การศึกษาผลกระทบต่างๆที่มีต่อปริมาณก๊าซชีวมวลจากการหมักเปลือกกล้วย

Study of Influences on the Amount of Biomass Gas from Banana Peel Fermentation

นายวันพร ขำทุ่ง

นายสุรักษ์ มีสิงห์

นายกิตติพงษ์ เกิดยิ้ม

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 20 มิ.ย. 2554
เลขทะเบียน 15503991
เลขเรียกหนังสือ วร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร 2434 ก 2553

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2553

15503991
วร.
2434 ก
2553

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล : การศึกษาผลกระทบต่างๆที่มีต่อปริมาณก๊าซชีวมวลจากการหมักเปลือกกล้วย

ผู้ดำเนินงาน : นายวันพร ขำทุ่ง รหัสนิสิต 50362269
นายสุรักษ์ มีสิงห์ รหัสนิสิต 50362795
นายกิตติพงษ์ เกิดยิ้ม รหัสนิสิต 50363983

ที่ปรึกษาโครงงาน : ผศ.ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร
สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

.....ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร)

.....กรรมการ
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา)

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล : การศึกษาผลกระทบต่างๆที่มีต่อปริมาณก๊าซชีวมวลจากการหมัก เปลือกกล้วย

ผู้ดำเนินงาน : นายวันพร ขำทุ่ง รหัสนิสิต 50362269
นายสุรักษ์ มีสิงห์ รหัสนิสิต 50362795
นายกิตติพงษ์ เกิดยิ้ม รหัสนิสิต 50363983

ที่ปรึกษาโครงงาน : ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร

สาขาวิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2553

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์ทำเพื่อผลิตก๊าซชีวมวลจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้า ซึ่งเป็นของเหลือจากโรงงานผลิตกล้วยตากที่จัดว่าเป็นแหล่งอุตสาหกรรมที่สำคัญของจังหวัดพิษณุโลก โดยเริ่มจากการเตรียมหัวเชื้อ (Inoculum) ผสมมูลวัวกับน้ำที่อัตราส่วนต่างๆได้แก่ 80:20, 30:70, 40:60, 50:50, 40:60, 70:30, 80:20 ในขวดขนาด 1.5 ลิตร พบว่าที่อัตราส่วน 40:60, 50:50, 60:40, 70:30 ให้ความดันที่สูง ดังนั้นจึงเลือกใช้ 4 อัตราส่วนนี้ในการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าทั้งเปลือกกล้วยน้ำว้าสดและเปลือกกล้วยน้ำว้าแห้งที่ทำการตากแดดเป็นเวลา 2 วัน ระหว่างการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้านั้นได้ทำการบันทึกค่าของความดันและปริมาณก๊าซมีเทน พบว่าที่อัตราส่วนของมูลวัวต่อน้ำที่ 40:60 ให้ปริมารก๊าซสูงสุด และในการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสดนั้นได้ปริมาณก๊าซชีวมวลค่อนข้างสูงแต่จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่สูงตามไปด้วยจึงส่งผลให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนต่ำ และได้ประสิทธิภาพของก๊าซชีวมวลไม่ดีเท่าที่ควร แต่ในขณะที่เปลือกกล้วยน้ำว้าแห้งได้ปริมาณก๊าซชีวมวลต่ำกว่าปริมาณก๊าซชีวมวลของเปลือกกล้วยน้ำว้าสดเล็กน้อยแต่มีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ต่ำกว่ามากจึงส่งผลให้มีปริมาณก๊าซมีเทนสูงและมีประสิทธิภาพของก๊าซชีวมวลสูงกว่าเปลือกกล้วยน้ำว้าสด

Project Title : Study of Influences on the Amount of Biomass Gas from Banana Peel Fermentation.

Name : Mr. Wanporn Khamthung Student ID. 50362269

Mr. Surak Meeshing Student ID. 50362795

Mr. Kittipong Kedyim Student ID. 50363983

Project Advise : Asst. Prof. Dr. Koonlaya Kanokjaruvijit

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2010

Abstract

This project aims to produce biomass gas from fermentation of banana peels, which are waste from sundried banana industry in Phitsanulok. Firstly, inoculums, which functions as catalyst in the fermenting process, is prepared by mixing cattle dung and water with various weight ratios (kg dung:kg water), which are 80:20, 70:30, 40:60, 50:50, 40:60, 30:70 and 20:80 in 1.5 liter bottles connected with pressure gage, and data of pressure of the total gas are collected each day in order to find out which bottles the high activity of anaerobic bacteria takes place. The ratios of 40:60, 50:50, 40:60 and 70:30 give better trend. Then, banana peels are prepared for fresh and 2-day sundried feeds by chopping them into small pieces and mixing them with the selected ratio inoculum. The results show that the inoculum of the ratio 40:60 leads to the highest biomass gas production. Nevertheless, at the beginning large amount of CO_2 is also produced and accumulates; therefore, we purge the gas every day, and the data of daily amount of biogas are obtained. In the case of fresh peels, despite the high production of biomass gas, the methane content is low due to high content of CO_2. On the other hand, the sundried peels produce higher methane content because moisture content is low, thus, culture medium for bacteria is higher than the fresh peel.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณคณะบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโครงงานนี้ จนประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ได้แก่

1. ผศ.ดร.กุลยา กนกจารุวิจิตร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
2. ดร.ภาณุ พุทธวงศ์ กรรมการสอบโครงงาน
3. อาจารย์ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา กรรมการสอบโครงงาน
4. คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำ
5. สมาชิกในกลุ่มและเพื่อนทุกๆคน

สุดท้ายนี้กลุ่มของข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยสนับสนุน และค่อยเป็นกำลังใจมาโดยตลอด รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกๆท่านที่มิได้กล่าวมาไว้ ณ ที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

วันพร ขำทุ่ง
สุรักษ์ มีสิงห์
กิตติพงษ์ เกิดยิ้ม

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
ลำดับสัญลักษณ์	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตโครงงาน	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน	2
1.6 งบประมาณที่ใช้	3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทบทวนวรรณกรรม	4
2.2 การนำก๊าซชีวมวลไปใช้	6
2.3 ทฤษฎีของกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน	8
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเกิดมีเทน	12

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	
3.1 การออกแบบถังหมักก๊าซชีวมวล	16
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน	21
บทที่ 4 ผลการทดลอง	
4.1 ความชื้นของเปลือกกล้วยน้ำว้า	24
4.2 การหมักหัวเชื้อ (Inoculum)	25
4.3 การหมักเปลือกกล้วยสด	26
4.4 การหมักเปลือกกล้วยแห้ง	28
4.5 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของก๊าซชีวมวล	31
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลอง	33
บรรณานุกรม	34
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ลักษณะถังที่ใช้ในการหมัก	36
ภาคผนวก ข. ตารางคุณสมบัติ	38
ภาคผนวก ค. อื่นๆ	40
ประวัติผู้ทำโครงงาน	54

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวมวล 13

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของเปลือกกล้วย 14

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของเปลือกกล้วยที่ทำการหมักเปลือกกล้วยเป็นเวลา 25วันและ 40 วัน 15

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของหัวเชื้อ (Inoculum) 23

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความชื้นของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ตากแดดเป็นเวลา 2 วัน 24

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน 8

รูปที่ 2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์ 9

รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างกรด 10

รูปที่ 3.1 ชุดถังหมักที่ใช้ในการทดลอง 21

รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองของการหมักเปลือกกล้วยซึ่งได้มาของก๊าซชีวมวล 22

รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความดันของหัวเชื้อ 25

รูปที่ 4.2 แสดงค่าความดันที่เกิดจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสด 26

รูปที่ 4.3 ปริมาณก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสด 27

รูปที่ 4.4 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสด 28

รูปที่ 4.5 แสดงค่าความดันที่เกิดจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสด 29

รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าแห้ง 29

รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าแห้ง 30

รูปที่ 4.8 แสดงการเกิดก๊าซมีเทนของเปลือกกล้วยตากแห้งและเปลือกกล้วยสด 31

ลำดับสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
P	ความดัน	kPa
P_T	ความดันโดยรวมของก๊าซ	kPa
P_a , P_b , P_n	ความดันของก๊าซชีวมวลแต่ละชนิด	kPa
V	ปริมาตรก๊าซ	m^3
M	มวลของก๊าซ	Kg
R_U	ค่าคงที่ของก๊าซ = 8.315	kJ/kmol-K
T	อุณหภูมิของก๊าซ	K
σ	ค่าความเค้น	MPa
t	ความหนา	m
r	รัศมี	m
ρ	ความหนาแน่นของก๊าซ	kg/m^3

บทที่ 1
บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในจังหวัดพิษณุโลกมีพื้นที่เกษตรกรรมและมีการปลูกกล้วยน้ำว้าจำนวนมาก เป็นผลให้มีโรงงานอุตสาหกรรมการแปรรูปกล้วยน้ำว้ามากมายส่งผลให้มีเปลือกกล้วยน้ำว้าที่เหลือจากการแปรรูปที่ก่อให้เกิดเป็นปัญหาด้านขยะมูลฝอยของพื้นที่ จากการศึกษาองค์ประกอบของเปลือกกล้วยน้ำว้านั้นพบว่าในเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีสารอินทรีย์และน้ำตาลต่างๆหลายชนิดโดยในเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ทิ้งหมักหมมนั้นจะทำให้เกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งเป็นองค์ประกอบของก๊าซชีวมวล ดังนั้นจึงได้มีการนำเปลือกกล้วยน้ำว้ามาทำการหมักให้เกิดก๊าซชีวมวลเพื่อนำมาใช้ประโยชน์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนในโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปกล้วยน้ำว้า ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในด้านพลังงานของโรงงานอีกด้วย

จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าก๊าซชีวมวลนั้นที่ได้จากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าจะมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน (CH_4) ประมาณ 50-70% และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ประมาณ 30-40% ส่วนที่เหลือเป็นก๊าซชนิดอื่น ๆ เช่น ก๊าซไฮโดเจน (H_2) ก๊าซออกซิเจน (O_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ก๊าซไนโตรเจน (N) และไอน้ำ

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณหัวเชื้อ (Inoculum) ที่เหมาะสม ในการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้า

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการเกิดก๊าซชีวมวลจากการหมักเปลือกกล้วยสดและเปลือกกล้วยแห้ง

1.3 ขอบเขตโครงงาน

1.3.1 ศึกษาหัวเชื้อ (Inoculum) จากมูลวัว

1.3.2 ศึกษาและวิเคราะห์หาอัตราส่วนที่เหมาะสมของหัวเชื้อ (Inoculum) กับเปลือกกล้วยน้ำว้า (w/w)

1.3.3 ทำการทดสอบการเกิดก๊าซชีวมวลที่สภาวะอุณหภูมิห้อง

1.3.4 ศึกษาผลกระทบต่างๆที่มีผลต่อปริมาณการเกิดก๊าซมีเทน เช่น

- ชนิดของหัวเชื้อ (Inoculum) จากมูลวัว
- อัตราส่วนของมูลวัวและน้ำ (Inoculum)
- อัตราส่วนระหว่างเปลือกกล้วยน้ำว้าและหัวเชื้อ

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบชนิดหัวเชื้อและอัตราส่วนระหว่างมูลวัวและน้ำที่ดีที่สุดจากการทดลอง ในการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้า

1.4.2 วิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบกับอัตราส่วนของหัวเชื้อที่ทำการหมัก (Total solid)

1.5 ระยะเวลาการดำเนินการ

กิจกรรม	2553							2554	
เดือน	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1. ศึกษาข้อมูล	←	→							
2. เสนอโครงงาน		←	→						
3. ออกแบบถังหมักก๊าซชีวมวล			←	→					
4. ดำเนินการสร้างถังหมักก๊าซชีวมวล				←	→				
5. เก็บข้อมูล						←	→		
6. สรุป								←	→

1.6 งบประมาณ

1.	ท่อ PVC 3 ทาง	78 บาท
2.	วาล์ว PVC	840 บาท
3.	ท่อ PVC	200 บาท
4.	ฝาครอบเกลียวใน	70 บาท
5.	ข้องอและข้อต่อเกลียวนอก	108 บาท
6.	กาวทาท่อและซิลิโคน	400 บาท
7.	พลั่วพรวนดิน	25 บาท
8.	ถุงมือและผ้าปิดจมูก	100 บาท
9.	กระดาษทราย	8 บาท
	รวม	1829.- บาท

หมายเหตุ อุปกรณ์อื่นๆ มีอยู่แล้ว

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

Kalia และคณะ (1995) ได้อธิบายการหมักกล้วย 2 วิธี ที่อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปานกลาง เพื่อทำการเปรียบเทียบการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยมีหัวเชื้อมูลวัว (Inoculum) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยทำการแบ่งกระบวนการเป็น 3 กระบวนการดังนี้

1. Bacterial cultures เป็นขั้นตอนการผลิตหัวเชื้อ ซึ่งทำจากการหมักมูลวัว เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับมูลวัว โดยอาศัยแบคทีเรีย Acidogen Bacteria ช่วยผลิตกรดอินทรีย์จำพวก Volatile Acid ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่าการเกิดกรด

2. ทำการหมักเปลือกกล้วยที่ตากแห้งแล้วกับน้ำในขวด 250 ml โดยจะทำการใส่เปลือกกล้วยเป็น 2% , 4% , 8% และ 16% w/w ของขวดที่บรรจุ จากนั้นนำ Inoculum มาใส่ในปริมาณ 30 ml ในแต่ละขวดจากนั้นสังเกตปฏิกิริยาการย่อยของกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic)

3. Methanoenesis เป็นขั้นตอนที่แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน (Methanogen) กล่าวคือเป็นขั้นตอนการเปลี่ยนกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนไปเป็นก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิปานกลาง

Boyd และคณะ (1981) ได้ทำการหมักเปลือกผลไม้สองชนิดคือ เปลือกกล้วยหอมและเปลือกสับปะรด แล้วนำผลที่ได้จากการหมักมาเปรียบเทียบเพื่อหาก๊าซชีวภาพ โดยวิธีการหมักนั้นขั้นแรกนำเปลือกกล้วยหอมและเปลือกสับปะรดในปริมาณที่เท่ากันไปหั่นเป็นชิ้นๆประมาณ 5-10 mm แล้วใส่ไปในถังหมักเป็นปริมาณ 10% ของถัง จากนั้นได้ทำหัวเชื้อการหมักโดยการนำมูลวัวสดผสมกันน้ำมาใส่ในขวดแล้วหมักไว้เพื่อให้ได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย จากนั้นจึงนำหัวเชื้อมาใส่ในถังหมักให้ได้ปริมาณ 40% ของถึงหมัก แล้วทำการหมักเป็นเวลา 40 วันในการทดลองนี้ได้มีการทดสอบก๊าซชีวภาพที่ได้โดยการปล่อยก๊าซจากถังหมักแล้วทำการจุดไฟเพื่อทดสอบก๊าซชีว

มวลที่ได้โดยควบคุมท่อส่งจ่ายของก๊าซให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางและอัตราการไหลที่เท่ากัน จากนั้นได้ทำการศึกษาถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมักซึ่งทำให้เห็นถึงสองกระบวนการที่เกิดขึ้น คือ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และกระบวนการที่แบคทีเรียผลิตก๊าซชีวมวล เมื่อนำมาเปรียบเทียบก็พบว่า การหมักทั้งสองชนิดให้ปริมาณก๊าซชีวมวลในปริมาณที่ใกล้เคียงกันโดยกล้วยนั้นมีค่ามากกว่าประมาณ 5%

Chanakya และคณะ (1994) ศึกษาการหมักใบไม้แห้งและใบไม้สดแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้ถัง 2 ถัง ได้แก่ ถังที่ผลิตกรดที่มีสารตั้งต้นร้อยละ 22 และถังผลิตก๊าซชีวภาพแบบ packed – bed ได้ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 70 มีปริมาตรก๊าซชีวภาพ 190 l/kg dry solid ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งร้อยละ 42 และ 45 สำหรับใบไม้สดและใบไม้แห้ง ตามลำดับ พบว่าปริมาณกรดไขมันจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราการป้อนสารอินทรีย์และเวลาการเก็บกาก ที่สำคัญการทดลองแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน มีการดูแลค่อนข้างยุ่งยาก ไม่เหมาะสมกับการใช้ของเกษตรกร

Radvan และคณะ (1997) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ข้าวฟ่าง พบว่าการเติมหัวเชื้อจากมูลวัวเป็นจำนวนมากพบว่า จะทำให้มีปริมาณแบคทีเรียมากเป็นผลทำให้เกิดก๊าซมีเทนเร็วขึ้น แต่ถ้ามีการเติมมากจนเกินไปจะทำให้เกิดการไม่สมดุลระหว่างจำนวนแบคทีเรียทำให้ค่า pH ต่ำ ซึ่งหมายถึงความเป็นกรดสูง จึงแก้ไขด้วยการได้การเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นการช่วยเพิ่มค่าอัลคาร์ไลนิตี้ แต่ถ้าหากเติมมากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยลงทำให้ค่า pHลด ของเสียที่มีเส้นใยถ้านำไปทำให้พองตัวของโมเลกุลก่อนจะช่วยให้แบคทีเรียย่อยสลายได้เร็วขึ้น สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซมีเทนจากข้าวฟ่างคือ มีของแข็งร้อยละ 21 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ใช้หัวเชื้อจากมูลวัวร้อยละ 11 และใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 2

สมใจ ภัสสัตยางกูล (1984) ได้ทำการวิจัยหาสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพของเชื้อจุลินทรีย์ โดยได้อธิบายว่ากลไกของการย่อยสลายแบ่งออกเป็นออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นการที่เชื้อจุลินทรีย์ได้นำสารตั้งต้นเข้าสู่เซลล์และขั้นตอนที่สองคือการเกิดเมทาบอลิซึมหรือการย่อยสลายในระดับเซลล์โดยสารตั้งต้นนั้นสามารถที่จะเกิดการย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วหากสารตั้งต้นนั้นอยู่ในสภาวะที่สามารถละลายน้ำได้ (Water – Soluble From) อย่างไรก็ตามการย่อยสลายสารตั้งต้นนั้นมักจะถูกจำกัดด้วยความสามารถในการละลายจากปัจจัยภายนอก เช่น สภาพความอิ่มตัวของสารตั้งต้น หรือการที่ถูกดูดซับจากภายนอกมากระทำ

Kalia และคณะ (1975) ได้อธิบายถึงจุด Yield ของการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ในการหมัก (จุด Yield ของการหมักก๊าซมีเทน คือ กระบวนการที่กรดอะมิโนที่เกิดจากการหมักนั้นเกิดเป็นก๊าซชีวมวลซึ่งมีก๊าซมีเทน (CH_4) ประกอบด้วย) จุด Yield ที่เกิดจากการหมักเปลือกกล้วยอยู่ที่ 398 ± 20 $CH_4 kgVS^{-1}$ โดยได้ทำการทดลองหมักเปลือกกล้วยหอมในปริมาณที่เท่ากันและใช้เวลาในการหมักที่เท่ากันแล้วจึงหาค่าเฉลี่ยในการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4)

2.2 การนำก๊าซชีวมวลไปใช้ (Biomass Gas)

2.2.1 ความหมายของก๊าซชีวมวล

จักรพันธ์ ปัญจะสุวรรณ (2540) ได้ให้ความหมายของก๊าซชีวมวลดังนี้ ก๊าซชีวมวล (Biogas) หมายถึงก๊าซที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตทั้งที่เป็นทั้งพืชและสัตว์ ในสภาวะไร้ออกซิเจน(anaerobic) โดยมีจุลินทรีย์หลายชนิดเป็นตัวย่อยสลายก๊าซชีวมวลเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจมีก๊าซไนโตรเจน (N_2) ไฮโดรเจน (H_2) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปะปนอยู่เล็กน้อย ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้และสภาวะของกระบวนการการหมักโดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวมวลมีดังต่อไปนี้

ก๊าซมีเทนร้อยละ	50 – 70
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ	30 - 50
ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ	0 - 8
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ	0 – 1

ก๊าซชีวมวลสามารถใช้เป็นพลังงานทางเลือกหนึ่งได้ ทั้งนี้ก๊าซชีวมวลสามารถนำไปใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้โดยตรงเหมือนก๊าซแอลพีจีปราศจากควันและเขม่า

2.1.1 การใช้ก๊าซชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง

ก๊าซชีวมวลสามารถจุดติดไฟในอากาศ และให้ความร้อนสูง สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงได้เป็นอย่างดี เช่น นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงตะเกียงแสงสว่าง ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มแทนก๊าซ LPG ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์แทนน้ำมันเบนซิน และใช้เป็นเชื้อเพลิงร่วมกับน้ำมันในเครื่องยนต์ดีเซล เป็นต้น ก๊าซชีวภาพไม่สามารถอัดให้มีปริมาณมากพอแก่การใช้เป็นเชื้อเพลิงที่เคลื่อนที่ได้ การอัดก๊าซชีวมวลที่นิยมกันคือ การอัดใส่ยางในรถยนต์ของ ชัยวิชิต ชุยบ้านเกิ้ง และคณะ (2006) เพราะยางในรถยนต์สามารถยืดออกได้มากขนย้ายไปมาได้อย่างสะดวก แต่ปริมาณที่ขนย้ายได้นั้นยังน้อยไม่พอแก่ความต้องการ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ใช้กับก๊าซชีวมวล ควรจะอยู่ใกล้กับบ่อหมักก๊าซชีวมวล เพื่อการประหยัดท่อทางเดินของก๊าซ และยังเป็นการลดความฝืดของการไหลของก๊าซชีวมวลอีกด้วยก๊าซชีวมวลรวมตัวกับออกซิเจนติดไฟได้

2.1.2 ผลเสียเมื่อปล่อยก๊าซชีวภาพทิ้งสู่บรรยากาศ

เนื่องจากก๊าซชีวมวลมีส่วนประกอบหลักเป็นก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกที่ให้ผลรุนแรงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ประมาณ 25 เท่า ดังนั้น หากปล่อยก๊าซชีวภาพทิ้งสู่บรรยากาศจะเป็นการเพิ่มอัตราการเกิดภาวะเรือนกระจกหรือเร่งให้โลก มีอุณหภูมิสูงขึ้น

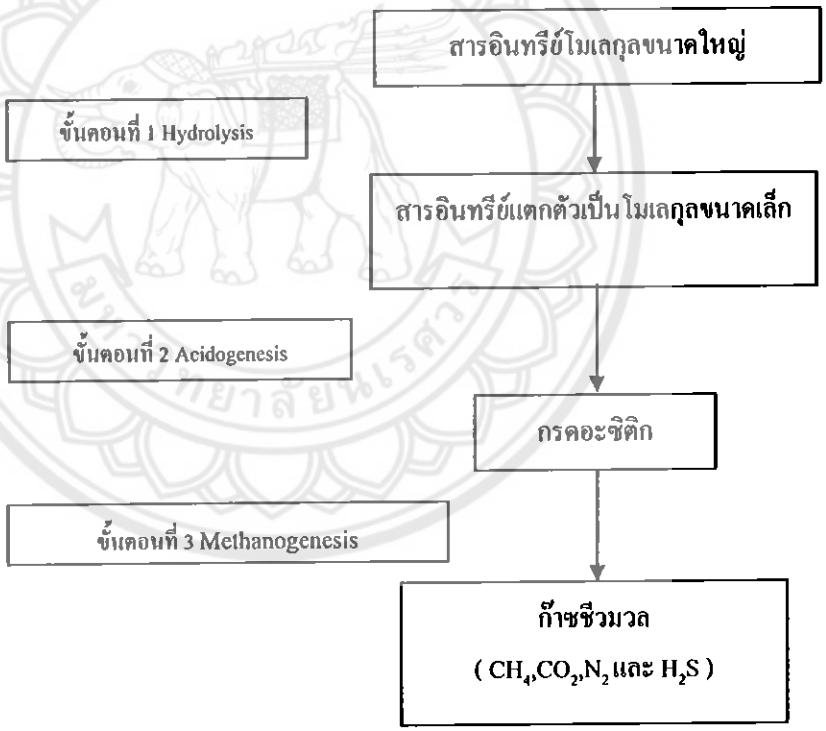
2.3 ทฤษฎีของกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน

กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน เกิดขึ้นจากการทำงานร่วมกันของจุลินทรีย์หลายๆ ชนิดในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาพไร้ออกซิเจน (Anaerobic) อาจแบ่งขั้นตอนการทำงานตามลำดับของกระบวนการได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังแสดงในผังรูปที่ 2.1 ได้แก่

1) ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis)

2) การสร้างกรด (Acidogenesis)

3) การสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenesis)

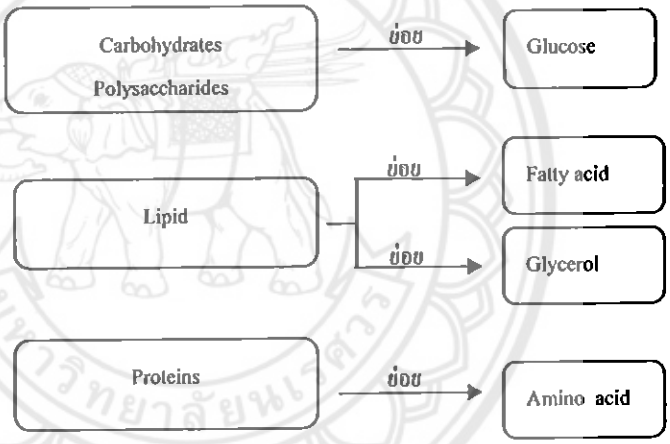


รูปที่ 2.1 กระบวนการเกิดก๊าซมีเทน

โดยในแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.3.1 ไฮโดรไลซีส (Hydrolysis)

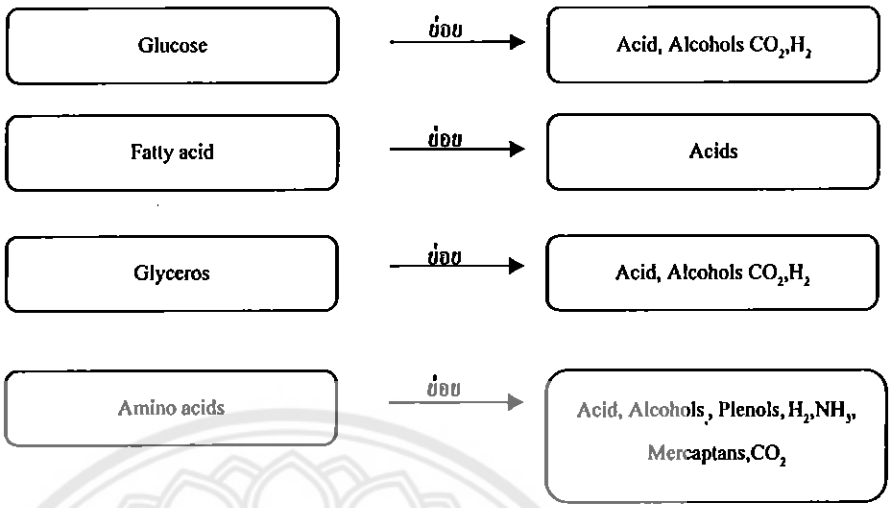
ขั้นตอนนี้สารอินทรีย์ยังอยู่ในรูปโมเลกุลขนาดใหญ่จึงไม่สามารถจะย่อยสลายได้ทันที จำเป็นที่จะต้องมีการทำให้เกิดการแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กเสียก่อน โดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่มแรกปล่อยเอนไซม์มาช่วยเร่งการแตกตัวของโมเลกุลให้มีขนาดเล็กลง จำพวก คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมันจะถูกย่อยแตกตัวเป็นโมเลกุลขนาดเล็กลง และสามารถละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโน กลูโคส กลีเซอรอล กรดไขมัน โดยอาศัยปฏิกิริยาไฮโดรไลซีส แบคทีเรียกลุ่มนี้จะได้รับสารอาหารบางชนิดจากสารอินทรีย์ผ่านการดูดซึมเข้าสู่เซลล์ได้โดยตรง แสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์

2.3.2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

แบคทีเรียอีกกลุ่มจะทำการย่อยสลายโมเลกุลที่แตกตัวแล้วจากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์ (Organic Acid) ซึ่งได้แก่ Acetic Acid, น้ำ (H_2O) และ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นต้น แบคทีเรียทีกลุ่มนี้เรียกว่า Acid Forming Bacteria เป็นแบคทีเรียที่อยู่ได้ทั้งในสภาพที่มีออกซิเจนหรือไม่มีออกซิเจน ซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการสร้างกรด

การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์พวกสร้างกรดส่วนใหญ่จะได้กรดไพรูวิก ($CH_3COCOOH$) ก่อนเสมอ หลังจากนั้นกรดไพรูวิคจะถูกย่อยสลายต่อไปเป็น กรดอินทรีย์โมเลกุลใหญ่กว่าอซิติก เช่น กรดโพรพิโอนิค (CH_3CH_2COOH) บิวทิริค ($CH_3CH_2CH_2$-COOH) เป็นต้น หรืออาจจะได้เป็นกรดอะซิติกเลยก็ได้ กรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลใหญ่กว่า กรดอะซิติกจะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่สร้างไฮโดรเจน (Hydrogen Producing Acetogenic Bacteria) ไปเป็นกรดอะซิติก (CH_3COOH) ดังสมการ

$$CH_2CHOHCOO^- + 2H_2O \longrightarrow CH_3COO^- + HCO_3^- + H^+ + 2H_2 \qquad (2.1)$$

การย่อยสลายที่ไม่ผ่านกรดไพรูวิคสามารถเกิดขึ้นได้บ้าง เช่น การรวมตัวของ คาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน ได้จุลินทรีย์ Clostridiums Asceticism ได้กรดอะซิติก

$$2CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_3COOH + 2H_2O \qquad (2.2)$$

ขั้นตอนการย่อยสลายที่ทำให้เกิดกรดนี้ จะมีผลทำให้ค่าซีโอดี (COD = ค่าปริมาณออกซิเจนที่ต้องการเพื่อใช้ในปฏิกิริยา) ลดน้อยมาหรืออาจจะกล่าวได้ว่าไม่ลดลงเลยถ้าไม่มีการเกิดไฮโดรเจน ซีโอดีที่ลดลงไปนั้นเป็นผลมาจากการสูญเสียประสิทธิภาพของจุลินทรีย์ในระหว่างที่มี

การเปลี่ยนแปลงรูปของสารอินทรีย์เท่านั้น และเมื่อมีการสร้างไฮโดรเจนโดยที่อิเล็กตรอนถูกส่งไปให้กับไฮโดรเจนไอออน ทำให้ก๊าซจึงเป็นการลดอิเล็กตรอนของสารอินทรีย์ทำให้สภาวะออกซิเดชันลดลง จุลินทรีย์ในขั้นตอนนี้ ส่วนใหญ่เป็นจุลินทรีย์ที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน (Facultative Anaerobic bacteria) ส่วนจุลินทรีย์ที่ดำรงอยู่ในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนอยู่เลย (Obligate Anaerobic Bacteria) มีอยู่น้อยมาก

2.3.3 ขั้นตอนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นตอนนี้จุลินทรีย์พวกสร้างมีเทนจะทำหน้าที่ย่อยสลายผลผลิต จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นตอนสร้างกรด (Non – Methanogenic) ซึ่งได้แก่ กรดอินทรีย์ คาร์บอนไดออกไซด์ ไฮโดรเจน และอื่น ๆ โดยนำสารอินทรีย์เหล่านี้ไปเป็นอาหารและแหล่งพลังงาน การย่อยสลายกรดอินทรีย์ในขั้นตอนนี้จะเป็นการลดค่าซีโอดีในน้ำเสีย และเกิดก๊าซมีเทนขึ้น กล่าวคือพลังงานเคมีที่อยู่ในรูปซีโอดีกว่าร้อยละ 90 จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปก๊าซมีเทน ก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาจากปฏิกิริยาชีวเคมี ของการย่อยสลายกรดอะซิติก หรือ Acetate Decarboxylation ดังแสดงในสมการที่ 2.3

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \qquad (2.3)$$

นอกจากนี้ก๊าซมีเทนยังมาจากปฏิกิริยาชีวเคมี ระหว่างก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
(Carbondioxide Reduction) ดังแสดงในสมการที่ (2.4)

$$CO_2 + 4H_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \qquad (2.4)$$

2.3.4 กฎของดาลตัน (Dalton's Law)

ความดันของก๊าซชีวมวลเท่ากับผลรวมของความดันของก๊าซแต่ละชนิดที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซผสมนั้น แสดงดังสมการที่ (2.5)

$$P_T = P_a + P_b + \ldots + P_n \qquad (2.5)$$

เมื่อ P_T = ความดันโดยรวมของก๊าซชีวมวล (kPa)

$P_a + P_b + \ldots + P_n$ = ความดันของก๊าซชีวมวลแต่ละชนิด (kPa)

จากกฎของดาลตันจะแสดงการคำนวณความดันย่อยแต่ละชนิดได้ดังนี้

$$PV = mRT \quad (2.6)$$

โดยที่ P = ความดันย่อยแต่ละชนิด (kPa)

V = ปริมาตรก๊าซแต่ละชนิด (m^3)

M = มวลของก๊าซแต่ละชนิด (kg)

$R = (R_u/MW_{gas\ total})$

$MW_{mix} = X_{CH_4}MW_{CH_4} + X_{CO_2}MW_{CO_2} + X_{H_2S}MW_{H_2S} + X_{N_2}MW_{N_2}$

R_U = Universal Gas Constant = 8.315 kJ/kmol-K

T = อุณหภูมิ (K)

2.3.5 ภาชนะความดันผนังบาง (Thin – walled Pressure Vessels)

จากสูตรการหาค่าความเค้นในแนวรัศมีของภาชนะความดันผนังบาง

$$\sigma = Pr/2t \quad (2.7)$$

จากสูตรการหาค่าความเค้นในแนวแกนของภาชนะความดันผนังบาง

$$\sigma = Pr/t \quad (2.8)$$

โดยที่ P = ความดันย่อยของก๊าซแต่ละชนิด (MPa)

σ = ค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (MPa)

t = ความหนาของผนังถังความดันน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (m)

r = รัศมีภายในถังความดัน (m)

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการเกิดก๊าซมีเทน

ปัจจัยและสภาวะแวดล้อมที่มีผลต่อการเจริญเติบโต และประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ได้แก่อุณหภูมิ pH กรดอินทรีย์ สารอาหารที่จำเป็นและสารพิษ เป็นต้น ดังนั้นในการควบคุมกระบวนการให้เสถียร และเกิดประสิทธิภาพสูงสุดจึงจำเป็นจะต้องควบคุมปัจจัยและสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสม

2.4.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิมีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เป็นอย่างมาก เพราะจุลินทรีย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก ดังนั้นจุลินทรีย์ส่วนมากสามารถดำรงชีพอยู่ได้ในช่วงอุณหภูมิต่ำกว่า 99 °C ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการเจริญเติบโต สามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้คือ

1) ช่วง Psychophysics อยู่ระหว่าง 5 – 15 องศาเซลเซียส
2) ช่วง Mesospheric อยู่ระหว่าง 35 – 37 องศาเซลเซียส
3) ช่วง Thermophilic อยู่ระหว่าง 50 – 55 องศาเซลเซียส

2.4.2 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีอิทธิพลต่อจุลินทรีย์ในแง่ของการเจริญเติบโต สมมติฐานว่า ค่าพีเอชที่แตกต่างกันจะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนแตกต่างกันไป ซึ่งทำให้ค่าความแตกต่างศักย์ทางเคมีไฟฟ้า (Electro Chemical Gradient) ของการขนถ่ายสารอาหารและกำจัดของเสียออกจากเซลล์เปลี่ยนแปลง โดยที่ค่าพีเอชต่ำหรือมีความเป็นกรดสูง จะมีปริมาณไฮโดรเจนไอออนอยู่มากทำให้การซึมเข้าและออกจากเซลล์เป็นไปได้ยาก เป็นเหตุให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตและการตายของจุลินทรีย์

2.4.3 องค์ประกอบต่างๆของเปลือกกล้วย

จากตาราง 2.1 ของ โชค สุขโชติ (2009) ได้แสดงถึงองค์ประกอบและอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของก๊าซต่างๆที่มีอยู่ในก๊าซชีวมวล พบว่า องค์ประกอบหลักๆของก๊าซชีวมวลที่ได้จากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้านั้นได้แก่ CH_4 และ CO_2 ส่วนก๊าซอื่นๆมีปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับ CH_4 และ CO_2 ซึ่งข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการสร้างสมมติฐานสำหรับเครื่องมือวัดที่มีต่อไป

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวมวล

ชนิดของก๊าซ	ปริมาณ (%)
มีเทน (CH_4)	50-68
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	25-35

ไนโตรเจน (N_2)	1-7
ไฮโดรเจน (H_2)	1-5
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	เล็กน้อย
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S)	เล็กน้อย
ก๊าซอื่นๆ	เล็กน้อย

2.4.4 คุณลักษณะของเปลือกกล้วย

Somayaji และคณะ (1996) ได้ทำการทดลองเพื่อหาคุณลักษณะของเปลือกกล้วยดังแสดงในตารางที่ 2.2 และทำการหมักเปลือกกล้วยเพื่อให้ได้ก๊าซชีวมวลเป็นเวลา 25 วันและ 40 วันแล้ววัดค่าต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 คุณลักษณะของเปลือกกล้วย

	Banana peel (%)
Total solids	10.68
Volatile solids	85.65
Ash	13.35
Organic carbon	41.37
Total carbohydrates	23.44
Cellulose	11.11
Hemicelluloses	5.36
Total soluble	35.89
Total nitrogen	1.06
C/N ratio	39.1

ตารางที่ 2.3 คุณลักษณะของเปลือกกล้วยที่ทำการหมักเปลือกกล้วยเป็นเวลา 25 วันและ 40 วัน

ทำการทดลองการหมักแล้วทำการวัดค่าต่างๆ ณ วันที่ 25 และ 40 พบว่า	25 days HRT	40 days HRT
Biogas (ml/day)	1210	875
Yield (l/kg TS)	188	219
Methane (%)	55	57

หมายเหตุ HRT (Hydraulic Retention Time) คือ ระยะเวลากักเก็บของเหลว : ระยะเวลาเฉลี่ยที่ของน้ำเสียอยู่ในถัง บ่งบอกถึงระยะเวลาที่ให้เกิดการย่อยสลาย มีหน่วย ชั่วโมง,วัน เป็นต้น

บทที่ 3
ขั้นตอนและการดำเนินงาน

ในเนื้อหาส่วนนี้ เป็นการกล่าวถึงขั้นตอนการออกแบบชุดอุปกรณ์และขั้นตอนของการทดลอง โดยได้ทำการอธิบายถึงวิธีการเลือกใช้วัสดุที่จะทำถังหมักก๊าซชีวมวลและอุปกรณ์อื่นๆที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน อีกทั้งได้อธิบายถึงกระบวนการในการทดลองและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น

3.1 การออกแบบถังหมักก๊าซชีวมวล

3.1.1 การคำนวณหาปริมาณเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวมวล

ในการออกแบบชุดถังหมักก๊าซชีวมวลเพื่อใช้ในการทดลองได้นั้นจำเป็นต้องทราบถึงปริมาณเปลือกกล้วยน้ำว้าที่มากที่สุดที่จะถูกบรรจุอยู่ในถังหมักก๊าซชีวมวลก่อนเพื่อจะได้คำนวณหาค่าความดันที่จะเกิดขึ้นโดยไม่ทำให้ชุดถังหมักก๊าซชีวมวลเกิดความเสียหาย แล้วจะนำข้อมูลส่วนนี้ไปเลือกวัสดุที่ใช้ทำถังหมักก๊าซชีวมวลได้โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์

$$\rho = \frac{m}{v} \qquad (3.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของเปลือกกล้วย มีค่า 1.14 g/cm^3 (จากทฤษฎีของ Pat Kendall 1988)

m คือ มวลของเปลือกกล้วยน้ำว้า (kg)

v คือ ปริมาตรของถังที่ใช้บรรจุเปลือกกล้วยน้ำว้า ในการทดลองนี้เราทำการควบคุมให้มีค่าคงที่เท่ากับ 4.5 ลิตร ในถังขนาด 6 ลิตร

ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจะสามารถหาน้ำหนักของเปลือกกล้วยน้ำว้าได้เป็น

$$m = (1.14)(4{,}500) = 5{,}130 \text{ g} = 5.13 \text{ kg}$$

3.1.2 การคำนวณค่าความดันที่เกิดขึ้นได้ในถังหมักก๊าซชีวมวล

หัวข้อนี้เราจะคำนวณหาความดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้ทั้งหมดจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าดังกล่าว โดยสมมติให้ก๊าซชีวมวลเป็นไปตามกฎของก๊าซในอุดมคติ มวลโมเลกุลโดยรวมที่ได้จากก๊าซชีวมวลในถังขนาด 6 ลิตร มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$MW_{mix} = X_{CH4}MW_{CH4} + X_{CO2}MW_{CO2} + X_{H2S}MW_{H2S} + X_{N2}MW_{N2} \quad (3.2)$$

เนื่องจากมวลโมเลกุลของก๊าซต่างๆที่เกิดขึ้นภายในถังหมักก๊าซชีวมวลเป็น

MW_{CH4} = 16 kg/kmol

MW_{CO2} = 44 kg/kmol

MW_{H2S} = 34 kg/kmol

$X_{N2}MW_{N2}$ = 28 kg/kmol

อัตราส่วนโดยโมลที่ปริมาตร 1.5 ลิตร (บริเวณที่มีก๊าซชีวมวลสะสมอยู่)

CH_4 มีค่า 55 % โดยโมลคิดเป็นสัดส่วนโมล $X_{CH_4} = 0.55$

CO_2 มีค่า 43 % โดยโมลคิดเป็นสัดส่วนโมล $X_{CO_2} = 0.43$

H_2S มีค่า 1 % โดยโมลคิดเป็นสัดส่วนโมล $X_{H_2S} = 0.01$

N_2 มีค่า 1 % โดยโมลคิดเป็นสัดส่วนโมล $X_{N_2} = 0.01$

นำไปแทนค่าในสมการ 3.2 จะได้

$$MW_{mix} = (0.55)(16) + (0.43)(44) + (0.01)(34) + (0.01)(28)$$

$$MW_{mix} = 28.34 \text{ kg/kmol}$$

เพราะฉะนั้น MW ของก๊าซชีวมวลมีค่าเท่ากับ 28.34 kg/kmol

ขั้นตอนต่อมาเราจะหาปริมาณของก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้ในแต่ละวัน ซึ่งข้อมูลที่จะช่วยให้เราสามารถคำนวณหาปริมาณก๊าซชีวมวล คือ Total Solid ซึ่งนิยามคือ ปริมาณคาร์บอนที่มีอยู่ในพืชแต่ละชนิด เรียกว่า Total Solid ซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ ซึ่งเมื่อมีการหมักเปลือกกล้วยไปเรื่อยๆปริมาณ Total Solid จะลดลงจนกระทั่งหมดไป นั้นหมายถึงเปลือกกล้วยจะไม่สามารถผลิตก๊าซชีวมวลออกมาได้แล้ว จากตาราง 2.2 ของ Somayaji และคณะ (1996) พบว่า Total solid ที่ใช้จะมีค่า 10.68 % ของน้ำหนักกล้วยทั้งหมดที่ใช้ในการหมักก๊าซชีวมวล

ใช้เปลือกกล้วยน้ำว้าในการหมัก 5.13 kg

ดังนั้นจะได้Total solid ที่ใช้ในการทดลอง $= \frac{m(\%Total\ solid)}{100}$ (3.3)

เมื่อ m คือ มวลของเปลือกกล้วยน้ำว้า

จากสมการ 3.3 สามารถแทนค่าได้ $= \frac{(5.13)(10.68)}{100} = 0.548$ kg

จากตารางที่ 2.3 เลือกปริมาตรก๊าซที่จุด Yield ของ Somayaji และคณะ (1996) มีค่าเท่ากับ 188 l/kg TS ภายใน 25 วัน ซึ่งหมายถึงในแต่ละวันจะเกิดก๊าซที่จุด Yield เท่ากับ 7.52 l/kg TS

ดังนั้น เปลือกกล้วยน้ำหนัก 5.13 kg จะผลิตก๊าซได้ (7.52)(0.548) = 4.121 ลิตร หรือ 0.004 m^3/day

จากความสัมพันธ์ 3.1 สามารถแทนค่าหามวลของก๊าซได้ คือ

$$m = \rho v$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของก๊าซมีเทน (CH_4) เท่ากับ 0.717 kg/m^3

V คือ ปริมาตรของก๊าซ

สามารถแทนค่าได้ m = (0.717)(0.004) = 0.003 kg

ดังนั้น เปลือกกล้วยน้ำหนัก 5.13 kg สามารถผลิตก๊าซได้ 0.003 kg/day

ความดันที่เกิดขึ้นภายในถังเนื่องจากการเกิดก๊าซชีวมวลสามารถคำนวณได้จากกฎของก๊าซในอุดมคติ

$$PV = mRT \tag{3.4}$$

จัดรูปจะได้ความสัมพันธ์สำหรับความดันเป็น

$$P = \frac{mRT}{V}$$

เมื่อ P = ความดันที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้า (Pa)

V = ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้า (m^3)

m = มวลของก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้า (kg)

R_u = ค่าคงที่ของก๊าซ มีค่าเท่ากับ 8,314 (J/kmol-K)

MW_{mix} = 28.34 kg/kmol

R = ค่าคงที่ของก๊าซชีวภาพ มีค่าเท่ากับ $\frac{Ru}{MW} = \frac{8,314}{28.34} = 293.366$ (J/kg-K)

T = อุณหภูมิในถังหมัก = 303 K

เนื่องจากปริมาตรก๊าซในถังหมัก 0.0015 m^3 นำค่าที่ได้แทนลงในสมการ จะได้

$$P = \frac{(0.003)(293.366)(303)}{0.0015} = 177,779.796 \text{ Pa}$$

ดังนั้น จะได้ค่าความดันในถังหมักก๊าซชีวมวลมีค่าเท่ากับ 177.779 kPa/day

หมายเหตุ จากการทดลองพบว่า วันที่เกิดปริมาณของการหมักสามารถวัดค่าความดันได้ 50 – 60 Pa ซึ่งค่าที่วัดได้มีค่าไม่เกินค่าความดันสูงสุดที่เราคำนวณได้ตามทฤษฎี

3.1.3 การคำนวณค่าความดันที่ถังหมักสามารถทนได้

จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้คำนวณค่าความดันที่สามารถเกิดขึ้นได้จากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้ามาแล้ว ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องเลือกถังที่มีขนาดตามต้องการและสามารถทนความดันดังกล่าวได้โดยถังนั้นไม่เกิดความเสียหาย ซึ่งความดันนั้นจะต้องพิจารณาสำหรับความเค้นทั้งในแนวรัศมีและแนวตามแกน ดังนี้

จากสูตรการหาความเค้นในแนวรัศมีของภาชนะความดันผนังบาง

$$\sigma = \frac{Pr}{2t} \tag{3.5}$$

จากสมการจะได้ความสัมพันธ์สำหรับความดันเป็น

$$P = \frac{2t\sigma}{r}$$

เมื่อ P = ความดันที่ใช้ในการออกแบบ (MPa)

σ = ค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (MPa)

t = ความหนาของผนังถังความดันน้อยสุดที่ยอมรับได้ (m)

r = รัศมีภายในของถังความดัน (m)

ดังนั้นจึงทำการเลือกถังหมักที่ทำจากพลาสติกชนิด Polyester (PET) เนื่องจากทนต่อสภาพความเป็นกรดของกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นได้ โดยถังมีคุณสมบัติดังนี้

σ = 70 MPa, t = 0.45 mm, r = 75 mm

เมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการจะได้

$$P = \frac{2(0.00045)(70{,}000{,}000)}{0.075} = 840{,}000 \text{ Pa} = 840 \text{ kPa}$$

และจากสูตรการหาความเค้นในแนวตามแกนของภาชนะความดันผนังบาง

$$\sigma = \frac{Pr}{t} \tag{3.6}$$

จัดรูปจะได้ความสัมพันธ์สำหรับความดันเป็น

$$P = \frac{t\sigma}{r}$$

เมื่อนำไปแทนค่าลงในสมการจะได้

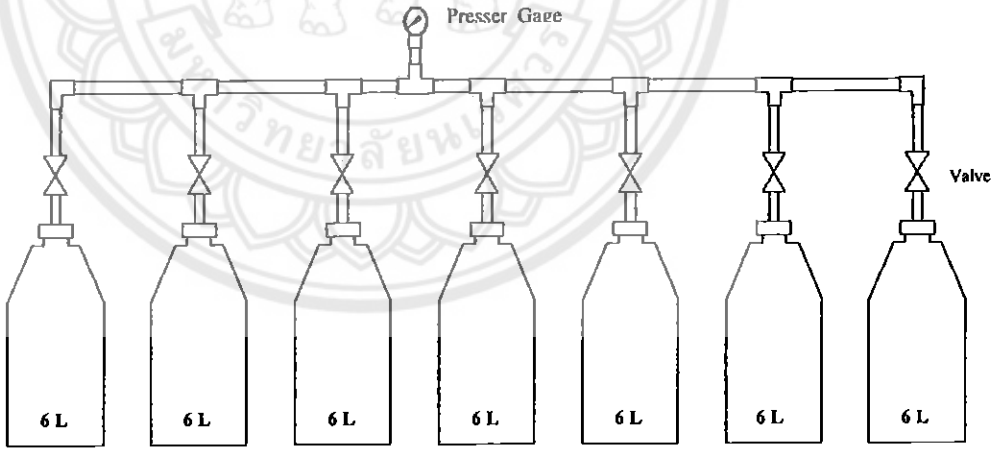
$$P = \frac{(0.00045)(70{,}000{,}000)}{0.075} = 420{,}000 \text{ Pa} = 420 \text{ kPa}$$

จากการคำนวณจะได้ความเค้นในแนวรัศมีของภาชนะมีค่าเท่ากับ 840 kPa และความเค้นในแนวตามแกนของภาชนะมีค่าเท่ากับ 420 kPa ดังนั้น ภาชนะนี้จะสามารถรับความดันสูงสุดได้ 420 kPa ซึ่งเกินกว่าที่ก๊าซผลิตได้ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องปล่อยก๊าซออกทุกๆวัน

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 การเตรียมการทดลอง

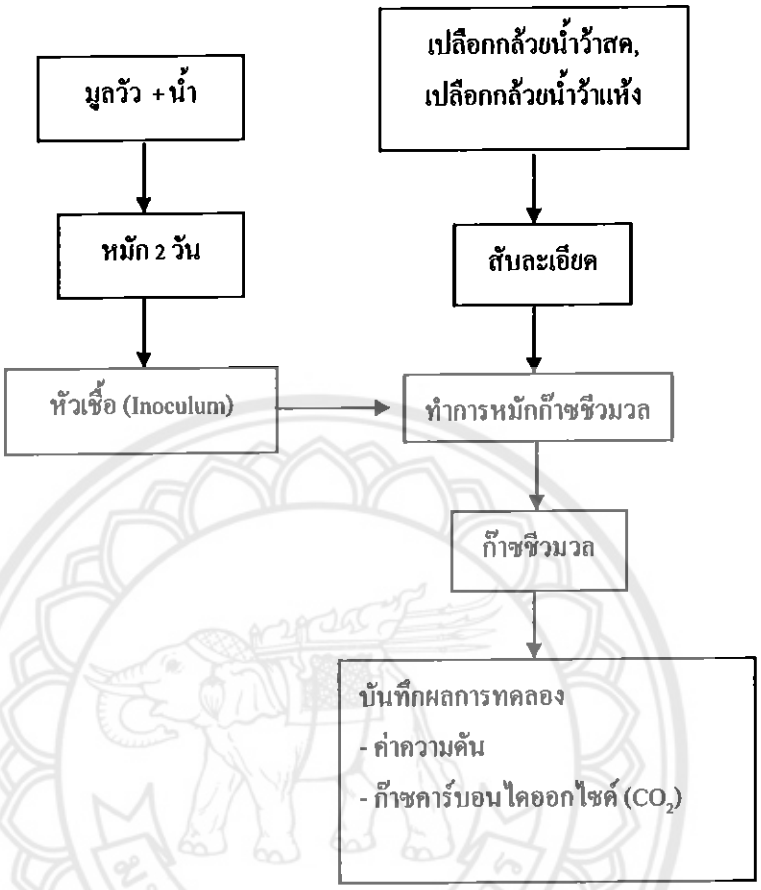
ก่อนการทดลองหมักก๊าซชีวมวลได้นั้นจำเป็นจะต้องมีชุดการทดลองเสียก่อน โดยจะประกอบชุดการทดลองดังนี้ เนื่องจากชุดการทดลองได้ใช้ขวดน้ำพลาสติก ขนาด 6ลิตร มาใช้ในการหมัก ซึ่งหลังจากทำการคำนวณแล้วว่าสามารถรับแรงดันที่เกิดจากก๊าซได้ แต่อย่างไรก็ดีจำเป็นจะต้อระมัดระวังในส่วนของฝาถัง ซึ่งทั้งนี้เราได้ทำการปิดรอยต่อบริเวณฝาถังด้วย Epoxy อย่างดีแล้ว ซึ่งมีวิธีการวัดค่าความดันของแต่ละถังโดยการเปิดวาล์วถังที่ต้องการวัดค่าความดันส่วนวาล์วถังอื่นๆปิดหมดทุกถัง ดังแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ชุดถังหมักที่ใช้ในการทดลอง

3.2.2 การหมักเพื่อให้ได้ก๊าซชีวมวล

หลังจากที่เราได้ชุดการทดลองมาแล้ว เราจะเริ่มทำการหมักเปลือกกล้วยกับหัวเชื้อเพื่อให้ได้ก๊าซชีวมวล ดังนี้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทดลองของการหมักเปลือกกล้วยซึ่งได้มาของก๊าซชีวมวล

รูปที่ 3.2 จากขั้นตอนการทดลองในส่วนแรก เราได้ทำการหมักมูลวัวกับน้ำก่อนเพื่อนำไปใช้เป็นหัวเชื้อ ซึ่งในส่วนนี้จะทำการหมักในขวดขนาด 1.5 ลิตร เป็นเวลา 2 วัน เพื่อทำการเพาะเลี้ยงแบคทีเรียก่อน โดยใช้อัตราส่วนมูลวัวต่อน้ำที่แตกต่างกัน คือ 50:50, 40:60, 60:40 และ 70:30 โดยน้ำหนัก

เมื่อได้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Inoculum) แล้ว ในส่วนที่สองก็จะทำการเตรียมเปลือกกล้วยสับละเอียดทั้งสดและแห้ง ซึ่งเปลือกกล้วยแห้งเราได้ทำการตากแดดเป็นเวลา 2 วัน เพื่อลดความชื้นในเปลือกกล้วย

เมื่อเราได้ทั้งหัวเชื้อและเปลือกกล้วยแล้วก็นำมาเทรวมกันในถังหมักขนาด 6 ลิตร ซึ่งในขั้นนี้แบคทีเรียที่เพาะเลี้ยงไว้ (Anaerobic bacteria) จะตายไปบ้างเนื่องจากสัมผัสกับอากาศ แต่จะยังมีแบคทีเรียเหลือมากพอที่จะนำไปย่อยสลายเปลือกกล้วยได้ เมื่อนำหัวเชื้อกับเปลือกกล้วยผสมกันแล้วทำการกวนให้เข้ากันจึงทำการปิดระบบ

เมื่อทำการหมักแล้ว เราได้สังเกตปฏิกิริยา บันทึกค่าความดันที่เกิดขึ้นและวัดค่าร้อยละของก๊าซ CO_2 ทุกๆวัน โดยปล่อยก๊าซผ่านเครื่องวิเคราะห์ก๊าซ (Gas Analyzer) ซึ่งใช้วัดก๊าซที่ Dry basis (สมมติว่าไม่เกิดไอน้ำติดมาด้วย) หากเรากำหนดให้ปริมาณ N_2, H_2S และก๊าซอื่นๆ มีปริมาณประมาณ 10% และให้ก๊าซชีวมวลมีองค์ประกอบของ CH_4 และ CO_2 รวมกันเป็น 90% เราก็จะทราบปริมาณของ CH_4 ได้จาก

$$\%CH_4 \text{ (By mass)} = 90\% - \%CO_2\text{(By mass)} \qquad (3.7)$$

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของหัวเชื้อ (Inoculum)

ขวดที่	อัตราส่วนมูลวัวต่อน้ำโดยน้ำหนัก	ระยะเวลาหมักจนเกิดก๊าซ (วัน)	ค่าความดัน (kPa)
1	50:50	2	1.2
2	60:40	2	4.8
3	70:30	2	3.5
4	80:20	3	0.1
5	40:60	2	1.2
6	30:70	2	0.5
7	20:80	3	1

บทที่ 4
ผลการทดลอง

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการทดลองของการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าโดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ การหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสดและเปลือกกล้วยน้ำว้าแห้ง โดยจะหมักกับหัวเชื้ออัตราส่วนต่างๆ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) โดยควบคุมปริมาณเปลือกกล้วยน้ำว้าให้มีปริมาณเท่ากันแล้วได้ผลการทดลองออกมา แล้วจึงแสดงเป็นความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซมีเทน (CH_4) ที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาในการหมักก๊าซชีวมวล

4.1 ความชื้นของเปลือกกล้วยน้ำว้า

เนื่องจากเปลือกกล้วยน้ำว้ามีความชื้นเป็นองค์ประกอบ 30% ของ Banu และคณะ (2006) โดยประมาณ โดยทราบจากการวัดด้วยเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก หากทำการลดความชื้นลงไปจะทำให้ได้ปริมาณเปลือกกล้วยน้ำว้าในการหมักสูงขึ้นและมีโอกาสที่จะให้ปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) สูงขึ้นตามด้วย จึงได้มีการลดความชื้นด้วยการนำเปลือกกล้วยน้ำว้าไปตากแดดเป็นเวลา 2 วัน แล้ววัดความชื้นอีกครั้ง แสดงผลดังนี้

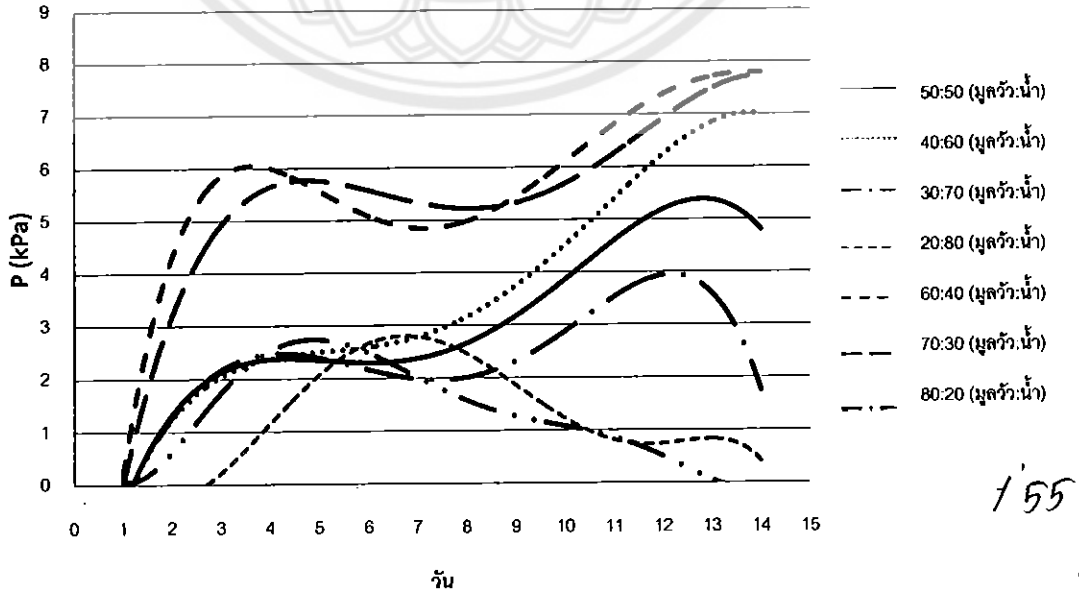
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความชื้นของเปลือกกล้วยน้ำว้าที่ตากแดดเป็นเวลา 2 วัน

การวัดครั้งที่	ก่อนตาก(% by mass)	หลังตาก (% by mass)
1	28.9	19.7
2	29.5	18.5
3	28.7	19.8
4	30.2	18
5	29.7	19.5
Average	29.4	19.1

จากตารางที่ 4.1 พบว่าหลังจากที่ได้นำเปลือกกล้วยน้ำว้าไปตากแดดเป็นเวลา 2 วัน แล้วจะทำให้ปริมาณความชื้นในเปลือกกล้วยน้ำว้าลดลงไปประมาณ 10% ซึ่งหมายถึงจะได้น้ำหนักเปลือกกล้วยน้ำว้าในการหมักเพิ่มขึ้นอีก 10% ด้วยเช่นกัน

4.2 การหมักหัวเชื้อ (Inoculum)

ในการหมักหัวเชื้อนั้นเราใช้มูลวัวผสมกับน้ำเปล่าแล้วจึงทำการหมักทิ้งเอาไว้ ในการทดลองนี้ใช้หมักมูลวัวกับน้ำที่อัตราส่วนมูลวัวต่อน้ำโดยน้ำหนักต่างๆกันได้แก่ 50:50, 40:60, 30:70, 20:80, 60:40, 30:70 และ 80:20 ในขวดขนาด 1.5 ลิตรแล้วทำการวัดความดันของก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นเป็นระยะเวลา 15 วัน เพื่อหาอัตราส่วนที่ดีที่สุดที่จะใช้ในการหมักกับเปลือกกล้วยต่อไป ดังแสดงในรูป 4.1 ซึ่งแสดงความดันสะสมที่เกิดขึ้นในแต่ละวันสำหรับแต่ละอัตราส่วน พบว่า ในช่วง 2 วันแรกของการหมัก อัตราส่วนหัวเชื้อ 60:40 และ 70:30 เกิดปฏิกิริยาได้ดี และอัตราการเกิดปฏิกิริยาจะสูงขึ้นไปเรื่อยๆ แต่ในอัตราส่วน 30:70, 20:80 และ 80:20 เกิดปฏิกิริยาได้ช้ากว่าและลดลงอย่างรวดเร็วหลังจากวันที่ 5-7 ของการหมัก แต่ในขณะที่อัตราส่วน 60:40 และ 50:50 นั้น เกิดปฏิกิริยาไม่ดีนักแต่มีแนวโน้มไปในทางเพิ่มขึ้น จึงสามารถวิเคราะห์ได้ว่า อัตราส่วนมูลวัวต่อน้ำมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย จึงทำการเลือกอัตราส่วนหัวเชื้อ 60:40, 40:60, 50:50 และ 70:30 มาเป็นหัวเชื้อในการหมักเปลือกกล้วยเพราะจะสามารถเกิดปฏิกิริยาได้เร็วและสูงขึ้นเรื่อยๆ



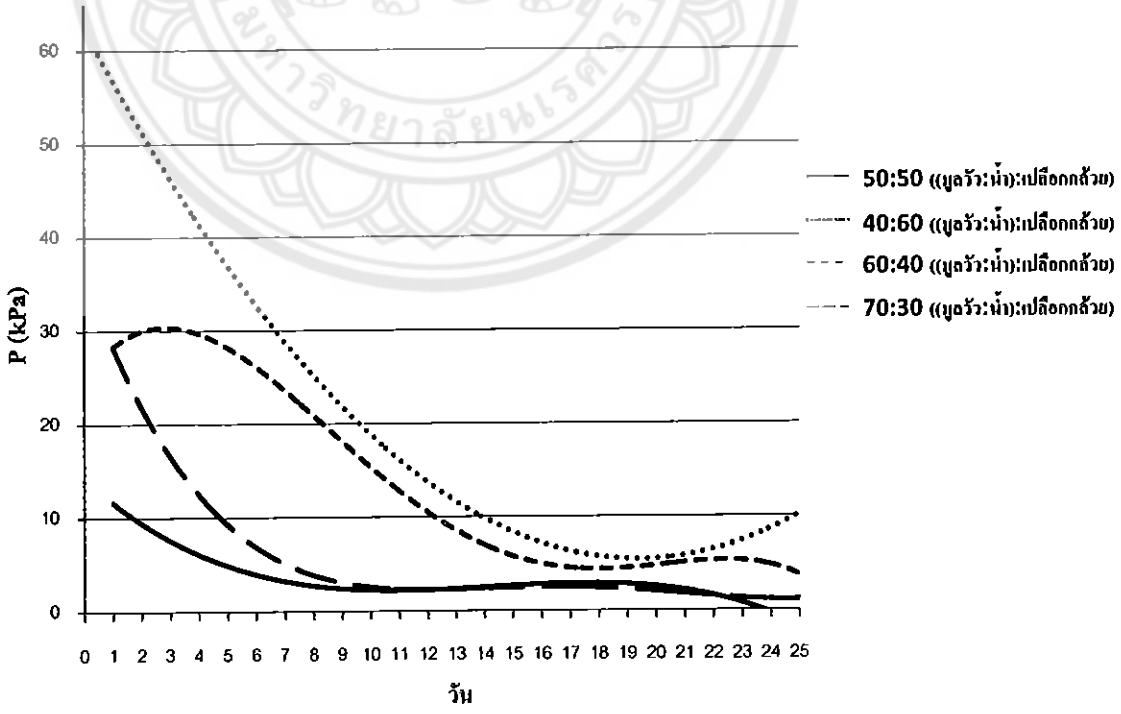
รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความดันของหัวเชื้อ (Inoculum)

1550391
ปร.
34341
2553

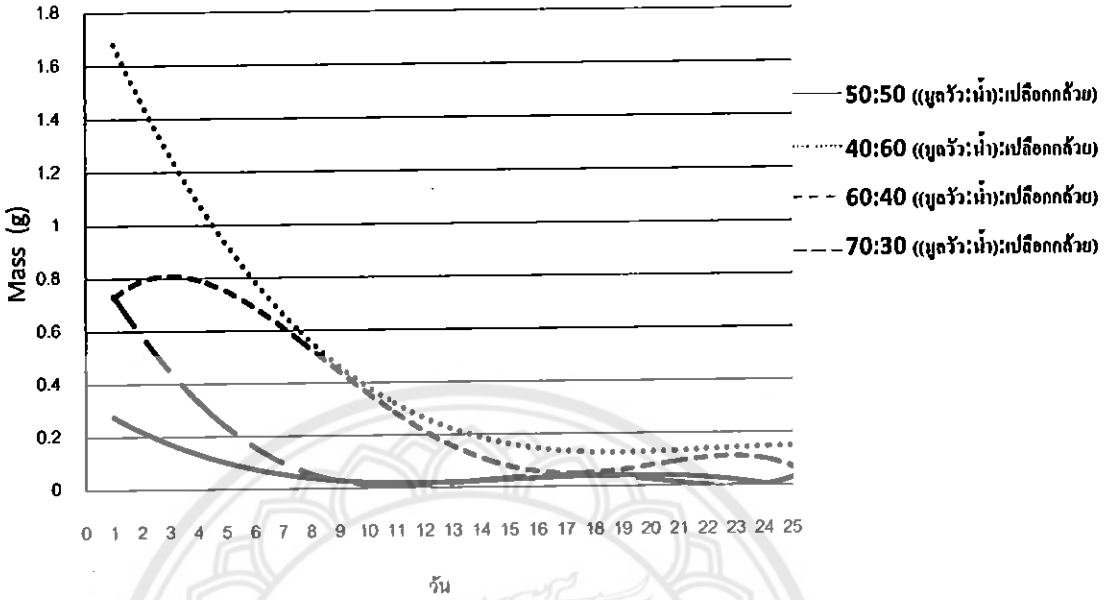
4.3 การหมักเปลือกกล้วยสด

4.3.1 ปริมาณของก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้น

ในการหมักเปลือกกล้วยสด โดยใช้เปลือกกล้วยสดกับหัวเชื้อที่ได้จากหัวข้อ 4.2 ในอัตราส่วนหัวเชื้อต่อเปลือกกล้วย 1:1 โดยน้ำหนักซึ่งใช้อัตราส่วนหัวเชื้อ 50:50, 40:60, 60:40, และ 70:30 ในขวดขนาด 6 ลิตร จากนั้นทำการวัดค่าความดันของก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวัน เป็นเวลา 25 วันดังแสดงในรูปที่ 4.2 เมื่อทราบค่าความดันสามารถคำนวณเป็นน้ำหนักของก๊าซชีวมวลได้จากสมการ PV = mRT (จากสมการที่ 3.4) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3 พบว่า อัตราการเกิดก๊าซชีวมวลนั้นจะเกิดได้เร็วและมีปริมาณสูงในช่วง 1-4 วันแรกของการหมัก แล้วปริมาณก๊าซชีวมวลจะลดลงอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งถึงวันที่ 15 ของการหมักจะมีอัตราการผลิตก๊าซชีวมวลน้อยมากแต่จะไม่ลดลง ซึ่งอัตราส่วนหัวเชื้อมูลวัวต่อน้ำ 40:60 นั้น สามารถผลิตก๊าซชีวมวลได้สูงมากในช่วง 1-4 วันแรกของการหมัก ส่วนอัตราส่วน 50:50 และ 60:40 จะเกิดได้น้อยกว่า และอัตราส่วน 70:30 นั้น ผลิตก๊าซออกมาได้น้อยมาก จึงวิเคราะห์ได้ว่า อัตราส่วนหัวเชื้อ 40:60 จะทำปฏิกิริยาย่อยสลายเปลือกกล้วยสดได้ดีที่สุด



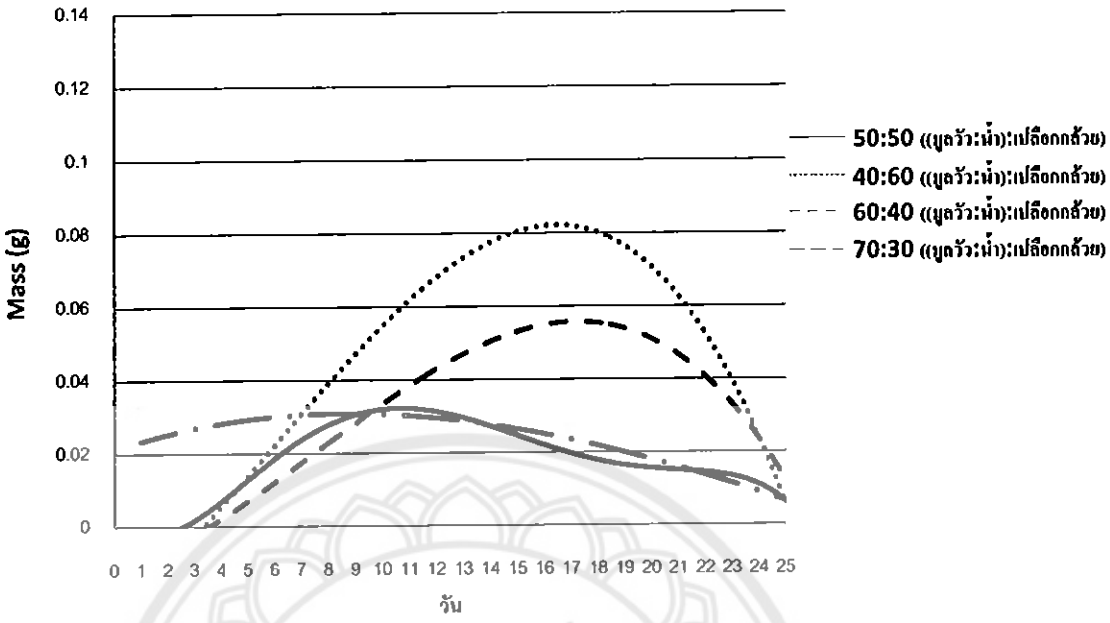
รูปที่ 4.2 แสดงค่าความดันที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสด



รูปที่ 4.3 ปริมาณก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสด

4.3.2 ปริมาณของก๊าซมีเทน (CH_4) ที่เกิดขึ้น

ในการหมักเปลือกกล้วยสด โดยใช้เปลือกกล้วยสดกับหัวเชื้อที่ได้จากหัวข้อ 4.2 ในอัตราส่วนหัวเชื้อต่อเปลือกกล้วย 1:1 โดยน้ำหนักซึ่งใช้อัตราส่วนหัวเชื้อ 50:50, 40:60, 60:40, และ 70:30 ในขวดขนาด 6 ลิตร จากนั้นในทุกๆวันจะทำการปล่อยก๊าซชีวมวลออกมา เป็นเวลา 25 วัน เพื่อทำการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแต่ละวัน จากนั้นทำการคำนวณกลับเพื่อหาปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่า อัตราส่วน 50:50 และ 70:30 นั้น จะเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ตั้งแต่วันแรกของการหมัก แต่อัตราการเกิดน้อยมากและคงที่ ส่วนอัตราส่วนหัวเชื้อ 40:60 และ 60:40 นั้น จะเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) หลังจากวันที่ 6 ของการหมัก และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 14-15 ของการหมักจึงค่อยๆลดลง แต่อัตราส่วน 40 :60 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) สูงกว่า 60:40 ค่อนข้างมาก ซึ่งสัมพันธ์กับรูปที่ 4.2 จึงวิเคราะห์ได้ว่า อัตราส่วนหัวเชื้อ 40:60 เหมาะสมที่สุดในการหมักเปลือกกล้วยสด

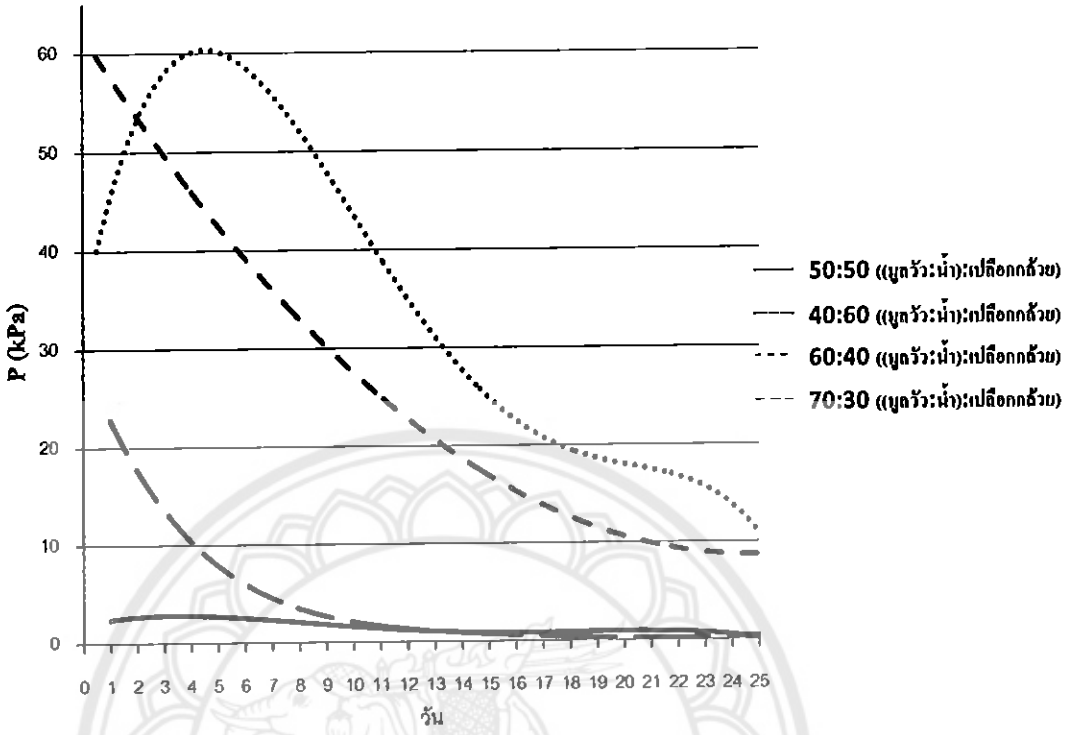


รูปที่ 4.4 ปริมาณก๊าซมีเทน CH_4 ที่เกิดจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าสด

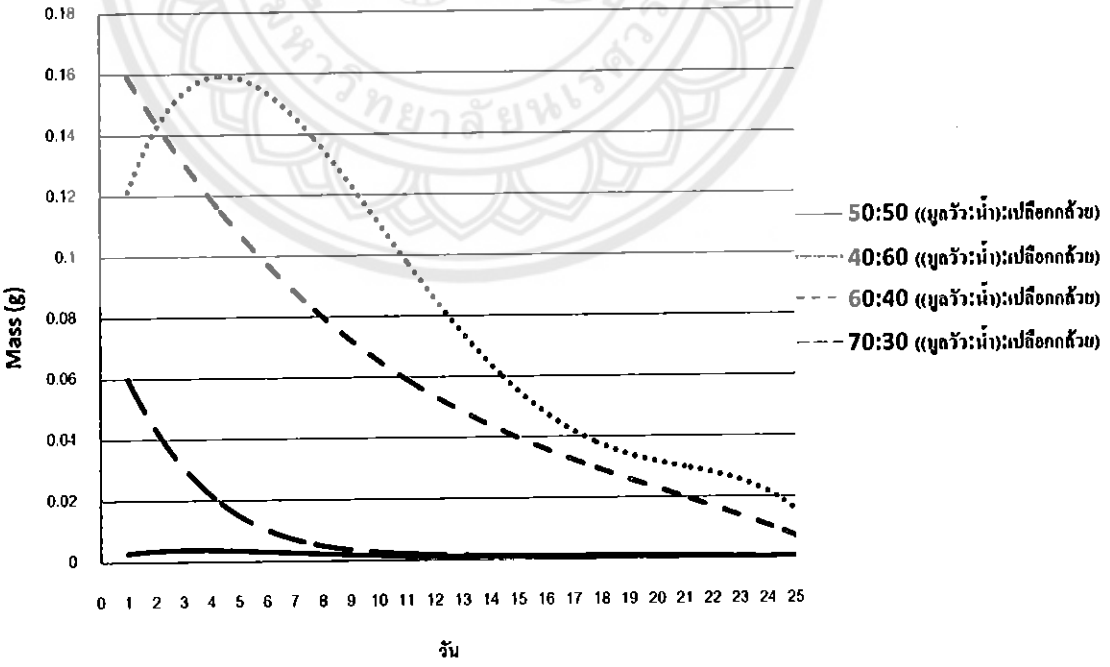
4.4 การหมักเปลือกกล้วยแห้ง

4.4.1 ปริมาณของก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้น

ในการหมักเปลือกกล้วยแห้ง โดยใช้เปลือกกล้วยแห้งซึ่งทำการลดความชื้นโดยการตากแดดเป็นเวลา 2 วันกับหัวเชื้อที่ได้จากหัวข้อ 4.2 ในอัตราส่วนหัวเชื้อต่อเปลือกกล้วย 1:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้อัตราส่วนหัวเชื้อ 50:50, 40:60, 60:40, และ 70:30 ในขวดขนาด 6 ลิตร จากนั้นทำการวัดค่าความดันของก๊าซที่เกิดขึ้นทุกวัน เป็นเวลา 25 วันดังแสดงในรูปที่ 4.4 เมื่อทราบค่าความดันสามารถคำนวณเป็นน้ำหนักของก๊าซชีวมวลได้จากสมการ PV = mRT (จากสมการที่ 3.4) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5 พบว่า ในอัตราส่วนหัวเชื้อ 40:60 และ 60:40 มีอัตราการเกิดก๊าซชีวมวลเร็วและมีปริมาณสูงในช่วง 1-4 วันแรกของการหมัก แล้วปริมาณก๊าซชีวมวลจะลดลงอย่างรวดเร็วในลักษณะคล้ายกัน จนกระทั่งถึงวันที่ 18 ของการหมัก ปริมาณก๊าซก็จะลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งอัตราส่วนหัวเชื้อ 40:60 จะมีปริมาณก๊าซชีวมวลสูงกว่า 60:40 เล็กน้อย ส่วนอัตราส่วน 50:50 เกิดปริมาณก๊าซชีวมวลน้อยมากและลดลงจนเกือบไม่มีการผลิตก๊าซเลยหลังจากวันที่ 10 ของการหมัก และอัตราส่วนหัวเชื้อ 70:30 นั้น เกือบจะไม่มีการผลิตก๊าซชีวมวลเลย จึงวิเคราะห์ได้ว่า อัตราส่วนหัวเชื้อ 40:60 จะทำปฏิกิริยาย่อยสลายเปลือกกล้วยแห้งได้ดีที่สุด



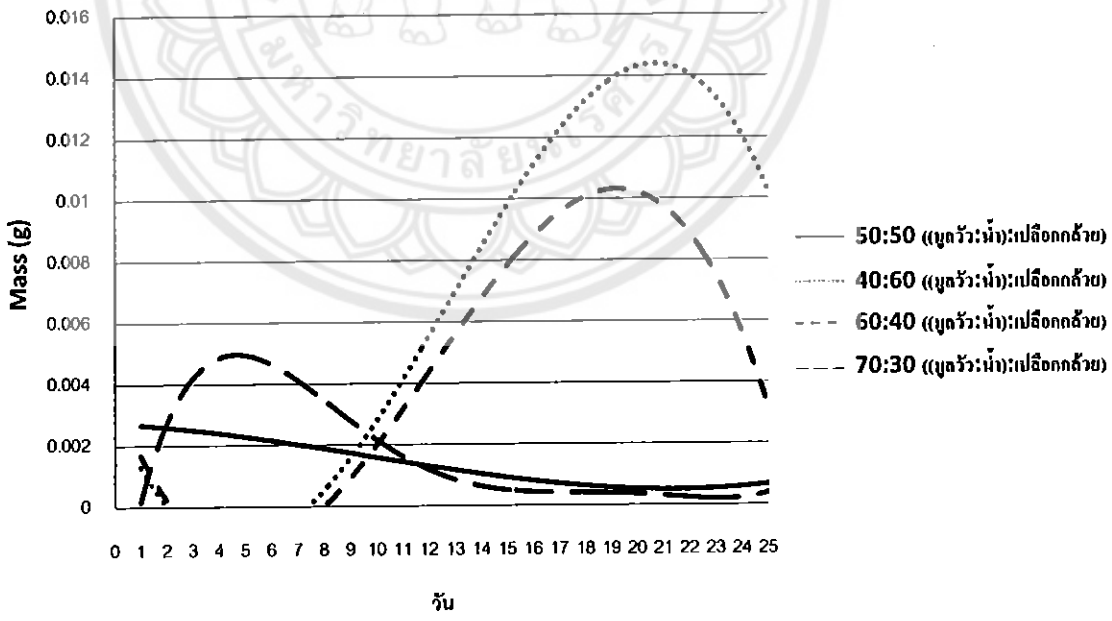
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความดันที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าแห้ง



รูปที่ 4.6 ปริมาณก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้นจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าแห้ง

4.4.2 ปริมาณของก๊าซมีเทน (CH_4) ที่เกิดขึ้น

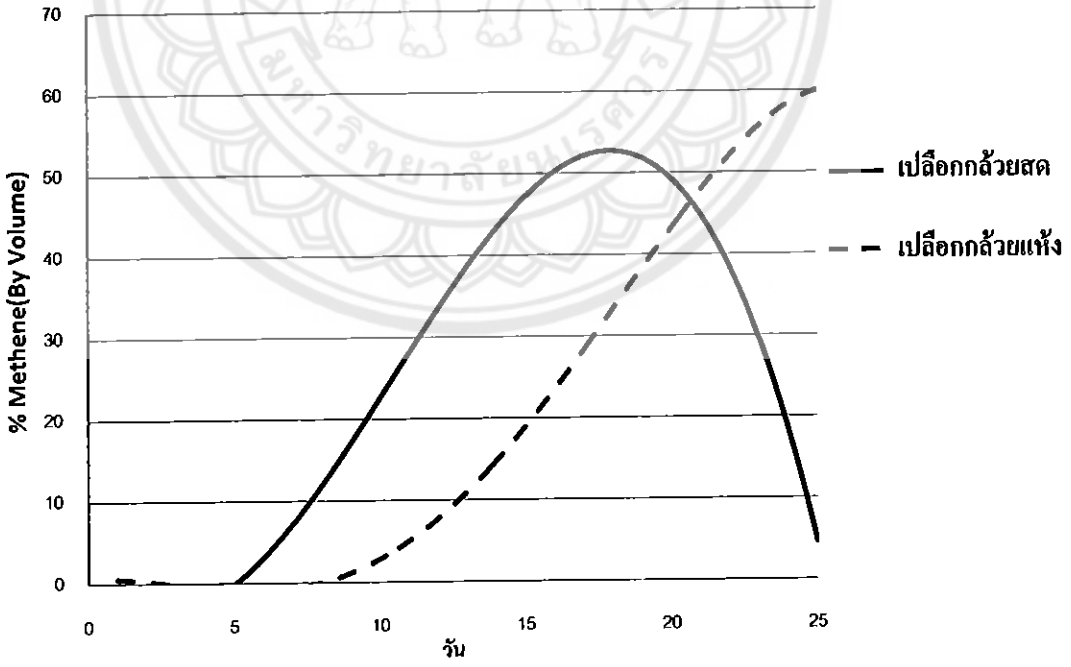
ในการหมักเปลือกกล้วยแห้ง โดยใช้เปลือกกล้วยแห้งซึ่งทำการลดความชื้นจากการตากแดดเป็นเวลา 2 วัน กับหัวเชื้อที่ได้จากหัวข้อ 4.2 ในอัตราส่วนหัวเชื้อต่อเปลือกกล้วย 1:1 โดยน้ำหนักซึ่งใช้อัตราส่วนหัวเชื้อ 50:50, 40:60, 60:40, และ 70:30 ในขวดขนาด 6 ลิตร จากนั้นในทุกๆวันจะทำการปล่อยก๊าซชีวมวลออกมา เป็นเวลา 25 วันเพื่อทำการวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ในแต่ละวัน จากนั้นทำการคำนวณกลับเพื่อหาปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.6 พบว่า อัตราส่วน 50:50 และ 70:30 นั้น จะเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ตั้งแต่วันแรกของการหมัก แต่มีปริมาณน้อยมากและค่อยๆลดลงจะเกือบไม่มีการผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) เลย ส่วนอัตราส่วนหัวเชื้อ 40:60 และ 60:40 นั้น จะเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) หลังจากวันที่ 8 ของการหมัก และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆจนถึงวันที่ 20-21 ของการหมัก จึงค่อยๆลดลง แต่อัตราส่วน 40 :60 มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทน (CH_4) สูงกว่า 60:40 ค่อนข้างมาก ซึ่งสัมพันธ์กับรูปที่ 4.3 จึงวิเคราะห์ได้ว่า อัตราส่วนหัวเชื้อ 40:60 เหมาะสมที่สุดในการหมักเปลือกกล้วยแห้ง



รูปที่ 4.7 ปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ที่เกิดจากการหมักเปลือกกล้วยน้ำว้าแห้ง

4.5 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของก๊าซชีวมวล

ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของก๊าซชีวมวลนั้น ได้นำร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนต่อปริมาณก๊าซชีวมวลที่ผลิตได้จากการหมักเปลือกกล้วยสดและเปลือกกล้วยแห้งกับหัวเชื้อในอัตราส่วน 40:60 มาแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.7 พบว่า ร้อยละของการเกิดก๊าซมีเทนที่ได้จากการหมักเปลือกกล้วยสดและเปลือกกล้วยแห้งนั้นจะเพิ่มขึ้นไปเรื่อยๆในลักษณะคล้ายกัน แต่ในเปลือกกล้วยสดจะมีร้อยละของก๊าซมีเทนสูงสุดอยู่ที่ประมาณวันที่ 17-18 ของการหมัก แล้วจะลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งในขณะที่ในเปลือกกล้วยแห้งมีร้อยละของก๊าซมีเทนสูงขึ้นไปอย่างต่อเนื่อง ซึ่งวิเคราะห์ได้ว่า ในเปลือกกล้วยสดนั้น มีปริมาณความชื้นสูงกว่าเปลือกกล้วยแห้ง เมื่อใช้น้ำหนักเปลือกกล้วยในการหมัก 1 kg เท่ากันนั้น จะทำให้เปลือกกล้วยแห้งมีปริมาณมากกว่า ซึ่งส่งผลให้ปริมาณ Total Solid ในการหมักสูงกว่า จึงได้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่า นั่นหมายถึงประสิทธิภาพของก๊าซชีวมวลดีกว่านั่นเอง



รูปที่ 4.8 แสดงการเกิดก๊าซมีเทน (CH_4) ของเปลือกกล้วยตากแห้งและเปลือกกล้วยสด

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการหมักเปลือกกล้วยเพื่อให้เกิดก๊าซชีวมวลมากที่สุดและมีประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จะต้องมีปัจจัยที่ต้องควบคุมในการหมักให้เหมาะสม ซึ่งจากการทดลองพบว่า

1. ในกระบวนการหมักหัวเชื้อ อัตราส่วนมูลวัวต่อน้ำ 60:40 และ 70:30 เกิดปฏิกิริยาได้เร็วและสูงที่สุด ส่วนอัตราส่วน 40:60 และ 50:50 เกิดเร็วและไม่สูงมากนักแต่มีแนวโน้มปฏิกิริยาไปในทางที่สูงขึ้น ซึ่งเหมาะสมที่จะใช้เป็นหัวเชื้อเพื่อย่อยสลายเปลือกกล้วยที่ดี
2. เปลือกกล้วยแห้งมีความเหมาะสมในการหมักมากกว่าเปลือกกล้วยสดเพราะว่าเมื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณมวลของเปลือกกล้วยนั้นแบบแห้งจะมีปริมาณที่มากกว่าแบบสด เพราะจะส่งผลให้ปริมาณ Total Solid ในการหมักสูงกว่า จึงได้ปริมาณก๊าซมีเทนสูงกว่า นั่นหมายถึงประสิทธิภาพของก๊าซชีวมวลดีกว่า
3. ในการหมักหัวเชื้อกับเปลือกกล้วยสดในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก คือ เปลือกกล้วย 1 kg กับหัวเชื้อ 1 kg หัวเชื้อที่มีอัตราส่วนมูลวัวต่อน้ำ 40:60 ทำให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายได้เร็วและเกิดปริมาณก๊าซมากที่สุดโดยก๊าซจะเกิดตั้งแต่วันแรกของการหมักและจะลดลงเรื่อยๆ จนถึงวันที่ 15 ของการหมักจึงคงที่ต่อไปเรื่อยๆ ก๊าซมีเทน (CH_4) จะเกิดมากที่สุดหลังจากวันที่ 14-15 ของการหมัก แต่จะใช้งานได้แต่ไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากมีร้อยละของก๊าซมีเทน (CH_4) ต่อปริมาณก๊าซชีวมวลไม่สูงนัก
4. ในการหมักหัวเชื้อกับเปลือกกล้วยแห้งในอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก คือ เปลือกกล้วย 1 kg กับหัวเชื้อ 1 kg หัวเชื้อที่มีอัตราส่วนมูลวัวต่อน้ำ 40:60 ทำให้เกิดปฏิกิริยาย่อยสลายได้เร็วและเกิดปริมาณก๊าซชีวมวลมากที่สุดโดยก๊าซก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จะเกิดตั้งแต่วันแรกของการหมักและจะลดลงเรื่อยๆจนถึงวันที่ 18 ของการหมักแล้วคงที่ต่อไปเรื่อยๆ

5. ก๊าซมีเทน (CH_4) มากที่สุดหลังจากวันที่ 20 - 21 ของการหมัก ซึ่งสามารถใช้งานได้ดี เนื่องจากมีร้อยละของก๊าซมีเทน (CH_4) ต่อปริมาณก๊าซชีวมวลค่อนข้างสูง
6. ระยะเวลาในการหมักปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4)จะเกิดสูงสุดในช่วงวันที่ 16 – 25 นับจากวันที่ทำการหมัก ซึ่งหลังจากนี้ปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) จะมีการผลิตน้อยลงเพราะปริมาณสารประกอบที่เรียกว่า Total Solidซึ่งเป็นส่วนที่จะสามารถย่อยสลายเป็นก๊าซได้ถูกใช้ไปจนเหลือน้อยมากแล้วซึ่งจะทำให้ความเข้มข้นของก๊าซมีเทน (CH_4) น้อยมากจึงควรเปลี่ยนเปลือกกล้วยใหม่

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลอง

1. จากการทดลองจะพบว่าถ้ามีการลดปริมาณความชื้นในเปลือกกล้วยได้มาก ก็จะทำให้ได้ปริมาณเปลือกกล้วยในการหมักมากซึ่งจะทำให้ได้ก๊าซชีวมวลที่มีประสิทธิภาพสูงตามไปด้วย
2. จากการทดลองพบว่าในการหมักเปลือกกล้วยสด 15 วันแรกของการหมักนั้นจะมีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูง ดังนั้นจะต้องมีการเปิดทิ้งเพื่อต้องการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)
3. จากการทดลองพบว่าในการหมักเปลือกกล้วยแห้ง 22 วันแรกของการหมักนั้นจะมีค่าความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) สูงดังนั้นจะต้องเปิดทิ้งก่อนเพื่อต้องการลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)

บรรณานุกรม

1. V.C. Kalia , V. Sonskya, N. Raizada 1975 **Anaerobic digestion of banana steam waste,** Center For Biochemical Technology, CSIR, University Campus, Mall Road,Delhi 110007 , India

2. Boyd, Robert F. and Bryan G. Hoerld 1981 **Basic Medical Microbiology** Little, Brown and Company, Boston, 766 p.

3. Nirmala Bardiya, Deepak Somayaji & Sunilo Khanna 1996 **Biomethanation of banana peel and pineapple waste,** Tata Energy Research Institute, Darbari seth block,Habitat Place, Lodi Road, New Delhi 110003

4. Chanakya, J. and B. Kristiansen. 1994. **Basic Biotechnology.** London:Academic Press.

5. Radvan, R.M., and Bartha, R 1997 **Microbial Production of Surface.** Blackwell Scientific Publication,Inc.

6. Nirmala Bardiy and Schnner F ,1996 **Biochemistry.** (Second Edition). Academic Prees.

7. Andara, J.S.1995 **Microbial Production and Consumption of Greenhouse: Methane, nitrogen, and halomethanes.** America Society for Microbiology. Washington, D.C.

8. สมใจ ภัสสตยางกูร 2527 วิธีการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ และการประยุกต์ใช้. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรตรศาสตร์.

9. สมใจ ศิริโภค 2537. เทคโนโลยีการหมัก. กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพฯ

http://saichonkosum.multiply.com/journal/item/56

http://eiamburapa.com/th/2010-02-07-13-23-13/11

http://th.wikipedia.org/wiki/ก๊าซชีวภาพ

http://www.annexpower.com/info_bioenergy_th.php

http://teenet.chiangmai.ac.th/btc/introbiogas.php

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ลักษณะถังที่ใช้ในการหมัก

ลักษณะถังที่ใช้ในการหมัก

ในการเลือกใช้วัสดุมาทำถังหมักที่จะนำมาทำการหมักก๊าซชีวมวลนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเป็นสิ่งสำคัญที่สุดคือ วัสดุที่จะนำมาใช้ในการหมัก เพราะในการหมักจะเกิดกรดขึ้น ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อวัสดุที่เลือกใช้วัสดุไม่เหมาะสม ดังนั้นการเลือกถังหมักที่ดีจึงไม่สมควรใช้วัสดุจำพวกโลหะวัสดุที่ดีควรป้องกันการกัดกร่อนของกรดได้จึงเลือกใช้วัสดุพลาสติก Polyester (PET) มาใช้เป็นถังหมักเนื่องจากทนต่อสภาพความเป็นกรดของกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นได้

รูปที่ ก.1 ถังที่ใช้ในการหมักเปลือกกล้วย

รายละเอียด

- ชนิดวัสดุ	พลาสติก Polyester (PET)
- ปริมาตร	6 ลิตร
- รัศมีภายในของถัง	75 mm
- ความสูง	36 cm
- ความหนา	0.45 mm
- σ	70 MPa

ภาคผนวก ข.

ตารางแสดงคุณสมบัติ

ตารางที่ ข.1 แสดงสมบัติของเทอร์โมพลาสติก

	Tensile Strength ($MN.m^{-2}$)	% Elongation	Elastic Modulus ($MN.m^{-2}$)	Density ($Mg.m^{-3}$)	Izod Impact ($J.m^{-1}$)
Polyethylene (PE) :					
Low-density	20	800	270	0.92	480
High-density	37	130	1200	0.96	214
Ultrahigh molecular weight	47	350	660	0.934	1600
Polyvinyl chloride (PVC)	60	100	4000	1.40	
Polypropylene (PP)	40	700	1460	0.90	53
Polystyrene (PS)	53	60	3000	1.06	21
Polyacrylonitrile (PAN)	60	4	1.15	256	256
Polytetrafluoroethylene (PTFE) (Teflon)	47	400	540	2.17	160
Polyamide (PA) (nylon)	80	300	3330	1.14	112
Polyester (PET)	70	300	4000	1.36	32
Polymethyl methacrylate (PMMA) (acrylic, Perspex)	80	5	3000	1.22	27
Polyoxymethylene (POM) (acetal)	80	75	3460	1.42	123
Polycarbonate (PC)	73	130	2660	1.20	83
Polyetheretherketone (PEEK)	68	150	3660	1.31	85
Polyphenylene sulphide (PPS)	63	2	3200	1.30	27
Polyether sulphone (PES)	81	80	2330	1.37	83
Polyamide-imide (PAI)	180	15	4860	1.39	214

ภาคผนวก ค.
อื่นๆ

ตาราง ค. 1 แสดงข้อมูลร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนต่อปริมาณก๊าซชีวมวลจากการหมักเปลือกกล้วยแห้ง

วันที่ (ของการหมัก)	ปริมาณก๊าซชีวมวล (kg)	ปริมาณก๊าซมีเทน (kg)	(%) ก๊าซมีเทนต่อก๊าซชีวมวล
1	0.11094	0	0
2	0.1572	0	0
3	0.1572	0	0
4	0.1572	0	0
5	0.1572	0	0
6	0.1441	0	0
7	0.131	0	0
8	0.13886	0	0
9	0.13886	0	0
10	0.12576	0	0
11	0.1048	0	0
12	0.07504	0.0075	9.99467
13	0.06332	0.0095	15.00316
14	0.05445	0.01089	20
15	0.0557	0.00947	17.0018
16	0.05227	0.01045	19.99235
17	0.04818	0.01204	24.98962
18	0.04049	0.01417	34.9963
19	0.03689	0.01476	40.01084
20	0.03346	0.01506	45.00897
21	0.02685	0.01342	49.98138
22	0.02517	0.01258	49.98014
23	0.02301	0.01197	52.02086
24	0.02008	0.01165	58.01793
25	0.01921	0.01191	61.99896

ตาราง ค. 2 แสดงข้อมูลร้อยละของปริมาณก๊าซมีเทนต่อปริมาณก๊าซชีวมวลจากการหมักเปลือกกล้วยสด

วันที่ (ของการหมัก)	ปริมาณก๊าซชีวมวล (kg)	ปริมาณก๊าซมีเทน (kg)	(%) ก๊าซมีเทนต่อก๊าซชีวมวล
1	1.70487	0	0
2	1.44097	0	0
3	1.23137	0	0
4	1.04798	0	0
5	0.96938	0	0
6	0.83814	0	0
7	0.62879	0	0
8	0.55019	0	0
9	0.47302	0.0473	9.999577
10	0.39571	0.07914	19.99949
11	0.3384	0.0846	25
12	0.26573	0.12117	45.59892
13	0.20718	0.10007	48.30099
14	0.16315	0.0881	53.99939
15	0.16315	0.0881	53.99939
16	0.13052	0.07048	53.99939
17	0.11537	0.06115	53.00338
18	0.11654	0.0606	51.99931
19	0.13586	0.06793	50
20	0.14919	0.05968	40.00268
21	0.1532	0.05668	36.99739
22	0.16253	0.04876	30.00062
23	0.14805	0.03701	24.99831
24	0.1319	0.02638	20
25	0.1349	0.02293	16.99778

ตาราง ค. 3 แสดงข้อมูลการหมักเปลือกกล้วยตากแห้งน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
1	50/50	2	10.5	8	2	79.5	19.92	0.0023722	0.001886
	60/40	40	100	8	2	0	46.58	0.1109425	0
	40/60	60	92	6	2	0	42.5	0.1518374	0
	30/70	20	95	8	2	0	44.38	0.0528513	0
2	50/50	3	24.7	8	2	65.3	23.896	0.0042685	0.002787
	60/40	60	100	0	0	0	44	0.1571963	0
	40/60	60	100		0	0	44	0.1571963	0
	30/70	22	90	3	2	5	41.58	0.0544685	0.002723
3	50/50	3	15.4	8	2	74.6	21.292	0.0038034	0.002837
	60/40	60	100			0	44	0.1571963	0
	40/60	60	100			0	44	0.1571963	0
	30/70	16	80	8	2	10	39.38	0.0375175	0.003752
4	50/50	3	15	8	2	75	21.18	0.0037834	0.002838
	60/40	60	100			0	44	0.1571963	0
	40/60	35	100			0	44	0.0916978	0
	30/70	8	35	8	2	55	26.78	0.0127567	0.007016
5	50/50	3	15	8	2	75	21.18	0.0037834	0.002838
	60/40	60	100			0	44	0.1571963	0
	40/60	35	100			0	44	0.0916978	0
	30/70	5	35	8	2	55	26.78	0.0079729	0.004385
6	50/50	2	9	8	2	81	19.5	0.0023222	0.001881
	60/40	55	100			0	44	0.1440966	0
	40/60	33	100			0	44	0.0864580	0
	30/70	5	58	8	2	32	33.22	0.0098902	0.003165

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW_g (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
7	50/50	2	9	8	2	81	19.5	0.0023222	0.001881
	60/40	50	100			0	44	0.1309969	0
	40/60	34	100			0	44	0.0890779	0
	30/70	5	57	8	2	33	32.94	0.009806	0.003236
8	50/50	2	9	8	2	81	19.5	0.0023222	0.001881
	60/40	53	100			0	44	0.1388568	0
	40/60	34	100			0	44	0.0890779	0
	30/70	5	30.6	8	2	59.4	25.548	0.0076061	0.004518
9	50/50	2	9	8	2	81	19.5	0.0023222	0.001881
	60/40	53	100			0	44	0.1388568	0
	40/60	32	100			0	44	0.0838380	0
	30/70	3	32	8	2	58	25.94	0.0046337	0.002688
10	50/50	2	6	8	2	84	18.66	0.0022221	0.001867
	60/40	48	100			0	44	0.1257571	0
	40/60	30	100			0	44	0.0785981	0
	30/70	3	20	8	2	70	22.58	0.0040335	0.002823
11	50/50	1	5	8	2	85	18.38	0.0010940	0.00093
	60/40	40	100			0	44	0.1047975	0
	40/60	26	100			0	44	0.0681184	0
	30/70	2	18.4	8	2	71.6	22.132	0.0026356	0.001887
12	50/50	1	2.8	8	2	87.2	17.764	0.0010577	0.000922
	60/40	32	80	8	2	10	39.38	0.0750350	0.007504
	40/60	22	85.2	8	2	4.8	40.836	0.0534939	0.002568
	30/70	1	13.5	8	2	76.5	20.76	0.0012361	0.000946

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW_g (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
13	50/50	1	4	8	2	86	18.1	0.001077748	0.000927
	60/40	28	75	8	2	15	37.98	0.063321559	0.009498
	40/60	18	75	8	2	15	37.98	0.040706717	0.006106
	30/70	0.7	7.7	8	2	82.3	19.136	0.000797605	0.000656
14	50/50	1	3	8	2	87	17.82	0.001061076	0.000923
	60/40	25	70	8	2	20	36.58	0.054453064	0.010891
	40/60	17	65	8	2	25	35.18	0.035610934	0.008903
	30/70	0.6	7	8	2	83	18.94	0.000676659	0.000562
15	50/50	1	3	8	2	87	17.82	0.001061076	0.000923
	60/40	25	73	8	2	17	37.42	0.05570349	0.00947
	40/60	17	64	8	2	26	34.9	0.035327504	0.009185
	30/70	0.6	7	8	2	83	18.94	0.000676659	0.000562
16	50/50	1	3	8	2	87	17.82	0.001061076	0.000923
	60/40	24	70	8	2	20	36.58	0.052274941	0.010455
	40/60	16	60	8	2	30	33.78	0.032182386	0.009655
	30/70	0.5	6	8	2	84	18.66	0.000555546	0.000467
17	50/50	1	3	8	2	87	17.82	0.001061076	0.000923
	60/40	23	65	8	2	25	35.18	0.048179499	0.012045
	40/60	16	59	8	2	31	33.5	0.031915628	0.009894
	30/70	0.4	6	8	2	84	18.66	0.000444437	0.000373
18	50/50	1	2	8	2	88	17.54	0.001044403	0.000919
	60/40	21	55	8	2	35	32.38	0.040488785	0.014171
	40/60	15	56	8	2	34	32.66	0.029170646	0.009918
	30/70	0.4	5	8	2	85	18.38	0.000437768	0.000372

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW_g (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
19	50/50	1	2	8	2	88	17.54	0.001044403	0.000919
	60/40	20	50	8	2	40	30.98	0.036893514	0.014757
	40/60	14	54	8	2	36	32.1	0.026759111	0.009633
	30/70	0.3	5	8	2	85	18.38	0.000328326	0.000279
20	50/50	1	2	8	2	88	17.54	0.001044403	0.000919
	60/40	19	45	8	2	45	29.58	0.033464965	0.015059
	40/60	14	50	8	2	40	30.98	0.02582546	0.01033
	30/70	0.3	4	8	2	86	18.1	0.000323324	0.000278
21	50/50	0.8	2	8	2	88	17.54	0.000835523	0.000735
	60/40	16	40	8	2	50	28.18	0.026847236	0.013424
	40/60	13	45	8	2	45	29.58	0.022897082	0.010304
	30/70	0.4	4	8	2	86	18.1	0.000431099	0.000371
22	50/50	0.7	2	8	2	88	17.54	0.000731082	0.000643
	60/40	15	40	8	2	50	28.18	0.025169284	0.012585
	40/60	11	43	8	2	47	29.02	0.019007662	0.008934
	30/70	0.3	4	8	2	86	18.1	0.000323324	0.000278
23	50/50	0.6	2	8	2	88	17.54	0.000626642	0.000551
	60/40	14	38	8	2	52	27.62	0.023024506	0.011973
	40/60	8	39	8	2	51	27.9	0.013290239	0.006778
	30/70	0.3	4	8	2	86	18.1	0.000323324	0.000278
24	50/50	0.5	2	8	2	88	17.54	0.000522202	0.00046
	60/40	13	32	8	2	58	25.94	0.020079456	0.011646
	40/60	6	36	8	2	54	27.06	0.009667577	0.00522
	30/70	0.3	4	8	2	86	18.1	0.000323324	0.000278

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW_g (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
25	50/50	0.4	3	8	2	87	17.82	0.00042443	0.000369
	60/40	13	28	8	2	62	24.82	0.019212494	0.011912
	40/60	4	34	8	2	56	26.5	0.006311673	0.003535
	30/70	0.3	3	8	2	87	17.82	0.000318323	0.000277

ตาราง ค. 4 แสดงข้อมูลการหมักเปลือกกล้วยสดน้ำหนัก 1 กิโลกรัม

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
1	50/50	15	80	8	2	10	39.72	0.354763646	0.035476
	60/40	60	100	8	2	5	47.72	1.704866181	0
	40/60	26	100	0	0	0	44	0.681184308	0
	30/70	28	100	0	0	0	44	0.733583101	0
2	50/50	10	80	8	2	10	39.72	0.236509097	0.023651
	60/40	55	100	0	0	0	44	1.440966805	0
	40/60	29	100	0	0	0	44	0.759782497	0
	30/70	19	97.5	8	2	0	45.82	0.518378877	0
3	50/50	5	70	8	2	20	36.92	0.109918377	0.021984
	60/40	47	100	0	0	0	44	1.231371634	0
	40/60	35	100	0	0	0	44	0.916978876	0
	30/70	20	100	0	0	0	44	0.523987929	0
4	50/50	3	60.5	8	2	29.5	34.26	0.061199408	0.018054
	60/40	40	100	0	0	0	44	1.047975858	0
	40/60	33	100	0	0	0	44	0.864580083	0
	30/70	15	100	0	0	0	44	0.392990947	0
5	50/50	3	60.3	8	2	29.7	34.204	0.061099374	0.018147
	60/40	37	100			0	44	0.969377669	0
	40/60	30	100			0	44	0.785981894	0
	30/70	10	100	8	2	0	46.92	0.279380837	0
6	50/50	3	55	8	2	51.8	35.408	0.063250107	0.032764
	60/40	30	100	8	2	0	46.92	0.83814251	0
	40/60	20	100	8	2	0	46.92	0.558761674	0
	30/70	4	16	8	2	74	21.8	0.05192244	0.038423

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
7	50/50	4	39	8	2	51	28.24	0.067260996	0.034303
	60/40	24	100			0	44	0.628785515	0
	40/60	20	100			0	44	0.523987929	0
	30/70	3	15	8	2	75	21.52	0.03844166	0.028831
8	50/50	3	29	8	2	61	25.44	0.045444044	0.027721
	60/40	21	100			0	44	0.550187326	0
	40/60	20	100			0	44	0.523987929	0
	30/70	3	15	8	2	75	21.52	0.03844166	0.028831
9	50/50	4	22	8	2	68	23.48	0.055923803	0.038028
	60/40	20	80	8	2	10	39.72	0.473018194	0.047302
	40/60	20	85	8	2	5	41.12	0.489690537	0.024485
	30/70	3	13	8	2	77	20.96	0.037441319	0.02883
10	50/50	4	18	8	2	75	22.84	0.054399474	0.0408
	60/40	18	70	8	2	20	36.92	0.395706157	0.079141
	40/60	16	80	8	2	10	39.72	0.378414555	0.037841
	30/70	3	13	8	2	77	20.96	0.037441319	0.02883
11	50/50	3	14	8	2	76	21.24	0.03794149	0.028836
	60/40	16	65	8	2	25	35.52	0.338400932	0.0846
	40/60	14	77	8	2	13	38.88	0.324110352	0.042134
	30/70	3	12	8	2	78	20.68	0.036941149	0.028814
12	50/50	3	12	8	2	80.5	21.08	0.037655678	0.030313
	60/40	15	44.4	8	2	45.6	29.752	0.265733333	0.121174
	40/60	12	50	8	2	40	31.32	0.223790481	0.089516
	30/70	3	9.5	8	2	80.5	19.98	0.035690723	0.028731

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
13	50/50	3	12	8	2	81.2	21.192	0.037855746	0.030739
	60/40	12	41.7	8	2	48.3	28.996	0.207184827	0.10007
	40/60	8	25.1	8	2	64.9	24.348	0.115982346	0.075273
	30/70	3	8	8	2	82	19.56	0.034940468	0.028651
14	50/50	3	10	8	2	82	20.44	0.036512432	0.02994
	60/40	10	36	8	2	54	27.4	0.163150787	0.088101
	40/60	5	19	8	2	71	22.64	0.067403902	0.047857
	30/70	3	8	8	2	87.5	20.44	0.036512432	0.031948
15	50/50	3	12	8	2	78	20.68	0.036941149	0.028814
	60/40	10	36	8	2	54	27.4	0.163150787	0.088101
	40/60	6	20	8	2	70	22.92	0.081885023	0.05732
	30/70	2.5	9	8	2	81	19.84	0.029533865	0.023922
16	50/50	2	14	8	2	76	21.24	0.025294326	0.019224
	60/40	8	36	8	2	54	27.4	0.13052063	0.070481
	40/60	5	25	8	2	65	24.32	0.072405605	0.047064
	30/70	2	8	8	2	82	19.56	0.023293645	0.019101
17	50/50	2	15	8	2	75	21.52	0.025627773	0.019221
	60/40	7	37	8	2	53	27.68	0.115372615	0.061147
	40/60	5	25	8	2	65	24.32	0.072405605	0.047064
	30/70	2	7	8	2	83	19.28	0.022960198	0.019057
18	50/50	2	14	8	2	76	21.24	0.025294326	0.019224
	60/40	7	38	8	2	52	27.96	0.116539679	0.060601
	40/60	5	30	8	2	60	25.72	0.076573691	0.045944
	30/70	2	7.5	8	2	82.5	19.42	0.023126922	0.01908

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kpa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
19	50/50	2	16	8	2	74	21.8	0.02596122	0.019211
	60/40	8	40	8	2	50	28.52	0.135855779	0.067928
	40/60	6	34	8	2	56	26.84	0.095889791	0.053698
	30/70	2	7	8	2	83	19.28	0.022960198	0.019057
20	50/50	2	17	8	2	73	22.08	0.026294667	0.019195
	60/40	8	50	8	2	40	31.32	0.149193654	0.059677
	40/60	5	40	8	2	50	28.52	0.084909862	0.042455
	30/70	2	6.5	8	2	83.5	19.14	0.022793475	0.019033
21	50/50	2	16	8	2	74	21.8	0.02596122	0.019211
	60/40	8	53	8	2	37	32.16	0.153195016	0.056682
	40/60	4	42	8	2	48	29.08	0.069261677	0.033246
	30/70	2	5.3	8	2	84.7	18.804	0.022393339	0.018967
22	50/50	1	17	8	2	73	22.08	0.013147333	0.009598
	60/40	8	60	8	2	30	34.12	0.162531529	0.048759
	40/60	4	44	8	2	46	29.64	0.070595465	0.032474
	30/70	1	5.3	8	2	84.7	18.804	0.011196669	0.009484
23	50/50	1	18	8	2	72	22.36	0.013314057	0.009586
	60/40	7	65	8	2	25	35.52	0.148050408	0.037013
	40/60	5	50	8	2	40	31.32	0.093246034	0.037298
	30/70	1	4.3	8	2	85.7	18.524	0.011029946	0.009453
24	50/50	1	18	8	2	72	22.36	0.013314057	0.009586
	60/40	6	70	8	2	20	36.92	0.131902052	0.02638
	40/60	4	53	8	2	37	32.16	0.076597508	0.028341
	30/70	1	4	8	2	86	18.44	0.010979929	0.009443

Date	Ratio (น้ำ:มูลวัว)	P (kPa)	CO (%)	N2 (%)	H2S (%)	CH4 (%)	MW (kg/kmol)	M gas total (g)	M (CH4)
25	50/50	1	19	8	2	71	22.64	0.01348078	0.009571
	60/40	6	73	8	2	17	37.76	0.134903074	0.022934
	40/60	5	70	8	2	20	36.92	0.109918377	0.021984
	30/70	1	4	8	2	86	18.44	0.010979929	0.009443

ตาราง ค. 5 แสดงข้อมูลของการหมักหัวเชื้อ (Inoculum)

Date	ค่าความดันที่วัดได้ในแต่ละอัตราส่วน (kPa)						
	50/50	60/40	70/30	80/20	40/60	30/70	20/80
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	5	3	0
3	3	3	1	0	5	5	3
4	3	3	3	1	6	6	3
5	2	2	3	2	6	6	2
6	2	2	2	3	5	5	2
7	2	3	2	3	5	5	2
8	3	3	2	2	5	5	2
9	3	4	1	2	5	6	2
10	4	5	1	1	6	6	3
11	5	5	1	1	7	6	4
12	5	6	0.5	1	8	7	4
13	5	7	0	0.5	7	7	3
14	5	7	0	0.5	8	8	2