



การออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหาร  
โดยใช้มูลนกพิราบและมูลสุกรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา  
ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

นายจิรวัดน์ เลิศสุวรรณโรจน์  
นายศุภศิศิลป์ นาคนิยม  
นางสาวสุภาภรณ์ เกาจัตุรัส

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญาบัตร	การออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหาร โดยใช้มูล นกฟิราบ และมูลสุกรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน
ชื่อ สกุล	นายจิรวุฒน์ เลิศสุวรรณโรจน์ นายศุภศิลา นาคเนียม นางสาวสุภาภรณ์ เกาจัตุรัส
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2555
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สลักจิต พุกจรรยา อาจารย์พลกฤษณ์ คุ้มกล้า

คณะกรรมการการสอบปริญญาบัตรได้ให้ความเห็นชอบปริญญาบัตรฉบับนี้แล้ว

อาจารย์ประยุทธ สุวรรณศรี  
ประธานกรรมการสอบ

อาจารย์กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์  
กรรมการสอบ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์สลักจิต พุกจรรยา  
กรรมการสอบ

อาจารย์พลกฤษณ์ คุ้มกล้า  
กรรมการสอบ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
อนุมัติให้ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อปริญญาบัตร	การออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหาร โดยใช้มูลนกกพิราบ และมูลสุกรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน
ชื่อ สกุล	นายจิรวุฒน์ เลิศสุวรรณโรจน์ นายศุภศิลป์ นาคนิยม นางสาวสุภาภรณ์เกาจัตุรัส
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
ปีการศึกษา	2555

### บทคัดย่อ

การศึกษาระบบการออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหาร โดยเปรียบเทียบคุณภาพของมูลนกกพิราบ และมูลของสุกรมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในสภาวะไร้ออกซิเจน มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพ และปริมาณการเกิดก๊าซจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั้ง 2 ชนิด และศึกษากระบวนการสร้างถังหมักสำหรับครัวเรือนทั่วไปในตัวเมือง ซึ่งสถานที่ทดลองได้อาศัยพื้นที่เก็บวัสดุของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครศูนย์พระนครมาใช้เป็นสถานที่ทำการทดลอง โดยกระบวนการหมักนั้นได้ใช้สภาวะเดียวกันสำหรับการทดลองคือ อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส สถานที่ และกระบวนการ ในการทดลอง ซึ่งได้ใช้ระยะเวลารวมทั้งสิ้น 60 วัน โดยแยกออกเป็นช่วงการเตรียมการ ช่วงการดำเนินการทดลอง และช่วงการสรุปผลการทดลอง โดยใช้ระยะเวลาการเตรียมการ 10 วัน ช่วงทำการทดลอง 40 วัน และช่วงดำเนินการสรุปผล อีก 10 วัน โดยการทดลองนั้นได้ทำการหมักผสมเชื้อ และเศษขยะอาหาร เป็นเวลา 10 วันเพื่อรอการขยายปริมาณของเชื้อเมทาโนเจน ต่อมาทำการตรวจวัดค่าดัชนีต่างๆ ของระบบการหมักอันได้แก่ อุณหภูมิ กรด - ด่าง สารอินทรีย์ระเหยง่าย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกซิเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซมีเทน ในช่วงเวลา 12.00น. - 13.00น. ของทุกๆ วันเป็นเวลา 30 วัน

ผลการทดลองได้ผลสรุปว่า ถังหมักมูลสุกรให้คุณสมบัติของก๊าซมีเทนที่สูงกว่ามูลนกกพิราบในอัตรา 3: 1 โดยสามารถสังเกตเห็นได้ชัดจากการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดก๊าซ อีกทั้งกลิ่นรบกวนที่เกิดจากมูลนกกพิราบนั้นน้อยมากจนแทบจะไม่มีกลิ่นรบกวน เมื่อเทียบกับมูลสุกรของช่วงหลังการหมักไปแล้ว 19 วัน ในขณะที่กลิ่นจากถังหมักของมูลสุกรยังคงส่งกลิ่นรบกวน และคุณภาพของการติดไฟนั้น มูลสุกรยังคงให้คุณภาพการติดไฟที่ดีกว่ามูลนกกพิราบโดยสังเกตจากลักษณะของสีเปลวไฟ

**คำสำคัญ :** ก๊าซชีวภาพ, ถังหมัก, เศษขยะอาหาร

<b>Independent Study Title</b>	System design Bio Gasifier from Food Waste Catalyst from Pigeon Feces and Pig Feces Underanaerobic Conditions.
<b>Name and Surname</b>	Jilawat Lertsuwanroj Supasin Nakniyom Supapon Porjaturud
<b>Degree</b>	Bachelor of Science
<b>Major program</b>	Environmental Sciences and <i>Natural Resources</i> Faculty of Science and Technology
<b>Academic year</b>	2012

### Abstract

Educational system designed to produce Biogas from food waste. By comparing the quality of pigeon dung. And the value of the pig was used as the catalyst. In anaerobic conditions. Purpose was to compare the quality. And the amount of gas from the two types of catalyst used and the process of building a compost bin for households in the city. Which places the living repository of materials Rajamangala University of Technology PhraNakhon. Bangkok campus as a place of experimentation. The fermentation process is used for the same condition is temperature materials and processes in each trial, which takes a total of 60 days, separated by a period of preparation. During the experiment. And at the conclusion of the experiment. The 10-day period of preparation for the trial and during the 40 days of the conclusion of the 10-day trial that the mixed infection. And rubbish food for 10 days to wait for an extended amount of infected nodes Jane Mehta. The index values are measured. System including temperature fermentation - acid alkaline VOCs. Hydrogen sulfide, oxygen, carbon monoxide and methane gas in the range 12.00 pm - 13.00 pm every day for 30 days

The result was the conclusion that Swine manure fermentation properties of methane higher than the pigeons in 3: 1, can be seen from the measurement equipment and systems. The odor is caused by the pigeons is very low and almost no odor. When compared to the after-fermentation of swine manure to 19 days, while the smell of fermentation of swine manure odor remains

disturbed. And the quality of the fire pig is still a better value quality Ignition dove by observing the color of the flame.

**Keywords :** Food waste, biogas, fermenter



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาจากคณาจารย์หลายท่านทาง คณะผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ประยุทธ์ สุวรรณศรี ประธานกรรมการที่ปรึกษาปริญญา นิพนธ์ อาจารย์กิตติยศ ตั้งสัจจวงศ์ กรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์ อาจารย์พลกฤษณ์ คุ่มกล้า กรรมการควบคุมปริญญาานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สลักจิต พุกจรรยา กรรมการควบคุมปริญญา นิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่าในการช่วยเหลือ ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจน ช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลา

ขอขอบพระคุณ คณะครูบาอาจารย์ที่เคยอบรม สั่งสอน ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ความสามารถต่างๆ ให้แก่คณะผู้วิจัยในอดีตและปัจจุบันทุกท่าน จนคณะผู้วิจัยสำเร็จการศึกษาในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ได้มอบทุนอุดหนุนงบประมาณ จากโครงการส่งเสริมสิ่งประดิษฐ์ และนวัตกรรมเพื่อคนรุ่นใหม่ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556 เพื่อ เป็นทุนสนับสนุนการศึกษาวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่เมตตา อบรมสั่งสอน ให้มีความรู้จนถึงปัจจุบัน รวมถึงเพื่อนๆ พี่ๆ ที่ให้ความช่วยเหลือทั้งกำลังกายและกำลังใจในการศึกษาวิจัยทดลอง จนปริญญา นิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นายจิรวัดน์ เลิศสุวรรณโรจน์  
นายศุภศิลป์ นาคนิยม  
นางสาวสุภาภรณ์ เกาจัตุรัส

## สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	(ก)
บทคัดย่อภาษาไทย	(ข)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(ค)
สารบัญ	(ง)
สารบัญตาราง	(ฉ)
สารบัญแผนภูมิ	(ช)
สารบัญภาพ	(ซ)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ	3
1.4 กรอบแนวความคิด	5
1.5 สมมติฐานในการวิจัย	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.7 นิยามศัพท์	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ก๊าซชีวภาพ	10
2.2 ทฤษฎีของระบบก๊าซชีวภาพ	14
2.3 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	19
2.4 ปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อก๊าซชีวภาพ	22
2.5 วัสดุที่ใช้ในการหมัก	25
2.6 กาก	29
2.7 ความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ	30
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	39
3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล	39
3.2 สถานที่ทำการทดลอง	39
3.3 วัสดุอุปกรณ์	40
3.4 ขั้นตอนการเตรียมการ	42
3.5 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย	49

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการวิจัย	55
4.1 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง	55
4.2 ผลการตรวจคุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจาก การหมักโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างมูลสุกร และมูลนกพิราบ	57
4.3 ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิด จากการหมักโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างมูลสุกร และมูลนกพิราบ	70
4.4 ผลพลอยได้จากงานวิจัย	77
4.5 อภิปรายผล	78
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	79
5.1 สรุปผลการวิจัย	80
5.2 ข้อเสนอแนะ	81
เอกสารอ้างอิง	82
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก คู่มือการใช้งานเครื่อง Multi Gas Monitor IBRID MX6	83
ภาคผนวก ข ตารางตรวจวัดผลคุณสมบัติก๊าซจากถังหมัก	117
ภาคผนวก ค ตารางตรวจวัดผลประสิทธิภาพก๊าซจากการหมัก ประวัตินักวิจัย	122
	127



## สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงสัดส่วนของก๊าซชีวภาพ (1)	11
2.2 แสดงสัดส่วนของก๊าซชีวภาพ (2)	12
2.3 แสดงศักยภาพในการผลิตกาชีวภาพ	13
2.4 แสดงค่าพลังงานจากกาชีวภาพ	19
2.5 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	20
2.6 แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (1)	21
2.7 แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (2)	21
2.8 อัตราส่วน C/N ของวัสดุอินทรีย์	28
2.9 แสดงคุณสมบัติของขยะที่ใช้ในการทดลอง	31
4.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการศึกษา	56
4.2 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลสุกร	58
4.3 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักนกพิราบ	64
4.4 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลสุกร	71
4.5 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลนกพิราบ	74



## สารบัญแผนภูมิ

แผนภูมิ	หน้า
1.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	4
1.2 แผนภูมิแสดงกรอบแนวคิดการดำเนินการ	5



## สารบัญภาพ

ภาพ	หน้า
2.1 แสดงขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ	15
3.1 แสดงสถานที่ใช้ทำการทดลอง	39
3.2 วัสดุสำหรับประกอบตัวถัง	41
3.3 อุปกรณ์ทางช่าง	41
3.4 ถังขนาด 120 ลิตร และ 200 ลิตรตามลำดับ	41
3.5 เครื่องวัดก๊าซรุ่น IBRID MX 6	41
3.6 กระดาษวัดค่า pH	41
3.7 พรอทวัดค่าอุณหภูมิ	41
3.8 มุลสุกร	41
3.9 มุลนกพิราบ	41
3.10 ถังขนาด 120 ลิตร	42
3.11 ถังขนาด 200 ลิตร	42
3.12 แสดงลักษณะท่อยึดท่อข้อต่อ	42
3.13 แสดงตำแหน่งรูที่ทำการเจาะบริเวณด้านบนฝาถัง	43
3.14 แสดงตำแหน่งรูที่ทำการเจาะบริเวณด้านข้างของถัง	43
3.15 แสดงตำแหน่งการประกอบท่อต่างๆ	44
3.16 แสดงองค์ประกอบต่างๆของถังหมัก	45
3.17 แสดงถังที่เจาะรูสำหรับต่อวาล์ว และ เกทวัดความดัน	46
3.18 แสดงตำแหน่งการประกอบ วาล์ว และ เกทวัดความดัน	46
3.19 แสดงองค์ประกอบต่างๆของถังเก็บก๊าซ	47
3.20 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของระบบหมักก๊าซชีวภาพ	48
3.21 แสดงการผสมมูลสัตว์	49
3.22 แสดงการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ	49
3.23 แสดงเศษขยะอาหาร	49
3.24 จอแสดงผลขณะทำการตรวจวัด	49
3.25 แสดงการตัดแยกเศษขยะพลาสติก และของแข็งที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ก่อนทำการเติม	50
3.26 แสดงกระดาษวัดค่า pH	50
3.27 แสดงการวัดอุณหภูมิด้วยพรอท	50

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ	หน้า
3.28 อุปกรณ์ตวงน้ำ	51
3.29 เติมน้ำปริมาณ 1 ลิตร ลงในหม้อที่เตรียมไว้	51
3.30 ทำการห่อหม้อด้วยฟอยเพื่อเก็บความร้อน	51
3.31 ทำการวัดอุณหภูมิก่อนทำการทดลอง	52
3.32 แสดงการวัดอุณหภูมิขณะทดลอง	52
3.33 การทำการทดลองจุดไฟเพื่อเก็บข้อมูล	52
3.34 แสดงเปลวไฟที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดไฟ	52
3.35 Multi Gas Monitor IBRID MX6	53
3.36 แสดงหน้าต่างเมนูของเครื่องตรวจวัดก๊าซ	53
4.1 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซออกซิเจนต่อวัน	60
4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อวัน	60
4.3 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อวัน	61
4.4 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวัน	61
4.5 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนต่อวัน	62
4.6 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่ากรด - ต่าง ต่อวัน	62
4.7 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อวัน	63
4.8 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซออกซิเจนต่อวัน	66
4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อวัน	66
4.10 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อวัน	67
4.11 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวัน	67
4.12 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนต่อวัน	68
4.13 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่ากรด - ต่าง ต่อวัน	68
4.14 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อวัน	69
4.15 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมัก (สุกร)	73
4.16 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมัก (นกพิราบ)	76

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติบโตของปริมาณประชากรทำให้เกิดปัญหาด้านพลังงานที่จำเป็นในชีวิตประจำวันนั้นคือ ก๊าซการหุงต้มเพื่อใช้ในการประกอบอาหารสำหรับการดำรงชีพของประชากรที่มีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ 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 โดยมีก๊าซอื่นๆใน

ปริมาณเล็กน้อยเช่น ก๊าซไข่เน่า หรือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สูตรโมเลกุล  $H_2S$ ) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่ชอบออกซิเจนอิสระ (สูตรโมเลกุล  $O_2$  เป็นโมเลกุลที่มนุษย์ใช้หายใจเพื่อการดำรงชีพ) ดังนั้นในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องระวังไม่ให้ออกซิเจนสามารถเข้าไป สัมผัสกับจุลินทรีย์กลุ่มที่สร้างมีเทน เพราะจะทำให้การผลิตก๊าซมีเทนด้อยประสิทธิภาพ และเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทน สามารถใช้สารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเท่านั้น การผลิตก๊าซมีเทนจากสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน จึงต้องอาศัยการทำงานของแบคทีเรียกลุ่มไม่สร้างมีเทน เพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนสูง ให้กลายเป็นสารอินทรีย์ที่มีความซับซ้อนต่ำ พอที่แบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนสามารถย่อยสลายได้ ดังนั้นในการผลิตก๊าซมีเทนจะต้องอาศัยความร่วมมือของแบคทีเรียหลายๆกลุ่มเข้าด้วยกัน โดยทั่วไปน้ำเสียและขยะที่มีสารอินทรีย์นั้นสามารถนำมาผลิตก๊าซชีวภาพได้

ดังนั้นการศึกษาการผลิตก๊าซมีเทนจากเศษอาหาร โดยใช้มูลสัตว์ปีกพิราบ และมูลสุกรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายในถังหมักขนาด 200 ลิตร ซึ่งหลังกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศจะได้ก๊าซมีเทน น้ำหมักชีวภาพ และ ปุ๋ยหมักเป็นผลิตภัณฑ์ โดยก๊าซมีเทนที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับใช้ในครัวเรือน ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อก๊าซหุงต้ม ซึ่งอุปกรณ์ผลิตก๊าซมีเทนที่สร้างขึ้นนี้ จะเป็นต้นแบบให้ภาคครัวเรือนสามารถผลิตก๊าซหุงต้มใช้เองได้ ส่งผลให้ประชาชนเกิดความมั่นคงทางด้านพลังงาน และสามารถพึ่งตนเองได้อย่างยั่งยืน



## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหาร
- 1.2.2 เพื่อลดปริมาณขยะอาหารที่เกิดขึ้น
- 1.2.3 เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของก๊าซที่ได้จากการใช้มูลนกพิราบ และมูลสุกรที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

### 1.3.1 สถานที่ศึกษา/ทดลอง

บริเวณด้านหลังอาคาร อนุสรณ์ ๔๐ ปี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์พระนครเหนือ

### 1.3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

1. วัสดุสำหรับการหมักเชื้อ ได้แก่ มูลสัตว์ น้ำ เศษขยะอาหาร
2. ระยะเวลาการเกิดก๊าซ
3. สภาพแวดล้อมโดยรอบ
4. พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์ ได้แก่
  - ค่าความเป็นกรด – ด่าง
  - ค่าอุณหภูมิ
  - ปริมาณออกซิเจน
  - ปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์
  - ปริมาณसानอินทรีย์ระเหยง่าย
  - ปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
  - ปริมาณก๊าซมีเทน

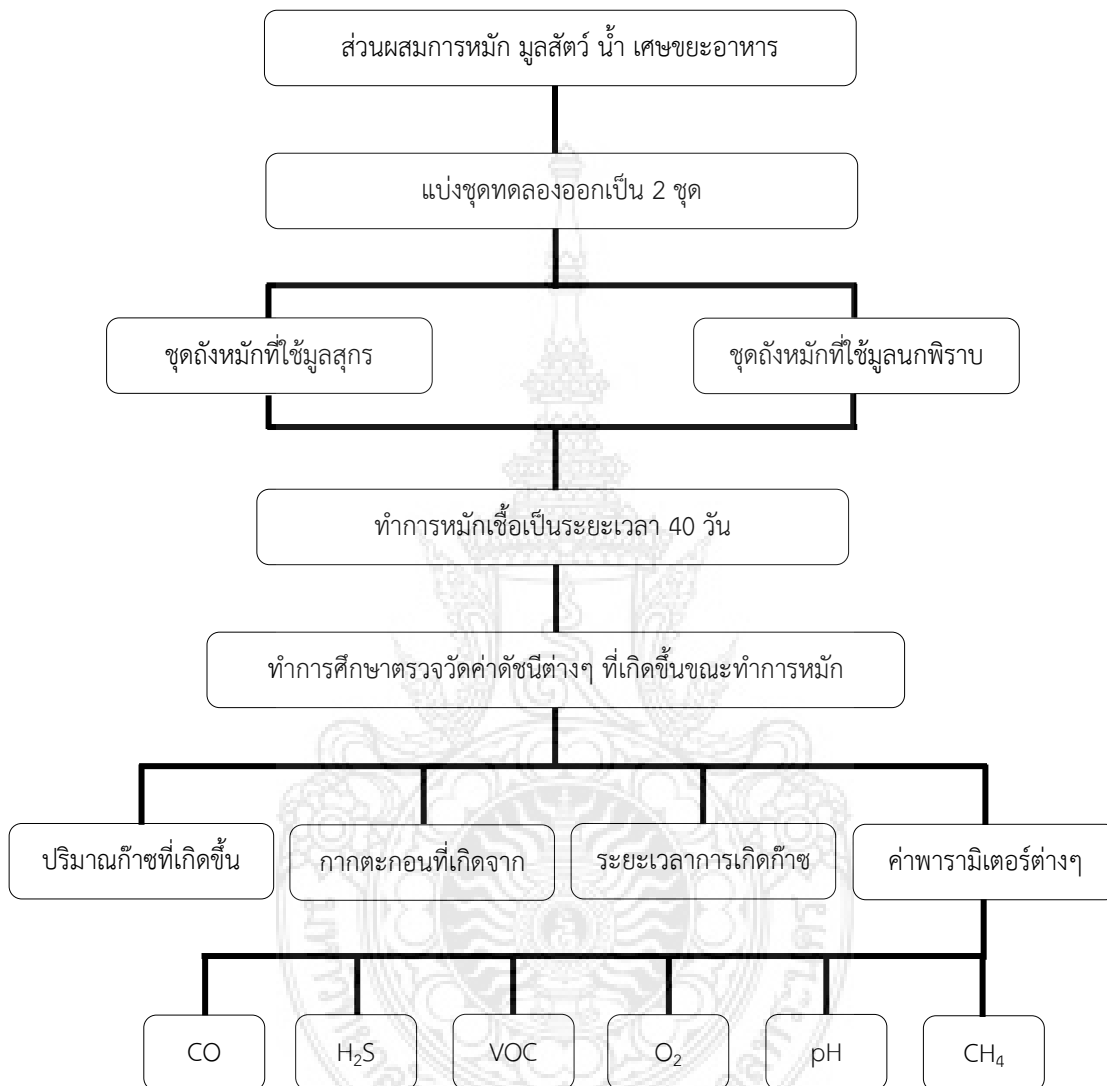
### 1.3.3 วิธีดำเนินการ



แผนภูมิที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการวิจัย



## 1.4 กรอบแนวความคิด



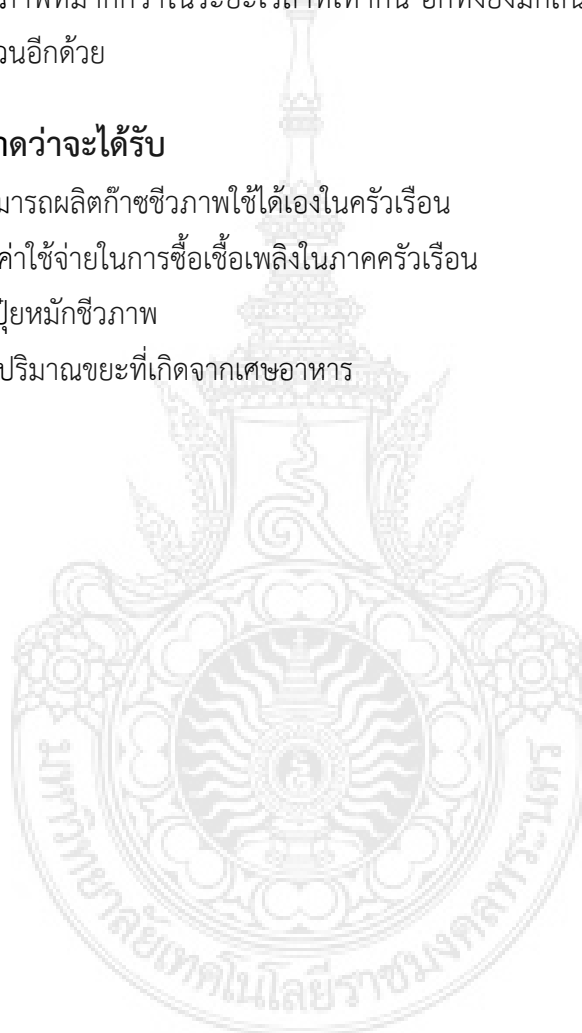
แผนภูมิที่ 1.2 แสดงกรอบแนวความคิดการดำเนินการ

## 1.5 สมมติฐานในการวิจัย

การผลิตก๊าซชีวภาพจากการใช้มูลนกพิราบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแทนมูลสุกรมีประสิทธิภาพมากกว่า เพราะ อาหารที่ใช้สำหรับเลี้ยงนกพิราบนั้นให้ธาตุอาหารที่ให้พลังงานความร้อนสูงกว่าอาหารที่ใช้สำหรับเลี้ยงสุกร ซึ่งในกระบวนการหมักนั้นจุลินทรีย์ต้องการอุณหภูมิสูงในการทำปฏิกิริยาการหมัก ทำให้ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่มากกว่าในระยะเวลาที่เท่ากัน อีกทั้งยังมีกลิ่นที่เบาบางกว่ามูลสุกรทำให้ลดปัญหาเรื่องกลิ่นรบกวนอีกด้วย

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพใช้ได้เองในครัวเรือน
- 1.6.2 ลดค่าใช้จ่ายในการซื้อเชื้อเพลิงในภาคครัวเรือน
- 1.6.3 ได้ปุ๋ยหมักชีวภาพ
- 1.6.4 ลดปริมาณขยะที่เกิดจากเศษอาหาร



## 1.7 นิยามศัพท์

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

**1.7.2 มีเทน (Methane)** เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนพวกแอลเคน สูตรเคมี คือ  $\text{CH}_4$  เป็นแก๊สไม่มีสี ติดไฟได้ เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของแก๊สธรรมชาติ แก๊สมีเทนอาจได้มาจากการหมักมูลสัตว์และนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงราคาถูก

**1.7.3 ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (hydrogen sulfide หรือ hydrogen sulphide) หรือ ก๊าซไข่เน่า** เป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมีเป็น  $\text{H}_2\text{S}$  ไม่มีสี, เป็นพิษ และเป็นแก๊สไวไฟ มีกลิ่นเน่าเหม็นคล้ายไข่เน่า บ่อยครั้งเป็นผลจากแบคทีเรียย่อยสลายซัลไฟด์ในสารอินทรีย์ในสภาวะขาดออกซิเจน เช่นในหนองน้ำและท่อระบายน้ำ (การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน)

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

**1.7.5 สารอินทรีย์ระเหย หรือ สารอินทรีย์ระเหยง่าย** ที่เรียกทับศัพท์ด้วยภาษาอังกฤษว่า **วีไอซี (VOCs = Volatile Organic Compounds)** คือ กลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compounds) ที่มีความดันไอมากกว่า 1 มิลลิเมตรปรอท สามารถระเหยเป็นไอกระจายตัวไปในอากาศได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันปกติ ไอเหล่านี้สามารถจะเปลี่ยนรูปกลับเป็นของเหลวหรือของแข็งตามสภาวะเดิมได้ โดยการเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความดัน โมเลกุลส่วนใหญ่ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนและไฮโดรเจน อาจมี ออกซิเจน หรือธาตุฮาโลเจน

**1.7.6 ออกซิเจน (อังกฤษ: Oxygen)** ธาตุลำดับที่ 8 สัญลักษณ์ O เป็นแก๊ส มีปนอยู่ในอากาศประมาณร้อยละ ๒๐ โดยปริมาตร ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่ติดไฟ แต่ช่วยให้ไฟติด มีประโยชน์

อย่างยิ่งต่อการหายใจและการเผาไหม้เป็นต้นใช้จุดกับแก๊สอะเซทิลีน เพื่อเชื่อมหรือตัดโลหะ ในทางแพทย์ ใช้ช่วยการหายใจของคนไข้.

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

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

**1.7.9 ระยะเวลาการกักเก็บน้ำเสีย (Hydraulic Retention Time ; HRT)** จะต้องเหมาะสมกับเทคโนโลยีที่เลือกใช้ในการบำบัดน้ำเสีย/ของเสียดังกล่าว

**1.7.10 พีเอช (อังกฤษ: pH ย่อมาจาก Potential of Hydrogen ion)** เป็นค่าที่แสดงความเป็นกรดเป็นเบสของสารเคมีจากปฏิกิริยาของไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) สามารถทดสอบได้หลายวิธี โดยวิธีที่นิยมและง่ายสุดคือทดสอบด้วยกระดาษลิตมัสจากการเปลี่ยนสีสำหรับตัวเลขที่แสดงค่าพีเอช ถ้าพิจารณาอย่างง่ายที่อุณหภูมิห้อง ค่าเท่ากับ 7 แสดงว่าสารนั้นเป็นกลางไม่มีฤทธิ์เป็นกรดหรือเบส เช่น น้ำบริสุทธิ์ ถ้ามีค่าน้อยกว่า 7 แสดงว่าเป็นกรด และถ้ามากกว่า 7 แสดงว่าเป็นเบส



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาความขาดแคลนพลังงานที่เริ่มเกิดขึ้นในหลายๆ พื้นที่ทั่วโลกจึงได้เกิดการศึกษาค้นคว้าในการนำเอาพลังงานในรูปแบบต่างๆ มาใช้เป็นพลังงานทดแทนซึ่งพลังงานจากก๊าซชีวภาพก็เป็นทางเลือกหนึ่งที่ได้ถูกนำมาเอามาประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยผู้จัดทำโครงการได้ทำการศึกษาเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำโครงการดังนี้

- 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

สุทัศน์. (2550) ได้ให้รายละเอียดว่า นักวิทยาศาสตร์ค้นพบก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายมูลฟุ้งของ สารอินทรีย์ครั้งแรกในศตวรรษที่ 17 โดย Robert Boyle และ Stephen Hale โดยทั้งสองได้พูดถึงการ กวนตะกอนในลำธารและทะเลสาบซึ่งทำให้มีก๊าซที่สามารถ ติดไฟได้ลอยขึ้นมา ในปี 1859 Sir Humphrey Davy ได้กล่าวไว้ว่าในก๊าซที่เกิดจากขี้วัวนั้นมีก๊าซมีเทนอยู่ด้วย 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 ซึ่งนอกจากจะลดค่าใช้จ่ายชีฟแล้ว ยังเป็นการลดภาระของโครงข่ายพลังงานของชาติด้วย ในประเทศพัฒนา แล้ว การนำเทคโนโลยีการผลิตก๊าซชีวภาพไปใช้ ยังเป็นการลดการปล่อยมลภาวะรวมถึงก๊าซเรือนกระจกสู่สิ่งแวดล้อมที่นับวันจะ ยิ่งเสื่อมโทรมลง นอกจากนี้ยังมีผลผลิตพลอยได้ต่างๆ เช่นปุ๋ยอินทรีย์

ยิ่งในทุกวันนี้โลกกำลังเผชิญวิกฤติปัญหาสิ่งแวดล้อมและวิกฤติพลังงาน ก๊าซชีวภาพจึงยังมี ความสำคัญมากขึ้น เพราะเป็นการช่วยแก้ทั้งสองปัญหา ปัจจุบันรัฐบาลของหลายๆ ประเทศรวมถึง ประเทศไทยต่างก็ให้การส่งเสริมการผลิตก๊าซชีวภาพ และสนับสนุนผู้ที่ทำการผลิตก๊าซชีวภาพในรูปแบบ ต่างๆ

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

องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นแก๊สมีเทน( $\text{CH}_4$ ) ประมาณ 50 - 60 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ประมาณ 25 - 35 % ส่วนที่เหลือเป็นแก๊สชนิดอื่น ๆ เช่น ไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) ออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) ไนโตรเจน (N) และไอน้ำ

ก๊าซชีวภาพมีชื่ออื่นอีกคือ ก๊าซหนองน้ำ และ มาร์ชก๊าซ (marsh gas) ขึ้นกับแหล่งที่มันเกิด กระบวนการนี้เป็นที่นิยมในการเปลี่ยน ของเสีย ประเภทอินทรีย์ทั้งหลายไปเป็นกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้

กำจัดขยะได้แล้วยังทำลาย เชื้อโรค ได้ด้วย การใช้ก๊าซชีวภาพเป็น การบริหารจัดการของเสีย ที่ควรได้รับการสนับสนุนเพราะไม่เป็นการเพิ่มก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ ในชั้นบรรยากาศที่เป็นต้นเหตุของปรากฏการณ์เรือนกระจก (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&section=9&rcount=Y>)

ชาญชัย และยวพันธ์ (2544) รายงานว่า ก๊าซชีวภาพ จะมีน้ำหนักเบากว่าอากาศเล็กน้อย และมีอุณหภูมิที่ติดไฟประมาณ 700 °C (น้ำมันดีเซล 350 °C น้ำมันเบนซิน และโพรเพน ประมาณ 500 °C) อุณหภูมิของเปลวไฟประมาณ 870 °C

ก๊าซชีวภาพประกอบด้วย มีเทน (CH<sub>4</sub>) ประมาณ 60% คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ประมาณ 40% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ประกอบอยู่มากกว่า 1% นอกจากนี้ยังมีสารอื่นๆ อีก ระยะเวลาการเก็บจะมีผลต่อส่วนประกอบมีเทน (เป็นเปอร์เซ็นต์) มากถึง 50% ถ้าส่วนประกอบมีเทนต่ำกว่า 50% ก๊าซชีวภาพจะติดไฟได้ไม่นาน ในโรงผลิตก๊าซชีวภาพที่เพิ่งใช้ในช่วง 3 – 5 วันแรก จะยังไม่สามารถนำก๊าซที่ผลิตได้มาใช้ เนื่องจากมีส่วนประกอบของมีเทนต่ำ นอกจากนี้อุณหภูมิในการย่อยสลายและชนิดของมูล 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) องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปจะ ได้แก่ ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) ประมาณ 60-70 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ประมาณ 28-38 % และก๊าซอื่นๆ ประมาณ 2 % เช่น ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) และไอน้ำ เป็นต้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็นก๊าซที่คงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้น คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณของก๊าซ มีเทน

ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ ทั้งจากพืช สัตว์หรือแม้แต่ของเสียจากสัตว์ รวมถึงขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายทั้งหมดเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในสภาวะที่ไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติถ้ามีสภาพที่เหมาะสม หรือเกิดขึ้นในระบบผลิตก๊าซ กล่าวคือเมื่อไหร่ก็ตามที่มีสารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็จะเกิดก๊าซ ชีวภาพ

เมื่อองค์ประกอบต่างๆครบถ้วน เช่น มีแบคทีเรีย สารอินทรีย์ อาหารเสริม และสิ่งแวดล้อมอื่นๆที่เหมาะสมแต่ไม่มีออกซิเจน กระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพ ก็สามารถเกิดได้ตามธรรมชาติโดยทันที ในธรรมชาตินั้น ก๊าซชีวภาพจะเกิดในบ่อที่มีการหมัก ก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ ลำไส้คนและวัว ไร่นาข้าวที่มีน้ำท่วมขัง ในเปลือกไม้ที่อัดขึ้น ใต้ท้องทะเลลึก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเกิดในสภาวะที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นเป็นกระบวนการที่เกิด ในธรรมชาติ ซึ่งอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับถูกกำหนดโดย



ธรรมชาติ แต่ในเชิงวิศวกรรมแล้ว วิศวกรจะสร้างระบบขึ้นมาเพื่อควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆให้เหมาะสม ให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้รวดเร็ว ตามที่ต้องการ หรืออีกนัยหนึ่งคือ วิศวกรที่ออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพคือ ผู้ที่เข้าใจธรรมชาติของสารอินทรีย์ และสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของแบคทีเรียกลุ่มไม่ชอบออกซิเจน และทำการสร้างสภาวะดังกล่าว เพื่อให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้ตามที่วิศวกรนั้นๆต้องการ

ในการผลิตก๊าซชีวภาพเชิงอุตสาหกรรม วัตถุดิบที่ใช้ก็คือ สารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่อยู่ในน้ำเสียหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร ชุมชน และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น น้ำเสียที่ออกจากโรงงานแป่งมันสำปะหลัง 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 <sup>3</sup>
การผลิต ล้านหน่วย/ปี	0.70	6.39	9.30	64.40	191.75
น้ำเสีย m <sup>3</sup> /การผลิต	15.00	0.40	9.86	0.11	10.00
ระบบบำบัดน้ำเสียรวม ล้าน m <sup>3</sup> /ปี	10.50	2.56	91.70	7.08	1917.50
ก๊าซชีวภาพ m <sup>3</sup> / น้ำเสีย m <sup>3</sup>	10.00	35.00	3.50	7.00	35.00
ก๊าซชีวภาพรวม ล้าน m <sup>3</sup> /ปี	105.00	89.46	320.94	49.59	67112.50

ที่มา : มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม หมายเหตุ : ข้อมูลผลผลิตปี 2550

ในประเทศไทยมีการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียในเชิงธุรกิจในหลายอุตสาหกรรม เช่น ในอุตสาหกรรมแป่งมัน น้ำมันปาล์ม การแปรรูปสัตว์ จนถึงฟาร์มสุกร และกำลังขยายไปสู่อุตสาหกรรม

ประเภทอื่นๆ อีกหลายประเภท ในขณะที่ของเสียสร้างปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และในเวลาเดียวกันสังคมต้องการพลังงานเป็นอย่างมาก ดังนั้นการใช้ของเสียให้เกิดประโยชน์ย่อมช่วยให้เกิดผลดีทั้งสองด้าน หน่วยงานภาครัฐจึงควรต้องสนับสนุนและส่งเสริมให้เกิดการใช้งานในเรื่องก๊าซชีวภาพอย่างจริงจังด้วย

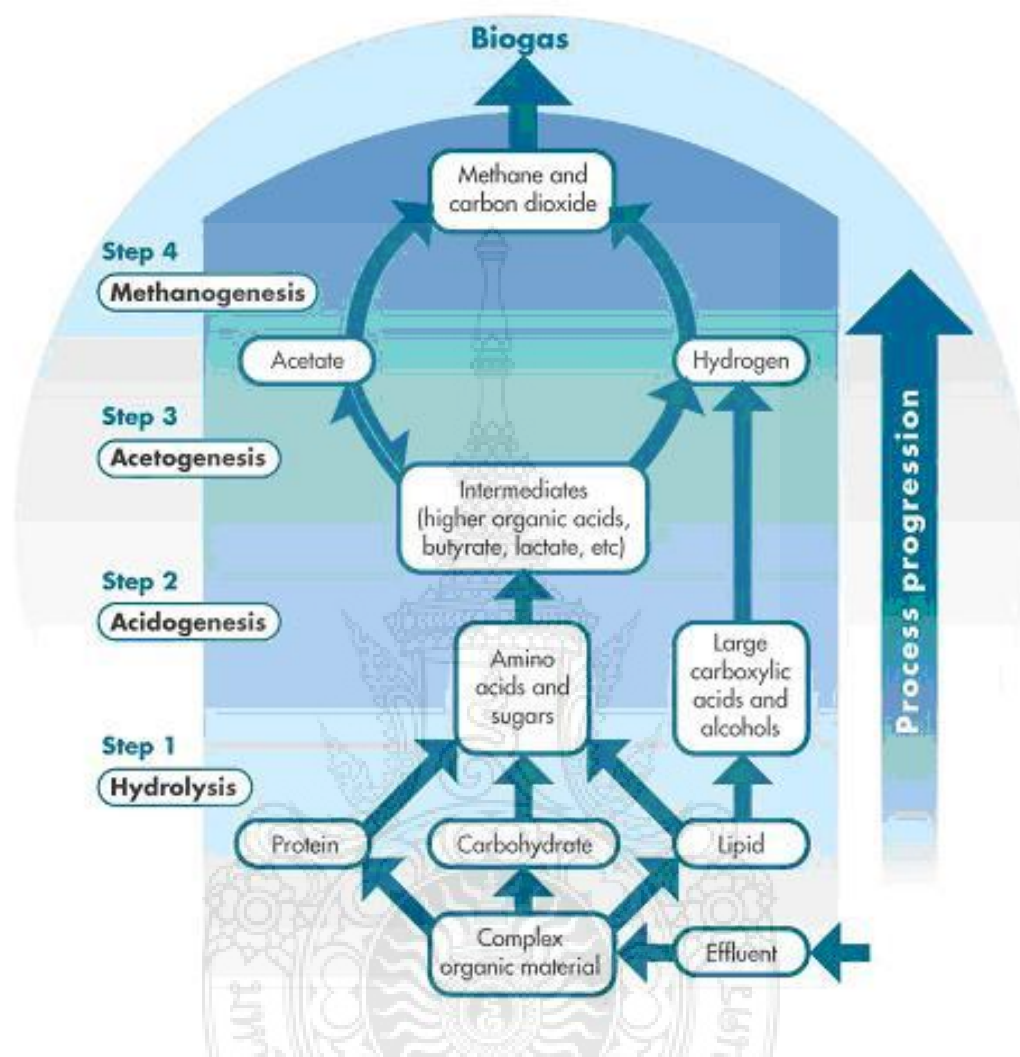
ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม เราได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับก๊าซชีวภาพในมุมมองใหม่ๆ เช่นการผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะแบบ high solids โดยมีการทำการเวียนน้ำชะขยะกลับ การผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลไก่แบบ completely mix การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียน้ำมันปาล์มแบบความเข้มข้นสูงด้วยกระบวนการ anaerobic baffle reactor ตลอดจนการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ 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 ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) ในน้ำเสีย โดยจะทำหน้าที่ดึงออกซิเจนจากสารประกอบซัลเฟต ทำให้เปลี่ยนซัลไฟด์ที่อยู่ในรูปของซัลเฟตเป็นก๊าซไข่เน่า ( $\text{H}_2\text{S}$ )



ภาพที่ 2.1 แสดงขั้นตอนและปฏิกิริยาการเกิดก๊าซชีวภาพ

(ที่มา : [http://www.greenenergy.net/images/tec/pic\\_technology5.JPG](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 จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดอินทรีย์ชนิดโมเลกุลเล็ก 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 ( $\text{CO}_2$ ) และก๊าซไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) 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) ในวงจรชีวิตของมัน เมทาโนเจน จะย่อยสลายอาหารและปล่อยก๊าซต่างๆ ซึ่งรวมถึงมีเทนด้วย เมทาโนเจน มีอยู่หลายชนิดโดยแบ่งออกเป็นสี่ประเภทหลักๆ 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

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

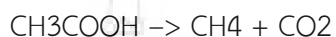
กระบวนการหมักย่อยในสภาวะไร้อากาศแบ่งเป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

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

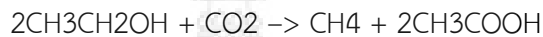
2.แอซิติฟิเคชัน หรือ แอซิโดเจเนซิส(Acidification/ Acidogenesis):การย่อยสลายสารอินทรีย์เชิงเดี่ยว (monomer)เป็นกรดระเหยง่าย (volatile fatty acid) กรดคาร์บอน แอลกอฮอล์ คาร์บอนไดออกไซด์แอมโมเนีย และไฮโดรเจน

3. อะซิโตเจเนซิส (Acetogenesis) เปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นกรดอะซิติกหรือเกลืออะซิเตต ซึ่งเป็นสารตั้งต้นหลักในการผลิตมีเทน

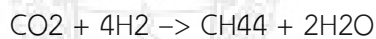
4. เมทาไนเซชัน หรือ เมทาโนเจเนซิส (Methanization/Methanogenesis): กรดอะซิติก และอื่นๆ จากขั้น 2 รวมถึงคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจนบางส่วน จะเข้าสู่กระบวนการเปลี่ยนเป็นมีเทน โดยเมทาโนเจน (methanogen) (<http://www.thachaibogas.com/page/2/>, 2013)



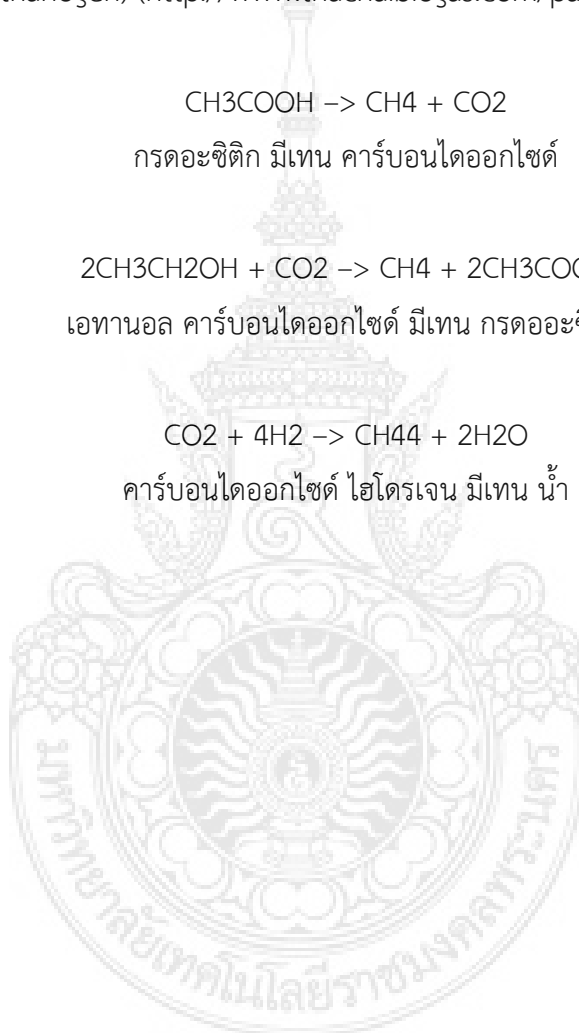
กรดอะซิติก มีเทน คาร์บอนไดออกไซด์



เอทานอล คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน กรดอะซิติก



คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน มีเทน น้ำ



## 2.3 คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ในการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ประโยชน์ด้านพลังงาน ค่าพลังงานที่ได้จากก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับสัดส่วน (%) ของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในเนื้อก๊าซชีวภาพ ซึ่งมีคุณสมบัติทั่วไป ดังนี้

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าพลังงานจากก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติก๊าซชีวภาพ	ค่า
ค่าความร้อน (Heating Value)	21.5 MJ/m <sup>3</sup> (อ้างอิงที่ CH <sub>4</sub> 60%)
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อัตราส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ทางทฤษฎี (A/F)	6.19 m <sup>3</sup> -air/m <sup>3</sup> -gas
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 deg C
อุณหภูมิจุดติดไฟของ CH <sub>4</sub>	600 deg C
ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6 kJ/m <sup>3</sup> -deg C
ความหนาแน่น	1.15 kg/m <sup>3</sup>

(ที่มา : [http://www.greenenergynet.net/tec\\_Biogas.html](http://www.greenenergynet.net/tec_Biogas.html))

### คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ของก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2.5 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบแต่ละชนิดในก๊าซชีวภาพ โดยจะเห็นว่าโดยทั่วไปแล้วก๊าซชีวภาพจะมีปริมาณก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) อยู่ประมาณร้อยละ 50-80 ส่วนที่เหลือเป็นสิ่งปนเปื้อนได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) ไอน้ำ (H<sub>2</sub>O) และสารประกอบอื่นๆ เช่น ซิลอกเซน (Siloxanes) ทั้งนี้ ชนิดและสิ่งปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพจะขึ้นกับแหล่งหรือวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต

ตารางที่ 2.5 แสดงองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

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

(ที่มา [http://www.doeb.go.th/knowledge/data/2Compressed\\_Biogas.pdf](http://www.doeb.go.th/knowledge/data/2Compressed_Biogas.pdf))

### คุณสมบัติทั่วไปของก๊าซชีวภาพ

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



ตารางที่ 2.6 แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ (ที่ 0 °C ความดัน 1 บรรยากาศ)	
ปริมาณ CH <sub>4</sub>	65-70 %
ปริมาณ CO <sub>2</sub>	30-35 %
ปริมาณ H <sub>2</sub> S	1,000 ppm
ค่าความร้อนทางต่ำ	24.48 MJ/m <sup>3</sup>
ความเร็วเปลวไฟ	25 cm/s
อุณหภูมิเผาไหม้ในอากาศ	650 °C
ค่าความจุความร้อน (Cp)	1.6 kJ/m <sup>3</sup> - °C
ความหนาแน่น	1.15 kg/m <sup>3</sup>

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

### คุณสมบัติและการให้ค่าความร้อน

เนื่องจาก CO<sub>2</sub> เป็นก๊าซคงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้นสมบัติของก๊าซชีวภาพในด้านเชื้อเพลิงจึงขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>) เป็นสำคัญ คุณสมบัติที่สำคัญของก๊าซชีวภาพได้แก่การที่เป็นก๊าซที่จุดไฟติดในบรรยากาศ ให้ค่าความร้อนประมาณ 600 B.T.U./ลูกบาศก์ฟุต (สำหรับก๊าซมีเทนให้ค่าความร้อน 1000 B.T.U./ลูกบาศก์ฟุต) หรือก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรจะให้ความร้อนเทียบเท่ากับถ่านไม้ชนิดดี 0.74 กิโลกรัม

ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์จะไม่มีสี กลิ่น รส เมื่อเผาไหม้จะได้ก๊าซ CO<sub>2</sub> น้ำ และพลังงาน 5,000-6,000 Kcal/M<sup>3</sup> ที่ 15 °C . ความดัน 735 เซนติเมตรของปรอท ส่วน H<sub>2</sub>S ที่ปะปนอยู่เป็นตัวการทำให้เกิดการสึกกร่อนและส่งกลิ่นเหม็น แต่เมื่อถูกเผาไหม้จะมีกลิ่นน้อยลง มีเทนเป็นก๊าซที่ทำให้เป็นของเหลวได้ยาก

เพราะมีจุดควบแน่น  $-164.4^{\circ}\text{C}$  แต่สามารถลดปริมาตรลงได้ 600 เท่าที่จุดควบแน่น ดังนั้น จึงควรเก็บในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิต่ำ ([www.agro.cmu.ac.th/e\\_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc](http://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 ถ้าหากอุณหภูมิลดต่ำกว่า  $10^{\circ}\text{C}$  แบคทีเรียจะหยุดทำงาน อุณหภูมิในการเดินระบบแบ่งเป็นสองระดับตามสปีชีส์ของเมทาโนเจน ได้แก่ เมโซฟิลิก (Mesophilic) และ เทอร์โมฟิลิก (Thermophilic)

- อุณหภูมิที่เหมาะสมที่เมโซฟิลิก ทำงานได้ดีคือประมาณ  $20^{\circ}\text{C} - 45^{\circ}\text{C}$  แต่ที่เหมาะสมที่สุดคือ ช่วง  $37^{\circ}\text{C} - 41^{\circ}\text{C}$  โดยในช่วงอุณหภูมิระดับนี้แบคทีเรียส่วนใหญ่ในถังหมักจะเป็นเมโซฟิลิก
- เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่สูงกว่า โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือประมาณ  $50^{\circ}\text{C} - 52^{\circ}\text{C}$  แต่ก็สามารถทำงานในอุณหภูมิที่สูงขึ้นไปถึง  $70^{\circ}\text{C}$

แบคทีเรียเมโซฟิลิกนั้นมีจำนวนสปีชีส์มากกว่าเทอร์โมฟิลิก นอกจากนี้ยังสามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าเทอร์โมฟิลิก 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 ลดลง ซึ่งถ้าหาก pH ลดต่ำกว่า 5 ก็จะหยุดกระบวนการย่อยและหมักทั้งหมดหรืออีกนัย หนึ่งก็คือแบคทีเรียตาย Methanogen นั้นอ่อนไหวต่อความเป็นกรดต่างมาก และจะไม่เจริญเติบโตหาก pH ต่ำกว่า 6.5 ในช่วงท้ายของกระบวนการ ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4$  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

นำไปใช้เพื่อเสริมโปรตีนให้ตัวเองและจะหมดย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ได้ก๊าซน้อย แต่ถ้าหาก C/N Ratio ต่ำมากๆ ก็จะทำให้ไนโตรเจนมีมากและไปเกาะกันเป็นแอมโมเนีย แอมโมเนียจะไปเพิ่มค่า pH ซึ่งถ้าหากค่า pH สูงถึง 8.5 ก็จะมีเริ่มเป็นพิษกับ 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 หากระยะเวลาในการกักเก็บสั้นไปก็จะมีผลพอสสำหรับแบคทีเรียที่จะผลิตก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้แบคทีเรียยังจะถูกถ่ายออกจากระบบเร็วเกินไปส่งผลให้จำนวนแบคทีเรีย ลดลงไป ทำให้แบคทีเรียที่เหลืออยู่ทำการย่อยไม่ทันและอาจทำให้ค่า pH ในถังหมักลดลง ขึ้น ขณะเดียวกัน การที่ระยะเวลากักเก็บนานเกินไปจะทำให้เกิดตะกอนของสารอินทรีย์ที่แบคทีเรีย ย่อยสลายแล้วสะสมอยู่ทำให้ถังหมักมีขนาดใหญ่โดยไม่จำเป็น ระยะเวลาในการกักเก็บส่วนใหญ่จะประมาณ 14 - 60 วัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ ค่าTSC อุณหภูมิขนาดและประเภทของ digester และปริมาณสารอินทรีย์ที่เติม ระยะเวลาในการกักเก็บนั้นเป็นตัวบ่งชี้ว่าแบคทีเรียจะมีชีวิตได้นานเท่าไร โดยไม่มีการเติมอาหาร เนื่องจากระยะเวลาการกักเก็บนั้นหมายถึงระยะเวลาที่แบคทีเรียต้องการเพื่อย่อยอาหารให้หมด ดังนั้นเมื่อไหร่ก็ตามที่แบคทีเรียที่ย่อยอาหารไม่หมดก็หมายความว่า 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 กระบวนการที่น้ำตะกอนมีความใสกว่าก็ทำให้การหมุนเวียนและกระจายตัวของของแบคทีเรีย และสารอินทรีย์ดีขึ้นและการที่แบคทีเรียสามารถสัมผัสสารอินทรีย์อย่างทั่วถึงก็ช่วยให้การย่อยและการผลิตก๊าซเร็วขึ้น

**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 และนิกเกิลเป็นต้น แต่ขยะอินทรีย์โดยทั่วไปจะมีธาตุอาหารเหล่านี้ในระดับที่สมดุลพอเพียง เพราะฉะนั้น ในการหมักจึงไม่จำเป็นต้องเติมสารอาหารใดๆ ลงไป

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

ธาตุไอออนในปริมาณน้อย (เช่น โซเดียม, โปแตสเซียม, แคลเซียม, แมกนีเซียม, ซัลเฟอร์, แอมโมเนีย) 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 ของวัสดุในบ่อหมัก ถ้าค่าความเป็นกรด - ด่าง สูงกว่า 8.5 วัสดุหมัก จะเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรียทำให้ประชากรของแบคทีเรียเมทาโนเจนน้อยลงทำให้อัตราการผลิตก๊าซต่ำ

### การผลิตพลังงานทดแทนจากหญ้าเลี้ยงช้าง

หญ้าเลี้ยงช้างเป็นหญ้าตระกูลเดียวกับหญ้าเนเปียร์(Napier grass) เป็นพืชพลังงานที่ได้รับ ความสนใจในการนำมาผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนในรูปแบบต่างๆ เนื่องจากเป็นพืชที่ปลูกได้ง่ายในหลายพื้นที่ของประเทศ มีผลผลิตสูงถึง 70-80 ตันต่อไร่ต่อปี สามารถเก็บเกี่ยวได้ราวๆ 5-6 ครั้งต่อปี และในการปลูก 1 รอบ ยังสามารถเก็บเกี่ยวได้นานถึง 5 ปี ก่อนที่จะต้องไถพรวนเพื่อลงต้นกล้า รอบต่อไป สำหรับต้นทุนในการปลูกเฉลี่ยเพียง 7,000 บาทต่อไร่ต่อปี(ที่มา:ข้าวสารพืชอาหารสัตว์, กองอาหารสัตว์ 2548 )โดยไม่รวมค่าที่ดินและคืดที่เก็บเกี่ยว 5 รอบ/ปีซึ่งเทียบเท่ากับ 0.1 บาทต่อกก.หญ้าสด

หรือ 100 บาทต่อตันหญ้าสด และมีศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพสูงถึง 100 ลบ.ม.ต่อตันหญ้าสดหรืออีกนัยหนึ่งมีศักยภาพในการผลิตก๊าซCBG ได้ประมาณ 45 กก.ต่อตันหญ้าสด

ในขณะที่เดียวกันการจัดการจัดหาเชื้อเพลิงทางเลือกเพื่อทดแทนผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียมในภาคคมนาคมขนส่ง เช่น น้ำมันและก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นทางเลือกที่สำคัญในการลดการพึ่งพาการนำเข้าเชื้อเพลิงปิโตรเลียมจากนอกประเทศ ก๊าซธรรมชาติอัดสำหรับยานยนต์ (NGV) เป็นทางเลือกที่มีศักยภาพแต่ยังคงมีข้อจำกัดหลายประการ โดยเฉพาะด้านการขนส่งจากแหล่งผลิตสู่ผู้ใช้ที่อยู่นอกแนวท่อส่งก๊าซธรรมชาติ จากปัญหาดังกล่าวพบว่าก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งที่สามารถผลิตขึ้นได้ในประเทศจากการหมักย่อยสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทน เช่นเดียวกับกับก๊าซธรรมชาติ (Natural gas) เมื่อผ่านการปรับปรุงก๊าซชีวภาพให้บริสุทธิ์จะสามารถทดแทนก๊าซธรรมชาติในพื้นที่ต่างๆ ทั่วประเทศได้ แต่อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำเสียปศุสัตว์และอุตสาหกรรม ยังมีศักยภาพไม่เพียงพอต่อการนำมาทดแทนความต้องการก๊าซธรรมชาติของประเทศได้ ดังนั้นการผลิตก๊าซชีวภาพจากพืชพลังงาน (Energy crop) จึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพอีกทางหนึ่งโดยการใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซCBG เพื่อใช้ทดแทนก๊าซธรรมชาติอัดสำหรับยานยนต์ในอนาคตต่อไป (<http://www.thainews70.com>, 2013)

### วัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ

ได้แก่มูลสัตว์ทุกชนิด รวมทั้งของเสีย น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตรเช่นโรงงานแปงมันสัมปะหลัง 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 และใช้

น้ำ วันละ 24 - 96 ลิตร หรือเท่ากับควรเลี้ยงสุกรอย่างน้อยจำนวน 6 ตัว  
(<http://guru.google.co.th/guru/thread?tid=78c3981a0c00026c>, 2554)

### วัตถุประสงค์ในการผลิตก๊าซชีวภาพ

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 % จะมีผลกระทบต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์เพราะโดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมต่อการเกิดก๊าซมีเทนจะอยู่ในช่วงร้อยละ 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](http://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 นอกจากนั้นจะต้องขจัดสิ่งปนเปื้อนอื่นๆ เช่น เศษอิฐ เศษหิน ออกก่อน มิฉะนั้นประสิทธิภาพในการหมักจะลดลง (บุญมา และคณะ, 2550)



## 2.6 กาก

หลังจากวัสดุหมักถูกย่อยโดยแบคทีเรีย เมทาโนเจนในสภาพไร้อากาศภายในถังหมักก็จะเกิดก๊าซชีวภาพที่จุดติดไฟสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ กากที่เหลือทิ้งของแข็งและของเหลวยังเป็นผลพลอยได้ที่มีประโยชน์อีกอย่างหนึ่งที่ได้จากบ่อหมัก เป็นปุ๋ยหมักชีวภาพและน้ำหมักชีวภาพที่สามารถนำไปปรับปรุงบำรุงดินได้เป็นอย่างดี

กากที่เหลือจากถังหมักนี้อยู่ในหลายรูปแบบ กากที่เป็นของแข็งน้ำหนักเบา จะลอยเป็นฝ้าอยู่ด้านบนกากเหล่านี้มักจะเป็นส่วนประกอบของกากไย กากที่เป็นของเหลวและน้ำจะอยู่ที่ระดับกลางของบ่อหมัก ส่วนที่ชั้นเหนียวจะอยู่ด้านล่างซึ่งเป็นกากที่แท้จริง จะมีของแข็งบางส่วนที่มีน้ำหนักอยู่ที่ก้นบ่อหมักจะเป็นทรายและดิน

กากอาจจะมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน มีการแยกชั้นไม่มาก หากวัตถุดิบที่ป้อนเข้าไปมีสัดส่วนที่พอเหมาะระหว่างน้ำและมูลสัตว์ ซึ่งมีการผสมคลุกเคล้าวัตถุดิบกันก่อนที่จะป้อนเข้าถังหรือ บ่อหมักกากที่เหลือออกมาก็คจะเป็นเนื้อเดียวกัน (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 เศษผัก เศษเนื้อ เปลือกผลไม้ มาหมักโดยอาศัยขบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายขยะดังกล่าว ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมทั้งในด้านความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณ ออกซิเจน จนได้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วเป็นผงหรือก้อนเล็กๆสีน้ำตาลปนดำ ไม่มีกลิ่น มีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เมื่อขบวนการย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์จะได้ปุ๋ยหมักที่สามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินได้เป็นอย่างดี วิธีการหมักทำปุ๋ย สามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือวิธีการกองบนพื้นหรือในหลุม กับวิธีหมักขยะโดยใช้เครื่องจักรกล

3 การนำไปเลี้ยงสัตว์ คือ เป็นการนำขยะจำพวกเศษอาหารที่เหลือจากการรับประทานหรือประกอบอาหารไปเลี้ยงสัตว์ เช่น ไข่เลี้ยงสุกร เลี้ยงปลา

4 การนำของเสียมาปรับปรุงพื้นที่ (Land reclamation) การนำของเสียมาปรับปรุงพื้นที่ คือ การนำเอาของเสียทั่วไป เศษวัสดุจากการก่อสร้าง หรือทำลายอาคาร กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสีย แก้วและกากของเสียอื่นๆ 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 ทั้งนี้จากที่ทดลองการหมักก๊าซใช้ได้ระยะเวลา 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 ขนาดการหมักประมาณ 200 กิโลกรัม/วัน หลังจากการทดสอบเดินระบบผลิตก๊าซไบโอมีเทน พบว่าได้คุณภาพก๊าซมีเทน 97.27% ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2.74% และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2.43 ส่วนในล้านส่วน หรือ 0.000243% โดยปริมาตร และมีค่าความร้อน 35.16 MJ/m<sup>3</sup> มีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นก๊าซเติมรถยนต์ได้ต่อไป ในขณะที่คุณภาพของ Off gas ได้คุณภาพก๊าซมีเทน 58.33 % ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 41 % และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 27 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ต่อไป

**อนุรักษ , ธนวัฒน์ และสมจินตนา (2554)** กรณีศึกษา : การผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร

กำหนดให้ทำการศึกษาระบบหมักขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน 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- PO4 <sup>3-</sup> (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  $m^3 kg^{-1} COD_{removal}$  ที่ค่า HRT 4 วัน ก๊าซมีเทนที่ผลิต ได้มีค่าลดน้อยลงจนไม่มีก๊าซมีเทนเกิดขึ้นในวันสุดท้ายของการเดินระบบคือวันที่ 151ของการทดลอง โดย ค่า TCOD ที่เข้าสู่ระบบมีค่าที่แปรปรวนมีปริมาณช่วงของค่า TCOD เท่ากับ 45.14 - 94.47  $g L^{-1}$  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 formicicum*, *Methanosarcina mazei*, *Methanobrevibacter smithii*, *Methanospira sp.* และเมทาโนเจนที่ ไม่สามารถจำแนกได้ 4 สายพันธุ์ให้ชื่อว่า M2,M6,M7,M9 ความสามารถในการผลิต มีเทนของเมทาโน เจนแต่ละสายพันธุ์แตกต่างกันไปโดยขึ้นอยู่กับ สารประกอบคาร์บอนที่มีองค์ประกอบอย่างง่ายที่เชื้อ สามารถใช้เป็น สารอาหารเพื่อผลิตมีเทน เมื่อใช้สารประกอบคาร์บอนต่าง ๆ ได้แก่ ก๊าซไฮโดรเจนและ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อะซิเตท เมทานอล ฟอร์เมท ไดเมทิลลามีนเป็นสารอาหารของ พบว่าจาก อาหารในสภาวะที่มีก๊าซ ไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารอาหาร *M. smithii* ผลิตมีเทน ได้มากที่สุด 74% ส่วนในอาหารที่มีอะซิเตทเมทาโนเจนที่มี รูปร่างเป็นสายยาว หรือ M9 ที่ไม่สามารถ จำแนกได้ ผลิตมีเทนสูงที่สุดคือ 68% ส่วนในอาหารที่มีฟอร์เมทเป็นสารอาหาร *M. smithii* ผลิตมีเทน

ได้มากที่สุด 61% และเมทธานोजิน M7 ที่ไม่ สามารถจำแนกได้ผลิตมีเทนได้ 74% และ 69% จากเมทธานอลและ ไดเมทิลลามีนเป็นสารอาหารตามลำดับ

**ขมพูนุช (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) สุกท้ายประกอบด้วยมูลฝอย 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 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และเพิ่มอัตราการกำจัดซีโอดีได้ดีกว่าถังปฏิกริยาที่ไม่มีปุ๋ยหมักเลย และถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านล่างสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และเพิ่มอัตราการกำจัดซีโอดีได้ดีกว่าถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านบนแต่ เมื่อปุ๋ยหมักไว้ทั้งด้านล่างและด้านบนจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพไม่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับการวางปุ๋ยหมักไว้เฉพาะด้านล่าง

**ประมวล (2547)** การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิตขนมจีนโดยวิธีการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนในระดับห้องปฏิบัติการระบบประกอบด้วยถังหมักกรด มีปริมาตร

การหมัก 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 มีก๊าซมีเทนปนออกประกอบเท่ากับ 64.91 เปอร์เซ็นต์สวณที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 วัน อัตราการป้อนสารอินทรีย์ 4.45 กรัมซีโอดีต่อลิตร.วัน มีประสิทธิภาพการกำจัดคาสีโอดีสูงสุดเท่ากับ 88.68 เปอร์เซ็นต์ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้น 15.87 ลิตรต่อวัน และมีก๊าซชีวภาพเกิดสูงสุดถึง 21.05 ลิตรต่อวัน มีก๊าซมีเทนปนออกประกอบเท่ากับ 67.78 เปอร์เซ็นต์

**มันัญญา และวรรณนิภา (2551)** การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลของสบูดำ ในสวนของใบ ลำต้น และกากเมล็ด โดยการหมักในถังแบบกะและแบบกึ่งกะที่สภาวะไร้อากาศ สำหรับการหมักแบบกะและแบบกึ่งกะได้ทำการศึกษาผลของปริมาณของแข็ง ชนิดของวัตถุดิบ และอัตราสวนการผสมกันของวัตถุดิบที่มีการผสมวัตถุดิบแบบสองและสามชนิด

จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งที่ร้อยละ 5 ของกากเมล็ดให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุด เท่ากับ 27 มิลลิลิตรต่อกรัมวัตถุดิบแห้ง สำหรับการหมักแบบผสมวัตถุดิบสองชนิดอัตราสวนของกากเมล็ดและลำต้นที่ 1:3 สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุด เท่ากับ 23 มิลลิลิตรต่อกรัมวัตถุดิบแห้ง ก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มากที่สุดสำหรับการผสมวัตถุดิบสามชนิด ในอัตราสวนของใบ : ลำต้น : กากเมล็ด ที่ 1:3:3 ได้ปริมาณก๊าซชีวภาพ 24 มิลลิลิตรต่อกรัมวัตถุดิบแห้ง การผสมกากเมล็ดและลำต้นที่อัตราสวน 1:3 ใช้สำหรับการหมักแบบกึ่งกะโดยใช้อัตราการป้อนสารอินทรีย์เท่ากับ 3 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรน้ำต่อวัน ให้ปริมาณก๊าซชีวภาพมากที่สุดประมาณ 26 มิลลิลิตรต่อกรัม วัตถุดิบแห้ง

**นวรรตน์ (2539)** การลดปริมาณมูลฝอยชุมชน ด้วยการใช้อุจลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) ในความเข้มข้น 250 มล, 5มล, 1มล, และ 0.5 มล. ต่อมูลฝอย 10 กก. เปรียบเทียบกับที่ไม่ใส่จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) โดยใช้มูลฝอยชุมชนประเภทเศษผัก ผลไม้จากตลาดสดในเขตเทศบาลนครขอนแก่น การศึกษาวิจัย

นี้เป็นเชิงทดลอง 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 แต่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับกรรมวิธีทดลองที่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) 0.5 มล. และกรรมวิธีทดลองที่ไม่ใช้จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM) โดยมีปริมาณน้ำเกิดขึ้นจาก 2.082 และ 1.883 กก. เป็น 5.254 และ 5.070 กก. ตามลำดับ อุณหภูมิโดยเฉลี่ยของมูลฝอยในถังทดลองจากทุกกรรมวิธีทดลองในสัปดาห์แรกของการทดลอง จะสูงกว่าในบรรยากาศประมาณ  $1-2^{\circ}\text{C}$  และลดลงตามลำดับ เมื่อเริ่มเข้าสู่สัปดาห์ที่ 2 ของการทดลอง จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง ในขณะที่ความเป็นกรด-ด่าง (PH) ในถังทดลอง จะเพิ่มจาก 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 และซิลเฟอร์ลดลงจากร้อยละ 2.45 เหลือร้อยละ 0.73 ในขณะที่ไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 2.53 เป็นร้อยละ 3.18

**พิมพาพร, ราไฟ และทับทิม (2538)** การศึกษาคุณภาพยดอ้อยหมักยูเรีย จากการนำยดอ้อยแห้งที่เหลือทิ้งในไร่ของเกษตรกรมาหมัก โดยใช้ยูเรียในอัตรา 6 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักยดอ้อย ใช้สัดส่วนของน้ำ : ยดอ้อย 3 อัตรา คือ 1 : 1 , 1.5 : 1 และ 2 : 1 ใช้ระยะเวลาในการหมัก 3 ระยะ คือ 3 , 4 และ 5 สัปดาห์ โดยทำการหมักในบ่อซีเมนต์ จากผลการทดลองพบว่า

ยอตอ้อยหมักมีการเปลี่ยนแปลง คือ ทำให้ยอตอ้อยมีลักษณะนุ่มขึ้น มีกลิ่นฉุนของแอมโมเนีย มีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเชื้อยีสเล็กน้อย และการหมักยอตอ้อยโดยใช้น้ำ : ยอตอ้อย ในอัตรา 1 : 1 และหมัก 3 สัปดาห์ จะทำให้ได้ยอตอ้อยหมักมีคุณภาพที่ดีที่สุด และการเพิ่มสัดส่วนของน้ำทำให้ยอตอ้อยมีความชื้นสูงขึ้นและเกิดเชื้อรา

**วันดี (2551)** การผลิตแกสมีเทนจากกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวาน โดยใช้เอนไซม์ทางการค้า ซุปเปอร์ออกไซด์โดยใช้กระบวนการหมักแบบกะ (Batch fermentation) ที่มีการควบคุมสภาวะการหมักแบบไร้อากาศ (Anaerobic condition) ต่อเนื่องเป็นเวลา 3-4 วัน ด้วยเอนไซม์ทางการค้า ซุปเปอร์ออกไซด์ในฟลาสขนาด 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  $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ) สภาวะการหมักแบบนิ่งที่อุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$  สภาวะการหมักแบบเขย่าด้วยความเร็วรอบ 150 rpm ที่อุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$  และสภาวะที่มีการเตรียมเอนไซม์ทิ้งไว้ 4 วันก่อนการหมักแบบนิ่งที่อุณหภูมิห้อง

จากผลการทดลองพบว่าทุกชุดการทดลองไม่มีการผลิตแกสมีเทนเกิดขึ้นผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่ที่ได้เป็นแกสชีวภาพชนิดแกสคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) และพบแกสไฮโดรเจน ( $\text{H}_2$ ) ในปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่พบว่าเอนไซม์นี้มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวานได้ดีในทุกชุดการทดลอง โดยจากการทดลองหาปริมาณของแข็งทั้งหมดพบว่าเมื่อใช้ปริมาณเอนไซม์ 5 กรัม ในการหมักกับกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวาน 50 กรัม นั้น เอนไซม์จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดีที่สุด โดยมีปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลง 140 มิลลิกรัมต่อลิตรดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเอนไซม์นี้มีประสิทธิภาพในการย่อยกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวานได้เป็นอย่างดีแต่ไม่สามารถผลิตแกสมีเทนได้เนื่องจากจุลินทรีย์ผสมทั้งหมด 18 สายพันธุ์ที่ใช้ในการสังเคราะห์เอนไซม์นั้นเป็นกลุ่มเชื้อรา

**แพรวพิลาศ (2551)** การผลิตแกสไฮโดรเจนจากกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่างหวานโดยใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์ ผ่านกระบวนการหมักที่มีการควบคุมสภาวะไร้อากาศเป็นเวลา 3 - 4 วัน ในฟลาสในฟลาสขนาด 500 มิลลิลิตรในสภาวะเขย่าโดยใช้ปริมาตรน้ำหมักรวม (Working volume) 350 มิลลิลิตร ที่ความเร็วรอบ 150 รอบ/นาทีที่อุณหภูมิ  $37^{\circ}\text{C}$  องศาเซลเซียส โดยมีการแปรผันค่าความเป็นกรด - ด่าง (pH 5.0, 5.5 และ 6.0) และชนิดของอาหารเลี้ยงเชื้อโดยในชุดที่ 1 จะมี 3 ฟลาสซึ่งใช้



Reinforced Clostridial Medium เป็นอาหารและในชุดที่ 2 จะมี 3 ฟลากลซึ่งใช้น้ำกลั่น ที่มีการเติมแหล่งไนโตรเจน (Urea) และฟอสฟอรัส (KH<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) ลงไป (สำหรับชุดควบคุมจะใช้น้ำกลั่นที่ไม่เติมแหล่งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส)

จากการทดลองพบว่า ทุกชุดการทดลองมีการผลิตแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นทั้งชุดที่ใช้อาหารและน้ำกลั่น อย่างไรก็ตาม ในชุดการทดลองที่ใช้น้ำกลั่นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 จะมีแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นสูงที่สุดที่ 6%v/v ในชั่วโมงที่ 30 หลังจากนั้นการผลิตแก๊สไฮโดรเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วทุกชุดการทดลอง

ทั้งนี้อาจเกิดจากค่าความเป็นกรด-ด่างที่ค่อยๆ ลดลงระหว่างกระบวนการหมักมีผลไปยังการผลิตแก๊สไฮโดรเจนของ *C. butyricum* นอกจากนี้ยังพบว่า ปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นก็เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน ซึ่งค่าความเข้มข้นของน้ำตาลเริ่มต้นยิ่งสูงขึ้น โอกาสที่จะเกิดแก๊สไฮโดรเจนก็จะลดน้อยลง พิจารณาจากผลการทดลองในชุดที่ใช้น้ำกลั่นที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 5.5 พบว่ามีปริมาณน้ำตาลเริ่มต้นเท่ากับ 20.08 กรัมต่อลิตร ในขณะที่ในชุดอื่นมีค่าสูง (เฉลี่ย 25.78 กรัมต่อลิตร) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณน้ำตาลเริ่มต้น มีอิทธิพลที่สำคัญต่อการผลิตแก๊สไฮโดรเจน โดยการใช้อุณหภูมิที่รบกวนกระบวนการหมักแบบกะ

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

จากผลการทดลองพบว่า มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นจาก 1,065.70 เปน 1,355.80 และ 1,518.28 ลิตรต่อวัน หรือเท่ากับ 1.21, 1.54 และ 1.72 ลิตรต่อลิตร-วัน ตามลำดับ โดยมีก๊าซมีเทนเปนนองคประกอบ 49.29 - 46.33 เปอร์เซ็นต์สำหรับประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีมีค่าสูงถึง 95-97 เปอร์เซ็นต์และประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 89-90 เปอร์เซ็นต์เมื่อเพิ่มค่าของแข็งทั้งหมดในสารละลายเศษอาหารเปน 5 และ 7 เปอร์เซ็นต์แต่ที่ค่าของแข็งทั้งหมดในสารละลายเศษอาหาร

เท่ากับ 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)** การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับไบogasพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม นี้เป็นการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับไบogasพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม ในอัตราส่วน 15 : 1 กิโลกรัม เติมวัสดุหลังจากหมักไปแล้ว 3 วัน ในถังหมักขนาด 150 L ภายใต้อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับไบogasพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์มผลการศึกษา ปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุกรร่วมกับไบogasพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม พบว่าปริมาณก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักมูลสุกรร่วมกับไบogasพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม เท่ากับ 73.12 L และ 91.68 L ตามลำดับจะเห็นว่า ก๊าซชีวภาพสะสมจากการหมักมูลสุกรร่วมกับทางปาล์ม มากกว่าการหมักมูลสุกรร่วมกับไบogasพารา

**วรรณกร , อัจฉริยา และสุธิวัตร (2553)** ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง เป็นการศึกษาเปรียบเทียบศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง ปริมาณความเข้มข้นของของแข็งที่ระดับ 5% โดยใช้การหมักแบบเปียกหรือการเติมวัสดุหมักครั้งเดียวในขวดหมักแบบไร้อากาศขนาด 1 L ปริมาตรใช้งานจริง 0.5 L ระยะเวลาหมัก 10 วัน การหมักแบบแห้งระยะเวลาหมัก 9 วัน และการหมักแบบต่อเนื่องระยะเวลาหมัก 7 วัน จากการศึกษาพบว่า การทดลองหมักแบบเปียกมีประสิทธิภาพการกำจัด VS ที่ความเข้มข้นของของแข็งทั้งหมด TS 5% จากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง มีค่าเท่ากับ 60.27 % และ 68.28 % ตามลำดับ ก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 1,439 mL และ 1,170 mL ตามลำดับ ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ 57.56 mL/g และ 46.8 mL/g ตามลำดับ

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงาน

รูปแบบการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง เพื่อพิสูจน์หาปริมาณ และคุณภาพก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหาร โดยใช้มูลสุกร และมูลนกพิราบเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา 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

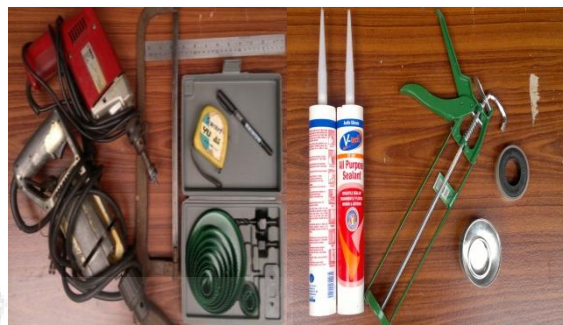
### 3.3 วัสดุอุปกรณ์

#### อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการวิจัยครั้งนี้มีดังนี้

3.2.1 ท่อ PVC 3 นิ้ว	1 ท่อน	(ภาพที่ 3.2)
ท่อ PVC 2 นิ้ว	1 ท่อน	(ภาพที่ 3.2)
3.2.2 วาล์ว 2 นิ้ว 6 หุน	2 อัน	(ภาพที่ 3.2)
3.2.3 ข้องอ 90° 6 หุน	2 อัน	(ภาพที่ 3.2)
3.2.4 เกสียวนอก 2 นิ้ว	5 อัน	(ภาพที่ 3.2)
3.2.5 ถังขนาด 120 ลิตร	3 ถัง	(ภาพที่ 3.4)
ถังขนาด 200 ลิตร	2 ถัง	(ภาพที่ 3.4)
3.2.6 เหล็ก 4 หุน	2 อัน	(ภาพที่ 3.2)
3.2.7 วาล์วกันแก๊สย้อนกลับ	2 อัน	(ภาพที่ 3.2)
3.2.8 สายแก๊ส	4 หุน	(ภาพที่ 3.2)
3.2.9 ทางปลาไหล 6 หุน	5 อัน	(ภาพที่ 3.2)
3.2.10 สายแก๊ส	2 เส้น	(ภาพที่ 3.2)
3.2.11 สายน้ำ 6 หุน	1 เส้น	(ภาพที่ 3.2)
3.2.12 มูลสุกร	100 กิโลกรัม	(ภาพที่ 3.8)
3.2.13 มูลนกพิราบ	100 กิโลกรัม	(ภาพที่ 3.9)
3.2.14 เศษขยะอาหาร		(ภาพที่ 3.26)
3.2.15 กระดาษลิทมัส		(ภาพที่ 3.6)
3.2.16 พรอทวดอุณหภูมิ		(ภาพที่ 3.7)
3.2.17 เครื่องวัดก๊าซรุ่น IBRID MX 6		(ภาพที่ 3.5)
3.2.18 สว่านเจาะไฟฟ้า		(ภาพที่ 3.3)
3.2.19 เลื่อยตัดเหล็ก		(ภาพที่ 3.3)
3.2.20 ตลับเมตร		(ภาพที่ 3.3)
3.2.21 จิกขอเจาะรู		(ภาพที่ 3.3)
3.2.22 ดอกสว่าน		(ภาพที่ 3.3)
3.2.23 กาวซิลิโคน		(ภาพที่ 3.3)
3.2.24 ไขควง		(ภาพที่ 3.3)
3.2.25 ตะไบ		(ภาพที่ 3.3)



ภาพที่ 3.2 วัสดุสำหรับประกอบตัวถัง



ภาพที่ 3.3 อุปกรณ์ทางช่าง



ภาพที่ 3.4 ถังขนาด 120 และ 200 ลิตรตามลำดับ



ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดค่าอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.6 กระดาษวัดค่า pH



ภาพที่ 3.7 ปกรทวัดค่าอุณหภูมิ



ภาพที่ 3.8 มูลสุกร



ภาพที่ 3.9 มูลนกพิราบ

### 3.4 ขั้นตอนการเตรียมการ

#### 3.4.1 วิธีการเตรียมท่อข้อต่อ

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



ภาพที่ 3.10 ถังขนาด 120 ลิตร



ภาพที่ 3.11 ถังขนาด 200 ลิตร

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

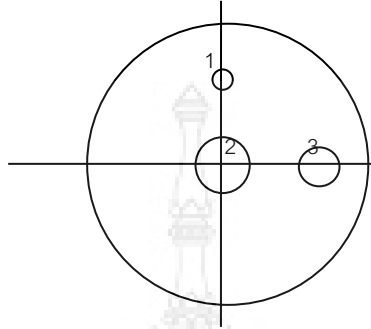
3. เตรียมข้อยึด คือการนำท่อที่มีขนาดความกว้างเท่ากับท่อที่ใช้งานมาทำการลนไฟให้ปลายท่อบานออกแล้วผ่าออกเป็นแฉก เพื่อใช้สำหรับเจาะรูยึดนี้่อด



ภาพที่ 3.12 แสดงลักษณะข้อยึดท่อข้อต่อ

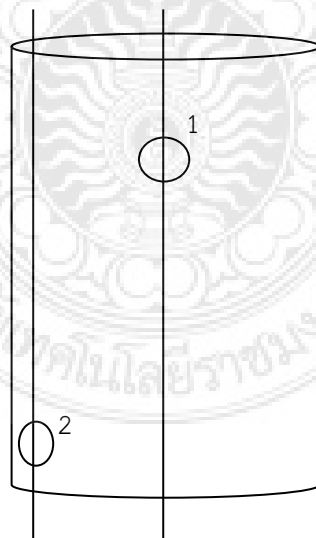
### 3.4.2 วิธีการประกอบถังหมักก๊าซ

1. ทำการเจาะรูบริเวณฝาด้านบนของถังขนาด 200 ลิตร 3 รูได้แก่ รูขนาด 6 นิ้ว<sup>1</sup> 2 นิ้ว<sup>2</sup> 3 นิ้ว<sup>3</sup> ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.10



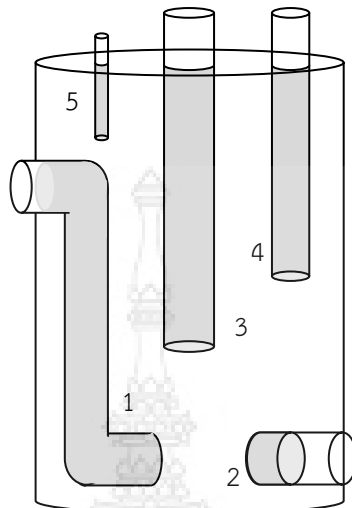
ภาพที่ 3.13 แสดงตำแหน่งรูที่ทำการเจาะบริเวณด้านบนฝาถัง

2. เจาะถังด้านข้างถัง ขนาด 2 นิ้ว<sup>1</sup> สูงจากก้นถังอย่างน้อย 65 เซนติเมตร 1 รู และ ขนาด 2 นิ้ว<sup>2</sup> ด้านล่างถังสูงจากก้นถังอย่างน้อย 5 – 10 เซนติเมตร 1 รู ไม่ควรเจาะรูทั้ง 2 ในแนวเดียวกันเนื่องจากเมื่อทำการประกอบท่อแล้ว ท่อจะยาวลงจนเกือบสุดพื้นด้านล่างของถังจะชนกับท่อ ทิ้งาก ทำให้ไม่สามารถประกอบท่อทิ้งากได้ ท่อทั้ง 2 ควรห่างกันอย่างน้อย 40 เซนติเมตรในระนาบเดียวกัน หรือ ทำมุม 45° หรือ 60° จากท่อใดท่อหนึ่ง



ภาพที่ 3.14 แสดงตำแหน่งรูที่ทำการเจาะบริเวณด้านข้างของถัง

3. ทำการนำเอาท่อ PVC ขนาดต่างๆที่ได้เตรียมมาประกอบเข้ากับตัวถังในตำแหน่งต่างๆ ได้แก่ ท่อน้ำล้น<sup>1</sup> ท่อทิ้งกาก<sup>2</sup> ท่อกววน<sup>3</sup> ท่อใส่อาหาร<sup>4</sup> และ ท่อต่อสายก๊าซ<sup>5</sup>



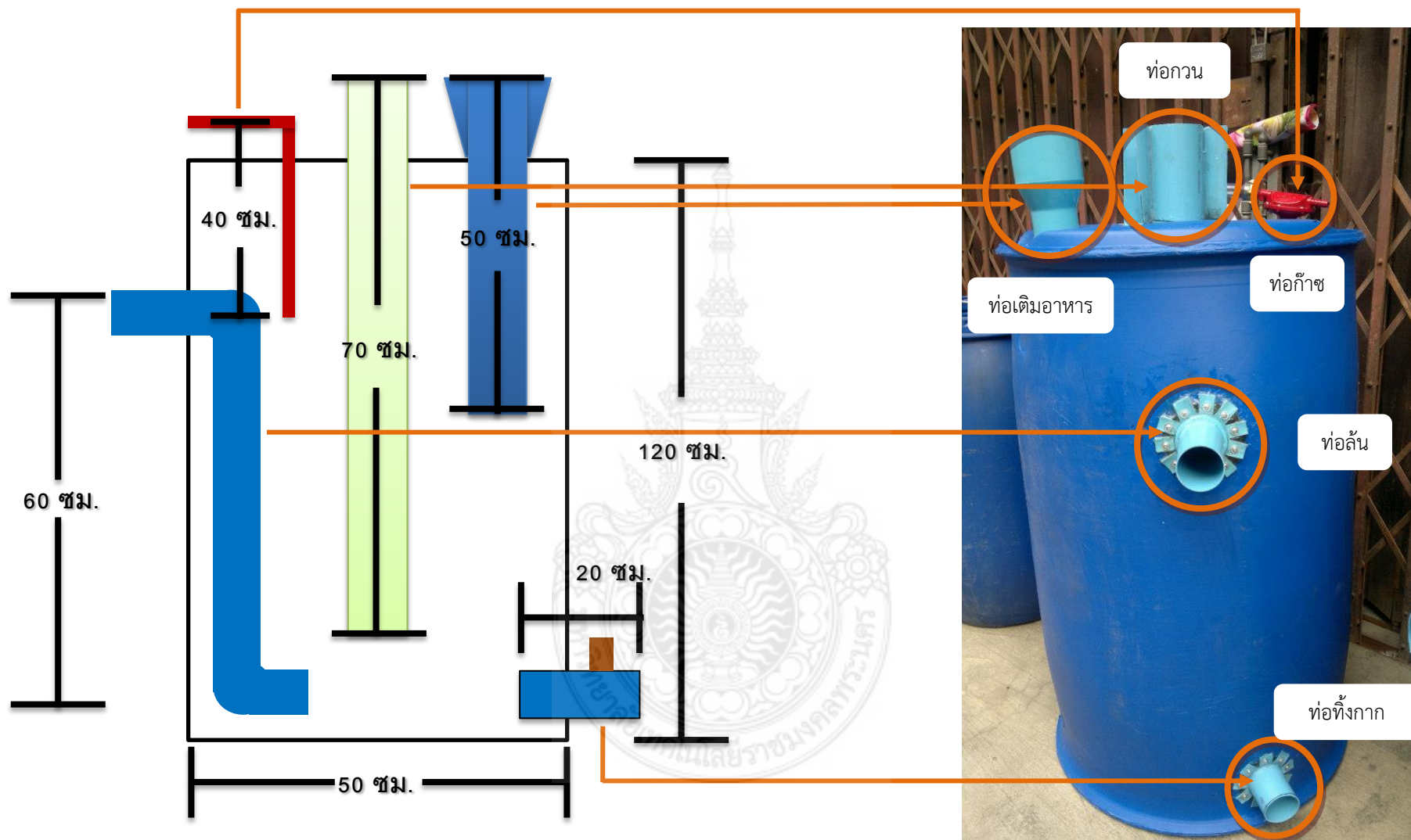
ภาพที่ 3.15 แสดงตำแหน่งการประกอบท่อต่างๆ

4. ใส่ข้อยึดในทุกๆ ประกอบเข้ากับยางในรถยนต์เพื่อความแน่นของท่อ แล้วทำชั้นน็อตยึดส่วนที่ทำการประกอบเพื่อความแน่นหนา ในส่วนประกอบต่างๆ

5. เมื่อทำการประกอบเสร็จในแต่ละส่วนให้ทำการยิงกาวซิลิโคน เพื่อปิดรูอากาศที่อยู่บริเวณขอบท่อและทิ้งระยะเวลารอให้กาวแห้งประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง

ทั้งนี้การประกอบถังหมักนั้นมีความสำคัญมากที่สุดในทุกๆ ขั้นตอนการเตรียมการ เนื่องจากใช้สำหรับเป็นภาชนะสำหรับการเลี้ยงเชื้อ และทำการหมักก๊าซ อีกทั้งต้องคอยตรวจเช็คระดับรอยรั่วในส่วนประกอบต่างๆ อีกด้วย เพราะเชื้อแบคทีเรียกลุ่มไมโครออกซิเจนนี้มีความไวต่อปริมาณของออกซิเจนอย่างมาก ซึ่งหากรั่วไหลเข้าสู่ระบบในปริมาณมากอาจทำให้เชื้อทำงานช้าลงหรืออาจตายได้ ซึ่งจะส่งผลให้ระบบล้มเหลว

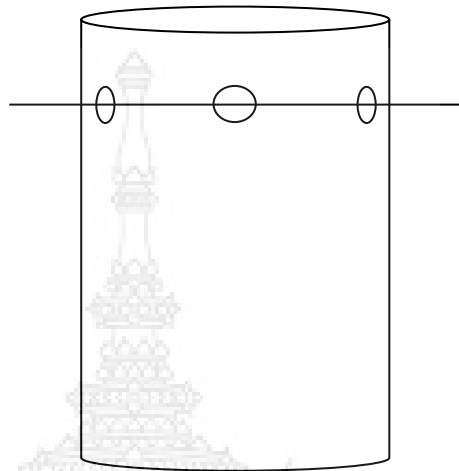




ภาพที่ 3.16 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของถังหมัก

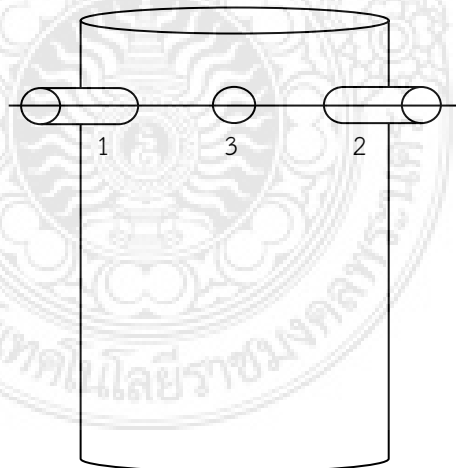
### 3.3.3 วิธีการประกอบถังเก็บก๊าซ

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



ภาพที่ 3.17 แสดงถึงที่เจาะรูสำหรับต่อวาล์ว และ เกทวัดความดัน

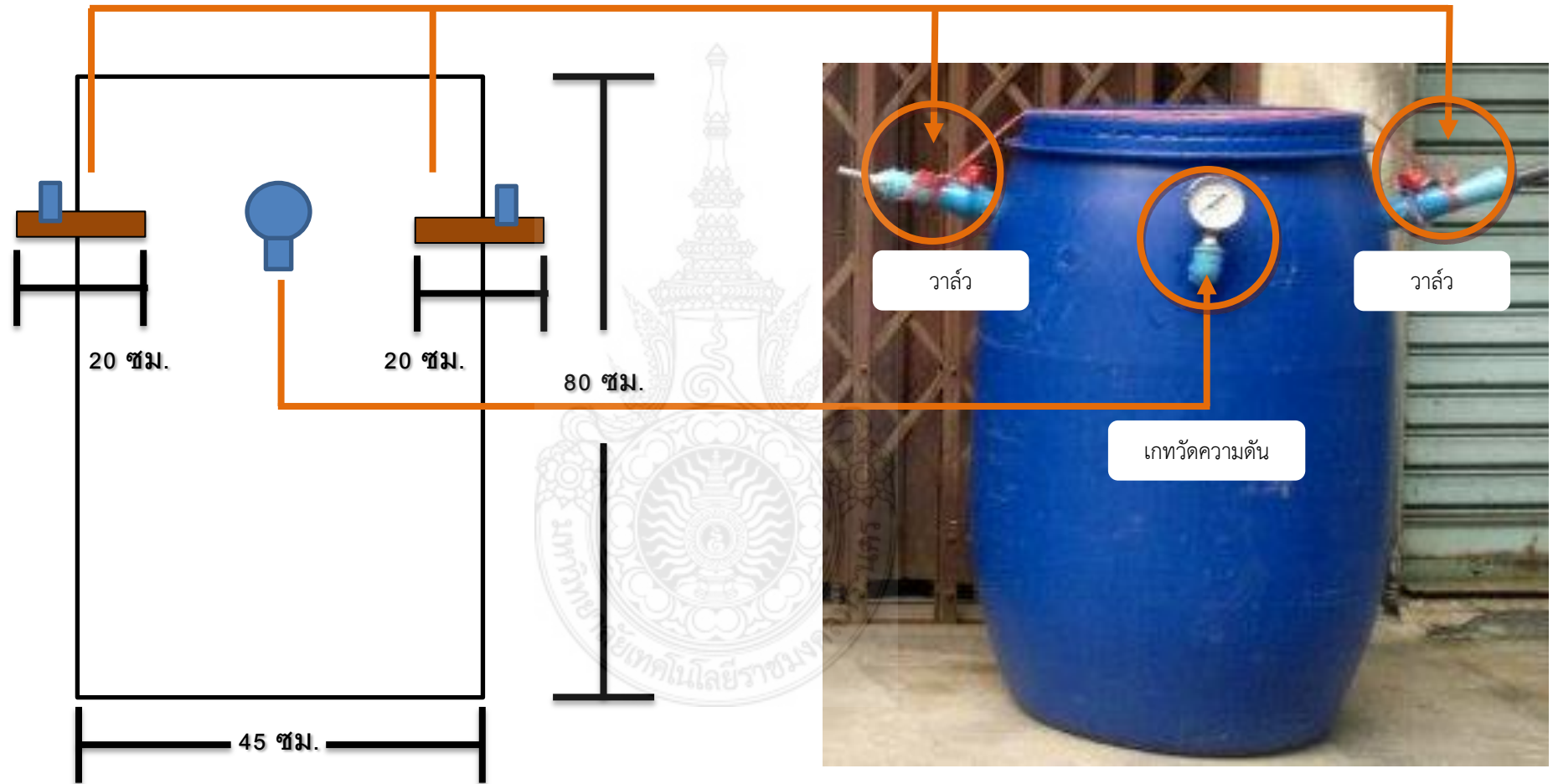
2. นำท่อ PVC ที่ได้เตรียมไว้แล้วมาประกอบ ได้แก่ วาล์วก๊าซ<sup>1,2</sup> และ เกทวัดความดัน<sup>3</sup>



ภาพที่ 3.18 แสดงตำแหน่งการประกอบ วาล์ว และ เกทวัดความดัน

3. เมื่อทำการประกอบเสร็จในแต่ละส่วนให้ทำการยิงกาวซิลิโคน เพื่อปิดรูอากาศที่อยู่บริเวณขอบท่อและทิ้งระยะเวลารอให้กาวแห้งประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง

ซึ่งเมื่อทำการประกอบระบบถังหมัก และถังเก็บก๊าซเข้าด้วยกันจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.23



ภาพที่ 3.19 แสดงองค์ประกอบต่างๆ ของถังเก็บก๊าซ



ภาพที่ 3.20 แสดงส่วนประกอบต่างๆ ของระบบหมักก๊าซชีวภาพ

### 3.5 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษาวิจัย

#### 3.5.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. นำมูลสุกร และมูลนกมาผสมน้ำอัตราส่วน 1 : 3 แล้วใส่ลงในถังหมักทิ้งไว้ 7 - 15 วัน เพื่อรอการเพิ่มปริมาณของจุลินทรีย์ที่เพียงพอจะสามารถย่อยสลายอาหารที่เติมได้ ดังภาพที่ 3.24

2. เมื่อหมักมูลนก และมูลสุกรครบกำหนด ทำการเติมเศษขยะอาหารในถังหมักการครั้งแรกลงไปปริมาณ 30 กิโลกรัม และเติมครั้งต่อไปในปริมาณ 15 – 20 กิโลกรัมต่อสัปดาห์

3. ทำการตรวจวัดปริมาณ และพารามิเตอร์ต่างๆ ในช่วงเวลา 12.00น. – 13.00น. ของทุกๆวัน



ภาพที่ 3.21 แสดงการผสมมูลสัตว์



ภาพที่ 3.22 แสดงการตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ



ภาพที่ 3.23 แสดงเศษขยะอาหาร



ภาพที่ 3.24 จอแสดงผลขณะทำการตรวจวัด





ภาพที่ 3.25 แสดงการคัดแยกเศษขยะพลาสติก และของแข็งที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ก่อนทำการเติม

### 3.5.2 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

#### 3.5.2.1 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลคุณสมบัติต่างๆ ของก๊าซชีวภาพ

1. การวัดค่า ก๊าซมีเทน โดยใช้เครื่องวัดก๊าซรุ่น IBRID MX6 ค่าที่วัดได้จากเครื่องจะได้ก๊าซมา 5 ชนิด คือ PID, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, Co, %LEL (เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน) วัดโดยการใส่สายท่อที่ต่อกับเครื่องวัดก๊าซเข้าไปในถังเก็บก๊าซหลังจากนั้น เครื่องจะดูดก๊าซเข้าเครื่องแล้วจะแสดงค่าของก๊าซที่มีภายในถังเก็บ ดังภาพที่ 3.25
2. การวัดค่า pH จะใช้กระดาษลิตมัสในการวัดค่า pH โดยเอากระดาษลิตมัสไปแตะกับน้ำในถังหมักแล้วนำมาเทียบสีของกระดาษลิตมัสกับสีที่ข้างกล่องเพื่อหาค่า pH ในถังหมัก ดังภาพที่ 3.29
3. การวัดอุณหภูมิ โดยใช้ปรอทวัด โดยใช้ปรอทจุ่มลงไปในถังหมัก 5 นาที แล้วจึงนำขึ้นมาดูค่าอุณหภูมิภายในถังหมัก ดังภาพที่ 3.30



ภาพที่ 3.26 แสดงกระดาษวัดค่า pH



ภาพที่ 3.27 แสดงการวัดอุณหภูมิด้วยปรอท

### 3.5.2.2 ขั้นตอนการตรวจวัดปริมาณก๊าซจากการหมัก

1. เตรียมน้ำปริมาณ 1 ลิตร สำหรับการต้มทำการวัดอุณหภูมิก่อน และ  
หลังการทดลอง เพื่อเปรียบเทียบผล
2. ทำการปั๊มก๊าซจากถังหมักเข้าสู่ถังเก็บก๊าซ ด้วยเครื่องคอมเพลสเซอร์
2. ต่อสายแก๊สจากถังเก็บก๊าซเข้ากับเตาแก๊สเพื่อทำการจุดไฟ
3. นำภาชนะสำหรับต้มหุ้มด้วยฟอยให้มิดชิดเพื่อเก็บกักความร้อนขณะ  
ทำการทดลอง
4. นำเอาถังปั๊มมาครอบหม้อต้มน้ำ เพื่อรักษาเปลวไฟ และอุณหภูมิไว้
5. ทำการวัดระยะเวลาการติดไฟ และอุณหภูมิด้วยปรอทวัดอุณหภูมิทุกๆ  
10 วินาที เป็นเวลา 30 นาที
6. จดบันทึกผลการทดลอง
7. ทำการสรุปผล



ภาพที่ 3.28 อุปกรณ์ตวงน้ำ      ภาพที่ 3.29 เติมน้ำปริมาณ 1 ลิตร ลงในหม้อที่เตรียมไว้



ภาพที่ 3.30 ทำการห่อหม้อด้วยฟอยเพื่อเก็บความร้อน



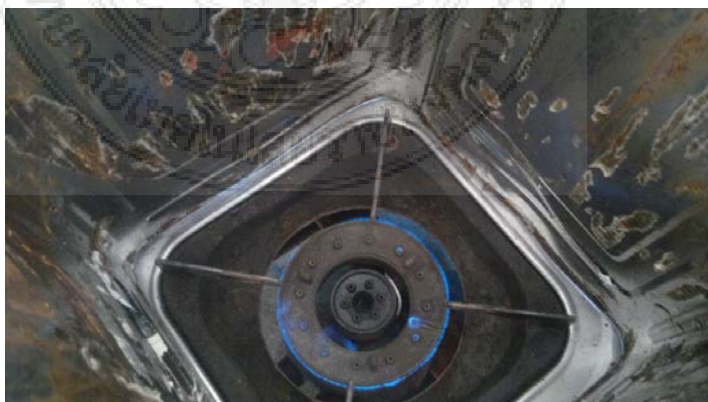
ภาพที่ 3.31 แสดงการวัดอุณหภูมิก่อนทดลอง



ภาพที่ 3.32 แสดงการวัดอุณหภูมิขณะทดลอง



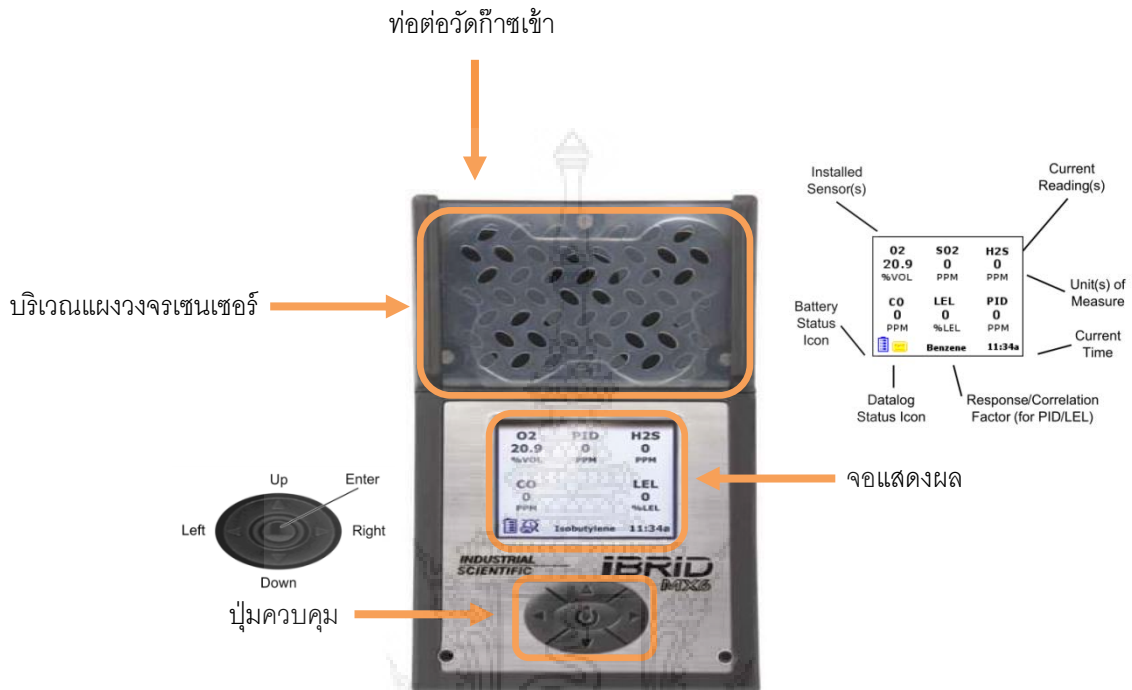
ภาพที่ 3.33 การทำการทดลองจุดไฟเพื่อเก็บข้อมูล



ภาพที่ 3.34 แสดงเปลวไฟที่เกิดขึ้นเมื่อทำการติดไฟ



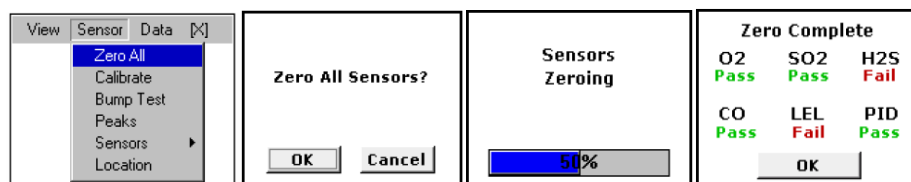
### 3.5.2.3 การใช้งานเครื่องตรวจวัดก๊าซ Multi Gas Monitor IBRID MX6



ภาพที่ 3.35 Multi Gas Monitor IBRID MX6

#### ขั้นตอนการใช้งานเบื้องต้น

1. ก่อนทำการวัดค่าทุกครั้งควรทำการรีเซ็ตค่าต่างๆ ในเครื่องก่อนทำการวัดค่าเนื่องจาก ประวัติการตรวจเก่าจะขึ้นมาแทน ทำให้ค่าจากการตรวจวัดคลาดเคลื่อนได้ เราสามารถทำการรีเซ็ตค่าโดยเข้าเมนู Sensor > Zero All > OK จากนั้นรอซ็กรูให้เครื่องทำการเคลียข้อมูลเก่าออกไป จะปรากฏหน้าแสดงผลการเคลียค่าต่างๆ ดังภาพที่ 3.25 จนทุกค่าปรากฏคำว่า Pass จึงสามารถนำมาใช้งานได้ หากยังมีค่าใดปรากฏคำว่า Fail ให้ทำการ Zero All อีกครั้งจนกว่าจะผ่านทั้งหมด

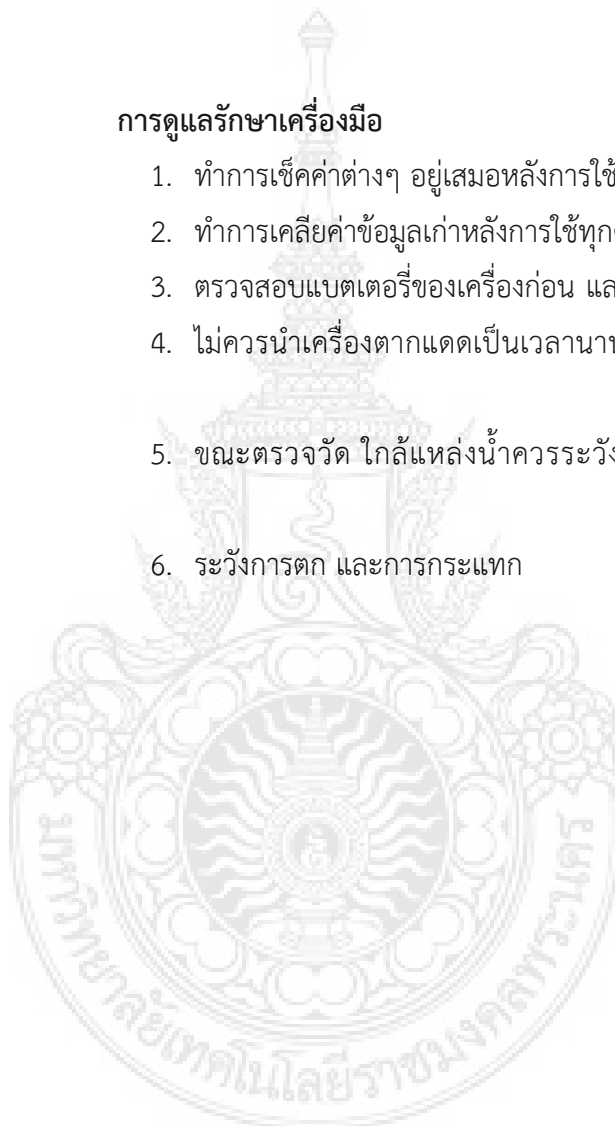


ภาพที่ 3.36 แสดงหน้าต่างเมนูของเครื่องตรวจวัดก๊าซ

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

#### การดูแลรักษาเครื่องมือ

1. ทำการเช็ดค่าต่างๆ อยู่เสมอหลังการใช้งาน
2. ทำการเคลียค่าข้อมูลเก่าหลังการใช้ทุกครั้ง
3. ตรวจสอบแบตเตอรี่ของเครื่องก่อน และหลังใช้งาน
4. ไม่ควรนำเครื่องตากแดดเป็นเวลานานเพราะอาจทำให้แผงวงจรเสื่อมสภาพได้
5. ขณะตรวจวัด ใกล้เคียงแหล่งน้ำควรระวังปลายสายไม่ให้ใกล้ผิวหนังจนเกินไป
6. ระวังการตก และการกระแทก



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 หัวข้อ ได้แก่ ผลการตรวจวัดปริมาณก๊าซที่เกิดจากการหมักโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างมูลสุกร และมูลนกพิราบ และ ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักเศษขยะอาหารโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างมูลสุกร และมูลนกพิราบ โดยรายละเอียดของงานวิจัยมีดังต่อไปนี้

- 4.1 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง
- 4.2 ผลการตรวจคุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจากการหมักโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างมูลสุกร และมูลนกพิราบ
- 4.3 ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างมูลสุกร และมูลนกพิราบ
- 4.4 ผลพลอยได้จากงานวิจัย
- 4.5 อภิปรายผล

#### 4.1 สภาวะแวดล้อมในการทดลอง

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการวิจัยแบบทดลอง (Experimental Research) โดยอาศัยสภาพแวดล้อมในท้องถิ่นคือ พื้นที่เก็บวัสดุของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ในการทำการทดลองวิจัย โดยแบ่งชุดทดลองออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ ชุดที่ใช้มูลนกพิราบ และชุดที่ใช้มูลสุกรในการทำการทดลอง เพื่อนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบ โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการชี้วัดของการทดลองในครั้งนี้ ดังตารางที่ 4.1 โดยใช้เครื่อง Multi Gas Monitor IBRID MX 6 พรอท และกระดาษลิทมัส ในการวัดผล

ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการศึกษา

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

จากตารางที่ 4.1 1. พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการศึกษา ออกซิเจน (O<sub>2</sub>) มีหน่วยเป็น VOL% ใช้สัญลักษณ์ O<sub>2</sub> ใช้พิสัยการตรวจวัดระหว่าง 0 – 30 VOL%

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

3. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) มีหน่วยเป็น ppm ใช้สัญลักษณ์ H<sub>2</sub>S ใช้พิสัยการตรวจวัดระหว่าง 0 – 500 ppm

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

5. มีเทน (CH<sub>4</sub>) 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 ผลการตรวจคุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจากการหมักโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างมุลสุกร และมูลนกพิราบ

จากการศึกษาการทดลองโดยการตรวจวัดคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักตลอดระยะเวลา 30 วัน ในช่วงเวลา 12.00น. – 13.00น. ของทุกๆ วันด้วยเครื่องวัดผล Multi Gas Monitor IBRID MX6 ซึ่งก๊าซชีวภาพที่ตรวจพบประกอบด้วย ออกซิเจน<sup>1</sup> คาร์บอนมอนอกไซด์<sup>2</sup> สารอินทรีย์ระเหยง่าย<sup>3</sup> ไฮโดรเจนซัลไฟด์<sup>4</sup> มีเทน<sup>5</sup> (ค่าการตรวจวัดคุณสมบัติของเครื่องดังตารางแสดงที่ 4.1 ) วัดค่ากรด – ด่าง (pH)<sup>6</sup> จากกระดาษลิตมัส และ วัดอุณหภูมิ<sup>7</sup> ด้วยปรอทวัดอุณหภูมิซึ่งแสดงผลดังตารางแสดงผลที่ 4.2 และ 4.3 ทำให้เราทราบว่า ก๊าซมีเทนจากถังหมักมุลสุกรนั้นมีค่ามากกว่า มูลนกพิราบอย่างเห็นได้ชัด และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออาหารที่ใช้เติมหมดไป แต่มูลนกพิราบนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างช้าๆ แม้ว่าอาหารจะถูกย่อยจนหมดไปแล้วก็ตามแต่ค่ามีเทนในถังไม่ได้ลดลงอย่างมุลสุกรแต่อย่างใด อีกทั้งปริมาณค่า ไฮโดรเจนซัลไฟด์ของมูลนกพิราบนั้นมีค่าต่ำกว่ามุลสุกรอย่างมาก ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานการวิจัยที่ได้ตั้งไว้

### หมายเหตุ.

1. ออกซิเจน ควรมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องในการหมักเนื่องจากในระยะแรกยังคงมีแบคทีเรียกลุ่มใช้ และไม่ใช้ออกซิเจนปะปนกันอยู่ ซึ่งออกซิเจนจะถูกใช้ไปจนหมดโดยแบคทีเรียกลุ่มแรก
2. คาร์บอนมอนอกไซด์ ปริมาณของ CO จะเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง ซึ่งเป็นผลจากการใช้ออกซิเจนอย่างต่อเนื่องจากแบคทีเรียกลุ่มใช้ออกซิเจนในช่วงระยะแรก
3. สารอินทรีย์ระเหยง่าย มีความแปรผันต่อปริมาณมูลที่ใช้เติม ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก หรือการนำเสียตามธรรมชาติ
4. ไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีความแปรผันต่อปริมาณมูลที่ใช้เติมโดยจะมีค่าลดลงตามระยะเวลาการถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรีย
5. มีเทน เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อย 4 ขั้นตอน ได้แก่ ไฮโดรไลซิส แอซิติกเคชัน อะซิโตเจเนซิส และเมทาโนเซชัน หรือเมทาโนเจนเซชัน ของแบคทีเรียกลุ่มเมทาโนเจน
6. ค่า pH ที่เหมาะสมที่สุดในการผลิตก๊าซชีวภาพคือระหว่าง 7.0 – 7.2
7. อุณหภูมิเหมาะสมที่ เมโซฟิลิก ทำงานได้เหมาะสมที่สุดคือช่วง 37 °C – 41 °C เทอร์โมฟิลิก ทำงานได้เหมาะสมที่สุดคือช่วง 50 °C – 52 °C

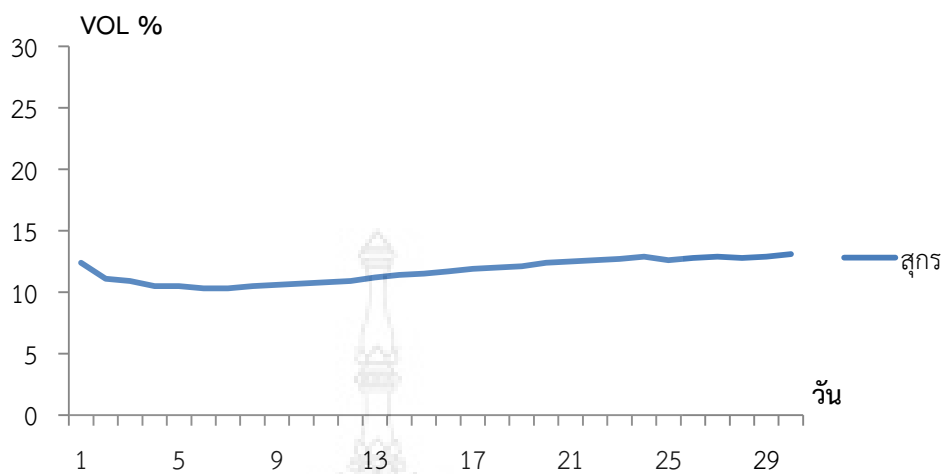
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลสุกร

วันที่	O <sub>2</sub>	VOC	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	pH	°C
1	12.4	129.5	500	474	30	7	30
2	11.1	138.5	500	417	31	7	32
3	10.9	145.8	500	432	31	7	31
4	10.5	148.5	500	473	31	7	30
5	10.5	153.6	500	577	31	6	31
6	10.3	132.5	500	584	31	6	30
7	10.3	142	500	622	31	7	30
8	10.5	134.3	500	648	37	7	30
9	10.6	138	500	754	49	7	30
10	10.7	137.8	498.9	823	54	6	30
11	10.8	139.4	493.8	865	62	7	29
12	10.9	128.2	499.8	874	71	7	27
13	11.2	115.8	481.5	997	71	6	27
14	11.4	103.7	490.5	1009	71	6	31
15	11.5	109.3	497.4	1155	71	6	30
16	11.7	106.2	498.3	1213	71	6	30
17	11.9	104.8	492.7	1349	78	7	30
18	12	90.8	496.4	1378	84	7	31
19	12.1	96.3	497.8	1355	94	7	30
20	12.4	87.5	481.5	1399	92	7	31
21	12.5	85.3	498.1	1412	90	6	30
22	12.6	83.2	478.2	1400	89	6	31
23	12.7	82.8	499	1415	87	6	30
24	12.9	79.2	489.4	1500	77	7	31
25	12.6	67.5	497	1381	65	7	30

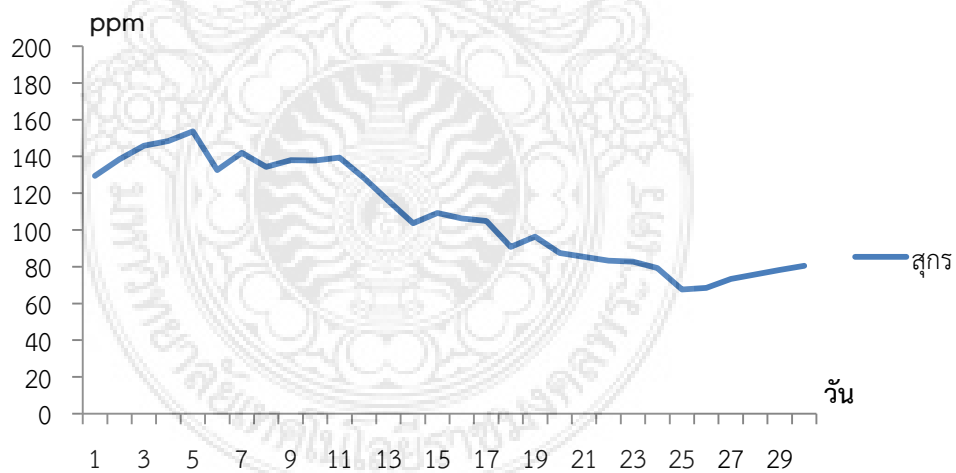
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลสุกร (ต่อ)

วันที่	O <sub>2</sub>	VOC	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	pH	°C
26	12.8	68.4	479.1	1298	61	6	31
27	12.9	73.3	463.5	1186	57	6	30
28	12.8	75.8	457.3	1187	55	6	30
29	12.9	78.3	448.7	1186	50	7	30
30	13.1	80.4	434.4	1185	45	7	31

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ชี้วัดในการทดลองได้ผลปรากฏว่า ค่าออกซิเจน จะมีค่าความคงที่ๆ 10 – 12 VOL% (ปริมาณออกซิเจนควรลดลงจนต่ำเทียบเท่า 2 – 5 VOL% เนื่องจากผู้ทดลองจำเป็นต้องเปิดวาล์วเพื่อทำการตรวจสอบ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนจากภายนอกรั่วไหลเข้าไปในตัวถังเก็บก๊าซ อันเป็นผลให้มีค่าออกซิเจนที่คงที่ดังตารางแสดงผลที่ 4.2) ปริมาณค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง ปริมาณค่าของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง ปริมาณค่าคาร์บอนมอนอกไซด์ มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดระยะเวลาทำการทดลอง ปริมาณค่าของก๊าซมีเทน ก็เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นกัน แต่เมื่ออาหารที่ใช้ถูกย่อยสลายไปจนหมดในช่วงวันที่ 19 ของการทดลองปริมาณของก๊าซมีเทนก็เริ่มที่จะลดลงอย่างต่อเนื่องเช่นกัน โดยในระยะแรกเราสามารถใช้ เศษขยะอาหารรวมที่ไม่ได้แยกประเภทของอาหารเลยมาใช้เป็นเชื้อสำหรับการทดลองปรากฏผลว่าเชื้อขึ้นอย่างช้าๆ จึงได้ทำการทดลองเปลี่ยนอาหารที่ใช้มาเป็นเศษผักล่วนๆ ในวันที่ 10 ผลปรากฏว่าปริมาณของก๊าซมีเทนนั้นเริ่มเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างเห็นได้ชัด จนถึงวันที่ 19 ของการทดลอง ซึ่งผลการสังเกตการณ์ สรุปว่าควรเติมอาหารอย่างน้อยในทุกๆ 9 – 10 วันของการหมักเชื้อ ค่ากรด – ด่าง นั้นมีความคงที่ๆ 6 – 7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเจริญเติบโต และดำรงชีพของเชื้อเมธาโนเจนซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทน และปริมาณค่าอุณหภูมิเอง มีความแปรผันตามสภาพอากาศโดยรอบเช่นกัน โดยมีค่าต่ำสุด – สูงสุด ไม่ห่างจากกันมากนักคือ 27 – 31 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ส่งผลดีนักสำหรับการทดลองนี้เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียเมธาโนเจนนั้นจำเป็นต้องใช้ปริมาณอุณหภูมิที่ 37 – 41 องศาเซลเซียส ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม ("Friendly fuel trains". (Oct. 30, 2005). *New Straits Times*, p. F17.)

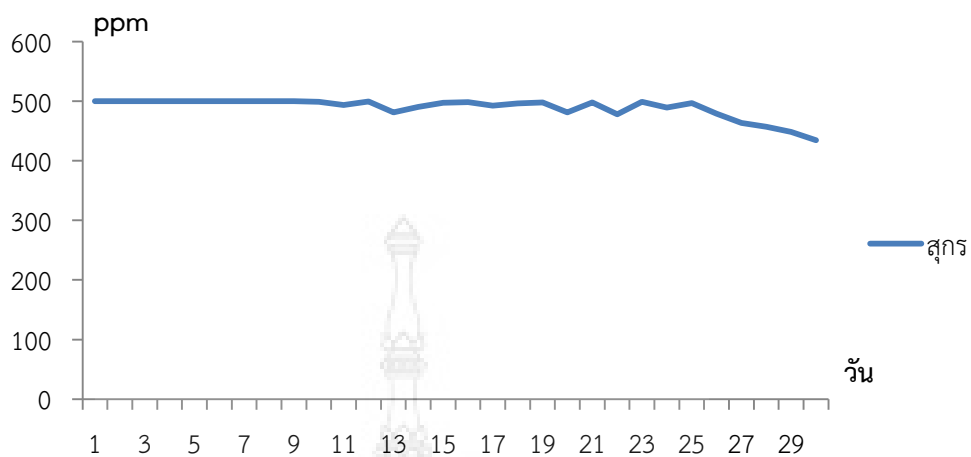


กราฟที่ 4.1 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซออกซิเจนต่อวัน

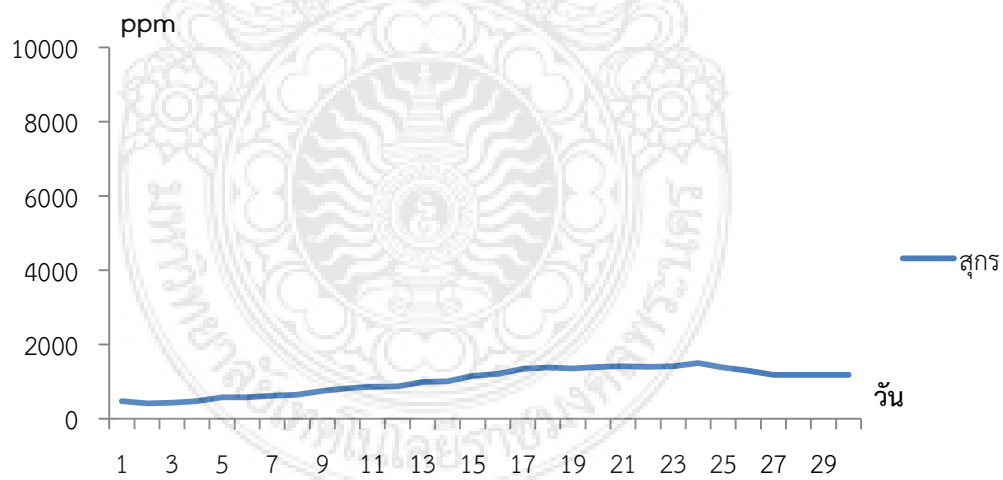


กราฟที่ 4.2 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อวัน

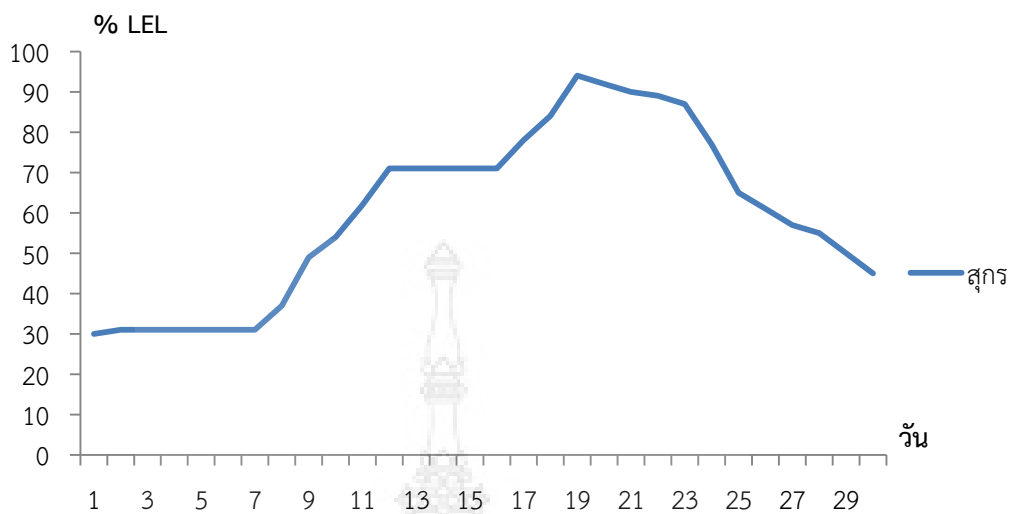




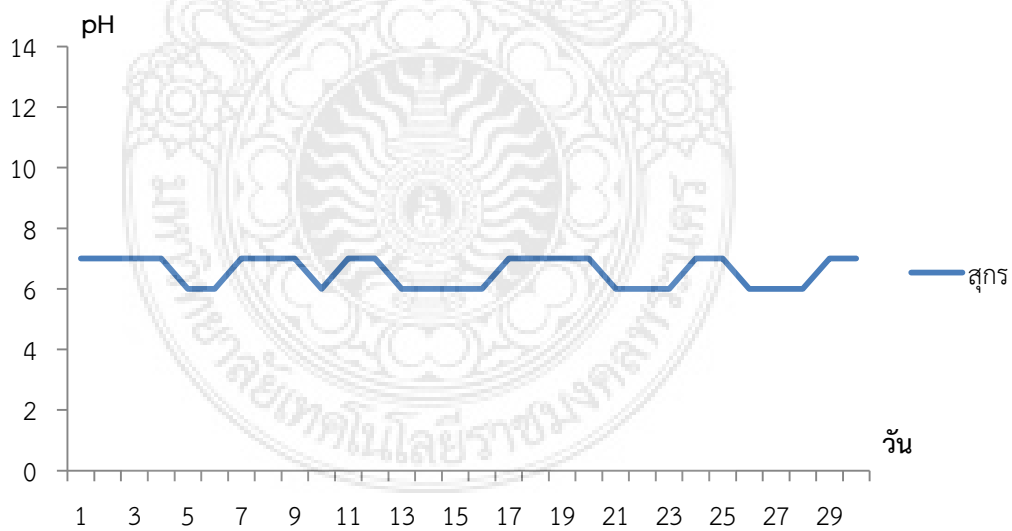
กราฟที่ 4.3 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อวัน



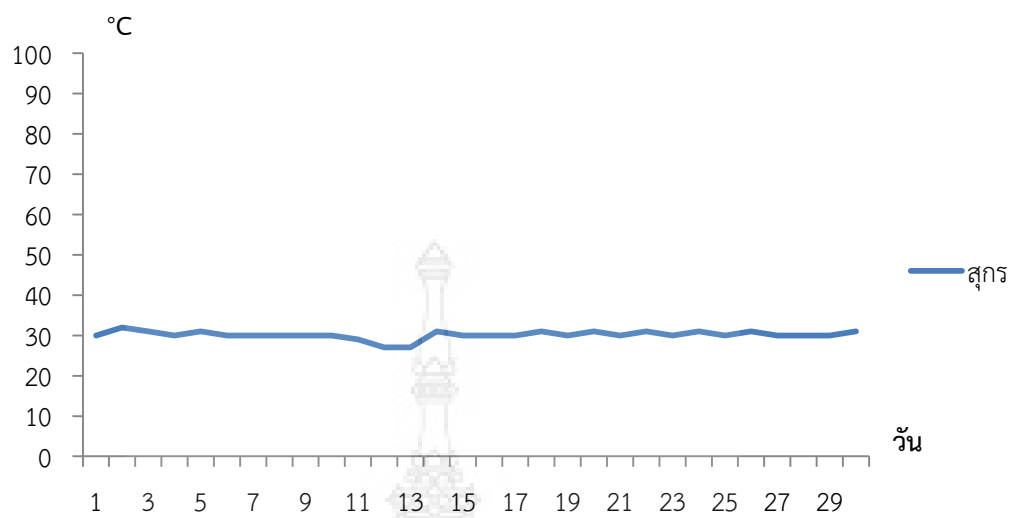
กราฟที่ 4.4 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวัน



กราฟที่ 4.5 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนต่อวัน



กราฟที่ 4.6 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่ากรด - ด่าง ต่อวัน



กราฟที่ 4.7 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อวัน



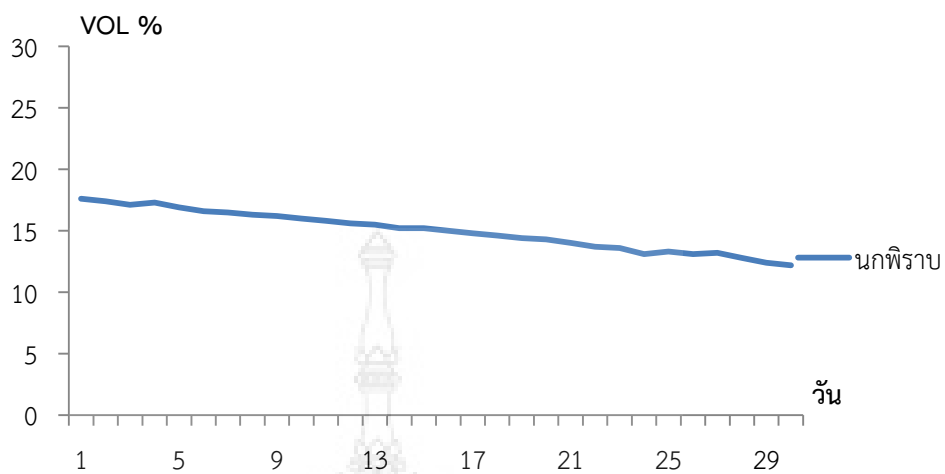
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลกบพิราบ

วันที่	O <sub>2</sub>	VOC	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	pH	°C
1	17.6	173.6	165.4	497	6	7	30
2	17.4	163	201.7	659	10	7	29
3	17.1	144.6	190.5	797	13	7	29
4	17.3	149.3	201.8	768	16	6	30
5	16.9	186.2	208.7	920	18	6	30
6	16.6	146.9	211.4	1121	19	7	30
7	16.5	156.7	214.5	1026	20	6	31
8	16.3	135.3	208.3	1128	20	6	29
9	16.2	139.9	215.7	998	20	6	29
10	16	152.9	201.6	1018	21	7	30
11	15.8	162.7	183.4	1010	20	7	27
12	15.6	140.7	179.3	958	20	6	27
13	15.5	156.8	183.4	975	20	6	30
14	15.2	116.7	186.6	963	21	7	30
15	15.2	114.8	182.7	910	21	7	30
16	15	108.7	182.4	888	22	6	30
17	14.8	102.5	187.7	896	25	6	30
18	14.6	92.5	187.7	885	25	6	30
19	14.4	97.5	180	830	28	7	30
20	14.3	88	173.5	835	29	7	30
21	14	81	171.3	805	33	7	31
22	13.7	73.4	169.5	758	35	7	30
23	13.6	73	167.8	745	35	6	31
24	13.1	72.2	165.6	715	35	6	31
25	13.3	63	158.8	709	36	7	31

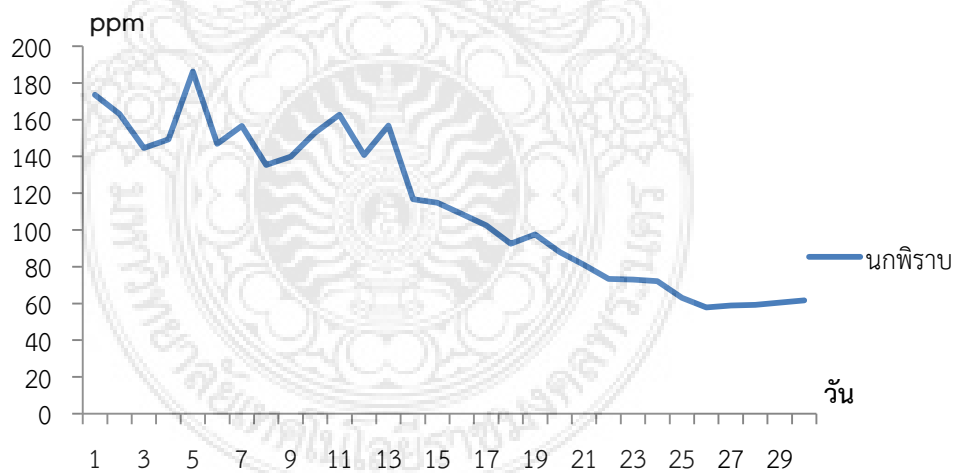
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลนกพิราบ (ต่อ)

วันที่	O <sub>2</sub>	VOC	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	pH	°C
26	13.1	57.9	149.5	680	35	6	31
27	13.2	58.9	132.9	716	34	7	30
28	12.8	59.3	138.3	713	34	6	30
29	12.4	60.5	145.8	708	35	6	30
30	12.2	61.7	150.1	701	35	7	31

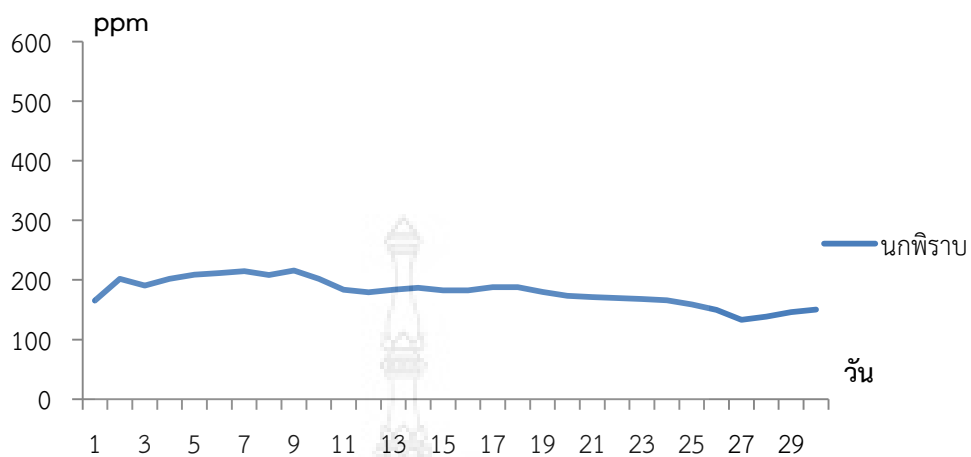
จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจวัดพารามิเตอร์ชี้วัดในการทดลองได้ผลปรากฏว่า ค่าออกซิเจน จะมีค่าความคงที่ๆ 12 – 17 VOL% ซึ่งไม่ส่งผลดีนักสำหรับการทดลอง (ปริมาณออกซิเจนควรลดลงจนต่ำเทียบเท่า 2 – 5 VOL% เนื่องจากผู้ทดลองจำเป็นต้องเปิดวาล์วเพื่อทำการตรวจสอบ ทำให้มีปริมาณออกซิเจนจากภายนอกรั่วไหลเข้าไปในตัวถังเก็บก๊าซ อันเป็นผลให้มีค่าออกซิเจนที่คงที่ดังตารางแสดงผลที่ 4.3) ปริมาณค่าสารอินทรีย์ระเหยง่าย เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลอง ปริมาณค่าของก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ เริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องตลอดการทดลองและคงที่ในช่วง 150 ppm ปริมาณค่าคาร์บอนมอนอไซด์ มีปริมาณที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในวันที่ 6 เริ่มคงที่ในช่วงวันที่ 6 - 11 และเริ่มตกลงหลังจากนั้น ซึ่งผู้สังเกตการณ์ให้ความเห็นว่าอาจมีรอยรั่วของข้อต่อส่วนต่างๆของถังเก็บก๊าซซึ่งทำให้ค่าของก๊าซคาร์บอนมอนอไซด์ตกลง ปริมาณค่าของก๊าซมีเทน ก็เพิ่มขึ้นในปริมาณน้อยอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ค่ากรด - ด่าง นั้นมีความคงที่ๆ 6 – 7 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเจริญเติบโต และดำรงชีพของเชื้อเมธาโนเจนซึ่งเป็นเชื้อแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตก๊าซมีเทน และปริมาณค่าอุณหภูมิเอง มีความแปรผันตามสภาพอากาศโดยรอบเช่นกัน โดยมีค่าต่ำสุด - สูงสุดไม่ห่างจากกันมากนักคือ 27 – 31 องศาเซลเซียส ซึ่งไม่ส่งผลดีนักสำหรับการทดลองนี้เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียเมธาโนเจนนั้นจำเป็นต้องใช้ปริมาณอุณหภูมิที่ 37 – 41 องศาเซลเซียส ในการทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม ("Friendly fuel trains". (Oct. 30, 2005). *New Straits Times*, p. F17.)



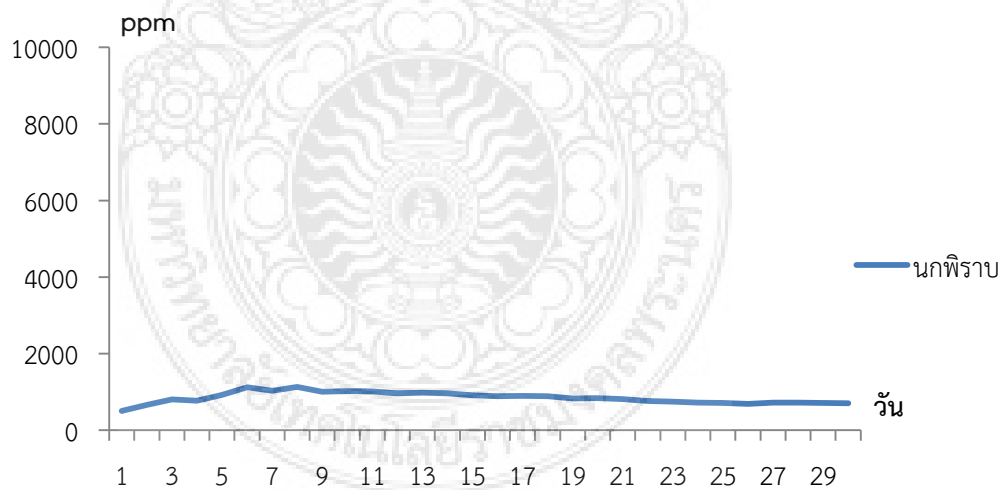
กราฟที่ 4.8 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก้าชออกซิเจนต่อวัน



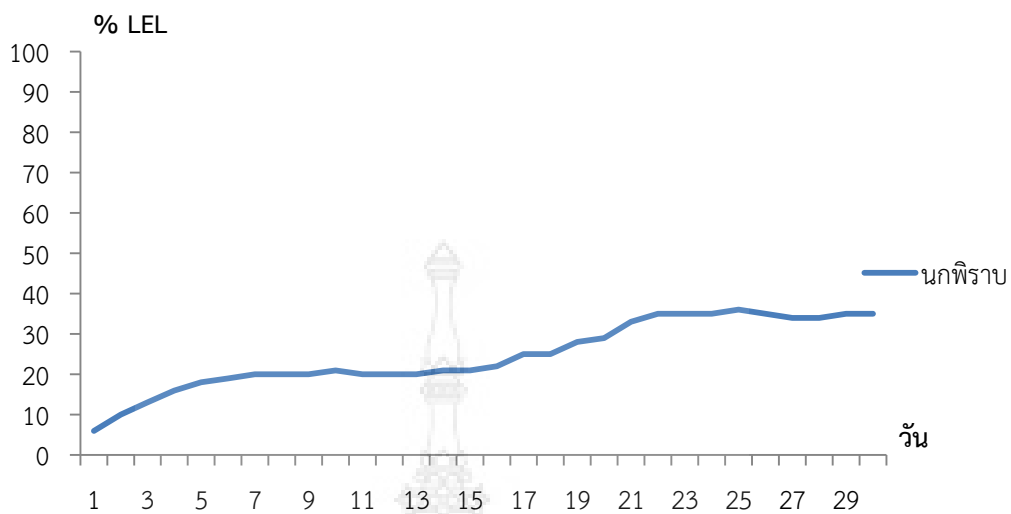
กราฟที่ 4.9 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ระเหยง่ายต่อวัน



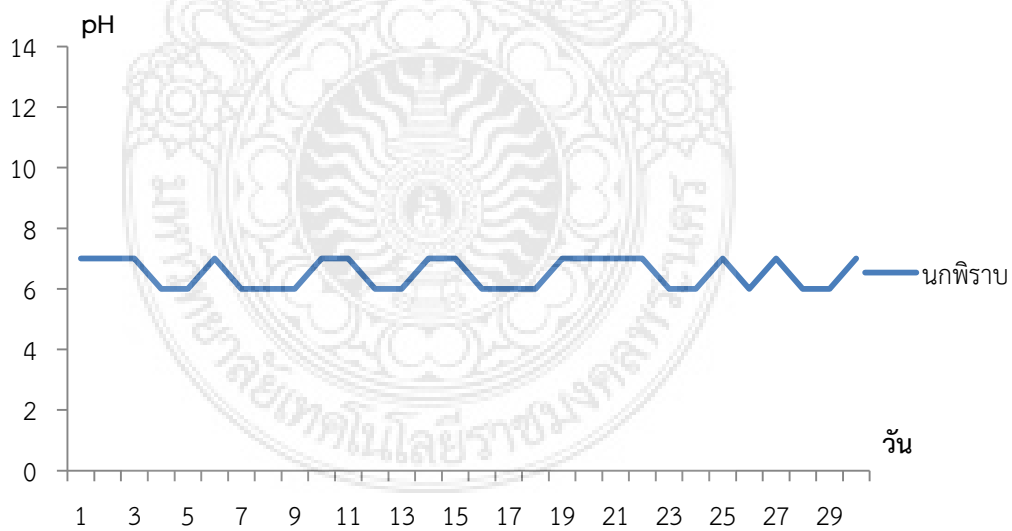
กราฟที่ 4.10 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อวัน



กราฟที่ 4.11 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่อวัน

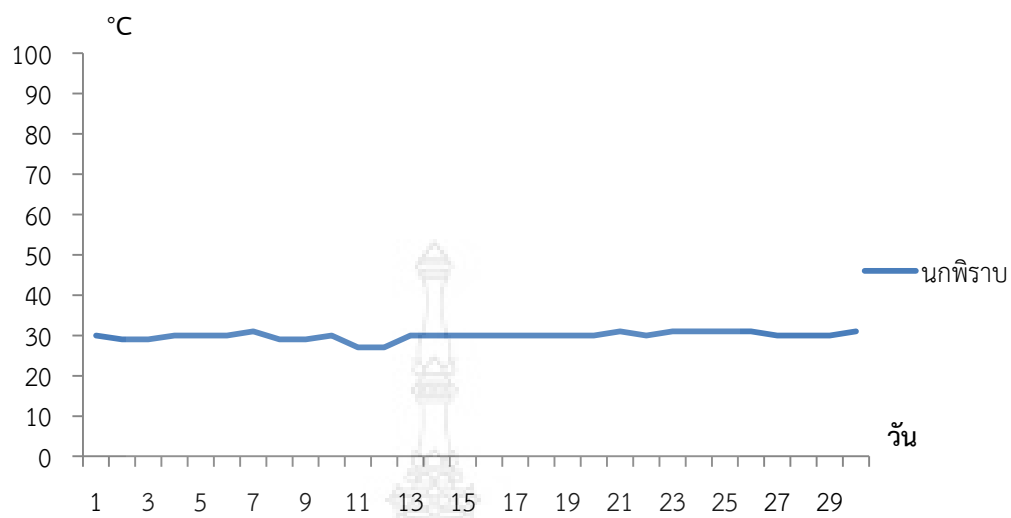


กราฟที่ 4.12 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของก๊าซมีเทนต่อวัน



กราฟที่ 4.13 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่ากรด - ด่าง ต่อวัน





กราฟที่ 4.14 แสดงปริมาณการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิต่อวัน



### 4.3 ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักโดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างมูลสุกร และมูลนกพิราบ

จากการศึกษาทดลองทำการหมักก๊าซด้วยเศษขยะอาหารที่นำมาจากโรงอาหารของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครมาใช้เป็นอาหารสำหรับเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย และได้นำเอา มูลสุกร และมูลนกพิราบจากฟาร์มเลี้ยง มาใช้สำหรับเป็นหัวเชื้อในการเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมีสัดส่วนในการผสมคือ เศษขยะอาหาร 30% มูลสัตว์ผสมน้ำ 50% ในถังบรรจุ 200 ลิตร โดยใช้เวลาทำการหมักเชื้อเป็นเวลา 10 วัน และรอผลการเกิดก๊าซอีก 30 วัน รวมเป็นเวลา 40 วัน ซึ่งการทดลองวัดประสิทธิภาพจะวัดผลจากปริมาณที่เท่ากัน และใช้ระยะเวลาการติดไฟเป็นเวลา 60 นาทีเท่ากัน โดยผู้ทดลองใช้ระยะเวลาการเดือดของน้ำในการวัดผล ดังตารางแสดงผลที่ 4.4 และ 4.5 ดังนี้

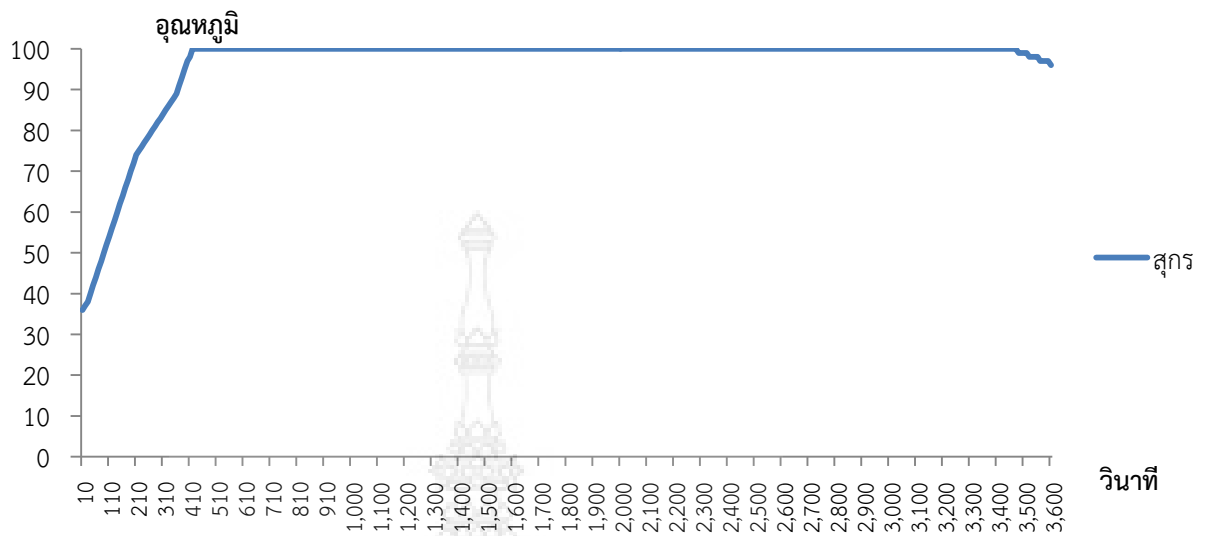


ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลสุกร

เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)
0	35	310	84	620	100	920	100	1230	100	1540	100
10	36	320	85	630	100	930	100	1240	100	1550	100
20	37	330	86	640	100	940	100	1250	100	1560(26)	100
30	38	340	87	650	100	950	100	1260(21)	100	1570	100
40	40	350	88	660(11)	100	960(16)	100	1270	100	1580	100
50	42	360(6)	89	670	100	970	100	1280	100	1590	100
60(1)	44	370	91	680	100	980	100	1290	100	1600	100
70	46	380	93	690	100	990	100	1300	100	1610	100
80	48	390	95	700	100	1000	100	1310	100	1620(27)	100
90	50	400	97	710	100	1010	100	1320(22)	100	1630	100
100	52	410	98	720(12)	100	1020(17)	100	1330	100	1640	100
110	54	420(7)	100	730	100	1030	100	1340	100	1650	100
120(2)	56	430	100	740	100	1040	100	1350	100	1660	100
130	58	440	100	750	100	1050	100	1360	100	1670	100
140	60	450	100	760	100	1060	100	1370	100	1680(28)	100
150	62	460	100	770	100	1070	100	1380(23)	100	1690	100
160	64	470	100	780(13)	100	1080(18)	100	1390	100	1700	100
170	66	480(8)	100	790	100	1090	100	1400	100	1710	100
180(3)	68	490	100	800	100	1100	100	1410	100	1720	100
190	70	500	100	810	100	1110	100	1420	100	1730	100
200	72	510	100	820	100	1120	100	1430	100	1740(29)	100
210	74	520	100	830	100	1130	100	1440(24)	100	1750	100
220	75	530	100	840(14)	100	1140(19)	100	1450	100	1760	100
230	76	540(9)	100	850	100	1150	100	1460	100	1770	100
240(4)	77	550	100	860	100	1160	100	1470	100	1780	100
250	78	560	100	870	100	1170	100	1480	100	1790	100
260	79	570	100	880	100	1180	100	1490	100	1800(30)	100
270	80	580	100	890	100	1190	100	1500(25)	100	1810	100
280	81	590	100	900(15)	100	1200(20)	100	1510	100	1820	100
290	82	600(10)	100	910	100	1210	100	1520	100	1830	100
300(5)	83	610	100	920	100	1220	100	1530	100	1840	100

ตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลสุกร (ต่อ)

เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลสุกร (อุณหภูมิ)
1850	100	2160(37)	100	2470	100	2780	100	3090	100	3400	100
1860(32)	100	2170	100	2480	100	2790	100	3100	100	3410	100
1870	100	2180	100	2490	100	2800	100	3110	100	3420(57)	100
1880	100	2190	100	2500	100	2810	100	3120(52)	100	3430	100
1890	100	2200	100	2510	100	2820(48)	100	3130	100	3440	100
1900	100	2210	100	2520(43)	100	2830	100	3140	100	3450	100
1910	100	2220(38)	100	2530	100	2840	100	3150	100	3460	100
1920(33)	100	2230	100	2540	100	2850	100	3160	100	3470	100
1930	100	2240	100	2550	100	2860	100	3170	100	3480(58)	99
1940	100	2250	100	2560	100	2870	100	3180(53)	100	3490	99
1950	100	2260	100	2570	100	2880(49)	100	3190	100	3500	99
1960	100	2270	100	2580(44)	100	2890	100	3200	100	3510	99
1970	100	2280(39)	100	2590	100	2900	100	3210	100	3520	98
1980(34)	100	2290	100	2600	100	2910	100	3220	100	3530	98
1990	100	2300	100	2610	100	2920	100	3230	100	3540(59)	98
2000	100	2310	100	2620	100	2930	100	3240(54)	100	3550	98
2010	100	2320	100	2630	100	2940(50)	100	3250	100	3560	97
2020	100	2330	100	2640(45)	100	2950	100	3260	100	3570	97
2030	100	2340(40)	100	2650	100	2960	100	3270	100	3580	97
2040(35)	100	2350	100	2660	100	2970	100	3280	100	3590	97
2050	100	2360	100	2670	100	2980	100	3290	100	3600(60)	96
2060	100	2370	100	2680	100	2990	100	3300(55)	100		
2070	100	2380	100	2690	100	3000(51)	100	3310	100		
2080	100	2390	100	2700(46)	100	3010	100	3320	100		
2090	100	2400(41)	100	2710	100	3020	100	3330	100		
2100(36)	100	2410	100	2720	100	3030	100	3340	100		
2110	100	2420	100	2730	100	3040	100	3350	100		
2120	100	2430	100	2740	100	3050	100	3360(56)	100		
2130	100	2440	100	2750	100	3060(52)	100	3370	100		
2140	100	2450	100	2760(47)	100	3070	100	3380	100		
2150	100	2460(42)	100	2770	100	3080	100	3390	100		



กราฟที่ 4.15 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมัก (สุกร)

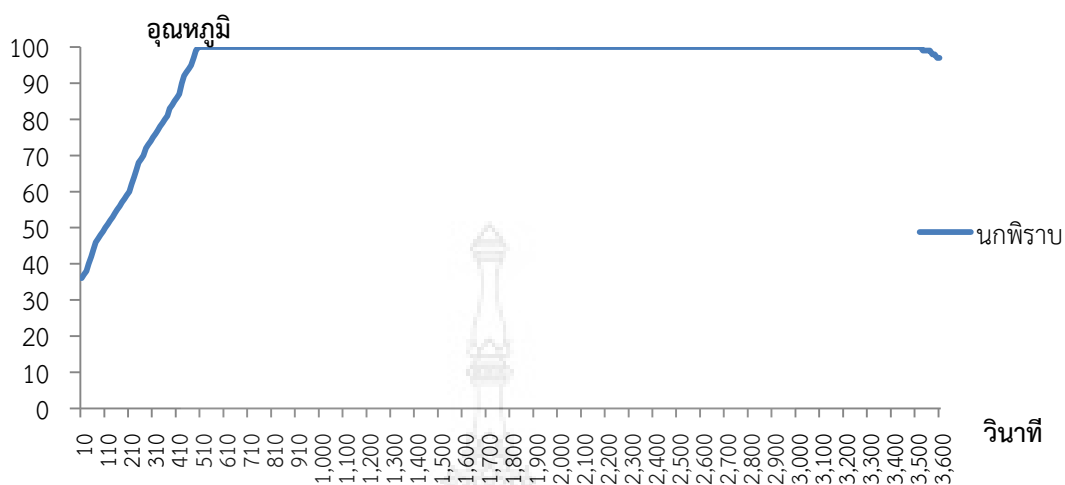
จากตารางที่ 4.4 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลสุกรสรุปผลได้ดังนี้ ผู้ทดลองได้ทำการปล่อยก๊าซทั้งหมดออก แล้วทำการหมักใหม่อีกเป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่าประสิทธิภาพก๊าซที่เกิดจากการหมักมูลสุกรใช้เวลาในการวัดผลทั้งสิ้น 60 นาที โดยใช้ระยะเวลาราวๆ 7 นาที ในการต้มน้ำให้เดือด (ใช้ก๊าซเติมที่) และอุณหภูมิเดือดอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาราวๆ 51 นาที ปริมาณอุณหภูมิจึงเริ่มตกลง 1 องศาเซลเซียส ต่อ 40 วินาที เมื่อครบ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิจะหยุดอยู่ที่ 97 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลนกพิราบ

เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)
0	35	310	75	620	100	920	100	1230	100	1540	100
10	36	320	76	630	100	930	100	1240	100	1550	100
20	37	330	77	640	100	940	100	1250	100	1560(26)	100
30	38	340	78	650	100	950	100	1260(21)	100	1570	100
40	40	350	79	660(11)	100	960(16)	100	1270	100	1580	100
50	42	360(6)	80	670	100	970	100	1280	100	1590	100
60(1)	44	370	81	680	100	980	100	1290	100	1600	100
70	46	380	83	690	100	990	100	1300	100	1610	100
80	47	390	84	700	100	1000	100	1310	100	1620(27)	100
90	48	400	85	710	100	1010	100	1320(22)	100	1630	100
100	49	410	86	720(12)	100	1020(17)	100	1330	100	1640	100
110	50	420(7)	87	730	100	1030	100	1340	100	1650	100
120(2)	51	430	90	740	100	1040	100	1350	100	1660	100
130	52	440	92	750	100	1050	100	1360	100	1670	100
140	53	450	93	760	100	1060	100	1370	100	1680(28)	100
150	54	460	94	770	100	1070	100	1380(23)	100	1690	100
160	55	470	95	780(13)	100	1080(18)	100	1390	100	1700	100
170	56	480(8)	97	790	100	1090	100	1400	100	1710	100
180(3)	57	490	99	800	100	1100	100	1410	100	1720	100
190	58	500	100	810	100	1110	100	1420	100	1730	100
200	59	510	100	820	100	1120	100	1430	100	1740(29)	100
210	60	520	100	830	100	1130	100	1440(24)	100	1750	100
220	62	530	100	840(14)	100	1140(19)	100	1450	100	1760	100
230	64	540(9)	100	850	100	1150	100	1460	100	1770	100
240(4)	66	550	100	860	100	1160	100	1470	100	1780	100
250	68	560	100	870	100	1170	100	1480	100	1790	100
260	69	570	100	880	100	1180	100	1490	100	1800(30)	100
270	70	580	100	890	100	1190	100	1500(25)	100	1810	100
280	72	590	100	900(15)	100	1200(20)	100	1510	100	1820	100
290	73	600(10)	100	910	100	1210	100	1520	100	1830	100
300(5)	74	610	100	920	100	1220	100	1530	100	1840	100

ตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลนกพิราบ (ต่อ)

เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)
1850	100	2160(37)	100	2470	100	2780	100	3090	100	3400	100
1860(32)	100	2170	100	2480	100	2790	100	3100	100	3410	100
1870	100	2180	100	2490	100	2800	100	3110	100	3420(57)	100
1880	100	2190	100	2500	100	2810	100	3120(52)	100	3430	100
1890	100	2200	100	2510	100	2820(48)	100	3130	100	3440	100
1900	100	2210	100	2520(43)	100	2830	100	3140	100	3450	100
1910	100	2220(38)	100	2530	100	2840	100	3150	100	3460	100
1920(33)	100	2230	100	2540	100	2850	100	3160	100	3470	100
1930	100	2240	100	2550	100	2860	100	3170	100	3480(58)	100
1940	100	2250	100	2560	100	2870	100	3180(53)	100	3490	100
1950	100	2260	100	2570	100	2880(49)	100	3190	100	3500	100
1960	100	2270	100	2580(44)	100	2890	100	3200	100	3510	100
1970	100	2280(39)	100	2590	100	2900	100	3210	100	3520	100
1980(34)	100	2290	100	2600	100	2910	100	3220	100	3530	99
1990	100	2300	100	2610	100	2920	100	3230	100	3540(59)	99
2000	100	2310	100	2620	100	2930	100	3240(54)	100	3550	99
2010	100	2320	100	2630	100	2940(50)	100	3250	100	3560	99
2020	100	2330	100	2640(45)	100	2950	100	3260	100	3570	99
2030	100	2340(40)	100	2650	100	2960	100	3270	100	3580	99
2040(35)	100	2350	100	2660	100	2970	100	3280	100	3590	98
2050	100	2360	100	2670	100	2980	100	3290	100	3600(60)	98
2060	100	2370	100	2680	100	2990	100	3300(55)	100		
2070	100	2380	100	2690	100	3000(51)	100	3310	100		
2080	100	2390	100	2700(46)	100	3010	100	3320	100		
2090	100	2400(41)	100	2710	100	3020	100	3330	100		
2100(36)	100	2410	100	2720	100	3030	100	3340	100		
2110	100	2420	100	2730	100	3040	100	3350	100		
2120	100	2430	100	2740	100	3050	100	3360(56)	100		
2130	100	2440	100	2750	100	3060(52)	100	3370	100		
2140	100	2450	100	2760(47)	100	3070	100	3380	100		
2150	100	2460(42)	100	2770	100	3080	100	3390	100		



กราฟที่ 4.16 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมัก (นกกิราบ)

จากตารางที่ 4.5 แสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลสุกรสรุปผลได้ดังนี้ ผู้ทดลองได้ทำการปล่อยก๊าซทั้งหมดออก แล้วทำการหมักใหม่อีกเป็นระยะเวลา 5 วัน พบว่าประสิทธิภาพก๊าซที่เกิดจากการหมักมูลนกกิราบใช้เวลาในการวัดผลทั้งสิ้น 60 นาที โดยใช้ระยะเวลาราวๆ 8 นาที 20 วินาที ในการต้มน้ำให้เดือด (ใช้ก๊าซต้มที่) และอุณหภูมิเดือดอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลาราวๆ 51 นาที ปริมาณอุณหภูมิจึงเริ่มตกลง 1 องศาเซลเซียส ต่อ 60 วินาที เมื่อครบ 1 ชั่วโมง อุณหภูมิจะหยุดอยู่ที่ 98 องศาเซลเซียส



## 4.4 ผลพลอยได้จากงานวิจัย

### 4.4.1 ปริมาณขยะอาหารที่ลดได้จากการทดลอง

- ปริมาณเศษขยะอาหารที่เกิดขึ้นในช่วงเปิดเทอมของมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณนคร ศูนย์พระนครเหนือ ต่อวันราว 150 - 200 กิโลกรัม
- ปริมาณอาหารที่ใช้ในการเติมครั้งแรก 30 กิโลกรัมต่อถัง
- ปริมาณอาหารที่เติมครั้งต่อไป (ใช้ระยะเวลา 10 วันในการเติม) 20 กิโลกรัม

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นขยะอาหารที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณ } & 200 \text{ kg} \times 30 \text{ day} = 6,000 \text{ kg/เดือน} \\ & 200 \text{ kg} \times 360 \text{ day} = 60,000 \text{ kg/ปี} \end{aligned}$$

ปริมาณอาหารที่ลดได้หลังจากทำการทดลอง (1 ถัง)

$$\begin{aligned} \text{สูตรปริมาณการลดขยะอาหาร} & \text{ คือ } \text{ปริมาณอาหารที่เติม} \times \text{จำนวนครั้งที่เติม} \\ \text{ปริมาณการลดขยะอาหารต่อเดือน} & \text{ คือ } 20 \text{ kg} \times 3 \text{ ครั้ง} = 60 \text{ kg/เดือน} \\ \text{ปริมาณการลดขยะอาหารต่อปี} & \text{ คือ } 20 \text{ kg} \times 36 \text{ ครั้ง} = 720 \text{ kg/ปี} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{r} \text{คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณที่ลดต่อเดือนจะเท่ากับ} \\ 6,000 \times \frac{60}{100} = 3,600 \\ \underline{\quad \quad \quad} \\ \quad \quad \quad \times = 3600 \\ \underline{\quad \quad \quad} \\ 100 = 6000 \\ \quad \quad \quad \times = 6\% \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ปริมาณที่ลดต่อปีจะเท่ากับ} \\ 6,000 \times \frac{720}{100} = 43,200 \\ \underline{\quad \quad \quad} \\ \quad \quad \quad \times = 43,200 \\ \underline{\quad \quad \quad} \\ 100 = 6000 \\ \quad \quad \quad \times = 12\% \end{array}$$

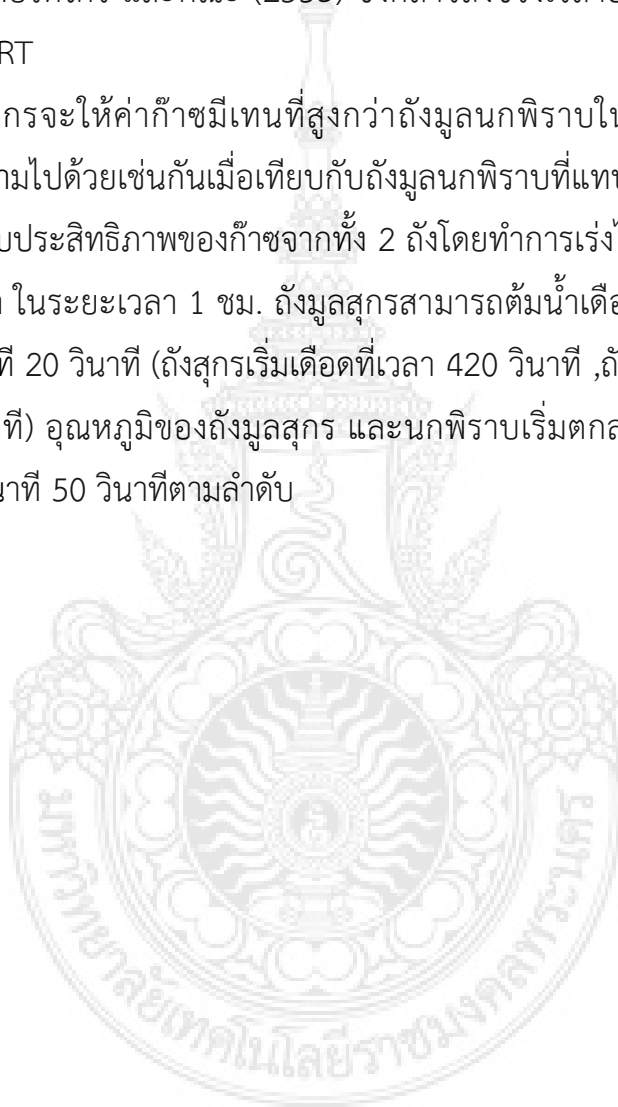
### 4.4.2 กากตะกอน

กากตะกอนที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายภายในถังหมักนั้นเมื่อทำการถ่ายออกมาแล้ว ตากจนแห้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ โดยนำมาตากให้แห้งแล้วผสมกับปุ๋ยในอัตรา กาก 4 : ปุ๋ย 1

#### 4.5 อภิปรายผล

ผลการวิจัยโดยใช้มูลสัตว์ 2 ชนิดมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้แก่ มูลสุกร และมูลนกพิราบ จากผลการศึกษาพบว่าขณะทำการหมักเชื้อเป็นเวลา 5 วัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ เกียรติไกร และคณะ (2553) ซึ่งกล่าวถึงช่วงเวลาอันเหมาะสมสำหรับการเกิดที่สภาวะ HRT

ถังมูลสุกรจะให้ค่าก๊าซมีเทนที่สูงกว่าถังมูลนกพิราบในอัตรา 2 : 1 ทว่ากลิ่นรบกวนก็มากตามไปด้วยเช่นกันเมื่อเทียบกับถังมูลนกพิราบที่แทบจะไม่มีกลิ่นรบกวนเลย อีกทั้งเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของก๊าซจากทั้ง 2 ถังโดยทำการเร่งไฟจนสุดจึงทำการต้มน้ำได้ผลปรากฏว่า ในระยะเวลา 1 ชม. ถังมูลสุกรสามารถต้มน้ำเดือดได้เร็วกว่าก๊าซจากมูลนกพิราบ 1 นาที 20 วินาที (ถังสุกรเริ่มเดือดที่เวลา 420 วินาที ,ถังมูลนกพิราบเริ่มเดือดที่เวลา 500 วินาที) อุณหภูมิของถังมูลสุกร และนกพิราบเริ่มตกลงในช่วงเวลานาทีที่ 58 นาที และ 58 นาที 50 วินาทีตามลำดับ



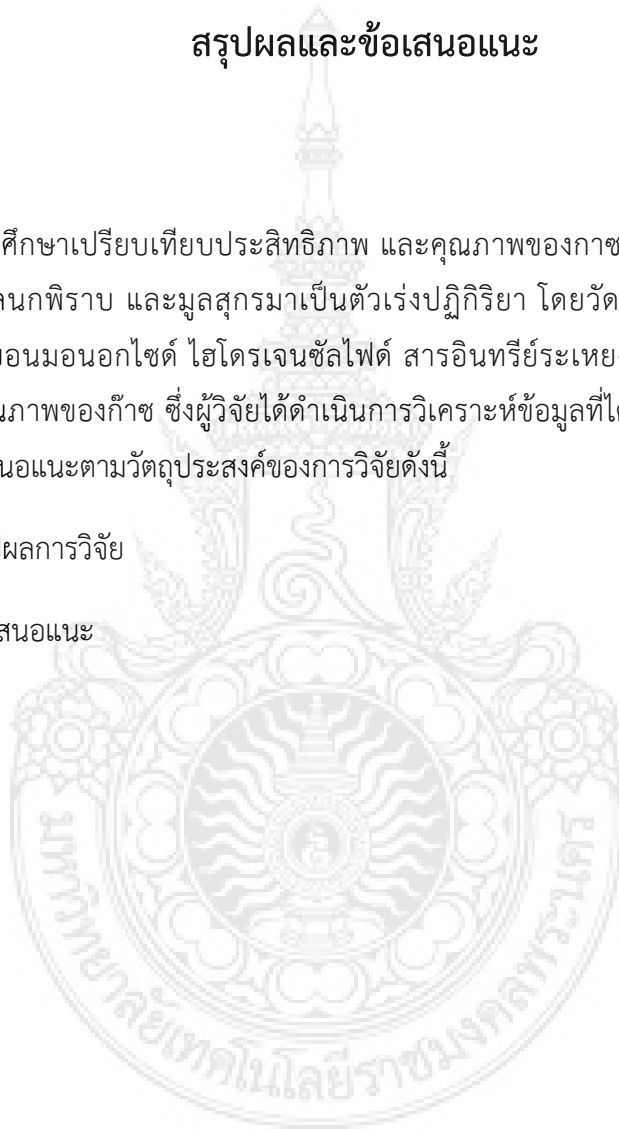
## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ และคุณภาพของกาชชีวภาพที่เกิดจากเศษขยะอาหารโดยใช้มูลนกพิราบ และมูลสุกรมาเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยวัดคุณสมบัติต่างๆ อันได้แก่ ออกซิเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ สารอินทรีย์ระเหยง่าย มีเทน ค่ากรด – ต่าง อุณหภูมิ และคุณภาพของกาช ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากผลการทดลอง นำมาสรุปผลและข้อเสนอแนะตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ



## 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลองการหมักก๊าซชีวภาพจากขยะอาหารโดยใช้ขยะอาหารจากโรงอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเหนือ โดยแบ่งชุดทดลองออกเป็น 2 ชุดการทดลองซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันคือ มูลสุกร และมูลนกพิราบ เป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติ และประสิทธิภาพความแตกต่างกันที่เกิดจากตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยกำหนดการตรวจสอบคุณสมบัติของก๊าซตลอดระยะเวลาการทดลอง และทำการเติมขยะอาหารในทุกๆ 10 วัน โดยใช้การเติมเชื้อเพียงครั้งเดียวได้ผลสรุปว่าในระยะเวลา 10 วันแรกปริมาณก๊าซซึ่งเกิดจากการหมักจากชุดการทดลองมูลสุกรนั้น มีปริมาณก๊าซมีเทนสูงตามความคาดหมายคือ 30 %LEL (%LEL เปอร์เซ็นต์การติดไฟต่ำสุดอยู่ที่ 5 %LEL) ต่อมาเมื่อทำการเติมขยะอาหารอีกในระยะเวลา 10 วันจากการเติมอาหารครั้งแรก ผลปรากฏว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งมีค่าสูงสุดที่ 94 %LEL ในวันที่ 19 ของการทดลอง หลังจากนั้นค่ามีเทนเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง แม้จะเติมขยะอาหารในวันที่ครบกำหนดการเติมก็ตาม ซึ่งผู้ทดลองตั้งข้อสังเกตว่าเชื้อที่เกิดจากการหมักมูลสุกรนั้นเริ่มหมดลง ส่วนผลจากการทดลองถึงหมักมูลนกพิราบนั้นมีปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำคือ 6 %LEL และมีค่าคงที่ในช่วง 34 - 36 %LEL แม้จะหยุดเติมอาหารไปแล้วก็ตาม ด้านปัญหาทางมลภาวะกลิ่นเหม็นรบกวนนั้นถึงหมักมูลสุกรส่งกลิ่นรบกวนที่สูงกว่าถึงหมักมูลนกพิราบอย่างเห็นได้ชัดตามเมื่อทำการเปรียบเทียบตารางแสดงผลที่ 4.2 และ 4.3 ในหมวดของ H<sub>2</sub>S เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการทดลอง กลุ่มผู้วิจัยให้ข้อสรุปว่า ถึงหมักมูลสุกรนั้นมีประสิทธิภาพที่มากกว่าถึงหมักมูลนกพิราบโดยเปรียบเทียบจากปริมาณค่าก๊าซมีเทนที่มากกว่าในอัตรา 3 ต่อ 1 เมื่อทำการทดลองวัดปริมาณก๊าซที่ใช้งานได้ผลปรากฏดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 คือสามารถจุดไฟได้มีประสิทธิภาพเช่นเดียวกัน เพียงแต่ก๊าซจากถึงหมักมูลนกพิราบให้ค่าก๊าซมีเทนที่ต่ำกว่า เป็นผลให้อุณหภูมิของน้ำที่ใช้ต้มถึงจุดเดือดได้ช้ากว่าการทดสอบจากถึงหมักมูลสุกร แต่ถึงหมักมูลนกพิราบสามารถคงความร้อนได้นานกว่าถึงหมักมูลสุกรเล็กน้อยในระยะเวลาราว 1 นาที ซึ่งหากต้องการนำไปใช้งานจริงควรเติมเชื้อ (มูลสัตว์ หรือตัวเร่งเชื้ออื่นๆ) ลงไปทุกๆ 10 วันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพที่เพียงพอต่อการหมักสำหรับการใช้งานจริง ซึ่งก๊าซที่เกิดจากการหมักนั้น 1 ถึงสามารถใช้งานได้ราว 15 – 20 นาทีจากการหมัก 1 วัน (อนจ, มปป.) ซึ่งผลพลอยได้ที่ได้จากการหมักคือกากตะกอนที่ผ่านการย่อยสลายแล้วสามารถนำไปผสมเป็นปุ๋ยสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรต่อไปได้ด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

### 5.2.1 ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้

ผลจากการศึกษานี้ท่านผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยท่านผู้สนใจสามารถนำเอาผลจากการศึกษาวิจัยมาประยุกต์ใช้กับวัตถุดิบจากท้องถิ่นของท่านเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป โดยสูตรการผสมของงานวิจัยนี้คือ มูลสัตว์ 50% + ขยะอาหาร 30% ของภาชนะบรรจุ ทำการหมัก เชื้อเป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน เติมอาหารในทุกๆ 10 วัน และทำการปั่นกวน ในทุกๆ วันอย่างน้อย 2 เวลาเช้า – เย็น เพื่อกระจายเชื้อให้ทั่วถึงในถังหมัก อีกทั้งกากตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปตากให้แห้ง และผสมปุ๋ยในอัตรา 4 ต่อ 1 เพื่อนำไปใช้ทางการเกษตรได้อีกด้วย

### 5.2.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำการวิจัยครั้งต่อไป

จากการศึกษาในครั้งนี้มีข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่ต้องการทำการศึกษาวิจัยครั้งต่อไปดังนี้

5.2.2.1 ควรทำการวิเคราะห์ค่าของสัดส่วนต่างๆ ก่อนทำการทดลอง เช่น ปริมาณ น้ำหนัก และประเภท ในสัดส่วนที่เหมาะสมก่อนเริ่มทำการทดลอง

5.2.2.2 ควรระวังก๊าซรั่วเมื่อทำการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซ

5.2.2.3 ควรศึกษาหัวเชื้อ หรือตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ มาใช้ในการทดลองเพื่อให้เกิดความหลากหลายในงานวิจัย

5.2.2.4 การประกอบถังทดลองควรระมัดระวังรอยรั่วต่างๆ เป็นพิเศษเนื่องจากการทดลองนี้เป็นการหมักก๊าซ ซึ่งไม่ควรมีก๊าซรั่วไหลขณะทำการทดสอบเพราะจะทำให้ได้ผลที่คลาดเคลื่อนจากที่ตั้งเป้าหมายไว้

5.2.2.5 สถานที่ทำการทดลองควรเป็นที่โล่งแจ้ง อากาศระบายถ่ายเทสะดวก

5.2.2.6 กากตะกอนที่เกิดจากการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทำการวิจัยขั้นต่อไปได้

5.2.2.7 หากต้องการวัดประสิทธิภาพของก๊าซควรเริ่มทดสอบในสัปดาห์ที่ 2 ของการทดลองเนื่องจากเป็นช่วงที่ ก๊าซมีปริมาณมากที่สุด

5.2.2.8 ควรเติมเชื้อเพิ่มทุกๆ 20 วัน หากต้องการทดลองในระยะยาว 3เดือนขึ้นไป (ผู้วิจัยใช้ระยะเวลาทดลอง 1 เดือน จึงเติมเชื้อเพียงครั้งแรกครั้งเดียว)

## เอกสารอ้างอิง

ชาญชัย ลิ้มปียากร และ ยุวรัตน์ สันติทวีฤกษ์. 2544. การออกแบบและการก่อสร้างบ่อหมักก๊าซชีวภาพ.

บริษัท อินทริเกรตเต็ด โพรโมชัน เทคโนโลยี จำกัด, กรุงเทพฯ

บุญมา บ้านประดิษฐ์ และคณะ. 2550. ถังหมักหมักศจรรย เปลี่ยนขยะเป็นก๊าซชีวภาพ. สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, กรุงเทพฯ

ปรียา ปะบุญเรือง. 2539. “การแยกเชื้อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากอินทรีย์วัตถุที่ถูกย่อยสลายใน

สภาวะไร้ออกซิเจน.” วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พิชญ รัชฎาวงศ์. 2553. ก๊าซชีวภาพ. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :

<http://www.eng.chula.ac.th/newsletter/index.php?q=node/192>, 20 ธันวาคม 2555.

สุภัณฑิต นิมรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย.

บริษัท แอคทีฟ พรินท์ จำกัด, กรุงเทพฯ

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

<http://www.eng.chula.ac.th/newsletter/index.php?q=node/192>,  
20 เมษายน 2556

สมชาย แก้วจันทร์ฉาย และคณะ. 2551. ถังหมักหมักศจรรย เปลี่ยนขยะเป็นก๊าซชีวภาพ. พิมพ์ครั้งที่ 2.

สำนักพิมพ์เกษตรกรรมธรรมชาติ, กรุงเทพฯ

สำรวจ ภูบาล. 2551. แหล่งพลังงาน.

ศูนย์การเรียนรู้และผลิตสิ่งพิมพ์ระบบดิจิทัล มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร, กรุงเทพฯ

อำไพ ตีรณธนากุล. มปป. การเตรียมเชื้อเริ่มต้น.

บริษัท พิมพ์ดี จำกัด, กรุงเทพฯ

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การผลิตก๊าซชีวภาพสำหรับใช้ในครัวเรือน  
ภาควิชาสัตวศาสตร์และสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่”.(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](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
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การผลิตพลังงานทดแทนจากหญ้าเลี้ยงช้าง ข้าวพลังงาน”.(  
2013) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: <http://www.thainews70.com>, 18 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การผลิตก๊าซชีวภาพจากน้ำทิ้งในกระบวนการผลิต  
ขนมจีนโดยวิธีการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน.” (2547.)  
[ออนไลน์.] สืบค้นจาก: <http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2547-KU-Pramuan.pdf>, 20  
เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การผลิตแก๊สมีเทนจากกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่าง  
หวาน” (2551.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: [http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-KKU-  
Wandee-re.pdf](http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-KKU-Wandee-re.pdf), 20 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การผลิตก๊าซชีวภาพจากการย่อยสลายเศษอาหารภายใต้  
สภาวะไร้ออกซิเจนแบบตามลำดับสองขั้นตอนในระดับ Semi-pilot scale” (2547.)  
[ออนไลน์.] สืบค้นจาก [http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2547-KU-  
Wilawan.pdf](http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2547-KU-Wilawan.pdf), 20 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การผลิตแก๊สไฮโดรเจนจากกากชีวมวลลำต้นข้าวฟ่าง  
หวานโดยใช้จุลินทรีย์สายพันธุ์บริสุทธิ์.” (2551.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก  
<http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-KKU-Praepilas-re.pdf>, 20 เมษายน 2556

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “ก๊าซชีวภาพ กลุ่มพัฒนามาตรฐานน้ำมันเชื้อเพลิง  
สำนักคุณภาพน้ำมันเชื้อเพลิง”. (2554) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:  
[http://www.doeb.go.th/knowledge/data/2Compressed\\_Biogas.pdf](http://www.doeb.go.th/knowledge/data/2Compressed_Biogas.pdf), 17 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “ก๊าซชีวภาพ Science วิทยาศาสตร์.” (2012.)  
[ออนไลน์.] สืบค้นจาก: <http://themool.wordpress.com/category/uncategorized/>,  
17 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “ก๊าซชีวภาพพลังงานสีฟ้าง๊ากบก๊าซ LPG”. [ออนไลน์.]  
สืบค้นจาก:, [http://www.itmu.net/web/10rs21/show-webcontent.php?cat\\_id=2&mid=62](http://www.itmu.net/web/10rs21/show-webcontent.php?cat_id=2&mid=62),  
19 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การลดปริมาณมูลฝอยชุมชน ด้วยการใช้ จุลินทรีย์ธรรมชาติ (EM).”  
(2539.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก  
<http://websis.kkuacth/abstract/thesis/mph/enh/2539/enh390003t.html>, 20 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากชีวมวลของสบูดำ”  
(2551.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: [http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-MU-  
Mananya-re.pdf](http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2551-MU-Mananya-re.pdf), 20 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การศึกษาคุณภาพยอดอ้อยหมักยูเรีย ศูนย์วิจัยอาหาร  
สัตว์ขอนแก่น ต.ท่าพระ อ.เมือง จ.ขอนแก่น.” (2538.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:  
[http://www.dld.go.th/nutrition/Research\\_Knowlage/RESEARCH/research\\_full/2  
538/R3804.pdf](http://www.dld.go.th/nutrition/Research_Knowlage/RESEARCH/research_full/2538/R3804.pdf), 20 เมษายน 2556
- มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การเปรียบเทียบปริมาณก๊าซชีวภาพจากการหมักมูลสุ  
กรรวมกับใบยางพาราและมูลสุกรร่วมกับทางปาลม” (2553.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:  
<http://krumjai.files.wordpress.com/2010/11/1-eng-charoon-add.pdf>, 20 เมษายน 2556



## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “การใช้ประโยชน์ด้านเกษตรกรรมและปศุสัตว์ กลุ่มเทคโนโลยีการจัดการมลพิษ ฝ่ายคุณภาพสิ่งแวดล้อม และห้องปฏิบัติการ กรมควบคุมมลพิษ”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: <http://ptech.pcd.go.th/p2/waste-util-knowlage-view.php?kid=23>, 19 เมษายน 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ” [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php>, 17 เมษายน 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “คุณสมบัติและการให้ค่าความร้อน”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: [www.agro.cmu.ac.th/e\\_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc](http://www.agro.cmu.ac.th/e_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc), 18 เมษายน 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “โครงการพัฒนาหลักสูตรฝึกอบรมและประชาสัมพันธ์ความรู้ด้านก๊าซชีวภาพ”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: [http://www2.dede.go.th/km\\_ber/e-learn/lesson4.pdf](http://www2.dede.go.th/km_ber/e-learn/lesson4.pdf), 18 เมษายน 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “ประโยชน์ทางการเกษตร”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: <http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php>, 19 เมษายน 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “ผลของปุ๋ยหมักชีวภาพและตำแหน่งการวางของปุ๋ยหมักชีวภาพต่อการผลิตก๊าซในหลุมฝังกลบจำลอง.” (2554.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: [thesis.grad.chula.ac.th/readfile1.php?fn=ab5187141720.doc](http://thesis.grad.chula.ac.th/readfile1.php?fn=ab5187141720.doc), 20 เมษายน 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “วัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: <http://guru.google.co.th/guru/thread?tid=78c3981a0c00026c;>, 18 เมษายน 2556

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “วัตถุดิบสำหรับผลิตก๊าซชีวภาพ”. [ออนไลน์.] สืบค้นจาก: [www.agro.cmu.ac.th/e\\_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc](http://www.agro.cmu.ac.th/e_books/602472/E.../ตอนที่%203.doc), 18 เมษายน 2556

## เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ”.

[ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก : <http://th.wikipedia.org/wiki/ก๊าซชีวภาพ>, 20 ธันวาคม 2550

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร. 2554. คู่มือการจัดทำวิทยานิพนธ์และการค้นคว้าอิสระ. ม.ป.ท.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร “ศักยภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากการหมักเศษผักผลไม้และเปลือกกล้วยเล็บมือนาง” (2553.) [ออนไลน์.] สืบค้นจาก:

<http://krumjai.files.wordpress.com/2010/11/8-eng-wannakom-add.pdf>, 20 เมษายน 2556

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

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

Green Energy Net. 2009. “ทฤษฎีเบื้องต้นของระบบก๊าซชีวภาพ.” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :

[http://www.greenenergy.net/tec\\_Theory%20of%20Biogas.html](http://www.greenenergy.net/tec_Theory%20of%20Biogas.html), 20 ธันวาคม 2555

Green Energy Net. 2009. “คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ.” [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก :

[http://www.greenenergy.net/tec\\_Theory%20of%20Biogas.html](http://www.greenenergy.net/tec_Theory%20of%20Biogas.html), 20 ธันวาคม 2555

# ภาคผนวก



ภาคผนวก ก.



Bump Test Result		
O2	H2S	CO
Pass	Fail	Pass
CO2	LEL	PID
Pass	Pass	Pass
OK		

# MX6 iBrid™

## Multi-Gas Monitor

### Operation Guide

O2	SO2	H2S
19.4	0	27
%Vol	ppm	ppm
CO	LEL	PID
89	32	99
ppm	%LEL	ppm
Benzene 12:35PM		



**Part Number:** 17130279-1  
**Revision:** 5  
**Release Date:** 05.30.2012

## Table of Contents

CERTIFICATIONS .....	3
WARNINGS AND CAUTIONARY STATEMENTS.....	3
KEY FEATURES .....	8
QUICK START MENU FLOWCHARTS .....	10
CHARGING THE BATTERY .....	11
MENU OPERATION BASICS .....	13
POWER UP AND SHUT DOWN .....	14
NORMAL OPERATION MODE.....	14
VIEW MENU OPTIONS.....	16
CONFIGURATION MENUS.....	17
CALIBRATION POLICY .....	18
ZERO ALL OPTION.....	19
CALIBRATE OPTION.....	19
BUMP TEST OPTION .....	21
DATALOG MENU OPTIONS.....	22
CONFIGURATION MENUS.....	23
SENSOR SPECIFICATIONS AND CORRELATION FACTORS.....	25
WARRANTY .....	28

## CERTIFICATIONS

Directive/Code	Certification Marking	Standard
ATEX <sup>1</sup>	Ex ia IIC T4 Ga Equipment Group and Category: II 1G	EN 60079-0: 2009 EN 60079-1: 2007 EN 60079-11: 2007
IECEx <sup>2</sup>	Ex ia IIC T4 Ga T4	IEC 60079-0: 2004 IEC 60079-1: 2001 IEC 60079-11: 1999
UL <sup>3</sup>	Class I, Group A B C D T4 Class II, Group F G Class I, Zone 0, AEx ia IIC T4	UL 913 7 <sup>th</sup> Ed. UL 60079-0 5 <sup>th</sup> Ed. UL 60079-11 5 <sup>th</sup> Ed.

<sup>2</sup>The IECEx examination certificate is IECEx UL07,0004X with marking code Ex ia IIC T4 Ga for an ambient temperature range of -20°C to 40°C, with the alkaline battery P/N 17131046-3 or -20°C to 55°C with the li-ion battery pack, P/Ns 17131038-1, and 17131038-2.

<sup>1</sup>The MX6 multi-gas monitor complies with relevant provisions of European ATEX directive 94/9/EC and EMC directive 2004/108/EC.

<sup>1</sup>The EC type examination certificate is DEMKO 07 ATEX 0626395X; for equipment group and category II 1G; with marking code Ex ia IIC T4 Ga an ambient temperature range of -20°C to 40°C, with the alkaline battery pack P/N 17131046-3 or -20°C to 55°C with the li-ion battery pack, P/Ns 17131038-1, and 17131038-2.

<sup>1 and 2</sup> The MX6 multi-gas monitor is constructed with reference to published standards of directive 72/23/EEC, to eliminate electrical risks and fulfill 1.2.7 of ANNEX II of directive 94/9/EC.

<sup>3</sup>The MX6 is UL classified only as to intrinsic safety for use in Class I, Division I, Groups A B C D; T4 and Class II, Groups F, and G and Class I, Zone 0, AEx ia IIC T4 classified locations with the li-ion battery pack P/Ns 17131038-1, and 17131038-2 for T ambient ≤ 55°C or alkaline battery pack P/N 17131046-3 for T ambient ≤ 40°C.

## WARNINGS AND CAUTIONARY STATEMENTS

**IMPORTANT:** Failure to perform certain procedures or note certain conditions may impair the performance of this product. For maximum safety and optimal performance, please read and follow the procedures and conditions listed below.



**IMPORTANT:** Read and understand this manual before operating.



**IMPORTANT:** The instrument must be charged before its first use.









**IMPORTANT:** Be sure to turn off the instrument before (1) servicing the unit or (2) replacing the battery.



**IMPORTANT:** Battery contacts are exposed on battery packs when they are removed from the instrument. Do not touch the battery contacts and do not stack battery packs on top of each other.

-  **Warning:** Explosion hazard. Only replace batteries in non-hazardous locations. Alkaline battery pack is only approved for use with Duracell MN 1500 or Rayovac LR6 batteries. Do not mix batteries from different manufacturers. Replace all batteries at the same time.
-  Prior to each day's use, a bump test should be performed. If the instrument does not pass the bump test, a full calibration is recommended.
-  Oxygen deficient atmospheres may cause combustible gas readings to be lower than actual concentrations.
-  Oxygen enriched atmospheres may cause combustible gas readings to be higher than actual concentrations.
-  Verify the calibration of the combustible gas sensor after any incident where the combustible gas content has caused the instrument to display an over-range condition.
-  Silicone compound vapors or other known contaminants may affect the combustible gas sensor and cause readings of combustible gas to be lower than actual gas concentrations. If the instrument has been used in an area where silicone vapors were present, always calibrate the instrument before next use to ensure accurate measurements.
-  Sensor openings and water barriers must be kept clean. Obstruction of the sensor openings and/or contamination of the water barriers may cause readings to be lower than actual gas concentrations.
-  Sudden changes in atmospheric pressure may cause temporary fluctuations in the oxygen reading.
-  Charge battery, service unit, and use its communication port only in non-hazardous locations. Not for use in oxygen-enriched atmospheres.
-  **WARNING:** Substitution of components may impair intrinsic safety and may cause an unsafe condition.  
**AVERTISSEMENT:** La substitution de composants peut compromettre la sécurité intrinsèque.
-  **CAUTION:** For safety reasons, this equipment must be operated and serviced by qualified personnel only. Read and understand the instruction manual completely before operating or servicing.  
**ATTENTION:** Pour des raisons de sécurité, cet équipement doit être utilisé, entretenu et réparé uniquement par un personnel qualifié. Étudier le manuel d'instructions en entier avant d'utiliser, d'entretenir ou de réparer l'équipement.
-  **CAUTION:** High off-scale readings may indicate explosive concentration.  
**ATTENTION:** Des lectures supérieures à l'échelle peuvent indiquer des concentrations explosives.
-  **CAUTION:** Any rapid up-scale reading followed by a declining or erratic reading may indicate a gas concentration beyond the upper scale limit which may be hazardous.
-  Canadian standards association (CSA) has assessed only the combustible gas detection portion of this instrument for performance according to CSA standard C22.2 No. 152. CSA No. 152 certification applies when the instrument is calibrated to 50% LEL CH<sub>4</sub>, and for a temperature range of 0°C to 40°C.



-  **CAUTION:** Before each day's usage, sensitivity must be tested on a known concentration of pentane or methane equivalent to 25%-50% of full scale concentration. Accuracy must be within -0% to +20% of actual concentration. Accuracy may be corrected by referring to the zero/calibration section of the instruction manual.
-  The MX6 multi-gas monitor is certified as intrinsically safe for Zone 1 Classified Areas within an ambient temperature range of -20°C to 40°C, with the alkaline battery pack and -20°C to 55°C with the li-ion battery pack.
- NOTE: The MX6 is CSA certified according to the Canadian Electrical Code for use in Class I, Division 1 Hazardous Locations within an ambient temperature range of -40°C to 40°C for the alkaline battery pack and -40°C to 55°C for the li-ion battery pack.
-  The MX6 multi-gas monitor is constructed with reference to published standards of directive 2006/95/EC, to eliminate electrical risks and fulfill 1.2.7 of ANNEX II of directive 94/9/EC.
-  **WARNING:** The use of leather cases can produce inaccurate readings with diffusion (non-aspirated) gas detection instruments for specific monitoring applications. Leather cases should be used **ONLY** as carrying cases, and **NOT** for continuous monitoring, with diffusion instruments configured to measure gases **other than** O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, and combustible gases (LEL/CH<sub>4</sub>).
-  Industrial Scientific recommends the "2 & 2 Sampling Rule" when sampling with a motorized pump and tubing, one should allow for 2 minutes plus 2 seconds per foot of tubing used, prior to noting the monitor readings. This allows time for the gas to reach the instrument and for the sensors to react adequately to any gases present. ISC recommends that Teflon-lined Universal Tubing Kit, part number 18109206, be used with the pumped versions of the MX6 iBrid when sampling for the following gases: Chlorine (Cl<sub>2</sub>), Chlorine Dioxide (ClO<sub>2</sub>), Hydrogen Chloride (HCl), or volatile organic compounds (VOCs). VOCs are detected using Photo Ionization Detector sensors (PIDs).
-  Contact your service representative immediately if you suspect that the MX6 monitor is working abnormally.

*Specifications subject to change.*

▽ ▽ ▽

The following instructions pertain to the use of the MX6 in conjunction with MSHA approval.

**Conditions of Use:**

MSHA approved for use with the following battery packs only:

- (A) Replaceable alkaline battery pack, P/N 1713-1046-6, consisting of three each of either of the following 1.5 V battery types: Duracell MN 1500 or Rayovac LR6.
- Do not mix batteries from different manufacturers.
  - Batteries must be replaced in fresh air.
  - Replace all batteries at the same time.
- (B) Rechargeable lithium-ion battery pack P/N 1713-1038-4, or -5, containing two or three 3.6V, 1.8 amp-hour Lithium Batteries.
- The lithium-ion cells are not user-replaceable.
  - The lithium-ion pack must be charged in fresh air only.

**CAUTION:** For compliance determinations required by 30 CFR 75, Subpart D, the monitor must display "CH4" and "%VOL" during the monitor's start-up sequence.

**CAUTION:** The Model MX6 iBrid Multi-Gas Monitor must be configured to include a catalytic sensor, Model 4L-LEL, P/N 1710-5081, (CH4, 0-5% v/v).

**CAUTION:** The IR (infrared) methane sensor reading is not to be used for methane concentrations below 5% in air.

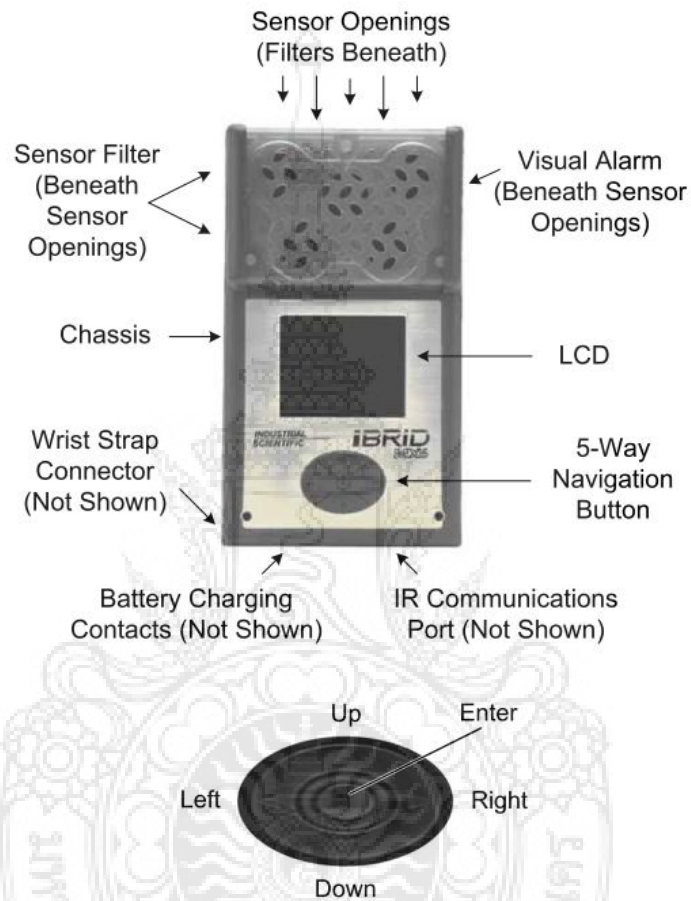
**CAUTION:** The Model MX6 iBrid Multi-Gas Monitor must be calibrated according to the procedure specified in the instruction manual.

**CAUTION:** In applications requiring MSHA certification, the IR sensor for detecting up to 100% v/v methane-in-air the sensor must be calibrated manually; the DS2 docking station cannot be used to calibrate the IR sensor. The recommended calibration gas for IR methane sensor calibration is 99% volume methane.

**CAUTION: When calibrated using methane concentrations less than 5% of volume, reading accuracy of the infrared methane sensor may not be guaranteed to be better than +/-20%**

### Hardware Overview

The MX6 multi-gas monitor is Industrial Scientific Corporation's next-generation handheld, "dockable," multiple gas monitoring instrument. It includes up to five temperature-compensated sensors to monitor up to six ambient gases across the full temperature range of the instrument.



**NOTE:** The backlight of the LCD is enabled for 7 seconds each time a button is pressed. Any additional button press during the 7 seconds reset the timer for an additional 7 seconds.

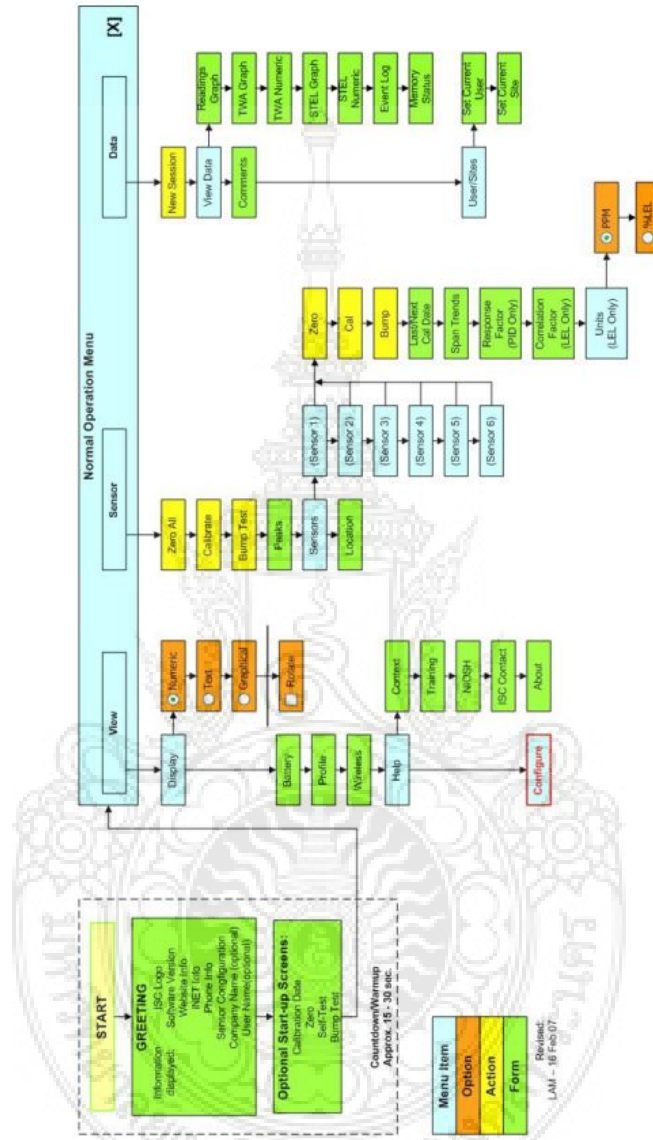
### Key Features

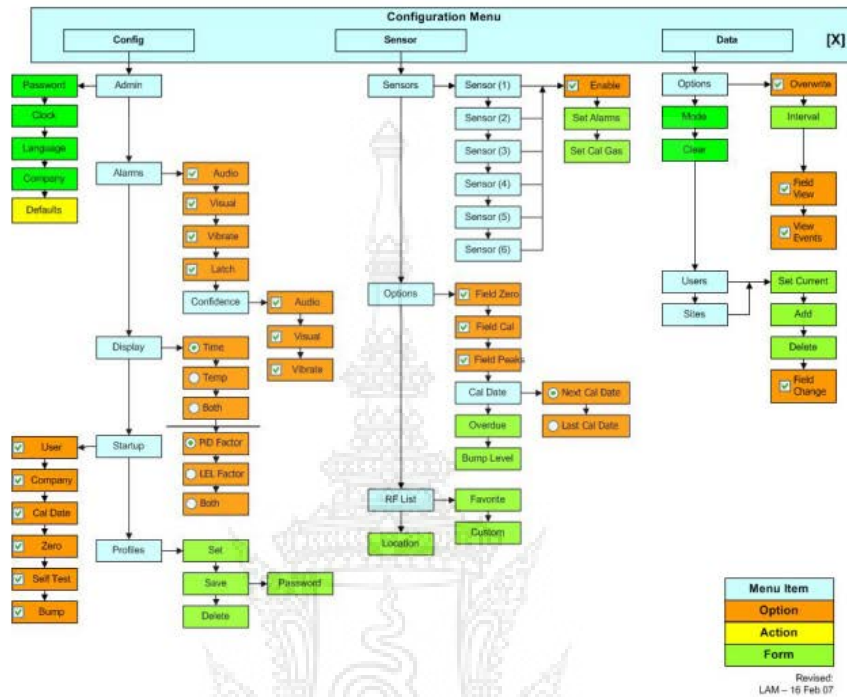
Audio Indicator	<p>Used for alarming, warnings, and the optional confidence indicator. There are two levels of audio gas alarms based on the frequency of the beeps and the length of delay between beeps.</p> <p>Low-level (level-1)    Low frequency beeps with a long delay  High-level (level-2)    High frequency with short delay</p> <p>For all sensors but oxygen, if the gas reading is above the high alarm level, the instrument sustains the high alarm until the gas reading is below the high alarm level, then the instrument switches to the low alarm until the gas reading is below the low alarm level. For the oxygen sensor, a high alarm only is indicated for both oxygen enrichment and depletion.</p>
Vibrating Alarm	Optional pulsing alarm that is used for limit alarms and as a confidence indicator.
Visual Alarm	<p>The instrument has alarm LEDs located beneath the opaque sensor array at the top of the unit. There are two levels of visual alarms based on the length of delay between the LED flashes.</p> <p>Low-level (level-1)    LEDs are pulsed with a long delay  High-level (level-2)    LEDs are pulsed with a short delay</p> <p>The LCD backlight flashes as part of all alarm sequences, except for the battery low condition. The visual alarm is also used as the confidence indicator which, when enabled, blinks the LEDs once every 30 seconds.</p>
Infrared (I/R) Port	An optical media interface (per IrDA physical layer specification) is located on the bottom of the instrument and is used for infrared (I/R) data transmissions at speeds of 115200 bytes/second.
Clip/Connector	Located on the back of the MX6 for hands-free gas monitoring. A wrist strap is also provided to protect against drops during operation.
Cradles	<p>Three different cradles are available for use with the MX6 multi-gas monitor.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Charger                      Charge the internal batteries</li> <li>• Datalink                     Download data (e.g., events) to a host computer</li> <li>• Charger/Datalink        Combination of both.</li> </ul>



Color LCD	The STN color graphic liquid crystal display (LCD) uses a 256-color palette (including a gray scale) and graphics for displaying information.		
Menu-Driven User Interface	<p>The user interface is menu-driven and contains the LCD, Navigation Button, Audio Indicator, Vibrating Alarm, and Visual Alarm. It consists of two different main menus. The background color of the LCD identifies the current menu.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Normal Operation Menu      White background on LCD</li> <li>• Configuration Menu            Yellow background on LCD.</li> </ul> <p>During Normal Operation Mode, the menu bar is hidden, but can be displayed by pressing the center [ENTER] navigation button. The menu bar has a five-second time out. If no button is pressed within five seconds of the menu being activated, it is deactivated.</p>		
Security	Access to the Configuration Menu can be protected using a security password. When activated, this password must be entered in order to access and change the parameters within the Configuration Menu.		
Alarm Events	Fifteen alarm events for the instrument are recorded into a FIFO queue in non-volatile memory and are time stamped. An event is recorded any time that the instrument goes into alarm. Event information (which can be downloaded from the instrument) includes instrument serial number, sensor type, sensor serial number, gas type, peak exposure level, alarm duration in minutes and seconds, and date and time that alarm occurred.		
Error Events	Fifteen error events for the instrument are recorded into a FIFO queue in non-volatile memory and are time stamped. An error event is recorded any time that a fault occurs (including pump faults and fault events during the self-test). The information stored for each event includes instrument serial number, fault that occurred, fault error code, date and time stamp, and any pertinent data (i.e., pump current reading).		
Datalog	<p>Datalogging is a feature that allows a variety of system parameters to be recorded at regular intervals (and saved internally) for retrieval (and viewing) at a later date. The datalog feature saves the following information:</p> <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas Type</li> <li>• Time of Day</li> <li>• Temperature</li> <li>• Alarm Conditions Flagged</li> <li>• STEL</li> <li>• Snapshot Enabled/Disabled</li> </ul> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas Reading</li> <li>• Date</li> <li>• Battery Level</li> <li>• User ID</li> <li>• Site ID</li> <li>• TWA</li> </ul> </td> </tr> </table> <p><b>NOTE:</b> Data saved for one year can be downloaded within 15 minutes.</p> <p><b>NOTE:</b> Data is saved in case of power loss.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas Type</li> <li>• Time of Day</li> <li>• Temperature</li> <li>• Alarm Conditions Flagged</li> <li>• STEL</li> <li>• Snapshot Enabled/Disabled</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas Reading</li> <li>• Date</li> <li>• Battery Level</li> <li>• User ID</li> <li>• Site ID</li> <li>• TWA</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas Type</li> <li>• Time of Day</li> <li>• Temperature</li> <li>• Alarm Conditions Flagged</li> <li>• STEL</li> <li>• Snapshot Enabled/Disabled</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gas Reading</li> <li>• Date</li> <li>• Battery Level</li> <li>• User ID</li> <li>• Site ID</li> <li>• TWA</li> </ul>		

Quick Start Menu Flowcharts





## Charging the Battery

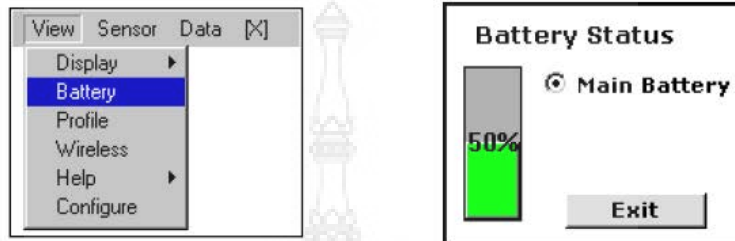
The MX6 multi-gas instrument is powered using an internal alkaline or Lithium-ion (Li-ion) rechargeable battery. The Li-ion battery is partially charged before it leaves the factory, but must be fully recharged prior to use. To charge the battery, follow the steps listed below.

1. Insert the power cord of the charging cradle into an appropriate wall outlet.
2. Place the instrument in a Charger or Charger/DataLink cradle.
3. Note that the LCD on the MX6 shows that the battery is charging.
4. Wait 8 hours for the MX6 to be fully charged.



Under the main menu [View] option, there is a [Battery] menu option. The menu provides a link to the Battery Status screen.

The Battery Status screen shows approximately how much run-time is left on the instrument. The instrument polls the battery manager every second to get a battery voltage reading. The user is able to cycle through the main battery and any attached modules to get the battery status.

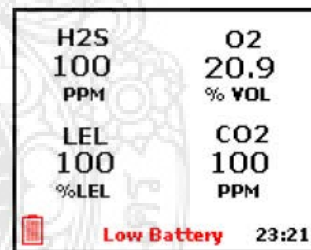


**NOTE:** The Battery Status screen is shown for 15 seconds, after which, the instrument returns to the Normal Readings screen.

The Battery icon on the NRS visually reflects the current status of the battery life as well.

	% Charge Remaining				
	100%	>75%	>50%	>25%	>5%
Icons					
Color	Blue	Blue	Blue	Blue	Yellow

**NOTE:** If the battery life remaining is less than one hour, the battery icon also flashes on the display and has an audible battery low alarm. If the runtime is less than 10 minutes, instrument alerts the user of impending shutdown by showing "Low Battery" on the lower central part of the display, where the response factor would be. If there is a response factor there, the "Low Battery" is displayed instead of the response factor.





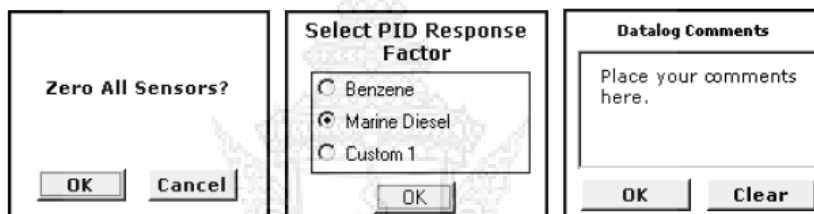
## Menu Operation Basics

The actions that are initiated by pressing the five-way navigation button may vary significantly based on (1) the user's location within the menu structure, and on (2) a particular action item of interest (of many) on one individual screen. Focus refers to a way of identifying that single item (from possibly several items) on the LCD screen.

There are several types of "indicators" that may be present on any given LCD screen within the menu structure of the MX6 instrument. These indicators include:

- single function buttons (e.g., OK button)
- radio buttons (e.g., select user profile)
- check box buttons (e.g., an enable/disable check box)
- text box windows (e.g., user-supplied site name)
- combo box windows (combinations of these).

Typically, the [LEFT] and [RIGHT] navigation buttons are used to change the current focus and cycle through those items on the screen that allow some form of user intervention. The item that currently has the focus is usually denoted with highlighting or a border.



The actions of other buttons are typically dependent on the type of item that has focus. For example, when a checkbox control has focus, the center [ENTER] navigation button toggles the check on and off. When a group of radio button controls has focus, the [UP] and [DOWN] navigation buttons are used to switch focus between the controls and the center [ENTER] navigation button is used to complete the selection.

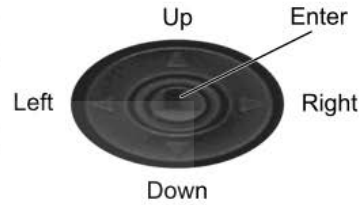
When a text box is displayed, the user changes the value of each character one at a time. Once the focus is on the text box, pressing [ENTER] allows changes to be made to the character values in the text box. The user changes the character value of the field by using the [UP] and [DOWN] navigation buttons. The list of available characters varies by text box. The user advances to the next character using the [RIGHT] navigation button. The user can backspace to the previous character using the [LEFT] navigation button.

To get the focus on the combo box, the center [ENTER] navigation button must be pressed. If the user presses the [UP] or [DOWN] navigation buttons when the focus is on the combo box, the user can scroll through the list of entries. To select one, the user must press the [ENTER] navigation button once the focus is on the desired entry. Pressing the [RIGHT] or [LEFT] key removes the focus from the combo box.

If the backlight is off, the first button press only turns on the backlight. If the backlight is on, the first button press triggers the action.

**Power Up and Shut Down**

Two key operation basics are powering up the instrument and shutting it down. To power up the MX6 instrument, locate, press and hold the center [ENTER] navigation button for at least 3 seconds.

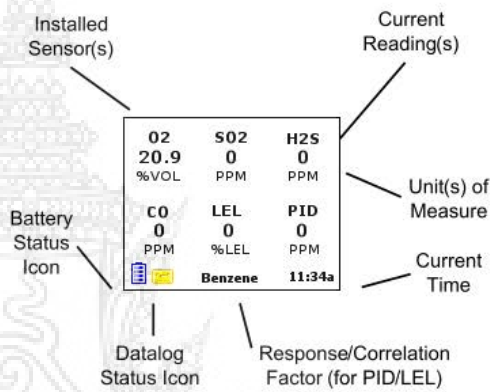


After power up, a series of startup screens are displayed on the LCD. Optional startup screens may be displayed depending on your configuration.

To shut down the instrument, hold the center [ENTER] navigation button for more than two seconds. A confirmation screen is displayed to provide verification of the shut down.

**Normal Operation Mode**

After the optional Startup Self Test is completed, the instrument displays the Normal Operation Mode. The Normal Readings screen is the default screen displayed while the instrument is in Normal Operation Mode. Other options include View Menu Options, Sensor Menu Options, and Datalog Menu Options. Configuration menus and options are accessed through the Configuration option of the View Menu.



Up to six sensors may be installed in the instrument. As a result, the screen layout of sensor information varies based on the number of sensors that are actually installed.

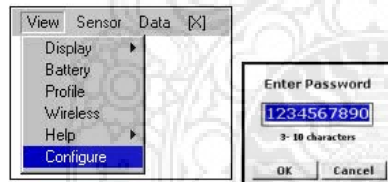
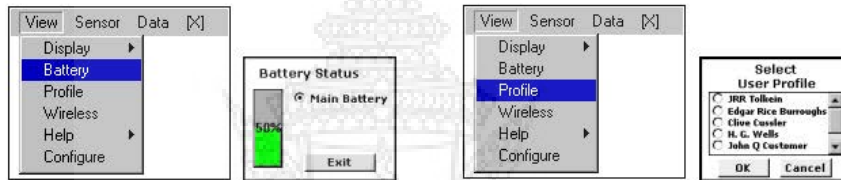
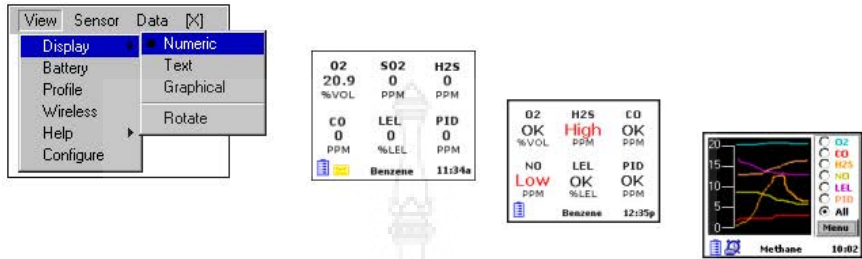
Display Component	Attribute	Normal Mode	Alarm Mode
Sensor Name	Color	Black	Black
	State	Solid	Solid
Sensor Reading	Color	Black	Red
	State	Solid	Solid
Sensor Units	Color	Black	Black
	State	Solid	Solid

**NOTE:** For over range conditions, a blinking “OR” is displayed in red as the sensor value. If the alarm is a STEL or TWA, the word “STEL” or “TWA” are shown to indicate the corresponding alarm.

Sensor names are displayed as solid black text during normal operation, and blinking black text during alarm conditions. The sensor readings are displayed as solid black numerals during normal operation, and solid red numerals during alarm conditions. Units (e.g., % Vol, ppm, %LEL, etc.) are displayed as black text beneath the sensor readings. Below is a summary of navigation instructions available for the Normal Readings Screen (NRS).

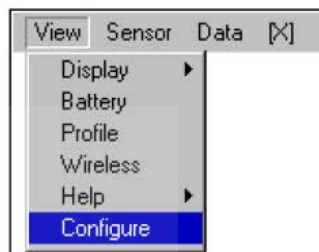
<b>Destination</b>	<b>Description</b>
Menu Display	Press and release the center [ENTER] navigation button. Use the [UP], [DOWN], [LEFT] and [RIGHT] navigation buttons to navigate the menus. Once activated, the menu is deactivated if no buttons are pressed within five seconds.
Shutdown	Hold the center [ENTER] navigation button for more than two seconds.
Battery Status	From the [VIEW] option, select [BATTERY] to view the battery status.
Datalog Memory Status	From the [DATA] menu option, select [VIEW DATA] then [MEMORY STATUS] to display the Datalog Memory Status screen.
Sensor Selection	<p>When there is more than one sensor, it is possible to view the installed sensors one at a time. Pressing either the [LEFT] or [RIGHT] navigation button causes the Sensor Selection (SS) menu to be displayed along the right side of the screen.</p> <p>The Sensor Selection menu lists the currently installed sensor and the selection “All” (the default). Navigate the Sensor Selection list using the [UP] and [DOWN] navigation buttons (with wrap-around).</p> <p>When a sensor is selected, press the center [ENTER] navigation button to display the selected sensor in Single Sensor Layout mode. The SS menu remains on the left. If the “All” list item is selected and the center [ENTER] navigation button is pressed, all currently installed sensors are displayed and the SS menu is deactivated. When the SS menu is activated and a sensor other than the one selected goes into alarm, then that sensor alarm type (in red) is cycled with the sensor name.</p>

View Menu Options



## Configuration Menus

Under the main menu [View] option, there is a [Configure] menu option. This menu provides access to the Configuration screens of the instrument. The user must enter a password to get to the Configuration Menus (if a password has been set). If the password is still the factory default of nothing, no password protection is set. In this case, the instrument directly enters Configuration mode.



If the password is anything other than the factory default value, the [Password] screen is displayed. The [Password] screen is used to enter a password for verification, as well as changing the current password. This password can and should be different than the user profile passwords.

**NOTE:** Passwords are a minimum of three characters and a maximum of 10.



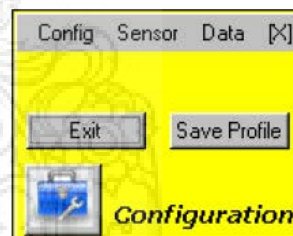
**NOTE:** If the user uses any navigation buttons while this screen is displayed, the screen time-out timer is suspended. The screen time-out timer suspends for 30 seconds after the last navigation button is pressed.

**NOTE:** If the user doesn't remember the password, entering "412" as the password and pressing the [LEFT] and [RIGHT] navigation buttons simultaneously resets the password to nothing.

The initial Configuration Screen consists of several pieces of information:

- Config, Sensor, and Data Menus
- Exit button
- Save Profile button.

**NOTE:** All screens under the Configuration menu have a yellow background.



The Exit Button and the [X] exits Configuration mode and returns to the Normal Readings screen. Changes to the configuration are saved while the instrument remains on, but do not affect the current profile.

The Save Profile Button exits the Config mode and returns to the Normal Readings screen. Changes to the configuration are saved to the current profile.

---

**NOTE:** To reset the password to nothing, the user must enter “412” as the password, and then press and hold the [LEFT] and [RIGHT] navigation buttons simultaneously.

---

**NOTE:** If a time for a configuration screen to remain showing is not specified in this document, it is 90 seconds. After 90 seconds the instrument returns to the main Configuration screen. After 5 minutes of being on the main configuration screen, the instrument returns to the NRS.

---

**NOTE:** If the instrument is still reading gas while in configuration mode, and there is an alarm, the instrument returns to the normal readings screen, but then allows the user to go back into the Configuration menu.

---

The Configuration, Sensor, and Datalog menus are explained in their own chapters later in this manual.

### **Calibration Policy**

Gas detection instruments are potentially life-saving devices. Recognizing this fact, Industrial Scientific Corporation recommends that a functional (“bump”) test be performed on every instrument prior to each day’s use. A functional test is defined as a brief exposure of the monitor to a concentration of gas(es) in excess of the lowest alarm setpoint for each sensor for the purpose of verifying sensor and alarm operation and is not intended to be a measure of the accuracy of the instrument. If an instrument fails to operate properly following any functional “bump” test, full instrument calibration should be performed prior to use. If conditions do not permit daily testing, bump tests may be done less frequently based on instrument use, exposure to gas, and environmental conditions. The frequency of testing is best determined by company policy or local regulatory agencies.

Industrial Scientific further recommends that a full instrument calibration be performed using a certified concentration(s) of Industrial Scientific branded calibration gas(es) monthly to ensure maximum accuracy. Use of calibration gases from manufacturers other than Industrial Scientific may void product warranties and limit liability claims against the manufacturer.

These recommendations are based on safe work procedures, industry best practices and regulatory standards to ensure worker safety. Industrial Scientific is not responsible for setting safety practices and policies.

 Prior to each day’s use, a bump test should be performed. If the instrument does not pass the bump test, a full calibration is recommended.



### Zero All Option

Under the main menu [Sensor] option, there is a [Zero All] menu option.

If [Zero All] is selected, the MX6 displays the verification question. At this time, the focus is on the OK button.

- If Cancel is selected, the user is returned to the NRS and the zeroing is skipped.
- If the OK button is selected, the zeroing of the sensors starts.

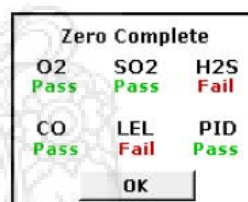
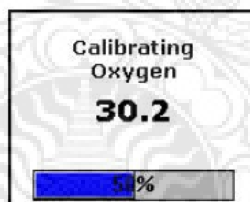
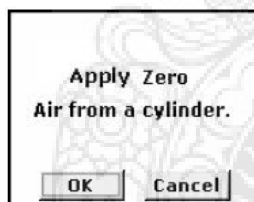
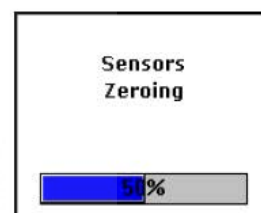
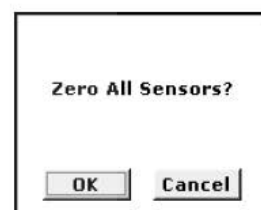
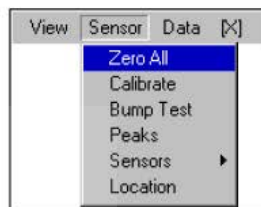
If there is a CO<sub>2</sub> sensor present in the instrument, it is zeroed last. Zero air must be applied to zero a CO<sub>2</sub> sensor. The instrument prompts the user to apply zero air. The focus is on the OK button. If the user selects the OK button, the CO<sub>2</sub> sensor starts zeroing.

By pressing the [LEFT] or [RIGHT] key, the focus moves from the OK button to the Cancel button and back again. If the user selects Cancel, the CO<sub>2</sub> sensor is not zeroed.

If there is an oxygen sensor installed in the instrument, it is calibrated during the zeroing operation.

When the zero is finished, the results screen is displayed.

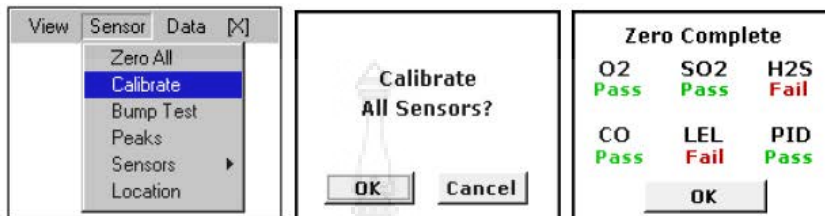
Selecting OK, by pressing [ENTER] when the focus is on the OK button, returns the instrument to the NRS. If OK is not selected, the instrument asks if the user wants to calibrate after a 15 second time-out. The calibration confirmation screen will have focus on the Cancel button.



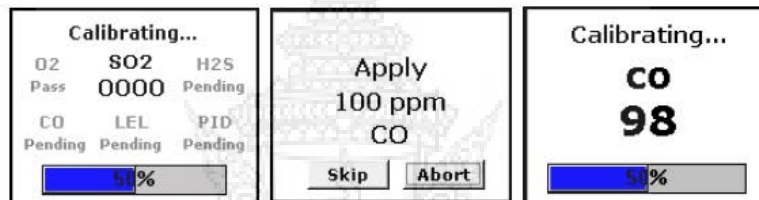
### Calibrate Option

The instrument alarms are deactivated during the calibration to save battery life. If the [Calibrate] option is selected, the instrument displays the confirmation screen shown below. If Cancel is selected, the user is returned to the NRS.

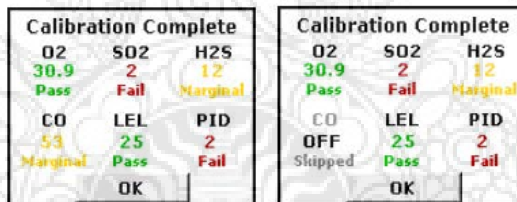
If the user selects OK, all the installed sensors are zeroed first (following the Zero All steps) and then calibrated. After the zero, the results are shown, for 5 seconds and then the calibration of the first sensor begins.



The screen to alert the user to connect gas to the instrument is then shown. Once the sensor starts to read gas, the calibration begins. The user has 5 minutes to apply gas before the calibration times out. Gas should be applied at a flow rate of 0.5 lpm. If the user chooses to skip the sensor, the instrument will move to the next sensor. The Abort option aborts the calibration and shows the Cal Complete screens.



When the calibration is finished, the following screen shows the passed, marginal, skipped, and failed sensors, when six sensors are installed. All passing sensors must first pass a zero check.

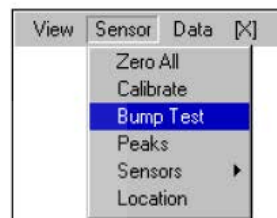




## Bump TEST Option

Under the main menu [Sensor] option, there is a [Bump Test] menu option.

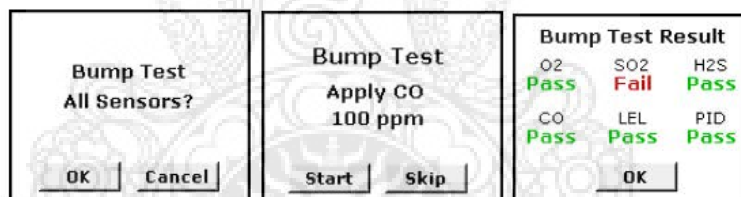
If the [Bump Test] option is selected, a confirmation screen is displayed. If Cancel is selected, the user is returned to the NRS. If the user selects OK, all the installed sensors are bump tested, starting with the first sensor.



The screen to alert the user to apply gas to the instrument is then shown. The user has a fixed number of seconds to apply gas and select Start before the bump times out. If the user selects Skip, the bump for this particular sensor is not done. The instrument moves on to the next sensor in the list.

If the user selects Start, the bump test is started for this sensor. The sensor must reach a gas reading of 50% or greater (user selectable in configuration menu) of the applied gas (calibration) concentration within 60 seconds (user selectable in configuration menu) to pass. Once the sensor has done so, the word "pass" is displayed for 3 seconds before the instrument moves on to the next sensor.

After all the sensors installed in the instrument have been bump tested, a result screen is shown. The user must acknowledge this screen to continue, by selecting the OK button. If all the sensors have passed the bump test, the instrument goes into NRS. If any sensor failed the bump test, after viewing and acknowledging the results, the instrument asks the user to continue, or calibrate the failing sensor(s). If the user selects the Cancel button, the sensor is not calibrated and the instrument moves on to the next sensor in the list. If the user selects OK, the failing sensor is calibrated.



If there is more than one sensor that failed the bump test, they are calibrated in order (top row left to right, bottom row left to right on the Normal Readings screen), one at a time – each time prompting the user to choose whether to calibrate the sensor or not.

**Datalog Menu Options**

The screenshots illustrate the following menu structure and options:

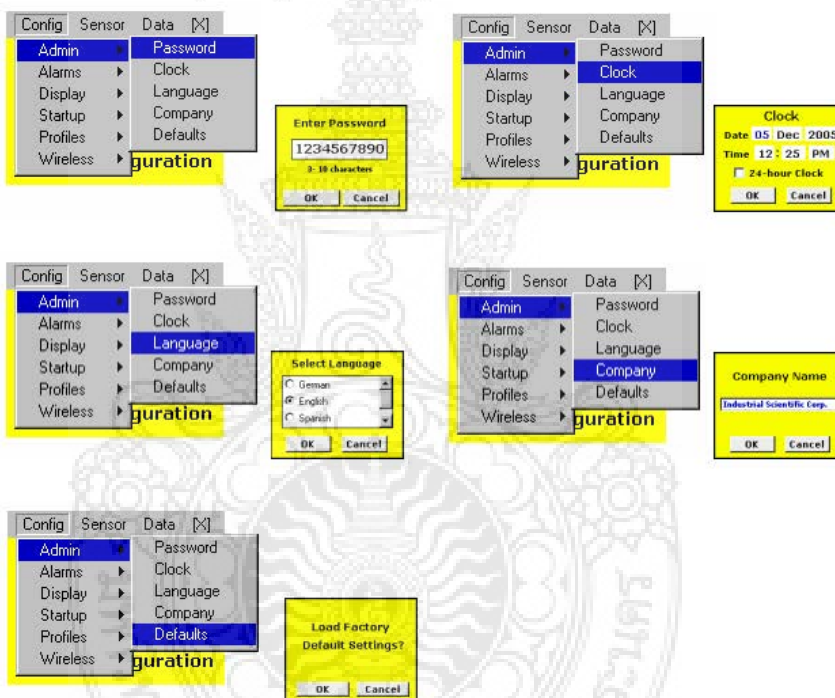
- Main Menu:** View | Sensor | Data [X]
- Data Menu:**
  - New Session
  - View Data ▶
  - Comments ▶
  - User/Sites ▶
- View Data Sub-Menu:**
  - Readings Graph
  - TWA Graph
  - TWA Numeric
  - STEL Graph
  - STEL Numeric
  - Event Log
  - Memory Status
- User/Sites Sub-Menu:**
  - Set Current User
  - Set Current Site
- Other Screens:**
  - Create New Session? (OK, Cancel)
  - Datalog Trends (Graphs for SO2, CO, H2S, PID, All)
  - STEL Trends (Graphs for SO2, CO, H2S, PID, All)
  - Event 15 of 15: Sensor: H2S, Peak: 22 PPM, Alarm Time: 0 hr 2 min 44 sec, Date: 23 May 06, Time: 23:45:21
  - Datalog Memory: Recording Interval: 60 seconds, Current Session: 3, Remaining Time: 107 Days, 13:14:46
  - Datalog - Set User: JRR Telkein, Edgar Rice Burroughs, Clive Cussler, H. G. Wells, John Q Customer
  - Datalog - Set Site: Power Plant, Department 6, Control Room, Department 12

## Configuration Menus

These are similar to the earlier menus, but these menus provide a deeper layer of access for detailed operational configuration of the device. As such, the settings presented in these three chapters should only be adjusted by experienced personnel, as inadvertent or accidental changes to these settings could alter the devices operation significantly. To prevent inadvertent or accidental changes to these critical parameters, these settings, which are collectively referred to as the "Configuration/Administration Menus," are password protected.

Options of the Admin menu include the following:

- Password (Setting passwords)
- Clock (Setting time and date)
- Language (Language settings)
- Company (Company information)
- Defaults (Restoring default settings).

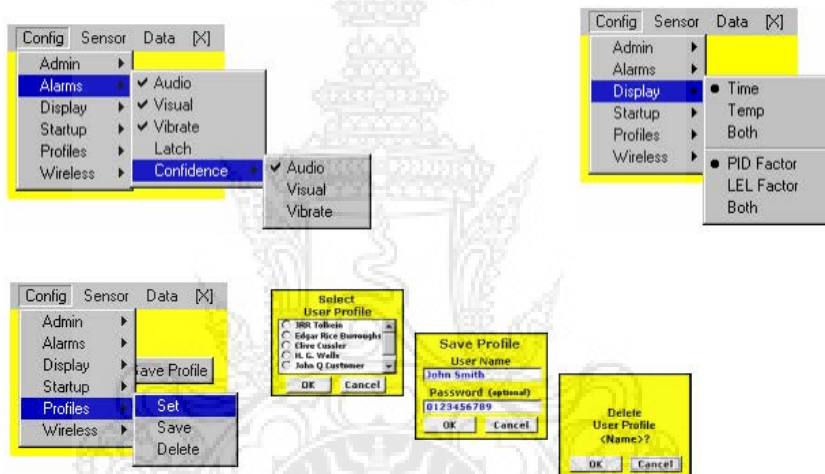


The [Config] [Alarms] menu option allows the user to setup the alarms. Each of these alarm options are checkbox items which can be toggled between checked and unchecked by focusing on it and pressing enter.

If any two of these alarms are disabled and the user checks the box to disable the third alarm, a screen is displayed to verify this action. Selecting OK disables the third and final alarm. A screen is displayed, notifying the user of the action.



If all 3 alarms are disabled, "ALARMS OFF!" is displayed on the bottom of the NRS in red.



## SENSOR SPECIFICATIONS AND CORRELATION FACTORS

### Sensor specifications

Sensor Category Gas Names	Abbreviation	Sensor technology <sup>1</sup>	Sensor properties				Accuracy		Response time (typical)	
			Measurement range (% vol, %LEL, or ppm)	Measurement resolution	Sensor temperature range (degrees °)	Sensor RH range (%)	At temperature of calibration (%)	Over full sensor temperature and RH ranges (%)	T50	T90
Oxygen										
Oxygen	O <sub>2</sub>	E	0% to 30% vol	0.1% vol	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 0.5	± 0.8	5	10
Combustible										
Combustible	LEL	C	0% to 100% LEL (or 10 ppm)	1.0% LEL	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15	35
Combustible	LEL	IR	0% to 100% LEL	1.0% LEL	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15	35
Methane	CH <sub>4</sub>	IR	0% to 100% LEL	1.0% LEL	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	10	25
Methane	CH <sub>4</sub>	C	0% to 5% vol	0.01% vol	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15	35
Toxic										
Ammonia	NH <sub>3</sub>	E	0 to 500 ppm	1.0 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	30 s	80 s
Carbon Dioxide	CO <sub>2</sub>	IR	0% to 5% vol	0.01% vol	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	10 s	25 s
Carbon Monoxide	CO	E	0 to 1,500 ppm	1.0 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s
Carbon Monoxide	CO	E	0 to 9,999 ppm	1.0 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s
Carbon Monoxide and Hydrogen Sulfide (COSH sensor)	CO	E	0 to 1,500 ppm	1.0 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s
	H <sub>2</sub> S	E	0 to 500 ppm	0.1 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s

## Sensor specifications

Sensor Category Gas Names	Abbreviation	Sensor technology <sup>1</sup>	Sensor properties				Accuracy		Response time (typical)	
			Measurement range	Measurement resolution	Sensor temperature range	Sensor RH range	At temperature of calibration	Over full sensor temperature and RH ranges	T50	T90
			(%vol, %LEL, or ppm)		degrees (°)	(%)	(%)	(%)	Seconds (s)	
Chlorine	Cl <sub>2</sub>	E	0 to 100 ppm	0.1 ppm	41°C to 50°C (106°F to 122°F)	15 to 95	± 10.0	± 25.0	25 s	120 s
Chlorine	Cl <sub>2</sub>	E	0 to 100 ppm	0.1 ppm	-20°C to 40°C (-4°F to 104°F)	15 to 95	± 10.0	± 15.0	25 s	120 s
Chlorine Dioxide	ClO <sub>2</sub>	E	0 to 1 ppm	0.01 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	30 s	120 s
Hydrogen	H <sub>2</sub>	E	0 to 2,000 ppm	1.0 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	35 s	120 s
Hydrogen Chloride	HCl	E	0 to 30 ppm	0.1 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	50 s	150 s
Hydrogen Cyanide	HCN	E	0 ppm to 30 ppm	0.1 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	25 s	80 s
Hydrogen Sulfide	H <sub>2</sub> S	E	0 to 500 ppm	0.1 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s
Nitrogen Dioxide	NO <sub>2</sub>	E	0 to 150 ppm	0.1 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s
Nitric Oxide	NO	E	0 to 1,000 ppm	1.0 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s
Phosphine	PH <sub>3</sub>	E	0 to 150 ppm	0.01 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	10 s	30 s
Phosphine	PH <sub>3</sub>	E	0 to 1,000 ppm	1.0 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	10 s	50 s
Sulfur Dioxide	SO <sub>2</sub>	E	0 to 150 ppm	0.1 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 5.0	± 15.0	15 s	50 s
Volatile Organic Compounds	VOC	10.6 eV (PID)	0 to 2,000 ppm	0.1 ppm	-20°C to 55°C (-4°F to 131°F)	15 to 95	± 10.0	± 20.0	15 s	50 s

<sup>1</sup> Sensor technology: "C" stands for catalytic, "E" for electrochemical, "IR" for infrared, and "PID" for photoionization detector.

## LEL and LEL correlation factors for combustible gases

Sample gas*	LEL (% vol)	LEL correlation factors					
		Calibration gas					
		Butane	Hexane	Hydrogen	Methane	Pentane	Propane
Acetone	2.5%	1.00	0.70	1.70	1.70	0.90	1.10
Acetylene	2.5%	0.70	0.60	1.30	1.30	0.70	0.80
Benzene	1.2%	1.10	0.80	1.90	1.90	1.00	1.20
Butane	1.9%	1.00	0.58	1.78	1.67	0.83	1.03
Ethane	3.0%	0.80	0.60	1.30	1.30	0.70	0.80
Ethanol	3.3%	0.89	0.52	1.59	1.49	0.74	0.92
Ethylene	2.7%	0.80	0.60	1.40	1.30	0.70	0.90
Hexane	1.1%	1.71	1.00	3.04	2.86	1.42	1.77
Hydrogen	4.0%	0.56	0.33	1.00	0.94	0.47	0.58
Isopropanol	2.0%	1.10	0.90	2.00	1.90	1.00	1.20
Methane	5.0%	0.60	0.35	1.06	1.00	0.50	0.62
Methanol	6.0%	0.60	0.50	1.10	1.10	0.60	0.70
Nonane	0.8%	2.22	1.30	3.95	3.71	1.84	2.29
Pentane	1.4%	1.21	0.71	2.15	2.02	1.00	1.25
Propane	2.1%	0.97	0.57	1.72	1.62	0.80	1.00
Styrene	0.9%	1.30	1.00	2.20	2.20	1.10	1.40
Toluene	1.1%	1.53	0.89	2.71	2.55	1.26	1.57
Xylene	1.1%	1.50	1.10	2.60	2.50	1.30	1.60
JP-4	—	—	—	—	—	1.20	—
JP-5	—	—	—	—	—	0.90	—
JP-8	—	—	—	—	—	1.50	—

NOTE: The table above provides the LEL for select combustible gases\*. It also provides correlation factors that help the safety technician and instrument operator determine the actual percentage LEL when the sample gas differs from the gas that was used to calibrate the unit.

For example, if the unit reads 10% LEL in a *pentane* atmosphere, and was calibrated to *methane*, the actual percentage LEL is determined as follows:

1. Locate the table cell where the sample gas (pentane) intersects with the calibration gas (methane).
2. Multiply the cell's value (2.02) by the unit's LEL reading (10%) to calculate the actual concentration of 20.2% LEL.

\* The combustible gas list is not a comprehensive list of all combustible gases that can be detected by the MX6. For additional information about combustible gas detection and the MX6, contact the ISC Technical Service department.

**WARRANTY**

Industrial Scientific Corporation's MX6 iBrid™ portable gas monitors are warranted to be free from defects in material and workmanship under normal and proper use and service for as long as the instrument is supported by Industrial Scientific Corporation.

The above warranty does not include sensors, battery packs, and internal pumps, which are warranted to be free from defects in material and workmanship for 24 months from date of shipment, except where otherwise stated in writing in Industrial Scientific literature accompanying the product.

**Limitation of Liability**

**THE WARRANTY SET FORTH ABOVE IS STRICTLY LIMITED TO ITS TERMS AND IS IN LIEU OF ALL OTHER WARRANTIES, GUARANTEES, EXPRESS OR IMPLIED, ARISING BY OPERATION OF LAW, COURSE OF DEALING, USAGE OF TRADE OR OTHERWISE. INDUSTRIAL SCIENTIFIC MAKES NO OTHER WARRANTIES, EITHER EXPRESSED OR IMPLIED, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO THE WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR PARTICULAR PURPOSE.**

SHOULD THE PRODUCT FAIL TO CONFORM TO THE ABOVE WARRANTY, BUYER'S ONLY REMEDY AND INDUSTRIAL SCIENTIFIC'S ONLY OBLIGATION SHALL BE, AT INDUSTRIAL SCIENTIFIC'S SOLE OPTION, REPLACEMENT OR REPAIR OF SUCH NON-CONFORMING GOODS OR REFUND OF THE ORIGINAL PURCHASE PRICE OF THE NONCONFORMING GOODS.

IN NO EVENT WILL INDUSTRIAL SCIENTIFIC BE LIABLE FOR ANY OTHER SPECIAL, INCIDENTAL OR CONSEQUENTIAL OR OTHER SIMILAR DAMAGES, INCLUDING LOSS OF PROFIT OR LOSS OF USE, ARISING OUT OF THE SALE, MANUFACTURE OR USE OF ANY PRODUCTS SOLD HEREUNDER WHETHER SUCH CLAIM IS PLEADED IN CONTRACT OR IN TORT, INCLUDING STRICT LIABILITY IN TORT AND WHETHER INDUSTRIAL SCIENTIFIC HAS BEEN ADVISED OF THE POTENTIAL FOR SUCH DAMAGES.

Industrial Scientific's total liability hereunder from any cause whatsoever (except liability from personal injury caused by Industrial Scientific's negligence), whether arising under contract, warranty, tort (including negligence), strict liability, products liability or any other theory of liability, will be limited to the lesser of Buyer's actual damages or the price paid to Industrial Scientific for the Products that are the subject of Buyer's claim. All claims against Industrial Scientific must be brought within one year after the cause of action arises, and Buyer expressly waives any longer statute of limitations.



It shall be an express condition to Industrial Scientific's warranty that all products be carefully inspected for damage by Buyer upon receipt, be properly calibrated for Buyer's particular use, and be used, repaired, and maintained in strict accordance with the instructions set forth in Industrial Scientific's product literature. Repair or maintenance by non-qualified personnel will invalidate the warranty, as will the use of non-approved consumables or spare parts. As with any other sophisticated product, it is essential and a condition of Industrial Scientific's warranty that all personnel using the products be fully acquainted with their use, capabilities and limitations as set forth in the applicable product literature.

Buyer acknowledges that it alone has determined the intended purpose and suitability of the goods purchased. It is expressly agreed by the parties that any technical or other advice given by Industrial Scientific with respect to the use of the goods or services is given without charge and at Buyer's risk; therefore, Industrial Scientific assumes no obligations or liability for the advice given or results obtained.

▽ ▽ ▽

**INDUSTRIAL  
SCIENTIFIC****MANUFACTURER DECLARATION OF CONFORMITY**  
Déclaration de Conformité Constructeur

The company **Industrial Scientific Corporation**, Oakdale, Pennsylvania USA, declares that the following new material intended for use in Explosive Atmospheres:

(La société **Industrial Scientific Corporation**, Oakdale, Pennsylvania USA, atteste que le matériel neuf destiné à être utilisé en Atmosphères Explosives désigné ci-après :)

**Gas detector (DéTECTEUR de gaz) MX6 with optional Sampling Pump SP6**

**comply with the requirements of the following European Directives :**

(est conforme aux exigences des Directives Européennes suivantes:)

**I) The European Directive ATEX 94/9/CE of 23/03/94: Explosive Atmospheres**

Directive Européenne ATEX 94/9/CE du 23/03/94 : Atmosphères Explosives

A) No. of EC type examination certificate:

**DEMKO 07 ATEX 0626395X**

(N° Attestation CE de Type du matériel:)

Issued by the Notified Body no. 0539:

UL International DEMKO A/S, LYSKEAR 8

(Délivré par l'Organisme notifié sous le numéro 0539)

P.O. Box 514, DK - 2730, HERLEV, DENMARK

B) No. of EC type examination certificate:

**INERIS 08 ATEX 0026X**

(N° Attestation CE de Type du matériel:)

Issued by the Notified Body no. 0080:

INERIS, rue Taffanel, 60550 Verneuil

(Délivré par l'Organisme notifié sous le numéro 0080)

en Halatte, France

**Reference European Standards (Normes européennes de référence):**

Rules of construction (Règles de construction) :

EN60079-0, EN60079-1, EN60079-11, EN50303

EN60079-26, EN60079-29-1, EN50104, EN50271

Category (Catégorie):



II 1G

Ex ia IIC T4 Ga

T<sub>1</sub>: -20°C to 55°C (Li-Ion Battery)

T<sub>2</sub>: -20°C to 40°C (Alk Battery)



II 2G I M1/ M2 (with IR module)

Ex ia d I

T<sub>1</sub>: -20°C to 55°C (Li-Ion Battery)

T<sub>2</sub>: -20°C to 40°C (Alk Battery)

EN60079-29-1, EN 50104

**Production Quality Assurance Notification No. of the Oakdale factory** SIRA 00 ATEX M0080

(N° de la Notification Assurance Qualité de Production de l'usine de Oakdale)

Issued by the Notified Body no. 0518:

SIRA Certification Services, Rake Lane

(Délivré par l'Organisme notifié sous le numéro 0518)

Eccleston, Chester CH4 9JN, UK

**II) The European Directive EMC 2004/108/EC: Electromagnetic Compatibility**

Directive Européenne CEM 2004/108/CE : Compatibilité Electromagnétique

**Harmonised applied standards:**

EN 50270

(Normes harmonisées appliquées)

**On behalf of the manufacturer**  
Pour le fabricant

**Industrial Scientific Corporation**  
1001 Oakdale Road  
Oakdale PA, 15071 USA  
Tel +01 412 788 4353  
www.indsci.com

**On behalf of the manufacturer representative in EC**  
Pour le représentant du fabricant dans l'UE

**Industrial Scientific Oldham**  
Z1 EST - B9 417  
62027 AREAS Cedex - FRANCE  
Tel +33 3 21 60 90 80

**The ATEX Authorized Representative**  
La Personne Autorisée ATEX

*Tom Mikulin*

**Tom Mikulin**  
Director, Engineering  
Directeur Technique  
30 May 2012



**OUR MISSION**  
Preserving human life on, above and below the earth  
Delivering highest quality, best customer service  
every transaction, every time



iBrid™ and MX6 iBrid™ are trademarks of Industrial Scientific Corporation.

All trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

These help materials or any part thereof may not, without the written consent of Industrial Scientific Corporation, be copied, reprinted or reproduced in any material form including but not limited to photocopying, transcribing, transmitting or storing it in any medium or translating it into any language, in any form or by any means, be it digitally, electronic, mechanical, xerographic, optical, magnetic or otherwise.

The information contained in this document is proprietary and confidential and all copyright, trade marks, trade names, patents and other intellectual property rights in the documentation are the exclusive property of Industrial Scientific Corporation unless otherwise specified. The information (including but not limited to data, drawings, specification, documentation, software listings, source or object code) shall not at any time be disclosed directly or indirectly to any third party without prior written consent.

The information contained herein is believed to be accurate and reliable. Industrial Scientific Corporation accepts no responsibility for its use by any means or in any way whatsoever. Industrial Scientific Corporation shall not be liable for any expenses, costs or damage that may result from the use of the information contained within this document. The information contained herein is subject to change without notice.

**INDUSTRIAL SCIENTIFIC  
CORPORATION**

Industrial Scientific Corporation  
1001 Oakdale Road  
Oakdale, PA 15071-1500  
USA

Phone: 412-788-4353  
Toll Free: 1-800-DETECTS (1-800-338-3287)  
Fax: 412-788-8353  
Service: 1-888-788-4353  
Web: [www.indsci.com](http://www.indsci.com)

Although every effort is made to ensure accuracy, the specifications of this product and the content herein are subject to change without notice.

©2007, 2009, 2011, and 2012 Industrial Scientific. All rights reserved.



**Americas**

**Industrial Scientific Corporation**  
 1001 Oakdale Rd.  
 Oakdale, PA 15071-1500  
 USA  
**Phone:** +1 412-788-4353  
 1-800-DETECTS (338-3287)  
**e-mail:** info@indsci.com

**Industrial Scientific Corporation**  
 125 Enterprise Dr.  
 Pittsburgh, PA 15275-1222  
 USA  
**Phone:** +1 412-788-4353  
 1-800-DETECTS (338-3287)  
**e-mail:** info@indsci.com

**Europe/Middle East/Africa**  
**Industrial Scientific Oldham**  
 Z.I.Est - rue Orfila  
 B.P. 417  
 62 027 Arras Cedex  
 France  
**Phone:** +00 800 WORKSAFE  
 +33 3 21 60 80 80  
**e-mail:** info@eu.indsci.com

**Industrial Scientific - Winter GmbH**  
 Gernotstraße 19  
 44319 Dortmund  
 Germany  
**Phone:** +49 231 9241 0  
**e-mail:** info.de@eu.indsci.com

**Industrial Scientific Oldham**  
 Oldham CS S.R.O.  
 Prokopova 148/15  
 130 00 Praha 3  
 Czech Republic  
**Phone:** +420 234 622 222  
**e-mail:** info@eu.indsci.com

**Industrial Scientific FZCO**  
 P.O. Box 261086, Jebel Ali  
 Dubai  
 United Arab Emirates  
**Phone:** +971 50 455 8518  
**e-mail:** info@eu.indsci.com

**Industrial Scientific UK**  
 Unit 6 Glebe Farm  
 Turweston, Near Brackley  
 NN13 5JE  
 England  
**Phone:** +44 12 80 70 61 14  
**e-mail:** info@eu.indsci.com

**Industrial Scientific Asia-Pacific**  
 290 Guiqiao Rd.  
 Pudong, Shanghai 201206  
 People's Republic of China  
**Phone:** +86 21 5899 3279  
 +86 400 820 2515  
**e-mail:** info@ap.indsci.com

**Asia Pacific/China**  
**Industrial Scientific Corporation Pte. Ltd.**  
 7 International Business Park  
 #03-01 TechQuest Building  
 Singapore 609919  
**Phone:** +65 6561 7377  
**e-mail:** info@ap.indsci.com

**Industrial Scientific Pty.**  
 Unit 1, 95 Salmon St.  
 Port Melbourne, 3207 VIC  
 AU  
**Phone:** +03 96447777  
**e-mail:** info@as.indsci.com

ตารางแสดงรายละเอียดค่าการตรวจวัด ( 25 ค่าที่ตรวจวัดได้ )

ช่วงการวัดค่า และการตั้งค่าปลอดภัย

Parameter/gas	Symbol	Range	Resolution
Inflammables gases	LEL (catalytic)	0 ... 100 % LIE (LEL)	1 %
Inflammables gases	LEL (infrared)	0 ... 100 % LIE (LEL)	1 %
Methane	CH4 (catalytic)	0 ... 5 vol. %	0.1 %
Methane	CH4 (infrared)	0 ... 100 vol. %	1 %
Oxygen	O2	0 ... 30 vol. %	0.1 %
Carbon dioxide	CO	0 ... 1000 ppm	1 ppm
Carbon dioxide	CO	0 ... 9,999 ppm	1 ppm
Hydrogen sulfide	H2S	0 ... 500 ppm	0,1 ppm
Carbon monoxide/Hydrogen sulfide**	CO/H2S (COSH)	(CO) 0 ... 500 ppm (H2S) 0 ... 200 ppm	(CO) 1 ppm (H2S) 0.1 ppm
Hydrogen	H2	0 ... 1000 ppm	1 ppm
Nitrogen monoxide	NO	0 ... 1000 ppm	1 ppm
Chlorine	Cl2	0 ... 100 ppm	0.1 ppm
Nitrogen dioxide	NO2	0 ... 100 ppm	0.1 ppm
Sulphur dioxide	SO2	0 ... 100 ppm	0.1 ppm
Hydrogen cyanide	HCN	0 ... 30 ppm	0.1 ppm
Hydrochlorate acid	HCl	0 ... 30 ppm	0.1 ppm
Ammonia	NH3	0 ... 100 ppm	1 ppm
Chlorine dioxide	ClO2	0 ... 1 ppm	0.01 ppm
Phosphine	PH3	0 ... 5 ppm	0.01 ppm
Phosphine	PH3	0 ... 1000 ppm	1 ppm
Carbon dioxide	CO2	0 ... 5 vol. %	0,01 %
VOC (general)	PID	0 ... 2000 ppm	0.1 ppm
** Combined sensor			

ที่มา : <http://www.industrial-needs.com/technical-data/gas-detector-mx6-ibrid.htm>

ภาคผนวก ข.



ตารางแสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลสุกร

วันที่	O <sub>2</sub>	VOC	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	pH	°C
1	12.4	129.5	500	474	30	7	30
2	11.1	138.5	500	417	31	7	32
3	10.9	145.8	500	432	31	7	31
4	10.5	148.5	500	473	31	7	30
5	10.5	153.6	500	577	31	6	31
6	10.3	132.5	500	584	31	6	30
7	10.3	142	500	622	31	7	30
8	10.5	134.3	500	648	37	7	30
9	10.6	138	500	754	49	7	30
10	10.7	137.8	498.9	823	54	6	30
11	10.8	139.4	493.8	865	62	7	29
12	10.9	128.2	499.8	874	71	7	27
13	11.2	115.8	481.5	997	71	6	27
14	11.4	103.7	490.5	1009	71	6	31
15	11.5	109.3	497.4	1155	71	6	30
16	11.7	106.2	498.3	1213	71	6	30
17	11.9	104.8	492.7	1349	78	7	30
18	12	90.8	496.4	1378	84	7	31
19	12.1	96.3	497.8	1355	94	7	30
20	12.4	87.5	481.5	1399	92	7	31
21	12.5	85.3	498.1	1412	90	6	30
22	12.6	83.2	478.2	1400	89	6	31
23	12.7	82.8	499	1415	87	6	30
24	12.9	79.2	489.4	1500	77	7	31
25	12.6	67.5	497	1381	65	7	30

ตารางที่แสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลสุกร (ต่อ)

วันที่	O <sub>2</sub>	VOC	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	pH	°C
26	12.8	68.4	479.1	1298	61	6	31
27	12.9	73.3	463.5	1186	57	6	30
28	12.8	75.8	457.3	1187	55	6	30
29	12.9	78.3	448.7	1186	50	7	30
30	13.1	80.4	434.4	1185	45	7	31





ตารางแสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลนกพิราบ

วันที่	O <sub>2</sub>	VOC	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	pH	°C
1	17.6	173.6	165.4	497	6	7	30
2	17.4	163	201.7	659	10	7	29
3	17.1	144.6	190.5	797	13	7	29
4	17.3	149.3	201.8	768	16	6	30
5	16.9	186.2	208.7	920	18	6	30
6	16.6	146.9	211.4	1121	19	7	30
7	16.5	156.7	214.5	1026	20	6	31
8	16.3	135.3	208.3	1128	20	6	29
9	16.2	139.9	215.7	998	20	6	29
10	16	152.9	201.6	1018	21	7	30
11	15.8	162.7	183.4	1010	20	7	27
12	15.6	140.7	179.3	958	20	6	27
13	15.5	156.8	183.4	975	20	6	30
14	15.2	116.7	186.6	963	21	7	30
15	15.2	114.8	182.7	910	21	7	30
16	15	108.7	182.4	888	22	6	30
17	14.8	102.5	187.7	896	25	6	30
18	14.6	92.5	187.7	885	25	6	30
19	14.4	97.5	180	830	28	7	30
20	14.3	88	173.5	835	29	7	30
21	14	81	171.3	805	33	7	31
22	13.7	73.4	169.5	758	35	7	30
23	13.6	73	167.8	745	35	6	31
24	13.1	72.2	165.6	715	35	6	31
25	13.3	63	158.8	709	36	7	31

ตารางแสดงผลการตรวจวัดคุณสมบัติก๊าซชีวภาพจากถังหมักมูลนกพิราบ (ต่อ)

วันที่	O <sub>2</sub>	VOC	H <sub>2</sub> S	CO	CH <sub>4</sub>	pH	°C
26	13.1	57.9	149.5	680	35	6	31
27	13.2	58.9	132.9	716	34	7	30
28	12.8	59.3	138.3	713	34	6	30
29	12.4	60.5	145.8	708	35	6	30
30	12.2	61.7	150.1	701	35	7	31



ภาคผนวก ค.



ตารางแสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลสุกร

เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)
0	35	310	84	620	100	920	100	1230	100	1540	100
10	36	320	85	630	100	930	100	1240	100	1550	100
20	37	330	86	640	100	940	100	1250	100	1560(26)	100
30	38	340	87	650	100	950	100	1260(21)	100	1570	100
40	40	350	88	660(11)	100	960(16)	100	1270	100	1580	100
50	42	360(6)	89	670	100	970	100	1280	100	1590	100
60(1)	44	370	91	680	100	980	100	1290	100	1600	100
70	46	380	93	690	100	990	100	1300	100	1610	100
80	48	390	95	700	100	1000	100	1310	100	1620(27)	100
90	50	400	97	710	100	1010	100	1320(22)	100	1630	100
100	52	410	98	720(12)	100	1020(17)	100	1330	100	1640	100
110	54	420(7)	100	730	100	1030	100	1340	100	1650	100
120(2)	56	430	100	740	100	1040	100	1350	100	1660	100
130	58	440	100	750	100	1050	100	1360	100	1670	100
140	60	450	100	760	100	1060	100	1370	100	1680(28)	100
150	62	460	100	770	100	1070	100	1380(23)	100	1690	100
160	64	470	100	780(13)	100	1080(18)	100	1390	100	1700	100
170	66	480(8)	100	790	100	1090	100	1400	100	1710	100
180(3)	68	490	100	800	100	1100	100	1410	100	1720	100
190	70	500	100	810	100	1110	100	1420	100	1730	100
200	72	510	100	820	100	1120	100	1430	100	1740(29)	100
210	74	520	100	830	100	1130	100	1440(24)	100	1750	100
220	75	530	100	840(14)	100	1140(19)	100	1450	100	1760	100
230	76	540(9)	100	850	100	1150	100	1460	100	1770	100
240(4)	77	550	100	860	100	1160	100	1470	100	1780	100
250	78	560	100	870	100	1170	100	1480	100	1790	100
260	79	570	100	880	100	1180	100	1490	100	1800(30)	100
270	80	580	100	890	100	1190	100	1500(25)	100	1810	100
280	81	590	100	900(15)	100	1200(20)	100	1510	100	1820	100
290	82	600(10)	100	910	100	1210	100	1520	100	1830	100
300(5)	83	610	100	920	100	1220	100	1530	100	1840	100

ตารางแสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลสุกร (ต่อ)

เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)
1850	100	2160(37)	100	2470	100	2780	100	3090	100	3400	100
1860(32)	100	2170	100	2480	100	2790	100	3100	100	3410	100
1870	100	2180	100	2490	100	2800	100	3110	100	3420(57)	100
1880	100	2190	100	2500	100	2810	100	3120(52)	100	3430	100
1890	100	2200	100	2510	100	2820(48)	100	3130	100	3440	100
1900	100	2210	100	2520(43)	100	2830	100	3140	100	3450	100
1910	100	2220(38)	100	2530	100	2840	100	3150	100	3460	100
1920(33)	100	2230	100	2540	100	2850	100	3160	100	3470	100
1930	100	2240	100	2550	100	2860	100	3170	100	3480(58)	99
1940	100	2250	100	2560	100	2870	100	3180(53)	100	3490	99
1950	100	2260	100	2570	100	2880(49)	100	3190	100	3500	99
1960	100	2270	100	2580(44)	100	2890	100	3200	100	3510	99
1970	100	2280(39)	100	2590	100	2900	100	3210	100	3520	98
1980(34)	100	2290	100	2600	100	2910	100	3220	100	3530	98
1990	100	2300	100	2610	100	2920	100	3230	100	3540(59)	98
2000	100	2310	100	2620	100	2930	100	3240(54)	100	3550	98
2010	100	2320	100	2630	100	2940(50)	100	3250	100	3560	97
2020	100	2330	100	2640(45)	100	2950	100	3260	100	3570	97
2030	100	2340(40)	100	2650	100	2960	100	3270	100	3580	97
2040(35)	100	2350	100	2660	100	2970	100	3280	100	3590	97
2050	100	2360	100	2670	100	2980	100	3290	100	3600(60)	96
2060	100	2370	100	2680	100	2990	100	3300(55)	100		
2070	100	2380	100	2690	100	3000(51)	100	3310	100		
2080	100	2390	100	2700(46)	100	3010	100	3320	100		
2090	100	2400(41)	100	2710	100	3020	100	3330	100		
2100(36)	100	2410	100	2720	100	3030	100	3340	100		
2110	100	2420	100	2730	100	3040	100	3350	100		
2120	100	2430	100	2740	100	3050	100	3360(56)	100		
2130	100	2440	100	2750	100	3060(52)	100	3370	100		
2140	100	2450	100	2760(47)	100	3070	100	3380	100		
2150	100	2460(42)	100	2770	100	3080	100	3390	100		

ตารางแสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลนกพิราบ

เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)
0	35	310	75	620	100	920	100	1230	100	1540	100
10	36	320	76	630	100	930	100	1240	100	1550	100
20	37	330	77	640	100	940	100	1250	100	1560(26)	100
30	38	340	78	650	100	950	100	1260(21)	100	1570	100
40	40	350	79	660(11)	100	960(16)	100	1270	100	1580	100
50	42	360(6)	80	670	100	970	100	1280	100	1590	100
60(1)	44	370	81	680	100	980	100	1290	100	1600	100
70	46	380	83	690	100	990	100	1300	100	1610	100
80	47	390	84	700	100	1000	100	1310	100	1620(27)	100
90	48	400	85	710	100	1010	100	1320(22)	100	1630	100
100	49	410	86	720(12)	100	1020(17)	100	1330	100	1640	100
110	50	420(7)	87	730	100	1030	100	1340	100	1650	100
120(2)	51	430	90	740	100	1040	100	1350	100	1660	100
130	52	440	92	750	100	1050	100	1360	100	1670	100
140	53	450	93	760	100	1060	100	1370	100	1680(28)	100
150	54	460	94	770	100	1070	100	1380(23)	100	1690	100
160	55	470	95	780(13)	100	1080(18)	100	1390	100	1700	100
170	56	480(8)	97	790	100	1090	100	1400	100	1710	100
180(3)	57	490	99	800	100	1100	100	1410	100	1720	100
190	58	500	100	810	100	1110	100	1420	100	1730	100
200	59	510	100	820	100	1120	100	1430	100	1740(29)	100
210	60	520	100	830	100	1130	100	1440(24)	100	1750	100
220	62	530	100	840(14)	100	1140(19)	100	1450	100	1760	100
230	64	540(9)	100	850	100	1150	100	1460	100	1770	100
240(4)	66	550	100	860	100	1160	100	1470	100	1780	100
250	68	560	100	870	100	1170	100	1480	100	1790	100
260	69	570	100	880	100	1180	100	1490	100	1800(30)	100
270	70	580	100	890	100	1190	100	1500(25)	100	1810	100
280	72	590	100	900(15)	100	1200(20)	100	1510	100	1820	100
290	73	600(10)	100	910	100	1210	100	1520	100	1830	100
300(5)	74	610	100	920	100	1220	100	1530	100	1840	100

ตารางแสดงประสิทธิภาพของก๊าซที่เกิดจากการหมักของมูลนกพิราบ (ต่อ)

เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)	เวลา (วินาที)	มูลนกพิราบ (อุณหภูมิ)
1850	100	2160(37)	100	2470	100	2780	100	3090	100	3400	100
1860(32)	100	2170	100	2480	100	2790	100	3100	100	3410	100
1870	100	2180	100	2490	100	2800	100	3110	100	3420(57)	100
1880	100	2190	100	2500	100	2810	100	3120(52)	100	3430	100
1890	100	2200	100	2510	100	2820(48)	100	3130	100	3440	100
1900	100	2210	100	2520(43)	100	2830	100	3140	100	3450	100
1910	100	2220(38)	100	2530	100	2840	100	3150	100	3460	100
1920(33)	100	2230	100	2540	100	2850	100	3160	100	3470	100
1930	100	2240	100	2550	100	2860	100	3170	100	3480(58)	100
1940	100	2250	100	2560	100	2870	100	3180(53)	100	3490	100
1950	100	2260	100	2570	100	2880(49)	100	3190	100	3500	100
1960	100	2270	100	2580(44)	100	2890	100	3200	100	3510	100
1970	100	2280(39)	100	2590	100	2900	100	3210	100	3520	100
1980(34)	100	2290	100	2600	100	2910	100	3220	100	3530	99
1990	100	2300	100	2610	100	2920	100	3230	100	3540(59)	99
2000	100	2310	100	2620	100	2930	100	3240(54)	100	3550	99
2010	100	2320	100	2630	100	2940(50)	100	3250	100	3560	99
2020	100	2330	100	2640(45)	100	2950	100	3260	100	3570	99
2030	100	2340(40)	100	2650	100	2960	100	3270	100	3580	99
2040(35)	100	2350	100	2660	100	2970	100	3280	100	3590	98
2050	100	2360	100	2670	100	2980	100	3290	100	3600(60)	98
2060	100	2370	100	2680	100	2990	100	3300(55)	100		
2070	100	2380	100	2690	100	3000(51)	100	3310	100		
2080	100	2390	100	2700(46)	100	3010	100	3320	100		
2090	100	2400(41)	100	2710	100	3020	100	3330	100		
2100(36)	100	2410	100	2720	100	3030	100	3340	100		
2110	100	2420	100	2730	100	3040	100	3350	100		
2120	100	2430	100	2740	100	3050	100	3360(56)	100		
2130	100	2440	100	2750	100	3060(52)	100	3370	100		
2140	100	2450	100	2760(47)	100	3070	100	3380	100		
2150	100	2460(42)	100	2770	100	3080	100	3390	100		

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล	นายจิรวุฒิ	เลิศสุวรรณโรจน์
วัน เดือน ปีเกิด	23 กันยายน	2533
ภูมิลำเนา	ซอยจรัญสนิทวงศ์ 53 แขวงบางบำหรุ เขตบางพลัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร	
ประวัติการศึกษา		
2544	จบชั้นประถมศึกษา	โรงเรียนโยนออฟอาร์ค
2545	จบชั้นประถมศึกษา	โรงเรียนวัดศิริมงคลศึกษา จังหวัดกรุงเทพมหานคร
2551	จบชั้นมัธยมศึกษา	โรงเรียนวัดดุสิตาราม จังหวัดกรุงเทพมหานคร
2555	จบระดับปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร



## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล	นายศุภศิลป์	นาคเนียม
วัน เดือน ปีเกิด	22 กันยายน	2532
ภูมิลำเนา	131 หมู่ 8 ตำบล	ทุ่งคา อำเภอเมือง จังหวัด ชุมพร
ประวัติการศึกษา		
2545	จบชั้นประถมศึกษา	นิรมลชุมพร จังหวัดชุมพร
2551	จบชั้นมัธยมศึกษา	สะอาดเผดิมวิทยา จังหวัดชุมพร
2555	จบระดับปริญญาตรี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล	นางสาวสุภาภรณ์ เกาจัตุรัส
วัน เดือน ปีเกิด	10 ธันวาคม 2533
ภูมิลำเนา	อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี
ประวัติการศึกษา	
2545	จบชั้นประถมศึกษา โรงเรียนทานสัมฤทธิ์วิทยา
2551	จบชั้นมัธยมศึกษา โรงเรียนนนทบุรีพิทยาคม
2555	จบระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร



การออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหารโดยใช้มูลนกพิราบและมูลสุกรเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน  
System design Bio Gasifier from Food Waste Catalyst from Pigeon Feces and Pig Feces Under anaerobic conditions

นายจิรวัดน์ เลิศสุวรรณโรจน์, นายศุภศิลา นาคนิยม, และ นางสาวสุภาภรณ์ เภาจัตรัส

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.สลักจิต พุกจรรย์ และ อ.พลกฤษณ์ คุ้มกล้า

สาขาวิทยาการสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



บทนำ

ในปัจจุบันปริมาณความต้องการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามอัตราการเติบโตของปริมาณประชากรทำให้เกิดปัญหาด้านพลังงานที่จำเป็นในชีวิตประจำวันนั้นคือ ก๊าซการหุงต้มเพื่อใช้ในการประกอบอาหารสำหรับการดำรงชีพของประชากรที่มีราคาสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงทำให้เกิดแนวคิดเพื่อช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านนี้โดยการประยุกต์การหมักจากบ่อ มาเป็นถังซึ่งมีขนาดเล็กกว่าโดยสามารถติดตั้งได้ในพื้นที่ๆ จำกัด ซึ่งเหมาะกับบ้านเรือนของประชากรในตัวเมือง

บทคัดย่อ

การศึกษาการออกแบบระบบการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหาร โดยเปรียบเทียบคุณภาพของมูลนกพิราบ และมูลของสุกรมาใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ในสภาวะไร้ออกซิเจน มีจุดประสงค์เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพ และปริมาณการเกิดก๊าซจากตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ทั้ง 2 ชนิด และศึกษากระบวนการสร้างถังหมักสำหรับครัวเรือนทั่วไปในตัวเมือง ซึ่งสถานที่ทดลองได้อาศัยพื้นที่เก็บวัสดุของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ศูนย์เขตพระนครเหนือมาใช้เป็นสถานที่ทำการทดลอง โดยกระบวนการหมักนั้นได้ใช้สภาวะเดียวกันสำหรับการทดลองคือ อุณหภูมิ 35 องศา และกระบวนการ ต่อมาทำการตรวจวัดค่าดัชนีต่างๆ ของระบบหมักก่อนได้แก่ อุณหภูมิ กรด - ต่าง สารอินทรีย์ระเหยง่าย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกซิเจน คาร์บอนมอนอกไซด์ และก๊าซมีเทน ในช่วงเวลา 12.00น. - 13.00น. ของทุกๆ วันเป็นเวลา 30 วัน

วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหาร
2. เพื่อลดปริมาณขยะอาหารที่เกิดขึ้น
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของมูลนกพิราบ และมูลสุกรที่ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาทดลองการหมักก๊าซชีวภาพจากเศษขยะอาหารโดยใช้เศษอาหารจากโรงอาหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครเหนือ โดยแบ่งชุดทดลองออกเป็น 2 ชุด การทดลองซึ่งใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกันคือ มูลสุกร และมูลนกพิราบ เป็นตัวเปรียบเทียบ ซึ่งกลุ่มผู้วิจัยได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติ และประสิทธิภาพความแตกต่างกันที่เกิดจากตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 2 ชุดการทดลอง โดยกำหนดการตรวจสอบคุณสมบัติของก๊าซตลอดระยะเวลาการทดลอง และทำการเติมขยะอาหารในทุกๆ 10 ได้ผลสรุปว่าในชุดการทดลองมูลสุกรนั้นมีปริมาณก๊าซมีเทนสูงตามความคาดหมายคือ 30 %LEL ต่อมาเมื่อทำการเติมขยะอาหารอีกในระยะเวลา 10 วันจากการเติมอาหารครั้งแรก ผลปรากฏว่าก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งมีค่าสูงสุดที่ 94 %LEL ในวันที่ 19 ของการทดลอง หลังจากนั้นค่ามีเทนเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง แม้จะเติมขยะอาหารในวันที่ครบกำหนดการเติมก็ตาม ซึ่งผู้ทดลองตั้งข้อสังเกตว่าเชื่อที่เกิดจากการหมักมูลสุกรนั้นเริ่มหมดลง ส่วนผลจากการทดลองถึงหมักมูลนกพิราบนั้นมีปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นค่อนข้างต่ำคือ 6 %LEL และมีค่าคงที่ในช่วง 34 - 36 %LEL เมื่อครบกำหนดระยะเวลาการทดลอง ผลพลอยได้ที่ได้จากการหมักคือกากตะกอนที่ ผ่านการย่อยสลายแล้วสามารถนำไปผสมเป็นปุ๋ยสำหรับนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรต่อไปได้อีกด้วย

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลการวิจัยไปประยุกต์ใช้

ท่านผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้ โดยท่านผู้สนใจสามารถนำเอาผลจากการศึกษาวิจัยมาประยุกต์ใช้กับวัสดุจากท้องถิ่นของท่านเพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อไป โดยสูตรการผสมของงานวิจัยนี้คือ

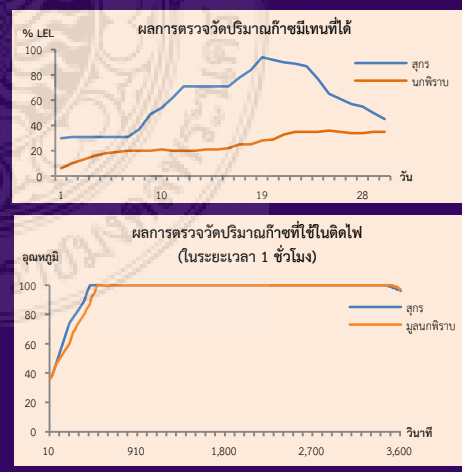
มูลสัตว์ 50% + ขยะอาหาร 30% ของภาชนะบรรจุ

ทำการหมักเป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน เติมอาหารในทุกๆ 10 วัน และทำการปั่นกววน ในทุกๆ วัน อีกทั้งกากตะกอนที่เกิดขึ้นสามารถนำไปตากให้แห้ง และผสมปุ๋ยในอัตรา 4 ต่อ 1 เพื่อนำไปใช้ทางการเกษตรได้อีกด้วย

รูปแบบการทดลอง



ผลการทดลอง



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ที่มีสิทธิ์ประศาสตร์ความรู้ ที่ให้ความกรุณาสละเวลาอันมีค่าในการช่วยเหลือ และให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลา และผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่คอยเชื่อเหลือและกระสนับสนุนจนงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงไปด้วยดี



ผศ.สลักจิต พุกจรรย์ อาจารย์ที่ปรึกษา    อ.พลกฤษณ์ คุ้มกล้า อาจารย์ที่ปรึกษา    นายจิรวัดน์ เลิศสุวรรณโรจน์ นักศึกษา    นายศุภศิลา นาคนิยม นักศึกษา    นางสาวสุภาภรณ์ เภาจัตรัส นักศึกษา