ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วย

Production of biogas from banana peel

นายโชติพงศ์ จูจันทร์
นายอติชาต อ่ำมาก
นายโชค สุขโชติ

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 14 ต.ค. 2553
เลขทะเบียน 1507827
เลขเรียกหนังสือ วร. ส 826ก 2552
มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล : การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วย

ผู้ดำเนินงาน	**: นายโชติพงศ์**	**จูจันทร์**	**รหัสนิสิต 49360440**
	นายอติชาต	อ่ำมาก	**รหัสนิสิต 49362680**
	นายโชค	สุขโชติ	**รหัสนิสิต 49363502**
ที่ปรึกษาโครงงาน	: ผศ.ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร		
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์		
	มหาวิทยาลัยนเรศวร		

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานวิศวกรรมเครื่องกลฉบับนี้ **เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล**

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล

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

.....กรรมการ
(ดร.ภาณุ พุทธวงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ศิษฐ์ภัณฑ์ แคนลา)

หัวข้อโครงงานวิศวกรรมเครื่องกล : การผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วย

ผู้ดำเนินงาน	: นายโชติพงศ์	จูจันทร์	รหัสนิสิต 49360440
	นายอติชาต	อ่ำมาก	รหัสนิสิต 49362680
	นายโชค	สุขโชติ	รหัสนิสิต 49363502
ที่ปรึกษาโครงงาน	: ผศ.ดร. กุลยา กนกจารุวิจิตร		
สาขาวิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล		
ภาควิชา	: วิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์		
	มหาวิทยาลัยนเรศวร		

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะทำการผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วย ซึ่งเป็นของเหลือจากโรงงานผลิตกล้วยตาก โดยอุตสาหกรรมกล้วยตากเป็นอุตสาหกรรมที่สำคัญของจังหวัดพิษณุโลก ดังนั้นจังหวัดพิษณุโลกจึงมีเปลือกกล้วยที่เหลือจากการผลิตเป็นจำนวนมาก จึงได้มีแนวคิดในการนำเปลือกกล้วยมาผลิตเป็นก๊าซชีวภาพเพื่อเป็นการลดปริมาณขยะในชุมชนและสามารถผลิตพลังงานทดแทนที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ในอุตสาหกรรมกล้วยตากต่อไป

การทดลองทำการหมักเปลือกกล้วยเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพทำได้โดยเริ่มจากการหมักตัวเร่งปฏิกิริยา โดยการใช้มูลวัวผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 และทำการหมักเป็นเวลา 3 วัน จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ไปผสมกับเปลือกกล้วยในอัตราส่วนเปลือกกล้วยต่อตัวเร่งปฏิกิริยา 10:1 แล้วนำไปใส่ในถังหมักขนาด 100 ลิตรที่ติดเกจวัดความดัน ซึ่งถังมีพื้นที่หน้าตัดขนาด 0.208 m^2 สูง 61 เซนติเมตร จากนั้นเติมน้ำเพิ่มเพื่อให้ได้อัตราส่วนของสารตั้งต้นต่อน้ำเท่ากับ 7:3 แล้วทำการหมักเป็นเวลา 30 วัน จากการทดลองพบว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีความดันสูงสุดที่ 2 kPa จากนั้นทำการหมักในอัตราส่วนเดียวกันแต่ทำการหมักในภาชนะขนาดความจุ 1.5 ลิตรมีพื้นที่หน้าตัดขนาด 0.007 m^2 สูง 30 เซนติเมตร และทำการหมักเป็นเวลา 30 วัน พบว่าความดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีค่ามากที่สุดที่ 12.5 kPa ทำให้สังเกตได้ว่า รูปร่างของถังหมักทรงสูงซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดน้อยเมื่อเทียบกับความสูงมีแนวโน้มที่จะผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่า

Project Title	: Production of biogas from banana peels		
Name	: Mr. Chotpong	Jujan	Student ID. 49360440
	Mr. Atichat	Ammak	Student ID. 49362680
	Mr. Choke	Sukchote	Student ID. 49363502
Project Advisor	: Assist. Prof. Dr. Koonlaya Kanokjaruvijit		
Major	: Mechanical Engineering		
Department	: Mechanical Engineering		
Academic Year	: 2010		

Abstract

The objective of this project is to produce biogas from banana peels, which are leftover from sun dried banana industry - the major industry in Phitsanuloke. Hence, reducing municipal waste from banana peels by using them as raw materials in producing biomass gas is introduced.

Fermentation of banana peels to producing biomass gas begins with preparing inoculums, which is made of cattle dung in water with the ratio of 1:1. The process takes three days. Then, the inoculum is mixed with chopped banana peels with the ratio of 1:10 in a polyethylene - resin tank is of volume 100 liters with a pressure gage readily installed. Water is filled in the tank to make the ratio of the substrate and the water to be 7:3. The fermentation process last 30 days. the highest pressure found in the 100 – liter tank is 2 kPa. In addition, a container of volume 1.5 liter is employed using the same substrate and the same ratios of those done in the 100 L tank for 30 days. The pressure is found at 12.5 kPa. Since the 100 L tank has a ratio of height to diameter of 1.17 and the 1.5 L – tank 3.18, the tall shape container tends to give higher pressure of biomass gas.

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงงานขอขอบพระคุณคณะบุคคล และหน่วยงานที่เกี่ยวข้องที่ได้ให้ความอนุเคราะห์และให้คำปรึกษาเกี่ยวกับโครงงานนี้ จนประสบความสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ได้แก่

1.ผศ.ดร.กุลยา	กนกจารุวิจิตร	อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน
2.ดร.ภาณุ	พุทธวงศ์	กรรมการสอบโครงงาน
3.อาจารย์ศิษฐ์ภัณฑ์	แคนลา	กรรมการสอบโครงงาน
4. คุณศิริ	วนสุวานิช	เจ้าของโรงงานกล้วยอบไทไทที่เอื้อเฟื้อวัตถุดิบ

5.คณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ตลอดจนคำแนะนำ

6.สมาชิกในกลุ่มและเพื่อนทุกๆคน

รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกๆท่านที่มิได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

โชติพงศ์ จูจันทร์

อติชาต อ่ำมาก

โชค สุขโชติ

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
ใบรับรองโครงงาน	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 หลักการออกแบบถังหมัก	1
1.3 วัตถุประสงค์	2
1.4 ขอบข่ายของโครงงาน	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 แผนการดำเนินงาน	3
1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน	3
1.8 งบประมาณของโครงการ	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)	4
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	10
2.2.1 ความหมายของก๊าซชีวภาพ	10

2.2.2 จลนศาสตร์ของการหมัก 11

2.2.3 การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน 12

2.2.4 กระบวนการทางเคมีของการเกิดก๊าซชีวภาพภายในถังหมัก 12

2.2.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการหมักแบบไร้อากาศ 13

2.2.6 ภาชนะความดันผนังบาง 14

2.2.7 กฎของดาลตัน 15

2.2.8 องค์ประกอบต่างๆของเปลือกกล้วย 16

2.2.9 ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ 17

2.2.10 ลักษณะของเปลือกกล้วย 17

2.2.11 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักเปลือกกล้วย 18

บทที่ 3 การออกแบบและการดำเนินงาน

3.1 การออกแบบถังหมัก 19

3.1.1 การคำนวณหาความดันที่ถังสามารถทนได้ 19

3.1.2 การคำนวณหาปริมาณเปลือกกล้วยที่ใช้ในการหมัก 21

3.1.3 การคำนวณหาความดันที่เกิดขึ้น 22

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน 24

3.2.1 วิธีการดำเนินงานโดยภาพรวม 24

3.2.2 กระบวนการทางเคมีในการเกิดก๊าซชีวภาพภายในถังหมัก 25

3.2.3 การทดลองหาอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา (Inoculums) 27

3.2.4 การทดลองหมักเปลือกกล้วยในภาชนะขนาด 1.5 ลิตร 28

3.2.5 รูปแบบของถังหมักที่ใช้ในการทดลอง 28

บทที่ 4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

4.1 ลักษณะทางกายภาพและความดันภายในถังหมัก 30

4.2 ลักษณะทางกายภาพและความดันภายในถังขนาด 1.5 ลิตร 33

4.3 เปรียบเทียบการเกิดก๊าซชีวภาพในถังหมักที่มีขนาดแตกต่างกัน 36

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 38

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองในอนาคต 39

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีและกายภาพของเปลือกกล้วย	16
ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบประกอบของก๊าซชีวภาพ	17
ตารางที่ 2.3 Characteristic of banana peel	17
ตารางที่ 2.4 ปริมาณก๊าซชีวมวลที่เกิดขึ้น	18
ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา	27
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการหมักก๊าซภายในถังขนาด 100 ลิตร	31
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการหมักก๊าซภายในถังขนาด 1.5 ลิตร	33

สารบัญรูปภาพ

รูป หน้า

รูปที่ 3.1 แผนผังการทำการทดลอง 24

รูปที่ 3.2 แผนผังปฏิกิริยาทางเคมีในการเกิดก๊าซชีวภาพ 26

รูปที่ 3.3 ถังหมักที่ใช้ในการทดลอง 29

รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความดันของถังหมักขนาด 100 ลิตรและ 1.5 ลิตร 37

บทที่1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

ในปัจจุบันปัญหาทางด้านพลังงานเป็นปัญหาที่สำคัญมากประการหนึ่ง ซึ่งอัตราการเพิ่มของประชากรที่มีมากขึ้นในทุกๆปี ทำให้เกิดการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างมหาศาลรวมไปถึงมลภาวะที่เกิดจากของเสียที่ออกมาจากแหล่งต่างๆ เช่น โรงงานอุตสาหกรรม แหล่งปศุสัตว์ หรือการทำเกษตรกรรม เป็นต้น สิ่งที่ก่อให้เกิดมลภาวะอีกสิ่งหนึ่งที่สำคัญคือสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ มูลสัตว์และสิ่งปฏิกูลต่างๆซึ่งโดยธรรมชาติในสภาวะไร้อากาศจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์และเกิดก๊าซชีวภาพที่ประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน การย่อยสลายตามธรรมชาติในสภาวะเปิด (Open system) นี้ก๊าซชีวภาพที่มีมีเทนจะถูกปลดปล่อย สู่บรรยากาศ ซึ่งจะมีผลต่อสภาวะเรือนกระจกของบรรยากาศโลกที่ทำให้โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น แต่หากมีการกักเก็บก๊าซชีวภาพจะสามารถนำกลับมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือพลังงานทดแทนได้ ซึ่งสามารถลดปัญหาสภาวะเรือนกระจก และได้พลังงานหมุนเวียนที่นำมาใช้ได้ใหม่

ในจังหวัดพิษณุโลกนั้นมีการปลูกกล้วยน้ำว้าเป็นจำนวนมาก ทำให้เกิดอุตสาหกรรมการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ อย่างไรก็ตามก็ก่อให้เกิดขยะจากเปลือกกล้วยเป็นจำนวนมาก ซึ่งจากการศึกษาของไพลำภา นิ่มสังข์ (2550) พบว่าภายในเปลือกกล้วยมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์และน้ำตาลต่างๆหลายชนิดที่สามารถนำมาใช้หมักเพื่อให้เกิดก๊าซมีเทนเพื่อให้นำกลับไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมได้

1.2 หลักการออกแบบถังหมัก

การออกแบบถังหมักเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วยทางคณะผู้จัดทำได้ทำการหมักภายในถังที่มีระบบปิด โดยภายในได้มีการใส่เปลือกกล้วยและตัวเร่งปฏิกิริยา (inoculums) เพื่อให้เกิดกระบวนการได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งได้มีการติดถังเพื่อให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นนั้นได้มีการระบายออกไปที่ส่วนอื่นเพื่อป้องกันความปลอดภัยในการหมัก และสามารนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างง่าย

1.3 วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการหมักเปลือกกล้วยเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นก๊าซชีวภาพ
2. ศึกษาตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

1.4 ขอบข่ายของโครงงาน

1. ศึกษากระบวนการทางเคมีของการหมักเปลือกกล้วยเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพ
2. วิเคราะห์พื้นที่หน้าตัดต่อความสูงของภาชนะที่ใช้หมักเปลือกกล้วยที่ภาชนะขนาด 100 ลิตร และ 1.5 ลิตร
3. ศึกษาผลกระทบต่างๆที่มีผลต่อการหมัก ได้แก่
   - อัตราส่วนระหว่างมูลวัวต่อปริมาณน้ำที่นำไปใช้เป็นหัวเชื้อ (Inoculum)
   - ระยะเวลาในการหมักเพื่อให้เกิดเป็นก๊าซชีวภาพ
   - รูปทรงของถังหมักที่ใช้ในการหมัก

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดก๊าซมีเทนจากการหมักเปลือกกล้วยจากทั้งสองขั้นตอน
2. ออกแบบถังหมักโดยอาศัยข้อมูลจากการทบทวนเอกสารนำมาเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกใช้ถังหมักที่เหมาะสม เช่น ภาระความดันกระจายเต็มถัง เป็นต้น

1.6 แผนการดำเนินงาน

การดำเนินการ	2552					2553		
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.ศึกษารวบรวมข้อมูล								
2.วางแผนการดำเนินงาน								
3.ดำเนินการออกแบบการทดลอง								
4.ดำเนินการทดลอง								
5.แก้ไข วิเคราะห์และสรุปผล								

1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน

อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิยาลัยนเรศวร

1.8 งบประมาณของโครงการ

1.	ถังหมักขนาด 51.5 x 61 cm ความจุ 100 ลิตรจำนวน 2 ถัง	1,600	บาท
2.	ท่อ PVC ขนาด 35 mm (1 1/4นิ้ว) ยาว 4 m จำนวน 1 เส้น	40	บาท
3.	วาล์วเปิด-ปิด ขนาด (1 1/4นิ้ว) จำนวน 2 ตัว	80	บาท
4.	Pressure gage 2 ตัว	2,600	บาท
5.	ขวดพลาสติกขนาด 1.5 ลิตร 2 ขวด	10	บาท
6.	เครื่องบด 1 เครื่อง	1,200	บาท
	รวม	5,530	บาท

บทที่2

การทบทวนวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

บทนี้แสดงการทบทวนวรรณกรรม (Literature Review) ที่เกี่ยวข้องและหลักการทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งได้แก่ ความหมายของก๊าซชีวภาพการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน กระบวนการทางเคมีของการเกิดก๊าซชีวภาพภายในถังหมัก และปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 การทบทวนวรรณกรรม (Literature Review)

เบญจมาศ ศิลาน้อย (1955) ได้อธิบายถึงชนิดของแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซมีเทนนั่นก็ คือ แบคทีเรียประเภท Methanogen จำพวก Mesophillic และ Thermophillic ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ต้องมีการควบคุมอากาศและอุณหภูมิที่พอเหมาะต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียประเภทนี้จะเจริญเติบโตภายใต้อุณหภูมิประมาณ 35-43 ^{0}C แบคทีเรียเหล่านี้ได้แก่ Bacillus circulans, Bacillus sterothermophillus, Bacillus coagulans แบคทีเรียเหล่านี้สามารถที่จะเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่เป็นแบบ Anaerobic ซึ่งก็คือสภาวะที่ไม่มีการถ่ายเทของอากาศ

Pelza และคณะ (1965) ได้ศึกษาการผลิตกรดจิบเบอเรลิก (Gibberelic acid) จากเชื้อ Gibberella fujikuroid และได้แบ่งการเจริญของแบคทีเรียเป็นช่วงต่างๆ ดังนี้

1. Balance phase ระยะเทียบเท่าช่วงต้นถึงช่วงกลาง log phase
2. Storage phase เป็นระยะเทียบเท่ากับช่วงปลาย log phase โดยในช่วงนี้ระยะการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียจะเกิดการสะสมคาร์โบไฮเดรต
3. Maintenance phase เป็นระยะเทียบเท่ากับระยะ stationary phase หรือเรียกว่าระยะการเจริญเติบโตอย่างเต็มที่ของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียหยุดการเพิ่มจำนวนและไม่สะสมคาร์โบไฮเดรตในทันที

V.C. Kalia และคณะ (1975) ได้อธิบายถึงจุด Yield ของการเกิดก๊าซมีเทนในการหมัก (จุด Yield ของการหมักก๊าซมีเทน คือ กระบวนการที่กรดอะมิโนที่เกิดจากการหมักนั้นเกิดเป็นก๊าซชีวภาพซึ่งมีก๊าซมีเทนประกอบอยู่ด้วย) จุด Yield ที่เกิดจากการหมักเปลือกกล้วยอยู่ที่ 398±20 CH_4 kg VS^{-1} โดยได้ทำการทดลองหมักเปลือกกล้วยหอมในปริมาณที่เท่ากันและใช้เวลาในการหมักที่เท่ากันแล้วจึงหาค่าเฉลี่ยในการเกิดก๊าซมีเทน

Boyd และคณะ (1981) ได้ทำการหมักเปลือกผลไม้สองชนิดคือ เปลือกของกล้วยหอมและเปลือกของสับปะรด แล้วนำผลที่ได้จากการหมักมาเปรียบเทียบเพื่อหาก๊าซชีวภาพ โดยวิธีการหมักนั้นขั้นแรกนำเปลือกกล้วยและเปลือกสับปะรดในปริมาณที่เท่ากันไปหั่นเป็นชิ้นๆประมาณ 5-10 mm แล้วใส่ลงไปในถังหมักเป็นปริมาณ 10% ของถัง จากนั้นได้ทำหัวเชื้อการหมักโดยการนำมูลวัวสดผสมกับน้ำมาใส่ในขวดแล้วหมักไว้เพื่อให้ได้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาการการย่อยสลาย จากนั้นจึงนำหัวเชื้อมาใส่ภายในถังหมักให้ได้ปริมาณประมาณ 40% ของถังหมักจากนั้นจึงทำการหมักเป็นเวลา 40 วัน ในการทดลองนี้ได้มีการทดสอบก๊าซชีวภาพที่ได้โดยการเปิดฝาของถังหมักและทำการจุดไฟเพื่อทดสอบก๊าซชีวภาพที่ได้โดยได้ควบคุมท่อส่งจ่ายของก๊าซให้มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางและอัตราการไหลที่เท่ากัน จากนั้นได้ทำการศึกษาถึงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการหมัก ซึ่งทำให้เห็นถึงสองกระบวนการที่เกิดขึ้น คือ กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์และกระบวนการแบคทีเรียผลิตก๊าซชีวภาพ เมื่อทำการหมักและนำมาเปรียบเทียบก็พบว่า การหมักทั้งสองชนิดให้ปริมาณก๊าซชีวภาพในอัตราใกล้เคียงกันโดยกล้วยนั้นมีค่ามากกว่าประมาณ 5%

N. Raizada และคณะ (1981) ได้อธิบายถึง กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรีย 4 กลุ่ม ดังนี้

1. Hydrolysis : แบคทีเรียที่ใช้คือ Hydrolyzing Bacteria คือ ปฏิกิริยาที่เปลี่ยนสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ให้เป็นสารอินทรีย์ขนาดเล็กง่ายต่อการดูดซึมเข้าเซลล์ของแบคทีเรีย โดยผลิตเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อเร่งปฏิกิริยา Hydrolysis
2. Acidogenesis : แบคทีเรียที่ใช้คือ Acidogen Bacteria คือปฏิกิริยาในการย่อยสลายสารโมเลกุลที่มีขนาดเล็กด้วยกระบวนการหมัก ทำให้ได้ผลผลิตส่วนใหญ่เป็นกรดอินทรีย์จำพวก Volatile acid จึงเรียกปฏิกิริยานี้ว่าเป็นการเกิดกรด
3. Acetogenesis : โดยแบคทีรียกลุ่ม Acetogen คือ การย่อยสลายกรดอินทรีย์ที่ระเหยง่ายจากขั้นตอน Acidogenesis ให้เป็นกรดอะซิติก

4. Methanoenesis : โดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทน (Methanogen) คือ ปฏิกิริยาการเปลี่ยนกรดอะซิติกและก๊าซไฮโดรเจนเป็นก๊าซมีเทนภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (หรือระบบปิดที่ไม่มีการถ่ายเทอากาศ)

สมใจ ภัสสัตยางกูล (1984) ได้ทำการวิจัยหาสภาพพร้อมใช้ทางชีวภาพของเชื้อจุลินทรีย์ โดยได้อธิบายว่า กลไกของการย่อยสลายแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นแรกเป็นการที่เชื้อจุลินทรีย์ได้นำสารตั้งต้นเข้าสู่เซลล์และขั้นตอนที่สองคือการเกิดเมทาบอลิซึมหรือการย่อยสลายในระดับเซลล์โดยสารตั้งต้นนั้นสามารถที่จะเกิดการย่อยสลายได้อย่างรวดเร็วหากสารตั้งต้นนั้นอยู่ในสภาวะที่สามารถละลายน้ำได้ (Water - Soluble Form) อย่างไรก็ตามการย่อยสลายสารตั้งต้นนั้นมักจะถูกจำกัดด้วยความสามารถในการละลายจากปัจจัยภายนอก เช่น สภาพความอิ่มตัวของสารตั้งต้น หรือการที่ถูกตัวดูดซับจากภายนอกมกระทำ

มาลี อมนทิพย์ (1993) ได้นำขยะอินทรีย์จากชุมชนมาทำการหมักและสามารถนำมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงได้โดยการผลิตก๊าซเชื้อเพลิงจากขยะชุมชนเป็นกระบวนการทำให้ขยะกลายเป็น ก๊าซโดยทำการสันดาปแบบไม่สมบูรณ์ (Partial Combustion) กล่าวคือ สารอินทรีย์ในขยะจะทำปฏิกิริยากับอากาศหรือออกซิเจนในปริมาณจำกัดและทำให้เกิดก๊าซซึ่งมีองค์ประกอบหลัก คือ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจนและก๊าซมีเทนทั้งนี้องค์ประกอบของก๊าซเชื้อเพลิงจะขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ (Gasifier) สภาวะความดัน อุณหภูมิและคุณสมบัติของก๊าซเชื้อเพลิงแข็งก๊าซเชื้อเพลิงที่ผลิตได้สามารถใช้งานได้หลายรูปแบบ เช่น เป็นก๊าซเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้า การให้ความร้อนโดยตรง หรือใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับยานพาหนะ ทั้งนี้การใช้งานจะต้องคำนึงถึงคุณภาพของก๊าซเชื้อเพลิงโดยอาจจำเป็นต้องทำความสะอาดก๊าซเชื้อเพลิง โดยการกำจัดก๊าซที่เป็นกรดสารประกอบของโลหะอัลคาไลน์น้ำมันทาร์ และฝุ่นละออง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบลดปัญหาการเสียหายของอุปกรณ์และป้องกันปัญหามลพิษที่เกิดขึ้น

Jewell และคณะ (1993) ได้รวบรวมการศึกษาของโครงการวิจัยเรื่องการผลิตก๊าซชีวภาพจากของเสียจากการเพาะปลูกทางการเกษตร โดยพบว่าในระบบหมักที่มีสารตั้งต้น (ของเสียจากการเพาะปลูก) ต่ำประมาณร้อยละ 8-10 ของส่วนผสมทั้งหมด ระบบจะมีความเหมาะสมที่สุด แต่ในระบบที่มีสารตั้งต้นอยู่สูงถึงร้อยละ 18-35 พบว่าถ้าสารตั้งต้นมากขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการเก็บกักกากนานขึ้นเมื่อต้องการให้ประสิทธิภาพการบำบัดเท่าเดิม และที่สารตั้งต้นมากกว่าร้อยละ 50 พบว่าอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพลดลงอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ยังพบว่าในการย่อยสารตั้งต้นที่มีขนาด

เล็กในระบบที่มีสารตั้งต้นมากกว่าร้อยละ 35 ทำให้เกิดการลอยตัวเนื่องจากความดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและพบว่าในระบบที่มีสารตั้งต้นสูงในระบบนอกจากล้มเหลวเนื่องมาจากการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายหรือค่าพีเอชต่ำแล้วส่วนใหญ่เกิดจากการสะสมของแอมโมเนียและการขาดแคลนธาตุอาหาร (จำพวกธาตุโลหะ) การเติมธาตุอาหารและการปรับค่า C : N ในสารตั้งต้นต่ำและสารตั้งต้นสูงพบว่าทำให้ระบบมีเสถียรภาพและมีอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพมากขึ้น จากผลการทดลองในถังหมักที่ใช้สารตั้งต้น 5 kg ที่อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ 18 gVS / kg-d ได้ก๊าซมีเทน 5.4 l / kg-d และที่อัตราภาระการรับสารอินทรีย์ 24 gVS / kg-d ได้ก๊าซมีเทน 7.5 l / kg-d

Chanakya และคณะ (1994) ศึกษาการหมักใบไม้แห้งและใบไม้สดแบบ 2 ขั้นตอนแบบ (Fed Batch) โดยใช้ 2 ถังได้แก่ถังผลิตกรดที่มีสารตั้งต้นร้อยละ 22 และถังผลิตก๊าซชีวภาพแบบ packed - bed ได้ก๊าซชีวภาพที่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบร้อยละ 70 มีปริมาตรก๊าซชีวภาพ 290 และ 190 l / kg dry solid ประสิทธิภาพการบำบัดของแข็งร้อยละ 42 และ 45 สำหรับใบไม้สดและใบไม้แห้ง ตามลำดับ พบว่าปริมาณกรดไขมันจะเปลี่ยนแปลงตามการอัตราการป้อนสารอินทรีย์และเวลาการเก็บกักกาก จากผลการทดลองระบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอนมีการดูแลค่อนข้างยุ่งยาก ไม่เหมาะกับเกษตรกร

สมใจ ศิริโภค (1994) ได้อธิบายถึงการที่จุลินทรีย์นำของเหลวเข้าสู่เซลล์ โดยจุลินทรีย์นั้นสามารถนำของเหลวเข้าสู่เซลล์ได้ดังต่อไปนี้

1. ใช้สารอินทรีย์ส่วนน้อยที่พอจะละลายน้ำได้อยู่บ้างเล็กน้อยแต่วิธีนี้มักถูกจำกัดเนื่องจากคุณสมบัติการละลายน้ำของสารอินทรีย์ต่ำ
2. สัมผัสกับสารอินทรีย์โดยตรงโดยใช้อวัยวะที่ชื่อ ฟิมเบเรีย (Fimbriae) หรืออาศัยคุณสมบัติของผนังเซลล์ที่เป็นไฮโครโฟบิก
3. สัมผัสกับสารอินทรีย์ที่เป็นเฉพาะสารโมเลกุลเล็กที่กระจายอยู่ในน้ำ
4. อาศัยสารลดแรงตึงผิว (Surfactant) หรือตัวกระทำอิมัลชั่น (Emulsifier) ซึ่งจะเพิ่มการละลายของสารอินทรีย์ในน้ำโดยการสร้างไมเซลล์ (Micelles) หรือฟอง (Vesicles) แล้วจับเข้ากับสารไฮโดรคาร์บอน

ถ้าสารอินทรีย์นั้นมีสภาพเป็นของแข็งจะมีเพียง 2 วิธีเท่านั้นที่จุลินทรีย์จะนำสารเหล่านี้เข้าสู่เซลล์ ได้แก่

1. สัมผัสโดยตรงกับสารตั้งต้น
2. ใช้สารตั้งต้นที่อยู่ในสภาพของสารละลาย

ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า จุลินทรีย์นั้นสามารถที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีคุณสมบัติการละลายน้อยได้ดีได้มากกว่าสารอินทรีย์ที่อยู่ในสภาวะของแข็ง ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการนำสารอินทรีย์ไปใช้ได้แก่ การดูดซับของสารอนุภาคเล็กในสิ่งแวดล้อมโดยอาจเกิดพันธะโควาเลนต์หรือพันธะไฮโดรเจน สารที่ยึดจับพันธะเหล่านี้จะถูกปล่อยกลับออกมาละลายน้ำและถูกนำไปใช้โดยจุลินทรีย์ สารอินทรีย์ที่ตกค้างในสิ่งแวดล้อมนานๆ มักพบกับปัญหาของการย่อยสลายได้ยากขึ้นเนื่องจากการไหลซึ่งเข้าไปในช่องเล็กๆหรือโพรงเล็กๆ สิ่งแวดล้อมซึ่งจุลินทรีย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ภายในสิ่งแวดล้อมนั้นๆ

Nirmala Bardiya และคณะ (1996) สรุปรูปแบบของถังหมักแบบใหญ่ๆ ที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรม ดังนี้

1. Anaerobic Lagoon เป็นระบบที่ไม่ต้องใช้เครื่องจักรกลเป็นแบบที่อาศัยธรรมชาติมากที่สุดระบบน้ำทิ้งจะใช้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะเต็มหรือล้นออกไปเองซึ่งสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลายด้วยปฏิกิริยาเคมีไปเองส่วนใหญ่จะใช้ในอุตสาหกรรมการหมักเบียร์และไวน์
2. Conventional anaerobic digestion ประกอบด้วยถังปฏิกิริยาซึ่งเป็นถังคอนกรีตไร้ออกซิเจน และเก็บความร้อนส่วนใหญ่ใช้ในการหมักก๊าซชีวภาพ
3. Anaerobic contact มีการแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำทิ้งที่ถูกส่งออกมาจากถังปฏิกิริยาแล้วนำตะกอนที่ได้กลับมาใช้อีกครั้ง
4. Anaerobic filter ภายในถังหมักจะมีตัวกรองวางอยู่ในชั้นกลางซึ่งจะมีการปล่อยให้กรดที่ได้จากการกรองไหลผ่านไปสู่ชั้นล่างซึ่งไม่มีอากาศถ่ายเท

Vieitez และคณะ (1997) ศึกษาระบบบำบัดแบบไร้อากาศ 2 ขั้นตอน โดยใช้ขยะชุมชนที่สร้างขึ้น (simulate solid waste) ใช้ถังบำบัด 2 ถัง คือถังผลิตกรดที่มีขนาด 14 ลิตรมีของแข็งร้อยละ 16 และถังผลิตก๊าซมีเทน 8 ลิตรพบว่าปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสและกระบวนการผลิตกรดในถังผลิตกรดจะหยุดทำงานเมื่อมีกรดไขมัน (Volatile Fatty Acid, VFA) 13,000 mg / l หรือค่าพีเอชประมาณ 6-6.5 ทำการทดลอง 295 วัน ได้ก๊าซมีเทน 0.12 m^3/ kgVS ซึ่งของแข็งระเหย (volatile solid, VS) ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 30

Radvan และคณะ (1997) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ข้าวฟ่าง พบว่าการเติมหัวเชื้อจากมูลวัวมากจะทำให้มีปริมาณแบคทีเรียมากเป็นผลทำให้เกิดก๊าซมีเทนเร็ว แต่ถ้ามากเกินไปจะทำให้เกิดการไม่สมดุลระหว่างจำนวนแบคทีเรียทำให้ค่าพีเอชต่ำได้การเติมแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นการช่วยเพิ่มค่าอัลคาร์ไลนิตี้ แต่ถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้เกิดปฏิกิริยาน้อยลงทำให้ค่าพีเอชลดลงเล็กน้อย ของเสียที่มีเส้นใยถ้านำไปทำให้เกิดการพองตัวของโมเลกุลก่อนจะช่วยให้แบคทีเรียย่อยสลายได้เร็วขึ้น สภาวะที่ดีที่สุดในการผลิตก๊าซมีเทนจากข้าวฟ่างคือ มีของแข็งร้อยละ 21 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ใช้หัวเชื้อจากมูลวัวร้อยละ 11 และใช้แคลเซียมคาร์บอเนตร้อยละ 2

Wujcik และคณะ (1998) ได้ศึกษาหาผลกระทบของสารตั้งต้นที่มีผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ มูลวัว กระดาษ และข้าวฟ่างสาลีผสมกัน พบว่าสารตั้งต้นมากจะทำให้มีปัญหาการสะสมกรดทำให้ค่าพีเอชต่ำซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างก๊าซมีเทนองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพลดลงและทำให้ระยะเวลาการกักเก็บกากนานเมื่อต้องการประสิทธิภาพการกำจัดคงที่ ถ้าสารตั้งต้นมากกว่าร้อยละ 30 อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะลดลงและถ้าสารตั้งต้นมากกว่าร้อยละ 55 อัตราการผลิตกรดจะลดลงอย่างรวดเร็วที่ปริมาณสารตั้งต้น ไม่เกินร้อยละ 30 จะลดระยะเวลาการเก็บกักกากลง หรือถ้าระยะเวลาการเก็บกักกากเท่ากัน การเพิ่มปริมาณสารตั้งต้นจะทำให้ปริมาตรก๊าซต่อวัน (l/d) และปริมาตรก๊าซต่อปริมาตรถังต่อวัน (l/m^3-d) มีค่ามากขึ้นแต่ปริมาตรก๊าซต่อมวลของสารตั้งต้นที่ระเหย (l / kgVS) และประสิทธิภาพการกำจัดมีค่าต่ำลง

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ความหมายของก๊าซชีวภาพ

จักรพันธุ์ ปัญจะสุวรรณ (2540) ได้ให้ความหมายของก๊าซชีวภาพดังนี้ ก๊าซชีวภาพ (Biogas) หมายถึงก๊าซที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากสิ่งมีชีวิตทั้งที่เป็นพืชและสัตว์ ในสภาวะไร้ออกซิเจน โดยมีจุลินทรีย์หลายชนิดเป็นตัวย่อยสลายก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซผสมระหว่างก๊าซมีเทน (CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้อาจมีก๊าซไนโตรเจน ไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ปนอยู่บ้างเล็กน้อย ก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักจะมีปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้และสภาวะของกระบวนการหมัก โดยทั่วไปองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพมีดังต่อไปนี้

ก๊าซมีเทนร้อยละ	50 - 70
ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ	20 - 50
ก๊าซไนโตรเจนร้อยละ	0 - 8
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร้อยละ	0 - 1

ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถทดแทนเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นได้ เช่น ฟืน ถ่าน น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม เป็นต้น ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้โดยตรง เหมือน ก๊าซแอลพีจี ซึ่งมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าการใช้ฟืนหรือถ่านทั้งยังปราศจากควันและเขม่าด้วย จึงทำให้สถานที่ที่ใช้ก๊าซนี้มีความสะอาดกว่า ก๊าซชีวภาพยังสามารถให้พลังงานด้านแสงสว่าง เมื่อนำมาใช้กับตะเกียงหรือเครื่องปั่นไฟรวมทั้งให้พลังงานความร้อน ก๊าซชีวภาพที่สามารถใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้จะต้องมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

2.2.2 จลนศาสตร์ของการหมัก

จลนศาสตร์ของการหมัก (Kinetic Fermentation) เป็นการบ่งบอกถึงการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมัก เช่น การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือแบคทีเรีย การเปลี่ยนแปลงของสารตั้งต้น การเกิดผลผลิต ปริมาณของออกซิเจนที่ถูกดูดซับไปการเปลี่ยนแปลงค่า pH และอุณหภูมิ โดยบ่งบอกปริมาณออกมาเป็นตัวเลขอย่างชัดเจน

Batch culture เป็นการคำนวณหาจำนวนของแบคทีเรียที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้นโดยการควบคุมปริมาณของอาหารของแบคทีเรียโดยจะเริ่มวัดตั้งแต่ช่วงที่เซลล์ยังไม่มีการเพิ่มจำนวนหรือเรียกว่า เป็นช่วงปรับตัวของแบคทีเรียซึ่งเรียกว่า lag phase ไปจนถึงแบคทีเรียมีอัตราการเจริญเติบโตสูงสุดหรือที่เรียกว่า log phase

การเจริญของแบคทีเรียในระยะ lag phase เขียนเป็นสมการดังนี้

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \qquad (2.1)$$

กำหนดให้

x = ความเข้มของมวลเซลล์ (Biomass)

t = เวลา (ชั่วโมง)

μ = อัตราการเจริญจำเพาะ (ชั่วโมง)

จากการศึกษาการเจริญของแบคทีเรียที่มีการเลี้ยงแบบ Batch ในอาหารที่มีความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่ต่างกันพบว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเซลล์สูงสุดซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$x = Y(S_R - S) \qquad (2.2)$$

กำหนดให้

x = ความเข้มข้นมวลเซลล์ที่ผลิตได้

Y = Yield cofactor (Dimensionless constant)

S_R = ความเข้มข้นของสารตั้งต้นเริ่มต้น

S = ความเข้มข้นของสารตั้งต้นที่เหลือ

2.2.3 การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion)

การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) เป็นกระบวนการหมักของเสียในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนเพื่อให้จุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซชีวภาพระบบย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทหลักตามความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่ในถังหมัก ได้แก่

1. การหมักแบบแห้ง (Dry Digestion) มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์ประมาณร้อยละ 20-40
2. การหมักแบบเปียก (Wet Digestion) มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์น้อยกว่าร้อยละ 20

2.2.4 กระบวนการทางเคมีของการเกิดก๊าซชีวภาพภายในถังหมัก

ปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้อากาศที่เกิดขึ้นในถังหมักจะทำให้เกิดก๊าซชีวภาพโดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จะประกอบด้วยก๊าซมีเทน 60-70% โดยปริมาตร ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 30-40% และไฮโดรเจนซัลไฟด์ 1% โดยปริมาตร ซึ่งก๊าซชีวภาพในกระบวนการนี้จะมีค่าความร้อนประมาณ 20-25 MJ/m^3 โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแบ่งออกได้เป็น 2 กระบวนการ คือ

1. การเกิดกรดอะซิติก (Acetic acid) คือการที่แบคทีเรียได้ทำการย่อยสลายในส่วนที่เป็นเอนไซม์และส่วนที่เป็นธาตุองค์ประกอบ ในเนื้อของเปลือกกล้วย ดังสมการดังนี้

$$\text{สารอินทรีย์} \longrightarrow CH_3COOH$$

โดยในทั่วไปกระบวนการนี้จะสามารถเกิดได้ดีที่สุดในสภาวะที่เหมาะสม นั่นคือสภาวะที่มีค่า pH มีค่าประมาณ 7.5 และมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 35 ^0C ซึ่งสภาวะเช่นนี้เป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียประเภท Hydrolyzing Bacteria ซึ่งแบคทีเรียประเภทนี้เป็นประเภทที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์แล้วทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นกรดอะซิติก

2. การเกิดก๊าซชีวภาพ เป็นกระบวนการต่อเนื่องมาจากกระบวนการเกิดกรดอะซิติกโดยที่แบคทีเรียประเภท Methanogen Bacteria นั้นทำการย่อยสลายพวกกรดอะซิติกแล้วทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นก๊าซออกมา อันได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตามสมการดังต่อไปนี้

จากกรดอะซิติก $CH_3COOH \longrightarrow CH_3 + CO_2$

ในส่วนของ $CH_3 \xrightarrow{H_2O} CH_4 + OH$

และ $CO_2 \xrightarrow{4H_2} CH_4+2H_2O$

2.2.5 ปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการหมักแบบไร้อากาศ

1. อุณหภูมิ (Temperature) จุลินทรีย์จะสามารถทำงานได้อยู่ในช่วงอุณหภูมิ 0-55 °C ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงอุณหภูมิบรรยากาศ 20-25°C ช่วงอุณหภูมิปานกลาง (Mesospheric Temperature) 35-40°C และช่วงอุณหภูมิสูง (Thermophilic Temperature) 50-60°C ซึ่งจุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน

2. ค่า pH เป็นสิ่งที่ใช้บ่งชี้ความเป็นกรดเบสภายในถังหมักไร้อากาศอย่างไรก็ตาม ค่า pH ภายในถังหมักเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆในขณะที่กรดอินทรีย์ระเหยเพิ่มขึ้น ดังนั้นการปรับค่า pH เพื่อแก้ไขสภาวะในถังอาจไม่ทันการเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของสารอินทรีย์ระเหย แต่อย่างไรก็ตามค่า pH ยังเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมระบบการหมักแบบไร้อากาศ pH ที่สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้อยู่ในช่วง 6.0-8.5 ซึ่งในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพจะประกอบด้วยจุลินทรีย์หลายชนิด แต่ละชนิดมีช่วง pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตต่างกัน pH ที่เหมาะสมกับแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทนอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 ถ้าต่ำกว่าหรือสูงกว่านี้ ประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพจะลดลงอย่างรวดเร็ว และ pH ที่ต่ำกว่า 5 จะเป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย การควบคุม pH สามารถกระทำได้โดยการควบคุมปริมาณของกรด และ/หรือควบคุมสภาพความเป็นด่าง

3. อาหารเสริม (Nutrients) แบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศก็มีความต้องการสารอาหารจำพวกไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และอื่นๆ ที่ช่วยในการเจริญเติบโต ดังนั้นการควบคุมสภาวะให้เหมาะสมจึงต้องใส่อาหารเสริมให้เพียงพอแก่ความต้องการเพราะของเสียที่เข้าสู่ระบบนั้นมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไป โดยของเสียเป็นมูลที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงสัตว์และจากชุมชนจะมี

สารประกอบที่ต้องการนี้อยู่ในปริมาณที่เพียงพออยู่แล้วแต่ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือขยะชุมชนในบางครั้งไม่มี จึงจำเป็นต้องเติมลงไปให้เพียงพอ

4. การกวนผสม (Mixing) จะช่วยในการกระจายความร้อนให้เท่ากันตลอดทั้งถังปฏิกรณ์ ช่วยในการกระจายจุลินทรีย์และสารอาหารเพื่อให้เกิดการสัมผัสและย่อยสลายได้อย่างทั่วถึง ช่วยทำให้กากสกปรกที่ลอยบนน้ำเสีย (Scum layer) แตกตัวและป้องกันการตกตะกอน ซึ่งการเพิ่มการกวนผสมจะช่วยให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น

5. Bulking agent คือสารตัวเติมซึ่งมีหน้าที่เพิ่มความพรุนให้กับสารตั้งต้น (ในการทดลองนี้สารตั้งต้น คือ เปลือกกล้วย) ในระบบบำบัดของเสียที่เป็นกึ่งของแข็ง Bulking Agent จะช่วยให้น้ำซึมผ่านได้ง่ายขึ้น เพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างจุลินทรีย์และของเสีย และจะเป็นการป้องกันการจับตัวกันแน่นของของเสียด้วย

เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิดที่เจริญเติบโตร่วมกันดังนั้นจึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ดำเนินไปได้อย่างดีกระบวนการหมักแบบไร้อากาศมีปัจจัยต่างๆเข้ามาเกี่ยวข้องหลายอย่างที่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากหรือน้อยปัจจัยต่างๆสามารถจำแนกออกเป็นปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อมและปัจจัยในการดำเนินระบบ

2.2.6 ภาชนะความดันผนังบาง (Thin-walled Pressure Vessels)

ภาชนะความดันผนังบาง คือ ภาชนะความดันที่มีอัตราส่วนของความหนาของผนังกับรัศมีภายในของภาชนะ (t/r) มีค่าน้อยกว่า 0.1 เมื่อเป็นภาชนะความดันผนังบาง จะทำการสมมติให้ความเค้นกระจายอย่างสม่ำเสมอหรือคงที่ตลอดความหนา t

จากสูตรการหาความเค้นในแนวรัศมีของภาชนะความดันผนังบาง

$$\sigma = \frac{Pr}{2t} \tag{2.3}$$

จากสูตรการหาความเค้นในแนวแกนของภาชนะความดันผนังบาง

$$\sigma = \frac{Pr}{t} \tag{2.4}$$

กำหนดให้

P = ความดันการออกแบบภายใน (MPa)

σ = ค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (MPa)

t = ความหนาของผนังถังความดันน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (m)

r = รัศมีภายในของถังความดัน (m)

2.2.7 กฎของดาลตัน (Dalton's Law)

ความกดดันของก๊าซผสม ย่อมเท่ากับผลรวมของความกดดันของก๊าซแต่ละอย่างที่เป็นส่วนประกอบของก๊าซผสมนั้น แสดงสมการดังนี้

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

เมื่อ

P_T = ความกดดันของก๊าซผสม (kPa)

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

จากกฎของดาลตันจะแสดงการคำนวณความดันของก๊าซย่อยแต่ละชนิดได้

จากสูตร

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

กำหนดให้

P = ความดันย่อยของก๊าซแต่ละชนิด (kPa)

V = ปริมาตรก๊าซแต่ละชนิด (m^3)

n = จำนวนโมลของก๊าซ

R_u = ค่าคงที่ของก๊าซในอุดมคติ (8.314 KJ/(kg.K))

T = อุณหภูมิของก๊าซ (K)

2.2.8 องค์ประกอบต่างๆของเปลือกกล้วย

จากตาราง 2.1 ได้แสดงถึงองค์ประกอบและร้อยละขององค์ประกอบของเปลือกกล้วย ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ได้ถึงส่วนที่จะใช้เป็นอาหารของแบคทีเรียเพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีและกายภาพของเปลือกกล้วย

องค์ประกอบทางเคมี	
ปริมาณกากรวม %	4.35
ปริมาณไขมันรวม %	0.34
ปริมาณโปรตีนรวม %	1.49
ปริมาณคาร์โบไฮเดรต %	15.63
คาร์บอน %	2.88
ฟอสฟอรัส %	0.19
โพแทสเซียม %	0.97
องค์ประกอบทางกายภาพ	
ปริมาณความชื้น %	75.3
ปริมาณเถ้า %	2.61
ปริมาณของแข็งรวม %	25.84
ปริมาณของแข็งไม่ละลายน้ำ %	18.56
ปริมาณของแข็งละลายน้ำ %	7.45
ปริมาณสารระเหยง่าย %	18.93
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	6.25
การวิเคราะห์โดยเครื่อง CHNS	
C % ในน้ำหนักสด	3.98
H % ในน้ำหนักสด	0.52
N % ในน้ำหนักสด	0.18
S % ในน้ำหนักสด	0.06
C/N	19.98

2.2.9 ส่วนประกอบของก๊าซชีวภาพ

จากตาราง 2.2 ได้แสดงถึงองค์ประกอบและอัตราส่วนร้อยละโดยโมลของก๊าซต่างๆที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพ

ตาราง 2.2 องค์ประกอบประกอบของก๊าซชีวภาพ

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

2.2.10 ลักษณะของเปลือกกล้วย

จากตารางที่ 2.3 ได้แสดงถึงลักษณะของเปลือกกล้วยที่ใช้ในการทดลองการหมักก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วยของ Deepak Somayaji และคณะ (1996) ดังนี้

ตารางที่ 2.3 Characteristic of banana peel

	Banana peel
Total solids	10.68
Volatile solids	86.65
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

2.2.11 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการหมักเปลือกกล้วย

Deepak Somayaji และคณะ (1996) ได้ทำการทดลองผลิตก๊าซชีวภาพจากเปลือกกล้วยโดย ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2.4 ดังนี้

ตารางที่ 2.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

	25 days HRT	40 days HRT
Biogas (ml/day)	1210	875
Yield (l/kg TS)	188	219
Methane (%)	55	57
Specific rate	0.76	0.55
Degradation (%)		
Total solids	36	28
Volatile solids	41	31
Total carbohydrates	65	62
Cellulose	50	40
Hemicellulose	63	52

บทที่ 3

การออกแบบและการดำเนินงาน

ในเนื้อหาที่จะกล่าวต่อไปนี้ เป็นขั้นตอนของการออกแบบและการดำเนินงานในการทำการทดลองนี้ โดยได้ทำการอธิบายถึงวิธีการออกแบบ เลือกใช้วัสดุที่จะทำถังหมักและอุปกรณ์อื่นๆ ที่นำมาประกอบเข้าด้วยกัน อีกทั้งได้อธิบายถึงกระบวนการในการทดลองและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังต่อไปนี้

3.1 การออกแบบถังหมัก

3.1.1 การคำนวณหาความดันที่ถังสามารถทนได้

ในการที่จะเริ่มการหมักเปลือกกล้วยเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพนั้นจะต้องคำนวณหาขนาดของความดันของถังหมักเสียก่อนเพื่อให้สามารถทนต่อความดันของก๊าซที่เกิดขึ้นได้โดยพิจารณาสูตรสำหรับความเค้นทั้งในทิศแนวรัศมีและในแนวตามแกน ดังต่อไปนี้

จากสูตรการหาความเค้นในแนวรัศมีของภาชนะความดันผนังบาง

$$\sigma = \frac{Pr}{2t} \tag{3.1}$$

จัดรูปใหม่จะได้ความสัมพันธ์สำหรับความดันเป็น

$$P = \frac{2t\sigma}{r} \tag{3.2}$$

กำหนดให้

P = ความดันการออกแบบภายใน (MPa)

σ = ค่าความเค้นสูงสุดที่ยอมรับได้ (MPa)

t = ความหนาของผนังถังความดันน้อยที่สุดที่ยอมรับได้ (m)

r = รัศมีภายในของถังความดัน (m)

เราเลือกถังหมักที่ทำจากพลาสติกโพลิเอทิลีนเรซิน เนื่องจากสามารถทนต่อสภาพความเป็นกรดของกรดอะซิติกที่จะเกิดขึ้นได้ โดยที่ถังมีคุณสมบัติดังนี้

$\sigma = 60\ \text{MPa}$

$t = 3\ \text{mm}$

$r = 254.5\ \text{mm}$

เมื่อแทนค่าลงไปในสมการ (3.2) จะได้เป็น

$$P = \frac{2(3x10^{-3})(60x10^{6})}{254.5x10^{-3}} = 1.41\ \text{MPa} = 14.1\ \text{bar}$$

และจากสูตรการหาความเค้นในแนวตามแกนของภาชนะความดันผนังบาง

$$\sigma = \frac{Pr}{t} \tag{3.3}$$

จัดรูปใหม่จะได้ความสัมพันธ์สำหรับความดันเป็น

$$P = \frac{\sigma t}{r} \tag{3.4}$$

เมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (3.4) จะได้ความดันเป็น

$$P = \frac{(3x10^{-3})(60x10^{6})}{254.5x10^{-3}} = 0.7\ \text{MPa} = 7\ \text{bar}$$

จากการคำนวณจะได้ความเค้นในแนวรัศมีของภาชนะมีค่าเท่ากับ 14.1 bar และความเค้นในแนวตามแกนของภาชนะมีค่าเท่ากับ 7 bar

ดังนั้นเพื่อความปลอดภัย จึงเลือกใช้ที่ความเค้นเท่ากับ 7 bar เพราะ หากใช้ที่ความดัน 14.1 bar จะเกิดความเสียหายตามแนวแกนของภาชนะ

3.1.2 การคำนวณหาปริมาณเปลือกกล้วยที่ใช้ในการหมัก

จาก $$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.5)$$

ρ คือ ความหนาแน่นของเปลือกกล้วยมีค่าเท่ากับ 1.14 g/cm^3 (จากทฤษฎีของ Pat Kendall (1988))

m คือ มวลรวมของเปลือกกล้วย (kg)

V คือ ปริมาตรของถังที่ต้องการทำการหมักมีค่าเท่ากับ 70 ลิตร = 70,000 cm^3

จัดรูปใหม่จะได้ความสัมพันธ์สำหรับมวลเปลือกกล้วยเป็น

$$m = \rho V \quad (3.6)$$

เมื่อแทนค่าต่างๆ ลงไปในสมการที่ (3.6) จะได้

ดังนั้น

$$m = (1.14)(70,000)$$

จะได้ มวลของเปลือกกล้วย $m = 79,800\ g = 79.8\ kg$

เพราะฉะนั้นจะต้องใช้เปลือกกล้วยทั้งสิ้น 79.8 kg หรือประมาณ 80 kg

3.1.3 การคำนวณหาความดันที่เกิดขึ้น

จากหัวข้อที่แล้ว เราสามารถคำนวณหาปริมาณของเปลือกกล้วยที่จะใช้ในการหมักได้เป็น 80 kg สำหรับหัวข้อนี้เราจึงคำนวณหาความดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักโดยสมมติให้ก๊าซชีวภาพมีพฤติกรรมเป็นไปตามกฎของก๊าซในอุดมคติ

จากคุณสมบัติของเปลือกกล้วยในตารางที่ 2.3

Total Solid ที่ใช้จะมีค่า 10.68 % ของน้ำหนักกล้วยทั้งหมดที่ใช้ในการหมัก

Volatile Solid ที่ใช้จะมีค่า 86.65 % ของน้ำหนัก Total Solid ที่ใช้ในการหมัก

ใช้เปลือกกล้วยในการหมัก 75 kg

ดังนั้น

จะได้ Total Solid ที่ใช้ในการทดลอง $\frac{(75)(10.68)}{100} = 8.01$ kg

จะได้ Volatile Solid ที่ใช้ในการทดลอง $\frac{(86.65)(8.01)}{100} = 6.94$ kg

เพราะฉะนั้น Volatile Solid ที่ใช้จะมีค่า 6.94 kg

จากตารางที่ 2.4 เลือกปริมาตรก๊าซที่จุด Yield มีค่าเท่ากับ 188 l/kg TS

ดังนั้น

Total Solid 8.01 kg จะผลิตก๊าซได้ (188)(8.01) = 1,505 ลิตร หรือ 1.505 m^3

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากเปลือกกล้วย 75 kg

จากสูตร

$$PV = nR_uT$$

เมื่อ

P = ความดันที่เกิดขึ้นจากการหมัก (Pa)

V = ปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมัก (m^3)

m = มวลก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมัก (kg)

R = ค่าคงที่ของก๊าซชีวภาพ = $\frac{R_u}{MW} = \frac{8,314}{28.34} = 293.66$ J/ (kg.K)

T = อุณหภูมิภายในถังหมัก = 273 + 30 = 303 K

แทนค่า

$$P = \frac{(6.94)(293.66)(303)}{(1.505)}$$

P = 410,308.30 Pa = 410.31 kPa

เพราะฉะนั้นความดันก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังหมักมีปริมาณ 410.31 kPa

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 วิธีการดำเนินงานโดยภาพรวม

รูปที่ 3.1 เป็น Flow Chart แสดงขั้นตอนการดำเนินงานการหมักเปลือกกล้วย เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพโดยเริ่มจากนำเปลือกกล้วยมาสับให้เป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปตากแดดเป็นเวลา 2 วันเพื่อลดปริมาณน้ำในเปลือกกล้วยเพราะหากมีน้ำในเปลือกกล้วยมากเกินไปจะส่งผลให้ปริมาณน้ำตาลภายในเปลือกกล้วยเจือจางทำให้ก๊าซชีวภาพไม่สามารถเกิดได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ จากนั้นจึงทำการหมักตัวเร่งปฏิกิริยา (Inoculums) โดยการนำมูลวัวผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 เป็นเวลา 2 วัน แล้วจึงนำเปลือกกล้วยที่ทำการตากแดดทิ้งไว้ผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาภายในถังหมักและทำการบันทึกผลเป็นเวลา 30 วัน

รูปที่ 3.1 แผนผังการทำการทดลอง

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1567827

ในการทดลองนี้ได้ใช้ถังขนาด 100 ลิตร เป็นถังที่ใช้ทำการหมักโดยได้ใช้เวลาในการหมักทั้งหมดเป็นเวลา 30 วันโดยได้เริ่มทำการหมักตั้งแต่วันที่ 2 กุมภาพันธ์ 2553-3 มีนาคม 2553 โดยทำการสังเกตและทำการบันทึกถึงลักษณะทางกายภาพและความดันของก๊าซที่ปล่อยออกมาภายในถังหมักนี้

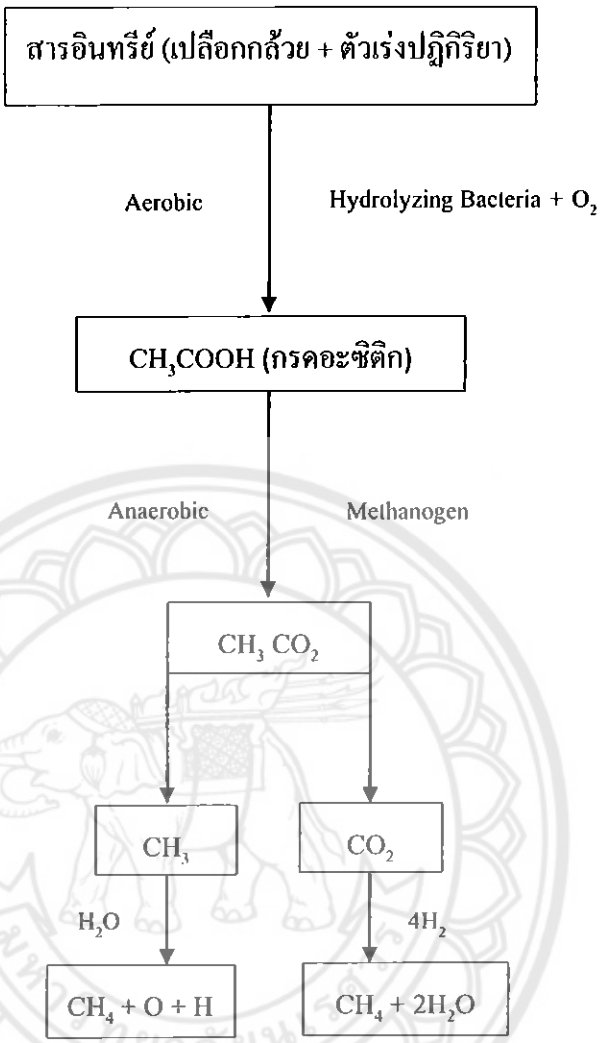
ปร.
ช826ก
2552
ค.2

สิ่งสำคัญที่สุดในการทดลอง คือ อัตราส่วนของเปลือกกล้วยต่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาและการปิดผนึกถังซึ่งหากถังเกิดการรั่วซึมออกมาจะทำให้มีอากาศเข้าไปแทนที่ ซึ่งจะส่งผลให้แบคทีเรียไม่สามารถที่จะผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างเต็มที่ และก๊าซที่เกิดออกมาก็จะรั่วซึมออกทำให้เกิดกลิ่นและปัจจัยเสี่ยงในการเกิดอันตรายจากประกายไฟ

3.2.2 กระบวนการทางเคมีในการเกิดก๊าซชีวภาพภายในถังหมัก

รูปที่ 3.2 เป็น Flow Chart แสดงถึงปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในแต่ละกระบวนการของการหมัก โดยแบ่งออกเป็นสองกระบวนการ ดังนี้

1. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (เปลือกกล้วย + ตัวเร่งปฏิกิริยา) จะเกิดขึ้นกับระบบที่มีออกซิเจน (Aerobic) ซึ่งแบคทีเรียประเภท Hydrolyzing Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนในการหายใจ ทำการย่อยสลายสารองค์ประกอบคาร์บอนและน้ำตาลของเปลือกกล้วยแล้วได้ผลิตภัณฑ์จำพวกกรดซิติก
2. กระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ เป็นกระบวนการต่อเนื่องมาจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งปฏิกิริยานี้เกิดภายในสภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic) โดยแบคทีเรียประเภท (Methanogen) จะทำการผลิตก๊าซมีเทนจากกรดอะซิติกที่ได้จากกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะทำปฏิกิริยากับก๊าซต่างๆที่มีอยู่ในระบบนั้นๆเกิดเป็นก๊าซต่างๆภายในถังหมัก



รูปที่ 3.2 แผนผังปฏิกิริยาทางเคมีในการเกิดก๊าซชีวภาพ

จากแผนภาพการเกิดก๊าซชีวภาพ เมื่อทำการวิเคราะห์จากปฏิกิริยาทางด้านบนจะเห็นว่า จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 อย่าง คือ Aerobic (การที่ภายในระบบมีออกซิเจน) และ Anaerobic (ภายในระบบนั้นไม่มีออกซิเจน) ซึ่งการที่เป็นเช่นนั้นเพราะ Hydrolyzing Bacteria ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ทำการสลายสารอินทรีย์ทางองค์ประกอบคาร์บอนแล้วได้ผลิตภัณฑ์ออกมาเป็นกรดอะซิติก (CH_3COOH) ซึ่งเป็นอาหารให้กับแบคทีเรียชนิด Methanogen Bacteria เพื่อที่จะผลิตออกมาให้ได้เป็นก๊าซชีวภาพ โดยก๊าซชีวภาพที่ได้นั้นมีส่วนประกอบของก๊าซต่างๆ ดังนี้ CH_4 60-70% , CO_2 30-40% , $H_2S < 1\%$

3.2.3 การทดลองหาอัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา (Inoculums)

ตัวเร่งปฏิกิริยา (Inoculums) คือ สารที่จะทำให้ปฏิกิริยานั้นเกิดได้เร็วขึ้น โดยหลักการคือการที่หมักเชื้อแบคทีเรียที่ทำให้เกิดการย่อยสลายและแบคทีเรียที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพในหัวเชื้อหรืออาหารที่แบคทีเรียนั้นๆต้องการ เมื่อแบคทีเรียนั้นมีปัจจัยทางอาหาร พื้นที่ และอากาศ (บางชนิด) ที่เหมาะสมจะทำให้แบคทีเรียนั้นมีการเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็ว เมื่อนำตัวเร่งปฏิกิริยานั้นมาใส่กับสารที่เราต้องการทำการหมักจึงทำให้ได้ประสิทธิภาพการหมักที่ดีขึ้น

ในการทดลองนี้ได้มีการทำตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้มูลวัวผสมกับน้ำและนำมาหมักทิ้งไว้ โดยได้ทำการหมักในอัตราส่วนต่างๆกันดังนี้

ภาชนะที่ใช้ทำการหมักเป็นจำนวน 1 ลิตรเท่ากัน โดยได้ผลดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา

ขวดที่	อัตรามูลวัวต่อน้ำ โดยน้ำหนัก	ระยะเวลาหมักจนกระทั่งเกิดก๊าซ (วัน)
1	1 : 1	2
2	2 : 1	5
3	1 : 2	4

ในการทดลองทำการหมักหาตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งได้ทำการทดลองทั้งหมด 3 อัตราส่วนเพื่อหาว่าอัตราส่วนใดสามารถผลิตก๊าซได้เร็วกว่าจากผลการทดลองทำให้ทราบได้ว่าการหมักที่ดีที่สุดอยู่ที่อัตราส่วน 1:1 ซึ่งใช้เวลาเพียง 2 วันก็สามารถผลิตก๊าซชีวภาพออกมาได้

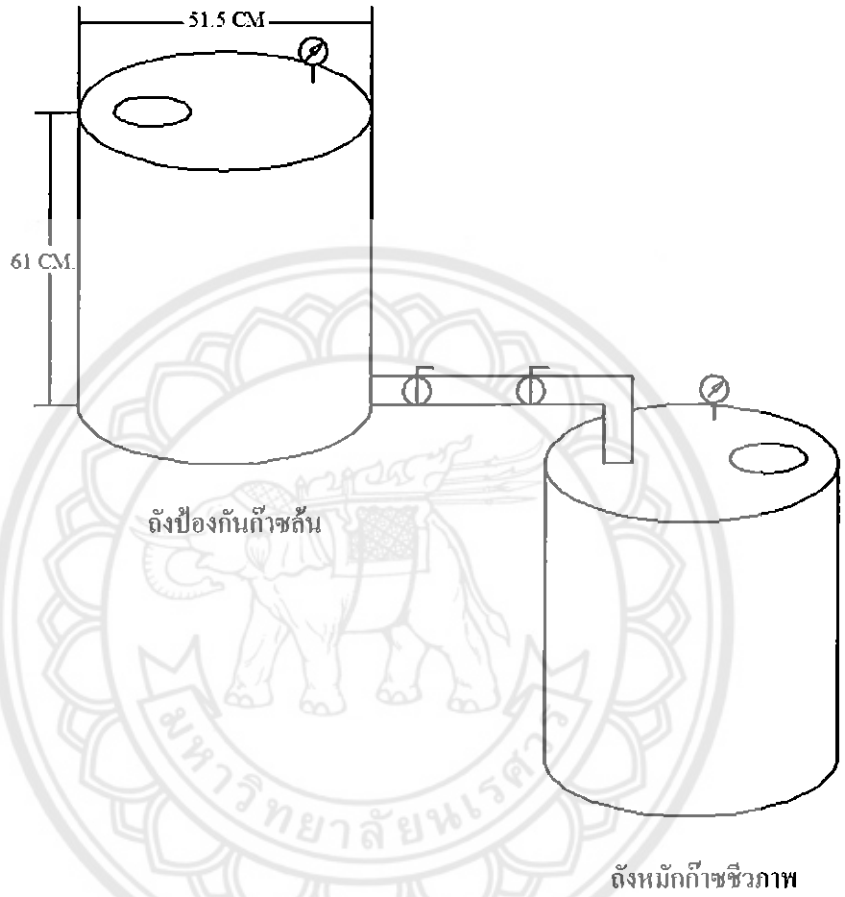
3.2.4 การทดลองหมักเปลือกกล้วยในภาชนะขนาด 1.5 ลิตร

จากการทดลองหมักเปลือกกล้วยทางคณะผู้จัดทำต้องการทำการทดลองเพิ่มเติม โดยได้ทำการลดพื้นที่ของการหมักลงเพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ถึงผลต่างของความดันที่เกิดขึ้นภายในถังหมักที่เกิดขึ้น ซึ่งการทดลองนี้มีทฤษฎีพื้นฐานมาจากสูตร P = F/A ซึ่งหากการหมักภายในพื้นที่ที่ทำการลดขนาดลงนั้นมีค่าความดันที่มากกว่า จะสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มความดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการลดขนาดพื้นที่การหมักลงจาก 100 ลิตรเหลือ 1.5 ลิตร โดยสารที่ใช้ทำการหมักเป็นอัตราส่วนเดียวกันกับถังหมักขนาด 100 ลิตรและทำการหมักและบันทึกค่าเป็นเวลา 30 วันเท่ากันซึ่งผลการทดลองได้ทำการบันทึกไว้ในบทต่อไป

3.2.5 การทดลอง

จากรูป 3.3 แสดงถึงถังหมักใช้ในการทดลอง โดยแบ่งออกเป็นสองถัง คือ ถังหมักก๊าซชีวภาพและถังป้องกันก๊าซล้น ซึ่งภายในถังหมักก๊าซชีวภาพนั้นได้ใส่สารตั้งต้นและน้ำเพื่อทำการผลิตก๊าซชีวภาพภายในถังหมัก โดยถังที่นำมาใช้ทำจากโพลีเอททิลีนเพื่อป้องกันปัญหาการกัดกร่อนอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตกรดอะซิติกที่เกิดขึ้นภายในถัง และได้ทำการคำนวณหาความสามารถที่ถังทนต่อแรงดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นได้ จากนั้นได้ทำการติดเกจวัดความดันเพื่อทำการวัดค่าความดันของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และถังป้องกันก๊าซล้นได้ทำการเชื่อมต่อกับถังหมักก๊าซชีวภาพด้วยท่อพลาสติกและติดวาล์วเพื่อป้องกันการถ่ายเทของอากาศภายในถังทั้งสอง โดยถังป้องกันก๊าซล้นนี้มีหน้าที่ช่วยเป็นตัวถ่ายเทก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากถังหมักและนำมาเก็บไว้ภายในถัง โดยที่ถังป้องกันก๊าซล้นนี้สามารถถอดออกเพื่อนำก๊าซภายในถังไปใช้ได้



รูปที่ 3.3 ถังหมักที่ใช้ในการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดสอบและการวิเคราะห์

จากการดำเนินงานในบทที่ 3 ซึ่งเราได้ทำการออกแบบและสร้างระบบถังหมักก๊าซชีวภาพ จากการออกแบบเราสามารถจัดหาถังที่สามารถตอบสนองต่อปัจจัยต่างๆได้ เช่น ถังที่ทำจากวัสดุที่ไม่เกิดปฏิกิริยากับสารที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการหมัก การทนต่อแรงดันที่เกิดขึ้น และค่าของความปลอดภัย อีกทั้งส่วนประกอบอื่นๆของถังเช่น เกจวัดความดัน เป็นต้น ก็ได้เลือกให้เหมาะสมกับค่าความดันของก๊าซที่เกิดขึ้นเช่นกัน นอกจากนี้ยังมีการหาอัตราส่วนของเปลือกกล้วยที่ทำการหมัก อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยา และอัตราส่วนของของแข็งกับน้ำในการหมัก

4.1 ลักษณะทางกายภาพและความดันภายในถังหมัก

ตารางที่ 4.1 แสดงความดันของก๊าซที่เกิดขึ้นและลักษณะทางกายภาพที่สังเกตได้ในถังหมักขนาด 100 ลิตร ซึ่งมีอัตราส่วนของสารตั้งต้นกับน้ำเท่ากับ 7:3 พบว่าในวันที่ 1-3 ยังไม่มีปฏิกิริยาใดเกิดขึ้นในวันที่ 4-5 เริ่มมีฟองก๊าซเกิดขึ้นมาจากก้นถังเล็กน้อยอาจเป็นเพราะเริ่มมีกระบวนการผลิตก๊าซของแบคทีเรียประเภท Methanogen แต่กระบวนการที่เกิดขึ้นในระยะนี้ส่วนมากจะเป็นกระบวนการผลิตกรดอะซิติกจากแบคทีเรีย Hydrolyzing ในวันที่ 6-12 เกิดฟองก๊าซเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด มีการสะสมของก๊าซในระหว่างชั้นผิวของสารตั้งต้นที่ทำการหมัก และมีฟองก๊าซเกิดขึ้นมาเรื่อยๆ เพราะภายในถังหมักมีการสะสมของกรดอะซิติกอยู่มากจึงทำให้กระบวนการผลิตก๊าซจากแบคทีเรีย Methanogen เกิดขึ้นมากตามลำดับ ในวันที่ 13 เกจวัดความดันสามารถวัดความดันได้ที่ 1 kPa ก๊าซที่สะสมอยู่ระหว่างผิวของสารตั้งต้นที่ทำการหมักมีปริมาณลดลงเล็กน้อย วันที่ 14-19 ปริมาณก๊าซที่สะสมอยู่ระหว่างผิวของเปลือกกล้วยที่ทำการหมักมีปริมาณลดลงเล็กน้อยแต่ลดลงอย่างต่อเนื่องเป็นเพราะก๊าซที่สะสมอยู่มีการลอยตัวขึ้นสู่ด้านบนของถังหมักวันที่ 20-21 เกจวัดความดันมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งอ่านได้ 1.5 kPa และมีฟองก๊าซเกิดขึ้นมา วันที่ 22-30 เกจวัดความดันวัดค่าได้ 2 kPa ปริมาณก๊าซที่สะสมอยู่ที่ระหว่างสารตั้งต้น มีค่าลดลงเล็กน้อยและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงอีก เพราะ น้ำตาลกลูโคสในสารตั้งต้นมีปริมาณลดลง ทำให้แบคทีเรียชะลอการผลิตก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการหมักเปลือกกล้วยภายในถังขนาด 100 ลิตร

วันที่ของการหมัก	ความดัน (kPa)	ลักษณะทางกายภาพ
1	0	ไม่มีปฏิกิริยาใดเกิดขึ้น
2	0	ไม่มีปฏิกิริยาใดเกิดขึ้น
3	0	ไม่มีปฏิกิริยาใดเกิดขึ้น
4	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเล็กน้อย
5	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเล็กน้อย
6	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
7	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
8	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
9	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
10	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
11	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
12	0	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
13	1	ปริมาณฟองอากาศลดลง
14	1	ไม่เกิดความแตกต่าง
15	1	ไม่เกิดความแตกต่าง
16	1	ไม่เกิดความแตกต่าง
17	1	ไม่เกิดความแตกต่าง
18	1	ไม่เกิดความแตกต่าง
19	1	ไม่เกิดความแตกต่าง
20	1.5	เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น
21	1.5	เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น
22	2	ปริมาณฟองอากาศลดลง
23	2	ปริมาณฟองอากาศลดลง
24	2	ไม่เกิดความแตกต่าง

25	2	ไม่เกิดความแตกต่าง
26	2	ไม่เกิดความแตกต่าง
27	2	ไม่เกิดความแตกต่าง
28	2	ไม่เกิดความแตกต่าง
29	2	ไม่เกิดความแตกต่าง
30	2	ไม่เกิดความแตกต่าง

ต่อไปนี้เป็นน้ำหนักของก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังขนาด 100 ลิตร

$$MW_{mix} = X_{CH_4} MW_{CH_4} + X_{CO_2} MW_{CO_2} + X_{H_2S} MW_{H_2S} + X_{N_2} MW_{N_2} \qquad (4.1)$$

เนื่องจากมวลโมเลกุลของก๊าซต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในถังหมักเป็น

$MW_{CH_4} = 16$ kg/kmol

$MW_{CO_2} = 44$ kg/kmol

$MW_{H_2S} = 34$ kg/kmol

$MW_{N_2} = 28$ kg/kmol

อัตราส่วนโดยโมลที่ปริมาตร 30 ลิตร (บริเวณที่มีก๊าซชีวภาพสะสมอยู่)

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

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

N_2 มีค่า 1 % โดยโมลคิดเป็นสัดส่วนโมล $X_{H_2S} = 0.01$

H_2S มีค่า 1 % โดยโมลคิดเป็นสัดส่วนโมล $X_{N_2} = 0.01$

นำไปแทนค่าในสมการ (4.1) จะได้มวลโมเลกุลของก๊าซชีวภาพซึ่งเป็นก๊าซผสมเป็น

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

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

เพราะฉะนั้น MW ของก๊าซชีวภาพมีค่าเท่ากับ 28.34 kg/kmol

จากสูตร

$$PV = mRT \tag{4.2}$$

จัดรูปสมการได้เป็น

$$m = \frac{PV}{RT} \tag{4.3}$$

เมื่อ

P = ความดันของก๊าซภายในถังหมัก = 2,000 Pa (gage) = 103,325 Pa (abs.)

V = ปริมาณของก๊าซในถังหมัก = 30 ลิตร = 0.03 m^3

R = ค่าคงที่ของก๊าซชีวภาพ = $\frac{R_u}{MW} = \frac{8,314}{28.34}$ = 293.36 J/(kg.K)

T = อุณหภูมิภายในถังหมัก = 273 + 30 = 303 K

เมื่อนำไปแทนค่าในสมการ (4.3) จะได้ว่า

$$m = \frac{(103,325)(0.03)}{(293.36)(303)} = 0.0349 \text{ kg}$$

หรือ $m = 34.9$ g

เพราะฉะนั้นปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังหมักมีปริมาณ 34.9 g

4.2 ลักษณะทางกายภาพและความดันภายในถังขนาด 1.5 ลิตร

จากการหมักถังขนาด 100 ลิตรพบว่า ความดันของก๊าซชีวภาพภายในถังขนาด 100 ลิตรนั้นมีค่าต่ำมากและเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ โดยที่การหมักกระทำขึ้นในปริมาตร 70 ลิตร เนื่องจากวัตถุดิบ (เปลือกกล้วย) ที่ได้มามีจำนวนจำกัด ทำให้เหลือพื้นที่ว่างขนาด 30 ลิตร ซึ่งพื้นที่ว่างนี้อาจเป็นเหตุทำให้ความดันนั้นมีค่าน้อย เนื่องจากความดันคือแรงดันต่อพื้นที่ ดังนั้นหากลดพื้นที่ของภาชนะก็จะทำให้แรงดันมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นเราจึงทำการหมักในภาชนะที่มีขนาดเล็กลงมาเป็น 1.5 ลิตร โดยใช้อัตราส่วน ของแข็ง : น้ำ เท่ากับการหมักในถังขนาด 100 ลิตร จากตารางที่ 4.2 พบว่าความดันเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วและมีค่าความดันสูงโดยในวันที่ 2 ของการหมักสามารถเห็นฟองก๊าซเกิดขึ้นมาจากก้นขวดเป็น เพราะเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์เพื่อผลิตกรดอะซิติก

และมีกระบวนการผลิตก๊าซเกิดขึ้นเล็กน้อย วันที่ 6-13 ความดันภายในภาชนะพลาสติกเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีฟองก๊าซปุดขึ้นมาเป็นจำนวนมากอย่างเห็นได้ชัด วันที่ 14-19 ปริมาณฟองก๊าซที่พบไม่มีความเปลี่ยนแปลงมากนักแต่ความดันยังเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง วันที่ 20-25 เกิดฟองก๊าซเพิ่มขึ้นอย่างมากและวันที่ 26 นั้นความดันมีค่ามากที่สุดคือ 12.5 kPa วันที่ 27-30 ปริมาณฟองก๊าซไม่มีความแตกต่างและความดันที่วัดได้จากเกจวัดความดันมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก น้ำตาลที่ทีอยู่ในสารตั้งต้นซึ่งเป็นอาหารของแบคทีเรียนั้นเริ่มหมดลง

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการหมักเปลือกกล้วยภายในถังขนาด 1.5 ลิตร

วันที่ของการหมัก	**ความดัน (kPa)**	**ลักษณะทางกายภาพ**
1	0	ไม่มีปฏิกิริยาใดเกิดขึ้น
2	1	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเล็กน้อย
3	1	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเล็กน้อย
4	2.5	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเล็กน้อย
5	3	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเล็กน้อย
6	3	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
7	4.5	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
8	6	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
9	6.5	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
10	7.5	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
11	8	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
12	8	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
13	8.5	เกิดฟองอากาศขึ้นภายในถังหมักเพิ่มขึ้นมาก
14	8.5	ฟองอากาศภายในถังหมักเพิ่มขึ้นเล็กน้อย
15	9	ไม่เกิดความแตกต่าง
16	9	ไม่เกิดความแตกต่าง

17	9	ไม่เกิดความแตกต่าง
18	10	ไม่เกิดความแตกต่าง
19	10.5	ไม่เกิดความแตกต่าง
20	10.5	เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น
21	11	เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น
22	11	เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น
23	11.5	เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น
24	11.5	เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น
25	12	เกิดฟองอากาศเพิ่มมากขึ้น
26	12.5	ไม่เกิดความแตกต่าง
27	10	ไม่เกิดความแตกต่าง
28	8	ไม่เกิดความแตกต่าง
29	5.5	ไม่เกิดความแตกต่าง
30	5.5	ไม่เกิดความแตกต่าง

ต่อไปนี้เป็นน้ำหนักของก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังขนาด 1.5 ลิตร

กำหนดให้ MW_{mix} = 23.26 kg/kmol เพราะเป็นก๊าซชนิดเดียวกันกับถังขนาด 100 ลิตร

จากสมการ (4.2)

$$PV = mRT$$

จัดรูปสมการได้เป็น

$$m = \frac{PV}{RT}$$

เมื่อ

P = ความดันของก๊าซภายในถังหมัก = 12,500 Pa (gage) = 113,825 Pa (abs.)

V = ปริมาณของก๊าซในถังหมัก = 0.45×10^{-3} m^3

$$R = \text{ค่าคงที่ของก๊าซชีวภาพ} = \frac{R_u}{MW} = \frac{8,314}{28.34} = 293.36 \text{ J/(kg.K)}$$

$$T = \text{อุณหภูมิภายในถังหมัก} = 273 + 30 = 303 \text{ K}$$

เมื่อนำไปแทนค่าในสมการ จะได้ว่า

$$m = \frac{(113,825)(0.45 \times 10^{-3})}{(293.36)(303)} = 5.76 \times 10^{-4} \text{ kg}$$

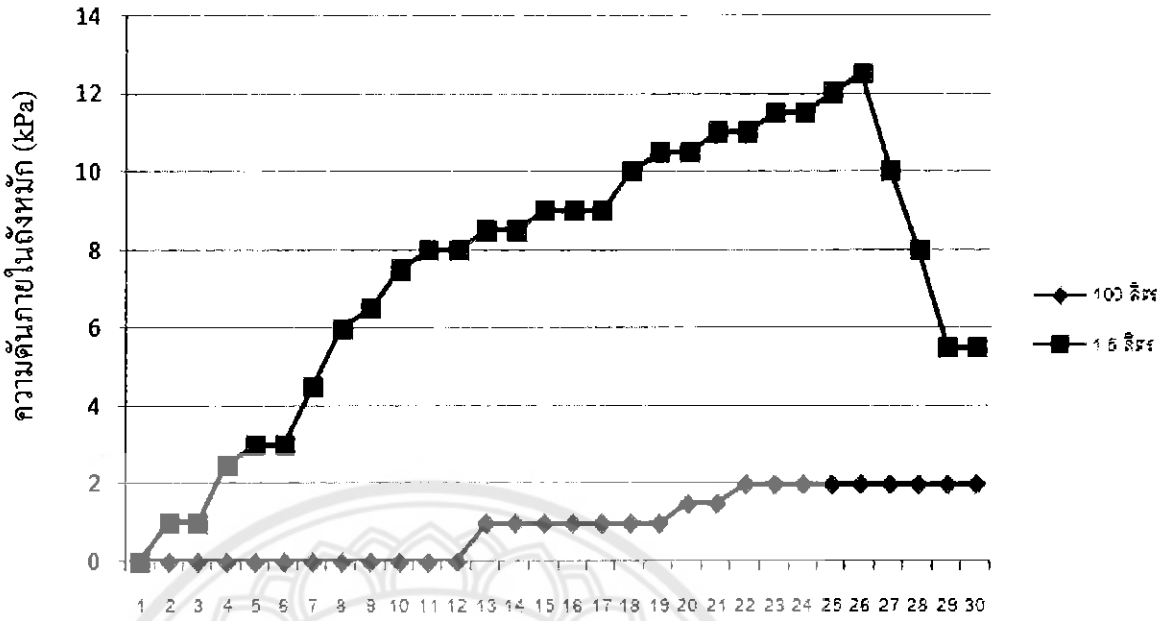
หรือ $m = 0.576$ g

เพราะฉะนั้นปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นภายในถังหมักมีปริมาณ 0.576 g

4.3 เปรียบเทียบการเกิดก๊าซชีวภาพในถังหมักที่มีขนาดแตกต่างกัน

จากรูปที่ 4.1 ได้แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของความดันที่เกิดขึ้นหลังจากที่ได้ทำการลดพื้นที่ว่าง และพื้นที่ของการหมัก โดยที่อัตราส่วนของการหมักมีค่าเท่ากันทั้งสองการทดลอง นั่นคือ อัตราส่วนระหว่างของแข็งและน้ำคือ 7 : 3 และอัตราส่วนการหมักตัวเร่งปฏิกิริยา คือ มูลสัตว์และน้ำเท่ากับ 1:1 ซึ่งอัตราส่วนนี้จะให้ก๊าซชีวภาพได้มากสำหรับการทดลองนี้

จากกราฟเส้นเปรียบเทียบจะเห็นว่าภายในภาชนะขนาด 1.5 ลิตร นั้นมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นขั้นตอนอย่างเห็นได้ชัด และรวดเร็วเมื่อภายในถังหมักนั้นเริ่มเกิดก๊าซชีวภาพขึ้น จะทำการผลิตเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ โดยเฉลี่ยประมาณ 2% ในทุกๆวันเมื่อผลิตได้ถึงจุดๆหนึ่งแล้วการผลิตนั้นก็จะลดลง ต่างกับถังขนาด 100 ลิตรซึ่งจากกราฟนั้นจะเห็นว่า การผลิตก๊าซนั้นมีความคงที่มากกว่าถังขนาดเล็ก โดยปริมาณของก๊าซนั้นได้ผลิตอยู่ที่ความดัน 2 kPa ตลอดเวลาโดยการหมักที่ใช้เวลาเท่ากันนั้นสังเกตได้ว่าในขณะที่ถังขนาดเล็กนั้นมีความดันที่ลดลงไปมากแล้ว แต่ถังขนาดใหญ่ก็ยังมีความดันเท่าเดิมตลอดเพราะฉะนั้นการเลือกใช้ถังหมักนั้น ควรเลือกใช้ถังหมักที่มีพื้นที่หน้าตัดต่อความสูงน้อยๆ เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพที่มีความดันสูงและสามารถผลิตก๊าซได้ในปริมาณมาก



รูปที่ 4.1 การเปรียบเทียบความดันของถังหมักขนาด 100 ลิตรและ 1.5 ลิตร

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการหมักเปลือกกล้วยเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพนั้น จะต้องคำนึงถึงปัจจัยที่สำคัญในการเกิดก๊าซชีวภาพ จากการทดลองพบว่า

1. ในกระบวนการหมักเริ่มจากการหมักมูลวัวกับน้ำเป็นเวลา 3 วัน เพื่อทำตัวเร่งปฏิกิริยา จากนั้นนำตัวเร่งปฏิกิริยาที่ได้ผสมกับเปลือกกล้วยในถังหมักและเติมน้ำเพิ่ม หลังจากนั้นทำการปิดผนึกถังอย่างมิดชิด หลังการปิดผนึกควรมีอากาศอยู่ภายในถังแต่จะต้องไม่เกิดการแลกเปลี่ยนกับอากาศภายนอก เพราะแบคทีเรียที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์จะต้องใช้อากาศในการหายใจ

2. รูปทรงของถังหมักมีผลต่อความดันของก๊าซชีวภาพ จากการทดลองลดขนาดพื้นที่หน้าตัดของถังหมักพบว่า ภาชนะที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็กเมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของถังจะให้ความดันที่สูงกว่าภาชนะที่มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่เมื่อเปรียบเทียบกับความสูงของถัง

3. ในการทดลองนี้ได้ศึกษาตัวเร่งปฏิกิริยา (Inoculums) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดก๊าซชีวภาพโดยได้ทำการทดลองหมักตัวเร่งปฏิกิริยา 3 อัตราส่วน คือ มูลวัวต่อน้ำเท่ากับ 2:1, 1:1 และ 1:2 พบว่าที่อัตราส่วน 1:1 เกิดก๊าซชีวภาพเร็วกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทดลองในอนาคต

1. จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการหมักในพื้นที่ที่มีขนาดเล็กจะทำให้เกิดความดันที่มากกว่าการหมักในพื้นที่ที่มีขนาดใหญ่ ดังนั้นในการหมักเพื่อต้องการก๊าซชีวภาพไปใช้ประโยชน์นั้น ถังสูงที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงของถังน้อยๆ ควรได้รับการพิจารณาเพื่อทดสอบการหมักเปลือกกล้วยต่อไป

2. ในการหมักเพื่อให้เกิดก๊าซชีวภาพนั้นอาจมีข้อจำกัดที่ต้องหมักในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ แต่ในการหมักจริงนั้นภายในถังหมักจะต้องมีอากาศอยู่ที่ประมาณ 10% แต่จะต้องไม่มีการถ่ายเทอากาศจากภายนอก การที่ต้องมีอากาศอยู่ภายในถังหมักนั้นเป็น เพราะว่า แบคทีเรียที่ทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ในขั้นต้นนั้นจำเป็นต้องใช้อากาศในการหายใจ

3. การทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป เช่น

- ในตัวเร่งปฏิกิริยา (Inoculums) อัตราส่วนระหว่างมูลวัวกับน้ำ
- ในสารตั้งต้น อัตราส่วนระหว่างตัวเร่งปฏิกิริยา (Inoculums) กับเปลือกกล้วย
- อัตราส่วนสารตั้งต้นและน้ำก่อนทำการหมัก

บรรณานุกรม

1. Boyd , Robert F. and Bryan G. Hoerld 1981 **Basic Medical Microbiology** Little, Brown and Company, Boston, 766 p.
2. V.C. Kalia , V. Sonakya, N. Raizada 1975 **Anaerobic digestion of banana steam waste** , Center For Biochemical Technology, CSIR , University Campus , Mall Road , Delhi 110007 , India
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. Pelza , Michel J. and Roger D. Reid 1965 **Microbiology** McGraw-Hill Book Company, New Delhi, 952 p.
5. http://www.comosthailand.com/06/06Z_agriculture/in_agriculture/sub_agricultural.html?sub_id=1946&head
6. N . Raizada 1981 **Microbial Ecology: Fundamental and applications**. Bemjamin/Cumming Publishing Company , Inc , Addison Wesley Longman Inc
7. Jewell, C. 1993 **Genetics and Breeding of Industrial Microorganisms**. Florida: CRC Press
8. Chanakya, J and B. Kristiansen. 1994. **Basic Biotechnology**. London: Academic Press
9. Andara, J.S. 1995 **Microbial Production and Consumption of Greenhouse: methane, nitrogen, and halomethanes.** America Society for Microbiology. Washington, D.C.
10. Nirmala Bardiya and Schnner F , 1996. **Biochemistry. (Second Edition).** Academic Press.
11. Vieitez, M. 1997 **Surface active agents from Bacillus species**. Appl. Environ. Microbiol.
12. Radvan, R.M., and Bartha, R 1997 **Microbial Production of Surface**. Blackwell Scientific Publication, Inc.
13. Wujcik ,T.E. 1998 **Aquatic Microbiology**. Blackwell Scientific Publication, Inc.
14. เบญจมาศ ศิลาน้อย 2538 **เกษตรยุคใหม่**. กรุงเทพฯ : บริษัทประชาชน, 2538
15. สมใจ ภัสสตยางกูร 2527 **วิธีการตรึงเซลล์จุลินทรีย์ และการประยุกต์ใช้**. กรุงเทพฯ: วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
16. สมใจ ศิริโภค 2537. **เทคโนโลยีการหมัก**. กรุงเทพฯ: ศูนย์สื่อเสริมกรุงเทพฯ

17. มาลี อมนทิพย์ 2540. **การใช้เอนไซม์ไม่ละลายน้ำในการหมักอุตสาหกรรม.กรุงเทพฯ: ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์**

18. http://www.qi.com/talk/viewtopic.php?t=61&start=30

19. www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r00008/html/tfs3fig1.gif

20. www.biofilmsonline.com/cgi-bin/biofimsonline/ed drop.html

.

ภาคผนวก ก

ลักษณะถังที่ใช้ในการหมัก

ลักษณะถังที่ใช้ในการหมัก

ในการเลือกใช้ถังหมักในการหมักสิ่งที่คำนึงถึงเป็นสิ่งแรก คือวัสดุที่ใช้ เพราะในการหมักจะเกิดสารที่เป็นกรดภายในถังหมัก ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการกัดกร่อนต่อถังหมักที่ทำมาจากวัสดุประเภทโลหะ

รูปที่ ก.1 ถังที่ใช้ในการหมักเปลือกกล้วย

รายละเอียด

-	ชนิดวัสดุ	โพลิเอทีลีนเรซิน(พลาสติก)
-	ปริมาตร	100 ลิตร
-	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง	51.5 เซนติเมตร
-	ความสูง	61 เซนติเมตร
-	น้ำหนัก	5 กิโลกรัม
-	ความหนา	3 มิลลิเมตร
-	σ	60 MPa

ภาคผนวก ข

การติดตั้งถัง

รูปแบบการติดตั้งถัง

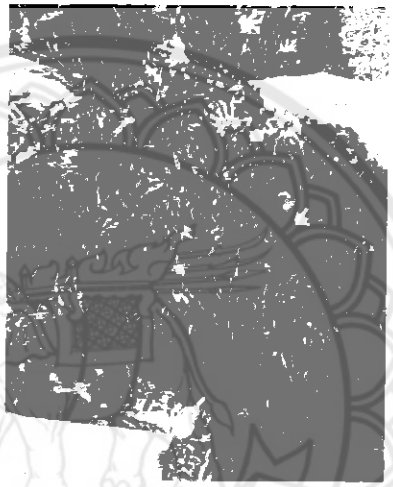
ในการติดตั้งระบบท่อและถังหมักจะใช้หลักการให้ก๊าซลอยตัวขึ้นสู่ถังบนโดยเมื่อทำการเปิดวาล์วของถังหมัก ก๊าซที่ได้จะไหลผ่านท่อพีวีซีซึ่งมีสายยางเชื่อมต่อระหว่างท่อพีวีซีที่มาจากถังหมักกับท่อพีวีซีที่ต่อกับถังเก็บก๊าซทั้งนี้การติดสายยางก็เพื่อที่จะสามารถแยกถังเก็บก๊าซและถังหมักออกจากกันเพื่อนำถังเก็บก๊าซไปใช้ได้โดยสะดวก หลังจากนั้นเมื่อได้ก๊าซตามที่ต้องการในถังเก็บก๊าซ จึงทำการปิดวาล์วและถอดสายยางที่ต่อระหว่างถังหมักกับถังเก็บก๊าซ เพื่อนำก๊าซที่ได้ไปใช้ประโยชน์

รูปที่ ข.1 ระบบท่อและถังหมักที่ใช้หมัก

ขั้นตอนการปฏิบัติ

ขั้นตอนการเตรียมเปลือกกล้วยเพื่อทำการหมักมีขั้นตอนดังนี้

1.ตากเปลือกกล้วย โดยเริ่มจากการนำเปลือกกล้วยที่เตรียมมาตากแดดเป็นเวลา 2 วัน เพื่อให้เปลือกกล้วยมีความแห้งก่อนการหมัก



รูปที่ ข.2 การนำเปลือกกล้วยตากแดดก่อนการบด

2.การบดเปลือกกล้วย นำเปลือกกล้วยที่ผ่านการตากแดดมาบดโดยผ่านเครื่องบด ให้มีความละเอียดเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการหมักให้เกิดไวขึ้น

รูปที่ ข.3 เปลือกกล้วยที่ผ่านการบด

3.นำเปลือกกล้วยและมูลวัวใส่ในถังหมักในขั้นตอนนี้จะนำเปลือกกล้วยที่ผ่านการบดมาใส่ถังหมักร่วมกับมูลวัวหมักที่เตรียมไว้และทำการเติมน้ำ ในอัตราส่วนของแข็งต่อของเหลวเท่ากับ 7:3 โดยใส่กล้วย 75 kg มูลวัวหมัก 7.5 kg น้ำ 35 kg หลังจากนั้น ทำการกวนให้ส่วนผสมต่างๆเข้ากัน

รูปที่ ข.4 นำเปลือกกล้วยและมูลวัวหมักใส่ในถังหมัก