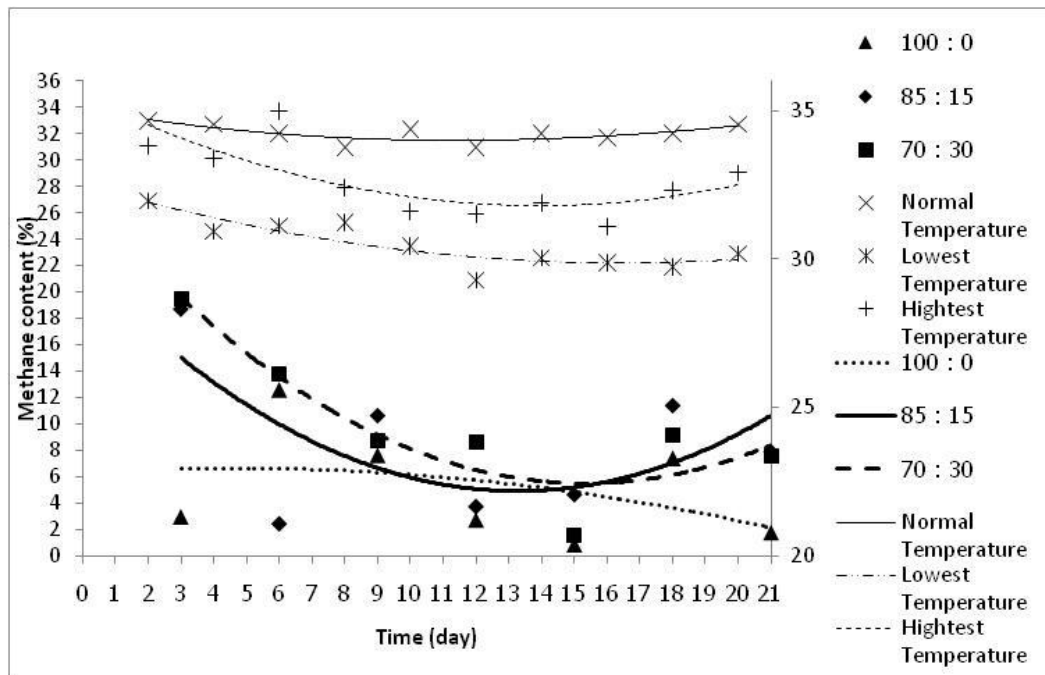
รูปที่ 21 อุณหภูมิสูงสุด ปกติ และต่ำสุดของทุกอัตราส่วน

กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิในแต่ละช่วงเวลาในการเก็บผลการทดลอง โดยเป็นอุณหภูมิสูงสุดและต่ำที่สุดของให้ช่วงเวลาในแต่ละวัน แม้ว่าในแต่ละเวลาที่อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงจึงมีการส่งผลต่อการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพในช่วงเวลานั้นๆด้วย เมื่อสังเกตอุณหภูมิในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง พบว่ามีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิสูงสุดในแต่ละวัน โดยเป็นช่วงเวลากลางวัน แต่เมื่อพิจารณาอุณหภูมิต่ำที่สุด ซึ่งจะเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดดแล้ว อุณหภูมิจะมีการลดลงและแตกต่างจากอุณหภูมิสูงสุดและอุณหภูมิปกติ โดยผลของอุณหภูมิลดลงและความแตกต่างกันส่งผลต่อการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพเช่นกัน (Madigan M.T., Martinko J.H., & Parker J., 1997) จากผลของอุณหภูมิในการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าเมื่ออุณหภูมิต่ำทำให้อัตราการเกิดก๊าซชีวภาพน้อยลง เนื่องจากการเติบโตของเมทาโนเจน (Methanogens) ซึ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน มีการเจริญเติบโตได้น้อยลง ยิ่งเมื่ออุณหภูมิต่ำ อัตราการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่มนี้มีปริมาณลดน้อยลง และเมื่ออุณหภูมิสูงยิ่งส่งผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียกลุ่ม (Lettinga G., Van-Velsen A.F.M, Hobma S.W., De-Zecuw W., & Klapwijk A., 1982) ดังนั้น เมื่ออยู่ในช่วงกลางคืนหรือช่วงเวลาที่มียุณหภูมิต่ำที่สุดของแต่ละอัตราส่วนของแต่ละวันนั้น จึงมีผลให้ช่วงเวลานั้นเกิดก๊าซชีวภาพน้อยลงไปด้วย



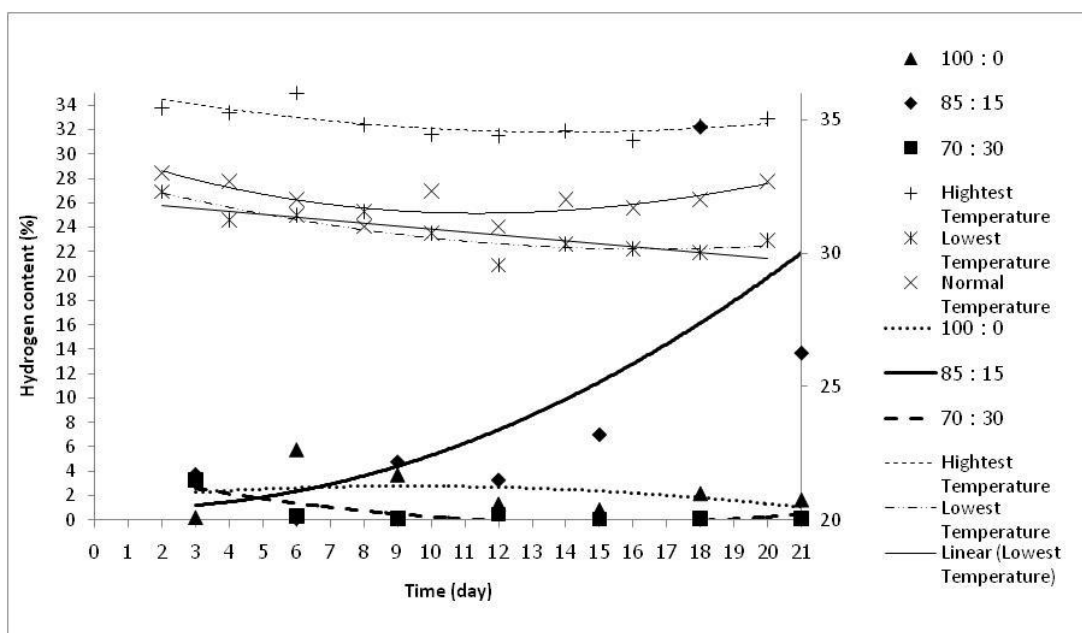
รูปที่ 22 การเกิดก๊าซชีวภาพในแต่ละอัตราส่วนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ

เมื่อเปรียบเทียบกราฟการเกิดก๊าซชีวภาพ และกราฟอุณหภูมิพบว่าแนวโน้มการเกิดก๊าซชีวภาพแปรผันตรงกับอุณหภูมิ โดยอุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิปกติมีความใกล้เคียงกัน ซึ่งในช่วงเวลาของการเก็บข้อมูลนั้นเป็นช่วงที่มีอุณหภูมิประมาณ 30-34 องศาเซลเซียส โดยส่วนใหญ่การเกิดก๊าซชีวภาพจะเกิดมากในช่วงเวลากลางวันที่มีอุณหภูมิสูง การเก็บผลก๊าซชีวภาพทำการเก็บผลในช่วงเวลาเดียวกับการเก็บอุณหภูมิและพบว่าผลการเก็บอุณหภูมิ หรืออุณหภูมิปกติสอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น แต่ในแต่ละอัตราส่วนมีความแตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของน้ำในถังหมักนั้น ขึ้นอยู่กับอากาศภายนอกถังหมัก ส่งผลให้อุณหภูมิของน้ำในถังหมักนั้นเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ทั้งนี้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเกิดจากปัจจัยอื่นนอกเหนือจากอุณหภูมิเช่นกัน



รูปที่ 23 การเกิดก๊าซมีเทนในแต่ละอัตราส่วนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ

กราฟแนวโน้มการเกิดก๊าซมีเทนของแต่ละอัตราส่วนเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิมีความสอดคล้องกัน แต่ช่วงเวลาในการเก็บข้อมูลเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับการเก็บผลอุณหภูมิปกติ ในอัตราส่วน 70 : 30 และอัตราส่วน 85 : 15 มีแนวโน้มปริมาณสูงขึ้น ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ในช่วง 30-35 องศาเซลเซียส แต่อัตราส่วน 100 : 0 มีแนวโน้มลดน้อยลง ทั้งนี้ปริมาณเกิดก๊าซมีเทนเกิดจากหลายๆ ปัจจัยนอกเหนือจากอุณหภูมิ

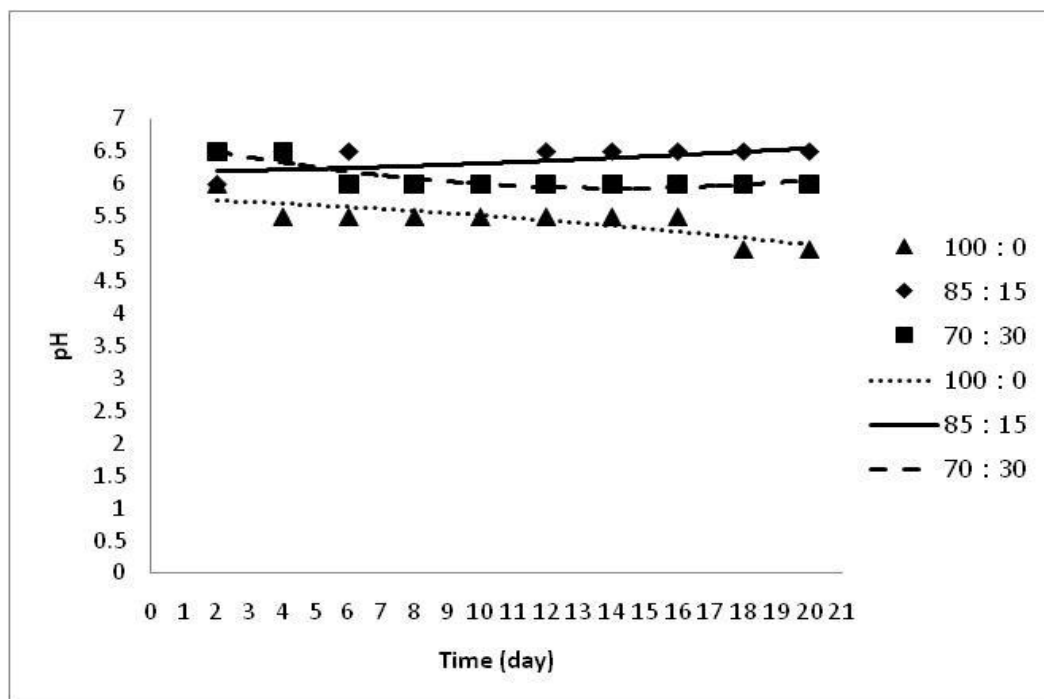


รูปที่ 24 การเกิดก๊าซไฮโดรเจนในแต่ละอัตราส่วนเปรียบเทียบกับอุณหภูมิ

ก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นน้อยมากในระบบผลิตก๊าซชีวภาพ แต่ในการทดลองอัตราส่วน 85 : 15 เกิดก๊าซไฮโดรเจนมีปริมาณสูง และมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งผลการทดลองนี้ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษามาก่อนหน้านี้โดยทำการศึกษากการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซมีเทนจากขยะมูลฝอยในครัวเรือนในกระบวนการหมักสองขั้นตอน ได้ทำการศึกษาปัจจัยทางสภาพแวดล้อม เช่น pH อุณหภูมิ ความเข้มข้นของการเกิดกรด เป็นต้น ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซมีเทน เมื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างไฮโดรเจนและผลผลิต VFA พบว่าการเปลี่ยนแปลงของกรดอะซิติก และ กรดบิวทิริกส่งผลในการเพิ่มขึ้นของก๊าซไฮโดรเจนทำให้ได้ก๊าซไฮโดรเจนเท่ากับ 88% และก๊าซมีเทนเท่ากับ 21% (Liu H. et al., 2006) ซึ่งจะสังเกตว่าเกิดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนสูงเช่นเดียวกันกับการทดลองนี้ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซไฮโดรเจนขึ้นกับชนิดของจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์กลุ่ม Strictly anaerobe และ Facultative anaerobe สามารถเจริญเติบโตและผลิตก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิในช่วง 25-40 °C เมื่อเปรียบเทียบในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว พบว่าเชื้อ Clostridium sp. และ Enterobacter sp. จะผลิตก๊าซไฮโดรเจนได้ดีที่อุณหภูมิประมาณ 35-40 °C (Lettinga G. et al., 1982)

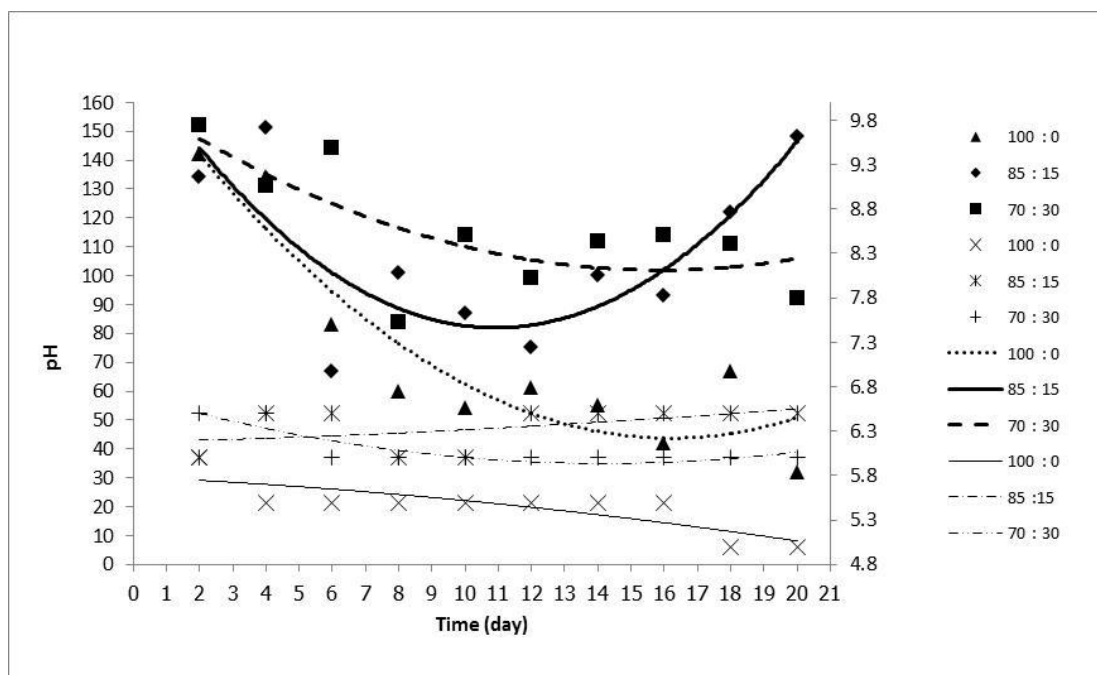


#### 4.5 ผลของค่าพีเอช (pH) ต่อการทดลอง



รูปที่ 25 ค่าพีเอช (pH) ในแต่ละอัตราส่วน

ค่าพีเอช สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงสถานะภายในระบบถังหมัก จากงานวิจัยก่อนหน้านี้ (McCarty P.L., 1964), (McCarty P.L. & McKinney R.E., 1961) พบว่าระบบสามารถทำงานได้ดีในช่วงค่าพีเอชระหว่าง 6.6 -6.7 ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว เพราะสถานะนี้จะเป็นอันตรายต่อจุลินทรีย์พวกที่สร้างก๊าซมีเทน (Bryant M.P., 1979) เนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถใช้กรดอินทรีย์ระเหยได้ทัน และจะมีการสะสมเพิ่มขึ้น และส่งผลให้ค่าพีเอชลดลง ถ้าหากต่ำลงถึง 4.6-5.0 จะทำให้ Methanogenic Bacteria หยุดการเจริญเติบโตและทำให้ระบบล้มเหลวได้ เมื่อพิจารณาค่าพีเอชของอัตราส่วน 100 : 0 พบว่าในช่วงแรกของการทดลองมีค่าพีเอช 6 และลดลงจนกระทั่งมีค่าพีเอช 5 ค่าพีเอชของอัตราส่วน 85 : 15 มีค่าพีเอชค่อนข้างสม่ำเสมอ คืออยู่ในช่วง 6-6.5 และอัตราส่วน 70 : 30 มีค่าพีเอชในช่วงแรก 6.5 และลดลงเป็น ค่าพีเอช 6 จนกระทั่งจบการทดลอง โดยในการทดลองนี้ไม่มีการควบคุมค่า พีเอช เพื่อให้สามารถวัดค่าของการทดลองได้จริง ซึ่งมีผลต่อการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซไฮโดรเจน



รูปที่ 26 ค่าพีเอช (pH) เปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพในแต่ละอัตราส่วน

ค่าพีเอชเป็นส่วนหนึ่งในปัจจัยที่มีความสำคัญ ในช่วงค่าพีเอชที่มีความเหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่มสร้างมีเทน (Methanogen Bacteria) อยู่ในช่วงประมาณ 6.0-8.0 หากค่าพีเอชต่ำหรือสูงกว่านี้จะมีผลต่อการทำงานของแบคทีเรียทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนลดลง (Callaghan F. J. et al., 2002) ซึ่งสอดคล้องกับค่าพีเอชของอัตราส่วน 100 : 0 ที่มีค่าพีเอชต่ำกว่า 6 ซึ่งผลการเกิดก๊าซชีวภาพค่อยๆมีแนวโน้มลดลง แต่หากการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนหยุดลงเมื่อมีค่าพีเอชมากกว่า 8.0 เนื่องจากเมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนจะทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) ซึ่งจะไปยับยั้งการทำงานและเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดไร้อากาศมากกว่าแอมโมเนียไนโตรเจน (Seadren E.A., Levine A.B., & Dague R.R., 1991) แต่ในส่วนพีเอชของอัตราส่วน 85 : 15 และอัตราส่วน 70 : 30 โดยเฉลี่ยประมาณ 6-6.5 ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการหมักในระบบแปรรูปตรงกับการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งสองอัตราส่วน

สำหรับ C/N Ratio หรืออัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจน ของอัตราส่วน 100 : 0 เท่ากับ 22.22 อัตราส่วน 85 : 15 เท่ากับ 19.99 และอัตราส่วน 70 : 30 เท่ากับ 17.83 โดยช่วงอัตราส่วนระหว่าง C/N Ratio ของแต่ละอัตราส่วนการทดลองมีความเหมาะสม เพราะอยู่ในช่วง 8-30 ซึ่งค่า C/N Ratio มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพของแบคทีเรีย หากมีค่าสูงจะส่งผลต่อการเกิดสภาวะเป็นกรด-ด่าง จะทำให้เกิดพิษต่อแบคทีเรียได้ โดยค่า C/N Ratio ในแต่ละอัตราส่วนการทดลองมีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพด้วย โดยในอัตราส่วน 85 : 15 มีค่า C/N Ratio สูงกว่าอัตราส่วน 70 : 30 ซึ่งทำให้ก๊าซชีวภาพที่ได้สูงกว่า อย่างไรก็ตามปัจจัยอื่นๆ ก็เป็นตัวสำคัญที่มีผลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ แม้ว่าอัตราส่วน 100 : 0 จะมีค่า C/N Ratio สูงที่สุด และมีความเหมาะสมกว่า

ทุกอัตราส่วน แต่สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้น้อยที่สุด อาจเนื่องมาจากการเติมเศษอาหารเข้าระบบ จำนวนมากเกินไปที่แบคทีเรียจะสามารถย่อยสลาย หรือเกิดภาวะการเป็นกรด-ด่าง สูงหรือต่ำ อุณหภูมิ การขาดเศษอาหาร และสภาวะการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพไม่ใช่ระบบปิดอย่างสมบูรณ์ (Ponsá S., Ferrer I., Vázquez F., & Font X., 2008)

ความแตกต่างระหว่างมูลสดและมูลแห้ง จากการรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้เปรียบเทียบ การเกิดก๊าซมีเทนจากมูลสดและมูลแห้ง พบว่า มูลสดสามารถที่จะผลิตปริมาณมีเทนได้มากกว่าการใช้มูลแห้ง เพราะมูลแห้งมีการสูญเสียสารอาหารที่สำคัญที่จะทำให้เกิดก๊าซมีเทน (Chen T.H., Day D.L., & Steinberg M.P., 1988) โดยมีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนในงานวิจัยนี้ เนื่องจากมูลที่ได้นำมาทำการทดลองได้มีการกักเก็บเป็นระยะเวลาในขณะที่มีการทดลอง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อ การเกิดก๊าซมีเทนในแต่ละอัตราส่วน

#### 4.6 การคำนวณค่าความร้อนจากการทดลอง

ตารางที่ 13 ค่าความร้อนของอัตราส่วนต่างๆ

	อัตราส่วน		
	100 : 0	85 : 15	70 : 30
Heating Value (MJ/kg)	0.46746	1.49079	1.41889
เท่า	1	3.189	3.035

จากการทดลองในครั้งนี้ ได้คำนวณค่าความร้อนที่ได้จากการเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ ปริมาณก๊าซมีเทน และปริมาณก๊าซไฮโดรเจน โดยการคำนวณได้มีการคิดจากเศษอาหารที่เติมเข้าไปภายในระบบ 286 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนของค่าความร้อน พบว่า อัตราส่วน 85 : 15 มีค่าความร้อนสูงสุด คิดเป็น 3.189 เท่าเมื่อเทียบกับอัตราส่วน 100 : 0 และอัตราส่วน 70 : 30 มีค่าความร้อนคิดเป็น 3.035 เท่าของอัตราส่วน 100 : 0 ซึ่งค่าความร้อนสามารถเปรียบเทียบได้กับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น แอลพีจีเพื่อทดแทนก๊าซหุงต้ม แอลพีจีเพื่อทดแทนน้ำมันเชื้อเพลิง, ความร้อนเพื่อผลิตไฟฟ้า เป็นต้น หากการหมักก๊าซชีวภาพโดยใช้วัสดุหมักเพียงอย่างเดียว ทำให้เกิดปริมาณค่าความร้อนได้น้อย เท่ากับ 0.46746 MJ/kg และหากมีการหมักร่วมของวัสดุหมักทำให้เกิดปริมาณค่าความร้อนได้ เท่ากับ 1.49079 MJ/kg และ 1.41889 MJ/kg ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าการหมักด้วยวัสดุเพียงอย่างเดียวทั้งนี้ค่าความร้อนตามอัตราส่วนสามารถที่จะจำลองหรือเปรียบเทียบกับจำนวนปริมาณของวัสดุภายในพื้นที่ เพื่อประเมินการลดของเสียภายในพื้นที่นั้นๆ ได้

#### 4.7 การจำลองเปรียบเทียบศักยภาพของของเสียภายในพื้นที่

การคำนวณจากประชากรในพื้นที่ศึกษาในพื้นที่ กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ (บางเขน) จำนวน 7,223 คน โดยมีปริมาณเศษอาหารเหลือเฉลี่ย 0.63 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน (Alice S. & Janya S.A., 2012) คิดเป็นเศษอาหารเหลือทิ้งต่อวันเท่ากับ 4,550.49 กิโลกรัมต่อวัน และพิจารณาการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระยะเวลา 300 วัน (เวลาที่เหลือ 65 วัน เป็นการดูแลรักษาระบบฯ และการเริ่มต้นระบบฯ)

##### 4.7.1 กรณีศึกษาจากอัตราส่วน 100 : 0

ตารางที่ 14 การคำนวณปริมาณและการเปรียบเทียบกับค่าแอลพีจี ของอัตราส่วน (100 : 0)

พารามิเตอร์	จำนวน
ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด (ลิตร)	3,510,718.95
ปริมาณมีเทน (ลิตร)	61,156.72
ปริมาณไฮโดรเจน (ลิตร)	23,416.50
ปริมาณค่าความร้อนมีเทน (MJ/kg)	2,002.18
ปริมาณค่าความร้อนไฮโดรเจน(MJ/kg)	229.91
ปริมาณค่าความร้อนทั้งหมด (MJ/kg)	2,232.09
เทียบ LPG (กิโลกรัม)	485.24
เทียบ LPG 15 กิโลกรัม (ถัง)	32.35 (~ 32 ถัง)

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองและอัตราส่วนจริง พบว่า อัตราส่วน 100 : 0 มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 3,510,718.95 ลิตร มีค่าความร้อนทั้งหมด 2,231.33 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิง LPG โดยเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง LPG (4.6 MJ/kg) เท่ากับ 485.07 กิโลกรัม หรือเทียบเท่า LPG 15 กิโลกรัม จำนวน 32 ถัง

##### 4.7.2 กรณีศึกษาจากอัตราส่วน 85 : 15

ตารางที่ 15 การคำนวณปริมาณและการเปรียบเทียบกับค่าแอลพีจี ของอัตราส่วน (85 : 15)

พารามิเตอร์	จำนวน
ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด (ลิตร)	5,412,855.59
ปริมาณมีเทน (ลิตร)	164,821.45
ปริมาณไฮโดรเจน (ลิตร)	175,160.01
ปริมาณค่าความร้อนมีเทน (MJ/kg)	5,396.02
ปริมาณค่าความร้อนไฮโดรเจน(MJ/kg)	1,719.77
ปริมาณค่าความร้อนทั้งหมด (MJ/kg)	7,115.79
เทียบ LPG (กิโลกรัม)	1,546.91
เทียบ LPG 15 กิโลกรัม (ถัง)	103.13 (~ 103 ถัง)

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองและอัตราส่วนจริง พบว่า อัตราส่วน 85 : 15 มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 5,412,855.59 ลิตร มีค่าความร้อนทั้งหมด 7,110.06 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิง LPG โดยเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง LPG (4.6 MJ/kg) เท่ากับ 1,545.67 กิโลกรัม หรือเทียบเท่า LPG 15 กิโลกรัม จำนวน 103 ถัง

#### 4.7.3 กรณีศึกษาจากอัตราส่วน 70 : 30

ตารางที่ 16 การคำนวณปริมาณและการเปรียบเทียบกับค่าแอลพีจีของอัตราส่วน (70 : 30)

พารามิเตอร์	จำนวน
ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด (ลิตร)	5,797,101.51
ปริมาณมีเทน (ลิตร)	202,724.64
ปริมาณไฮโดรเจน (ลิตร)	13,855.07
ปริมาณค่าความร้อนมีเทน (MJ/kg)	6,636.92
ปริมาณค่าความร้อนไฮโดรเจน(MJ/kg)	136.03
ปริมาณค่าความร้อนทั้งหมด (MJ/kg)	6,772.95
เทียบ LPG (กิโลกรัม)	1,472.38
เทียบ LPG 15 กิโลกรัม (ถัง)	98.16 (~ 98 ถัง)

เมื่อเปรียบเทียบการทดลองและอัตราส่วนจริง พบว่า อัตราส่วน 70 : 30 มีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด 5,797,101.51 ลิตร มีค่าความร้อนทั้งหมด 6,772.50 MJ/kg เมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิง LPG โดยเปรียบเทียบกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง LPG (4.6 MJ/kg) เท่ากับ 1,472.28 กิโลกรัม หรือเทียบเท่า LPG 15 กิโลกรัม จำนวน 98 ถัง

เมื่อพิจารณาจากการคำนวณจากอัตราส่วนทั้ง 3 อัตราส่วน คือ อัตราส่วน 100 : 0 85: 15 และ 70 : 30 พบว่า อัตราส่วน 70 : 30 มีปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด แต่อัตราส่วน 85: 15 มีปริมาณค่าความร้อนมากที่สุด และสามารถทดแทนเชื้อเพลิง LPG ได้มากที่สุด เท่ากับ 103 ถึง โดยคิดเป็น 3.189 เท่าของอัตราส่วน 100 : 0



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษากาการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในหน่วยทหาร : กรณีศึกษากากรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ พบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมระหว่าง เศษอาหารและมูลสุกรของอัตราส่วน 100 : 0 เท่ากับ 735.5 ลิตร ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราส่วน 85 : 15 เท่ากับ 1,134 ลิตร ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของอัตราส่วน 70 : 30 เท่ากับ 1,214.5 ลิตร โดยอัตราส่วน 100 : 0 มีปริมาณมีเทนมากที่สุด เท่ากับ 5.76 % ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) เท่ากับ 5.76 % อัตราส่วน 85 : 15 มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 18.74 % ปริมาณก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 32.26 % และอัตราส่วน 70 : 30 มีปริมาณมีเทนมากที่สุดเท่ากับ 19.46 % ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) มีปริมาณมากที่สุด เท่ากับ 3.3 % โดยอุณหภูมิลอยในช่วงระหว่าง 30-34 องศาเซลเซียส และค่าพีเอชของทั้งสามอัตราส่วน ประมาณ 5.0-6.5 สำหรับ C/N Ratio หรืออัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างคาร์บอนและไนโตรเจนของอัตราส่วน 100 : 0 เท่ากับ 18.89 อัตราส่วน 85 : 15 เท่ากับ 16.99 และอัตราส่วน 70 : 30 เท่ากับ 15.22 สามารถคำนวณค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองนี้โดยอัตราส่วน 100 : 0 ค่าความร้อนได้ เท่ากับ 0.46746 MJ/kg อัตราส่วน 85 : 15 ค่าความร้อนได้ เท่ากับ 1.49079 MJ/kg และอัตราส่วน 70 : 30 ค่าความร้อนได้ เท่ากับ 1.41889 MJ/kg หากมีการหมักวัสดุตามอัตราส่วน 85 : 15 คิดค่าความร้อนเป็น 3.189 เท่าของอัตราส่วน 100 : 0 และหมักวัสดุตามอัตราส่วน 70 : 30 คิดค่าความร้อนเป็น 3.035 เท่าของอัตราส่วน 100 : 0 สามารถการจำลองเปรียบเทียบศักยภาพของของเสียภายในพื้นที่ได้ 3 แบบ คือ คำนวณเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 100 : 0 ค่าความร้อนทั้งหมด 2,231.33 MJ/kg เท่ากับค่าความร้อนของเชื้อเพลิง LPG เท่ากับ 485.07 กิโลกรัม หรือเทียบเท่า LPG 15 กิโลกรัม จำนวน 32 ถัง คำนวณเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 85 : 15 ค่าความร้อนทั้งหมด 7,110.06 MJ/kg ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง LPG เท่ากับ 1,545.67 กิโลกรัม หรือเทียบเท่า LPG 15 กิโลกรัม จำนวน 103 ถัง และคำนวณเปรียบเทียบกับอัตราส่วน 70 : 30 ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง LPG (4.6 MJ/kg) เท่ากับ 1,472.28 กิโลกรัม หรือเทียบเท่า LPG 15 กิโลกรัม จำนวน 98 ถัง

อย่างไรก็ตามอัตราส่วนเศษอาหารต่อมูลสุกร 85 : 15 มีศักยภาพสูงที่สุด รองลงมา คืออัตราส่วน 70 : 30 เนื่องจากได้ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมาก ปริมาณก๊าซมีเทน และก๊าซไฮโดรเจนมาก และเมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ได้จากการทดลองและการจำลองเปรียบเทียบศักยภาพของของเสียภายในพื้นที่ที่มีค่าความร้อนสูง สามารถทดแทนเชื้อเพลิง LPG ได้มาก ดังนั้น การหมักของเสียภายในพื้นที่ระหว่างเศษอาหารกับมูลสัตว์ ควรจะมีอัตราส่วนเศษอาหาร ร้อยละ 85-70 และมีมูลสัตว์อยู่ประมาณร้อยละ 30-15 ซึ่งเหมาะสมในการลดปริมาณของเสียภายในพื้นที่มากเปลี่ยนเป็นพลังงานได้ดีที่สุด

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการหมักเศษอาหารและมูลสุกรในระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะอินทรีย์ ขนาด 2,000 ลิตร เป็นระบบขนาดใหญ่ที่ไม่เป็นระบบปิด เนื่องจากในขั้นตอนการเติมเศษอาหารและหรือ มูล ที่จะทำให้อากาศหรือออกซิเจนจากภายนอกเข้าไปภายในระบบ ซึ่งทำให้ ไม่ได้เป็นระบบผลิตก๊าซชีวภาพภายใต้สภาวะไร้อากาศ ควรมีการปรับปรุงระบบให้มีความสอดคล้องกับการใช้งานมากขึ้น

2. จากการทดลองตะกอนทั้งหมดจะอยู่บริเวณก้นถังหมัก ซึ่งมีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อไม่มีการคลุกเคล้าหรือกวนที่ดีแล้ว จะทำให้เกิดการสัมผัสกันระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ด้วยการติดตั้งระบบหมุนกวน เช่น ใบพัดหมุดกวนในระบบ จะยิ่งเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ดียิ่งขึ้น



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



## รายการอ้างอิง

- Ahn J.H., & Forster C.F. (2002). The effect of temperature variations on the performance of mesophilic and thermophilic anaerobic filters treating a simulate apermill waste water. *Process Biochemistry*, 37, 589-594.
- Albagnac G. (1990). Biomass Retention in Advanced Anaerobic Reactor. *Water Science and Technology*, 22, 17-24.
- Alice S., & Janya S.A. (2012). *A Guide for Sustainable Urban Organic Waste Management in Thailand: Combining Food, Energy, and Climate Co-Benefits. 2nd ed.* Japan: Institute for Global Environmental Strategies.
- Banerjee A. P., & Tuhtar D. (1998). Effect of HRT and temperature on the acidogenesis of municipal primary sludge and industrial wastewater. *Water Science and Technology*, 33, 417-423.
- Barry M., & Campbell S. (2012). Sustainability & Manufacturing –A focus on Renewable Energy Supply through Anaerobic Digestion[Online]. from <http://www.slideshare.net/vickishanahan/biogas-fromfoodwaste>
- Bibha k. (1981). *Regional Aquaculture Lead Center*. India: Patna Publications.
- Bryant M.P. (1979). Microbial Methane Production Theoretical Aspects. *Anim. Sci.*, 48, 193 - 201.
- Bui X. A., & Preston T. R. (1999). Gas production from pig manure fed at different loading rates to polyethylene tubular biodigesters. *Livestock Research for Rural Development*, 11, 35-42.
- Callaghan F. J., Waste D. A.J., Thayanithy K., & Forster C.F. (2002). Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable waste and chicken manure. *Biomass bioenergy*, 27, 71-77.
- Campos E., Palatsi j., & Flotats X. (1999). Codigestion of pig slurry and organic waste from food industry. *International symposium on anaerobic digestion of solid waste*, 192-195.
- Chen T.H., Day D.L., & Steinberg M.P. (1988). Methane Production from fresh versus Dry Dairy manure. *Biological Wastes*, 24, 297-306.
- Dhanalakshmi S.V., & Ramanujam R.A. (2012). Biogas Generation in a Vegetable Waste Anaerobic Digester. *Research Journal of Recent Sciences*, 3, 41-51.

- Gopi K.K., & Sang H.K. (2013). Anaerobic treatment of apple waste with swine manure for biogas production : Batch and continuous operation. *Applied Energy*, 103, 61 -72.
- Gourdon A., & Ben R. M. (1989). Continuous production of biogas from dairy manure using an innovative no-mix reactor. *Applied Biochemical Biotechnology*, 11, 541-559.
- Hallenbeck P.C., & Benemann J.R. (2002). Biological hydrogen production ; fundamentals and limiting processes. *J. Hydrogen Energy*, 27, 1185–1193.
- Hamed M. E., & Ruihong Z. (2010). Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. *Bioresource Technology*, 101, 4021-4028.
- Hill D.T. (1983). Simplified monod kinetics of methane fermentation of animal waste. *Agricultural Wastes*, 5, 1-16.
- Lettinga G., Van-Velsen A.F.M, Hobma S.W., De-Zecuw W., & Klapwijk A. (1982). Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor control concept for biological treatment, especially for anaerobic treatment. *Biotechnology and Bioengineering*, 22, 699-734.
- Liu H., J.H. Crawford, R.B. Pierce, P. Norris, S.E. Platnick, G. Chen, . . . X.X. Tie. (2006). Radiative effect of clouds on tropospheric chemistry in a global three-dimensional chemical transport model. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111 203-213.
- Madigan M.T., Martinko J.H., & Parker J. (1997). *Brock – Biology of Microorganisms*. USA: Prentice Hall International Inc.
- Mata J. A., Mace S., & Llabres P. (2000). Anaerobic digestion of organic solid waste: an overview of research achievements and perspectives. *Bioresources Technology*, 74, 3-16.
- McCarty P.L. (1964). Anaerobic Waste Treatment Fundamental Part 1,2,3,4. *Public work*, 95, 107-115.
- McCarty P.L., & McKinney R.E. (1961). Volatile Acid Toxicity in Anaerobic Digestion. *Water pollution Control*, 33, 399-415.
- Misi S.N., & Forster C. F. (2001). Batch co-digestion of multi-component agro-waste. *Bioresource Technology*, 80, 19-28.
- Ponsá S., Ferrer I., Vázquez F., & Font X. (2008). Optimization of the hydrolytic-acidogenic anaerobic digestion stage (55 °C) of sewage sludge: Influence of pH and solid content. *Water Res*, 42(14), 3972-3980.

- Quakernaat J. (1995). From hydrogen economy to hydrogen civilization. *International Journal of Hydrogen Energy*, 20, 485-492.
- Seadren E.A., Levine A.B., & Dague R.R. (1991). High pH effect in anaerobic treatment of liquid industrial by products. *Pure industrial waste conference*, 377-385.
- Shin H. S., Han S. K., Song Y. C., & Lee C. Y. (2001). Performance of UASB reactor Treating Leachate from acidogenic fermenter in two-phase anaerobic digestion of food waste. *Water Research*, 35, 3441-3447.
- Shin, J., Han, S., Eom, K.-C., Sung, S., Park, S., & Kim, H. (2008). Predicting Methane Production Potential of Anaerobic Co-digestion of Swine Manure and Food Waste. *Environ. Eng. Res.*, 13, 93-102.
- Suneerat Pipatmanomai, Sommas Kaewluan, & Tharapong Vitidsant. (2009). Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H<sub>2</sub>S removal by activated carbon in small pig farm. *Applied Energy*, 86, 669–674.
- Tchobanoglous G., Hilary T., & Samuel V. (1993). *Integrated solid waste management : engineering principles and management issues*. Singapore: McGraw-Hill.
- United Nations. (Ed.) (1984). New York: United Nations.
- Ye J. D., Li Y. S., Wang G., & Wang Y. (2013). Improved biogas production from rice straw by co – digestion with kitchen waste and pig manure. *Waste Management*, 33, 2653-2660.
- Yunnan Normal University. (2011). *Training Material of Biogas Technology*. China: Yunnan Normal University (Mimeographed).
- Zhang R., El-Mashad H.M., Hartman K., Wang F.G., & Choate P.G. (2007). Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 98, 929-305.
- กรมการพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร กระทรวงกลาโหม. (2554). โครงการสนับสนุนส่งเสริมการผลิตและการใช้พลังงานก๊าซชีวภาพในหน่วยทหาร. กรุงเทพมหานคร: กองพลังงานทดแทน กรมการพลังงานทหาร ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร.
- กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2555). รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี 2555. กรุงเทพมหานคร.
- กรมปศุสัตว์ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2551). ความหลากหลายทางชีวภาพกับการผลิตปศุสัตว์ตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). เอกสารประกอบการบรรยายการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม.

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2554). เอกสารประกอบการบรรยายการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียฟาร์มปศุสัตว์ และโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักวิจัยและค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน
- กระทรวงอุตสาหกรรม, ก. (2553). คู่มือการปฏิบัติงานเกี่ยวกับการออกแบบการผลิต การควบคุมคุณภาพ และการใช้ก๊าซชีวภาพ (*biogas*) สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์กระทรวงอุตสาหกรรม.
- กฤษพนธ์ เพี้ยนศรี. (2546). ฐานข้อมูลศักยภาพพลังงานจากชีวมวล. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต), มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- กองพันทหารราบที่ 2 กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์. (2553). การประกวดผลงานตามปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียง ครั้งที่ 2 ประเภทชุมชนเศรษฐกิจพอเพียง หน่วยงาน/องค์กรภาครัฐ ในส่วนภูมิภาค. กรุงเทพมหานคร.
- จรัสศรี รุ่งวิชานวัฒน์. (2546). การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษผักและผลไม้ผสมกับมูลโค โดยการใช้ถังย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศประเภทปริมาณของแข็งต่ำ. มหาวิทยาลัยมหิดล.
- ฐปน ชื่นบาน. (2556). รายงานการวิจัยการออกแบบและพัฒนาถังหมักไร้อากาศแบบกวนผสมต้นแบบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพจากฟาร์มสุกรขนาดเล็ก (คณะวิทยาศาสตร์, Trans.). กรุงเทพมหานคร.
- ทวินนท์ สเลอาด. (2554). ผลของเวลาการกวนและการเวียนตะกอนต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยระบบหมักไร้อากาศแบบแห้งในขนาดใช้งานจริง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- นคร ทิพย์าวงศ์. (2552). เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี.
- นันทนา สีสุข. (2555). เอกสารประกอบการสอนหนังสือวิทยาศาสตร์สำหรับเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (Vol. (อัดสำเนา)): ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นำพร ปัญญาใหญ่, ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย, เสมอขวัญ ตันติกุล, & ญาณกร สุทัศนมาลี. (2554). การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารโดยการหมუნวน้ำหมัก การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 13, 450-456.
- น้ำเพชร พันธุ์พัฒนศรี. (2554). ศึกษาศักยภาพการผลิตไฟฟ้าด้วยไบโอแก๊สที่ผลิตจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต), จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มยุรา ศรีกัลยานุกุล. (2556). รายงานการวิจัยการผลิตก๊าซไฮโดรเจนจากมูลสุกรโดยใช้กระบวนการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (คณะวิทยาศาสตร์, Trans.). กรุงเทพมหานคร.
- ร้อยเอก ชลอ แก้วสถิตย์. (2556). ข้อมูลพื้นที่กรมทหารราบที่ 11 รักษาพระองค์ และนักเรียน บุคลากร โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์เพชรบุรีวิทยา. In ร. อ. จันทเขตต์ (Ed.).
- รัชนิกร วันจันทิก. (2554). ก๊าซไฮโดรเจน : ความคาดหวังเพื่อเป็นแหล่งพลังงานที่ยั่งยืน. *Burapha Sci. J.*, 16, 131-140.
- วรรณกร กุลศรี. (2552). ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารบัณฑิต), มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร. (2550). สถิติรายปี กรุงเทพมหานคร[Online]. 2550. from [http://203.155.220.230/stat\\_search/frame.asp](http://203.155.220.230/stat_search/frame.asp) (12 พฤษภาคม 2556)

- ศูนย์วิจัยและฝึกอบรมด้านสิ่งแวดล้อม. (2548). รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการนำร่องเพื่อสนับสนุนการจัดตั้งศูนย์  
 สาธิตเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อม. from <http://www.ertc.deqp.go.th> [10 พฤศจิกายน 2556]
- สถาบันวิจัยและให้คำปรึกษาแห่งมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. (2550). พลังงานก๊าซชีวภาพ[Online]. 2550.  
 from [http://www.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/\(15\).pdf](http://www.eppo.go.th/power/powerN/PICP/File/(15).pdf) (16 กรกฎาคม  
 2556)
- สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (2549). รายงานฉบับสมบูรณ์ : โครงการนำร่องเพื่อ  
 สนับสนุนการจัดตั้งศูนย์สาธิตเทคโนโลยีด้านสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. (2556). สถานการณ์สินค้าเกษตรที่สำคัญ และ  
 แนวโน้ม ปี 2556. กรุงเทพมหานคร.
- สุกัญญา อติชะ. (2551). ศึกษาการผลิตกรดอินทรีย์ระเหยจากอินทรีย์สารความเข้มข้นสูงของขยะเศษอาหารใน  
 ระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ), มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- หทัยรัตน์ เสียงดัง, & ชื่นฤทัย กาญจนะจิตรา. (2550). ความเป็นเมืองและขยะ. นครปฐม: สำนักพิมพ์ประชากร  
 และสังคม.
- อัจฉรา พิเลิศ, รัตน์ชัย ไพรินทร์, โกวิท ยอดมงคล, อีระธนธร นนทะภา, ภัทราวดี ศรีปัญญา, & กาญญา สุริยน์.  
 (2555). ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ. ว.วิทยาศาสตร์เกษตร, 43, 57-60.
- อำพล พิชัยเชิด, วันชาติ ทรัพย์เฮง, & ชานนท์ ชื่นจิตร. (2552). การเพิ่มประสิทธิภาพหัวเตาแก๊สหุงต้มโดยการ  
 นำเอาความร้อนทิ้งกลับมาอุ่นอากาศ. ในรายงานการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่ง  
 ประเทศไทย, 23, 43-51.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**



ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 27 เศษอาหารและมูลสุกรในการวัดค่าพารามิเตอร์





ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
อาคารสถาบัน 3 ชั้น 3 จุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. (662) 218-8032, 218-8101 โทรสาร (662) 218-8032, 254-0211  
SCIENTIFIC AND TECHNOLOGICAL RESEARCH EQUIPMENT CENTRE CHULALONGKORN UNIVERSITY  
CHULALONGKORN SOI 62 PHAYA-THAI ROAD PHATUMWAN BANGKOK 10330 THAILAND TEL. (662) 218-8032, 218-8101 FAX: (662) 218-8032, 254-0211

Report No. 378/2013

Page 1/1

**Analysis Report**

Sample Organic Compound  
Request Code No. S561738  
Sample owner Apinya Chanthakett  
Objective To quantitate percentages of C, H and N elements  
Instrument CHNS/O ANALYZER (Perkin Elmer PE2400 Series II)  
Method Gaseous products freed by pyrolysis in high-purity oxygen and were chromatographically separated by frontal analysis with quantitatively detected by thermal conductivity detector.  
Receive date June 7, 2013  
Analysis date June 10, 2013

**Result**

Sample No.	Sample Name		%C	%H	%N
1	CHN 1	(1)	26.49	3.56	3.19
		(2)	26.76	3.40	3.16
		(3)	26.37	3.49	3.20
		average	<b>26.54</b>	<b>3.49</b>	<b>3.18</b>
2	CHN 2	(1)	48.14	10.54	2.60
		(2)	48.34	10.30	2.45
		(3)	48.06	10.81	2.60
		average	<b>48.18</b>	<b>10.55</b>	<b>2.55</b>

(Miss Amporn Eongprakornkeaw)  
Analyst

(Mrs. Sunan Rangseekansong)  
Chief Scientist

(Assoc. Prof. Dr. Amorn Petsom)  
Acting Director

Remark : The results are good only for those samples analyzed.

AP/AP

รูปที่ 28 ผลการวิเคราะห์เศษอาหาร และมูลสุกร

ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter AC - 350

โดยศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่าง : เศษอาหารและมูลสัตว์

เจ้าของตัวอย่าง : อภิญญา จันทร์เขตต์

ภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อตัวอย่าง	ค่าความร้อน (cal/g)		
	วัดครั้งที่ 1	วัดครั้งที่ 2	ค่าเฉลี่ย
Heat 1	2537.7	2519.3	2528.5
Heat 2	4222.9	4137.8	4180.4



รูปที่ 29 ผลการวิเคราะห์ค่าพลังงานความร้อนของเศษอาหารและมูลสุกร



### 1.1 การคำนวณอัตราส่วนในการทดลอง

เศษอาหาร กับ มูลสัตว์

การกำหนดสัดส่วนเพื่อใช้ในการศึกษาทดลอง ที่ สัดส่วน

เศษอาหาร : มูลสุกร เท่ากับ (100 : 0) (85 : 15) และ (70 : 30)

ในการศึกษานี้ใช้น้ำหนักแห้งของ เศษอาหาร และ มูลสุกร เป็นเกณฑ์ในการกำหนดสัดส่วน

โดย	เศษอาหาร	1 กิโลกรัม
	นำมาหาน้ำหนักแห้งได้เท่ากับ	78% (780 g)
	มูลสุกร	1 กิโลกรัม
	นำมาหาน้ำหนักแห้งได้เท่ากับ	66% (660g)
	ดังนั้นสัดส่วนที่ใช้ในการผสม	เศษอาหาร : มูลสุกร ที่สัดส่วนต่าง ๆ เป็นดังนี้

ตารางที่ 17 การคำนวณเศษอาหารต่อมูลสุกรในการทดลองของแต่ละอัตราส่วน

อัตราส่วน	ขยะแห้ง (Total Solid) (น้ำหนักแห้งคิด 10 กิโลกรัม)	ขยะเปียกที่ใช้ในการทดลอง (กิโลกรัม)
100 : 0	10/0.78 : 0	13 : 0
85 : 15	8.5/0.78 : 1.5/0.66	11 : 2
70 : 30	7/0.78 : 3/0.66	9 : 4

## 1.2 การคำนวณหาค่า อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N Ratio)

เมื่อค่าพารามิเตอร์มีมวลอะตอม ดังนี้

$$C = 12 \quad H = 1 \quad N = 14, \quad O = 16$$

เศษอาหาร

$$C = \%C/12 = 4.015\dots(a)$$

$$H = \%H/1 = 10.55\dots(b)$$

$$N = \%N/14 = 0.182\dots(c)$$

$$O = \%O/16 = 2.42\dots(d)$$

สูตรโมลโมเลกุล

เศษอาหาร

$$\begin{aligned} C_{1+} H_{b/a} + N_{c/a} + O_{d/a} ; \quad H &= 2.627, \quad N = 0.045, \quad O = 0.602 \\ &= C(12.01081 \times 1) + H(1.0081 \times 2.6276) + N(14.0071 \times 0.0453) \\ &\quad + O(15.9994 \times 0.6027) \\ &= 24.938 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ในเศษอาหาร 85\%} &= 8.5 \text{ กิโลกรัม} \\ &= 8.5/24.938 \\ &= 0.3408 \text{ โมล} \dots\dots\dots(C1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= 0.3408 \times 0.045 \\ &= 0.0153 \text{ โมล} \dots\dots\dots(N1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ในเศษอาหาร 70\%} &= 7 \text{ กิโลกรัม} \\ &= 7/24.938 \\ &= 0.2801 \text{ โมล} \dots\dots\dots(C2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N &= 0.2801 \times 0.045 \\ &= 0.0126 \text{ โมล} \dots\dots\dots(N2) \end{aligned}$$

มูลสุกร

$$C = \%C/12 = 2.211\dots(f)$$

$$H = \%H/1 = 3.49\dots(g)$$

$$N = \%N/14 = 0.227\dots(h)$$

$$O = \%O/16 = 4.174\dots(i)$$

## สูตรโมลโมเลกุล

$$C_1 + H_{y/a} + N_{n/a} + O_{i/a} ; H = 1.5784, N = 0.1027, O = 1.8878$$

$$= C(12.01081 \times 1) + H(1.0081 \times 1.5784) + N(14.0071 \times 0.1027)$$

$$+ O(15.9994 \times 1.8878)$$

$$= 45.24 \text{ กรัม}$$

ในมูล 30% = 3 กิโลกรัม

$$= 3 / 45.24$$

$$= 0.066 \text{ โมล} \dots\dots\dots (C3)$$

N =  $0.066 \times 0.1027$

$$= 0.0068 \text{ โมล} \dots\dots\dots (N3)$$

ในมูล 15% = 1.5 กิโลกรัม

$$= 1.5 / 45.24$$

$$= 0.033 \text{ โมล} \dots\dots\dots (C4)$$

N =  $0.033 \times 0.1027$

$$= 0.0034 \text{ โมล} \dots\dots\dots (N4)$$

อัตราส่วน 100 : 0

$$C/N \text{ Ratio} = 1 : 0.045$$

$$= 22.22$$

อัตราส่วน 85 : 15

$$C1 + C4 : N1 + N4$$

$$0.3408 + 0.033 : 0.0153 + 0.0034$$

$$C/N \text{ Ratio} = 0.3738 : 0.0187$$

$$= 19.99$$

อัตราส่วน 70 : 30

$$C2 + C3 : N2 + N3$$

$$0.2801 + 0.066 : 0.0126 + 0.0068$$

$$C/N \text{ Ratio} = 0.346 : 0.0194$$

$$= 17.83$$



ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY





## ใบรายงานผล

ชื่อตัวอย่าง (ตามที่ยื่นนำส่งระบุ): ก๊าซ  
 เลขที่ขอรับบริการ: 006/57  
 วันที่รับตัวอย่าง: 4 ตุลาคม 2556  
 ผู้ขอรับบริการ: ร้อยโทหญิงอภิัญญา จันทเขตต์ ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 254 อาคารวิจัยจุฬาฯ ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10770  
 วิธีตรวจสอบ/วิเคราะห์: ใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B  
 ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์: สภาวะการทดลองเป็นดังนี้

ชนิดของ Column : Molecular sieve 13X  
 ชนิดของ Carrier gas : Ar  
 Injector temperature : 60° C  
 Oven temperature : 40° C  
 Detector temperature : 70° C

ตัวอย่าง (ตามที่ยื่นนำส่งระบุ)	%CH <sub>4</sub>
B1-3	7.08
B2-3	13.87
B3-3	20.98

  
 (ดร.นุชรา สินบัวทอง)  
 นักวิทยาศาสตร์/ผู้วิเคราะห์  
 30 / ต.ค. / 56

  
 (นางศิริวัลย์ สร้อยยกולם)  
 หัวหน้างานเคมีและสิ่งแวดล้อม  
 30 / ต.ค. / 56

ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่าง/รายการที่ได้ระบุไว้เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปโฆษณาหรือการคัดถ่ายสำเนา  
 หรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับการอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานเคมีและสิ่งแวดล้อม ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 โทรศัพท์ 02-942-8740 โทรสาร 02-942-8748

รูปที่ 31 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพครั้งที่ 1





ใบรายงานผล

ชื่อตัวอย่าง (ตามที่ได้รับส่งระบุ): ก๊าซ  
 เลขที่ขอรับบริการ: 019/57  
 วันที่รับตัวอย่าง: 16 ตุลาคม 2556  
 ผู้ขอรับบริการ: ร้อยโทหญิงอภิญญา จันทเขตต์ ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 254 อาคารวิจัยจุฬาฯ ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10770  
 วิธีตรวจสอบ/วิเคราะห์: ใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B  
 ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์: สภาวะการทดลองเป็นดังนี้

ชนิดของ Column : Molecular sieve 13X


ชนิดของ Carrier gas : Ar


Injector temperature : 60° C

Oven temperature : 40° C

Detector temperature : 70° C

ตัวอย่าง (ตามที่ได้รับส่งระบุ)	%CH <sub>4</sub>
B1-4	15.02
B1-5	15.72
B1-6	12.80
B2-4	11.09
B2-5	3.17
B2-6	5.61
B3-4	0.12
B3-5	14.05
B3-6	17.05

  
 (ดร.นุชรา สิบบัวทอง)  
 นักวิทยาศาสตร์/ผู้วิเคราะห์  
 30 / ต.ค. / 56

  
 (นางศิริวัลย์ สร้อยกล่อม)  
 หัวหน้างานเคมีและสิ่งแวดล้อม  
 30 / ต.ค. / 56

ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่าง/รายการที่ได้รับระบุไว้เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปโฆษณาหรือการคัดถ่ายสำเนา หรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับการอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานเคมีและสิ่งแวดล้อม ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 โทรศัพท์ 02-942-8740 โทรสาร 02-942-8748




## ใบรายงานผล


ชื่อตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ): ก๊าซ  
 เลขที่ขอรับบริการ: 003/57  
 วันที่รับตัวอย่าง: 3 ตุลาคม 2556  
 ผู้ขอรับบริการ: ร้อยโทหญิงอภิัญญา จันทเขตต์ ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

254 อาคารวิจัยจุฬาฯ ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10770  
 วิธีตรวจสอบ/วิเคราะห์: ใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B  
 ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์: สภาวะการทดลองเป็นดังนี้

ชนิดของ Column : Molecular sieve 13X  
 ชนิดของ Carrier gas : Ar  
 Injector temperature : 60° C  
 Oven temperature : 40° C  
 Detector temperature : 70° C

ตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ)	%CH <sub>4</sub>
B1-1	ตรวจไม่พบ
B1-2	4.54
B2-1	3.18
B2-2	0.44
B3-1	ตรวจไม่พบ
B3-2	13.60

  
 (ดร.นุชรา สิ้นบัวทอง)  
 นักวิทยาศาสตร์/ผู้วิเคราะห์  
 50 / ๓๑ / ๕๖

  
 (นางศิริวิทย์ สร้อยกล่อม)  
 หัวหน้างานเคมีและสิ่งแวดล้อม  
 30 / ๓๑ / ๕๕

ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่าง/รายการที่ได้ระบุไว้เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปโฆษณาหรือการค้าถ่ายสำเนา หรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับการอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานเคมีและสิ่งแวดล้อม ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 โทรศัพท์ 02-942-8740 โทรสาร 02-942-8748





## ใบรายงานผล

ชื่อตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ): ก๊าซ  
 เลขที่ขอรับบริการ: 082/57  
 วันที่รับตัวอย่าง: 27 พฤศจิกายน 2556  
 ผู้ขอรับบริการ: ร้อยโทหญิงอภิัญญา จันทเขตต์ ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 254 อาคารวิจัยจุฬาฯ ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10770  
 วิธีตรวจสอบ/วิเคราะห์: ใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B  
 ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์: สภาวะการทดลองเป็นดังนี้

ชนิดของ Column : Molecular sieve 13X  
 ชนิดของ Carrier gas : Ar  
 Injector temperature : 60° C  
 Oven temperature : 40° C  
 Detector temperature : 70° C

ตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ)	%CH <sub>4</sub>
B1-1	18.74
B2-1	19.46
B3-1	2.93
B1-2	2.42
B2-2	13.76
B3-2	12.60

  
 (ดร.นุชรา สิ้นบัวทอง)  
 นักวิทยาศาสตร์/ผู้วิเคราะห์  
 ๒๐ / ๕.๖ / ๒๕๕๖

  
 (นางศิริวัลย์ สร้อยกล่อม)  
 ผู้จัดการห้องปฏิบัติการเคมีและสิ่งแวดล้อม  
 ๒๐ / ๕.๖ / ๒๕๕๖

ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่าง/รายการที่ได้รับระบุไว้เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปโฆษณาหรือการคัดถ่ายสำเนา  
 หรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับการอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานเคมีและสิ่งแวดล้อม ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 โทรศัพท์ 02-942-8740 โทรสาร 02-942-8748

รูปที่ 32 ผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพครั้งที่ 2



## ใบรายงานผล

ชื่อตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ): ก๊าซ  
 เลขที่ขอรับบริการ: 093/57  
 วันที่รับตัวอย่าง: 12 ธันวาคม 2556  
 ผู้ขอรับบริการ: ร้อยโทหญิงอภิญญา จันทเขตต์ ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 254 อาคารวิจัยจุฬาฯ ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10770  
 วิธีตรวจสอบ/วิเคราะห์: ใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B  
 ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์: สภาวะการทดลองเป็นดังนี้

ชนิดของ Column : Molecular sieve 13X


ชนิดของ Carrier gas : Ar


Injector temperature : 60° C

Oven temperature : 40° C

Detector temperature : 70° C

ตัวอย่าง (ตามที่ผู้นำส่งระบุ)	%CH <sub>4</sub>
B1-6	11.41
B2-6	9.17
B3-6	7.39
B1-7	7.90
B2-7	7.53
B3-7	1.73

  
 (ดร.นุชรา สินบัวทอง)  
 นักวิทยาศาสตร์/ผู้วิเคราะห์  
 ๒๐ / ๕.๓ / ๒๕๕๖

  
 (นางศิริวัลย์ สร้อยกล่อม)  
 ผู้จัดการห้องปฏิบัติการเคมีและสิ่งแวดล้อม  
 ๒๐ / ๕.๓ / ๒๕๕๖

ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองผลเฉพาะตัวอย่าง/รายการที่ได้ระบุไว้เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปโฆษณาหรือการคัดถ่ายสำเนา  
 หรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับการอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานเคมีและสิ่งแวดล้อม ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 โทรศัพท์ 02-942-8740 โทรสาร 02-942-8748





ใบรายงานผล

ชื่อตัวอย่าง (ตามที่ยื่นมาส่งระบุ): ก๊าซ  
 เลขที่ขอรับบริการ: 099/57  
 วันที่รับตัวอย่าง: 9 ธันวาคม 2556  
 ผู้ขอรับบริการ: ร้อยโทหญิงอภิญญา จันทเขตต์ ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 254 อาคารวิจัยจุฬาฯ ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10770  
 วิธีตรวจสอบ/วิเคราะห์: ใช้เครื่อง Gas Chromatograph (GC-TCD) Shimadzu GC-14B  
 ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์: สภาวะการทดลองเป็นดังนี้

ชนิดของ Column : Molecular sieve 13X  
 ชนิดของ Carrier gas : Ar  
 Injector temperature : 60° C  
 Oven temperature : 40° C  
 Detector temperature : 70° C

ตัวอย่าง (ตามที่ยื่นมาส่งระบุ)	%CH <sub>4</sub>
B1-3	10.64
B2-3	8.73
B3-3	7.63
B1-4	3.73
B2-4	8.59
B3-4	2.69
B1-5	4.64
B2-5	1.52
B3-5	0.8

  
 (ดร.นุชรา สินบัวทอง)  
 นักวิทยาศาสตร์/ผู้วิเคราะห์  
 ๑๐ / ๕.๓. / ๒๕๕๖

  
 (นางศิริวัลย์ สร้อยกล่อม)  
 ผู้จัดการห้องปฏิบัติการเคมีและสิ่งแวดล้อม  
 ๑๐ / ๕.๓. / ๒๕๕๖

ผลการตรวจสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่าง/รายการที่ได้ระบุไว้เท่านั้น การนำเอกสารนี้ไปโฆษณาหรือการคัดถ่ายสำเนา  
 หรือการนำผลบางส่วนไปเผยแพร่ต่อสาธารณะ ต้องได้รับการอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

งานเคมีและสิ่งแวดล้อม ฝ่ายเครื่องมือและวิจัยทางวิทยาศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนาแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
 โทรศัพท์ 02-942-8740 โทรสาร 02-942-8748

### 1.1 การคำนวณก๊าซมีเทนเฉลี่ย

$$\text{สมการ } \%X_{\text{CH}_4} = \frac{V_3X_3 + V_6X_6 + V_9X_9 + V_{12}X_{12} + V_{15}X_{15} + V_{18}X_{18} + V_{21}X_{21}}{V_{\text{total}}}$$

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดง คือ วันที่ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ

- ก๊าซมีเทนเฉลี่ย อัตราส่วน 100 : 0

$$\begin{aligned} \%X_{\text{CH}_4} &= \frac{(2.93 \times 67) + (12.6 \times 41.5) + (7.63 \times 27) + (2.65 \times 30.5) + (0.8 \times 21) + (7.39 \times 33.5) + (1.73 \times 5.5)}{735.5} \\ &= 1.74 \end{aligned}$$

- ก๊าซมีเทนเฉลี่ย อัตราส่วน 85 : 15

$$\begin{aligned} \%X_{\text{CH}_4} &= \frac{(18.74 \times 75.5) + (2.42 \times 33.5) + (10.64 \times 43.5) + (3.73 \times 37.5) + (4.64 \times 46.5) + (11.41 \times 61) + (7.9 \times 56)}{1,134} \\ &= 3.04 \end{aligned}$$

- ก๊าซมีเทนเฉลี่ย อัตราส่วน 70 : 30

$$\begin{aligned} \%X_{\text{CH}_4} &= \frac{(19.46 \times 65.5) + (13.76 \times 72) + (8.73 \times 57) + (8.59 \times 49.5) + (1.52 \times 57) + (9.17 \times 55.5) + (7.53 \times 61.5)}{1,214.5} \\ &= 3.50 \end{aligned}$$

## 1.2 การคำนวณก๊าซไฮโดรเจนเฉลี่ย

$$\text{สมการ } \%X_{H_2} = \frac{V_3X_3 + V_6X_6 + V_9X_9 + V_{12}X_{12} + V_{15}X_{15} + V_{18}X_{18} + V_{21}X_{21}}{V_{\text{total}}}$$

หมายเหตุ ตัวเลขที่แสดง คือ วันที่ทำการเก็บตัวอย่างก๊าซ

- ก๊าซไฮโดรเจนเฉลี่ย อัตราส่วน 100 : 0

$$\begin{aligned} \%X_{H_2} &= \frac{(0.2 \times 67) + (5.76 \times 41.5) + (3.69 \times 27) + (1.3 \times 30.5) + (0.84 \times 21) + (2.17 \times 33.5) + (1.64 \times 5.5)}{735.5} \\ &= 0.67 \end{aligned}$$

- ก๊าซไฮโดรเจนเฉลี่ย อัตราส่วน 85 : 15

$$\begin{aligned} \%X_{H_2} &= \frac{(3.71 \times 75.5) + (0.07 \times 33.5) + (4.74 \times 43.5) + (3.25 \times 37.5) + (6.98 \times 46.5) + (32.26 \times 61) + (13.69 \times 56)}{1,134} \\ &= 3.24 \end{aligned}$$

- ก๊าซไฮโดรเจนเฉลี่ย อัตราส่วน 70 : 30

$$\begin{aligned} \%X_{H_2} &= \frac{(3.3 \times 65.5) + (0.32 \times 72) + (0.14 \times 57) + (0.47 \times 49.5) + (0.06 \times 57) + (0.15 \times 55.5) + (0.12 \times 61.5)}{1,214.5} \\ &= 0.24 \end{aligned}$$

### 1.3 การคำนวณหาค่าความร้อนในแต่ละอัตราส่วนการทดลอง

แสดงตัวอย่างคำนวณของอัตราส่วน 100 : 0

- ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ )

จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{ค่าพลังงานความร้อน}_{\text{CH}_4\text{ทั้งหมด}} &= \% \text{CH}_4\text{เฉลี่ยในแต่ละอัตราส่วน} \times V_{\text{ก๊าซชีวภาพรวม}} \times \text{ค่าความร้อนของก๊าซมีเทน} \\ &= 1.742\% \times 735.5 \times 50 \end{aligned}$$

แต่เนื่องจาก  $\% \text{CH}_4$ เฉลี่ยในแต่ละอัตราส่วน และ  $V_{\text{ก๊าซชีวภาพรวม}}$  อยู่ในรูปของเหลวจึงแปลงเป็นก๊าซ

จากสมการกฎก๊าซสมบูรณ์

$$PV = nRT$$

หรือ

$$PV = \frac{w}{M} RT$$

$$w = \frac{PVM}{RT}$$

เมื่อ P คือ ความดันของก๊าซ ณ ชั้นบรรยากาศ 1 atm

V คือ ปริมาตรของก๊าซ (Litre หรือ L)

n คือ จำนวนโมลของก๊าซ (mol)

T คือ อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน 298 K

R คือ ค่าคงที่ของก๊าซ (0.082 L.atm / mol.K)

M คือ มวลโมเลกุลของก๊าซ (g/mol)

w คือ มวลของก๊าซ (g)

สมการ

$$\begin{aligned} w &= \frac{PVM}{RT} \\ &= \frac{(1 \text{ atm.})(12.81 \text{ L.})(16\text{g./mol.})}{(0.082 \text{ L.atm./mol.k.})(298 \text{ K.})} \\ &= 0.008389 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าพลังงานความร้อน}_{\text{CH}_4\text{ทั้งหมด}} = 0.008389 \text{ kg} \times 50 \text{ MJ/kg}$$

$$= 0.419460 \text{ MJ/kg}$$



- ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ )

$$\begin{aligned}\text{ค่าพลังงานความร้อน } H_2 \text{ ทั้งหมด} &= \% H_2 \text{ ในแต่ละอัตราส่วน} \times V_{\text{ก๊าซชีวภาพรวม}} \times \text{ค่าความร้อนของก๊าซไฮโดรเจน} \\ &= 0.667\% \times 735.5 \times 119.96\end{aligned}$$

สมการ

$$\begin{aligned}w &= \frac{PVM}{RT} \\ &= \frac{(1 \text{ atm.})(4.91 \text{ L.})(2\text{g./mol.})}{(0.082 \text{ L.atm./mol.k.})(298 \text{ K.})}\end{aligned}$$

$$= 0.000401 \text{ kg}$$

$$\text{ค่าพลังงานความร้อน } H_2 \text{ ทั้งหมด} = 0.000401 \text{ kg} \times 119.96 \text{ MJ/kg}$$

$$= 0.048005 \text{ MJ/kg}$$

ดังนั้น ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซในอัตราส่วน 100 : 0

= ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซมีเทนทั้งหมด + ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซไฮโดรเจนทั้งหมด

$$= 0.419460 \text{ MJ/kg} + 0.048005 \text{ MJ/kg}$$

$$= 0.46746 \text{ MJ/kg}$$

#### 1.4 การคำนวณกรณีศึกษา

แสดงตัวอย่างอัตราส่วน 100 : 0

$$\begin{aligned} \text{อัตราส่วน 100 : 0 มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อวัน} &= \frac{735.5 \text{ L}}{21 \text{ days}} \\ &= 35.02 \text{ L} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{โดยใช้จำนวนเศษอาหารต่อวัน} &= \frac{286 \text{ kg}}{21 \text{ days}} \\ &= 13.62 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ในการคำนวณคิดเป็นน้ำหนักแห้งทั้งหมดต่อวัน} &= 13.62 \text{ kg} \times 0.78 \\ &= 10.62 \text{ kg} \end{aligned}$$

จากจำนวนประชากรภายในพื้นที่ศึกษาทั้งสิ้น 7,223 คน

คิดเป็นเศษอาหารเหลือต่อคนต่อวัน เท่ากับ 7,223 คน  $\times$  0.63 กิโลกรัมต่อคนต่อวัน

มีเศษอาหารเหลือต่อวัน เท่ากับ 4,550.49 กิโลกรัม

$$\text{คิดเป็นน้ำหนักแห้ง} = 4,550.49 \times 0.78$$

$$= 3,549.38 \text{ kg}$$

$$\text{คิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด} = \frac{3,549.38 \text{ kg} \times 13.62 \text{ kg}}{10.62 \text{ kg}}$$

$$= 11,702.40 \text{ L/day}$$

คำนวณหาค่าพลังงานความร้อนทั้งหมด

- ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซมีเทน ( $\text{CH}_4$ )

จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{ค่าพลังงานความร้อน } \text{CH}_4 \text{ ทั้งหมด} &= \% \text{CH}_4 \text{เฉลี่ย} \times V_{\text{ก๊าซชีวภาพรวมต่อวัน}} \times \text{ค่าความร้อนของก๊าซมีเทน} \\ &= 1.742\% \times 11,702.40 \times 50 \end{aligned}$$

สมการ

$$w = \frac{\text{PVM}}{\text{RT}}$$

RT

$$= \frac{(1 \text{ atm.})(203.86 \text{ L.})(16\text{g./mol.})}{(0.082 \text{ L.atm./mol.k.})(298 \text{ K.})}$$

$$= 0.1335 \text{ kg}$$

$$\text{ค่าพลังงานความร้อน}_{\text{CH}_4\text{ทั้งหมด}} = 0.1335 \text{ kg} \times 50 \text{ MJ}$$

$$= 6.674 \text{ MJ/kg/day}$$

- ค่าพลังงานความร้อนของก๊าซไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>)

$$\begin{aligned} \text{ค่าพลังงานความร้อน}_{\text{H}_2\text{ ทั้งหมด}} &= \% \text{ H}_2\text{เฉลี่ยในแต่ละอัตราส่วน} \times V_{\text{ก๊าซชีวภาพรวม}} \times \text{ค่าความร้อนของก๊าซไฮโดรเจน} \\ &= 0.667\% \times 11,702.40 \times 119.96 \end{aligned}$$

สมการ

$$\begin{aligned} w &= \frac{PVM}{RT} \\ &= \frac{(1 \text{ atm.})(78.06 \text{ L.})(2\text{g./mol.})}{(0.082 \text{ L.atm./mol.k.})(298 \text{ K.})} \end{aligned}$$

$$= 0.0064 \text{ kg}$$

$$\text{ค่าพลังงานความร้อน}_{\text{H}_2\text{ทั้งหมด}} = 0.0064 \text{ kg} \times 119.96 \text{ MJ}$$

$$= 0.766 \text{ MJ/kg}$$

ดังนั้น เมื่อพิจารณาการทำงานของระบบผลิตก๊าซชีวภาพในระยะเวลา 300 วัน (เวลาที่เหลือ 65 วัน เป็นการดูแลรักษาระบบฯ และการเริ่มต้นระบบฯ)

$$\text{ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด} = 11,702.40 \text{ L} \times 300 \text{ days}$$

$$= 3,510,718.95 \text{ L}$$

$$\text{ปริมาณก๊าซมีเทน} = \frac{3,510,718.95 \text{ L} \times 1.742}{100}$$

$$= 61,156.72 \text{ L}$$

$$\text{ปริมาณก๊าซมีเทน} = \frac{3,510,718.95 \text{ L} \times 0.667}{100}$$

$$= 23,416.50 \text{ L}$$

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณค่าความร้อนมีเทน} &= 6.674 \text{ MJ} \times 300 \text{ days} \\
 &= 2,002.18 \text{ MJ/kg} \\
 \text{ปริมาณค่าความร้อนไฮโดรเจน} &= 0.766 \text{ MJ} \times 300 \text{ day} \\
 &= 229.91 \text{ MJ/kg} \\
 \text{ปริมาณค่าความร้อนทั้งหมด} &= 2,002.18 \text{ MJ} + 229.91 \text{ MJ} \\
 &= 2,232.09 \text{ MJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซแอลพีจี (LPG) 1 kg เท่ากับ 4.6 MJ} \\
 \text{ดังนั้น เทียบเท่าก๊าซแอลพีจี} &= \frac{2,232.09 \text{ MJ/kg}}{4.6 \text{ MJ/kg}}
 \end{aligned}$$

$$= 485.24 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned}
 \text{เมื่อเทียบกับปริมาณก๊าซแอลพีจี (LPG) 1 ถัง 15 kg เท่ากับ 69 MJ} \\
 \text{ดังนั้น เทียบเท่าก๊าซแอลพีจี} &= \frac{2,232.09 \text{ MJ/kg}}{69 \text{ MJ/kg}} \\
 &= 32.35 \text{ (~ 32 ถัง)}
 \end{aligned}$$

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อสกุล ร้อยตรีหญิง อภิญา จันทเขตต์  
วันเดือนปีเกิด 9 มกราคม พ.ศ. 2531  
สถานที่เกิด บ้านเลขที่ 231 ตำบลบัวงาม อำเภอบุณฑริก  
จังหวัดอุบลราชธานี 34230

ประวัติการศึกษา  
ปริญญาตรี ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ชีวภาพ) จากคณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (พ.ศ. 2552)

ประวัติการทำงาน  
ตำแหน่ง ผู้ช่วยนักวิจัย แผนกวิจัยและพัฒนา กองพลังงานทดแทน  
กองพลังงานทดแทน กรมการพลังงานทหาร  
ศูนย์การอุตสาหกรรมป้องกันประเทศและพลังงานทหาร  
สำนักงานปลัดกระทรวงกลาโหม (ปี 2553 – ปัจจุบัน)