





249356

การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลช้างและน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสามูลช้างร่วมกับฟางข้าว

นางสาวอัจฉรา พิเลิศ ว.ท.บ. (ฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาตรี  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน

คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2554



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์  
(ดร. กนกอร หัสโรจน์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์  
(ผศ. ดร. รัตนะชัย ไพรินทร์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ศ. ดร. จงจิตร หิรัญลาภ)

..... กรรมการ  
(รศ. ดร. พิชัย นามประกาย)

..... กรรมการ  
(รศ. ดร. ศิริชัย เทพา)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลช้างและน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสาจากมูลช้างร่วมกับฟางข้าว
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวอัจฉรา พิเลิศ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. รัตนชัย ไพรินทร์ ศ. ดร. จงจิตร หิรัญลาภ
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
สายวิชา	เทคโนโลยีพลังงาน
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2554

### บทคัดย่อ

249356

เนื่องจากปัญหาความขาดแคลนทางด้านพลังงาน ส่งผลให้ต้องมีการสนับสนุนการผลิตพลังงานภายในประเทศให้มากขึ้น ลดการใช้พลังงานจากฟอสซิล หันมาใช้พลังงานทดแทน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานชีวมวล หรือก๊าซชีวภาพจากของเสีย และวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร เป็นต้น สุรินทร์เป็นจังหวัดหนึ่งที่มีช้างเลี้ยงจำนวนมากกว่า 200 เชือก ซึ่งมากที่สุดในโลก มีปริมาณมูลช้างเหลือมาก นอกจากนำไปใช้เป็นปุ๋ย ผลิตกระดาษสาจากมูลช้าง และที่เหลือนำไปเผาทิ้ง ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำ มูลช้าง น้ำเสียกระดาษสาจากมูลช้าง และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ ฟางข้าว นำมาหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เพื่อผลิตแก๊สชีวภาพ ไปใช้เป็นพลังงานทดแทนแก๊สหุงต้ม ในกระบวนการผลิตกระดาษสาจากมูลช้าง โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้อัตราส่วนแตกต่างกัน ในถังหมัก 120 มิลลิลิตร และ 3 ลิตร ในส่วนถังหมัก 120 มิลลิลิตรทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยควบคุมอุณหภูมิในห้องควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ที่ 37 องศาเซลเซียส วัดปริมาณแก๊สโดยการแทนที่น้ำ วิเคราะห์สัดส่วนปริมาณแก๊สชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี ส่วนถังหมักขนาด 3 ลิตร วัดค่า pH ทดสอบการจุดติดไฟ หาค่า ซีไอดี จากน้ำเสียในถังหมัก 3 ลิตร วิเคราะห์อัตราส่วนที่เหมาะสม จากผลการทดลอง พบว่า ผลการทดลองที่ดีที่สุด ด้วยอัตราส่วน หัวเชื้อ/ มูลช้าง/ น้ำเสีย/ ฟางข้าว (1: 2: 8: 0.075) ถึงหมักขนาด 120 มิลลิลิตร และ 3 ลิตร มีผลการทดลองที่สอดคล้องกัน เนื่องจากปัจจัยของค่าพีเอช โดยเฉลี่ยในถังหมักขนาด 3 ลิตรมีค่า 7.9-8.5 ได้เปอร์เซ็นต์มีเทนโดยเฉลี่ย 55 % ค่าซีไอดี ที่มีวัดดูคิบเป็นมูลช้างหลัก มีค่าลดลง โดยเฉลี่ย 56.36% และมีอัตราลดลงของ ซีไอดีได้ดีกว่าผสมฟางข้าว ในกรณีที่ใส่ฟางข้าว ค่า ซีไอดี ที่ลดลงโดยเฉลี่ยได้ 29.95 % นำผลการทดลองที่มีอัตราส่วนเงื่อนไขดีที่สุดมาขยายขนาดสเกลเป็นถังหมัก 30

ลิตร และ 200 ลิตร ถังหมัก 30 ลิตร มีการเติมวัตถุดิบแบบกึ่งต่อเนื่อง ทำการทดลองที่อุณหภูมิ  
แวดล้อมปกติ สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 10 ลิตร/วัน ค่าพีเอช โดยเฉลี่ย 7.5 ปริมาณมีเทน สูงสุด 78  
เปลวไฟมีลักษณะเป็นสีเหลืองส้มและสีฟ้า ค่าความร้อน 44 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ค่า ซีไอดี และ  
บีไอดี ที่ลดลง 34 % และ 12 % ถังหมัก 200 ลิตร มีการเติมวัตถุดิบแบบครั้งเดียว เดียว ค่าพีเอช โดย  
เฉลี่ย 7.6 สามารถผลิตแก๊สชีวภาพได้ 45 ลิตร/วัน ปริมาณมีเทน สูงสุด 69 เปลวไฟมีลักษณะเป็นสีฟ้า  
ค่าความร้อน 39 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร ค่าซีไอดี และ บีไอดี ที่ลดลง 44.8% และ 15% จากนั้นนำ  
แก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นในถังหมัก 200 ลิตรไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตกระดาศาจากมูลช้าง  
ผลการทดลองการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงต้มมูลช้าง 1 กิโลกรัม วัตถุดิบหมักได้ 90 องศาเซลเซียส  
หากนำไปใช้งานจริงต้องทำการขยายขนาดสเกลให้ใหญ่ขึ้น ดังนั้น การใช้แก๊สชีวภาพประมาณ 4  
ชั่วโมงต้มมูลช้าง ต้องใช้มูลช้างปริมาณ 139 กิโลกรัม สามารถผลิตแก๊สได้ 640 ลิตร จะเป็นการช่วย  
ลดการปลดปล่อยแก๊สมีเทนออกสู่บรรยากาศ ประโยชน์จากปุ๋ยหมักแก๊สชีวภาพ พร้อมทั้งส่งเสริม  
การอนุรักษ์พลังงาน และรักษาสิ่งแวดล้อม

**คำสำคัญ:** แก๊สชีวภาพ น้ำเสียจากการผลิตกระดาศา/ฟางข้าว/มูลช้าง

Thesis Title	Production of Biogas from Elephant Dung and Waste Water from Manufacturing of Sa Paper Mixed with Rice Straw
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Adchara Pilert
Thesis Advisors	Asst. Prof. Dr. Rattanachai Pairintra Prof. Dr. Jongjit Hirunlabh
Program	Master of Science
Field of Study	Energy Technology
Department	Energy Technology
Faculty	School of Energy, Environment and Materials
B.E.	2554

### Abstract

249356

The scarcity of energy, the need to encourage domestic energy production. To reduce the power consumption of fossil fuels. The adoption of renewable energy such as solar power. Biomass. The biogas from the waste. And agricultural waste etc. Surin province. More than 200 elephants a rope, which is largest in the world. Therefore the ride a lot. Also used as a fertilizer. Paper made from elephant and information. Also have been burned. Thus, this research aims to bring the elephant. Waste paper from the elephants. And agricultural waste is fermented rice straw was not using oxygen. To produce biogas. Used as an alternative fuel gas. In the paper production process of the elephant. By comparing the ratio of the difference in 120 ml and 3-liter fermentor. In a 120 ml reactor experiments in the laboratory. The temperature in the room temperature (Incubator) at 37 ° C. The quantity of gas by replacing the water. The proportion of bio-gas analysis by gas Chromatography of this hole. The 3-liter fermentor experiment measuring the pH, ignition test, measure the COD of waste water in the tanks. The proper ratio analysis the best results found the ratio inoculum : elephant dung : wastewater : rice straw are 1: 2: 8: 0.075 which It mix in fermenter 128 ml. and fermenter 3 liter , it have consistent in the result. The average ph value of fermenter 3 liter is 7.9-8.5 , percent of methane is 55% and COD value that the elephant dung is main raw material decreased on average 56.33% . The COD value from elephant dung decreased better than rice straw that in this ingredient of . The case have added rice straw is a mixture so decreased the COD value aveage by 29.95 % Take the best ratio to new fermentation in fermentor

30 liter and fermenter 200 liter. The fermentor 30 liter have filled raw material , semi continuous in condition at ambient temperature which can produce 10 liter per day of biogas. The ph value average 7.5% and volume of methane up to 78 . It have flames are yellow, orange ,blue and heating value 44 MJ per cubic meter, the COD value and BOD value to reduction of 34% and 12% respectively. At fermentor 200 liter have filled raw material one time which can produce 45 liter/day of biogas ,the ph value average 7.6% and volume of methane is max 69 . It have flames are blue and heating value 39 MJ per cubic meter so the COD value and BOD value to reduction of 44.8% and 15% respectively. Finnally, use the biogas from fermentor 200 liter is fuel to boil 1 kg of the elephant dung in paper production process on temperature was 90 ° C. If the actual use must be expanded to a larger so use biogas for about 4 hours to boil elephant dung must volume of biogas 640 liter. from 139 kg of the elephant dung which decreased of methane into atmosphere. The benefits of composting from biogas and promote energy conservation with safe environmental .

**Key words:** Biogas / Waste Water from Production of Paper / Straw / Elephant Rides

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลช้างและน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสามูลช้างร่วมกับฟางข้าว สามารถสำเร็จลุล่วงด้วยดี ถ้าไม่ได้ผู้มีพระคุณอันสูงสุด คือ คุณบิดา มารดา ที่อยู่เบื้องหลังการทำงาน การให้กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือทุนทรัพย์รวมทั้งทุกๆ เรื่องที่กล่าวอ้างได้ไม่หมด ต้องขอโน้มกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสุด

ขณะเดียวกัน อีกท่านผู้มีพระคุณ คือ ท่านอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. ดร. รัตนชัย ไพรินทร์ ที่ให้ความช่วยเหลืองานด้านวิจัย การเขียนงาน พร้อมทั้งเสียสละช่วยอ่านงาน ข้อเสนอแนะที่ควรแก้ไข เพื่อให้งานออกอย่างมีคุณค่า ทั้งนี้ได้มอบความเป็นกันเองแก่นักศึกษาด้วย และอาจารย์ที่ปรึกษาอีกท่านที่มีพระคุณแก่นักศึกษา ท่านอาจารย์ ศ. ดร. จงจิตร หิรัญลาภ ได้ดูแลนักศึกษาด้วยความอบอุ่นเสมอมา ที่ได้อยู่กับอาจารย์ มอบความช่วยเหลือทั้งงานวิจัย ข้อเสนอแนะ แหล่งเงินวิจัย พร้อมทั้งชี้แนะ การศึกษารวมทั้งการอบรมเรื่องอื่นที่มีประโยชน์แก่ตัวนักศึกษาเอง ขอขอบคุณท่านคณะกรรมการ ได้แก่ ดร. กนกอร หัสโรจน์, รศ. ดร. พิชัย นามประกาย, รศ. ดร. ศิริชัย ที่ชี้แนะเพิ่มเติมรายละเอียดงานวิจัยให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณกำลังใจการช่วยเหลือจากเพื่อนๆ ดังนี้ เพื่อนๆ กลุ่ม BSRC นำรักทุกคน คอยช่วยเหลืองานวิจัย การทดลองจุดติดไฟ พุดคุยให้กำลังใจ เพื่อนๆ ห้องปฏิบัติการกลางบางขุนเทียน สอนทำการทดลองวิเคราะห์น้ำเสียมอบความเป็นกันเองและดูแลเป็นอย่างดี เพื่อนๆ ห้องปฏิบัติการทดลอง Lipid เพื่อนๆ ห้องปฏิบัติการทดลอง Biogas ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่อง GC และเสียสละเวลาให้วิเคราะห์แก๊สก่อน นื่องๆ คณะพลังงานที่มาช่วยตัดฟางข้าว และหมู่บ้านช้างจังหวัดสุรินทร์ที่กรุณาเอื้อเพื่อจัดหาวัตถุดิบและข้อมูลเรื่องกระดาษสามูลช้าง

ขอขอบคุณคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุเอื้อเพื่อสถานที่ทำการทดลอง ศูนย์วิจัยวิทยาศาสตร์ทางด้านอาคารเอื้อเพื่อห้องทำงานเป็นอย่างดีและอุปกรณ์เครื่องใช้ภายในสำนักงาน คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี ห้องปฏิบัติการทดลองวิเคราะห์น้ำเสียและวิเคราะห์แก๊สชีวภาพ สรบ. บางขุนเทียน

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกท่าน ทั้งที่เอ่ยนามและไม่เอ่ยนามที่ทำให้งานวิจัยเรื่องนี้สำเร็จเสร็จด้วยดี

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	๖
กิตติกรรมประกาศ	๗
สารบัญ	๗
รายการตาราง	๘
รายการรูปประกอบ	๘
รายการสัญลักษณ์	๘
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 แนวทางการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับช้าง	4
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการผลิตกระดาษสา	5
2.2.1 ขั้นตอนการผลิตกระดาษสา	6
2.2.2 การผลิตกระดาษสาจากมูลช้าง	8
2.2.3 ประโยชน์จากกระดาษสา	11
2.3 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแก๊สชีวภาพ	11
2.3.1 ความหมายของแก๊สชีวภาพ	11
2.3.2 ขั้นตอนการเกิดแก๊สชีวภาพ	11
2.3.3 ปัจจัยและสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการผลิตแก๊สชีวภาพ	13
2.3.4 องค์ประกอบของแก๊สชีวภาพ	16
2.3.5 การเผาไหม้ของแก๊สชีวภาพ	16

2.3.6	เทคโนโลยีถังหมักผลิตแก๊สชีวภาพ	19
2.3.7	อันตรายของแก๊สชีวภาพต่อสุขภาพอนามัย	23
2.3.8	ประโยชน์และแนวทางการนำแก๊สชีวภาพไปใช้ประโยชน์	24
2.4	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับหัวเผาแก๊ส	26
2.4.1	ชนิดของหัวเผาแก๊ส	26
2.5	ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการวิเคราะห์น้ำเสีย วัดค่า COD และ BOD	29
2.5.1	การวัดค่า COD	29
2.5.2	การวัดค่า BOD	31
2.5.3	มาตรฐานสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม	29
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	31
<b>3.</b>	<b>วิธีการดำเนินงาน</b>	<b>41</b>
3.1	วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย	42
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	42
3.2.1	การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมักขนาด 120 มิลลิลิตร	42
3.2.2	การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมักขนาด 3 ลิตร	43
3.2.3	การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมักขนาด 30 ลิตร	44
3.2.4	การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมักขนาด 200 ลิตร	45
3.2.5	วัสดุอุปกรณ์การนำแก๊สชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระดาษสา	46
3.3	เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	46
3.3.1	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟฟี	46
3.3.2	pH Meter และ pH Indicator Stripe	47
3.4	วิธีการทดลอง	48
3.4.1	วิธีการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 120 มิลลิลิตร	48
3.4.2	วิธีการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 3 ลิตร	49
3.4.3	วิธีการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 30 ลิตร	50
3.4.4	วิธีการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 200 ลิตร	50
3.4.5	การนำแก๊สชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระดาษสา	51
3.5	พารามิเตอร์ที่วัดและวิธีวิเคราะห์	52
<b>4.</b>	<b>ผลการทดลองและวิเคราะห์</b>	<b>53</b>
4.1	การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลช้างและน้ำเสียจากการผลิตกระดาษสา มูลช้างร่วมกับฟางข้าว	53
4.2	ผลการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 120 มิลลิลิตร	53

4.2.1	ผลการทดลองการเกิดเปอร์เซ็นต์มีเทนของระบบผลิตแก๊สชีวภาพ ถึงหมัก 120 มิลลิลิตร	54
4.3	ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมัก 3 ลิตร	55
4.3.1	ผลของค่า COD ในถึงหมักผลิตแก๊สชีวภาพขนาด 3 ลิตร	56
4.4	ผลของอัตราส่วนที่เหมาะสมการผลิตแก๊สชีวภาพ	57
4.5	ผลการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมัก 30 ลิตร	59
4.5.1	ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมัก 30 ลิตร	59
4.5.2	ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนของระบบผลิตแก๊สชีวภาพถึงหมัก 30 ลิตร	60
4.6	ผลการทดลองการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมัก 200 ลิตร	61
4.6.1	ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมัก 200 ลิตร	61
4.6.2	ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนของระบบผลิตแก๊สชีวภาพ ถึงหมัก 200 ลิตร	62
4.6.3	ผลของค่า COD และ BOD เริ่มต้นหมักและหลังหมักแก๊สชีวภาพ	64
4.7	ผลการทดลองการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระดาษสามูลข้าง	64
4.7.1	การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์	64
5.	<b>สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	67
5.1.1	การผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลข้างร่วมกับฟางข้าวและน้ำเสีย กระดาษสาจากมูลข้าง	67
5.1.2	ผลการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมักขนาด 120 มิลลิลิตร	67
5.1.3	ผลการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมักขนาด 3 ลิตร	67
5.1.4	ผลการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมักขนาด 30 ลิตร	68
5.1.5	ผลการผลิตแก๊สชีวภาพในถึงหมักขนาด 200 ลิตร	68
5.1.6	ผลการทดลองการใช้แก๊สชีวภาพเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิต กระดาษสามูลข้าง	68
5.1.7	การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น	69
5.2	ข้อเสนอแนะ	70
	<b>เอกสารอ้างอิง</b>	71
	<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	76

## รายการตาราง

ตาราง		หน้า
2.1	องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	16
2.2	อุณหภูมิการคิดไฟอัดโนมิคของแก๊ส	16
2.3	อันตรายของแก๊สชีวภาพต่อสุขภาพอนามัย	23
2.4	พารามิเตอร์พื้นฐานตามเกณฑ์กำหนดน้ำทิ้งอุตสาหกรรม	29
3.1	พารามิเตอร์ที่ใช้วัดและวิธีการวิเคราะห์	52
4.1	ปริมาณค่า COD ในถังหมัก 3 ลิตร	57
4.2	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบต่างๆ	58
4.3	มาตรฐานการจุดติดไฟของแก๊สชีวภาพ	61
4.4	ผลของค่า COD และ BOD เริ่มต้นหมักและหลังหมักแก๊สชีวภาพแก๊สชีวภาพ ขนาดถังหมัก	64
5.1	ผลของปริมาณมีเทนต่อวัตถุดิบต่างชนิดและขนาดถังหมัก	68

## รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	บรรยากาศภายในหมู่บ้านข้าง	5
2.2	ขั้นตอนการผลิตกระดาษสาในครัวเรือน	6
2.3	ขั้นตอนการผลิตกระดาษสา	8
2.4	ขั้นตอนการผลิตกระดาษสาจากมูลช้าง ศูนย์คชอาณาจักร	10
2.5	ขั้นตอนการย่อยสลายและการเกิดแก๊สชีวภาพ	13
2.6	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการย่อยสลาย	14
2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ต่อความเร็วของเปลวไฟ	17
2.8	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของมีเทนต่ออุณหภูมิของเปลวไฟ	18
2.9	ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนอากาศต่อเชื้อเพลิงกับความเข้มข้นของมีเทน	19
2.10	บ่อหมักข้าวแบบถังลอย	20
2.11	บ่อหมักแบบ UASB	21
2.12	ถังหมักแบบตัวกลางกรองที่ด้านในบรรจุวัสดุตัวกลางที่ให้แบคทีเรียยึดเกาะ	22
2.13	บ่อหมักแก๊สชีวภาพแบบลูกผสม	22
2.14	ลักษณะหัวเผาแบบ Premixing	27
2.15	ลักษณะของ Orifice	27
2.16	หัวเผาแบบ Nozzle mixing	28
2.17	เปลวไฟหัวเผาแบบ Diffusion	28
2.18	การวิเคราะห์ค่า BOD	32
3.1	แผนภาพขั้นตอนการดำเนินงาน	41
3.2	วัตถุดิบที่ใช้ในการทดลอง	42
3.3	ถังหมักขนาด 120 มิลลิลิตร	43
3.4	วัสดุอุปกรณ์ถังหมักขนาด 3 ลิตร	43
3.5	วัสดุอุปกรณ์ถังหมักขนาด 30 ลิตร	44
3.6	วัสดุอุปกรณ์ถังหมักขนาด 200 ลิตร	45
3.7	หัวเผาแก๊ส	46
3.8	เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ	47

รูป(ต่อ)	หน้า	
3.9	pH Indicator Strips	48
3.10	การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 120 มิลลิลิตร	48
3.11	การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 3 ลิตร	49
3.12	การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 30 ลิตร	50
3.13	การผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 200 ลิตร	51
3.14	การนำแก๊สชีวภาพไปใช้ประโยชน์ในการผลิตกระดาศสา	51
4.1	ผลการทดลองปริมาณแก๊สชีวภาพในถังหมัก 120 มิลลิลิตร	54
4.2	ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพ	55
4.3	ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 3 ลิตร	56
4.4	ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 30 ลิตร	59
4.5	ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพถังหมัก 30 ลิตร	60
4.6	ผลการทดลองการจุดติดไฟถังหมัก 30 ลิตร	61
4.7	ผลของค่า pH ต่อการผลิตแก๊สชีวภาพในถังหมัก 200 ลิตร	62
4.8	ผลการทดลองเปอร์เซ็นต์มีเทนในแก๊สชีวภาพถังหมัก 200 ลิตร	63
4.9	ผลการทดลองการจุดติดไฟในถังหมักขนาด 200 ลิตร	63

## ประมวลคำศัพท์และคำย่อ

BOD	=	Biochemical oxygen demand
COD	=	Chemical oxygen demand
HHV	=	High heating value
$\text{kJ/m}^3$	=	kilo joule per cubic meter
LPG	=	Liquid Petroleum Gas
mg/L	=	milligram per liter
pH	=	potential of Hydrogen ion
SG	=	Specific Gravity
TS	=	Total Solids
TVS	=	Total Volatile Solids