



การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว

นายพลกฤษณ์ คุ่มกล้า

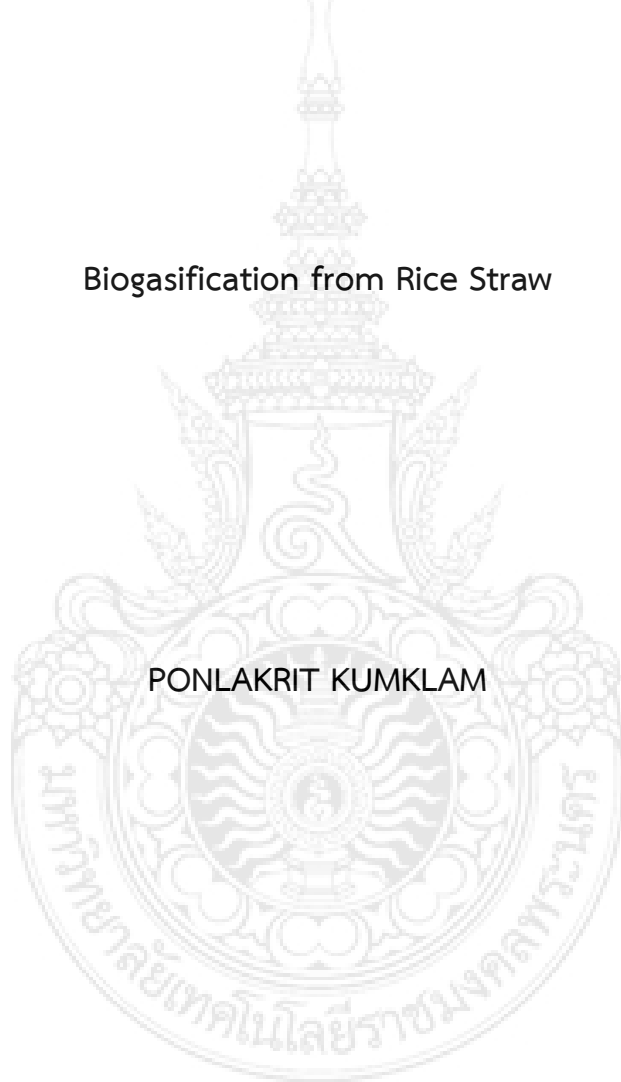
งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณผลประโยชน์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



Biogasification from Rice Straw

PONLAKRIT KUMKLAM



This Research is Funded by Rajamangala University of Technology Phra Nakhon,

Fiscal Year 2014

ชื่อโครงการวิจัย (ภาษาไทย) การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว
(ภาษาอังกฤษ) Biogasification from Rice Straw

ได้รับทุนอุดหนุนวิจัยประจำปี 2557

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

หัวหน้าโครงการวิจัย พลกฤษณ์ คุ้มกล้า

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้นำเสนอ การผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว ด้วยวิธีการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในกระบวนการย่อยสลายใช้ฟางข้าวเป็นวัตถุดิบหลักหมักร่วมกับกากน้ำตาล และใช้ปุ๋ยยูเรียเพื่อปรับค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจน การทดลองได้ออกแบบการหมักไว้ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 ประกอบด้วยฟางข้าว 3 กิโลกรัม และน้ำ 60 ลิตร ตัวอย่างที่ 2 ประกอบด้วย ฟางข้าว 3 กิโลกรัม น้ำ 60 ลิตร และกากน้ำตาล 2 ลิตร ตัวอย่างที่ 3 ประกอบด้วย ฟางข้าว 3 กิโลกรัม น้ำ 60 ลิตร และปุ๋ยยูเรีย 1 กิโลกรัม ทุกตัวอย่างใช้เวลาในการหมัก 30 วัน ผลการทดลองพบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การจุดติดไฟสูงสุดเท่ากับ 93% และแสดงถึงการผลิตก๊าซชีวภาพได้ด้วยวิธีอย่างง่าย

Title	Biogasification from Rice Straw
Fiscal Year	2014
Period of research	1 Year
Head of Project	Ponlakrit Kumklam

Abstract

The research is to present the biogas production from rice straws with anaerobic digester. Firstly, three digester tanks contain dry rice straw 3 kg slice with length 1-2 inch and water 60 lite. Digester A was a control sample. Digester B was designed for minimum performance (add the morass 2 lite) while the digester C was designed for Carbon/Nitrogen control (add urea 1 kg.). The biogas was operated for 30 days and measured which highest percent of Lower Explosive Limit was 93%. This studied show the simple methods to producing the biogas from the rice straw.

กิตติกรรมประกาศ

รายงานการวิจัยฉบับนี้ได้บรรลุตามวัตถุประสงค์และดำเนินงานจนสำเร็จ โดยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย คณะวิจัยขอแสดงความขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่สำหรับการวิจัย การวิจัยนี้ครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณผลประโยชน์ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2555 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณะผู้วิจัย



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ii
กิตติกรรมประกาศ	iii
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 กรอบแนวความคิด	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 นิยามศัพท์	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ก๊าซชีวภาพ	9
2.2 ทฤษฎีของระบบก๊าซชีวภาพ	13
2.3 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	18
2.4 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อก๊าซชีวภาพ	21
2.5 วัสดุที่ใช้ในการหมัก	24
2.6 กาก	28
2.7 ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ	29
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	38
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	38
3.2 สถานที่ทำการทดลอง	38
3.3 วัสดุอุปกรณ์	39
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย	46

บทที่ 4	ผลการวิจัย	49
	4.1 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง	49
	4.2 ผลการตรวจคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	50
	4.3 อภิปรายผล	56
บทที่ 5	สรุปผลและข้อเสนอแนะ	57
	5.1 สรุปผลการวิจัย	57
	5.2 ข้อเสนอแนะ	57
	เอกสารอ้างอิง	58
	ประวัติผู้วิจัย	63



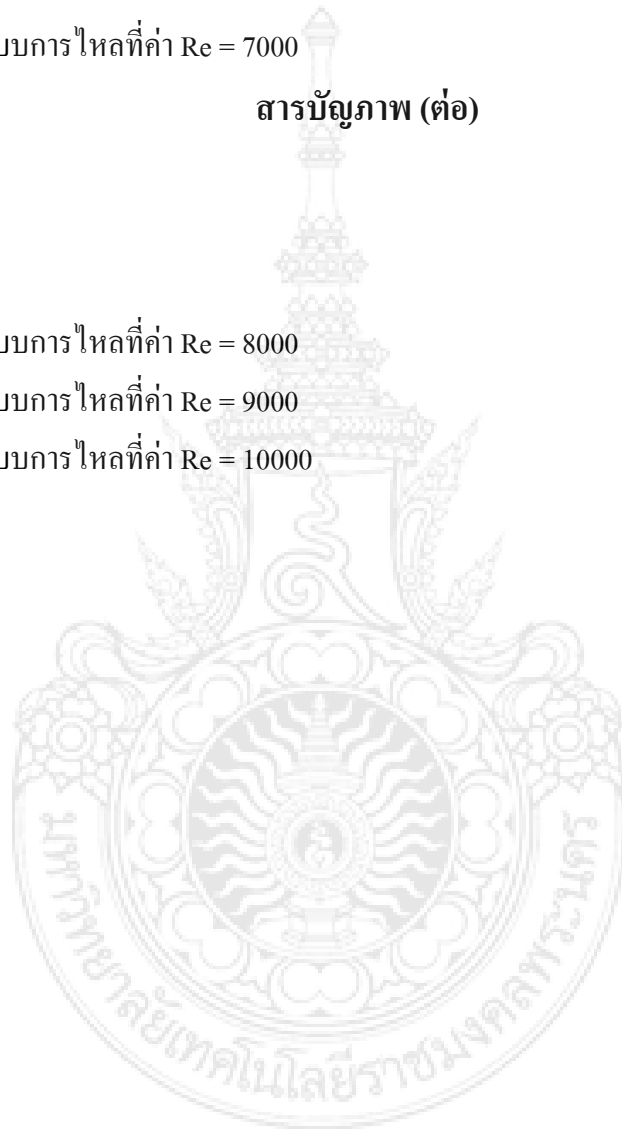
สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การทดลองของเรย์โนลด์	5
ภาพที่ 2.2 ลักษณะของเส้นสีในการไหลของของไหล	5
ภาพที่ 2.3 อุปกรณ์สำหรับวัดค่าการสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อ	7
ภาพที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง hf/V และ V	8
ภาพที่ 3.1 แสดงแบบจำลอง FHP LGCA	15
ภาพที่ 3.2 แสดง โครงผลึกของแบบจำลองความเร็ว D2Q9 LBM	18
ภาพที่ 3.3 แสดง Bounce-Back Boundary Condition	21
ภาพที่ 3.4 แสดงเงื่อนไขขอบเขต	21
ภาพที่ 4.1 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 1$	22
ภาพที่ 4.2 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 30$	22
ภาพที่ 4.3 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 60$	23
ภาพที่ 4.4 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 90$	23
ภาพที่ 4.5 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 120$	23
ภาพที่ 4.6 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 150$	24
ภาพที่ 4.7 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 180$	24
ภาพที่ 4.8 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 210$	24
ภาพที่ 4.9 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 250$	25
ภาพที่ 4.10 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 300$	25
ภาพที่ 4.11 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 500$	25
ภาพที่ 4.12 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 1000$	26

ภาพที่ 4.13 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 2000$	26
ภาพที่ 4.14 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 3000$	26
ภาพที่ 4.15 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 4000$	27
ภาพที่ 4.16 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 5000$	27
ภาพที่ 4.17 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 6000$	27
ภาพที่ 4.18 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 7000$	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
ภาพที่ 4.19 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 8000$	28
ภาพที่ 4.20 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 9000$	28
ภาพที่ 4.21 รูปแบบการไหลที่ค่า $Re = 10000$	29



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติบโตของปริมาณประชากรทำให้เกิดปัญหาด้านพลังงานที่จำเป็นในชีวิตประจำวันนั้นคือ ก๊าซการหุงต้มเพื่อใช้ในการประกอบอาหาร ทำอาหารสำหรับการดำรงชีพของประชากรที่มีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ สวนทางกับปริมาณทรัพยากรที่ค่อยๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยการแก้ปัญหาเรื่องการใช้พลังงานของชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดนี้ ด้วยการผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ทดแทนก๊าซธรรมชาติจากอ่าวไทย โดยการส่งเสริมสนับสนุนให้ประชาชนได้ใช้บ่อก๊าซชีวภาพและถังหมักก๊าซชีวภาพ นั้นถูกจำกัดด้วยจำนวนของผู้ใช้ที่เป็นกลุ่มคนสังคมชนบท โดยเฉพาะกลุ่มคนที่มีฟาร์มเลี้ยงสัตว์ ซึ่งมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับประชากรทั้งประเทศ แต่คนในสังคมเมืองไม่สะดวกที่จะทำ และใช้งานจากบ่อก๊าซชีวภาพ เนื่องจากต้องมีพื้นที่ก่อสร้างบ่อก๊าซหรือถังหมักก๊าซ และต้องหามูลสัตว์มาเติมตลอดเวลา ดังนั้นการตัดสินใจเลือกซื้อก๊าซเป็นถัง (ก๊าซ LPG) มาใช้ในครัวเรือนจะสะดวกกว่าการทำบ่อก๊าซหรือถังหมักก๊าซชีวภาพ ซึ่งราคาของถังก๊าซเหล่านี้มีราคาแพง จึงทำให้เกิดแนวคิดเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านนี้โดยการประยุกต์การหมักจากบ่อ มาเป็นถังซึ่งมีขนาดเล็กกว่าโดยสามารถติดตั้งได้ในพื้นที่ๆ จำกัด ซึ่งเหมาะกับบ้านเรือนของประชากรในตัวเมือง โดยนำเอาวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย มาใช้ในการประกอบเป็นวัสดุที่ใช้ในการหมัก โดยเลือกใช้กรรมวิธีการหมักแบบไร้ออกซิเจนเพื่อลดปัญหาเรื่องกลิ่นที่เกิดขึ้นอีกทั้งไม่เป็นที่รบกวนแก่ผู้อาศัยโดยรอบ

กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นเป็นกระบวนการทางธรรมชาติ ที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์จำพวกที่ไม่ชอบออกซิเจน ซึ่งจุลินทรีย์แบบไม่ชอบออกซิเจนนั้นมี 2 พวก คือ พวกที่สร้างมีเทน (Methanogenic bacteria) และ พวกที่ไม่สร้างมีเทน (Non - methanogenic bacteria) โดยจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทนนี้จะใช้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน เป็นสารอาหาร และให้ผลผลิตเป็นก๊าซมีเทน (สูตรโมเลกุล CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สูตรโมเลกุล CO_2) เป็นหลัก โดยมีก๊าซอื่นๆในปริมาณเล็กน้อยเช่น ก๊าซไข่เน่า หรือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สูตรโมเลกุล H_2S) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่ชอบออกซิเจนอิสระ (สูตรโมเลกุล O_2 เป็นโมเลกุลที่มนุษย์ใช้หายใจเพื่อการดำรงชีพ) ดังนั้นในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องระวังไม่ให้ออกซิเจนสามารถเข้าไป สัมผัสกับจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทน เพราะจะทำให้การผลิตก๊าซมีเทนด้อยประสิทธิภาพ และเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน สามารถใช้สารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเท่านั้น การผลิตก๊าซมีเทนจากสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน จึงต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไม่สร้างมีเทน เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนสูง ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนต่ำ พอที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนสามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นในการผลิตก๊าซมีเทนจะต้องอาศัยความร่วมมือของแบคทีเรียหลายๆกลุ่มเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปน้ำเสียและขยะที่มีสารอินทรีย์นั้นสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้

จากวิกฤตการณ์ด้านพลังงาน ประเทศไทยจึงส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานหมุนเวียนมากขึ้น กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ประเมินศักยภาพของชีวมวลเหลือทิ้งมีมากกว่า 31 ล้านตันต่อปี จาก ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง และปาล์มน้ำมัน โดยเศษวัสดุเหลือใช้เหล่านี้สามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ (สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน, 2556) แต่ปัจจุบันจำเป็นศึกษาเพิ่มเติมทางด้านเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกี่ยวข้อง การจัดการแหล่งวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ เนื่องจากต้นทุนของการจัดการเศษวัสดุเหลือใช้ในแปลงเกษตรกรรมยังมีราคาสูง และยังมี การแข่งขันภาคปศุสัตว์ ภาคเชื้อเพลิงโรงงานอุตสาหกรรม โดยในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยผลิตข้าวได้ 36.17 ล้านตัน (สมาคมผู้ส่งออกข้าวไทย, 2556) ข้าวจำนวนมหาศาลที่ประเทศไทยผลิตออกมาแต่ละปี หลังฤดูเก็บเกี่ยวนั้น ส่วนที่เหลือจากการเกี่ยวข้าวคือฟางข้าวจำนวนมาก โดยฟางข้าวที่ได้หลังจากปลูกข้าว นั้น เกษตรกรส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการที่ดีและเหมาะสมเท่าที่ควรและเลือกใช้วิธีเผาทำลาย ซึ่งนับว่าเป็นการสร้างมลภาวะทางอากาศอย่างมาก นับเป็นส่วนหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อเกิดภาวะโลกร้อนจาก

ภาคเกษตรกรรมอีกด้วย สำหรับปริมาณฟางข้าวที่ประเทศไทยผลิตออกมาแต่ละปีมากถึง 50-60 ล้านตันต่อปี และยังไม่มีการนำฟางข้าวไปใช้มากถึง 11.5 ล้านตัน หรือเทียบเท่ากับน้ำมันดิบ 3,350 ktoe (น้ำเพชร พันธุ์พัฒนา และ สุภวัฒน์ วิวรรณภัทรกิจ, 2555) ดังนั้นถ้านำเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรนี้เปลี่ยนให้เป็นพลังงานชีวภาพ จะเป็นแนวทางการลดปัญหาวัตถุดิบเหลือทิ้งจากการเกษตรลดการพึ่งพาพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ตลอดจนลดผลกระทบต่อปัญหาสิ่งแวดล้อม และสามารถผลิตไฟฟ้าสำหรับชุมชนได้อย่างยั่งยืน

โครงการวิจัยนี้นำเสนอการผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว ด้วยวิธีการหมักแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic digestion) การดำเนินงานเริ่มต้นจากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับก๊าซชีวภาพ สร้างถังหมักก๊าซให้เหมาะสมกับการใช้งานได้จริงในภาคครัวเรือน ส่วนผสมของวัตถุดิบที่ใช้หมักประกอบด้วยฟางข้าวและกากน้ำตาล (Vindis et al., 2008) ตรวจสอบประสิทธิภาพการจุดติดไฟจากปริมาณมีเทนที่เป็นส่วนประกอบในเนื้อก๊าซ และหาอัตราส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักที่ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพดีที่เหมาะสม ข้อมูลที่ได้จากการวิจัย จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของสัดส่วนระหว่างฟางข้าวและกากน้ำตาลที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 สถานที่ศึกษา/ทดลอง

บริเวณด้านหลังอาคาร — อนุสรณ์ ๔๐ ปี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

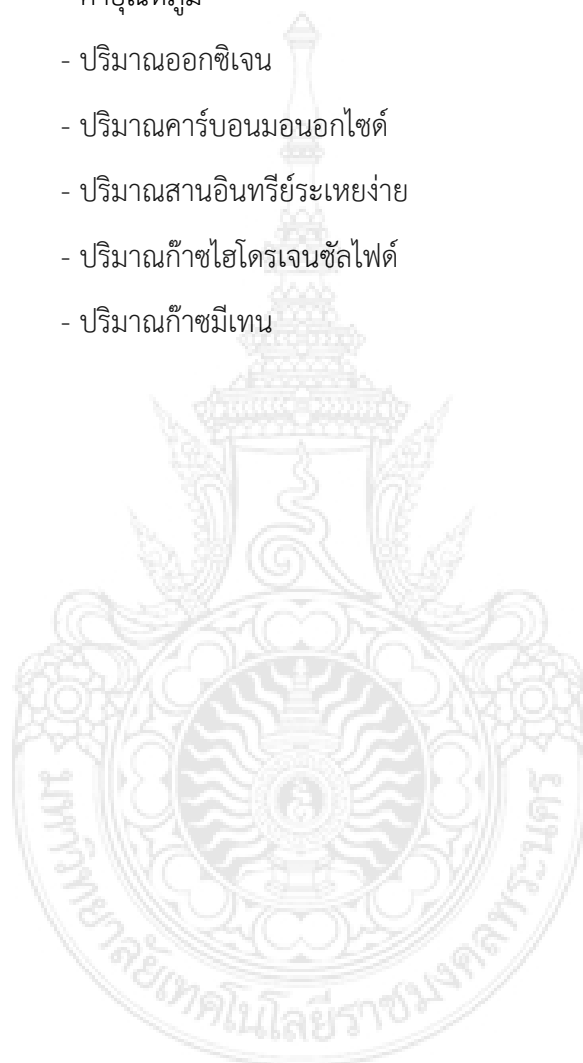
1.3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

1. วัสดุสำหรับการหมักเชื้อ ได้แก่ ฟางข้าว กากน้ำตาล น้ำ และปุ๋ยยูเรีย
2. ระยะเวลาการเกิดก๊าซ

3. สภาพแวดล้อมโดยรอบ

4. พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ ได้แก่

- ค่าความเป็นกรด - ด่าง
- ค่าอุณหภูมิ
- ปริมาณออกซิเจน
- ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์
- ปริมาณसानินทรีย์ระเหยง่าย
- ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- ปริมาณก๊าซมีเทน



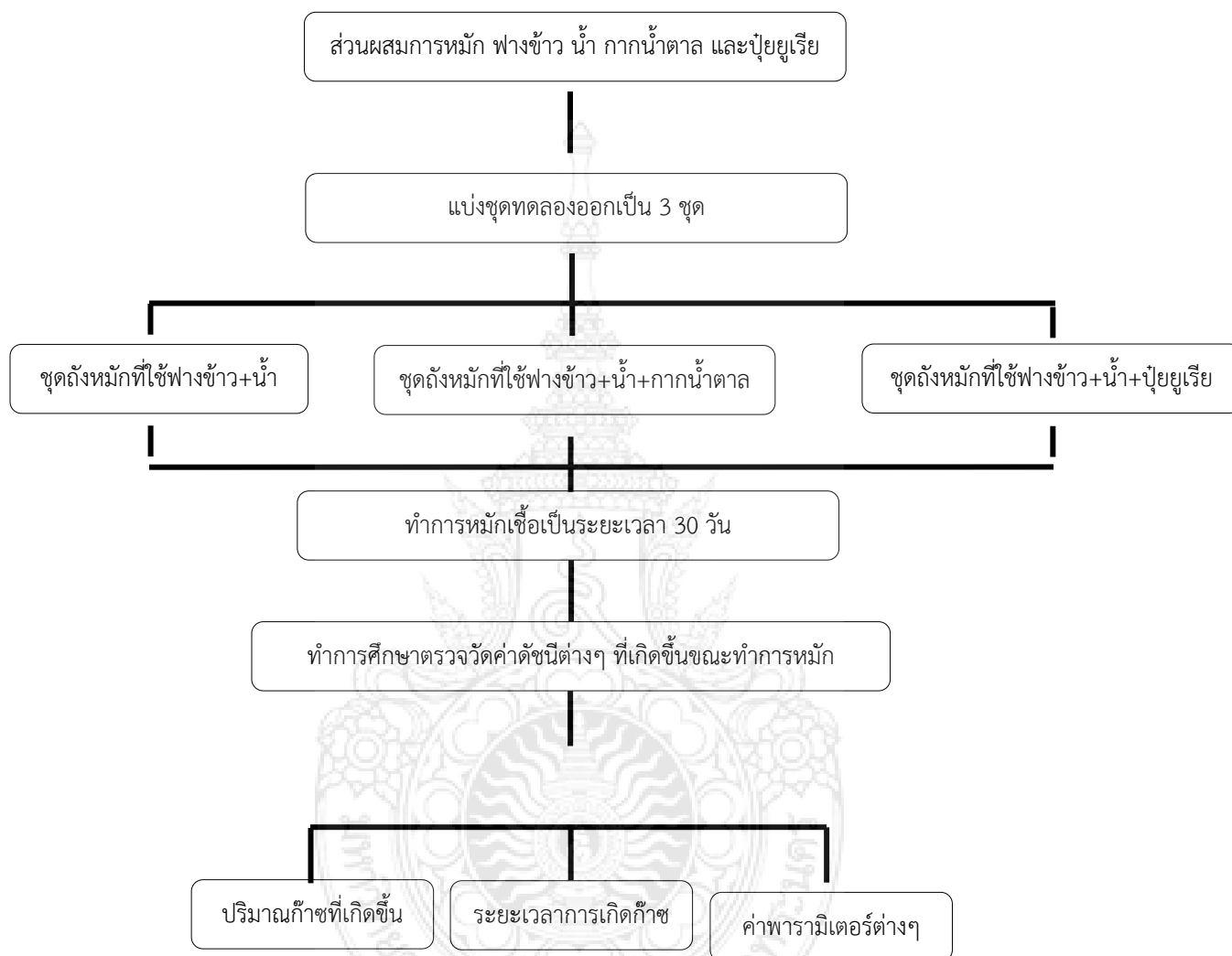
1.3.3 วิธีดำเนินการ



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย



1.4 กรอบแนวความคิด



แผนภูมิที่ 1.2 แสดงกรอบแนวความคิดการดำเนินการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพจากวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร
- 1.5.2 ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงในภาคครัวเรือน



1.6 นิยามศัพท์

1.6.1 ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หมายถึง ก๊าซซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (anaerobic bacteria) ทำให้เกิดผลผลิตในรูปของก๊าซผสมประกอบด้วย มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นส่วนใหญ่ ก๊าซอื่นๆ เล็กน้อย เช่น ไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกซิเจน และ ไนโตรเจน เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่คงตัวไม่ติดไฟ ดังนั้นคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จึงขึ้นอยู่กับก๊าซมีเทน

1.6.2 มีเทน (Methane) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกแอลเคน สูตรเคมี คือ CH_4 เป็นแก๊สไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแก๊สธรรมชาติ แก๊สมิเทนอาจได้มาจากการหมักมูลสัตว์และนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงราคาถูก

1.6.3 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide หรือ hydrogen sulphide) หรือ ก๊าซไข่เน่า เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมีเป็น H_2S ไม่มีสี, เป็นพิษ และเป็นแก๊สไวไฟ มีกลิ่นเน่าเหม็นคล้ายไข่เน่า บ่อยครั้งเป็นผลจากแบคทีเรียย่อยสลายซัลไฟด์ในสารอินทรีย์ในสภาวะขาดออกซิเจน เช่นในหนองน้ำและท่อระบายน้ำ (การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน)

1.6.4 คาร์บอน (Carbon) เป็นธาตุในตารางธาตุที่มีสัญลักษณ์ **C** และเลขอะตอม 6 เป็นธาตุโลหะที่มีอยู่มาก มีวาเลนซ์ 4 และมีหลายอัญรูป คาร์บอนปรากฏในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด และเป็นพื้นฐานของอินทรีย์เคมี นอกจากนี้ โลหะนี้มีคุณสมบัติทางเคมีที่น่าสนใจ คือ สามารถทำพันธะกับตัวเอง และธาตุอื่น ๆ เป็นจำนวนมาก เกิดได้เป็นสารประกอบเกือบ 10 ล้านชนิด เมื่อรวมกับออกซิเจน จะเกิดเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการเจริญเติบโตของพืช เมื่อรวมกับไฮโดรเจน จะเกิดเป็นสารประกอบต่าง ๆ ที่เรียกรวม ๆ ว่าไฮโดรคาร์บอน ซึ่งจำเป็นต่ออุตสาหกรรมในรูปแบบของเชื้อเพลิงฟอสซิล

1.6.5 สารอินทรีย์ระเหย หรือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย ที่เรียกทับศัพท์ด้วยภาษาอังกฤษว่า **วีไอซี (VOCs = Volatile Organic Compounds)** คือ กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compounds) ที่มีความดันไอมากกว่า 1 มิลลิเมตรปรอท สามารถระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ ไอเหล่านี้สามารถจะเปลี่ยนรูปกลับเป็นของเหลวหรือของแข็งตาม

สภาวะเดิมได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอน และไฮโดรเจน อาจมี ออกซิเจน หรือฮาโลเจน

1.6.6 ออกซิเจน (อังกฤษ: Oxygen) ธาตุลำดับที่ 8 สัญลักษณ์ O เป็นแก๊ส มีปนอยู่ในอากาศประมาณร้อยละ ๒๐ โดยปริมาตร ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดไฟ แต่ช่วยให้ไฟติด มีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการหายใจและการเผาไหม้เป็นต้นใช้จุดกับแก๊สอะเซทิลีน เพื่อเชื่อมหรือตัดโลหะ ในทางแพทย์ ใช้ช่วยการหายใจของคนไข้.

1.6.7 Lower Explosive Limit (LEL) ซึ่งเป็นค่าที่ระบุถึงปริมาณไอระเหยของเชื้อเพลิงขั้นต่ำ ที่สามารถทำให้การระเบิดได้ หากมีปริมาณออกซิเจนที่เพียงพอ (UEL = Upper Explosive Limit) การรั่วไหลของก๊าซในอากาศที่มีระดับความเข้มข้นอยู่ระหว่างค่า LEL และ UEL ถือว่าเป็นช่วงที่สุ่มเสี่ยงต่อการเกิดระเบิด

1.6.8 อัตราการรับภาระสารอินทรีย์ (Organic Loading Rate ; OLR) ควรเลือกให้เหมาะสมกับเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย/ของเสียต่างๆ ตามปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นวัตถุดิบในโครงการ

1.6.9 ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time ; HRT) จะต้องเหมาะสมกับเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการบำบัดน้ำเสีย/ของเสียดังกล่าว

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาความขาดแคลนพลังงานที่เริ่มเกิดขึ้นในหลายๆ พื้นที่ทั่วโลกจึงได้เกิดการศึกษาค้นคว้าความรู้ในการนำเอาพลังงานในรูปแบบต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนซึ่งพลังงานจากก๊าซชีวภาพเป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยผู้จัดทำโครงการได้ทำการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำโครงการ ดังนี้

- 2.1 ก๊าซชีวภาพ
- 2.2 ทฤษฎีของระบบก๊าซชีวภาพ
- 2.3 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ
- 2.4 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซ
- 2.5 วัสดุที่ใช้ในการหมัก
- 2.6 กาก
- 2.7 ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ
- 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ก๊าซชีวภาพ

สุทศน์. (2550) ได้ให้รายละเอียดว่า นักวิทยาศาสตร์ค้นพบก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายมูลของ สารอินทรีย์ครั้งแรกในศตวรรษที่ 17 โดย Robert Boyle และ Stephen Hale โดยทั้งสองได้พูดถึงการ กวนตะกอนในลำธารและทะเลสาบซึ่งทำให้มีก๊าซที่สามารถ ติดไฟได้ลอยขึ้นมา ในปี 1859 Sir Humphrey Davy ได้กล่าวไว้ในก๊าซที่เกิดจากขี้วัวนั้นมีก๊าซมีเทนอยู่ด้วย ในอินเดียในปี 1859 ได้มีการ สร้างถังหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศ(anaerobic digester) ขึ้นเป็นครั้งแรก และต่อมาในปี 1985 ใน อังกฤษได้มีการคิดค้นนวัตกรรมใหม่ขึ้นมาโดยใช้ถังสิ่งปฏิกูลผลิตก๊าซแล้ว นำก๊าซไปจุดไฟส่องสว่างตาม ถนน พอถึงปี 1907 ก็ได้มีการออกสิทธิบัตรสำหรับถังหมักก๊าซชีวภาพในเยอรมนี

ในช่วงทศวรรษที่ 1930 การหมักก๊าซในสภาวะไร้อากาศก็เริ่มเป็นที่รู้จักในแวดวงนักวิชาการกัน มาก ขึ้น ได้มีการวิจัยค้นคว้าและพบจุลินทรีย์ที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาและมีการ ศึกษาถึงสภาวะ แวดล้อมที่เอื้อต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เหล่านี้

ในชนบทในประเทศกำลังพัฒนา การใช้ก๊าซชีวภาพจากขยะทางการเกษตรหรือเศษอาหารจาก ครัวเรือน สามารถเป็นทางเลือกสำหรับพลังงานราคาถูก ไม่ว่าจะเพื่อแสงสว่างหรือการทำอาหาร ในช่วง 30 ปีที่ผ่านมา ทั้งรัฐบาลของอินเดียและจีนต่างก็ได้ให้การสนับสนุนการผลิตก๊าซชีวภาพระดับ ครัวเรือน ซึ่งนอกจากจะลดค่ายังชีพแล้ว ยังเป็นการลดภาระของโครงข่ายพลังงานของชาติด้วย ในประเทศพัฒนา แล้ว การนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้ ยังเป็นการลดการปล่อยมลภาวะรวมถึงก๊าซเรือนกระจก สู่สิ่งแวดล้อมที่นับวันจะ ยิ่งเสื่อมโทรมลง นอกจากนี้ยังมีผลผลิตพลอยได้ต่างๆ เช่นปุ๋ยอินทรีย์

ยิ่งในทุกวันนี้โลกกำลังเผชิญวิกฤติปัญหาสิ่งแวดล้อมและวิกฤติพลังงาน ก๊าซชีวภาพจึงยิ่งมี ความสำคัญมากขึ้น เพราะเป็นการช่วยแก้ทั้งสองปัญหา ปัจจุบันรัฐบาลของหลายๆ ประเทศรวมถึง ประเทศไทยต่างก็ให้การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพ และสนับสนุนผู้ที่ทำการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบ ต่างๆ

"Friendly fuel trains". (2548) ได้ให้รายละเอียดว่า **ก๊าซชีวภาพ** (อังกฤษ: Biogas หรือ digester gas) หรือ ไบโอก๊าซ คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ ภายใต้อากาศที่ปราศจากออกซิเจน (anaerobic digestion) โดยทั่วไปจะหมายถึง ก๊าซ มีเทน ที่เกิดจาก การหมัก (fermentation) ของ สารอินทรีย์ โดยกระบวนการนี้สามารถเกิดขึ้นได้ในหลุมขยะ กองมูลสัตว์ และก้นบ่อแหล่งน้ำนิ่ง กล่าวคือเมื่อไหร่ก็ตามที่มีสารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็อาจเกิดก๊าซ ชีวภาพ แต่นี้เป็นเพียงแค่หลักการทางทฤษฎี

องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน(CH₄) ประมาณ 50 - 60 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 25 - 35 % ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน (H₂) ออกซิเจน (O₂) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ไนโตรเจน (N) และไอน้ำ

ก๊าซชีวภาพมีชื่ออื่นอีกคือ ก๊าซหนองน้ำ และ มาร์ชก๊าซ (marsh gas) ขึ้นกับแหล่งที่มันเกิด กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยน ของเสีย ประเภทอินทรีย์ทั้งหลายไปเป็นกระแสไฟฟ้า นอกจากกำจัดขยะได้แล้วยังทำลาย เชื้อโรค ได้ด้วย การใช้ก๊าซชีวภาพเป็น การบริหารจัดการของเสีย ที่ควรได้รับการสนับสนุนเพราะไม่เป็นการเพิ่มก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ในชั้นบรรยากาศที่เป็นต้นเหตุของ ปรากฏการณ์เรือนกระจก (greenhouse effect) ส่วนการเผาไหม้ ก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีก๊าซมีเทนเป็นส่วนประกอบหลักจะสะอาดกว่า

ตารางที่ 2.1 แสดงสัดส่วนของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซ	โดยปริมาตร (%)
มีเทน	50 - 60
คาร์บอนไดออกไซด์	25 - 35
ไนโตรเจน	2 - 7
ไฮโดรเจน	1 - 5
ไฮโดรเจนซัลไฟด์	เล็กน้อย
คาร์บอนมอนนอกไซด์	เล็กน้อย
ก๊าซอื่นๆ	เล็กน้อย

(ที่มา : <http://www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=12547§ion=9&rcount=Y>)

ชาญชัย และยุวพันธ์ (2544) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพ จะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศ เล็กน้อย และมีอุณหภูมิที่ติดไฟประมาณ 700 °C (น้ำมันดีเซล 350 °C น้ำมันเบนซิน และ โพรเพน ประมาณ 500 °C) อุณหภูมิของเปลวไฟประมาณ 870 °C

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วย มีเทน (CH₄) ประมาณ 60% คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 40% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ประกอบอยู่มากกว่า 1% นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีก ระยะเวลาการเก็บจะมีผลต่อส่วนประกอบมีเทน (เป็นเปอร์เซ็นต์) มากถึง 50% ถ้า ส่วนประกอบมีเทนต่ำกว่า 50% ก๊าซชีวภาพจะติดไฟได้ไม่นาน ในโรงผลิตก๊าซชีวภาพที่เพิ่งใช้

ในช่วง 3 – 5 วันแรก จะยังไม่สามารถนำก๊าซที่ผลิตได้มาใช้ เนื่องจากมีส่วนประกอบของมีเทนต่ำ นอกจากนี้ อุณหภูมิในการย่อยสลายและชนิดของมูล จะมีผลต่อส่วนประกอบมีเทนด้วย ถ้าอุณหภูมิในการย่อยสลายต่ำจะได้ส่วนประกอบมีเทนสูง แต่ก๊าซที่ผลิตได้มีปริมาณน้อย ส่วนมูลมีผลต่อส่วนประกอบก๊าซมีเทน ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงสัดส่วนของก๊าซชีวภาพ

ชนิดของมูล	ส่วนประกอบมีเทน
มูลวัว มูลควาย	65 %
มูลสัตว์ปีก (เป็ด, ไก่, ห่าน)	60 %
มูลสุกร	67 %
มูลจากฟาร์มทั่วไป	55 %
ฟาง	59 %
หญ้า	70 %
ใบไม้	58 %
ขยะจากครัว	50 %
สาหร่าย	63 %
ผักตบชวา	52 %

พิชญ (2553) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ด้วยวิธีทางชีววิทยา (Biological Treatment) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Condition) องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปจะได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH₄) ประมาณ 60-70 %

ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ประมาณ 28-38 % และก๊าซอื่นๆ ประมาณ 2 % เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ไนโตรเจน (N₂) และไอน้ำ เป็นต้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่คงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้น คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซ มีเทน

ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ ทั้งจากพืช สัตว์หรือแม้แต่ของเสียจากสัตว์ รวมถึงขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายทั้งหมดเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในสภาวะที่ไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติถ้ามีสภาพที่เหมาะสม หรือเกิดขึ้นในระบบผลิตก๊าซ กล่าวคือเมื่อไหร่ก็ตามที่มีสารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็จะเกิดก๊าซ ชีวภาพ

เมื่อองค์ประกอบต่างๆครบถ้วน เช่น มีแบคทีเรีย สารอินทรีย์ อาหารเสริม และสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ที่เหมาะสมแต่ไม่มีออกซิเจน กระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพ ก็สามารถเกิดได้ตามธรรมชาติโดยทันที ในธรรมชาตินั้น ก๊าซชีวภาพจะเกิดในบ่อที่มีการหมัก ก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ ลำไส้คนและวัว ไร่นาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ในเปลือกไม้ที่อัปชื้น ใต้ท้องทะเลลึก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเกิดในสภาวะที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นเป็นกระบวนการที่เกิด ในธรรมชาติ ซึ่งอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับสภาวะโดยธรรมชาติ แต่ในเชิงวิศวกรรมแล้ว วิศวกรจะสร้างระบบขึ้นมาเพื่อควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆให้เหมาะสม ให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้รวดเร็ว ตามที่ต้องการ หรืออีกนัยหนึ่งคือ วิศวกรที่ออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพคือ ผู้ที่เข้าใจธรรมชาติของสารอินทรีย์ และสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของแบคทีเรียกลุ่มไม่ชอบออกซิเจน และทำการสร้างสภาวะดังกล่าว เพื่อให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้ตามที่วิศวกรนั้นๆ ต้องการ

ในการผลิตก๊าซชีวภาพเชิงอุตสาหกรรม วัตถุดิบที่ใช้ก็คือ สารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่อยู่ในน้ำเสียหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร ชุมชน และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น น้ำเสียที่ออกจากโรงงานแปงมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงฆ่าสัตว์ ขยะชุมชนเฉพาะส่วนที่เป็นขยะอินทรีย์ ฟาร์มสุกร เป็นต้น โดยน้ำเสียหรือของเสียดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียหรือของเสีย ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลผลิตจากการบำบัด นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากก็จะเหลือกลายเป็นกากตะกอนอินทรีย์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงปุ๋ยอินทรีย์และสามารถนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดิน ได้

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีปริมาณวัตถุดิบเป็นจำนวนมากไม่ว่าจะเป็น มันสำปะหลัง ปาล์ม น้ำมัน น้ำตาล และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยกระบวนการแปรรูปผลิตผลทางเกษตรเหล่านี้จะก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมากและมี กลิ่นเหม็น ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งและยังจะให้ผลผลิต ที่เป็นก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก อย่างไรก็ตาม ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติและปริมาณของน้ำเสีย แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพ

แหล่งที่มาของน้ำ	แป้ง	ไขมัน	ฟาร์มหมู	น้ำตาล	เอทานอล
	ตัน	ตัน	จำนวน	ตัน	m ³
การผลิต ล้านหน่วย/ปี	0.70	6.39	9.30	64.40	191.75
น้ำเสีย m ³ /การผลิต	15.00	0.40	9.86	0.11	10.00
ระบบบำบัดน้ำเสียรวม ล้าน m ³ /ปี	10.50	2.56	91.70	7.08	1917.50
ก๊าซชีวภาพ m ³ / น้ำเสีย m ³	10.00	35.00	3.50	7.00	35.00
ก๊าซชีวภาพรวม ล้าน m ³ /ปี	105.00	89.46	320.94	49.59	67112.50

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม หมายเหตุ : ข้อมูลผลผลิตปี 2550

ในประเทศไทยมีการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในเชิงธุรกิจในหลายอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมแป้งมัน น้ำมันปาล์ม การแปรรูปสัตว์ จนถึงฟาร์มสุกร และกำลังขยายไปสู่อุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ อีกหลายประเภท ในขณะที่ของเสียสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และในเวลาเดียวกันสังคมต้องการพลังงานเป็นอย่างมาก ดังนั้นการใช้ของเสียให้เกิดประโยชน์ย่อมช่วยให้เกิดผลดีทั้งสองด้าน หน่วยงานภาครัฐจึงควรต้องสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดการใช้งานในเรื่องก๊าซ ชีวภาพอย่างจริงจังด้วย

ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เราได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับก๊าซชีวภาพในมุมมองใหม่ๆ เช่นการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะแบบ high solids โดยมีการทำการเวียมน้ำชะขยะกลับ การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่แบบ completely mix การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียน้ำมันปาล์มแบบความเข้มข้นสูงด้วยกระบวนการ anaerobic baffle reactor ตลอดจนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ biofilter และเศษเหล็ก เป็นต้น งานต่างๆเหล่านี้มีการทดลองทั้งในระดับห้องปฏิบัติการและในภาคสนาม

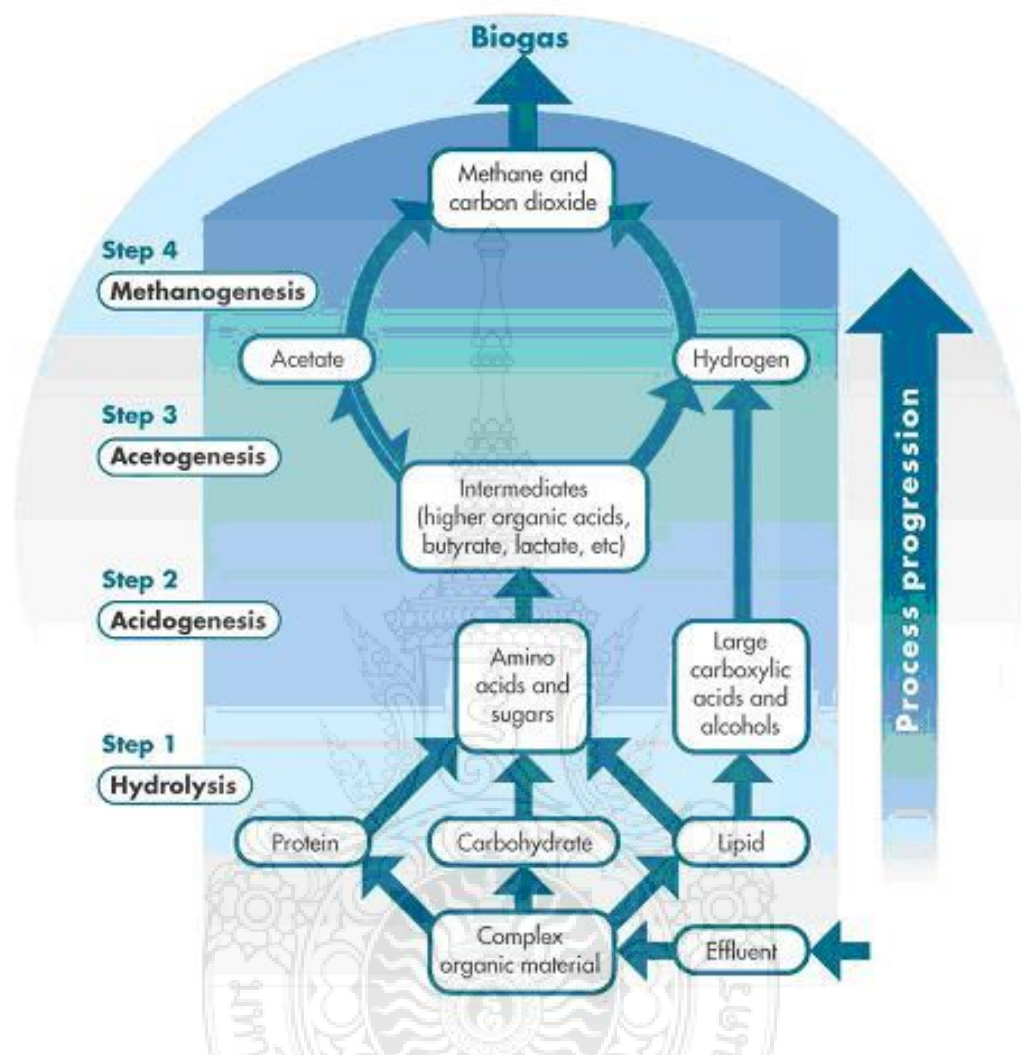
2.2 ทฤษฎีของระบบก๊าซชีวภาพ

2.2.1 แบคทีเรียที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) เกิดจากระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างสลับซับซ้อน ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน เพื่อใช้เป็นสารอาหารในการดำรงชีพของแบคทีเรียในกลุ่มที่ไม่ใช้อากาศ โดยสามารถแบ่งชนิดกลุ่มแบคทีเรียตามปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นได้เป็น 3 ชนิด คือ

1. แบคทีเรียสร้างกรด (Acid Former Bacteria) แบคทีเรียกลุ่มนี้จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งไปเป็นกรดอินทรีย์ต่างๆ
2. แบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria) ทำหน้าที่ย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์
3. แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต (Sulfate Reducing Bacteria, SBR) ปริมาณของแบคทีเรียชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของซัลเฟต (SO_4^{2-}) ในน้ำเสีย โดยจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟต ทำให้เปลี่ยนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของซัลเฟตเป็นก๊าซไข่เน่า (H_2S)





ภาพที่ 2.1 แสดงขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

(ที่มา : http://www.greenenergy.net/images/tec/pic_technology5.JPG)

2.2.2 ขั้นตอนการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นก๊าซชีวภาพมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การย่อย (Hydrolysis)

ในขั้นตอนนี้ สารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน จะถูกแบคทีเรียย่อยสลายให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ความเร็วของกระบวนการย่อยสลายขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย รวมถึงความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ความเข้มข้นของเอนไซม์ อุณหภูมิ และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์ เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 และ 3 การสร้างกรด (Acidogenesis and Acetogenesis)

ในขั้นตอนนี้ สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์ของการย่อยในขั้นตอนแรก จะถูกเปลี่ยนให้เป็นการกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรไพโอนิก (Propionic Acid) กรดวาเลอริก (Valeric Acid) และกรดแลคติก (Lactic Acid) โดยแบคทีเรียสร้างกรด โดยกรดที่เกิดขึ้นจะมีกรดอะซิติกสูงสุดในปริมาณที่มากที่สุด และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย แบคทีเรียสร้างกรดจะมีอัตราการเจริญเติบโตสูงและทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน เนื่องจากกระบวนการสร้างมีเทนส่วนใหญ่ต้องการใช้กรดอะซิติกเป็นสารตั้งต้น แต่กรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีหลายชนิด ซึ่งบางชนิดแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ในกระบวนการสร้างมีเทนได้ โดยเป็นกรดไขมันระเหยง่ายขนาดใหญ่ เช่น กรดโพรไพโอนิก กรดบิวทิริก เป็นต้น ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ประเภทนี้ในระบบ ธรรมชาติจึงได้มีการสร้างกระบวนการในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยง่ายที่มีขนาดใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก (Acetogenesis) ซึ่งช่วยทำให้ไม่เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ในระบบ

ขั้นตอนที่ 4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ในกระบวนการสร้างก๊าซมีเทนจะสร้างจาก กรดอะซิติก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ที่ได้จากกระบวนการสร้างกรด โดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methane Former Bacteria) การสร้างก๊าซมีเทนมีได้ 2 แบบ แบบแรกจะเกิดจากการเปลี่ยนกรดอะซิติกเป็นก๊าซมีเทน โดยคิดเป็น 70% ของก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นได้ในระบบ อีกแบบหนึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนให้กลายเป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียแคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8 - 7.2 นอกจากนี้อุณหภูมิก็มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตเช่นกัน อีกทั้งแบคทีเรียในกลุ่มนี้ต้องการสารอาหารที่โครงสร้างไม่ซับซ้อนในการดำรงชีพ ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียที่เป็นตัวสร้างมีเทนจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียในขั้นตอนไฮโดรไลซิส และการสร้างกรด โดยแบคทีเรียทุกกลุ่มต้องทำงานอย่างสัมพันธ์กัน (“ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบก๊าซชีวภาพ,” 2009)

Jeff (2554) ระบุว่า เมทาโนเจน คือแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตภายใต้สภาวะไร้อากาศ(anaerobic) ใน วงจรชีวิตของมัน เมทาโนเจน จะย่อยสลายอาหารและปล่อยก๊าซต่างๆ ซึ่งรวมถึงมีเทนด้วย เมทาโนเจน มี อยู่หลายชนิดโดยแบ่งออกเป็นสี่ประเภทหลักๆ ตามลักษณะทางเซลล์วิทยา(cytology) (Alexander, 1961).

- A. Rod-shaped Bacteria
 - (a) Non-sporulating, Methanobacterium
 - (b) Sporulating, Methanobacillus
- B. Spherical
 - (a) Sarcinae, Methanosarcina
 - (b) Not in Sarcinal groups, Methanococcus

Methanogen นั้นพัฒนาและเพิ่มจำนวนได้ช้า ทั้งยังค่อนข้างอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน ทั้งทางกายภาพ หรือทางเคมี ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหันเกิดขึ้นก็จะส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มจำนวนและการเกิดก๊าซ อย่างไรก็ตามเมทาโนเจนนั้นสามารถอยู่ได้โดยไม่มีอาหารเพิ่มเติมได้นานเป็น เดือน

แก๊สชีวภาพเกิดจากการหมักของสารอินทรีย์โดยมีจุลินทรีย์จำพวกแบคทีเรียเช่นจุลินทรีย์กลุ่ม สร้างมีเทน (methane-producing bacteria)หรือเมทาโนเจน และจุลินทรีย์กลุ่มสร้างกรด (acid-producing bacteria) มาช่วยย่อยในสภาวะไร้อากาศ ในกระบวนการย่อยในสภาวะไร้อากาศ เป็นการที่ จุลินทรีย์ต่างๆ ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ ลงจากสิ่งมีชีวิตซึ่งมีโครงสร้างที่ซับซ้อนลงเป็นโครงสร้าง ที่ซับซ้อนน้อยลงเป็นขั้นๆ ไป

กระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ขั้นดังนี้

1.ไฮโดรลิซิส(Hydrolysis): สารอินทรีย์(เศษพืชผัก เนื้อสัตว์) มีองค์ประกอบสำคัญคือ คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน แบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์เอกซ์ตราเซลลูลาร์ (extra cellular enzyme) มาช่วยละลายโครงสร้างโมเลกุลอันซับซ้อนให้แตกลงเป็นโมเลกุลเชิงเดี่ยว (monomer) เช่น การย่อยสลายแป้งเป็นน้ำตาลกลูโคส การย่อยสลายไขมันเป็นกรดไขมัน และการย่อยโปรตีนเป็นกรดอะมิโน

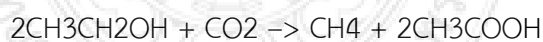
2.แอซิดิฟิเคชัน หรือ แอซิโดเจเนซิส(Acidification/ Acidogenesis):การย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (monomer)เป็นกรดระเหยง่าย (volatile fatty acid) กรดคาร์บอน แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

3.อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) เปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน

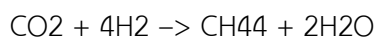
4.เมทาไนเซชัน หรือ เมทาโนเจเนซิส (Methanization/Methanogenesis): กรดอะซิติก และอื่นๆ จากขั้น 2 รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วน จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทน โดยเมทาโนเจน (methanogen) (<http://www.thachaibioogas.com/page/2/>, 2013)



กรดอะซิติก มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์



เอทานอล คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน กรดอะซิติก



คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน น้ำ

2.3 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ค่าพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับ สัดส่วน (%) ของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในเนื้อก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไป ดังนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าพลังงานจากก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติก๊าซชีวภาพ	ค่า
ค่าความร้อน (Heating Value)	21.5 MJ/m ³ (อ้างอิงที่ CH ₄ 60%)
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ทางทฤษฎี (A/F)	6.19 m ³ -air/m ³ -gas
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 deg C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH ₄	600 deg C

ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6 kJ/m ³ -deg C
ความหนาแน่น	1.15 kg/m ³

(ที่มา : http://www.greenenergynet.net/tec_Biogas.html)

คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2.5 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบแต่ละชนิดในก๊าซชีวภาพ โดยจะเห็นว่าโดยทั่วไปแล้วก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณก๊าซมีเทน (CH₄) อยู่ประมาณร้อยละ 50-80 ส่วนที่เหลือเป็นสิ่งปนเปื้อนได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ไนโตรเจน (N₂) ออกซิเจน (O₂) ไอน้ำ (H₂O) และสารประกอบอื่นๆ เช่น ซิลอกเซน (Siloxanes) ทั้งนี้ ชนิดและสิ่งปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับแหล่งหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ชนิด	อัตราส่วน
มีเทน (CH ₄)	50 - 80 % vol.
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO ₂)	20 - 50 % vol.
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S)	50-5,000 ppm
แอมโมเนีย (NH ₃)	0-300 ppm
ออกซิเจน (O ₂)	< 1 % vol.
ไนโตรเจน (N ₂)	1 - 4 % vol.

ความชื้น (H ₂ O)	2 - 5 % wt (อิมตัว)
-----------------------------	---------------------

(ที่มา http://www.doeb.go.th/knowledge/data/2Compressed_Biogas.pdf)

คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซชีวภาพ

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2553) ก๊าซชีวภาพเป็นแหล่งพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นใช้เองได้อย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถชดเชยหรือทดแทนการใช้เชื้อเพลิงต่างๆ กับอุปกรณ์ที่ต้องการความร้อนจากเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี เช่น ทดแทนการใช้ก๊าซหุงต้ม (LPG) ในครัวเรือน เครื่องกลูกสุกร เครื่องอบแห้ง หม้อต้มไอน้ำ ระบบทำความเย็นแบบดูดซึม รวมถึงการใช้ในรูปแบบของแสงสว่างกับตะเกียง และ/หรือใช้กับเครื่องยนต์สำหรับสูบน้ำหรือผลิตพลังงาน ไฟฟ้าเพื่อใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ภายในฟาร์ม

ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (ที่ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศ)	
ปริมาณ CH ₄	65-70 %
ปริมาณ CO ₂	30-35 %
ปริมาณ H ₂ S	1,000 ppm
ค่าความร้อนทางต่ำ	24.48 MJ/m ³
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s

อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 °C
ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6 kJ/m ³ - °C
ความหนาแน่น	1.15 kg/m ³

ตารางที่ 2.7 แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตร มีค่าความร้อนเทียบเท่า : ทดแทน	
ก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.46 กิโลกรัม
น้ำมันเบนซิน	0.67 ลิตร
น้ำมันดีเซล	0.60 ลิตร
น้ำมันเตา	0.55 ลิตร
ฟืนไม้	1.50 กิโลกรัม
ไฟฟ้า (ค่าเฉลี่ย)	1.20 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

(ที่มา : http://www2.dede.go.th/km_ber/e-learn/lesson4.pdf)

คุณสมบัติและการให้ค่าความร้อน

เนื่องจาก CO₂ เป็นก๊าซคงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้นสมบัติของก๊าซชีวภาพในด้านเชื้อเพลิงจึงขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซมีเทน (CH₄) เป็นสำคัญ คุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซชีวภาพได้แก่การที่เป็นก๊าซที่จุดไฟติดในบรรยากาศ ให้ค่าความร้อนประมาณ 600 B.T.U./ลูกบาศก์ฟุต (สำหรับก๊าซมีเทนให้ค่าความร้อน 1000 B.T.U./ลูกบาศก์ฟุต) หรือก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรจะให้ความร้อนเทียบเท่ากับถ่านไม้ชั้นดี 0.74 กิโลกรัม

ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์จะไม่มีสี กลิ่น รส เมื่อเผาไหม้จะได้ก๊าซ CO₂ น้ำ และพลังงาน 5,000-6,000 Kcal/M³ ที่ 15 °C . ความดัน 735 เซนติเมตรของปรอท ส่วน H₂S ที่ปะปนอยู่เป็นตัวการทำให้เกิดการสึกกร่อนและส่งกลิ่นเหม็น แต่เมื่อถูกเผาไหม้จะมีกลิ่นน้อยลง มีเทนเป็นก๊าซที่ทำให้เป็นของเหลวได้ยาก เพราะมีจุดควบแน่น -164.4°C แต่สามารถลดปริมาตรลงได้ 600 เท่าที่จุดควบแน่น ดังนั้น จึงควรเก็บ

ในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ (www.agro.cmu.ac.th/e_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc, 2555)

2.4 ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

การย่อยสลายสารอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีปัจจัยต่าง ๆ เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.4.1 อุณหภูมิในการเดินระบบ (operating temperature) เมทาโนเจน ไม่สามารถทนต่ออุณหภูมิที่ต่ำมากหรือสูงมากได้ ถ้าหากอุณหภูมิลดลงต่ำกว่า 10 °C แบคทีเรียจะหยุดทำงาน อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และ เทอร์โมฟิลิก (Thermophilic)

- อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีคือประมาณ 20 °C – 45 °C แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง 37 °C – 41 °C โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก
- เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ 50 °C – 52 °C แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง 70 °C

แบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิ อีกด้วย ทำให้ระบบหมักก๊าซชีวภาพที่ใช้เมโซฟิลิกเสถียรกว่า แต่ขณะเดียวกันอุณหภูมิที่สูงกว่าในระบบที่ใช้เทอร์โมฟิลิกก็เป็นการช่วย เร่งปฏิกิริยาส่งผลให้อัตราการผลิตก๊าซสูงกว่า ข้อเสียอีกข้อของระบบเทอร์โมฟิลิก คือการที่ต้องใช้พลังงานจากภายนอกมาเพิ่มความร้อนให้ระบบ ทำให้อาจได้พลังงานสุทธิที่ต่ำกว่า

2.4.2 ความเป็นกรด - ด่าง (pH Value) ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2 ค่า pH ในถังหมักขึ้นอยู่กับช่วงของการหมักด้วย เพราะในช่วงแรกแบคทีเรียที่สร้างกรดจะสร้างกรดเป็นจำนวนมากและทำให้ค่า pH ลด ลง ซึ่งถ้าหาก pH ลดลงต่ำกว่า 5 ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัย หนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดอย่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ NH₄ จะมากขึ้นตามการย่อยสลายไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ค่า pH เพิ่มขึ้นโดยอาจเกิน 8 จนกระทั่งระบบผลิตเริ่มมีความเสถียร pH จะอยู่ระหว่าง 6.8 – 8

2.4.3 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของขยะอินทรีย์ที่สามารถใช้ผลิตก๊าซชีวภาพ คือตั้งแต่ 8 – 30 แต่อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการผลิตก๊าซชีวภาพคือประมาณ 23 ถ้าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สูงมาก ไนโตรเจนจะถูก Methanogen นำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหาก C/N Ratio ต่ำมาก ๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 ก็จะเริ่มเป็นพิษกับ แบคทีเรียทำให้จำนวนMethanogenลดลง นอกจากนี้หาก C/N ratio อยู่นอกเหนือจากช่วง 8 - 30 จะทำให้มีสัดส่วนปริมาณก๊าซที่ได้เป็นก๊าซอื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้น มูลสัตว์โดยเฉพาะวัวควายมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมที่สุด รองลงมาได้แก่พวกดอกจอกผักตบและเศษอาหาร ขณะที่ฟางมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ค่อนข้างจะสูง อย่างไรก็ตามสามารถนำวัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาผสมกับ วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำได้ เพื่อให้ได้วัตถุดิบที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ต้องการ

2.4.4 ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบ (Loading) ปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบคือ ปริมาณสารอินทรีย์ที่เราเติมใส่ถังหมักในแต่ละวัน ซึ่งถ้าหากว่าปริมาณที่เราเติมนั้นมากเกินไป ก็จะส่งผลให้ค่า pH ลดลงมากเกินไป(เนื่องจากในช่วงแรกของกระบวนการคือ acidogenesis กรดจะถูกผลิตขึ้นมา) จนทำให้ระบบล้มเหลวเนื่องจาก methanogen ตายหมด ซึ่งหากสิ่งนี้เกิดขึ้นจริงก็ต้องเริ่มต้นระบบใหม่หมด แต่ถ้าหากปริมาณสารอินทรีย์เข้าสู่ระบบน้อยก๊าซที่ผลิตได้ก็จะน้อยตามไปด้วย เท่ากับว่าไม่ได้เดินระบบเต็มตามกำลังการผลิต ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่เกินไปโดยไม่จำเป็น

2.4.5 ระยะเวลาการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมัก (Retention time) ระยะเวลาในการกักเก็บสารอินทรีย์ในถังหมักขึ้นอยู่กับปริมาณ และประเภทของสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปซึ่งมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่าง กันไป รวมถึงรูปแบบของระบบ/ถังหมัก หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะมีผลสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรีย ลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมัก ลดลง ขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14 - 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่าTSC อุณหภูมิขนาดและประเภทของ digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไร โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อ

ย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไรก็ตามที่แบคทีเรียย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่า แบคทีเรียจะยังไม่ตายจากการขาดอาหาร

2.4.6 ปริมาณของแข็ง (Total Solid Content, TSC) Solid content ของสารอินทรีย์ในการผลิตก๊าซชีวภาพแบ่งเป็นสองระดับคือ

- High-solid (ปริมาณของแข็งสูง) TSC สูงกว่า ~ 20%
- Low-solid (ปริมาณของแข็งต่ำ) TSC ต่ำกว่า ~ 15%

ถังหมักที่ออกแบบสำหรับเติมสารอินทรีย์ high solid จะต้องใช้พลังงานมากกว่าในการสูบน้ำตะกอน (slurry) แต่เนื่องจากในระบบ high solid ความเข้มข้นของน้ำในถังหมักสูงกว่า พื้นที่ที่ใช้ก็จะน้อยกว่าในทางกลับกัน ถังหมัก Low solid สามารถใช้เครื่องสูบน้ำทั่วไปที่ใช้พลังงานน้อยกว่าสูบน้ำตะกอน แต่ก็ต้องใช้พื้นที่มากกว่าเนื่องจากปริมาตรต่อสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไปสูงขึ้น กระนั้นก็การที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของแบคทีเรีย และสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่ว ถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

2.4.7 การคลุกเคล้า (Mixing) การคลุกเคล้าตะกอน น้ำ และ สารอินทรีย์ เป็นส่วนที่สำคัญอีกส่วนเพราะจะทำให้แบคทีเรียสัมผัสกับสารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึง ทำให้แบคทีเรียทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การเกิดก๊าซเร็วขึ้นและมากขึ้น นอกจากนี้ยังป้องกันการตกตะกอนและตะกอนลอย (Scum) ซึ่งตะกอนอาจจะไปอุดช่องทางสำหรับระบายของเหลวจากถัง

2.4.8 สารอาหาร (nutrient) สารอาหารที่แบคทีเรียต้องการเพื่อการเจริญเติบโต นอกเหนือไปจากคาร์บอนและไฮโดรเจนแล้ว ยังมีไนโตรเจน ซัลเฟอร์ ฟอสฟอรัส โปแตสเซียม แคลเซียม นอกจากนี้ก็มีธาตุที่จำเป็นในปริมาณน้อยมากๆ เช่น เหล็ก แมงกานีส ลิบดินัม สังกะสี โคบอลต์ ซีลีเนียม ทังสเตน และนิเกิล เป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป

2.4.9 สารยับยั้งและสารพิษ (inhibiting and Toxic Materials) เช่น กรดไขมันระเหยได้ ไนโตรเจน หรือแอมโมเนีย รวมถึงธาตุไอออน, สารพิษ, โลหะหนัก, สารทำความสะอาดต่างๆ เช่นสบู่ น้ำยาล้างต่างๆ และยาปฏิชีวนะ สามารถส่งผลยับยั้งการเจริญเติบโต และการผลิตก๊าซของแบคทีเรียได้

ธาตุไอออนในปริมาณน้อย (เช่น โซเดียม, โพแทสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์, แอมโมเนียม) สามารถช่วยกระตุ้นการเติบโตของแบคทีเรียเช่นกัน แต่ถ้าหากปริมาณนั้นมากก็จะส่งผลเป็นพิษได้ ยกตัวอย่างเช่นแอมโมเนียในปริมาณ 50 – 200 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเป็นผลดี ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อใดที่ความเข้มข้นของแอมโมเนียสูงกว่า 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตรก็จะเริ่มส่งผลเสียในทางเดียวกัน โลหะหนักบางประเภท (เช่น ทองแดง, นิกเกิล, โครเมียม, สังกะสี, ตะกั่ว และอื่นๆ) ในปริมาณที่น้อยๆ ช่วยในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นสูงก็จะเป็นพิษ ("Friendly fuel trains". (Oct. 30, 2005). *New Straits Times*, p. F17.)

2.5 วัสดุที่ใช้ในการหมัก

อินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้ทุกชนิดสามารถใช้เป็นวัสดุหมักก๊าซชีวภาพแต่วัสดุบางชนิดจะมีความเหมาะสมมากกว่าวัสดุบางชนิดด้วยเหตุผลทางด้านทุนและเทคนิคไม่ควรใช้วัสดุที่ต้องซื้อหรือมีราคาแพง เพราะจะทำให้ก๊าซชีวภาพมีต้นทุนสูง ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่สำคัญประการหนึ่งของการผลิตก๊าซชีวภาพ คือ การเปลี่ยนวัสดุเหลือใช้จากครัวเรือนและชุมชน ที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เปลี่ยนขยะหรือของเหลือทิ้งเป็นพลังงานที่มีค่า

นอกจากมูลสัตว์และมูลคนแล้วเศษวัสดุจากพืชก็สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ อินทรีย์วัตถุต่างชนิดกันก็จะมีคุณสมบัติทางชีวเคมีที่ต่างกัน ซึ่งจะทำให้ความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพต่างกันไป ในการหมักก๊าซชีวภาพสามารถใช้วัสดุหมักหลายชนิดรวมกันได้ แต่ต้องคำนึงถึงปัจจัยพื้นฐาน ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตและการทำงานของแบคทีเรียเมทาโนเจน

คุณลักษณะต่างๆ ของวัสดุหมักซึ่งมีความสำคัญต่อระดับการผลิตก๊าซชีวภาพมีดังต่อไปนี้

C/N Ratio ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนที่มีอยู่ในวัสดุอินทรีย์ จะแสดงอยู่ในรูปของสัดส่วนระหว่างคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจน ที่เรียกว่า C/N ratio อัตราส่วน C/N ที่มีค่าอยู่ระหว่าง 20 - 30 จะเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการหมักแบบไร้อากาศ

ถ้าอัตราส่วน C/N สูงมาก ๆ แบคทีเรียเมทาโนเจนจะใช้ไนโตรเจนจากวัสดุอย่างรวดเร็วเพื่อสร้างโปรตีนที่ตัวมันต้องการ และจะไม่ทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีอยู่ในวัสดุ จะทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่ำในทางกลับกัน ถ้าอัตราส่วน C/N ต่ำมาก ๆ ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกมาและสะสมในรูปของแอมโมเนีย แอมโมเนียจะเพิ่มค่าความเป็นกรด - ด่าง ของวัสดุในปอหมัก ถ้าค่าความเป็นกรด - ด่าง สูงกว่า 8.5 วัสดุหมัก จะเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรียทำให้ประชากรของแบคทีเรียเมทาโนเจนน้อยลงทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่ำ

การผลิตพลังงานทดแทนจากหญ้าเลี้ยงช้าง

หญ้าเลี้ยงช้างเป็นหญ้าตระกูลเดียวกับหญ้าเนเปียร์(Napier grass) เป็นพืชพลังงานที่ได้รับความสนใจในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายในหลายพื้นที่ของประเทศ มีผลผลิตสูงถึง 70-80 ตันต่อไร่ต่อปี สามารถเก็บเกี่ยวได้ราวๆ 5-6 ครั้งต่อปี และในการปลูก 1 รอบ ยังสามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 5 ปี ก่อนที่จะต้องไถพรวนเพื่อลงต้นกล้ารอบต่อไป สำหรับต้นทุนในการปลูกเฉลี่ยเพียง 7,000 บาทต่อไร่ต่อปี(ที่มา:ชาวสารพืชอาหารสัตว์, กองอาหารสัตว์ 2548)โดยไม่รวมค่าที่ดินและคืดที่เก็บเกี่ยว 5 รอบ/ปีซึ่งเทียบเท่ากับ 0.1 บาทต่อกก.หญ้าสด หรือ 100 บาทต่อตันหญ้าสด และมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงถึง 100 ลบ.ม.ต่อตันหญ้าสดหรืออีกนัยหนึ่งมีศักยภาพในการผลิตก๊าซCBG ได้ประมาณ 45 กก.ต่อตันหญ้าสด

ในขณะเดียวกันการจัดการจัดหาเชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อทดแทนผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในภาคคมนาคมขนส่ง เช่น น้ำมันและก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นทางเลือกที่สำคัญในการลดการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมจากนอกประเทศ ก๊าซธรรมชาติอัดสำหรับยานยนต์ (NGV) เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพแต่ยังคงมีข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะด้านการขนส่งจากแหล่งผลิตสู่ผู้ใช้ที่อยู่นอกแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติ จากปัญหาดังกล่าวพบว่าก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศจากการหมักย่อยสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน เช่นเดียวกับกับก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) เมื่อผ่านการปรับปรุงก๊าซชีวภาพให้บริสุทธิ์จะสามารถทดแทนก๊าซธรรมชาติในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศได้ แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปศุสัตว์และ

อุตสาหกรรม ยังมีศักยภาพไม่เพียงพอต่อการนำมาทดแทนความต้องการก๊าซธรรมชาติของประเทศได้ ดังนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน (Energy crop) จึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพอีกทางหนึ่งโดยการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซCBG เพื่อใช้ทดแทนก๊าซธรรมชาติอัดสำหรับยานยนต์ในอนาคตต่อไป (<http://www.thainews70.com>, 2013)

วัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ

ได้แก่มูลสัตว์ทุกชนิด รวมทั้งของเสีย น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตรเช่นโรงงานแป่งมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงฆ่าสัตว์ และจากขยะชุมชน หรือร้านค้า ภัตตาคาร เป็นต้น

การสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพแบบถุ่หมักพีวีซี

การผลิตก๊าซชีวภาพแบบถุ่หมักพีวีซีขนาดที่เหมาะสมกับเกษตรกรรายย่อย ซึ่งเลี้ยงสัตว์ประมาณ 10-20 ตัว ควรใช้ถุ่พลาสติกพีวีซี ความยาว 6 เมตร เส้นรอบวง 5.25 เมตร (ขนาดของบ่อดินมีความกว้าง 2 เมตร ยาว 4 เมตร ลึก 1 เมตร) มีปริมาตร รวม 7.8 ลูกบาศก์เมตร แยกเป็นส่วนของเหลว 5.9 ลูกบาศก์เมตร ก๊าซ 1.7 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตก๊าซชีวภาพต่อวันได้ประมาณ 35 % ของของเหลว หรือเท่ากับ 2 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเพียงพอต่อการนำก๊าซจำนวนนี้ ไปใช้กับเตาหุงต้มสำหรับใช้ทำอาหารในครัวเรือนได้พอดี (ใช้ก๊าซ 0.15 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง) ในมูลสุกรทั่วไป มีของแข็งประมาณ 15 % ซึ่งในบ่อหมักต้องการน้ำที่มีส่วนผสมของของแข็งประมาณ 3 % ดังนั้นการผลิตก๊าซดังกล่าวต้องใช้การสัดส่วนของมูลและน้ำเท่ากับ 1 : 1 ถึง 1:4 ส่วน จึงควรเติมมูลวันละ 24 ลิตร และใช้น้ำ วันละ 24 - 96 ลิตร หรือเท่ากับควรเลี้ยงสุกรอย่างน้อยจำนวน 6 ตัว (<http://guru.google.co.th/guru/thread?tid=78c3981a0c00026c>, 2554)

วัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ

ประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพในระดับอุตสาหกรรมนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของเสียและมูลสัตว์ที่ได้จากฟาร์มหรือไร่นาเป็นสำคัญ ปัจจุบันนี้เริ่มมีการเติมชีวมวลเพื่อไปช่วยส่งเสริมปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการผลิตก๊าซชีวภาพ ส่วนที่เติมเข้าไปจะไปเพิ่มปริมาณของธาตุอาหารที่จำเป็น

จากการรายงานของกรมมลพิษ ปี พ.ศ.2544 พบว่าหากขยะมูลฝอยมีสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายได้ง่ายสัดส่วนสูงก็จะเกิดก๊าซมีเทนได้มากโดยอ้างผลจากการศึกษางานวิจัย Barlaz ในปี ค.ศ 1987 พบว่าอัตราการเกิด ก๊าซชีวภาพจะเพิ่มขึ้น เมื่อมีปริมาณสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยมีมากขึ้น Combs และคณะ (1988) ได้ศึกษาผลของการแยกขยะมูลฝอยแต่ละประเภทต่อพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักมูลฝอย พบว่าองค์ประกอบที่เน่าเปื่อยได้ง่าย จะทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนมีมากขึ้น และมีผลทำให้ได้พลังงานมากขึ้น

อนึ่งผลการทบทวนงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาไม่พบการศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของ Organic Carbon content หรือ Total organic carbon ต่อสัดส่วนการเกิดก๊าซมีเทน หากพิจารณาปริมาณความชื้นต่อการเกิดก๊าซมีเทนจะพบว่า หากกระบวนการหมักมีความชื้นอยู่ในช่วง 10-15 % จะมีผลกระทบต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เพราะโดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนจะอยู่ในช่วงร้อยละ 60-80 จากการรายงานของกรมมลพิษ ปี พ.ศ.2544 ได้อ้าง ผลงานวิจัยของ Borlaz และคณะ,1987; Kinman, 1987 และ Hartz,1983 พบว่าการเพิ่มความชื้นในมูลฝอยจะทำให้มีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนมี เพิ่มขึ้นมาก (www.agro.cmu.ac.th/e_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc, 2554)

ตารางที่ 2.8 อัตราส่วน C/N ของวัสดุอินทรีย์

วัสดุ	C/N ratio
มูลเป็ด	8

มูลคน	8
มูลไก่	10
มูลแพะ	12
มูลหมู	18
มูลแกะ	19
มูลวัวควาย	24
สาหร่ายแกมน้ำเงิน	25
มูลช้าง	43
ฟางข้าวโพด	60
ฟางข้าว	70
ขี้เลื่อย	<200

ที่มา : คมสัน (2550)

จากตารางจะเห็นว่ามูลสัตว์โดยเฉพาะมูลวัว ควาย มีค่า C/N เฉลี่ยอยู่ที่ 24 จึงเหมาะที่จะนำมาหมักก๊าซชีวภาพ ในขณะที่มูลคนมีค่า C/N เพียง 8 วัสดุที่มีค่า C/N สูงจะต้องผสมกับวัสดุที่มีค่า C/N ต่ำเพื่อให้ได้ค่าเฉลี่ยของ C/N อยู่ในระดับที่ต้องการ ตัวอย่าง เช่น บ่อหมักก๊าซชีวภาพในประเทศจีนจะใช้ฟางข้าวใส่ไว้ด้านล่างของบ่อหมักแล้วเททับด้วยมูลคน หรือในประเทศเนปาลจะใช้มูลช้างผสม กับ มูลคน เพื่อให้ได้ค่า C/N อยู่ในระดับสมดุลทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ

ความเข้มข้นของวัสดุหมัก ก่อนที่จะทำการบ่อนวัสดุหมักเข้าถังหมักมูลสัตว์โดยเฉพาะมูลวัวมูลควายสด จะต้องผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 แต่ถ้าเป็นมูลแห้งจะต้องเพิ่มปริมาณน้ำให้มากขึ้นเพื่อให้วัสดุหมักมีความเข้มข้นตามที่ต้องการ เช่น 1:1.25 หรือ 1:2 แต่การเติมน้ำต้องไม่ให้มากเกินไปเพราะถ้าเจือจางด้วยน้ำมากเกินไป เนื้อของมูลจะจมลงก้นถัง และถ้าเติมน้ำน้อยไป มูลจะมีความเหนียวมากเกินไป มูลจะไปขวางการไหลของก๊าซที่เกิดขึ้นในส่วนล่างของถังหมัก ในทั้งสองกรณีนี้การผลิตก๊าซจะได้น้อยกว่าที่ควรจะเป็น นอกจากนั้นจะต้องจัดสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น เศษอิฐ เศษหิน ออกก่อน มิฉะนั้นประสิทธิภาพในการหมักจะลดลง (บุญมา และคณะ, 2550)

2.6 กาก

หลังจากวัสดุหมักถูกย่อยโดยแบคทีเรีย เมทาโนเจนในสภาพไร้อากาศภายในถังหมักก็จะเกิดก๊าซชีวภาพที่จุดติดไฟสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ กากที่เหลือทิ้งของแข็งและของเหลวยังเป็นผลพลอยได้ที่มีประโยชน์อีกอย่างหนึ่งที่ได้จากบ่อหมัก เป็นปุ๋ยหมักชีวภาพและน้ำหมักชีวภาพที่สามารถนำไปปรับปรุงบำรุงดินได้เป็นอย่างดี

กากที่เหลือจากถังหมักนี้อยู่ในหลายรูปแบบ กากที่เป็นของแข็งน้ำหนักเบา จะลอยเป็นฝ้าอยู่ด้านบนกากเหล่านี้มักจะเป็นส่วนประกอบของกากใย กากที่เป็นของเหลวและน้ำจะอยู่ที่ระดับกลางของบ่อหมัก ส่วนที่ขึ้นเหนียวจะอยู่ด้านล่างซึ่งเป็นกากที่แท้จริง จะมีของแข็งบางส่วนที่มีน้ำหนักอยู่ที่ก้นบ่อ มักจะเป็นทรายและดิน

กากอาจจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน มีการแยกชั้นไม่มาก หากวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปมีสัดส่วนที่พอเหมาะระหว่างน้ำและมูลสัตว์ ซึ่งมีการผสมคลุกเคล้าวัตถุดิบกันก่อนที่จะป้อนเข้าถังหรือ บ่อหมักกากที่เหลือออกมาก็จะเป็นเนื้อเดียวกัน (บุญมา และคณะ, 2550)

ประโยชน์ทางการเกษตร

กากมูลสัตว์ที่ได้จากการหมักก๊าซชีวภาพสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้ ดีกว่าปุ๋ยพืชสด(ปุ๋ยคอก) ทั้งนี้เนื่องจากในขณะที่มีการหมักนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงสารประกอบไนโตรเจนในมูลสัตว์ให้กลายเป็นแอมโมเนียที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ง่ายกว่า และยังมีคุณสมบัติที่ดีกว่าปุ๋ยเคมีในการใช้ปรับปรุงดินเพื่อการเกษตรให้มีสภาพดีขึ้นด้วย (<http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php>, 2555)

การใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรมและปศุสัตว์ (Agricultural and feeding applications)

1 การทำปุ๋ยน้ำชีวภาพ คือ การนำขยะย่อยสลายพวกเศษอาหาร เศษพืช และ วัสดุที่ย่อยสลายได้มาหมักโดยใช้สารเร่ง คือ กากน้ำตาล หรือเชื้อจุลินทรีย์ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมจนกระทั่งได้น้ำหมักที่มีสีเหลืองน้ำตาล ซึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น รดน้ำต้นไม้ ดับกลิ่นห้องน้ำ ฆ่าหญ้า

2 การหมักทำปุ๋ย คือ การนำขยะย่อยสลาย พวกเศษพืช เศษขยะ จากการทำครัว เช่น เศษ

ผัก เศษเนื้อ เปลือกผลไม้ มาหมักโดยอาศัยขบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายขยะดังกล่าว ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมทั้งในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณ ออกซิเจน จนได้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วเป็นผงหรือก้อนเล็กๆสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น มีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เมื่อขบวนการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์จะได้ปุ๋ยหมักที่สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินได้เป็นอย่างดี วิธีการหมักทำปุ๋ย สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือวิธีการกองบนพื้นหรือในหลุม กับวิธีการหมักขยะโดยใช้เครื่องจักรกล

3 การนำไปเลี้ยงสัตว์ คือ เป็นการนำขยะจำพวกเศษอาหารที่เหลือจากการรับประทานหรือประกอบอาหารไปใช้เลี้ยงสัตว์ เช่น ใช้เลี้ยงสุกร เลี้ยงปลา

4 การนำของเสียมาปรับปรุงพื้นที่ (Land reclamation) การนำของเสียมาปรับปรุงพื้นที่ คือ การนำเอาของเสียทั่วไป เศษวัสดุจากการก่อสร้าง หรือทำลายอาคาร กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย ถ้ำและกากของเสียอื่นๆ ที่เกิดจากขบวนการเผาไหม้และหมักทำปุ๋ยชีวภาพ มาใช้ปรับปรุงพื้นที่ เช่น ถมพื้นที่ที่เป็นหลุม เป็นบ่อ ถมถนนที่มีความลาดเอียงถมพื้นที่ที่ต้องการยกระดับความสูง เมื่อถมกากของเสียหรือขยะในพื้นที่ดังกล่าวแล้ว จะสามารถนำพื้นที่นั้นๆ ไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น ปลูกต้นไม้ สร้างสวนสาธารณะ หรือสถานที่พักผ่อนหย่อนใจ และปลูกสร้างอาคารที่มีความสูงไม่มากนัก (<http://ptech.pcd.go.th/p2/waste-util-knowlage-view.php?kid=23, 2556>)

2.7 ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

อนจ (มปป.) รายงานว่า จากการทดลองใช้ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ในแต่ละวันจุดไฟ พบว่าสามารถจุดไฟสำหรับหุงต้มได้นานโดยเฉลี่ยประมาณ 15-20 นาทีต่อวัน ต่อถังหมักก๊าซ 1 ถัง ทั้งนี้จากที่ทดลองการหมักก๊าซใช้ได้ในระยะเวลา 1 เดือน เมื่อพิจารณาจากปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวันหลังจากวันที่ 30 ของการหมักจะให้ปริมาณก๊าซที่ได้ลดลง ดังนั้นถ้าต้องการใช้ก๊าซชีวภาพในการทำข้าวเป็นเวลา 60 นาทีต่อวัน ต้องทำการเพิ่มจำนวนถังหมักให้เป็น 4 ถัง ซึ่งต้นทุนในการทำถังหมักก๊าซชีวภาพและอุปกรณ์ประกอบถัง ถังละ 500 บาท คิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 2,000 บาท การประยุกต์นำระบบการผลิตก๊าซชีวภาพมาใช้ในครัวเรือน ต้องใช้ระยะเวลาประมาณ 6 เดือน จึงจะคุ้มทุน หลังจากนั้นก็สามารถใช้ระบบการผลิตก๊าซชีวภาพไปได้เรื่อยๆ จนครบเวลา 1 ปีโดยไม่เสียค่าใช้จ่ายใดๆ เพิ่มเติม ในขณะที่เดียวกันถ้าใช้แก๊สหุงต้ม LPG ขนาดถัง 15 กิโลกรัม 1 ถังต่อเดือน ในเวลา 1 ปีต้องเสียค่าใช้จ่าย

(12×300) คิดเป็นเงิน 3,600 บาท จึงสรุปได้ว่าในระยะเวลา 1 ปี การใช้ก๊าซชีวภาพจะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายจากการใช้แก๊สหุงต้ม LPG คิดเป็นเงิน 1,600 บาทต่อปี จะเห็นว่าระบบการผลิตก๊าซชีวภาพมีความคุ้มค่าสำหรับนำไปใช้ในครัวเรือน



2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เกียรติไกร, ปราโมทย์ และวิชัย, (2553) ก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารถูกผลิตให้เป็นไบโอมีเทน มีการดำเนินการทดลองเดินระบบต้นแบบขนาดกำลังการผลิตไม่น้อยกว่า 50 ลิตร/วัน เดินระบบต่อเนื่อง 600 ชั่วโมง ด้วยเทคโนโลยีเยื่อเลือกผ่านทดสอบกับระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร ขนาดการหมัก ประมาณ 200 กิโลกรัม/วัน หลังจากการทดสอบเดินระบบผลิตก๊าซไบโอมีเทน พบว่าได้คุณภาพก๊าซมีเทน 97.27% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2.74% และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2.43 ส่วนในล้านส่วน หรือ 0.000243% โดยปริมาตร และมีค่าความร้อน 35.16 MJ/m³ มีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นก๊าซเติมรถยนต์ได้ต่อไป ในขณะที่คุณภาพของ Off gas ได้คุณภาพก๊าซมีเทน 58.33 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 41 % และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 27 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ต่อไป

อนุรักษ์, ธนวัฒน์ และสมจินตนา (2554) กรณีศึกษา : การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร

กำหนดให้ทำการศึกษาการหมักขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน ในถังหมัก (reactor) แบบกวนสมบูรณ์ ที่ความเข้มข้น 8 เปอร์เซ็นต์ของแข็งรวม (%TS) อุณหภูมิสำหรับระบบการหมักขยะเท่ากับ 55 องศาเซลเซียส ซึ่งผลจากการตรวจวัดคุณสมบัติแสดงตามตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 คุณสมบัติของขยะที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	จ.นครราชสีมา		มจพ. ปราจีนบุรี
	น้ำขยะกากของแข็ง	ขยะที่ความเข้มข้น 8%TS	ขยะที่ความเข้มข้น 8%TS
Total COD (g/L)	31.52	35.38	74.96
Soluble COD (g/L)	-	-	18.57
pH	7.51	7.4	4.59
Total Solids (g/L)	25.25	79.65	80.68
Suspended Solids (g/L)	11.78	36.18	43.02
Total Volatile Solids (g/L)	19.33	76.97	50.32
TVS/TS	0.76	0.97	0.62
Alkalinity (g/L)	1.73	1.68	0.36

Total Nitrogen (g/L)	0.46	0.62	0.19
Phosphorus- PO43- (g/L)	0.26	0.25	0.15
tCOD : N	69	57	395

ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีองค์ประกอบของก๊าซต่างๆ คือ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ผลิตได้ในแต่วัน จากผลการทดลอง พบว่าในก๊าซชีวภาพมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเท่ากับ 23.2 - 70 % โดยช่วงเริ่มแรกของการทดลอง ปริมาณของก๊าซมีเทนจะต่ำเนื่องจากอยู่ในสภาวะการปรับตัวของแบคทีเรียในกลุ่มที่ผลิตก๊าซมีเทนและมี ปริมาณของแบคทีเรียที่น้อย เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะสมดุลที่ค่า HRT ต่างๆ พบว่าได้องค์ประกอบของก๊าซ มีเทนมีค่าที่ใกล้เคียงกัน จากผลการทดลองพบว่ามีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าเฉลี่ย เท่ากับ 52.34%

การผลิตก๊าซมีเทนขึ้นอยู่กับสภาวะสิ่งแวดล้อมต่างๆที่เหมาะสม จากการทดลอง พบว่า ปริมาณ ก๊าซมีเทนที่ผลิตได้มีค่าเปลี่ยนไปตามค่า HRT (เมื่อรักษาให้ความเข้มข้นสารอินทรีย์ขาเข้าคงที่ ค่า OLR จะเพิ่มขึ้นตาม HRT ที่ลดลง) ที่ HRT เท่ากับ 21, 15.5, 13, 10.5 และ 7.5 วัน สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ เท่ากับ 0.163, 0.192, 0.205, 0.286 และ 0.257 m_3kg^{-1} COD_{removal} ที่ค่า HRT 4 วัน ก๊าซมีเทนที่ผลิต ได้มีค่าน้อยลงจนไม่มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในวันสุดท้ายของการเดินระบบคือวันที่ 151ของการทดลอง โดย ค่า TCOD ที่เข้าสู่ระบบมีค่าที่แปรปรวนมีปริมาณช่วงของค่า TCOD เท่ากับ 45.14 - 94.47 gL^{-1} ส่งผล ต่อการคำนวณผลผลิตก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นต่อค่า COD ที่ถูกใช้ไป

ปริยา (2539) การแยกเชื้อบริสุทธิ์ของแบคทีเรียซึ่งสามารถผลิตมีเทนจาก แหล่งที่มีการย่อย สลายสารอินทรีย์วัตถุในสภาวะไร้ออกซิเจน 7 ตัวอย่างซึ่งได้ผ่านการกระตุ้นให้มีการผลิตมีเทนแล้ว และ ได้ ทดสอบความสามารถในการผลิตมีเทนจากสารอาหารต่าง ๆ เพื่อแยกเมทาโนเจนที่มีความสามารถ สูงในการผลิตมีเทน ตัวอย่างที่มีการย่อยสลายอินทรีย์ 7 ตัวอย่างพบ เมทาโนเจน 9 สายพันธุ์ สามารถ จำแนกได้ 5 สายพันธุ์ได้แก่ *Methanobacterium uliginosum*, *Methanobacterium formicium*, *Methanosarcina mazei*, *Methanobrevibacter smithii*, *Methanospira* sp. และเมทาโนเจนที่

ไม่สามารถจำแนกได้ 4 สายพันธุ์ให้ชื่อว่า M2,M6,M7,M9 ความสามารถในการผลิต มีเทนของเมทาโนเจนแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับ สารประกอบคาร์บอนที่มีองค์ประกอบอย่างง่ายที่เชื้อสามารถใช้เป็น สารอาหารเพื่อผลิตมีเทน เมื่อใช้สารประกอบคาร์บอนต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อะซิเตท เมทานอล ฟอ์เมท ไดเมทิลลามีนเป็นสารอาหารของ พบว่าจากอาหารในสภาวะที่มีก๊าซ ไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารอาหาร M. smithii ผลิตมีเทนได้มากที่สุด 74% ส่วนในอาหารที่มีอะซิเตทเมทาโนเจนที่มี รูปร่างเป็นสายยาว หรือ M9 ที่ไม่สามารถจำแนกได้ ผลิตมีเทนสูงที่สุดคือ 68% ส่วนในอาหารที่มีฟอ์เมทเป็นสารอาหาร M. smithii ผลิตมีเทนได้มากที่สุด 61% และเมทาโนเจน M7 ที่ไม่สามารถจำแนกได้ผลิตมีเทนได้ 74% และ 69% จากเมทานอลและ ไดเมทิลลามีนเป็นสารอาหารตามลำดับ

ชมพูนุช (2554) การศึกษาผลของปุ๋ยหมักและตำแหน่งการวางปุ๋ยหมักต่อปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยได้ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วันศึกษาปริมาณของก๊าซชีวภาพและการลดค่าซีโอดีในน้ำหมักจากมูลฝอยและปุ๋ยหมักจากการวางในตำแหน่งที่ต่างกันในถังปฏิกริยา

การทดลองเป็นการหมักแบบ Batch Process โดยควบคุมองค์ประกอบตั้งต้นของถัง 4 ถังปฏิกริยาให้เหมือนกันหมด ได้แก่ ปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอย และเชื้อที่ใช้เริ่มต้นระบบโดยแบ่งถังปฏิกริยาเป็น 4 ถังได้แก่ 1) ถังปฏิกริยา (C) ประกอบด้วยมูลฝอย 2.5 กิโลกรัม 2) ถังปฏิกริยา (U) ประกอบด้วยมูลฝอย 2.5 กิโลกรัม และปุ๋ยหมักคลุมด้านบน 0.5 กิโลกรัม 3) ถังปฏิกริยา (L) ประกอบด้วยมูลฝอย 2.5 กิโลกรัม และปุ๋ยหมัก 0.5 กิโลกรัมปิดอยู่ด้านล่าง และ 4) ถังปฏิกริยา (UL) สุดท้ายประกอบด้วยมูลฝอย 2.5 กิโลกรัม และปุ๋ยหมัก 0.25 กิโลกรัมปิดคลุมที่ด้านบนและ 0.25 กิโลกรัมปิดอยู่ด้านล่าง

ผลการทดลองพบว่า ถังปฏิกริยาทั้ง 4 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสุดท้ายคือ ถังปฏิกริยา C 20,500 มิลลิลิตร ถังปฏิกริยา U 22,760 มิลลิลิตร ถังปฏิกริยา L 26,560 มิลลิลิตร และถังปฏิกริยา UL 27,315 มิลลิลิตร และในช่วงระยะที่ 3 (ช่วงวันที่ 61 ถึงวันที่ 90 ของการทดลอง) ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี มีค่าเฉลี่ยของถังปฏิกริยา C เท่ากับ 37.24 เปอร์เซ็นต์ ถังปฏิกริยา U เท่ากับ 34.05 เปอร์เซ็นต์ ถังปฏิกริยา L เท่ากับ 39.13 เปอร์เซ็นต์ และถังปฏิกริยา UL เท่ากับ 42.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่ง

แสดงให้เห็นว่าถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมักมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และเพิ่มอัตราการกำจัดซีโอดีได้ดีกว่าถึงปฏิกิริยาที่ไม่มีปุ๋ยหมักเลย และถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านล่างสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และเพิ่มอัตราการกำจัดซีโอดีได้ดีกว่าถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านบนแต่ เมื่อปุ๋ยหมักไว้ทั้งด้านล่างและด้านบนจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพไม่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับการวางปุ๋ยหมักไว้เฉพาะด้านล่าง

ประมวล (2547) การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตขนมจีนโดยวิธีการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนในระดับห้องปฏิบัติการระบบประกอบด้วยถังหมักกรด มีปริมาตรการหมัก 27.73 ลิตรและถังหมักก๊าซมีปริมาตรการหมัก 52.83 ลิตร ซึ่งถึงปฏิกิริยาทั้งสองถังนี้มีการกวนผสมกันอย่างสมบูรณ์

เมื่อดำเนินระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 10 และ 8 วัน คิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 2.45 3.06 และ 4.45 กรัมซีโอดีต่อลิตร.วัน ตามลำดับ จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดคาสีโอดีมีค่าอยู่ระหว่าง 88.68-93.69 เปอร์เซ็นต์ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 73.49-87.45 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งระเหยทั้งหมดมีค่าอยู่ระหว่าง 85.11-94.32 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการกำจัดคาสีโอดีของแข็งแขวนลอยมีค่าอยู่ระหว่าง 88.75-95.62 เปอร์เซ็นต์โดยที่ระยะเวลาเก็บกัก 15 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 2.45 กรัมซีโอดีต่อลิตร.วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดคาสีโอดีสูงสุดเท่ากับ 93.69 เปอร์เซ็นต์ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้น 4.28 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนเปนองคประกอบเท่ากับ 64.91 เปอร์เซ็นต์สวนที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 4.45 กรัมซีโอดีต่อลิตร.วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดคาสีโอดีสูงสุดเท่ากับ 88.68 เปอร์เซ็นต์ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้น 15.87 ลิตรต่อวัน และมีก๊าซชีวภาพเกิดสูงสุดถึง 21.05 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนเปนองคประกอบเท่ากับ 67.78 เปอร์เซ็นต์

มันัญญา และวรรณนิภา (2551) การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลของสบู่ดำ ในสวนของใบ ลำต้น และกากเมล็ด โดยการหมักในถังแบบกะและแบบกึ่งกะที่สภาวะไร้อากาศ สำหรับการหมักแบบกะและแบบกึ่งกะได้ทำการศึกษาผลของปริมาณของแข็ง ชนิดของวัตถุดิบ และอัตราสวนการผสมกัน

ของวัสดุที่มีการผลิตแบบสองและสามชนิด จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งที่ร้อยละ 5 ของกากเมล็ดใบบัวปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด เท่ากับ 27 มิลลิลิตรต่อกรัมวัสดุแห้ง สำหรับการหมักแบบผสมวัสดุสองชนิดอัตราส่วนของกากเมล็ดและลำต้นที่ 1:3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด เท่ากับ 23 มิลลิลิตรต่อกรัมวัสดุแห้ง ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มากที่สุดสำหรับการผสมวัสดุสามชนิด ในอัตราส่วนของใบ : ลำต้น : กากเมล็ด ที่ 1:3:3 ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 24 มิลลิลิตรต่อกรัมวัสดุแห้ง การผสมกากเมล็ดและลำต้นที่อัตราส่วน 1:3 ใช้สำหรับการหมักแบบกึ่งกะโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรน้ำต่อวัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดประมาณ 26 มิลลิลิตรต่อกรัม วัสดุแห้ง

นวัตน์ (2539) การลดปริมาณมูลฝอยชุมชน ด้วยการใช้ จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) ในความเข้มข้น 250 มล, 5มล, 1มล, และ 0.5 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. เปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) โดยใช้มูลฝอยชุมชนประเภทเศษผัก ผลไม้จากตลาดสดในเขตเทศบาลนครขอนแก่น การศึกษาวิจัยนี้เป็นเชิงทดลอง มีแผนการทดลองแบบ Completely Randomized design ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ในแต่ละความเข้มข้นของจุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) จากผลการทดลองพบว่า กรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) 250 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. สามารถลดปริมาณมูลฝอยได้มากที่สุดถึงร้อยละ 98.74 เมื่อเปรียบเทียบกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) 5 มล. และ 1 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. ซึ่งลดลงร้อยละ 98.35 และ 97.86 ตามลำดับ พบว่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ส่วนกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) 0.5 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. ซึ่งลดลงร้อยละ 97.28 นั้น มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่ก็พบว่าในกรรมวิธีทดลองที่ไม่ใส่จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) สามารถลดปริมาณมูลฝอยลงร้อยละ 98.60 ซึ่งปริมาณที่ลดลงไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) สำหรับปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นจากการลดปริมาณมูลฝอยนั้น กรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) 250 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. สามารถวัดปริมาณน้ำที่เกิดขึ้นได้มากที่สุดคือจาก 2.147 กก. ในวันแรกเป็น 5.731 กก. ในวันที่ 28 ของการทดลอง ซึ่งไม่มีความแตกต่างในทางสถิติกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) 5 มล. และ 1 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. ที่มีปริมาณน้ำเกิดขึ้นจาก 2.016 และ 2.232 กก. เป็น 5.377 และ 5.433 กก. ตามลำดับ แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับ

กรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) 0.5 มล. และกรรมวิธีทดลองที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) โดยมีปริมาณน้ำเกิดขึ้นจาก 2.082 และ 1.883 กก. เป็น 5.254 และ 5.070 กก. ตามลำดับ อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของมูลฝอยในถังทดลองจากทุกกรรมวิธีทดลองในสัปดาห์แรกของการทดลอง จะสูงกว่าในบรรยากาศประมาณ $1-2^{\circ}$ ซ และลดลงตามลำดับ เมื่อเริ่มเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่าง (PH) ในถังทดลองจะเพิ่มจาก 4.24 ในวันแรกของการทดลองเป็น 5.54, 5.96, 8.15 และ 9.39 ในวันที่ 7, 14, 21 และ 28 ของการทดลองตามลำดับ ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทาง เคมีของมูลฝอย พบว่าคาร์บอนลดลงจากร้อยละ 47.75 ในวันแรกเหลือร้อยละ 39.71 ในวันที่ 28 ของการทดลอง ไฮโดรเจนลดลงจากร้อยละ 5.37 เหลือร้อยละ 4.47 และซัลเฟอร์ลดลงจากร้อยละ 2.45 เหลือร้อยละ 0.73 ในขณะที่ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.53 เป็นร้อยละ 3.18

พิมพาพร, ราไพ และทับทิม (2538) การศึกษาคุณภาพยดอ้อยหมักยูเรีย จากการนำยดอ้อยแห้งที่เหลือทิ้งในไร่ของเกษตรกรมาหมัก โดยใช้ยูเรียในอัตรา 6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหมักยดอ้อย ใช้สัดส่วนของน้ำ : ยดอ้อย 3 อัตรา คือ 1 : 1 , 1.5 : 1 และ 2 : 1 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 3 ระยะ คือ 3 , 4 และ 5 สัปดาห์ โดยทำการหมักในบ่อซีเมนต์ จากผลการทดลองพบว่า ยดอ้อยหมักมีการเปลี่ยนแปลงคือ ทำให้ยดอ้อยมีลักษณะนุ่มขึ้น มีกลิ่นฉุนของแอมโมเนีย มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเยื่อใยเล็กน้อย และการหมักยดอ้อยโดยใช้น้ำ : ยดอ้อย ในอัตรา 1 : 1 และหมัก 3 สัปดาห์ จะทำให้ได้ยดอ้อยหมักมีคุณภาพที่ดีที่สุด และการเพิ่มสัดส่วนของน้ำทำให้ยดอ้อยมีความชื้นสูงขึ้นและเกิดเชื้อรา

วันดี (2551) การผลิตแก๊สมีเทนจากกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยใช้เอนไซม์ทางการค้า ชูเปอรอออกแทนิคโดยใช้กระบวนการหมักแบบกะ (Batch fermentation) ที่มีการควบคุมสภาวะการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic condition) ต่อเนื่องเป็นเวลา 3-4 วัน ด้วยเอนไซม์ทางการค้าชูเปอรอออกแทนิคในพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร ที่มีปริมาตรน้ำหมักรวม (working volume) 350 มิลลิลิตร ซึ่งมีการเตรียมเอนไซม์ก่อนการนำไปใช้โดยผสมกากน้ำตาล (Molasses) กับ น้ำในอัตราส่วน 1 : 9 และมีการแปรผันปริมาณเอนไซม์ 4 ระดับที่ 5, 10, 15 และ 20 กรัม ตามลำดับ ทั้งยังมีการแปรผันสภาวะการหมักเป็น 4 สภาวะคือ สภาวะการหมักแบบนิ่ง (Static condition) ที่อุณหภูมิห้อง (ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิห้อง

20±5°C) สภาวะการหมักแบบนิ่งที่อุณหภูมิ 37°C สภาวะการหมักแบบเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 rpm ที่อุณหภูมิ 37°C และสภาวะที่มีการเตรียมเอนไซม์ทิ้งไว้ 4 วันก่อนการหมักแบบนิ่งที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีการผลิตแก๊สมีเทนเกิดขึ้นผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ได้เป็นแก๊สชีวภาพชนิดแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และพบแก๊สไฮโดรเจน (H₂) ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่พบว่าเอนไซม์นี้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวานได้ดีในทุกชุดการทดลอง โดยจากการทดลองหาปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่าเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์ 5 กรัม ในการหมักกับกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวาน 50 กรัม นั้น เอนไซม์จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดีที่สุดโดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง 140 มิลลิกรัมต่อลิตรดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเอนไซม์นี้มีประสิทธิภาพในการย่อยกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวานได้เป็นอย่างดีแต่ไม่สามารถผลิตแก๊สมีเทนได้เนื่องจากจุลินทรีย์ผสมทั้งหมด 18 สายพันธุ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์เอนไซม์นั้นเป็นกลุ่มเชื้อรา

แพรพิลลาต (2551) การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์ ผ่านกระบวนการหมักที่มีการควบคุมสภาวะไร้อากาศเป็นเวลา 3-4 วัน ในฟลาสกในฟลาสกขนาด 500 มิลลิลิตรในสภาวะเขย่าโดยใช้ปริมาตรน้ำหมักรวม (Working volume) 350 มิลลิลิตร ที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส โดยมีการแปรผันค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH 5.0, 5.5 และ 6.0) และชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อโดยในชุดที่ 1 จะมี 3 ฟลาสกซึ่งใช้ Reinforced Clostridial Medium เป็นอาหารและในชุดที่ 2 จะมี 3 ฟลาสกซึ่งใช้น้ำกลั่น ที่มีการเติมแหล่งไนโตรเจน (Urea) และฟอสฟอรัส (KH₂O₄) ลงไป (สำหรับชุดควบคุมจะใช้น้ำกลั่นที่ไม่เติมแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส)

จากการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีการผลิตแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นทั้งชุดที่ใช้อาหารและน้ำกลั่น อย่างไรก็ตาม ในชุดการทดลองที่ใช้น้ำกลั่นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 จะมีแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นสูงที่สุดที่ 6%v/v ในชั่วโมงที่ 30 หลังจากนั้นการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วทุกชุดการทดลอง ทั้งนี้อาจเกิดจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่ค่อยๆ ลดลงระหว่างกระบวนการหมักมีผลไปยังการการผลิตแก๊สไฮโดรเจนของ *C. butyricum* นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นยิ่งสูงขึ้น โอกาสที่จะเกิดแก๊ส

ไฮโดรเจนก็จะลดน้อยลง พิจารณาจากผลการทดลองในชุดที่ใช้น้ำกลั่นที่ค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 พบว่ามีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 20.08 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ในชุดอื่นมีค่าสูง (เฉลี่ย 25.78 กรัมต่อลิตร) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น มีอิทธิพลที่สำคัญต่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน

วิลาวัลย์ (2547) การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบตามลำดับสองขั้นตอนในระดับ Semi-pilot scale การศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินการของระบบผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบตามลำดับสองขั้นตอนในระดับ semi-pilot scale ประกอบด้วยถังหมักกรดจำนวน 1 ถังและถังหมักก๊าซมีเทนจำนวน 3 ถังต่อกันแบบอนุกรม โดยกำหนดให้มีระยะเก็บกักสารอินทรีย์ 25 วัน เมื่อเพิ่มค่าของแข็งทั้งหมดในสารละลายเศษอาหารที่เขาระบบจาก 4 เพน 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์(น้ำหนักต่อปริมาตร) โดยคิดเป็นอัตราการป้อนสารอินทรีย์เขาระบบเท่ากับ 1.47, 4.21 และ 6.38 กรัมซีโอดีต่อลิตร - วัน ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นจาก 1,065.70 เพน1,355.80 และ 1,518.28 ลิตรต่อวัน หรือเท่ากับ 1.21, 1.54 และ 1.72 ลิตรต่อลิตร-วัน ตามลำดับ โดยมีก๊าซมีเทนปนออกประกอบ 49.29 - 46.33 เปอร์เซ็นต์สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงถึง 95-97 เปอร์เซ็นต์และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 89-90 เปอร์เซ็นต์เมื่อเพิ่มค่าของแข็งทั้งหมดในสารละลายเศษอาหารเป็น 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์แต่ที่ค่าของแข็งทั้งหมดในสารละลายเศษอาหารเท่ากับ 4 เปอร์เซ็นต์มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อกรัมซีโอดีหรือ ของแข็งที่ถูกกำจัด สูงกว่าที่ 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนต่อกรัมซีโอดีเท่ากับ 0.81 และ 0.37 ลิตรต่อกรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนต่อกรัมของแข็งที่ถูกกำจัดเท่ากับ 0.93 และ 0.43 ลิตรต่อกรัมของแข็งที่ถูกกำจัด ตามลำดับ

จรรยา , อำไพ และ ธีระพันธ์ (2553) การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรรวมกับใบยางพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม นี่เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรรวมกับใบยางพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม ในอัตราส่วน 15 : 1 กิโลกรัม เดิมวัสดุ

หลังจากหมักไปแล้ว 3 วัน ในถังหมักขนาด 150 L ภายใต้อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรรวมกับใบยางพาราและมูลสุกรรวมกับทางปาล์มผลการศึกษา ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรรวมกับใบยางพาราและมูลสุกรรวมกับทางปาล์ม พบว่าปริมาณ ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลสุกรรวมกับใบยางพาราและมูลสุกรรวมกับทางปาล์ม เท่ากับ 73.12 L และ 91.68 L ตามลำดับจะเห็นว่า ก๊าซชีวภาพสะสมจากการหมักมูลสุกรรวมกับทางปาล์ม มากกว่าการหมัก มูลสุกรรวมกับใบยางพารา

วรรณกร , อัจฉริยา และสุธีวัตร (2553) ศึกษาสภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง เปรียบเทียบศึกษาสภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษ ผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ระดับ 5% โดยใช้การหมัก แบบเปียกหรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียวในขวดหมักแบบไร้อากาศขนาด 1 L ปริมาตรใช้งานจริง 0.5 L ระยะเวลาหมัก 10 วัน การหมักแบบแห้งระยะเวลาหมัก 9 วัน และการหมักแบบต่อเนื่องระยะเวลาหมัก 7 วัน จากการศึกษาพบว่า การทดลองหมักแบบเปียกมีประสิทธิภาพการกำจัด VS ที่ความเข้มข้นของ ของแข็งทั้งหมด TS 5% จากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง มีค่าเท่ากับ 60.27 % และ 68.28 % ตามลำดับ ก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 1,439 mL และ 1,170 mL ตามลำดับ ศึกษาสภาพการ ผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 57.56 mL/g และ 46.8 mL/g ตามลำดับ

การผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นพลังงานทดแทน โดยใช้วัสดุเหลือใช้ในภาคเกษตรเป็นวัตถุดิบ ในกระบวนการผลิต ก่อให้เกิดรายได้หรือลดรายจ่ายให้กับเกษตรกร ในประเทศกลุ่มสหภาพยุโรปใช้ก๊าซ ชีวภาพเป็นปริมาณ 2 ใน 3 ของพลังงานทดแทนทั้งหมด (Chynoweth, 2004) ก๊าซมีเทนซึ่งเป็น ส่วนประกอบหลักที่ทำให้ก๊าซชีวภาพที่ได้มีคุณสมบัติติดไฟเป็นผลจากระบบ metabolism ของแบคทีเรีย ที่เจริญเติบโตแบบไม่ใช้ออกซิเจน ระบบผลิตที่ใช้วัตถุดิบเหลือใช้จากการเกษตรส่วนใหญ่มักเลือกใช้ส่วนที่ เหลือจากพืชที่ให้พลังงาน เช่น รากมันสำปะหลัง หัวไซเท้า แครอท เป็นต้น และใช้พืชที่ให้น้ำตาลเป็น ส่วนประกอบเพื่อเร่งปฏิกิริยาการเกิดมีเทน (Vindis et al., 2008), (Chynoweth et al., 1993) การ ผลิตก๊าซชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ Vindis และคณะ (2008) ได้ออกแบบระบบย่อยสลายขนาดเล็ก (Mini digester) เพื่อทดสอบหาปริมาณและคุณภาพของก๊าซชีวภาพจากข้าวโพด และซูก้าบีท (Sugar

Beet) การทดลองได้แบ่งตัวอย่างวัตถุดิบไว้ 3 ตัวอย่าง ตัวอย่างที่ 1 (50%ชุก้าบิท+50%ข้าวโพด)
ตัวอย่างที่ 2 (75%ชุก้าบิท+25%ข้าวโพด) ตัวอย่างที่ 3 (25%ชุก้าบิท+75%ข้าวโพด) ใช้เวลาการหมัก 5
สัปดาห์ ได้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงสุด 62.1%



บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

รูปแบบการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง เพื่อตรวจหาปริมาณ ก๊าซชีวภาพจากการหมักฟางข้าว โดยใช้กากน้ำตาลและปุ๋ยยูเรียเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยมีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

- 3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล
- 3.2 สถานที่ทำการทดลอง
- 3.3 วัสดุอุปกรณ์
- 3.4 ขั้นตอนการเตรียมการ
- 3.5 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การเก็บรวบรวมข้อมูลงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ ข้อมูลทางด้านปริมาณ และคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมัก โดยพารามิเตอร์ที่ใช้วัดได้แก่ ค่ากรด – ต่าง อุณหภูมิ สารอินทรีย์ระเหยง่าย ออกซิเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทน (เปอร์เซ็นต์การติดไฟ) เป็นต้น

3.2 สถานที่ทำการทดลอง

บริเวณด้านหลังอาคาร อนุสรณ์ ๔๐ ปี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ



ภาพที่ 3.1 แสดงสถานที่ใช้ทำการทดลอง

3.3 ขั้นตอนการเตรียมการ

3.3.1 วิธีการเตรียมท่อข้อต่อ

1. ทำการวัดขนาดของถังใช้งานโดยถังขนาด 200 ลิตร มีขนาดความสูง 120 เซนติเมตร กว้าง 50 เซนติเมตร ถังขนาด 120 ลิตร มีขนาดความสูง 80 เซนติเมตร กว้าง 45 เซนติเมตร



ภาพที่ 3.2 ถังขนาด 120 ลิตร



ภาพที่ 3.3 ถังขนาด 200 ลิตร

2. นำท่อที่เตรียมมาเทียบความสูง และกำหนดความยาวของท่อที่จะใช้ และทำการตัดตามขนาดที่ได้กำหนดโดยท่อเดิมวัดจุดดิบ 50 เซนติเมตร ท่อกวนยาว 70 เซนติเมตร ท่อต่อสาย ก๊าซยาว 40 เซนติเมตร ท่อสั้นยาว 50 เซนติเมตร ท่อทิ้งกาก 10 เซนติเมตร (ขนาดของท่อสั้น และท่อทิ้งกากจะสั้นกว่าภาพอธิบายที่ เนื่องจากจำเป็นต้องต่อข้อต่อเสริมเข้าไปด้วยทำให้ต้องมีขนาดที่สั้นกว่าภาพแสดง)

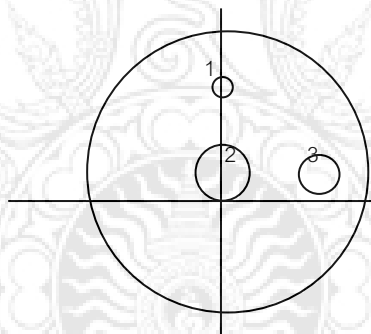
3. เตรียมข้อยึด คือการนำท่อที่มีขนาดความกว้างเท่ากับท่อที่ใช้งานมาทำการลนไฟให้ปลายท่อบานออกแล้วผ่าออกเป็นแฉก เพื่อใช้สำหรับเจาะรูยึดนี้



ภาพที่ 3.4 แสดงลักษณะข้อยึดท่อข้อต่อ

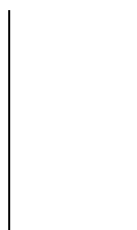
3.3.2 วิธีการประกอบถังหมักก๊าซ

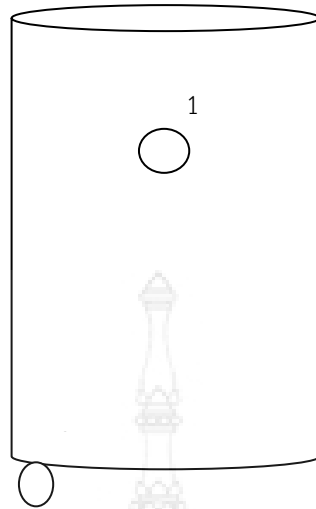
1. ทำการเจาะรูบริเวณฝาด้านบนของถังขนาด 200 ลิตร 3 รูได้แก่ รูขนาด 6 มม¹ 2 นิ้ว² 3 นิ้ว³ ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 แสดงตำแหน่งรูที่ทำการเจาะบริเวณด้านบนฝาลัง

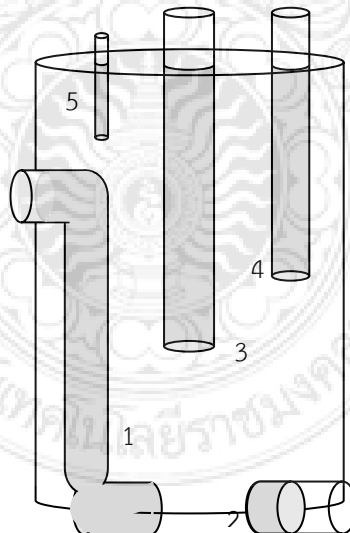
2. เจาะถังด้านข้างถัง ขนาด 2 นิ้ว¹ สูงจากก้นถังอย่างน้อย 65 เซนติเมตร 1 รู และขนาด 2 นิ้ว² ด้านล่างถึงสูงจากก้นถังอย่างน้อย 5 - 10 เซนติเมตร 1 รู ไม่ควรเจาะรูทั้ง 2 ในแนวเดียวกันเนื่องจากเมื่อทำการประกอบท่อแล้ว ท่อจะยาวลงจนเกือบสุดพื้นด้านล่างของถังจะชนกับท่อทิ้งกาก ทำให้ไม่สามารถประกอบท่อทิ้งกากได้ ท่อทั้ง 2 ควรห่างกันอย่างน้อย 40 เซนติเมตรในระนาบเดียวกัน หรือ ทำมุม 45° หรือ 60° จากท่อใดท่อหนึ่ง





ภาพที่ 3.6 แสดงตำแหน่งรูที่ทำการเจาะบริเวณด้านข้างของถัง

3. ทำการนำเอาท่อ PVC ขนาดต่างๆที่ได้เตรียมมาประกอบเข้ากับตัวถังในตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ ท่อน้ำล้น¹ ท่อทิ้งกาก² ท่อกววน³ ท่อใส่วัสดุดิบ⁴ และ ท่อต่อสายก๊าซ⁵



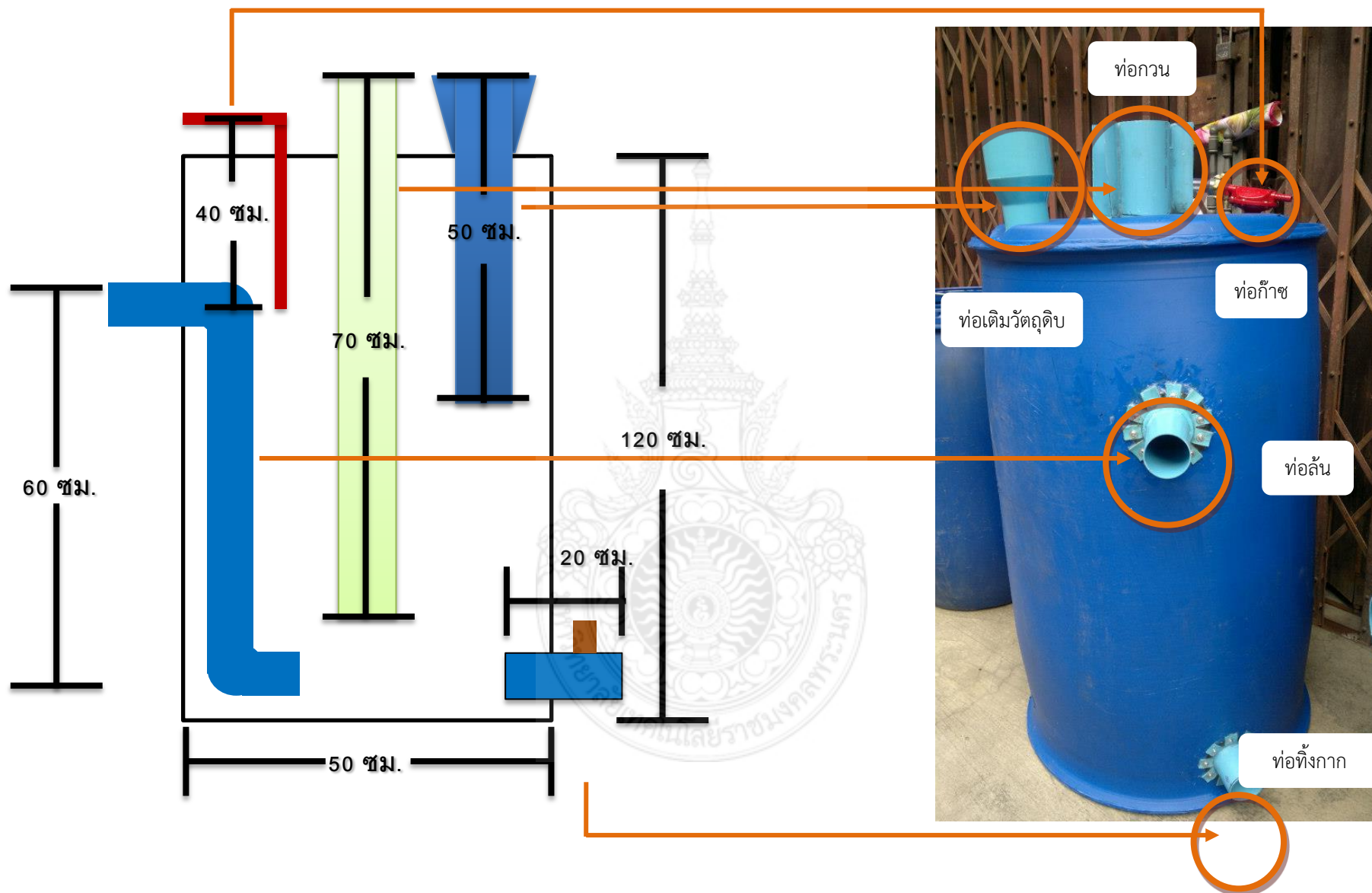
ภาพที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการประกอบท่อต่างๆ

4. ใส่ข้อยึดในทุกๆ ประกอบเข้ากับยางในรถยนต์เพื่อความแน่นของท่อ แล้วทำชั้นนื้อยึดส่วนที่ทำการประกอบเพื่อความแน่นหนา ในส่วนประกอบต่างๆ

5. เมื่อทำการประกอบเสร็จในแต่ละส่วนให้ทำการยิงกาวซิลิโคน เพื่อปิดรูอากาศที่อยู่บริเวณขอบท่อและทิ้งระยะเวลารอให้กาวแห้งประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง

ทั้งนี้การประกอบดังกล่าวนั้นมีความสำคัญมากที่สุดในทุกๆ ขั้นตอนการเตรียมการ เนื่องจากใช้สำหรับเป็นภาชนะสำหรับการเลี้ยงเชื้อ และทำการหมักก๊าซ อีกทั้งต้องคอยตรวจเช็คระวางรอยร้าวในส่วนประกอบต่างๆ อีกด้วย เพราะเชื้อแบคทีเรียกลุ่มไมโครออกซิเจนนี้มีความไวต่อปริมาณของออกซิเจนอย่างมาก ซึ่งหากรั่วไหลเข้าสู่ระบบในปริมาณมากอาจทำให้เชื้อทำงานช้าลงหรืออาจตายได้ ซึ่งจะส่งผลให้ระบบล้มเหลว

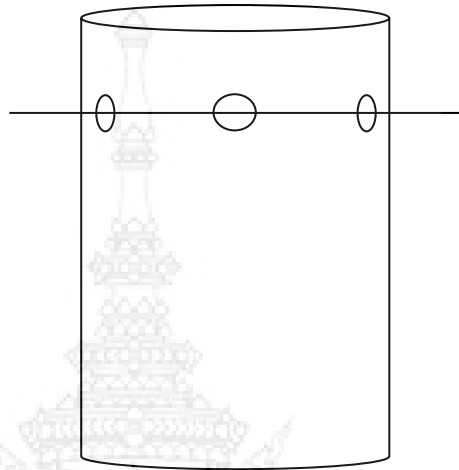




ภาพที่ 3.8 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของถังหมัก

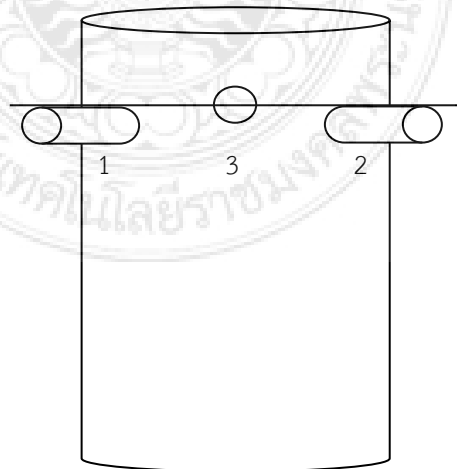
3.3.3 วิธีการประกอบถังเก็บก๊าซ

1. เจาะรูขนาด 6 หุน 2 รู บริเวณด้านข้างของถังขนาด 120 ลิตร ทั้ง 2 ข้าง และ เจาะขนาด 6 หุน 1 รู ระหว่างกลางถัง



ภาพที่ 3.9 แสดงถึงที่เจาะรูสำหรับต่อวาล์ว และ เกทวัดความดัน

2. นำท่อ PVC ที่ได้เตรียมไว้แล้วมาประกอบ ได้แก่ วาล์วก๊าซ^{1,2} และ เกทวัดความดัน³

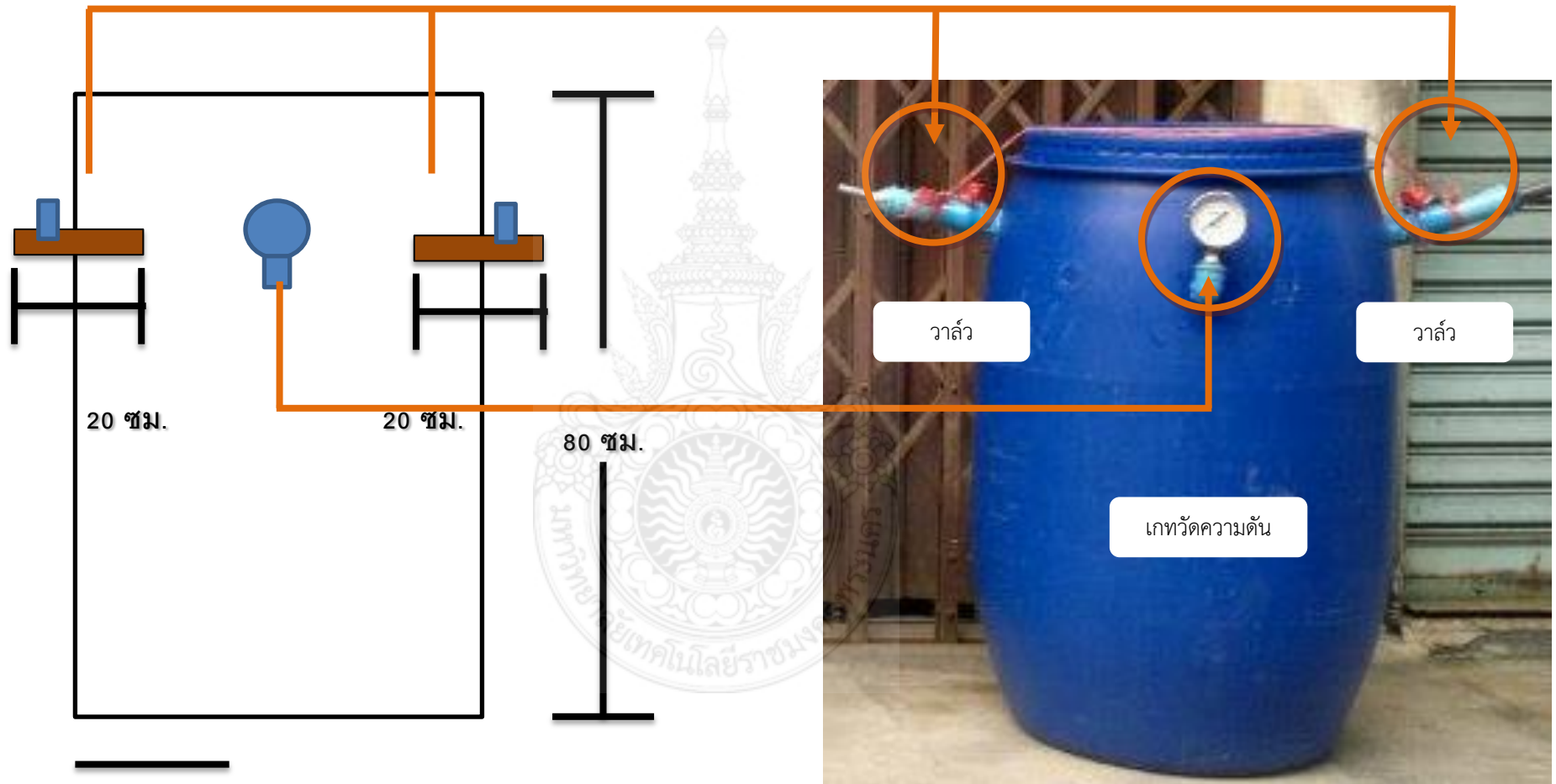


ภาพที่ 3.10 แสดงตำแหน่งการประกอบ วาล์ว และ เกทวัดความดัน

3. เมื่อทำการประกอบเสร็จในแต่ละส่วนให้ทำการยิงกาวซิลิโคน เพื่อปิดรูอากาศที่อยู่บริเวณขอบท่อและทิ้งระยะเวลารอให้กาวแห้งประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง

ซึ่งเมื่อทำการประกอบระบบทั้งหมด และถึงเก็บก๊าซเข้าด้วยกันจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.11





45 ซม.

ภาพที่ 3.11 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของถังเก็บก๊าซ



ท่อทิ้งกาก



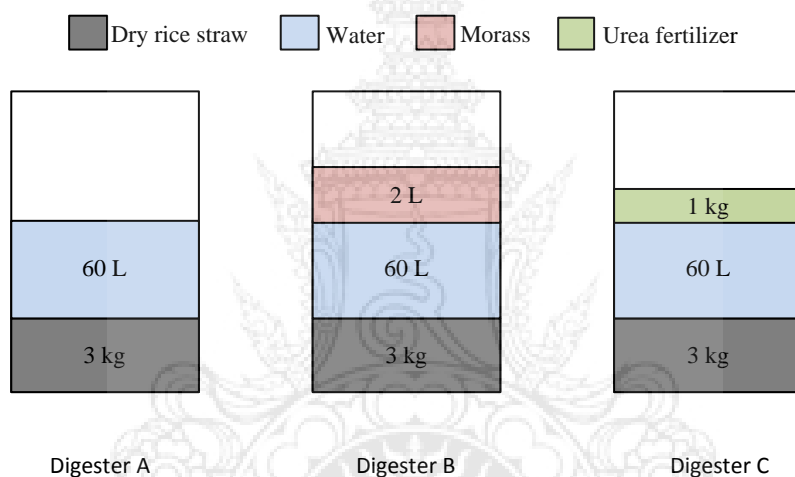
ภาพที่ 3.12 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบหมักก๊าซชีวภาพ



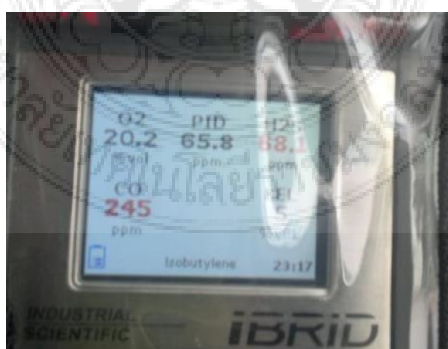
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย

3.4.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

นำฟางข้าวแห้งมาหั่นเป็นชิ้น มีความยาวชิ้นละ 1-2 นิ้ว บรรจุในถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร จำนวน 3 กิโลกรัม และเติมน้ำ 60 ลิตร ให้การหมักครั้งแรกเป็น Control Sample, การหมักครั้งที่ 2 เติมกากน้ำตาล 2 ลิตร และการหมักครั้งที่ 3 เติมปุ๋ยยูเรีย 1 กิโลกรัม เพื่อเป็นการปรับค่า คาร์บอน ต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ทำการตรวจวัดก๊าซ ด้วยเครื่องวัดก๊าซรุ่น IBRID MX6 วันละ 1 ครั้ง เป็นเวลา 30 วัน และบันทึกค่าการจุดติดไฟ (%LEL) และนำผลมาวิเคราะห์ การทดลองแสดงดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 อัตราส่วนการหมักก๊าซชีวภาพ



ภาพที่ 3.14 จอแสดงผลขณะทำการตรวจวัด

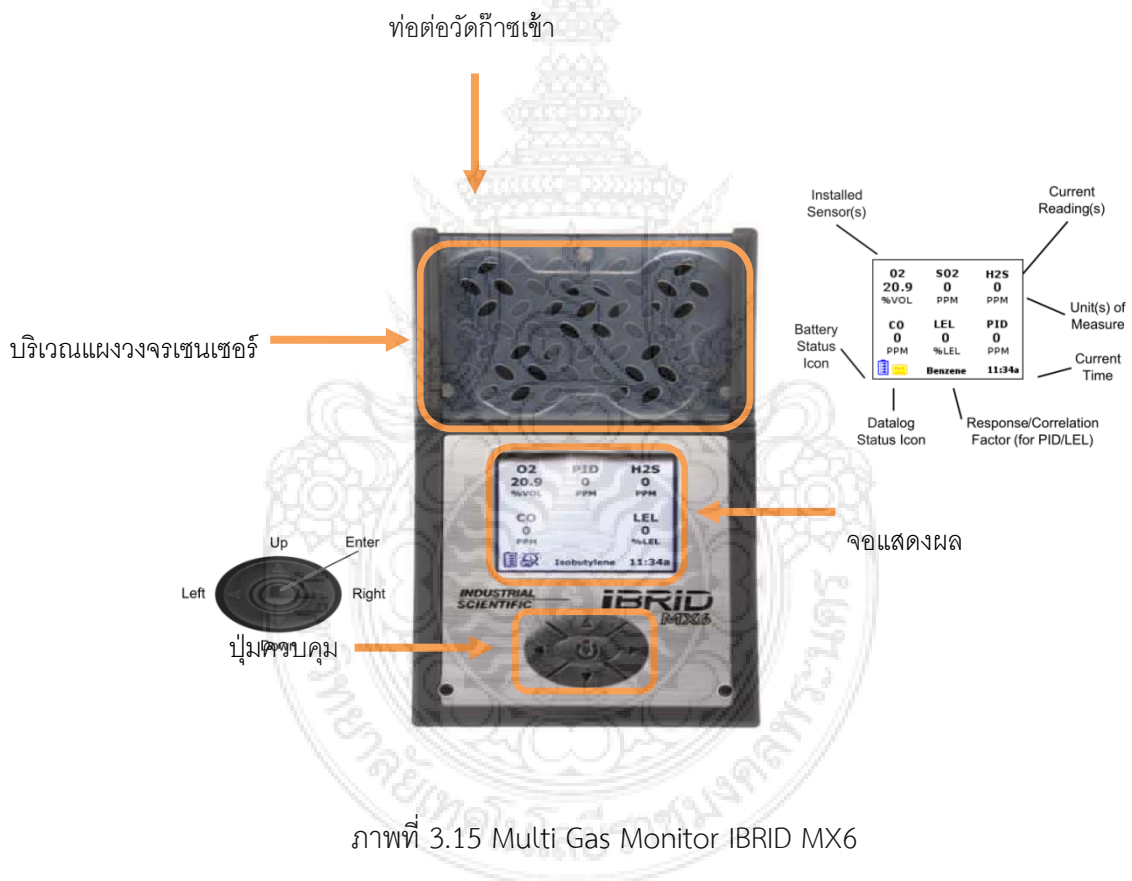


3.4.2 การรวบรวมข้อมูล

3.4.2.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซชีวภาพ

การวัดค่า ก๊าซมีเทน โดยใช้เครื่องวัดก๊าซรุ่น IBRID MX6 ค่าที่วัดได้จากเครื่องจะได้ก๊าซมา 5 ชนิด คือ PID, O₂, H₂S, Co, %LEL (เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน) วัดโดยการใส่สายท่อที่ต่อกับเครื่องวัดก๊าซเข้าไปในถังเก็บก๊าซหลังจากนั้น เครื่องจะดูดก๊าซเข้าเครื่องแล้วจะแสดงค่าของก๊าซที่มีภายในถังเก็บ

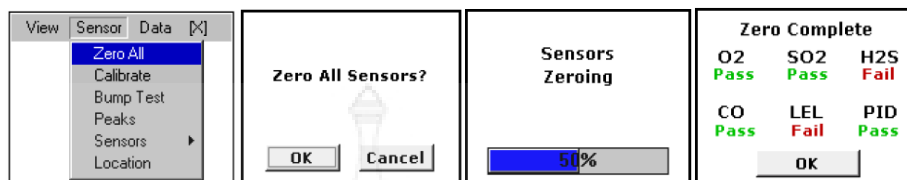
3.4.2.3 การใช้งานเครื่องตรวจวัดก๊าซ Multi Gas Monitor IBRID MX6



การใช้งานเบื้องต้น

1. ก่อนทำการวัดค่าทุกครั้งควรทำการรีเซ็ตค่าต่างๆ ในเครื่องก่อนทำการวัดค่า เนื่องจาก ประวัติการตรวจเก่าจะขึ้นมาแทน ทำให้ค่าจากการตรวจวัดคลาดเคลื่อนได้ เราสามารถทำการรีเซ็ตค่าโดยเข้าเมนู Sensor > Zero All > OK จากนั้นรอซักครู่ให้เครื่องทำการเคลียข้อมูลเก่าออกไป จะปรากฏหน้าแสดงผลการเคลียค่าต่างๆ ดังภาพที่ 3.15 จนทุกค่าปรากฏคำว่า Pass จึง

สามารถนำมาใช้งานได้ หากยังมีค่าใดปรากฏคำว่า Fail ให้ทำการ Zero All อีกครั้งจนกว่าจะผ่านทั้งหมด



ภาพที่ 3.16 แสดงหน้าต่างเมนูของเครื่องตรวจวัดก๊าซ

2. เมื่อทำการเคลียเครื่องจนผ่านแล้วทำการต่อสายวัดก๊าซเข้ากับตัวเครื่องกับสิ่งที่จะทำการวัด เครื่องจะทำการดูดก๊าซเข้าเครื่องเองโดยอัตโนมัติเพื่อประมวลผล
3. การตรวจวัดก๊าซใช้เวลาราว 1 นาที โดยสังเกตจากการรันค่าการตรวจต่างๆ จะเริ่ม
4. ควรทำการวัดอย่างน้อย 2 ครั้งเพื่อความแน่นอนของผลการตรวจวัด

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) โดยอาศัยสภาพแวดล้อมในท้องที่นั่นคือ พื้นที่เก็บวัสดุของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในการทำการทดลองวิจัย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 เพื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการชีวิตของการทดลองในครั้งนี้ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการศึกษา

พารามิเตอร์	หน่วย	สัญลักษณ์	พิสัยการวัด
ออกซิเจน (O ₂) ¹	VOL%	O ₂	0 ... 30 VOL%
สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) ²	ppm	PID	0 ... 2000 ppm
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H ₂ S) ³	ppm	H ₂ S	0 ... 500 ppm
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ⁴	ppm	CO	0 ... 9,999 ppm
มีเทน (CH ₄) ⁵	%LEL	LEL	0 ... 100 %LEL
กรด - ด่าง (pH) ⁶	-	pH	1 ... 14
อุณหภูมิ (°C) ⁷	°C	°C	0 ... 100 °C

จากตารางที่ 4.1 1. พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการศึกษา ออกซิเจน (O₂) มีหน่วยเป็น VOL% ใช้สัญลักษณ์ O₂ ใช้พิสัยการตรวจวัดระหว่าง 0 – 30 VOL%

2. สารอินทรีย์ระเหยง่าย (VOC) มีหน่วยเป็น ppm ใช้สัญลักษณ์ PID ใช้พิสัยการตรวจวัดระหว่าง 0 – 2000 ppm

3. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) มีหน่วยเป็น ppm ใช้สัญลักษณ์ H₂S ใช้พิสัยการตรวจวัดระหว่าง 0 – 500 ppm

4. คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) มีหน่วยเป็น ppm ใช้สัญลักษณ์ CO ใช้พิสัยการตรวจวัดระหว่าง 0 – 9000 ppm

5. มีเทน (CH₄) มีหน่วยเป็น %LEL ใช้สัญลักษณ์ LEL มีพิสัยการตรวจวัดระหว่าง 0 – 100 VOL%

6. กรด – ด่าง (pH) มีสัญลักษณ์เป็น pH ไม่มีหน่วย มีพิสัยการวัดระหว่าง 1 – 14

7. อุณหภูมิ (°C) มีหน่วยเป็น °C ใช้สัญลักษณ์ °C มีพิสัยในการวัดระหว่าง 0 – 100 °C

4.2 ผลการตรวจวัดคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

จากการศึกษาการทดลองโดยการตรวจวัดคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักตลอดระยะเวลา 30 วัน ในช่วงเวลา 12.00น. – 13.00น. ของทุกๆ วันด้วยเครื่องวัดผล Multi Gas Monitor IBRID MX6 แสดงดังตารางแสดงผลที่ 4.2 - 4.4

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่1

(ฟางข้าว 3 กิโลกรัม + น้ำ 60 ลิตร)

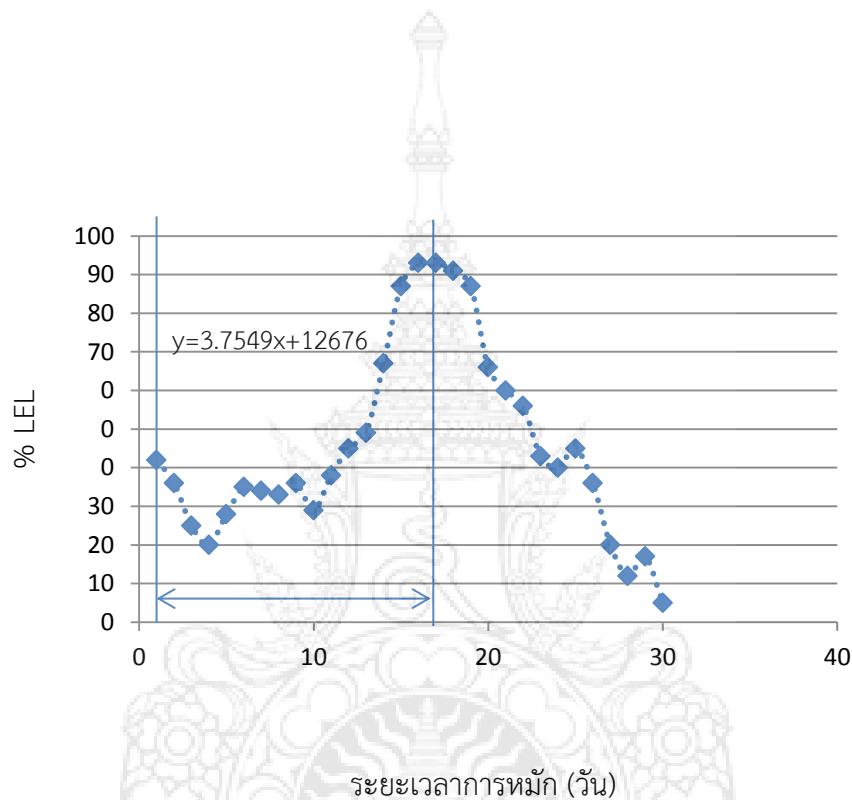
วันที่	O ₂	VOC	H ₂ S	CO	%LEL	pH	°C
1	12.4	129.5	500	474	42	6	30
2	11.1	138.5	500	417	36	7	30
3	10.9	145.8	500	432	25	7	31
4	10.5	148.5	500	473	20	7	30
5	10.5	153.6	500	577	28	6	28
6	10.3	132.5	500	584	35	6	30
7	10.3	142	500	622	34	7	31

8	10.5	134.3	500	648	33	7	29
9	10.6	138	500	754	36	7	31
10	10.7	137.8	498.9	823	29	6	30
11	10.8	139.4	493.8	865	38	7	29
12	10.9	128.2	499.8	874	45	7	27
13	11.2	115.8	481.5	997	49	6	27

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 1

(ฟางข้าว 3 กิโลกรัม + น้ำ 60 ลิตร) (ต่อ)

วันที่	O ₂	VOC	H ₂ S	CO	%LEL	pH	°C
14	11.4	103.7	490.5	1009	67	6	28
15	11.5	109.3	497.4	1155	87	7	30
16	11.7	106.2	498.3	1213	93	6	26
17	11.9	104.8	492.7	1349	93	7	29
18	12	90.8	496.4	1378	91	7	31
19	12.1	96.3	497.8	1355	87	6	30
20	12.4	87.5	481.5	1399	66	7	31
21	12.5	85.3	498.1	1412	60	6	30
22	12.6	83.2	478.2	1400	56	7	29
23	12.7	82.8	499	1415	43	6	30
24	12.9	79.2	489.4	1500	40	7	27
25	12.6	67.5	497	1381	45	7	30
26	12.8	68.4	479.1	1298	36	6	26
27	12.9	73.3	463.5	1186	20	6	31
28	12.8	75.8	457.3	1187	12	6	29
29	12.9	78.3	448.7	1186	17	7	30
30	13.1	80.4	434.4	1185	5	7	28



ภาพที่ 4.1 Lowe Explosive Limit ของก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 1

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ชี้วัดในการทดลองได้ผลปรากฏว่า ค่าออกซิเจน จะมีค่าความคงที่ๆ 10 - 13 VOL% (ปริมาณออกซิเจนควรลดลงจนต่ำเทียบเท่า 2 - 5 VOL% เนื่องจากผู้ทดลองจำเป็นต้องเปิดวาล์วเพื่อทำการตรวจสอบ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนจากภายนอกรั่วไหลเข้าไปในตัวถังเก็บก๊าซ อันเป็นผลให้มีค่าออกซิเจนสูงดังตารางแสดงผลที่ 4.2) ปริมาณค่าของก๊าซมีเทน (%LEL) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงที่สุดใน ช่วงวันที่ 16-17 ต่อจากนั้นปริมาณของก๊าซมีเทนก็เริ่มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง ค่ากรด - ด่าง นั้นมีความคงที่ๆ 6 - 7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเจริญเติบโต และดำรงชีพของเชื้อเมธาโนเจนซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทน และปริมาณค่าอุณหภูมิเอง มีความแปรผันตามสภาพอากาศโดยรอบ โดยมีค่าต่ำสุด - สูงสุด ไม่ห่างจากกันมากนักคือ 26 - 31 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ส่งผลดีนักสำหรับการทดลองนี้

เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียเมธาโนเจนนั้นจำเป็นต้องใช้ปริมาณอุณหภูมิตั้งที่ 37 – 41 องศาเซลเซียส ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 2

(ฟางข้าว 3 กิโลกรัม + น้ำ 60 ลิตร + กากน้ำตาล 2 ลิตร)

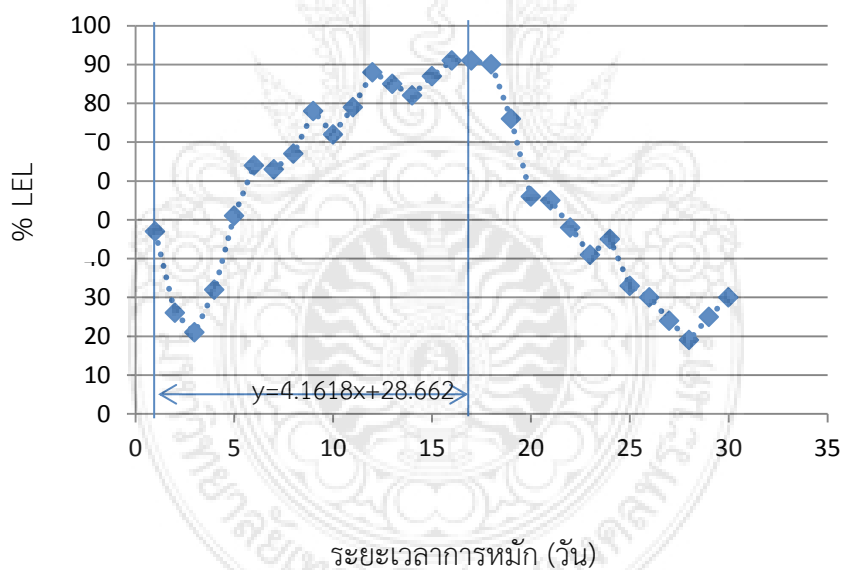
วันที่	O ₂	VOC	H ₂ S	CO	%LEL	pH	°C
1	17.6	173.6	165.4	497	47	6	30
2	17.4	163	201.7	659	26	6	29
3	17.1	144.6	190.5	797	21	7	29
4	17.3	149.3	201.8	768	32	6	30
5	16.9	186.2	208.7	920	51	6	30

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 2

(ฟางข้าว 3 กิโลกรัม + น้ำ 60 ลิตร + กากน้ำตาล 2 ลิตร) (ต่อ)

วันที่	O ₂	VOC	H ₂ S	CO	%LEL	pH	°C
6	16.6	146.9	211.4	1121	64	7	30
7	16.5	156.7	214.5	1026	63	6	31
8	16.3	135.3	208.3	1128	67	6	29
9	16.2	139.9	215.7	998	78	6	29
10	16	152.9	201.6	1018	72	7	30
11	15.8	162.7	183.4	1010	79	7	27
12	15.6	140.7	179.3	958	88	6	27
13	15.5	156.8	183.4	975	85	6	30
14	15.2	116.7	186.6	963	82	7	30
15	15.2	114.8	182.7	910	87	6	30
16	15	108.7	182.4	888	91	6	30
17	14.8	102.5	187.7	896	91	7	30
18	14.6	92.5	187.7	885	90	6	30

19	14.4	97.5	180	830	76	7	30
20	14.3	88	173.5	835	56	6	30
21	14	81	171.3	805	55	6	31
22	13.7	73.4	169.5	758	48	7	30
23	13.6	73	167.8	745	41	6	31
24	13.1	72.2	165.6	715	45	6	31
25	13.3	63	158.8	709	33	7	31
26	13.1	57.9	149.5	680	30	6	31
27	13.2	58.9	132.9	716	24	7	30
28	12.8	59.3	138.3	713	19	6	30
29	12.4	60.5	145.8	708	25	7	30
30	12.2	61.7	150.1	701	30	7	31



ภาพที่ 4.2 Lowe Explosive Limit ของก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 2

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ชีวิตในการทดลองได้ผลปรากฏว่า ค่าออกซิเจน จะมีค่าความคงที่ๆ 14 – 17 VOL% ซึ่งเป็นค่าที่สูง เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบปิด ควรจะมีออกซิเจนในปริมาณต่ำ ปริมาณค่าของก๊าซมีเทน (%LEL) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงที่สุดในช่วงวันที่ 16-17 ต่อจากนั้นปริมาณของก๊าซมีเทนก็เริ่มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง ค่ากรด – ด่าง นั้นมีความคงที่ๆ 6 – 7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเจริญเติบโต และดำรงชีพของเชื้อเมทาโนเจนซึ่ง

เป็นเชื้อแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทน และปริมาณค่าอุณหภูมิเอง มีความแปรผันตามสภาพอากาศโดยรอบ โดยมีค่าต่ำสุด - สูงสุด ไม่ห่างจากกันมากนักคือ 27 - 31 องศาเซลเซียส

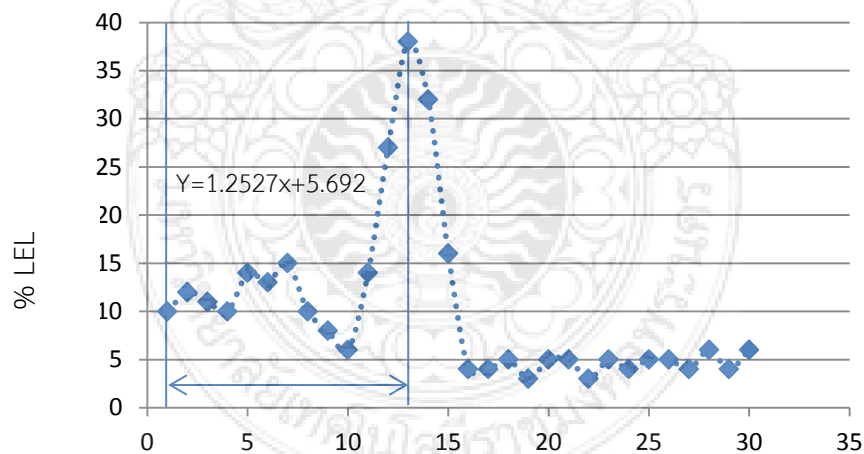
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 3
(ฟางข้าว 3 กิโลกรัม + น้ำ 60 ลิตร + ปุ๋ยยูเรีย 1 กิโลกรัม)

วันที่	O ₂	VOC	H ₂ S	CO	%LEL	pH	°C
1	12.8	164.7	134.1	497	10	7	28
2	10.6	154.3	147.3	659	12	6	30
3	9.1	174.7	152.8	797	11	7	29
4	9.7	147.8	187.9	837	10	6	29
5	13.2	156.6	132.8	926	14	7	27
6	11.6	136.9	163.6	912	13	7	30
7	11.0	157.7	156.4	905	15	6	30
8	12.3	135.3	156.6	921	10	6	28

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 3
(ฟางข้าว 3 กิโลกรัม + น้ำ 60 ลิตร + ปุ๋ยยูเรีย 1 กิโลกรัม) (ต่อ)

วันที่	O ₂	VOC	H ₂ S	CO	%LEL	pH	°C
9	13.4	149.9	249.1	973	8	6	29
10	10.2	162.3	256.4	983	6	7	31
11	9.4	162.7	263.7	979	14	7	27
12	10.5	140.7	244.6	897	27	6	29
13	12.5	156.8	283.0	895	38	6	30
14	11.4	116.7	196.6	943	32	7	29
15	12.7	156.8	212.9	910	16	7	29
16	13.3	108.7	192.1	778	4	6	30
17	11.7	102.5	177.5	761	4	7	30

18	12.2	156.8	167.8	834	5	6	30
19	11.3	132.5	160.3	916	3	7	29
20	10.8	158.4	183.6	939	5	6	30
21	14.1	154.9	141.9	959	5	6	29
22	11.7	165.3	179.1	844	3	7	30
23	10.6	126.7	167.2	863	5	6	31
24	13.5	102.5	155.5	826	4	6	30
25	13.9	145.8	144.3	895	5	7	29
26	10.1	165.3	249.4	841	5	6	31
27	12.2	113.6	182.8	977	4	7	30
28	11.3	115.7	256.1	736	6	6	31
29	13.4	117.9	154.9	947	4	6	30
30	12.7	123.6	172.3	869	6	6	31



ระยะเวลาการหมัก (วัน)

ภาพที่ 4.3 Lowe Explosive Limit ของก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 3

จากตารางที่ 4.4 แสดงผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ชี้วัดในการทดลองได้ผลปรากฏว่า ค่าออกซิเจน จะมีค่าความคงที่ๆ 9 – 14 VOL% ซึ่งเป็นค่าที่สูง เนื่องจากระบบนี้เป็นระบบปิด ควรมี

ออกซิเจนในปริมาณต่ำ ปริมาณค่าของก๊าซมีเทน (%LEL) เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงที่สุดในช่วงวันที่ 13-14 ต่อจากนั้นปริมาณของก๊าซมีเทนก็เริ่มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่อง ค่ากรด – ด่าง นั้นมีความคงที่ๆ 6 – 7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเจริญเติบโต และดำรงชีพของเชื้อเมธาโนเจนซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทน และปริมาณค่าอุณหภูมิเอง มีความแปรผันตามสภาพอากาศโดยรอบ โดยมีค่าต่ำสุด – สูงสุด ไม่ห่างจากกันมากนักคือ 27 – 31 องศาเซลเซียส

4.3 อภิปรายผล

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่1(ฟางข้าว 3 กิโลกรัม+น้ำ 60 ลิตร) % LEL เพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร่ง ในวันที่ 1-17 ของการหมัก (ความชันของกราฟเท่ากับ 3.7549 %LEL/วัน) และให้%LEL สูงสุดที่ 93% (ภาพที่ 4.1) ก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 2 (ฟางข้าว 3 กิโลกรัม+น้ำ 60 ลิตร+ กากน้ำตาล 2 ลิตร) % LEL เพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร่ง ในวันที่ 1-17 ของการหมัก (ความชันของกราฟเท่ากับ 4.1618 %LEL/วัน) และให้%LEL สูงสุดที่ 91%(ภาพที่ 4.2) ก๊าซชีวภาพจากตัวอย่างที่ 3 (ฟางข้าว 3 กิโลกรัม+น้ำ 60 ลิตร+ปุ๋ยยูเรีย 1 กิโลกรัม) % LEL เพิ่มขึ้นด้วยอัตราเร่ง ในวันที่ 1-13 ของการหมัก (ความชันของกราฟเท่ากับ 1.2527 %LEL/วัน) และให้%LEL สูงสุดที่ 38% (ภาพที่ 4.3)ซึ่งมีค่าต่ำกว่า ตัวอย่างอื่นๆ เนื่องจากการเติมปุ๋ยยูเรีย มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้เหมาะสม แต่ปริมาณที่ใช้จากมากเกินไปทำให้ไนโตรเจนมีค่ามาก ส่งผลให้ %LELน้อย ทั้งนี้การทดลองควรตรวจวัดค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนด้วย

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลองการหมักก๊าซชีวภาพจากฟางข้าว ผลการทดลองทั้ง 3 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการจุดติดไฟ (Lower Explosive Limit) ของก๊าซชีวภาพ ตัวอย่างที่ 1 ฟางข้าวและน้ำให้ค่าการจุดติดไฟ สูงมากกว่าทุกตัวอย่าง แต่การรักษาระดับให้คงตัวยังด้อยกว่าตัวอย่างที่ 2 ซึ่งให้ค่าการจุดติดไฟต่ำกว่าตัวอย่างแรกเพียงเล็กน้อย แต่รักษาการคงตัวไว้ได้ดีกว่า จึงพอสรุปได้ว่ากากน้ำตาลที่นำมาเป็นส่วนผสมในการหมักก๊าซ มีส่วนช่วยรักษาระดับค่าการจุดติดไฟให้คงตัวมากขึ้น ส่วนตัวอย่างที่ 3 ฟางข้าว น้ำ และปุ๋ยยูเรีย ให้ค่าการจุดติดไฟที่ต่ำสุดในทั้ง 3 ตัวอย่าง อาจเนื่องมาจาก การใส่ปริมาณปุ๋ยยูเรียที่มากเกินไป ทำให้ค่าอัตราส่วน C/N ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมในการหมักก๊าซ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การทดลองหมักก๊าซชีวภาพ ควรมีการปรับค่า C/N Ratio ในห้องปฏิบัติการที่มีเครื่องมือเฉพาะ เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมต่อการหมัก ปรับอัตราส่วนวัตถุดิบที่ใช้ในหลายๆ อัตรา และควรรักษาระดับก๊าซให้คงที่ด้วยการเติมวัตถุดิบ จะมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตเพื่อใช้งานจริงมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- ชาญชัย ลิ้มปียากร และ ยუნันท์ สันติทวีฤกษ์. 2544. การออกแบบและการก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพ. บริษัท อินทริเกอร์เต็ด โปรโมชัน เทคโนโลยี จำกัด, กรุงเทพฯ
- บุญมา บ้านประดิษฐ์ และคณะ. 2550. ถังหมักก๊าซชีวภาพ เปลี่ยนขยะเป็นก๊าซชีวภาพ. สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, กรุงเทพฯ
- สุบัณฑิต นิมรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. บริษัท แอคทีฟ พรินท์ จำกัด, กรุงเทพฯ
- สำรวย ภูบาล. 2551. แหล่งพลังงาน. ศูนย์การเรียนรู้และผลิตสิ่งพิมพ์ระบบดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ
- อำไพ ตีรณธนากุล. มปป. การเตรียมเชื้อเริ่มต้น. บริษัท พิมพ์ดี จำกัด, กรุงเทพฯ
- สมชาย แก้วจันทร์ฉาย และคณะ. 2551. ถังหมักก๊าซชีวภาพ เปลี่ยนขยะเป็นก๊าซชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, กรุงเทพฯ
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2554. คู่มือการจัดทำวิทยานิพนธ์และการค้นคว้าอิสระ. ม.ป.ท.
- ปรียา ปะบุญเรือง. 2539. “การแยกเชื้อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากอินทรีย์วัตถุที่ถูกลย่อยสลาย ในสภาวะไร้ออกซิเจน.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- พิชญ รัชฎาวงศ์. 2553. ก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://www.eng.chula.ac.th/newsletter/index.php?q=node/192>, 20 ธันวาคม 2555.
- Green Energy Net. 2009. ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.greenenergynet.net/tec_Theory%20of%20Biogas.html, 20 ธันวาคม 2555
- Green Energy Net. 2009. คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : http://www.greenenergynet.net/tec_Theory%20of%20Biogas.html, 20 ธันวาคม 2555

“ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :

<http://th.wikipedia.org/wiki/ก๊าซชีวภาพ>, 20 ธันวาคม 2550

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

“การผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในครัวเรือน ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่”.(2011) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

http://www.biogascmu.com/index.php?option=com_content&view=article&id=52:2011-07-28-19-19-39&catid=40:2011-06-27-22-13-55&Itemid=54 ,

17 เมษายน 2556

“ก๊าซชีวภาพ กลุ่มพัฒนามาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิงสำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง”. (2554) [ออนไลน์.]

สืบค้นจาก: http://www.doeb.go.th/knowledge/data/2Compressed_Biogas.pdf,

17 เมษายน 2556

“ก๊าซชีวภาพ Science วิทยาศาสตร์.” (2012.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://themool.wordpress.com/category/uncategorized/>, 17 เมษายน 2556

“เมทาโนเจน.” (2013.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://www.thachaibogas.com/page/2>, 17 เมษายน 2556

“คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ” [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php>,

17 เมษายน 2556

“โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ”. [ออนไลน์.]

สืบค้นจาก: http://www2.dede.go.th/km_ber/e-learn/lesson4.pdf,

18 เมษายน 2556

“คุณสมบัติและการให้ค่าความร้อน”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

www.agro.cmu.ac.th/e_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc, 18 เมษายน 2556

“การผลิตพลังงานทดแทนจากหญ้าเลี้ยงช้าง ข้าวพลังงาน”. (2013) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://www.thainews70.com>, 18 เมษายน 2556

“วัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก

<http://guru.google.co.th/guru/thread?tid=78c3981a0c00026c;>, 18 เมษายน 2556

“วัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก;

www.agro.cmu.ac.th/e_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc, 18 เมษายน 2556

“ประโยชน์ทางการเกษตร”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก;

<http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php>, 19 เมษายน 2556

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

“การใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรมและปศุสัตว์ กลุ่มเทคโนโลยีการจัดการมลพิษ ฝายคุณภาพ

สิ่งแวดล้อม และห้องปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก;

<http://ptech.pcd.go.th/p2/waste-util-knowlage-view.php?kid=23>,

19 เมษายน 2556

ก๊าซชีวภาพพลังงานสีฟ้ากับก๊าซ LPG”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก;

http://www.itrmu.net/web/10rs21/show-webcontent.php?cat_id=2&mid=62,

19 เมษายน 2556

“ผลของปุ๋ยหมักชีวภาพและตำแหน่งการวางของปุ๋ยหมักชีวภาพต่อการผลิตก๊าซในหลุมฝังกลบ

จำลอง.” (2554.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

thesis.grad.chula.ac.th/readfile1.php?fn=ab5187141720.doc, 20 เมษายน 2556

“การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตขนมจีนโดยวิธีการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน.” (2547.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2547-KU-Pramuan.pdf>, 20 เมษายน 2556

“การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลของสบู่ดำ” (2551.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-MU-Mananya-re.pdf>,

20 เมษายน 2556

“การลดปริมาณมูลฝอยชุมชน ด้วยการใช้ จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM).” (2539.) [ออนไลน์.] สืบค้น

จาก <http://websis.kku.ac.th/abstract/thesis/mph/enh/2539/enh390003t.html>;

20 เมษายน 2556

“การศึกษาคุณภาพยอดอ้อยหมักยูเรีย ศูนย์วิจัยอาหารสัตว์ขอนแก่น ต.ท่าพระ อ.เมือง จ.ขอนแก่น.”

(2538.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

http://www.dld.go.th/nutrition/Research_Knowlage/RESEARCH/research_full/2

538/R3804.pdf, 20 เมษายน 2556

“การผลิตแกสมีเทนจากกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวาน” (2551.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-KKU-Wandee-re.pdf>,

20 เมษายน 2556

“การผลิตแกสไฮโดรเจนจากกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์.”

(2551.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก [http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-KKU-](http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-KKU-Praephilas-re.pdf)

[Praephilas-re.pdf](http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-KKU-Praephilas-re.pdf);, 20 เมษายน 2556

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

“การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบตามลำดับสอง

ขั้นตอนในระดับ Semi-pilot scale” (2547.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก

<http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2547-KU-Wilawan.pdf>;, 20 เมษายน 2556

“การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับใบยางพาราและมูลสุกรร่วมกับทาง

ปาล์ม” (2553.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://kruvijai.files.wordpress.com/2010/11/1-eng-charoon-add.pdf>,

20 เมษายน 2556

“ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง” (2553)

[ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://kruvijai.files.wordpress.com/2010/11/8-eng-wannakorn-add.pdf>,

20 เมษายน 2556

สุทัศน์ ยกส้าน. 2553. ก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :

<http://www.eng.chula.ac.th/newsletter/index.php?q=node/192>,

20 เมษายน 2556



ประวัติผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ – นามสกุล (ภาษาไทย) นายพลกฤษณ์ คุ่มกล้า
ชื่อ – นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr.Ponlakrit Kumklam
 2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3-1805-00000-98-5
 3. ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
 4. หน่วยงานที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และ e-mail
 - คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
 - โทรศัพท์ 0-2913-2424 โทรสาร 0-2913-2424 ต่อ 105
 - E-mail: kumklam@yahoo.com
 5. ประวัติการศึกษา
 - 2544 วิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์) มหาวิทยาลัยนเรศวร
 - 2547 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) มหาวิทยาลัยนเรศวร
 6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
 - Linear Integrated Circuit, Array Theory, Acoustic Beam Steering
 7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ
 - ความคาดหวังในด้านบริการวิชาการและกิจการนักศึกษาของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีที่เผยแพร่ : 2551
 - ความตระหนักทางจริยศาสตร์สิ่งแวดล้อมของนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครต่อปัญหาการทิ้งขยะ
ปีที่เผยแพร่ : 2551
 - การสร้างสัญญาณไซน์นูนชอยดอลด้วยออสซิลเลเตอร์แบบเวณบริดจ์
ปีที่เผยแพร่ : 2552
-