

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

FRESH GARBAGE DECOMPOSER MACHINE FOR FOOD WASTE

FROM FACULTY OF ENGINEER KMITL CANTEEN



รพ.
๕๕๑๑
๑๕๕๑

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 72699
วัน,เดือน,ปี.. 2.1..ค.ย.. 255๑

b. 11๑๗1๕๑๗
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**FRESH GARBAGE DECOMPOSER MACHINE FOR FOOD WASTE
FROM FACULTY OF ENGINEER KMITL CANTEEN**



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ	เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง			
นักศึกษา	นายชัยยา	อำนวยการ	รหัสประจำตัว	47015428
	นางสาวชญัญญ์ชนกกี	ชีพสมถ	รหัสประจำตัว	47015438
	นายประพาส	ทองรัมย์	รหัสประจำตัว	47015443
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต	สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา	
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา			
อาจารย์ที่ปรึกษา	อ. ชลิตา อู่ตะเภา			

คณะกรรมการสอบ โครงการพิเศษ		ลายมือชื่อ
อ. ชลิตา	อู่ตะเภา	
รศ. สิริวัฒน์	ไชยชนะ	
ดร. อูมา	สินธุ์เรือง	
อ. วิบูลย์	วุฒิญาณ	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว


(รศ. อำนวย พานิชกุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่ 9 เดือน เมษายน พ.ศ. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารในโรงอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
FRESH GARBAGE DECOMPOSER MACHINE FOR FOOD
WASTE FROM FACULTY OF ENGINEER KMITL CANTEEN

นักศึกษา นายชัชยา อำนวย
นางสาวธัญญ์ชนกกี ชีพสุมล
นายประพาส ทองรัมย์

อาจารย์ที่ปรึกษา อ. ชลิดา อยู่ตะเภา

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหารที่เกิดขึ้นในโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเพื่อหาศักยภาพของเศษอาหาร ที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทนในการย่อยสลายเศษอาหารด้วยระบบถังหมักไร้อากาศ โดยศึกษาการย่อยสลายของเศษอาหารในถังหมักขนาดความจุ 100 ลิตร ซึ่งคำนวณมาจากปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นใน 1 วันที่มีมากที่สุดในรอบสัปดาห์พบว่า จะมีปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นมากที่สุด 75 กิโลกรัม หรือคิดเป็นปริมาตรจะได้ 75.8 ลิตร ภายใต้สภาวะการทดลองที่แตกต่างกันคือทดลองหมักเศษอาหารแบบมีการกวน 30 วัน และทดลองหมักเศษอาหารแบบไม่มีการกวน 30 วัน เพื่อหาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น จากปริมาณเศษอาหารเปียก 35 กิโลกรัม โดยใช้เชื้อจุลินทรีย์ที่ไม่มีการแยกชนิดของเชื้อจำนวน 20 กิโลกรัม ผสมรวมกันภายในถัง ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของการย่อยสลายเศษอาหารแบบมีการกวนจะทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพดีกว่าแบบไม่มีการกวนคือ แบบมีการกวนเศษอาหารในระหว่างการหมักทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ 51 ลิตร โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 13.2 % คิดเป็นปริมาณก๊าซ 0.19 ลิตรต่อเศษอาหาร 1 กิโลกรัม ส่วนแบบไม่มีการกวนเศษอาหารในระหว่างการหมักทำให้เกิดก๊าซชีวภาพ 42.6 ลิตร โดยมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน 9.9 % คิดเป็นปริมาณก๊าซ 0.12 ลิตรต่อเศษอาหาร 1 กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title : FRESH GARBAGE DECOMPOSER MACHINE FOR FOOD WASTE FROM FACULTY OF ENGINEER KMITL CANTEEN

Name : MR. CHAIYA AUMBOON
MISS. TANYACHANOK CHIPSUMOL
MR. PRAPAS THONGRASSAMEE

Field : CIVIL ENGINEERING

Department : CIVIL ENGINEERING

Faculty : ENGINEERING

Advisor : CHALIDA U-TAPAO

ABSTRACT

The object of this research for building the fresh garbage decomposer machine for food waste from faculty of engineering kmitl canteen and seek for potential of garbage which to be effect to produce methane about digesting the garbage with anaerobic system. Studying the digesting of the garbage in the fermented bucket a capacity for 100 liters by calculating from the garbage in the day of the most around week. It is covered about 75 kilograms or 75.8 liters under the different testing by stirring 30 days and no stirring 30 days, wet food 35 kilograms by adding microbes without separating of them 20 kilograms compound together in the bucket. The studying effect the digesting by stirring can make more gas than the other. We can have biogas 51 liters from stirring and the quantity of methane 13.2 % or 0.19 liters per 1 kilogram of food waste but no stirring we can have biogas 42.6 liters and the quantity of methane 9.9 % or 0.12 liters per 1 kilogram of food waste.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีขอขอบคุณ อาจารย์ชลิตา อยู่ตะเภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความกรุณาอย่างมาก และคำแนะนำดี ๆ ที่เป็นประโยชน์ รวมทั้งตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ และผู้ร่วมทีมวิจัยที่ได้ช่วยกันจนทำให้วิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณ คุณทวีป พลเสน นักวิทยาศาสตร์7ว สำนักวิจัยค้นคว้าพลังงาน กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จ.ปทุมธานี ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ คุณประโยชน์ เส็งเจริญ และคุณสมพงษ์ รัฐประเสริฐ ที่ได้คำแนะนำและช่วยเหลือในการสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

ขอขอบคุณ รศ.ดร. ปราโมทย์ ศิริโรจน์ อาจารย์ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อจุลินทรีย์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยและให้ความช่วยเหลือในการแยกองค์ประกอบของก๊าซ

ขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับบิดาและมารดา รวมถึงสมาชิกครอบครัวทุกคน ๆ คนที่มอบความรัก ความห่วงใย คอยเป็นกำลังใจให้เสมอมา และคอยให้คำปรึกษายามที่มีปัญหา

สุดท้ายนี้ หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความดีและก่อประโยชน์แก่ส่วนรวม คณะผู้วิจัยขอมอบความดีทั้งปวงให้แก่บิดาและมารดา ตลอดจนคณาจารย์ทุกท่านที่ช่วยส่งเสริมให้คณะผู้วิจัยมีความรู้ ความสามารถและประสบความสำเร็จในการศึกษา

นายชัยยา

อำนวยการ

นางสาวธัญญ์ชนกกี

ชีพสุมล

นายประพาส

ทองรัมย์

ผู้ประพันธ์

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอำนวยการ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
	สารบัญ	ช
	สารบัญตาราง	ฌ
	สารบัญรูป	ฎ
1	บทนำ	
	1.1. ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
	1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	วรรณกรรมปริทัศน์	
	2.1. นิยามและความหมายของขยะมูลฝอย	3
	2.2. ประเภทและลักษณะของขยะมูลฝอย	3
	2.2.1. แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย	3
	2.2.2. ชนิดหรือประเภทของขยะมูลฝอย	3
	2.2.3. ปริมาณของขยะมูลฝอย	5
	2.2.4. ลักษณะของมูลฝอย	7
	2.3. ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม	13
	2.3.1. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ	14
	2.3.2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.3. ผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจและสังคม	15
	2.4. การบำบัดและกำจัดมูลฝอย	15
	2.5. ปฏิริยาเคมีการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	16
	2.6. ระบบหมักแบบ Batch	16
	2.7. ก๊าซที่เกิดจากปฏิริยาการหมักขยะแบบไม่ใช้ออกซิเจน	23
	2.7.1. ชนิดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมัก	23
	2.7.2. คุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจากปฏิริยาการหมักขยะ	25
	2.8. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไม่ใช้อากาศ	26
	2.8.1. Hydrolysis	26
	2.8.2. Acidogenesis และ Acetogenesis	26
	2.8.3. Methanogenesis	27
	2.9. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ	27
	2.9.1. Non Methanogenic Bacteria	27
	2.9.2. Methanogenic Bacteria	27
	2.10. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศ	31
	2.10.1. ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม	31
	2.10.2. ปัจจัยทางด้านการทำงาน	38
	2.11. ระบบถังหมักแบบไร้อากาศ	39
	2.11.1. ถังหมักไร้อากาศแบบธรรมดา	39
	2.11.2. ถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัส	42
	2.11.3. ถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส	42
	2.12. พลังงานจากก๊าซชีวภาพ	44
	2.13. คุณสมบัติและลักษณะการนำก๊าซชีวภาพมาใช้งานด้านต่างๆ	45
3	อุปกรณ์และวิธีการทดลอง	
	3.1. เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	47

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.2. วิธีการทดลอง	48
	3.2.1. การหาปริมาณเศษอาหาร	48
	3.2.2. การออกแบบเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	48
	3.2.3. การทดสอบระบบถังหมัก	58
	3.2.4. การวิเคราะห์คุณสมบัติของเศษอาหาร	58
	3.2.5. การวัดปริมาณก๊าซ	59
	3.2.6. การหาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	59
4	ผลการทดลอง	
	4.1. การหาปริมาณเศษอาหาร โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์	62
	4.2. การหาปริมาณความชื้นในเศษอาหาร	63
	4.3. การหาปริมาณของของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของของแข็งระเหยง่าย	65
	4.4. การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง	66
	4.5. การทดสอบตะกอนหนัก	67
	4.6. การทดสอบซีไอดี	68
	4.7. การทดสอบไนโตรเจน	69
	4.8. การวัดปริมาณก๊าซในถังหมักแบบไม่มีการกวนเศษอาหาร	69
	4.9. การวัดปริมาณก๊าซในถังหมักแบบมีการกวนเศษอาหาร	72
	4.10. การหาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	76
5	วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
	5.1. สรุปผลการทดลอง	78
	5.2. ประสิทธิภาพของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	79
	5.3. ข้อเสนอแนะ	79
	5.4. ปัญหาและอุปสรรค	80

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	บรรณานุกรม	81
	ภาคผนวก ก.	ผก1
	ข้อมูลปริมาณและความชื้นในเศษอาหาร	ผก2
	ภาคผนวก ข.	ผข1
	1. อุปกรณ์การทดลอง	ผข2
	2. การทดสอบคุณสมบัติของเศษอาหาร	ผข3
	3. การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ	ผข14



สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	แสดงการผลิตขยะมูลฝอยตามชนิดของแหล่งกำเนิด	6
2.2.	แสดงองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากเมืองต่างๆ	8
2.3.	แสดงปริมาณขยะมูลฝอยบางจังหวัดในประเทศไทย	9
2.4.	แสดงปริมาณความชื้นของส่วนประกอบของขยะมูลฝอยจากชุมชน	10
2.5.	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชนทั่วไปและของกรุงเทพฯ	11
2.6.	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ solid waste	18
2.7.	แสดงเปอร์เซ็นต์ของก๊าซต่างๆ ที่เกิดจากขยะ	24
2.8.	แสดงจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ	29
2.9.	แสดงจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน	30
2.10.	แสดงปริมาณสารอาหารที่จำเป็น	34
2.11.	แสดงความเข้มข้นที่กระตุ้นการยับยั้งของแคดไอออน โลหะเบา	35
2.12.	แสดงแคดไอออนเพิ่มความเป็นพิษและแคดไอออนลดความเป็นพิษ	36
2.13.	แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นพิษต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	37
2.14.	แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ	46
4.1.	แสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้นในเศษอาหาร	63
4.2.	แสดงผลการทดสอบปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของของแข็งระเหยง่าย	65
4.3.	แสดงผลการทดสอบความเป็นกรด – ค่าก่อนการหมัก	66
4.4.	แสดงผลการทดสอบความเป็นกรด – ค่าหลังการหมัก 30 วัน	66
4.5.	แสดงผลการทดสอบตะกอนหนัก	67
4.6.	แสดงผลการทดสอบซีโอดี	68
4.7.	แสดงผลการทดสอบไนโตรเจน	69
4.8.	แสดงผลการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นแต่ละวันในการหมักแบบไม่กวนเศษอาหาร	70
4.9.	แสดงผลการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นแต่ละวันในการหมักแบบกวนเศษอาหาร	73
4.10.	แสดงผลการหาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	77
ผ.ข.1.	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ	ผข2

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	แสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียตามระยะเวลา	17
2.2.	แสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน	19
2.3.	แสดงแผนผังการทำงานของแบคทีเรียในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน	21
2.4.	แสดงขั้นตอนการผลิตกรดของแบคทีเรีย	22
2.5.	แสดงขั้นตอนการผลิตก๊าซของแบคทีเรีย	23
2.6.	แสดงกรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมัก	39
2.7.	แสดงถังหมักไร้อากาศแบบอัตราการกำจัดต่ำ	41
2.8.	แสดงถังหมักไร้อากาศแบบอัตราการกำจัดสูง	41
2.9.	แสดงถังหมักไร้อากาศแบบอัตราการกำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน	42
2.10.	แสดงระบบถังหมักไร้อากาศแบบสัมผัส	43
2.11.	แสดงระบบถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส	43
2.12.	แสดงการใช้ก๊าซชีวภาพ	44
3.1.	แสดงเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	47
3.2.	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้หาหน่วยน้ำหนักและปริมาณของเศษอาหาร	48
3.3.	แสดงการชั่งน้ำหนักของเศษอาหาร	49
3.4.	แสดงการหาปริมาตรของเศษอาหาร	49
3.5.	แสดงรูปค้ำหน้าและรูปแปลนของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	51
3.6.	แสดงรายละเอียดขนาดต่าง ๆ ของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	52
3.7.	แสดงรายละเอียดขนาดต่าง ๆ ของขาเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	53
3.8.	แสดงส่วนขยายส่วนประกอบของขาเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	54
3.9.	แสดงรูปตัดและใบกวนของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	55
3.10.	แสดงระบบการใช้งานของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	56
3.11.	แสดงส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ	57
3.12.	แสดงอุปกรณ์การหาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	60
3.13.	แสดงขั้นตอนการเก็บก๊าซเพื่อนำไปหาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.1.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเศษอาหาร โรงอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังกับวันที่ทำการวัด	62
4.2.	แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในเศษอาหารและปริมาณของแข็งทั้งหมด	64
4.3.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในการหมักแบบไม่กวนเศษอาหาร	71
4.4.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสะสมในการหมักแบบไม่กวนเศษอาหาร	72
4.5.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในการหมักแบบกวนเศษอาหาร	74
4.6.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสะสมในการหมักแบบกวนเศษอาหาร	75
4.7.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเปรียบเทียบการหมักทั้ง 2 แบบ	75
4.8.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสะสมเปรียบเทียบการหมักทั้ง 2 แบบ	76
4.9.	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซมีเทนกับก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของก๊าซชีวภาพ	77
ผ.ข.1.	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้หาค่าพีเอช	ผข4
ผ.ข.2.	แสดงการวัดค่าพีเอชด้วยมาตรพีเอช	ผข4
ผ.ข.3.	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้หาปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย และปริมาณความชื้นในเศษอาหาร	ผข5
ผ.ข.4.	แสดงขั้นตอนการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย และปริมาณความชื้นในเศษอาหาร	ผข6
ผ.ข.5.	แสดงอุปกรณ์ที่ใช้หาปริมาณตะกอนหนัก	ผข7
ผ.ข.6.	แสดงขั้นตอนการหาปริมาณตะกอนหนัก	ผข7
ผ.ข.7.	แสดงอุปกรณ์การทดสอบซีโอดี	ผข9
ผ.ข.8.	แสดงขั้นตอนการทดสอบซีโอดี	ผข10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
ผ.ข.9.	แสดงอุปกรณ์การทดสอบไนโตรเจน	ผข11
ผ.ข.10.	แสดงขั้นตอนการทดสอบไนโตรเจน	ผข13



บทที่ 1

บทนำ

1.1. ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

นับตั้งแต่ พ.ศ. 2513 เป็นต้นมา โลกเริ่มประสบกับวิกฤตการณ์พลังงาน อันเนื่องมาจากราคาน้ำมันดิบที่เพิ่มสูงขึ้นอยู่ตลอดเวลาและปริมาณการผลิตที่ลดลง ทำให้นานาประเทศต้องเร่งพัฒนาแหล่งพลังงานอื่น ๆ เพื่อใช้แทนน้ำมัน แหล่งพลังงานที่ได้รับความสนใจมากที่สุดได้แก่พลังงานทดแทน (renewable energy) ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น ก๊าซชีวภาพ (biogas) แสงอาทิตย์ ลม คลื่น เป็นต้น ก๊าซชีวภาพเป็นพลังงานทดแทนอย่างหนึ่งที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน [สุเมธ. 2522] การผลิตก๊าซชีวภาพนอกจากจะได้ก๊าซชีวภาพซึ่งใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงได้แล้ว ยังสามารถแก้ปัญหามลพิษ โดยลดปริมาณของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ที่ปล่อยออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้อีกด้วย

ในชนบทของหลายประเทศมีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้อย่างกว้างขวาง เช่น จีน อินเดีย และเกาหลี ซึ่งการผลิตก๊าซชีวภาพสามารถนำของเสียชนิดต่าง ๆ มาใช้ได้ เช่น ขยะ [สมชาย. 2530] กากมะเขือเทศ[สุพรรณี. 2536] มูลสุกร [บุษบา. 2537] ฟางข้าว น้ำกากส่า เปลือกกล้วยและเปลือกสับปะรด เป็นต้น

ในประเทศเกาหลีนั้นมีปริมาณเศษอาหารเหลือทิ้งอยู่ 30 % ของปริมาณขยะเทศบาลทั้งหมด ได้มีการนำเศษอาหารมาผลิตก๊าซชีวภาพขึ้น ส่วนในประเทศไทยพบว่ามีปริมาณเศษอาหารอยู่ 39.25 % ของปริมาณขยะเทศบาลทั้งหมด [กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2542] โดยเฉพาะอย่างยิ่งตามร้านอาหารต่าง ๆ มีเศษอาหารเหลือทิ้งอยู่เป็นจำนวนมาก ส่วนมากจะนำไปใช้เป็นอาหารเลี้ยงสุกร จึงมีความน่าสนใจที่จะนำเศษอาหารเหล่านี้มาผลิตก๊าซชีวภาพ ถือเป็นแนวทางการจัดการของเสียที่ดีอีกแนวทางหนึ่ง ซึ่งการนำเศษอาหารจากร้านอาหารมาย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ จะทำให้ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิตจากกระบวนการนี้

การเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการอาจทำได้ 2 แนวทางคือ ทางด้านจุลชีววิทยา และทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ การเพิ่มประสิทธิภาพด้านจุลชีววิทยาอาจทำได้หลายวิธี เช่น การคัดเลือกกลุ่มแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพในการสร้างก๊าซมีเทนได้สูง และการหมักที่อุณหภูมิสูง ส่วน

ในทางด้านวิศวกรรมศาสตร์อาจทำได้โดยการออกแบบระบบถังหมักและควบคุมกระบวนการหมักให้อยู่ในสถานะที่เป็นไปตามความต้องการของจุลินทรีย์ให้มากที่สุด

การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาและออกแบบเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ รวมถึงหาระยะเวลาเก็บกัก และอัตราการป้อนอินทรีย์สารที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหาร โดยใช้ถังหมักเศษอาหารระบบไร้อากาศ เพื่อให้ได้ก๊าซชีวภาพที่จะนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในการหุงต้มได้

1.2. วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

ออกแบบและสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารที่เหลือใช้ ภายในโรงอาหาร โดยกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เพื่อผลิตก๊าซมีเทนนำไปใช้ประโยชน์

1.3. ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ถังหมักจะใช้ขนาดจริง
2. กระบวนการศึกษาการย่อยสลายจะควบคุมให้ระบบอยู่ในสภาพไร้อากาศ
3. การศึกษาจะใช้เศษอาหารจากโรงอาหาร 1 ข้างอาคารเรียน A คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. ควบคุมให้ระบบทำงาน 2 แบบคือ แบบมีการกวนเศษอาหารและแบบไม่มีการกวนเศษอาหาร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาปริมาณก๊าซมีเทนจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศที่เกิดกับขยะอินทรีย์
2. ข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบระบบกำจัดของเสีย และสิ่งปฏิกูลจำพวกเศษอาหารได้
3. ใช้ประโยชน์จากก๊าซมีเทน เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการหุงต้มในครัวเรือน ซึ่งเป็นการใช้แหล่งพลังงานทดแทน
4. ลดปริมาณขยะก่อนนำไปกำจัดเพื่อลดปริมาณและต้นทุนในการกำจัด
5. กากที่เหลือสามารถนำไปเป็นปุ๋ยหมักใช้ในการเกษตรได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. นิยามและความหมายของขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอย หมายถึง สิ่งปฏิกูลที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งอาจจะมีน้ำหรือความชื้นปะปนมาด้วยจำนวนหนึ่ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ขยะมูลฝอยอาจมีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามแหล่งที่ก่อให้เกิดขยะนั้น ๆ เช่น ขยะจากบ้านเรือนพักอาศัย มีลักษณะเป็นเศษอาหารที่เหลือจากการหุงต้ม เศษผ้าและเศษของที่ไม่ใช้แล้วต่าง ๆ เป็นต้น สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ระบุว่า มูลฝอยหมายถึง บรรดาสิ่งต่างๆที่คนไม่ต้องการ และทิ้งไปทั้งนี้รวมถึงเศษผ้า เศษอาหาร มูลสัตว์ ซากสัตว์ ฝั่ ฝุ่นละออง และเศษวัสดุสิ่งของที่เก็บกวาดจากเคหะสถาน อาคาร ถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรม และอื่นๆ

2.2. ประเภทและลักษณะของขยะมูลฝอย

2.2.1. แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอย

แหล่งกำเนิดขยะมูลฝอยแบ่งตามการใช้ประโยชน์ของที่ดิน ได้แก่

- ก. ขยะมูลฝอยจากบ้านพักอาศัย (Residential Wastes)
- ข. ขยะมูลฝอยจากธุรกิจการค้า (Commercial Wastes)
- ค. ขยะมูลฝอยจากการเกษตร (Agricultural Wastes)
- ง. ขยะมูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastes)
- จ. ขยะมูลฝอยจากโรงพยาบาล (Hospital Wastes)

2.2.2. ชนิดหรือประเภทของขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยที่มาจากแหล่งกำเนิดในหัวข้อ 2.2.1. ยังสามารถแบ่งได้เป็นชนิดต่าง ๆ ดังนี้

1. ขยะเปียกหรือขยะสด (Garbage) เป็นขยะมูลฝอยที่มีความชื้นสูงและประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ ที่สามารถนำไปหมักปุ๋ย หรือเกิดการย่อยสลายด้วยวิธีการทางชีวภาพได้ เช่น เศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาหาร มูลสัตว์ ฯลฯ เมื่อปล่อยทิ้งไว้เวลาหนึ่งจะเกิดการเน่าเปื่อย มีกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค เช่น แมลงวัน หนู เป็นต้น

2. ขยะแห้ง (Rubbish) เป็นขยะมูลฝอยที่ย่อยสลายทางจุลชีพได้ยาก มีความชื้นต่ำ ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ มูลฝอยติดไฟได้ (Combustible Wastes) เช่น เศษกระดาษ เศษใบไม้ กิ่งไม้ กระจกกระดาษ พลาสติก เป็นต้น และมูลฝอยที่ไม่ติดไฟ (Noncombustible Wastes) เช่น เศษแก้ว เศษโลหะ กระจังโลหะ ฯลฯ

3. ขี้เถ้า (Ashes) เป็นสิ่งตกค้างที่เกิดจากการเผาไหม้ เช่น ขี้เถ้าที่เกิดจากเตาเผาขยะ ขี้เถ้าถ่าน ขี้เถ้าหิน เป็นต้น ขยะพวกนี้จะไม่มีความเฉื่อยสูง คือไม่เกิดการย่อยสลายอีกต่อไป

4. เศษสิ่งก่อสร้าง (Construction Wastes) ได้แก่ เศษคอนกรีต เศษอิฐ เศษไม้ เป็นต้น

5. ขยะจากถนน (Street Refuse) เป็นเศษขยะที่อยู่บนถนนหรือริมถนน ได้แก่ เศษพลาสติก เศษใบไม้ เศษหิน ทราช เป็นต้น

6. ขยะขนาดใหญ่ (Bulky Wastes) หมายถึงขยะที่มีขนาดใหญ่หรือมีชิ้นโต ส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่เสียหรือเสื่อมสภาพใช้การไม่ได้แล้ว เช่น พัดลม ตู้เย็น โทรทัศน์ เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ

7. ซากรถยนต์หรือยานพาหนะต่างๆ (Abandoned Vehicles) หมายถึงพาหนะต่างๆ และชิ้นส่วนของยานพาหนะหรือเครื่องจักรกลที่เสียหรือเสื่อมสภาพแล้ว

8. ซากสัตว์ (Dead Animals) เป็นซากสัตว์ที่ตายด้วยสาเหตุต่างๆ ซึ่งอาจปล่อยทิ้งไว้ตามถนน ที่สาธารณะ หรือในฟาร์ม เป็นขยะที่เน่าสลายได้ง่ายและรวดเร็ว และมีกลิ่นเหม็น

9. ขยะจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastes) หมายถึง ขยะที่เกิดจากการประกอบอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งปริมาณและองค์ประกอบของขยะจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของอุตสาหกรรม

10. ขยะจากการเกษตร(Agricultural Wastes)เป็นเศษขยะที่เกิดจากการทำการเกษตร เช่น การทำนา ทำไร่ ทำสวน การประมง การเลี้ยงสัตว์ ฯลฯ ขยะจากการเกษตรส่วนใหญ่ได้แก่ เศษหญ้า ใบไม้ มูลสัตว์ เศษอาหารสัตว์ ฯลฯ

11. ขยะจากการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater Treatment Residues) หมายถึงส่วนที่เหลือหรือเศษตกค้างจากการบำบัดน้ำเสีย เช่นกากตะกอนจากถังตกตะกอน เศษขยะจากตะแกรง เศษกรวด ทราช จากถังคัดกรวดทราช เป็นต้น

12. ขยะมูลฝอยพิเศษ (Special Wastes) หมายถึงมูลฝอยที่ต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ เพราะมีอันตรายสูง และอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่นๆ บางครั้งจะถูกจัดไว้เป็นขยะอันตราย (Hazardous Waste) ซึ่งได้แก่ วัตถุที่ระเบิดได้ ไวไฟ มีพิษ ติดเชื้อ มีกัมมันตภาพรังสี มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน เป็นต้น

2.2.3. ปริมาณของขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากแต่ละแหล่งกำเนิดจะมีปริมาณมากน้อยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

- สภาพภูมิประเทศ
- ฤดูกาล
- การจัดการมูลฝอยในชุมชน
- สภาพทางเศรษฐกิจของชุมชน
- ความหนาแน่นของประชากร
- การนำของใช้แล้วกลับมาใช้อีก
- กฎหมาย

ฯลฯ

การหาปริมาณขยะที่เกิดขึ้นจากชุมชนใดๆ มีวิธีการประมาณมูลฝอยได้ 2 วิธี คือ

Load-Count Analysis คือการหาปริมาณขยะโดยวิธีประมาณหาปริมาตรของขยะมูลฝอยที่เก็บขนได้ในแต่ละวัน แล้วนำค่าความหนาแน่นโดยเฉลี่ยของขยะรวมมาคำนวณหาน้ำหนักของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น และต้องพิจารณาถึงการไม่สามารถเก็บขนด้วย

Mass-Volume Analysis คือการหาปริมาณขยะโดยวิธีการชั่งน้ำหนักของรถเก็บขนแต่ละคันที่ได้เก็บขนมูลฝอยจนจบแต่ละเที่ยว แล้วนำค่าความหนาแน่นโดยเฉลี่ยของขยะมูลฝอยรวมมาคำนวณหาปริมาตรของขยะที่เกิดขึ้น และต้องพิจารณาถึงการไม่สามารถเก็บขนด้วย

ปริมาณขยะที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งสามารถจำแนกได้ตามชนิดของแหล่งกำเนิดของขยะได้ดังนี้

1. ปริมาณขยะจากแหล่งชุมชน จากการสำรวจของงานจัดการมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล กองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของขยะที่เก็บรวบรวมได้ในเขตเทศบาลต่างๆ ทั่วประเทศพบว่า ปริมาณของขยะที่เก็บรวบรวมจะขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร และงบประมาณด้านการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลเป็นสำคัญ ปริมาณของขยะในแหล่งกำเนิดหรือปริมาณของขยะที่มีอยู่จริง ต้องคาดคะเนปริมาณเอง

เนื่องจากบางส่วนของขยะในแหล่งกำเนิดไม่มีการเก็บรวบรวม และถูกนำไปวางกองไว้ในที่โล่งหรือกำจัดในแหล่งกำเนิด จึงทำให้ปริมาณของขยะที่รวบรวมได้มีน้อยกว่าขยะที่มีอยู่จริง

2. ปริมาณของขยะจากแหล่งอุตสาหกรรม ขึ้นอยู่กับประเภทและกำลังผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับปริมาณขยะที่เกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมนั้น ไม่ได้มีการรวบรวมไว้โดยเฉพาะ แต่ได้เก็บรวบรวมไว้กับปริมาณของขยะจากแหล่งชุมชนส่งเทศบาลเพื่อการกำจัดและขยะบางส่วนถูกกำจัดโดยโรงงานเอง

3. ปริมาณขยะจากแหล่งเกษตรกรรม เป็นขยะที่ไม่สามารถบอกลถึงปริมาณขยะได้ เนื่องจากอยู่นอกพื้นที่การเก็บรวบรวมของเทศบาลหรือสุขาภิบาล และขยะเหล่านี้จะถูกกำจัดให้หมดไปหรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น จึงไม่สามารถที่จะรู้ถึงปริมาณของขยะจากแหล่งนี้ได้ จากการศึกษาของ JICA พบว่าอัตราการผลิตมูลฝอยผันแปรไปตามชนิดของแหล่งกำเนิดขยะ กล่าวคือจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมนั้น ๆ ปริมาณขยะจากอาคารบ้านเรือน สำนักงาน โรงพยาบาล โรงแรม ห้างสรรพสินค้า โรงเลื่อย และตลาด มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 2.1.

ตารางที่ 2.1. แสดงการผลิตขยะมูลฝอยตามชนิดของแหล่งกำเนิด

ชนิดของแหล่งกำเนิด	อัตราการเกิดขยะ
1. อาคารบ้านเรือน	315 กรัม/คน/วัน (1.09 ลิตร/คน/วัน)
1.1 ที่พักอาศัย	296 กรัม/คน/วัน (1.01 ลิตร/น/วัน)
1.2 ธุรกิจส่วนตัว	343 กรัม/คน/วัน (1.77 ลิตร/คน/วัน)
2. สำนักงาน	32 กรัม/ตารางเมตร/วัน
3. โรงพยาบาล	660 กิโลกรัม/วัน
4. โรงแรม	2.9 กิโลกรัม/ห้อง/วัน
5. ห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่	26 กรัม/ตารางเมตร/วัน
6. โรงเลื่อย	315 กิโลกรัม/คน/วัน
7. ตลาด	320 กรัม/ตารางเมตร/วัน

ที่มา : JICA [1982]

2.2.4. ลักษณะของมูลฝอย

ลักษณะของมูลฝอยประกอบด้วย 3 ลักษณะ คือ

- ลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics)
- ลักษณะทางเคมี (Chemical Characteristics)
- ลักษณะทางชีววิทยา (Biological Characteristics)

2.2.4.1. ลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics)

ลักษณะทางกายภาพของขยะประกอบด้วย

1. องค์ประกอบต่างๆ
2. ขนาดแต่ละส่วน
3. ค่าความชื้น
4. ความหนาแน่นของขยะ

1) องค์ประกอบของขยะมูลฝอย

ขยะจะมีองค์ประกอบต่างๆ ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2. ซึ่งเป็นข้อมูลของเมืองต่างๆ ที่สามารถนำมาใช้ในการพิจารณาลักษณะของมูลฝอย เพื่อพิจารณาแนวทางการจัดการได้อย่างเหมาะสม และปริมาณขยะจากเมืองต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.3.

2) ขนาดของแต่ละส่วน

ข้อมูลขนาดของขยะเป็นข้อมูลที่สำคัญมากในการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งต้องใช้กระบวนการแยกขนาดของขยะด้วยตะแกรงและเครื่องแยกโลหะ

3) ค่าความชื้น (Moisture Content)

ค่าความชื้นของขยะ โดยทั่วไปแสดงในรูปของปริมาณความชื้นในขยะต่อมวลขยะเปียกหรือแห้ง การคำนวณหาความชื้นสามารถหาได้จากสมการ

$$\text{ค่าความชื้น, \%} = ((w-d)/w) \times 100 \quad \text{----- (2.1)}$$

โดย $w =$ น้ำหนักของขยะที่เก็บ (กิโลกรัม)

$d =$ น้ำหนักของขยะหลังอบที่อุณหภูมิ 105 °c

ขยะมูลฝอยที่มาจากชุมชนโดยมีค่าความชื้นประมาณ 15 – 40 % ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและฤดูกาล ปริมาณความชื้นของส่วนประกอบของขยะมูลฝอยแสดงไว้ในตารางที่ 2.4.

ตารางที่ 2.2. แสดงองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากเมืองต่างๆ

องค์ประกอบ	ปริมาณโดยน้ำหนัก (%)			
	ช่วงค่าทั่วไป	กทม.	จันทบุรี	ไต้หวัน
เศษอาหาร	20-26	22	52.7	24.6
กระดาษ	ก.พ.- 45	5.6	13.2	7.5
พลาสติก	ก.พ.- 45	8.2	14.3	2.5
ยาง	0-2	1.4	0.2	0.5
เศษผ้า	0-10	3.7	2	3.7
หนัง	0-2	-	0.2	-
ใบไม้กิ่งไม้	0-15	10.8	0.5	0.5
ไม้	0-15	11.5	3.1	-
แก้ว	0-15	3.2	2.5	2.8
กระป๋อง	0-10	-	-	-
โลหะเหล็ก	0-4	2.9	3.39	1.1
โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก	0-1	-	-	-
ฝุ่นขี้เถ้าอิฐและอื่นๆ	5-60	30.7	7.91	56.8

ที่มา : สวล. [2524]

ตารางที่ 2.3. แสดงปริมาณขยะมูลฝอยบางจังหวัดในประเทศไทย

จังหวัด	ประชากร (x1000 คน)	อัตราการเกิดขยะ (กก./คน/วัน)	ปริมาณขยะที่เก็บ ขนได้(ตัน/วัน)	ปริมาณขยะที่ ไม่ได้เก็บ(ตัน/วัน)
กทม.	5300	0.85	3600	5
เชียงใหม่	150	0.92	96.7	15
นครราชสีมา	90	0.64	53.5	5
ขอนแก่น	115	0.56	36.4	20
หาดใหญ่	113	0.66	67.7	10
ชลบุรี	48	0.8	37.5	5
พัทธยา	43	1.27	51.2	15
ระนอง	39	0.85	30	20

ที่มา : สวล. [2524]

4) ค่าความหนาแน่น (Density)

ค่าความหนาแน่นของขยะมีประโยชน์ในการช่วยคำนวณหาพื้นที่ และปริมาตรของขยะที่ต้องทำการจัดการ โดยข้อมูลความหนาแน่นของขยะมูลฝอยจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิประเทศ ฤดูกาล และระยะเวลาที่ถูกทิ้งไว้ในถังขยะ ซึ่งค่าความหนาแน่นโดยเฉลี่ยทั่วไปของขยะมูลฝอยที่มาจากแหล่งชุมชนต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.5. สำหรับขยะมูลฝอยชุมชนที่ถ่ายจากรถบดอัดขยะนั้น พบว่า มักจะมีความหนาแน่นประมาณ 180 – 420 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2.4. แสดงปริมาณความชื้นของส่วนประกอบของขยะมูลฝอยจากชุมชน

ส่วนประกอบ	ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	
	พิสัย	ค่าเฉลี่ยทั่วไป
เศษอาหาร	50 – 80	70
กระดาษ	4 – 10	6
กระดาษแข็ง	4 – 8	5
พลาสติก	1 – 4	2
ยาง	1 – 4	2
เศษผ้า	6 – 15	10
หนัง	8 – 12	10
ใบไม้ ใบหญ้าจากการทำสวน	30 – 80	60
ไม้	15 – 40	20
แก้ว	1 – 4	2
กระป๋องอาหาร	2 – 4	3
โลหะเหล็ก	2 – 6	3
โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก	2 – 4	2
ซีเมนต์ อิฐ และอื่น ๆ	6 – 12	8
ขยะมูลฝอยรวมจากชุมชน	15 – 40	20

ที่มา : พัชร [2529]

ตารางที่ 2.5. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชนทั่วไปและของกรุงเทพมหานคร

ลักษณะทางเคมี	ค่าทั่วไป (%)		
	พิสัย	ค่าเฉลี่ยทั่วไป	กทม.
ค่าความชื้น	15 – 40	20	56.5
ค่า volatile matter	40 – 60	53	-
ค่า fixed carbon	5 – 12	7	-
สารเผาไหม้ไม่ได้ของขยะมูลฝอย	15 – 30	20	6.0
สารเผาไหม้ได้ของขยะมูลฝอย :			
คาร์บอน	40 – 60	47.0	15.86
ไฮโดรเจน	4 – 8	6.0	
ออกซิเจน	30 – 50	40.0	2.35
ไนโตรเจน	0.2 – 1.0	0.8	12.79
ซัลเฟอร์	0.05 – 0.3	0.2	0.53
ซีลีเนียม	1 – 10	6.0	0.12
ค่าความร้อน :			11.6
สารอินทรีย์ของขยะมูลฝอย(กิโลจูล/กก.)	12,000 – 16,000	14,000	-
ขยะมูลฝอยทั้งหมด(กิโลจูล/กก.)	8,000 – 12,000	10,500	4,700

ที่มา : เกรียงศักดิ์ [2537]

2.2.4.2. ลักษณะทางเคมี (Chemical Characteristics)

ลักษณะทางเคมีมีความสำคัญต่อการพิจารณาเลือกกระบวนการจัดการมูลฝอย และกระบวนการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ ข้อมูลด้านเคมีที่นำมาใช้ประกอบด้วย

1. ผลวิเคราะห์อย่างประมาณ (Approximate Analysis)
2. จุดหลอมละลายของซีลีเนียม (Fusing Point of Ash)
3. การวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะ (Ultimate Analysis) โดยเฉพาะปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และซีลีเนียม
4. ค่าพลังงาน (Energy Content)

1) ผลวิเคราะห์อย่างประมาณ (Approximate Analysis)

ผลวิเคราะห์อย่างประมาณขององค์ประกอบของขยะที่เผาไหม้ได้ ต้องมีการวิเคราะห์คั่วแปรต่างๆ ดังนี้

1. ค่าความชื้น (ปริมาณความชื้นที่หายไปจากการอบที่อุณหภูมิ 105 °c เป็นเวลา 1 ชั่วโมง)
2. ค่าปริมาณสารอินทรีย์ระเหย (น้ำหนักที่หายไปจากการนำขยะในข้อ 1 ใส่ในคลุชชีเบิ้ลที่มีฝาปิดแล้วเข้าเตาเผาที่ 950 °c)
3. คาร์บอน (Fixed Carbon) ส่วนที่เหลือหลังจากหาค่าปริมาณสารอินทรีย์ระเหย
4. ขี้เถ้า (Ash) ส่วนที่เหลือหลังจากการเผาในคลุชชีเบิ้ลที่ไม่มีฝาปิด

2) จุดหลอมละลายของขี้เถ้า (Fusing Point of Ash)

จุดหลอมละลายของขี้เถ้า เป็นอุณหภูมิที่ขี้เถ้าจากการเผาขยะเปลี่ยนเป็นของแข็ง (Clinker) โดยขบวนการ Fusion และ Agglomeration โดยทั่วไปแล้วจุดหลอมละลายของขี้เถ้าจะมีอุณหภูมิตั้งแต่ 1100 – 1200 °C

3) การวิเคราะห์องค์ประกอบของขยะ (Ultimate Analysis) โดยเฉพาะปริมาณของคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และขี้เถ้า

การวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบนี้เพื่อหาองค์ประกอบทางเคมีของขยะซึ่งมีความสำคัญต่อการพิจารณากระบวนการจัดการขยะ เช่น การหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของขยะ เพื่อให้ได้อัตราส่วน C/N ที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ

4) ค่าพลังงาน (Energy Content)

ค่าพลังงานจากสารอินทรีย์ในขยะสามารถหาได้จาก

1. การใช้ Boiler เป็น Calorimeter
 2. Bomb Calorimeter
 3. การคำนวณจากค่าปริมาณขี้เถ้าและค่าความชื้น และองค์ประกอบทางเคมีของขยะ
- สมการต่อไปนี้เป็นสมการที่ใช้คำนวณค่าพลังงานจากค่าปริมาณขี้เถ้าและค่าความชื้น
- $$\text{Btu/lb ของขยะแห้ง} = \text{Btu/lb} (100/(100-\text{ความชื้น, \%}))$$
- $$\text{Btu/lb ของขยะแห้งปราศจากขี้เถ้า} = \text{Btu/lb}(100/(100 - \text{ขี้เถ้า, \%} - \text{ความชื้น, \%}))$$

2.2.4.3. ลักษณะทางชีววิทยา (Biological Properties)

ปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้

นอกจากสารอินทรีย์ในขยะสามารถจำแนกเป็น พลาสติก กระดาษ ขาง หนัง ฯลฯ สารอินทรีย์ในขยะยังสามารถจำแนกออกได้อีกเป็น

1. องค์ประกอบที่ละลายน้ำได้
2. เซมิเซลลูโลส
3. เซลลูโลส
4. ไขมัน น้ำมัน และแว็กซ์
5. ลิกนิน
6. ลิก โนเซลลูโลส
7. โปรตีน

โดยทั่วไปสารอินทรีย์ในขยะส่วนใหญ่สามารถย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้ ซึ่งสามารถประมาณได้โดยใช้ปริมาณลิกนิน ซึ่งคำนวณโดยใช้สมการ

$$BF = 0.83 - 0.028 LC \quad \text{----- (2.2.)}$$

โดย BF = ส่วนที่ย่อยสลายได้ (แสดงในรูปของของแข็งระเหย, volatile solids)
0.83 = ค่าคงที่
0.028 = ค่าคงที่
LC = ปริมาณลิกนินในของแข็งระเหย (น้ำหนักแห้ง)

2.3. ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของขยะมูลฝอยที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อได้มีการจัดการและทำลายอย่างถูกต้อง นอกจากจะก่อให้เกิดความไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยแล้วยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกมากมาย เช่น ปัญหาน้ำเสีย ดินเสีย อากาศเป็นพิษ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรค เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

2.3.1. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ

1. ผลกระทบต่อดิน ขยะและสิ่งปฏิกูลที่ถูกทิ้งทับถมกันบนดินจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อดินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะและสิ่งปฏิกูล กล่าวคือหากมีองค์ประกอบที่เป็นสารที่สลายตัวยากหรือไม่สลายตัวเลย หรือเป็นขยะพิเศษที่มีอันตราย เช่น มีโลหะหนักหรือเชื้อโรคปะปนอยู่ก็จะก่อให้เกิดมลพิษทางดินขึ้น แต่ถ้ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่มาก ก็จะช่วยทำให้ดินมีโครงสร้างและอินทรีย์วัตถุในดินมากขึ้น

2. ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ การทิ้งขยะลงในแม่น้ำลำคลองก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำอย่างมาก เพราะเป็นการเพิ่มขยะที่แขวนลอยและสารที่ละลายได้ในน้ำ และจะไปลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดการตื่นเงินของแม่น้ำลำคลองได้อีกด้วย

3. ผลกระทบต่ออากาศ จากองค์ประกอบทางเคมีของขยะและสิ่งปฏิกูล ซึ่งมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นอาหารชั้นดีของจุลินทรีย์ จะเกิดการบูดเน่าอย่างรวดเร็วในเขตร้อนชื้นเช่นในประเทศไทย ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจน ซัลไฟด์ มีเทน แอมโมเนีย ซึ่งเกิดในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนอันจะทำให้เกิดก๊าซเหม็น ก่อให้เกิดความรำคาญ และเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนได้

2.3.2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ

1. ผลกระทบต่อมนุษย์ ขยะมูลฝอยที่บูดเน่าได้ส่วนส่งกลิ่นเหม็นรบกวนต่อมนุษย์และสัตว์ ในขณะที่ขยะที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก สารพิษ รวมทั้งเชื้อโรค ล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดโทษต่อมนุษย์โดยตรงถ้าหากเข้าสู่ร่างกายได้ นอกจากนี้แล้วสารอินทรีย์จากเศษอาหารยังเป็นอาหารของแมลงวันและแมลงนำโรคต่าง ๆ มาสู่มนุษย์ซึ่งเป็นผลกระทบทางอ้อมที่มีต่อมนุษย์อีกด้วย

2. ผลกระทบต่อสัตว์ ขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์ ทั้งทางตรงและทางอ้อม กล่าวคือขยะมูลฝอยเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรคต่าง ๆ ซึ่งสามารถแพร่กระจายไปสู่สัตว์เลี้ยงและสัตว์อื่น ๆ ได้ในทางอ้อม นอกจากนี้ยังอาจทำให้ระบบนิเวศของสัตว์น้ำเลวลง เช่น ปลาหรือสัตว์น้ำอื่น ๆ อาจตายได้เนื่องจากขาดออกซิเจน

3. ผลกระทบต่อพืช กากขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเป็นกรดหรือด่างรุนแรง เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำอาจทำให้พืชป่าหรือพืชปลูกตายเป็นบริเวณกว้างบริเวณที่ฝังกลบ ซึ่งมีการจัดการที่ไม่ดีได้ ขณะที่มีองค์ประกอบที่สลายตัวยากหรือมีสารพิษต่าง ๆ เจือปนอยู่ เช่น โลหะหนัก ขยะเหล่านี้

ถูกพิษดูดขึ้นมาสะสมไว้ในคันพิษ พิษเหล่านั้นอาจไม่ได้รับผลกระทบเลย แต่ถ้าหากสัตว์หรือชาวบ้าน กินเข้าไปอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยได้

2.3.3. ผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจและสังคม

1. ผลกระทบทางเศรษฐกิจ เมื่อมีขยะมูลฝอยจำนวนมากก็จำเป็นต้องมีการกำจัดขยะมูลฝอยซึ่งทำให้เสียงบประมาณในการกำจัด นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาลเนื่องจากขยะมูลฝอยก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงกับที่ทิ้งขยะด้วย

2. ผลกระทบทางสังคม ขยะมูลฝอยทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัย และคุณภาพชีวิตของประชาชน ทำให้ชุมชนขาดความสวยงามและความเป็นระเบียบ เป็นเหตุรำคาญเนื่องจากกลิ่นเหม็นรบกวน

2.4. การบำบัดและกำจัดมูลฝอย

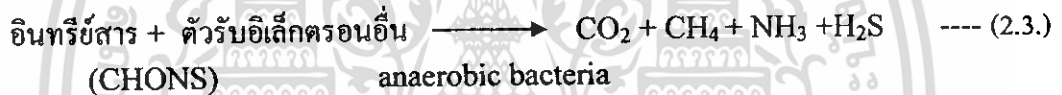
ก่อนที่จะกำจัดมูลฝอยทิ้งไปหรือนำมูลฝอยกลับไปใช้ประโยชน์อื่นๆ จะต้องทำการปรับปรุงสภาพหรือบำบัดสภาพของมูลฝอยให้ปราศจากความน่ารังเกียจ อันเนื่องมาจากสภาพที่มีกลิ่นเหม็นหรือเชื้อโรคและสารเคมีอันตรายทั้งหลายออกจากมูลฝอยเสียก่อน เพื่อให้อยู่ในสภาพที่ทำให้เกิดความปลอดภัยต่อสุขภาพอนามัย วิธีการที่ใช้ในการบำบัดและกำจัดมูลฝอยมีหลายวิธีได้แก่ การกองทิ้งกลางแจ้ง การนำไปเลี้ยงสัตว์ การหมักทำปุ๋ย การฝังกลบที่ถูกหลักสุขาภิบาล การเผาในเตาเผา ไพโรไลซิส การออกซิเดชันเปียก และการหมักในสภาพไร้อากาศ การจะเลือกใช้วิธีใดในการบำบัดและกำจัดมูลฝอยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ ส่วนประกอบและปริมาณของมูลฝอย สถานที่งบประมาณจะใช้ในการบำบัดและกำจัด บุคลากรที่ทำหน้าที่ในการควบคุมดูแลระบบบำบัดและกำจัดมูลฝอย

ระบบกำจัดขยะที่ปฏิบัติกันโดยทั่วไปมีอยู่ 7 วิธีได้แก่ การย่อยสลายตามกระบวนการธรรมชาติ การสร้างโรงงานเผาขยะ การนำไปเป็นอาหารสัตว์การนำกลับไปใช้ใหม่ การนำขยะไปทิ้งไว้ตามธรรมชาติ การฝังกลบที่ถูกสุขลักษณะ และการนำไปทิ้งทะเล แต่ปัจจุบันพบว่าวิธีกำจัดขยะที่เหมาะสมกับชุมชนของประเทศไทยอยู่เพียง 3 วิธีคือ การเผา การทำปุ๋ยหมัก และการฝังกลบ ซึ่งประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จะใช้วิธีฝังกลบ เนื่องจากต้นทุนในการกำจัดขยะมูลฝอยต่ำและจังหวัดใหญ่นิยมใช้วิธีนี้ การทิ้งขยะไว้บนดินก่อนที่จะทำการฝังกลบหรือการหมักขยะมีปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์มาเกี่ยวข้อง การเพิ่มประชากรของจุลินทรีย์อย่าง

รวดเร็วเมื่อมีสารอินทรีย์ที่ข่อยง่าย ทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจน ผลจากการหมักในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนนี้เองได้ก่อให้เกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น และปัญหาขังครอบคลุมพื้นที่กว้างมากด้วย แต่หากมีการฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกสุขลักษณะแล้วจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเหตุรำคาญอื่นๆ เช่น กลิ่น ควัน ฝุ่นละออง การปลิวของพลาสติก และอื่นๆ เนื่องจากการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะเป็นวิธีการทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยที่พื้นดินอย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลด้วยการเทขยะมูลฝอยลงไป เกลี่ยให้กระจาย แล้วใช้ดินหรือวัสดุอย่างอื่นที่มีดินปนอยู่อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์กลบแล้วบดทับให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง จึงไม่ก่อให้เกิดเหตุรำคาญและอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม

2.5. ปฏิกริยาเคมีการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition)

การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนในอากาศ ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (final products) ดังสมการที่ (2.3.)



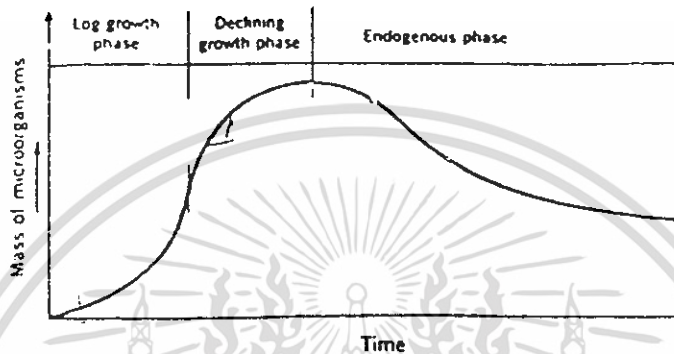
ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นก๊าซจะหายไป และส่งกลิ่นเหม็นที่กระจายไปไกล กระบวนการนี้เกิดขึ้นช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมาก ประมาณ 2-6 เดือนหรือถึง 1 ปี

2.6. ระบบหมักแบบ Batch

ระบบหมักแบบ Batch เป็นกระบวนการหมักแบบไม่ต่อเนื่อง โดยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบปิด ซึ่งมีปริมาณสารอาหารเริ่มต้นจำกัดโดยไม่มีการเติมสารอาหารใดๆลงไปอีก การเริ่มต้นระบบโดยใส่จุลินทรีย์ลงไป ในอาหาร ระยะแรกจะยังไม่มีการเพิ่มจำนวนของเซลล์จุลินทรีย์ เนื่องจากระยะนี้จุลินทรีย์กำลังปรับตัว เรียกระยะนี้ว่า "Lag Phase" ช่วงระยะนี้ต้องเร่งให้สั้นที่สุดโดยใส่เชื้อในอัตราที่เหมาะสม หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะมีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพราะมีอาหารเหลือเพื่อเรียกระยะนี้ว่า "Log Phase" อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระยะนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายอาหารของจุลินทรีย์เอง เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นอัตราการย่อยอาหารก็เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนเนื่องจากไม่มีการเติมเข้าไปอีก ทำให้จุลินทรีย์เติบโตช้าลงและบางส่วนจะตายไปแล้วจะถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอาหารให้กับจุลินทรีย์ที่เหลือ จนในที่สุดจุลินทรีย์ก็จะตายหมด

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เนื่องจากขาดแคลนสารอาหาร เรียกระยะนี้ว่า “Endogenous Phase” ดังในรูปที่ 2.1. ในบางครั้งจึงมีการเติมสารอาหารบางอย่างเป็นระยะ ๆ เพื่อให้จุลินทรีย์เติบโตได้ต่อไป โดยไม่มีการถ่ายอาหารเก่าออก และยังเป็น การป้องกันระบบล้มเหลวเนื่องจากขาดสารอาหาร เรียกถังหมักแบบนี้ว่า “Fed-Batch” การเติมสารอาหารเข้าไปจะเป็นแบบ Plug Flow คือการเคลื่อนที่ของสารอาหารอย่างสม่ำเสมอไปตามแนวความยาวถัง



รูปที่ 2.1. การเจริญเติบโตของแบคทีเรียตามระยะเวลา

ข้อดีของการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

1. ทำให้ของเสียเกิดการ Stabilization คือจะไม่มีการทำปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อได้มากกว่า
2. มีผลผลิตของมวลจุลินทรีย์ต่ำ เนื่องจากการสังเคราะห์สร้างเซลล์มีน้อย
3. ตะกอนที่เหลือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้
4. ความต้องการสารอาหารต่ำ
5. ไม่ต้องการเติมอากาศ
6. ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิต

ข้อเสียของการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

1. ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบนาน เนื่องจากปฏิกิริยาการตอบสนองของจุลินทรีย์เป็นไปอย่างช้าๆ
2. การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนเป็นไปได้ช้า
3. ต้องดูแลควบคุมระบบอย่างใกล้ชิดเป็นเวลานาน เนื่องจากความสัมพันธ์ของกลุ่มจุลินทรีย์ไม่คงที่มีกลิ่นเหม็น และมีสีดำเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน เป็นปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สาร โดยแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน สามารถแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอนซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) ปฏิกิริยาการแตกสลายสารโมเลกุลใหญ่ (hydrolysis) เป็นขบวนการแตกสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและอาจอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเศษพืชผัก และส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืชได้แก่ เช่น เซลลูโลส และลิกนิน แสดงดังตารางที่ 2.6. ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการย่อยสลายที่มีความสำคัญในสภาวะไร้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อเปลี่ยนขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสาร ทำให้แบคทีเรียสามารถนำสารอาหารผ่านผนังเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้โดยแบคทีเรียจะจับเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์เพื่อทำให้โมเลกุลใหญ่ ๆ เหล่านี้แตกตัวออกมาเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เอนไซม์ที่แบคทีเรียจับออกมา ได้แก่ cellulolytic, biolytic, proteolytic โดยเอนไซม์ cellulolytic จะทำหน้าที่ในขั้นวิกฤตที่สุด คือ ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนแตกตัวออกเป็นสารประกอบอย่างง่าย ๆ สารละลายและสารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมันสายยาว เป็นต้นแสดงดังรูปที่ 2.1. และรูปที่ 2.2.

ตารางที่ 2.6. แสดงองค์ประกอบทางเคมีของ solid waste

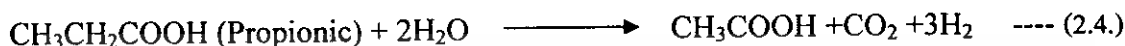
องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์คิดจากน้ำหนักแห้ง
Hemicelluloses	11.9
Cellulose	28.3
Liquids	-
Protein	28.75
Ash	24

หมายเหตุ * crude protein = total nitrogen x 6.25

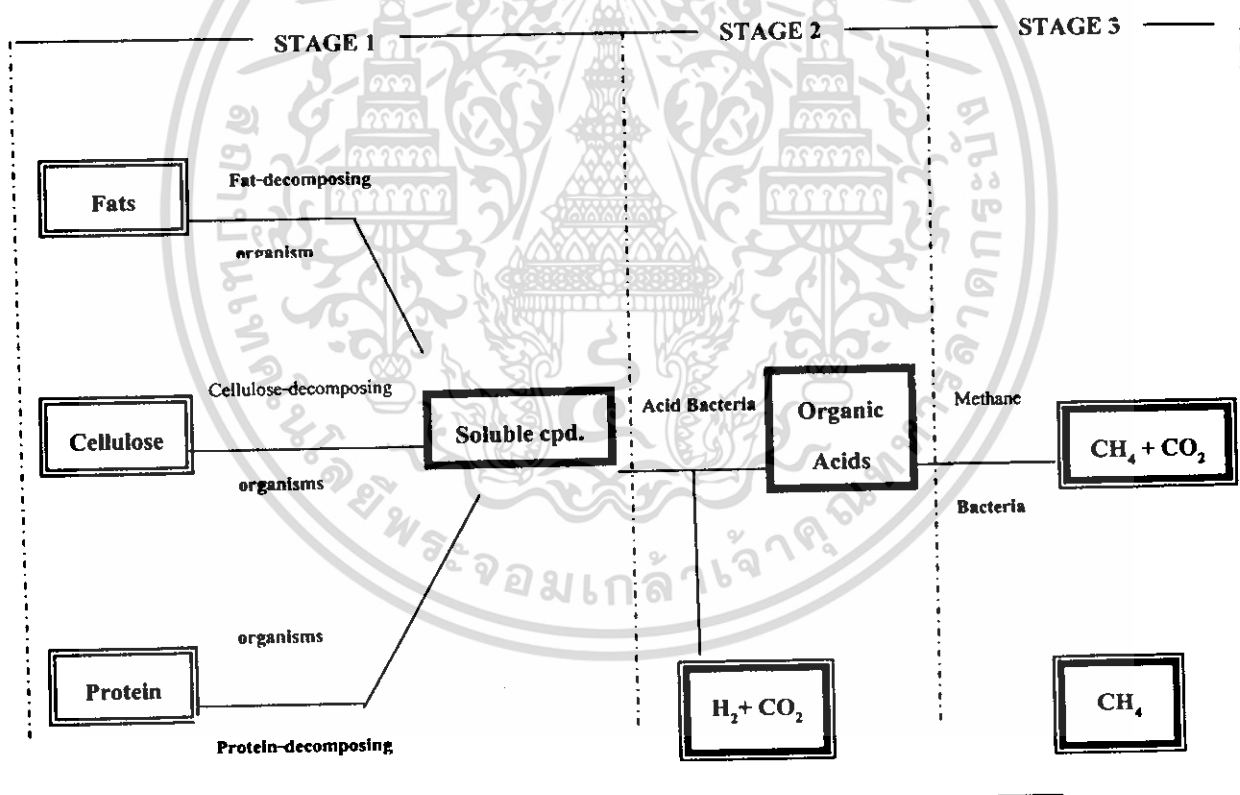
ที่มา : Huang และ Shih [1981]

2) การผลิตกรด (acidogenesis) สารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงนี้ จะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดที่เรียกว่า acid forming bacteria อาจจะเป็นพวก facultative หรือ anaerobes ก็ได้ โดยจะทำการย่อยสลายโมเลกุลสารอินทรีย์ที่แตกตัวจากขั้นตอนแรกให้เป็นกรด

อินทรีย์และสารอื่น ๆ เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่และใช้เป็นพลังงาน แบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ genera *Pseudomonas* *Flavobacterium* *Alcatigenei* *Escherichia* และ *Aerobacter* กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก (acetic acid) ซึ่งใช้เป็นสารอาหารในขั้นต่อไปและยังเกิดกรดโพรโอนิก (propionic acid) และกรดบิวทิริก (butyric acid) แต่แบคทีเรียพวก acetogenic bacteria จะทำหน้าที่เปลี่ยนกรดบิวทิริกและกรดโพรไพโอนิกเป็นกรดอะซิติกได้ดังสมการที่ (2.4.) และ (2.5.)



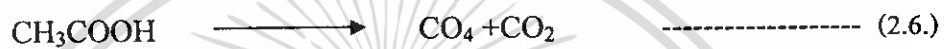
นอกจากนี้ยังพบว่า กรดอะซิติกเกิดมาจากอะซิเตต ซึ่งได้มาจากปฏิกิริยาร่วมกันของ คาร์บอนไดออกไซด์ CO_2 ริดักชันกับก๊าซไฮโดรเจน H_2 แสดงดังรูปที่ 2.2.



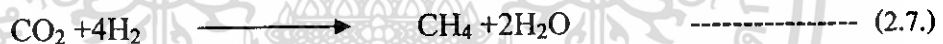
รูปที่ 2.2. การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน

[National Research Council , 1977]

3) การผลิตก๊าซมีเทน (methanogenesis) กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่สองจะถูกแบคทีเรียกลุ่ม ที่มีชื่อว่า methanogenic bacteria ทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้เกิดเป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียกลุ่มที่มีการเจริญเติบโตช้า สามารถเจริญได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น obligate anaerobic bacteria มีความไวต่อค่าพีเอชและมีจำนวนประชากรต่ำ ส่วนใหญ่ได้แก่ genera Methanobacterium Methanosarcina และ Methanococcus ขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนจำกัดของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนและมีสารอาหารบางชนิดที่ใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ ได้แก่ กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) เมทานอล (methanol) เอทานอล (ethanol) และก๊าซไฮโดรเจน แสดงได้ดังรูปที่ 2.3. โดย 70 เปอร์เซ็นต์ของมีเทนเกิดจากกรดอะซิติก ดังสมการที่ (2.6.)

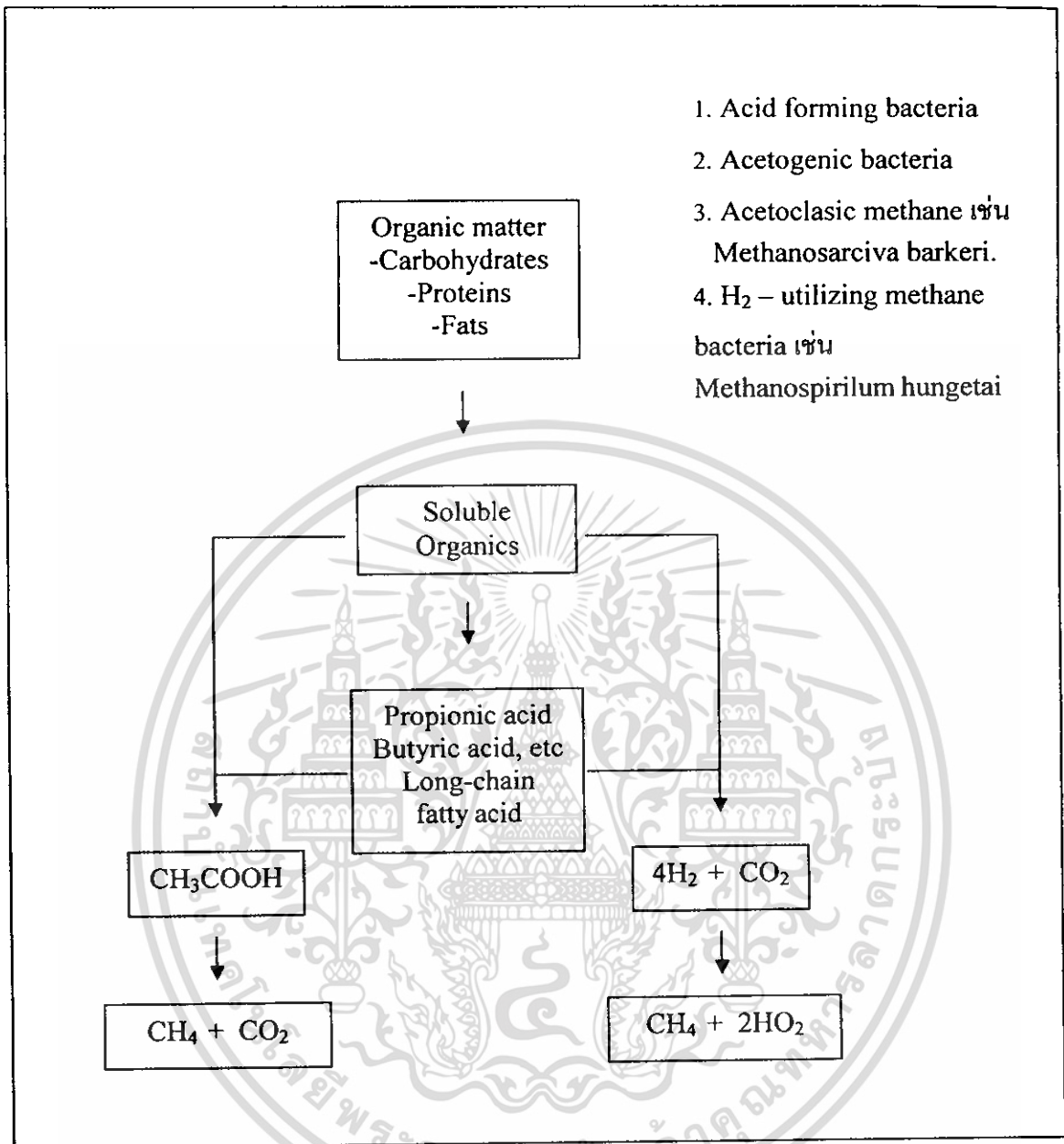


ส่วนที่เหลือ 1 ใน 3 เกิดจากการทำงานของ hydrogen utilizing methane bacteria เป็นผลจากการลดของก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการที่ (2.7.)



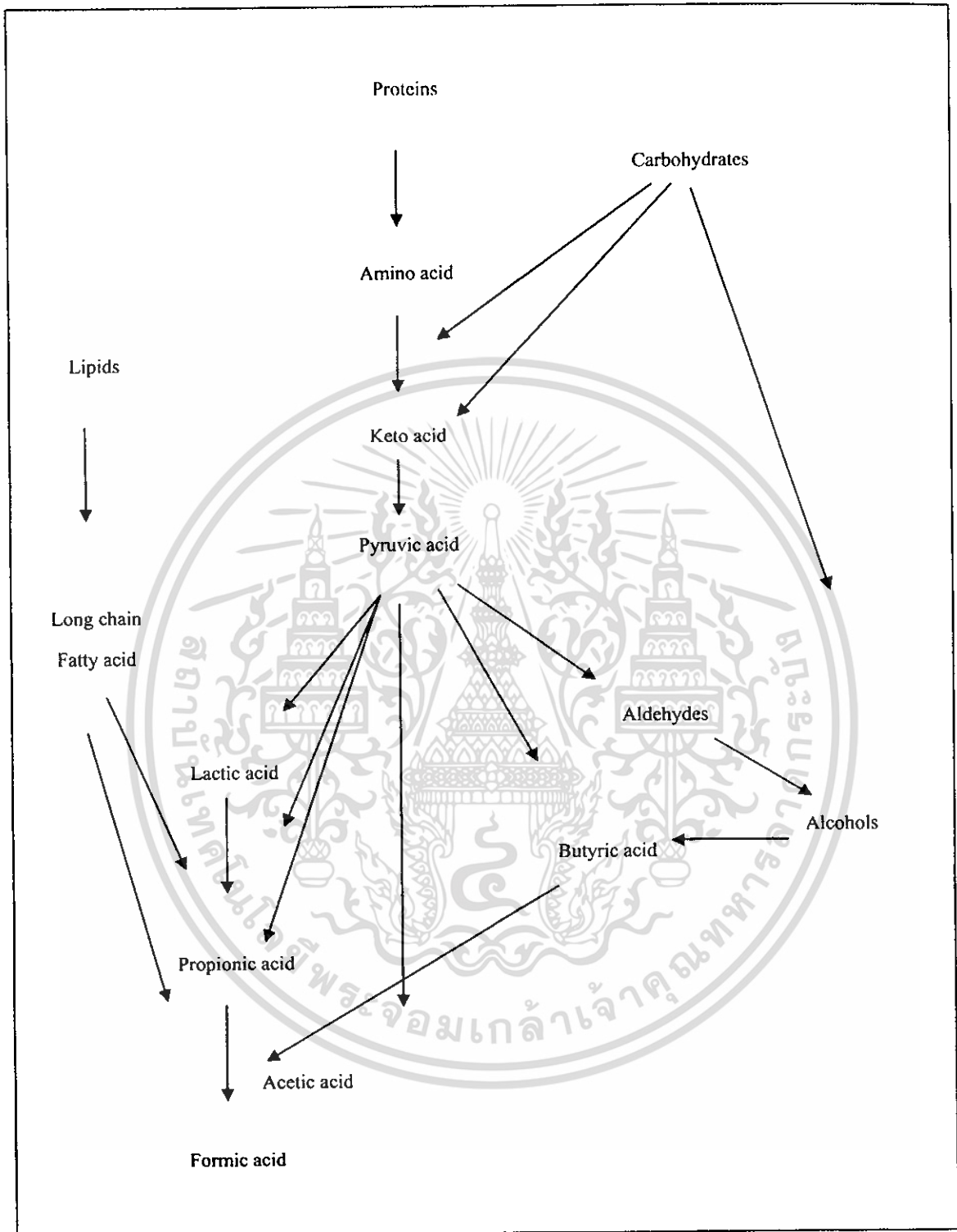
นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียพวกอื่นๆ ได้แก่ sulphate bacteria ซึ่งเปลี่ยนอนุมูลซัลเฟตให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และ denitrifying bacteria ซึ่งเปลี่ยนอนุมูลไนเตรดกับไนไตรท์เป็นไนโตรเจน

นอกจากนี้จากรูปที่ 2.4. - 2.5. ได้แสดงขั้นตอนการผลิตก๊าซชีวภาพและการผลิตกรดของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ



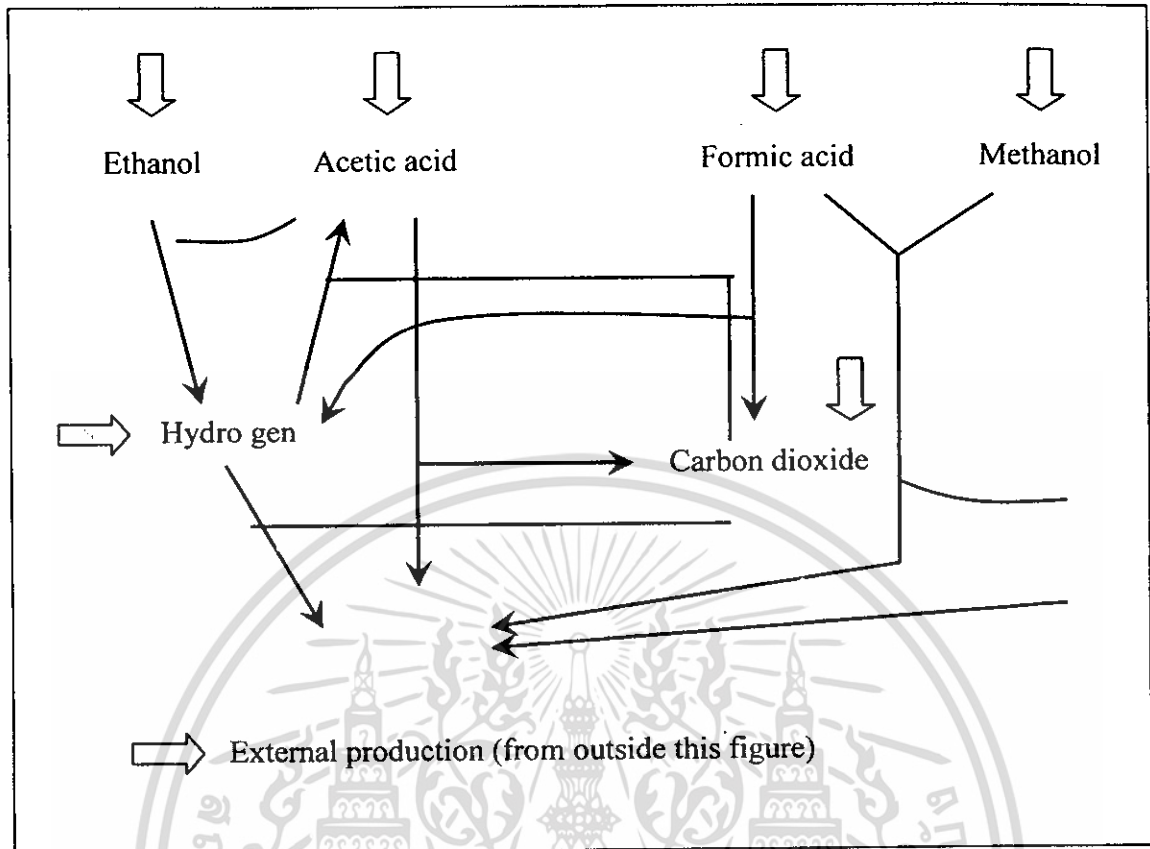
รูปที่ 2.3. แผนผังการทำงานของแบคทีเรียในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน

[Mosey และ Perkin, 1983]



รูปที่ 2.4. ขั้นตอนการผลิตกรดของแบคทีเรีย

[Henze และ Harremoe, 1982]



รูปที่ 2.5. ขั้นตอนการผลิตก๊าซของแบคทีเรีย

[Henze และ Harremoes, 1982]

2.7. ก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมักขยะแบบไร้ออกซิเจน

2.7.1. ชนิดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมัก

การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยที่ถูกฝังกลบนั้น จะเป็นแบบใช้อากาศในคอนแรกโดยใช้ออกซิเจนจากอากาศที่แทรกค้ำวอยู่ตามช่องว่างภายในบริเวณฝังกลบ ต่อมาเมื่อออกซิเจนที่มีอยู่หมด การย่อยสลายจะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้อากาศและจะเป็นแบบนี้ต่อไปเรื่อยๆ เชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศ ได้มาจากเชื้อที่มีอยู่ในดินที่ฝังกลบขยะมูลฝอยนั่นเอง ภายได้สภาพปกติพบว่าอัตราการย่อยสลายซึ่งวัดจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจะสูงสุดภายในช่วง 2 ปีแรกหลังจากนั้นจะย่อยสลายช้าลง ๆ เป็นเวลาต่อไปอีก 25 ปีหรือมากกว่า ก๊าซที่พบในบริเวณฝังกลบ ได้แก่ แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์

มีเทน และไฮโดรเจน ในก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนเป็นก๊าซที่เกิดขึ้นในปริมาณมากที่สุดที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน การนำเอาขยะหรืออินทรีย์สารฝังกลบในบ่อหมักเพื่อกำจัดขยะ แบบที่เรียกที่มีอยู่ในธรรมชาติจะใช้สิ่งปฏิภูลหรือขยะเหล่านั้นเป็นอาหารและย่อยสิ่งเหล่านี้ ผลที่ได้ออกมาส่วนใหญ่มักจะเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.7.

ตารางที่ 2.7. เปอร์เซนต์ของก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากขยะ

ส่วนประกอบของก๊าซที่เกิดจากขยะ	% โดยปริมาตร
คาร์บอนไดออกไซด์ CO ₂	20 – 90
มีเทน CH ₄	0 – 65
ไนโตรเจน H ₂	0 – 70
ออกซิเจน O ₂	<1 – 20
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ H ₂ S	<1
แอมโมเนีย NH ₃	<1
ไฮโดรเจน H ₂	<1

ที่มา : เกียรติไกร [2537]

การศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องกับ Buonicore และ Wayne ที่ศึกษาก๊าซที่ปลดปล่อยจากการฝังกลบขยะ (landfil gas) พบว่า องค์ประกอบหลักของ landfill gas ในสภาพไร้อากาศจะเกิด methanogenic phase ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นนี้จะประกอบด้วยมีเทน 50 เปอร์เซ็นต์และคาร์บอนไดออกไซด์ 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีแอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน ไฮโดรเจนคลอไรด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และ volatile organic compound (VOCs) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาในอดีต คือในช่วงแรกของการหมักจะเป็นขบวนการใช้ออกซิเจน ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความร้อนและผลผลิตของก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่คือก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อออกซิเจนในชั้นขยะหมดลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นในสภาพกึ่งไร้อากาศและมีสภาวะเป็นแบบไร้อากาศในที่สุด ก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดจากขบวนการก็คือ ก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดย 90 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซที่เกิดขึ้นจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ซึ่งตามทฤษฎีแล้วขยะ 1 ปอนด์

องค์ประกอบของก๊าซขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการอัดทับ ถ้าความหนาแน่นในการอัดทับมากจะเกิดก๊าซปริมาณมากต่อหน่วยปริมาตร และพบว่าขยะเปียกจะให้ปริมาณก๊าซมากกว่าขยะแห้ง กล่าวคือ ขยะเปียกและขยะแห้งจะทำให้เกิดก๊าซ 0.21 และ 0.035 ลูกบาศก์ฟุต ของน้ำหนักขยะแห้ง 1 ปอนด์ และยังพบอีกว่าปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณอากาศที่อยู่ในบริเวณหลุมฝังกลบ นอกจากนี้การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศสองขั้นตอนได้แสดงให้เห็นว่า ลักษณะการเกิดก๊าซจะเป็นแบบระฆังคว่ำ และมีระยะเวลาเก็บกักประมาณ 6-10 วัน ที่ทำให้อัตราการผลิตก๊าซสูงสุด จากการกำจัดขยะในเตาเผาโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนก็พบว่า เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักที่เพิ่มขึ้นมีค่าระหว่าง 61.61 - 63.39 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บกักเพิ่มขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 24.0 – 26.7 เปอร์เซ็นต์

2.7.2. คุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมักขยะ

1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และออกซิเจน 2 อะตอม มีน้ำหนักมากกว่าอากาศ มีน้ำหนักโมเลกุล 44.01 และความหนาแน่นเท่ากับ 1.9768 กรัมต่อลิตร (ที่ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) มีจุดเดือดที่ -78.5 องศาเซลเซียส สามารถละลายในน้ำได้ 88 มิลลิลิตรในน้ำ 100 มิลลิลิตร(ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ)
2. ก๊าซมีเทน (CH_4) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุล ประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 4 อะตอม เป็นก๊าซที่ปราศจากสีและกลิ่น มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ มีน้ำหนักโมเลกุล 16.04 และความหนาแน่นเท่ากับ 0.7167 กรัมต่อลิตร สามารถจุดไฟติดและจุดระเบิดได้ในที่มีออกซิเจน เปลวไฟมีสีน้ำเงินและให้ค่าความร้อน 7800 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร มีจุดเดือดที่ -161.61 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำ
3. ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) เป็นก๊าซที่ไม่มีสีที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน มีกลิ่นฉุนง่ายต่อการทำให้เป็นของเหลวโดยการใช้ความดัน น้ำหนักโมเลกุล 17.03 ความหนาแน่น 0.7708 ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ มีจุดเยือกแข็งที่ 77.7 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ -33.5 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีในน้ำ แอลกอฮอล์และอีเทอร์ สามารถจุดไฟติดที่อุณหภูมิ 1,204 องศาฟาเรนไฮต์

โดยสรุปแล้วถึงแม้ว่าจะมีปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันหลายกระบวนการ แต่จะมีปฏิกิริยาเดียวที่แสดงบทบาทเด่นในช่วงเวลาหนึ่ง และกระบวนการที่เหลือจะมีบทบาทในระดับต่ำ การตรวจวัดของมูลฝอยจะทราบเฉพาะกระบวนการย่อยสลายที่มีบทบาทเด่นในช่วงเวลานั้นเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายเป็นปฏิกิริยาแบบพลวัต

2.8. กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ใช้จุลินทรีย์หลายจำพวกในการย่อยสลาย ซึ่งสามารถแบ่งชั้นคอนได้เป็น 3 ชั้นคอน [Price and Cheremisinoff. 1981] ดังนี้

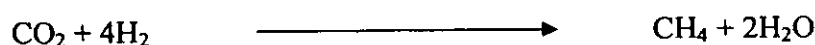
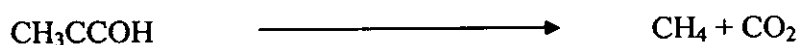
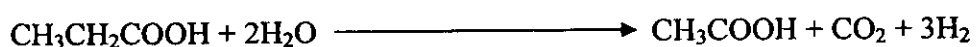
2.8.1. Hydrolysis

สารอินทรีย์ในสภาวะที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่จำพวกคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน ถูกแบคทีเรียจำพวก hydrolytic bacteria ปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ (extracellular enzyme) เพื่อย่อยสลายกลายเป็นโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว กรดอะมิโน เพปไทด์

2.8.2. Acidogenesis และ Acetogenesis

สารอินทรีย์จากชั้นคอนแรกจะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์และย่อยสลายภายในเซลล์ ทำให้ได้กรดอินทรีย์ โดยแบคทีเรียสร้างกรด (acidogenic bacteria) ซึ่งกรดอินทรีย์ที่ได้มีหลายชนิด เช่น กรดแอซีติก (acetic acid) กรดโพรพิโอนิก (propionic bacteria) กรดบิวทีริก (butyric acid) และกรดฟอร์มิก (formic acid) ซึ่งกรดอินทรีย์ที่ไม่ใช่กรดแอซีติกเหล่านี้ จะถูกเปลี่ยนให้เป็นกรดแอซีติกโดย acetogenic bacteria นอกจากนี้ยังได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนด้วย

Barker [1985] ได้เสนอขั้นตอนของปฏิกิริยาทางชีวเคมีของการเกิดก๊าซมีเทนไว้ดังนี้



2.8.3. Methanogenesis

ในขั้นตอนนี้แบคทีเรียจำพวก methanogen เช่น CO_2 – reducing methanogenic bacteria, acetoclastic methanogenic bacteria ทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์อันได้แก่ กรดแอสซิดิก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไฮโดรเจน โดยนำสารเหล่านี้ไปใช้เป็นสารอาหารและแหล่งพลังงาน การย่อยสลายในขั้นตอนนี้จะได้ผลิตภัณฑ์ที่สำคัญคือ ก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2.9. จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ

จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สารต่างๆ ในการผลิตก๊าซชีวภาพนี้ อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์หลายชนิด ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ๆ [Economic and Social Commission for Asia and the Pacific, 1984] คือ

2.9.1. Non Methanogenic Bacteria

เป็นจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอน hydrolysis และขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ จุลินทรีย์พวกนี้เจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 4.0 – 6.5 และส่วนใหญ่เป็นแบคทีเรียที่ดำรงชีวิตอยู่ได้ทั้งในสภาวะที่มีอากาศและไร้อากาศ (facultative anaerobic bacteria) ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงที่สภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี มีอัตราการเจริญเติบโตสูง แบคทีเรียในกลุ่มนี้ได้แก่ fermentative bacteria, hydrogen producing acetogenic bacteria และ homoacetogenic bacteria [Novase, 1986] ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.8.

2.9.2. Methanogenic Bacteria

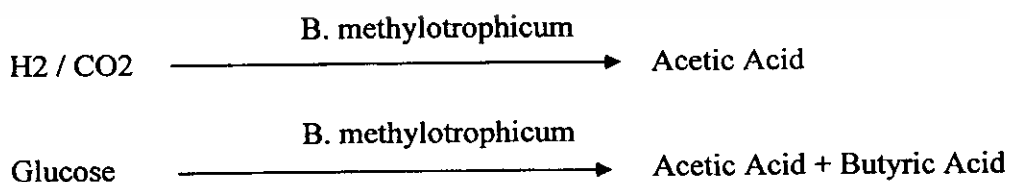
จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะเกี่ยวข้องกับขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกที่สามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ในสภาวะไร้อากาศเท่านั้น (obligate anaerobic bacteria) จุลินทรีย์เหล่านี้เจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอช 6.5 – 7.5 ถ้าพีเอชสูงกว่า 8 จุลินทรีย์จะหยุดทำงาน [Sprout et. al. 1985] และการผลิตก๊าซมีเทนจะลดลงเมื่อพีเอชต่ำลงด้วย มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาวะแวดล้อมได้น้อยกว่าพวกแรก และมีอัตราการเจริญเติบโตช้ากว่า ระยะเวลาในการแบ่งตัว (doubling time) อยู่ระหว่าง 4 – 6 วัน ตัวอย่างจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้แสดงไว้ในตารางที่ 2.9.

จุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้สามารถจำแนกเป็น 4 กลุ่มย่อย คือ

1. Fermentative bacteria ทำหน้าที่ในขั้นตอน hydrolysis และขั้นตอนการผลิตกรดอินทรีย์ จุลินทรีย์กลุ่มนี้จะผลิตเอนไซม์ออกมานอกเซลล์เพื่อย่อยสลายสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เช่น เซลลูโลส แป้ง โปรตีน และสารโมเลกุลใหญ่อื่น ๆ ให้เป็นสารที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงเช่น น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน สารต่าง ๆ เหล่านี้จะผ่านเข้าไปในเซลล์และถูกเปลี่ยนไปเป็นสารต่าง ๆ เช่น แอซิเตต (acetate) โพรพิโอเนต (propionate) แลกเตต (lactate) บิวทิเรต (butyrate) และเอทานอล (ethanol) เป็นต้น ผลผลิตที่ได้ในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและสภาวะที่จุลินทรีย์เจริญเติบโต ในสภาวะที่มีก๊าซไฮโดรเจนต่ำจุลินทรีย์จะผลิตสารอินทรีย์พวกแอซิเตต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไฮโดรเจน แต่ในสภาวะแวดล้อมที่มีก๊าซไฮโดรเจนสูงจุลินทรีย์จะผลิต โพรพิโอเนต แลกเตต และเอทานอล เป็นต้น จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แก่ แบคทีเรียที่อยู่ใน Family Streptococcaceae, Enterobacteriaceae Bacillaceae และ Lactobacillaceae [Holland et. al. 1987] แบคทีเรียเหล่านี้ พบว่ามีอยู่ประมาณ $10^8 - 10^9$ เซลล์ต่อมิลลิลิตร [Toerien et. al. 1967]

2. Hydrogen – producing acetogenic bacteria จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้จะทำหน้าที่ย่อยสลายโพรพิโอเนต เอทานอล และกรดอินทรีย์อื่น ๆ ที่มีโมเลกุลใหญ่กว่าแอซิเตตให้ได้เป็นแอซิเตต ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจน ตัวอย่างของแบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ *Syntrophomonas wolfei* และ *Syntrophus buswellii*

3. Homoacetogenic bacteria จุลินทรีย์ในกลุ่มนี้เป็นพวกที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในการเจริญเติบโต และผลิตแอซิเตตออกมาเพียงอย่างเดียว และถ้าใช้สารประกอบที่มีคาร์บอนหลายอะตอม เช่น กรดแลกติก ไพรูเวต เฮกโซส จะผลิตทั้งบิวทาเรตและแอซิเตตผสมกัน จุลินทรีย์ที่พบมากในกลุ่มนี้ คือ *Acetobacterium woodii*, *Butyribacterium methylotrophicum* และ *Clostridium thermoaceticum* [Novase. 1986]



ตารางที่ 2.8. แสดงจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

	Species	Substrate degraded	Fermentation products
1. Hydrolysis and acidogenesis			
<u>Aerobes</u>	<i>Pseudomonas</i>	nutritionally highly	
	<i>Micrococcus</i>	verlatiles	lactate
<u>Facultative</u>	<i>Bacillus</i>		
<u>Anaerobes</u>	<i>Streptococcus</i>	starch maltose	lactate
	<i>Lactobacillus</i>	numerous sugars	accectate
	<i>Escherichia</i>	numerous sugars	
	<i>Clostridia</i>		succinate, acetate
<u>Anaerobes</u>	<i>Runminococcus</i>	cellulose, cellobiose	ethanol, hydrogen
	<i>Bacteroides</i>	hemicellulose, pectin	formate
	<i>Butyrivibrio</i>	starch	butyrate, lactate
	<i>Megasphaera</i>	lactate, glucose	branched VFA hydrogen
	<i>Selenomonas</i>	other sugars	acetate, propionate, lactate, hydrogen
	<i>Desulfovibrio</i>	lactate, malate	acetate
	<i>Bifidobacteria</i>	proteins	VFA
	<i>Propionibacterium</i>	amino - acids	propionate
	<i>Peptostretococcus</i>		
	<i>Anaerovibrio</i>		
	2. Acetogenesis		
2.1 Hydrogen producing acetogenic			
<u>Bacteria</u>	<i>Desulfovibrio</i>		acetate
	<i>Selenomonas</i>	see above	(when associated with methanogens)
	<i>Runminococcus</i>		
	<i>Clostridium</i>		
		fatty acids	
		noutal ed products	
"S" microorganism			
	<i>Syntrophobacter wolinii</i>	monocarboxylic	acetate
	<i>Syntrophomonas wolfei</i>	C ₄ - C ₈ fatty acids	
2.2 Homoacetogenic bacteria			
	<i>Clostridium acetium</i>		
	<i>Clostridium formicoaceticum</i>		
	<i>Clostridium thermoautotrophicum</i>	CO, + H ₂	acetate
	<i>Acetobacterium woodii</i>		
	<i>Acetogenium kivui</i>		

ที่มา : Marty [1984]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.9. แสดงจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน

Species	Morphology	Substrates
Methanobacterum	long rods	H ₂ , formate
formicum	to	H ₂
bryantii	filaments	H ₂
thermoautotrophicum		
Methanobrevibacter	lancet - shaped	H ₂ , formate
ruminantium	cocci	H ₂ , formate
smithii	short rods	H ₂
arboriphilus		
Methanococcus	motile irregular	H ₂ , formate
vannielii	small	H ₂ , formate
voltae	cocci	H ₂ , formate
thermolithotrophicus	Pseudosarcina	H ₂ methanol
mazei		methylamines, acetate
Methanomicrobium	motile short	H ₂ , formate
mobile	rods	
Methanobacterium	motile irregular	H ₂ , formate
cariaci	small cocci	H ₂ , formate
marisnigri		
Methanospirillum	moule regular	H ₂ , formate
hungatai	curved rods	
Methanosarcina	irregular cocci	H ₂ , acetate
barkeri	as single cells	methanol
	packets, pseudoparenchyma	methylamines
Methanothix	rods to	acetate
soehngenii	lons filaments	
Methanogchemus	non - motile	H ₂
fervidus	rods	

ที่มา : Taylor [1982]

4. Methanogenic bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน จุลินทรีย์กลุ่มนี้เป็นพวก obligate anaerobe คือสามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะไร้อากาศเท่านั้น จุลินทรีย์เหล่านี้จะสลายแอสिटเตด ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จนได้ผลผลิตสุดท้ายอยู่ในสถานะก๊าซ จุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทนจะใช้สารอินทรีย์ง่าย ๆ และสารประกอบอนินทรีย์เป็นสับสเตรท จุลินทรีย์กลุ่มนี้สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งในช่วงอุณหภูมิปานกลาง (15 – 40 องศาเซลเซียส) และช่วงอุณหภูมิสูง (55 – 65 องศาเซลเซียส) พีเอชที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตและการผลิตก๊าซมีเทนจะอยู่ในช่วง 6.8 – 7.2

Methanogenic bacteria สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ CO₂ – reducing methanogen (methanogen ที่สร้างก๊าซมีเทนจากการรีดิวซ์ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยไฮโดรเจน) และ acetogenic methanogen (methanogen ที่สร้างก๊าซมีเทนจากหมู่เมทิลในโมเลกุลของแอสिटเตด) ตัวอย่างของจุลินทรีย์ในกลุ่มนี้ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.9. เฉพาะแบคทีเรียสกุล Methanothrix และ Methanosarcina สามารถใช้เมทานอล เมทิลลามีน และแอสिटเตด แต่ไม่ใช่ฟอร์มेट นอกจากนี้ยังสามารถใช้คาร์บอนไดออกไซด์ได้เล็กน้อย [Holland et. al. 1987]

2.10. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

เนื่องจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศ ประกอบด้วยแบคทีเรีย 2 ชนิดคือ พวกที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรด และพวกที่ทำหน้าที่ในการสร้างก๊าซมีเทน ดังนั้นเพื่อควบคุมระบบให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องทำให้แบคทีเรียต่าง ๆ เหล่านี้ อยู่ในสภาวะสมดุลกันซึ่งขึ้นกับปัจจัย 2 ประการคือ ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม (environmental factor) และปัจจัยทางด้านการทำงาน (operational factor) [Lawrence. 1971]

2.10.1. ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม

1. พีเอช

พีเอช (pH) เป็นสิ่งที่ใช้บ่งชี้สภาวะภายในถังหมักไร้อากาศได้ แต่ปัญหาถือเป็นค่าที่เปลี่ยนแปลงช้า ในขณะที่กรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มมากขึ้น แต่ค่าพีเอชกลับเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย อันเนื่องมาจากผลของการบัฟเฟอร์ของความเป็นค่าภายในถังหมัก ดังนั้นการใช้ค่าพีเอชสำหรับการแก้ไขสภาวะภายในถังหมักอาจจะไม่ทันการ เมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่

เกิดขึ้น แต่อย่างไรก็ตามค่าพีเอชก็ยังเป็นสิ่งสำคัญในการควบคุมระบบการหมักแบบไร้อากาศ ดังรายงานของ Barker [1941] และ McCarty [1964] ที่กล่าวว่าระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6 ถึง 7.6 หรือต่ำกว่านี้คือ พีเอชเท่ากับ 6.4 [Barker. 1956] แต่ค่าที่เหมาะสมจะอยู่ประมาณ 7.0 – 7.2 ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Heukelekian and Heinemann [1939] ; Andrews [1969] นอกเหนือจากช่วงพีเอชดังกล่าวแล้วการหมักแบบไร้อากาศจะมีประสิทธิภาพลดลง และที่พีเอช 6.2 และต่ำกว่านี้การทำงานของระบบจะล้มเหลวเพราะไฮโดรเจนไอออน(H^+) จะกลายเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่ผลิตก๊าซมีเทน ซึ่ง McCarty and McKinney [1961a] ได้จัด H^+ ไว้อยู่ในพวกแคตไอออนที่เป็นพิษ

2. ความเป็นด่าง

เป็นเครื่องบ่งชี้ถึงปริมาณ buffering capacity ของระบบซึ่งมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช [สุรพล. 2530] สำหรับค่าความเป็นด่างไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้มีความสามารถในการบัพเฟอร์อย่างเพียงพอ อยู่ในช่วงระหว่าง 2,500 – 5,000 mg/l [Graef and Andrews. 1974]

3. ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย

ปริมาณกรดไขมันระเหยง่าย มีความสำคัญในการตรวจสอบสถานะสมดุลของระบบ กรดไขมันระเหยง่ายเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียจำพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูกแบคทีเรียกลุ่มสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารแหล่งพลังงาน ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายจะมีส่วนสำคัญต่อค่าพีเอชของระบบ คือเมื่อมีปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายสูงขึ้นพีเอชจะต่ำลง สำหรับระบบที่มีความเสถียรของกรดไขมันระเหยง่ายไม่ควรเกิน 4,000 mg/l [สุรพล. 2530]

Buswell and Mueller [1952] กล่าวว่ากรดไขมันระเหยง่ายภายในถังหมักจะต้องไม่เกิน 2,000 mg/l ถ้ามีค่าเกินนี้จะมีผลทำให้ปริมาตรก๊าซลดลง และอาจจะยับยั้งขั้นตอนการเกิดมีเทนโดยไม่คำนึงถึงพีเอชเลยและการเติมด่างเข้าไปก็ไม่ช่วยให้ดีขึ้น

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นสิ่งสำคัญในระบบการหมักไร้อากาศ เนื่องจากในขณะที่ยุณหภูมิเพิ่มขึ้น อัตราการทำปฏิกิริยาก็จะเร็วขึ้นด้วย [Pfeffer. 1974 ; Cooney and Wise. 1975 ; Therkelson and Carlson. 1979] ทำให้ระยะเวลาในการหมักลดลง

อุณหภูมิที่ใช้ในการหมักแบบไร้อากาศ แบ่งได้เป็น 2 ช่วงคือ

- Mesophilic temperature อุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 21 – 40 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงนี้คือ 35 – 40 องศาเซลเซียส

- Thermophilic temperature อุณหภูมิจะอยู่ระหว่าง 40 – 60 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วงนี้คือ 53 – 60 องศาเซลเซียส

มีรายงานว่า การย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ สามารถเกิดขึ้นตั้งแต่ช่วงอุณหภูมิ 0 – 55 องศาเซลเซียส แต่เพื่อความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ถึงหมักจึงควรทำงานในช่วง mesophilic และ thermophilic เท่านั้น [สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2524] การหมักในช่วงอุณหภูมิสูงจะดีกว่าการหมักในช่วงอุณหภูมิต่ำ เช่น การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส จะสูงกว่าการย่อยสลายในช่วง 35 องศาเซลเซียส อยู่ 1.9 เท่า [Bryant. 1979] แต่ระบบหมักที่อุณหภูมิสูงมีข้อเสียคือ thermophilic bacteria ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่า mesophilic bacteria การควบคุมระบบจึงมีความเสี่ยงสูงต่อการล้มเหลวของระบบ และยังมีสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักให้ได้ 55 องศาเซลเซียส

5. สารอาหาร

แบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ ต้องการสารอาหารหลายชนิด ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ สารอาหารหลัก (macronutrient) และสารอาหารรอง (micronutrient หรือ trace element) โดยสารอาหารหลักได้แก่ คาร์บอน (C) ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) โดยแบคทีเรียต้องการคาร์บอนในส่วนของสารสังเคราะห์พลังงาน ส่วนไนโตรเจนจะเป็นสารอาหารในการสังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารที่สำคัญในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก [McCarty and McKinney. 1961b ; Gosh et. al. 1978] พบว่าแบคทีเรียต้องการสารอินทรีย์ในอัตราส่วน C:N ประมาณ 20 – 30 : 1 ส่วนสารอาหารรองได้แก่ แคลเซียม (C)

แมกนีเซียม (Mg) สังกะสี (Zn) แมงกานีส (Mn) ทองแดง (Cu) โคบอลต์ (Co) เหล็ก (Fe) และนิเกิล (Ni) หน้าที่ของสารอาหารรองได้แสดงไว้ในตารางที่ 2.10.

ตารางที่ 2.10. แสดงปริมาณสารอาหารที่จำเป็น

สารอาหาร	ความเข้มข้น (g/l)	ผล
Fe ²⁺	0.2	ต่อโครงสร้างฟิล์มชีว (biofilm) การตกตะกอนของซัลไฟด์
Ni ²⁺	0.01	สร้าง F420 Co factor ในพวก methanogen
	0.006	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
SO ₄ ²⁻	0.02	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์
CO ²⁺	0.03	เพิ่มกิจกรรมของจุลินทรีย์

ที่มา : สุรพล [2530]

6. สารพิษ

สารบางอย่างถ้ามีในถังมากเกิน ไปจะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ซึ่งระดับความเป็นพิษจะขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารพิษ ตัวอย่างของสารพิษต่าง ๆ มีดังนี้

6.1. กรดไขมันระเหยง่าย

กรดไขมันระเหยง่ายมีผลต่อจุลินทรีย์ในถังหมักแบบไร้อากาศ เพราะกรดไขมันระเหยง่ายมีผลต่อค่าพีเอชภายในถังหมัก แต่เดิมพบว่ากรดไขมันระเหยง่ายมีความเข้มข้นมากกว่า 2,000 mg/l จะเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ผลิตก๊าซมีเทน ทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนลดน้อยลง McCarty and McKinney [1961b] ได้ทำการทดลองพบว่าแม้มีกรดไขมันระเหยง่ายอยู่สูงถึง 10,000 mg/l ในรูปกรดแอสติกจะไม่เป็นพิษโดยตรงต่อแบคทีเรีย ถ้ามีปริมาณของสารที่จะปรับสภาพ (buffering capacity) เพียงพอ ถ้ามีไม่เพียงพอจะมีผลทำให้พีเอชลดต่ำลง จนแบคทีเรียไม่สามารถทนอยู่ได้

6.2. แคตไอออนของโลหะเบา

กรดไขมันระเหยง่ายที่ผลิตขึ้นจะมีผลทำให้พีเอชลดลง การควบคุมจึงเกี่ยวข้องกับการเติมเบสเพื่อรักษาพีเอชให้เป็นกลาง ในการทำเช่นนี้ต้องระวังเพราะแคตไอออนของโลหะเบาที่เกี่ยวข้องกับเบสเกือบทั้งหมดสามารถมีผลเป็นพิษต่อแบคทีเรีย ความเป็นพิษของมันมีปฏิกิริยาที่ซับซ้อน แคตไอออนเหล่านี้ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียม โดยขึ้นอยู่กับปริมาณของแคตไอออนด้วยว่ามีปริมาณมากน้อยเพียงใด ดังแสดงในตารางที่ 2.11.

ตารางที่ 2.11. แสดงความเข้มข้นที่กระตุ้นและยับยั้งของแคตไอออนโลหะเบา

แคตไอออน	ความเข้มข้น (mg/l)		
	กระตุ้น	เริ่มยับยั้ง	ยับยั้งอย่างรุนแรง
Na ⁺	100-200	3500-5500	8,000
K ⁺	200-400	2500-4500	12,000
Ca ²⁺	100-200	1500-4500	8,000
Mg ²⁺	75-150	1000-4500	3,000

ที่มา : McCarty [1964]

ความเป็นพิษของแคตไอออนแต่ละชนิดจะรุนแรงไม่เท่ากัน แคตไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 1 จะมีพิษต่อแบคทีเรียน้อยกว่าแคตไอออนที่มีวาเลนซ์เท่ากับ 2 ซึ่งพิษของ Ca⁺⁺ และ Mg⁺⁺ จะมากกว่าพิษของ Na⁺ และ K⁺ ถึง 10 เท่า ดังนั้นพิษของแคตไอออนจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีวาเลนซ์สูงขึ้น

ความเป็นพิษของแคตไอออนนั้นสามารถลดลงได้กล่าวคือ เมื่อมีแคตไอออนที่ซึ่งเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดไม่ใช้ออกาซอยู่ชนิดหนึ่ง ถ้ามีแคตไอออนอีกชนิดหนึ่งอยู่ด้วยจะทำให้ความเป็นพิษของแคตไอออนชนิดแรกลดลงได้ ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า antagonism แต่ในทางตรงกันข้าม แคตไอออนบางชนิด จะไปเพิ่มพิษของอีกชนิดหนึ่งเมื่ออยู่ร่วมกัน ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่า synergism ดังแสดงในตารางที่ 2.12.

ตารางที่ 2.12. แสดงแคตไอออนเพิ่มความเข้มข้นและเป็นพิษและแคตไอออนลดความเป็นพิษ

แคตไอออน	ความเป็นพิษ synergism	ลดความเป็นพิษ (antagonism)
แอมโมเนีย (N)	Ca Mg K	Na
Ca	แอมโมเนีย (N) Mg	K Na
Mg	แอมโมเนีย (N) Mg	K Na
K	-	K Na
Na	แอมโมเนีย (N) Ca Mg	K

ที่มา : EPA [1979]

6.3. โลหะหนัก

โลหะหนักเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่เรียกชื่อตามความเข้มข้นต่ำมาก ๆ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2.13. ความเป็นพิษอย่างรุนแรงนี้ไม่จำเป็นว่าจะทำให้เกิดปัญหาในถังหมักแบบไร้อากาศ เพราะว่าส่วนที่ละลายเท่านั้นที่เป็นพิษ และความเข้มข้นละลายของโลหะหนักสามารถลดลงจนไม่เป็นพิษ โดยการตกผลึกด้วยซัลไฟด์ [Lawrence et. al. 1964] ถ้าซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นเองไม่เพียงพอควรเติมเฟอร์รัสซัลเฟต [Lawrence and McCarty. 1965] โดยวิธีนี้ซัลไฟด์ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกดึงออกจากสารละลายโดยเหล็ก ถ้ามีโลหะหนักเพิ่มขึ้นในถังหมักจะเกิดการดึงซัลไฟด์จากเหล็ก เนื่องจากเหล็กซัลไฟด์ละลายได้มากที่สุดในกลุ่มโลหะหนักซัลไฟด์ทราบเท่าที่เอชมากกว่า 6.4 เหล็กที่ถูกปล่อยออกมาจะตกผลึกในรูปเหล็กคาร์บอเนต ดังนั้นจึงกันความเป็นพิษจากเหล็กละลายได้

ตารางที่ 2.13. แสดงความเข้มข้นของโลหะหนักที่เป็นพิษต่อการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

โลหะหนัก	ความเข้มข้น (mg/l)		
	ขั้วยังการทำงาน	เป็นพิษ	หยุดการทำงาน
Cr ³⁺	130	260	<200
Cr ⁶⁺	110	420	<180
Cu	40	70	<50
Ni	10	30	>30
Cd	-	>20	>10
Pb	340	>340	>250
Zn	400	600	<1,700

ที่มา : Hayes and Theis [1978]

6.4. ก๊าซบางชนิด

ก. **ซัลไฟด์** ซึ่งซัลไฟด์ที่มีอยู่ในระบบกำจัดแบบไร้อากาศเกิดจากซัลไฟด์ที่มีอยู่ในน้ำทิ้งที่เข้าสู่ระบบกำจัดหรือเกิดจากการย่อยสลายของจุลชีพ ซึ่งการย่อยสลายซัลเฟตหรือการย่อยสลายโปรตีนซัลไฟด์ละลายเท่านั้นที่เป็นพิษเพราะเข้าถึงเซลล์ โลหะหนักทำปฏิกิริยากับซัลไฟด์สร้างผลึกที่ไม่ละลายขึ้น ดังนั้นการเติมโลหะเช่น เหล็กสามารถลดความเป็นพิษของซัลไฟด์ละลาย ซัลไฟด์สามารถแยกออกในรูปก๊าซ H₂S ดังนั้นความเข้มข้นของซัลไฟด์ละลายขึ้นอยู่กับพีเอชของของเหลวและส่วนประกอบของก๊าซ สำหรับการตรวจสอบผลความเป็นพิษที่เป็นไปได้ต้องพิจารณาปัจจัยเหล่านี้ทั้งหมด [Lawrence et. al 1964] และ McCarty [1964] พบว่าแบคทีเรียซึ่งไม่ใช้อากาศสามารถทนต่อซัลไฟด์ที่ละลายน้ำที่ความเข้มข้น 50 – 100 mg/l ได้และที่ความเข้มข้น 200 mg/l ถ้าได้มีการทำให้คุ้นเคย (acclimation) ก่อน แบคทีเรียจะสามารถทนได้ แต่ถ้าความเข้มข้นมากกว่า 200 mg/l จะเป็นพิษต่อแบคทีเรีย

ข. **แอมโมเนีย** ซึ่งแอมโมเนียเป็นอีกสารหนึ่ง ที่เกิดจากการย่อยสลายสาร อินทรีย์แบบไร้อากาศซึ่งสามารถเป็นพิษต่อแบคทีเรีย แอมโมเนียมาจากการย่อยสลายโปรตีน ซึ่งไนโตรเจนอาจจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียไอออน (NH₄⁺) หรือก๊าซแอมโมเนีย (NH₃) โดยทั้งสองตัวนี้จะเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาได้ ขึ้นอยู่กับพีเอชด้วย ซึ่งถ้าพีเอชต่ำกว่า 7.2 จะมี NH₄⁺ มากกว่าถ้าพีเอชสูงกว่า 7.2 จะมี

NH₃ มากกว่า ซึ่งจะขัดขวางการทำงานและเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจนมากกว่า NH₄⁺ แอมโมเนียเมื่ออยู่ในรูปของ NH₃ จะขัดขวางเมื่อมีความเข้มข้นสูงเพียงพอซึ่งอยู่ระหว่าง 1,500 – 3,000 mg/l ที่พีเอชสูงกว่า 7.2 แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 3,000 mg/l แล้ว NH₃ เพียงอย่างเดียวจะเป็นพิษรุนแรงไม่ว่าพีเอชจะเท่าใดก็ตาม [McCarty. 1964]

2.10.2. ปัจจัยทางด้านการทำงาน

1. ระยะเวลาเก็บกัก

เป็นปัจจัยที่มีสำคัญอย่างหนึ่งในการควบคุมประสิทธิภาพกระบวนการหมักก๊าซชีวภาพ อัตราการย่อยสลายในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ จะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการเก็บกักอินทรีย์สาร จนถึงค่าสูงสุดค่าหนึ่ง ต่อจากนั้นก็ลดลง แต่ถ้าระยะเวลาเก็บกักน้อยเกินไปจะมีผลทำให้ตะกอนแบคทีเรียหลุดออกจากระบบได้มาก จนกระทั่งถึงขั้นหนึ่งที่แบคทีเรียถูกล้างออกจากระบบในอัตราที่เร็วกว่าแบคทีเรียจะเพิ่มจำนวนขึ้นซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบล้มเหลว นอกจากนี้ระยะเวลาเก็บกักจะเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบระบบการหมัก กล่าวคือระยะเวลาเก็บกักเป็นระยะเวลาที่ของเสียอยู่ในถังหมัก สามารถหาได้โดยการหารปริมาณถังหมักด้วยปริมาณของของเสียที่เติมลงในถังหมักต่อหน่วยเวลา [สุพรรณณี. 2536]

2. อัตราการป้อนอินทรีย์สาร

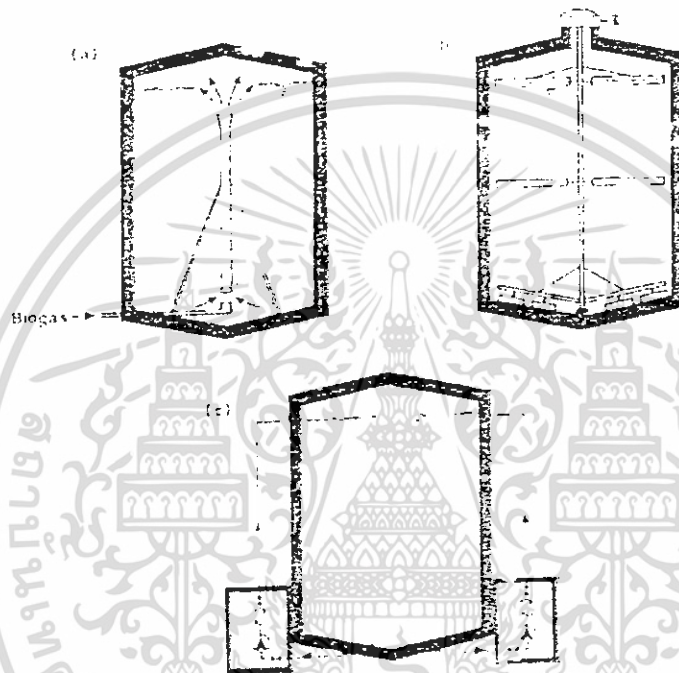
เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญที่สุดที่กำหนดความสามารถในการบำบัดน้ำเสีย การปรับอัตราการป้อนอินทรีย์สารให้มีค่าแตกต่างกัน ทำได้โดยการเปลี่ยนอัตราการไหลของของเสียที่ไหลผ่านถังหมักหรือเปลี่ยนค่าความเข้มข้นของของแข็งหรือความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ใส่เข้าไป ซึ่งการเปลี่ยนอัตราการป้อนอินทรีย์สารจะมีผลต่อระยะเวลาการเก็บกัก [สุพรรณณี. 2536]

3. การกวน

การกวนเป็นปัจจัยสำคัญในระบบการย่อยสลายแบบไร้อากาศ เนื่องจากทำให้เกิดการสัมผัสระหว่างสารอาหารกับจุลินทรีย์ เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบด้วย และป้องกันการเกิดการสะสมของอินทรีย์สารตามจุดต่าง ๆ ของถังหมัก และทำให้ของเหลวภายในถังหมักมีสภาพเป็นเนื้อเดียวกัน

กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมักมีหลายวิธีดังแสดงในรูปที่ 2.6.

- a. ใช้การสูบผ่านท่อ (pumping tube)
- b. ใช้เครื่องกวน (mechanical mixing)
- c. หมุนเวียนตะกอนด้วยปั๊ม (recycling of sludge by pump)



รูปที่ 2.6. กรรมวิธีในการกวนของเหลวในถังหมัก

[Hobson and Wheatley , 1993]

2.11. ระบบถังหมักแบบไร้อากาศ

เพ็ชรพร [2537] ได้แบ่งชนิดและประเภทของถังหมักแบบไร้อากาศดังนี้

2.11.1. ถังหมักไร้อากาศแบบธรรมดา

ระบบถังหมักไร้อากาศแบบธรรมดาคือเป็นระบบที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ในการย่อยสลายตะกอนจากระบบตะกอนเร่ง (activated sludge) ระบบกำจัดประกอบด้วยถังหมักซึ่งส่วนใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

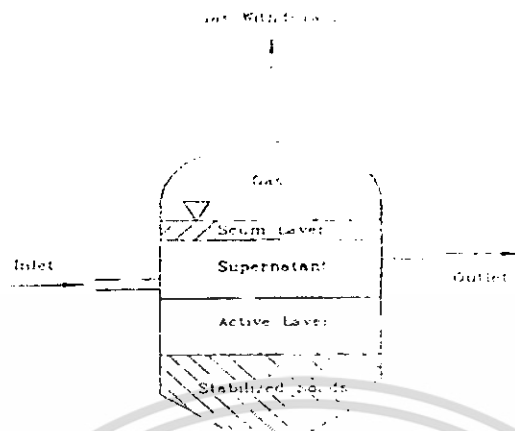
เป็นคอนกรีตมีฟิวัดเพื่อเก็บความร้อน กลิ่นและก๊าซเพื่อระบายก๊าซจากระบบ ระบบถังหมักแบบ
ธรรมดา มี 2 แบบคือ

1. ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราจำกัดค่า

ภายในถังไม่มีเครื่องกวน ทำให้ตะกอนหนักจมลงก้นถัง ตะกอนเบาลอยอยู่ชั้นบน
ชั้นตะกอนเบาจะหนาหลายฟุตซึ่งเป็นการลดปริมาตรถัง และทำให้เกิดการลัดวงจร (short circuit)
ได้ง่ายอีกด้วย ของเหลวและตะกอนในถังหมักจะแยกออกเป็น ส่วน ๆ ได้แก่ (1)scum layer เป็นชั้น
ของตะกอนที่ลอยตัว เนื่องจากมีรูพรุนหรือมีฟองก๊าซเกาะอยู่ (2)supernatant เป็นชั้นของน้ำที่ตะกอน
แยกตัวออก (3)active layer เป็นชั้นที่มีการย่อยสลายตะกอน แบคทีเรียส่วนใหญ่จะเจริญเติบโตใน
ชั้นนี้ และ (4)stabilized solids เป็นตะกอนที่ย่อยสลายแล้ว และตกลงสู่ก้นถัง ส่วนก๊าซที่เกิดขึ้นจาก
กระบวนการย่อยสลายซึ่งส่วนใหญ่เป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์จะลอยสู่ด้านบนของถังซึ่ง
จะช่วยขยาย active layer ทำให้การย่อยสลายตะกอนเป็นไปอย่างรวดเร็ว แสดงผังรูปที่ 2.7.

2. ถังหมักไร้อากาศชนิดอัตราการจำกัดสูง

ภายในถังมีเครื่องกวนเพื่อให้เกิดการผสมอย่างทั่วถึง (completely mixed) ในถังแบบ
นี้มีการลัดวงจร (short circuit) น้อยลง ทำให้ระยะเวลาเก็บกักน้ำทิ้งที่จำเป็นน้อยลง และประสิทธิภาพ
ดีเนื่องจากจุลชีพสัมผัสกับของเสียได้ทั่วถึงยิ่งขึ้น แต่ น้ำเสียที่ออกจากถังหมักชนิดนี้จำเป็นต้องมีการ
แยกตะกอนจุลชีพออกก่อน สามารถลดปริมาณของแข็งทั้งหมดได้ประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะ
เปลี่ยนไปในรูปก๊าซชีวภาพและตะกอนที่ย่อยแล้ว จะมีความเข้มข้นประมาณครึ่งหนึ่งของตะกอนที่ยัง
ไม่ผ่านการบำบัด เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลชีพชนิดไม่ใช้ออกซิเจนนั้นช้ามาก ดังนั้นจึงต้องการ
ระยะเวลาเก็บกักน้ำนานประมาณ 10 – 30 วัน แสดงผังรูปที่ 2.8. และ 2.9.

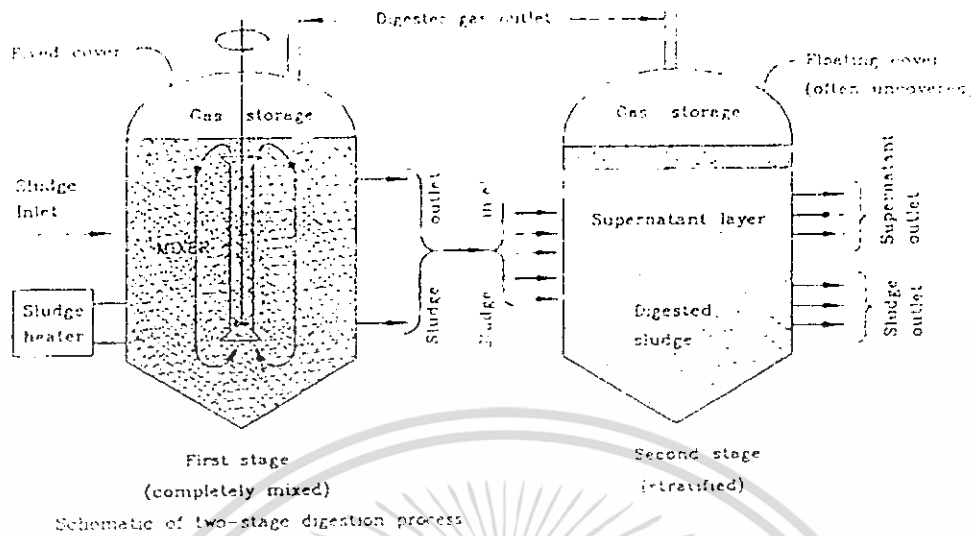


รูปที่ 2.7. ถังหมักอากาศแบบอัตรากำจัดต่ำ
[เพ็ชรพร , 2537]



รูปที่ 2.8. ถังหมักไร้อากาศแบบอัตรากำจัดสูง
[เพ็ชรพร , 2537]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา⁴¹ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9. ถังหมักไร้อากาศแบบอัตราการกำจัดสูงที่มีการแยกตะกอน
[เพ็ชรพร , 2537]

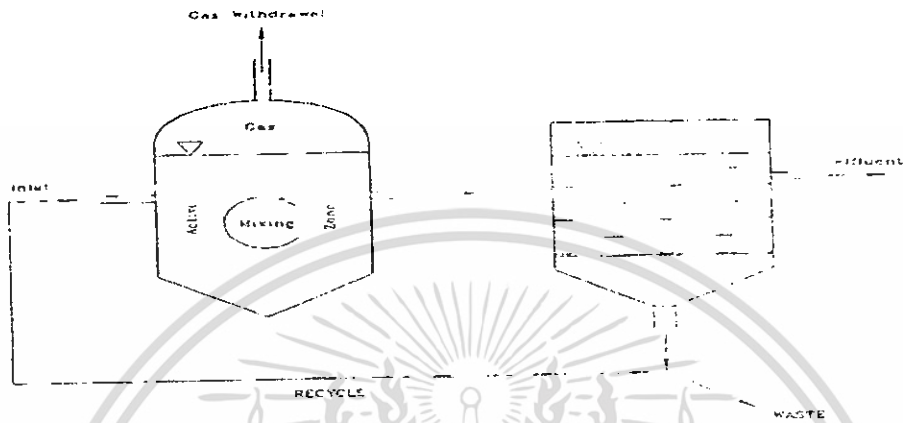
2.11.2. ถังหมักไร้อากาศแบบสั้มผัส

เป็นถังหมักที่ดัดแปลงมาจากถังหมักชนิดอัตรากำจัดสูง ใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือสารละลายก็ได้ ในบางครั้งอาจเป็นถังแบบมีการหมุนเวียนตะกอนหรือไม่ก็ได้ แต่นิยมใช้แบบมีการหมุนเวียนตะกอน ดังนั้นถังหมักแบบสั้มผัสนี้จึงมีส่วนประกอบที่คล้ายคลึงกับระบบตะกอนเร่งแบบไร้อากาศ (anaerobic activated sludge) การที่ถังหมักมีการหมุนเวียนตะกอนทำให้อาจใช้ได้กับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นไม่สูงมาก ในทางปฏิบัติระดับของค่า COD ที่เหมาะสมคือ 4,000 – 50,000 mg/l แสดงดังรูปที่ 2.10.

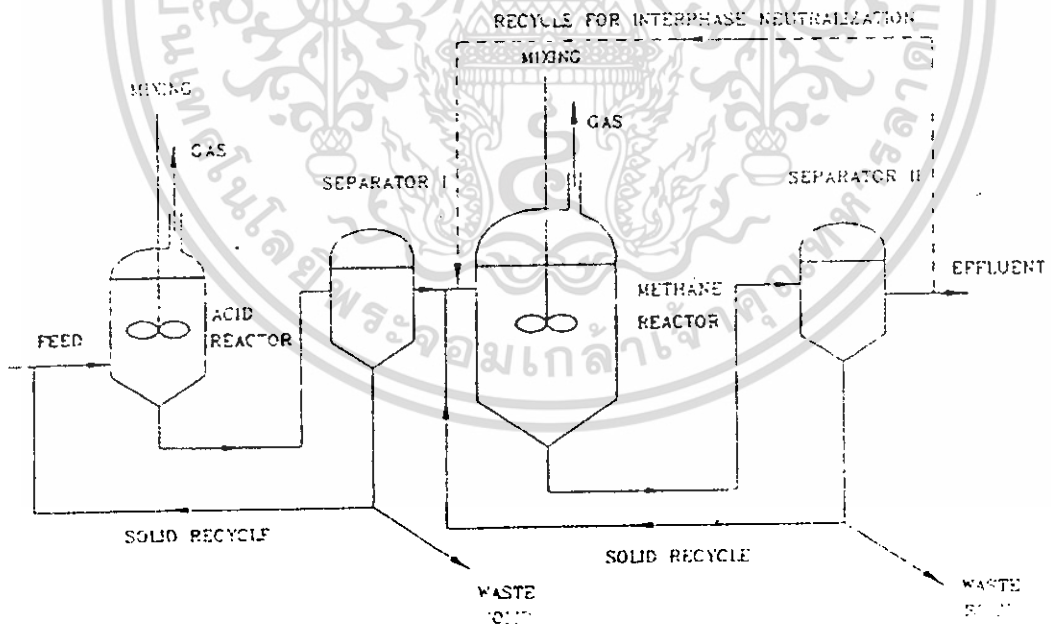
2.11.3. ถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส

เป็นการแยกถังหมักออกเป็นสองส่วน ตามลักษณะการทำงานของจุลชีพแบบไม่ใช้อากาศ เพื่อความสะดวกในการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมกับจุลชีพแต่ละชนิด ซึ่งแสดงให้เห็นส่วนประกอบของถังหมักแบบสองเฟส ที่ใช้ค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็นตัวกำหนดและควบคุมแบคทีเรียในถังหมัก ถังใบแรกมีค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 6 จะมีแต่แบคทีเรียประเภทสร้างกรด ส่วนถังใบที่สองซึ่งค่าความเป็นกรดเป็นด่างประมาณ 7 จะมีแบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทน การควบคุม

ความเป็นกรดเป็นด่างแบบอัตโนมัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับถังใบแรกเท่านั้น ก๊าซไฮโดรเจนที่สร้างขึ้นในถังใบแรกจะถูกปล่อยทิ้งออกไปเพื่อไม่ให้เกิดการสะสมตัวจนเป็นพิษต่อแบคทีเรียสร้างกรด แสดงดังรูปที่ 2.11.



รูปที่ 2.10. ระบบถังหมักไร้อากาศแบบสั้มผัส [เพ็ชรพร , 2537]



รูปที่ 2.11. ระบบถังหมักไร้อากาศแบบสองเฟส [เพ็ชรพร , 2537]

2.12. พลังงานจากก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากการหมักอินทรีย์วัตถุต่างๆ แล้วถูกย่อยสลายโดยกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน(Methanogenic Bacteria) ก๊าซชีวภาพมีลักษณะทางเคมีคือ เป็นก๊าซที่ไม่ละลายน้ำ มีความเสถียร และเบากว่าอากาศ ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซต่างๆหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่นำมาผลิต แต่ก๊าซที่สำคัญที่สุดคือก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศจะได้ก๊าซ 2 ชนิดเป็นส่วนใหญ่คือ ก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 50 – 70 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซชีวภาพ อีก 30 – 50 เปอร์เซ็นต์ เป็น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีค่าความร้อนประมาณ 38100 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร หรือสามารถให้ความร้อนประมาณ 1300 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของสารอินทรีย์ที่ถูกทำลายไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและองค์ประกอบของสารที่ถูกย่อยสลายแต่ละชนิด



รูปที่ 2.12. การใช้ก๊าซชีวภาพ [Buren]

พลังงานจากก๊าซชีวภาพ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซนั้น โดยสรุปเป็นค่าเฉลี่ยว่า ถ้ามีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ 64 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซชีวภาพ จะให้พลังงานออกมา 24 เมกกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้แสดงได้ ดังรูปที่ 2.12. โดยก๊าซชีวภาพปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตรจะให้พลังงานความร้อน 5200-5900 กิโลแคลอรี

ซึ่งเพียงพอสำหรับคัมน์น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ให้เดือดได้ หรือให้แสงสว่างจาก ตะเกียงที่ความสว่าง 60 – 100 วัตต์ ได้นาน 5 – 6 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ ขนาด 1 แรงม้าได้นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งเทียบเท่ากับการใช้น้ำมัน 0.6 – 0.7 กิโลกรัม และยังสามารถปั่น ไฟฟ้าได้อีก 1.25 กิโลวัตต์

2.13. คุณสมบัติและลักษณะการนำก๊าซชีวภาพมาใช้งานด้านต่าง ๆ

ตารางที่ 2.14. แสดงถึงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้แทน พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ได้ ซึ่งจากการเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ๆ ได้ดังนี้ [ปรากฏ. 2528]

ก๊าซชีวภาพ	1.0 m ³
เทียบเท่าถ่านไม้	2.5 kg.
เทียบเท่าก๊าซหุงต้ม (LPG)	0.5 kg.
เทียบเท่า น้ำมันก๊าด	0.75 l.

ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายประการดังนี้ [มรกด. 2534 ; อุดม. 2531]

1. เป็นก๊าซในการหุงต้มในเตาแก๊สหุงต้ม อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 1 ft.³/hr.
2. นำไปใช้เป็นพลังงานแสงสว่างในตะเกียงแก๊ส อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2.5 ft.³/hr.
3. นำไปใช้ในเครื่องยนต์บางชนิดในรถจักรยานยนต์ อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 15 - 20 ft.³/hr.
4. ให้ความร้อนในการอบแห้ง หรือความอบอุ่นแก่ลูกสัตว์
5. ใช้กับตู้เย็นที่ใช้แก๊ส อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 2.5 – 3.5 ft.³/hr.
6. หม้อต้มน้ำด้วยแก๊ส (10 แรงม้า) อัตราการใช้ก๊าซชีวภาพเท่ากับ 250 ft.³/hr.

นอกจากนี้ยังมีการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ร่วมกับ dual fuel engine คือการนำก๊าซชีวภาพมาใช้ร่วมกับน้ำมัน หรืออาจกล่าวได้ว่าใช้ส่วนผสมของก๊าซชีวภาพและอากาศผ่านเข้าไปตาม ท่อไอดีไปยังกระบอกสูบ เมื่ออัดได้อุณหภูมิและความดันก็ฉีดน้ำมันเข้าไปทำการเผาไหม้กับเครื่องยนต์ ดีเซลต่าง ๆ [ปรากฏ. 2528]

เมื่อก๊าซชีวภาพมีประโยชน์ต่อชีวิตประจำวันอย่างมาก เราจึงควรมีการศึกษาทางด้านนี้ อย่างจริงจัง ประกอบกับพยายามนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ตารางที่ 2.14. แสดงคุณสมบัติของก๊าซชีวภาพ

ก๊าซ	องค์ประกอบ	คุณสมบัติการเผาไหม้				
		%	ค่าความร้อน kW/m ³	ความหนาแน่น kg/m ³	อัตราการเผาไหม้ cm ³ /s	ความต้องการอากาศ
มีเทน	CH ₄	100	9.94	0.554	43	9.5
โพรเพน	C ₃ H ₈	100	25.96	1.56	57	23.8
บิวเทน	C ₄ H ₁₀	100	34.02	2.077	45	30.9
ก๊าซธรรมชาติ	CH ₄ , H ₂	65:35:00	7.52	0.384	60	7
Town gas	H ₂ , CH ₄ , N ₂	50:26:24	4.07	0.411	82	3.7
ก๊าซชีวภาพ	CH ₄ , CO ₂	60:40:00	5.96	0.94	40	5.7

ที่มา : Sassc [1988]

บทที่ 3

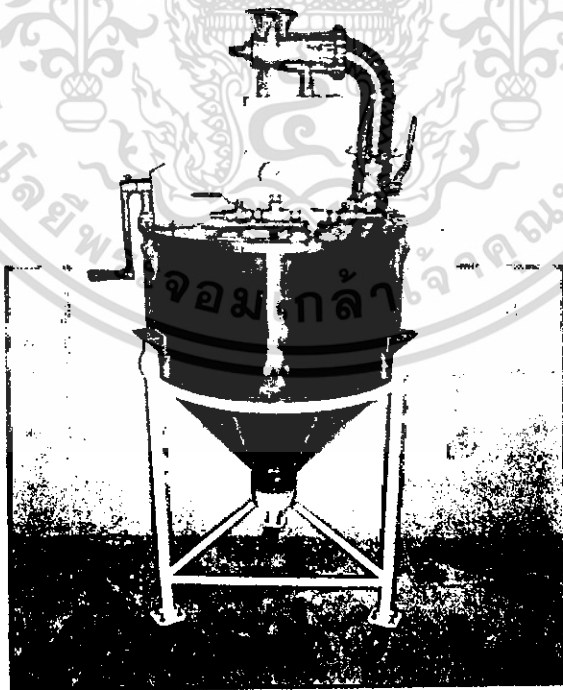
อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพจากขยะเศษอาหาร เหลือจากโรงอาหาร 1 ข้างอาคารเรียน A คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการใช้ระบบการหมักเศษอาหารแบบไร้อากาศ และเพื่อหาศักยภาพที่แท้จริงของเศษอาหารที่มีอยู่ต่อการผลิตก๊าซมีเทนในปริมาณจริง

3.1. อุปกรณ์

3.1.1. เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพเป็นส่วนสำคัญของโครงการงานวิจัยนี้ โดยที่หลังจากทำการเก็บข้อมูล ออกแบบ และสร้างเครื่อง รูปร่างของเครื่องที่แล้วเสร็จแสดงไว้ดังรูปที่ 3.1.



รูปที่ 3.1. เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2. วิธีการทดลอง

3.2.1. การหาปริมาณเศษอาหาร

การหาปริมาณของเศษอาหาร เป็นการวัดค่าของเศษอาหารที่เกิดขึ้นจริงแต่ละวัน โดยทำการวัดในช่วงเวลา 16.30 น. ของทุก ๆ วันที่โรงอาหาร 1 ข้างอาคารเรียน A คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยการใช้เครื่องชั่งชั่งน้ำหนักของเศษอาหาร ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

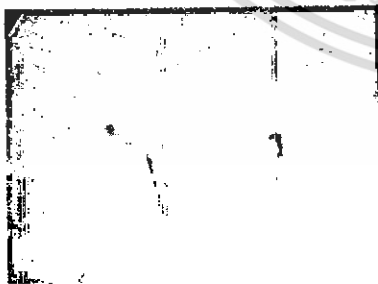
3.2.2. การออกแบบเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

ถังหมักที่ใช้ในการหมักเศษอาหารจะเลือกใช้ถังหมักแบบไร้อากาศ และในการทดลองจะแบ่งเป็นมีการกวนและไม่มีมีการกวนเศษอาหาร เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ซึ่งการออกแบบถังหมักนั้นจะคำนึงถึงปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นภายในโรงอาหารที่จะนำมาทำการหมัก จากการเก็บข้อมูลในเบื้องต้นทำให้ทราบปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้นมากที่สุดที่จะนำมาใช้ออกแบบถังหมัก

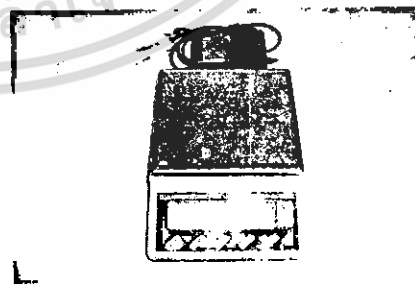
1. การหาหน่วยน้ำหนักของเศษอาหารและปริมาตร

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระบอกดวง
2. เครื่องชั่ง



กระบอกดวง

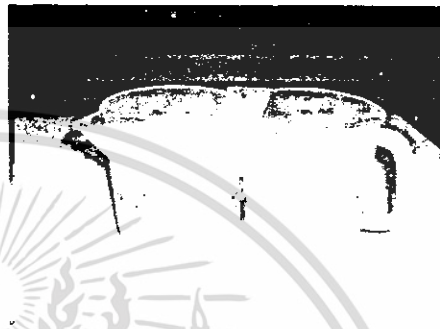
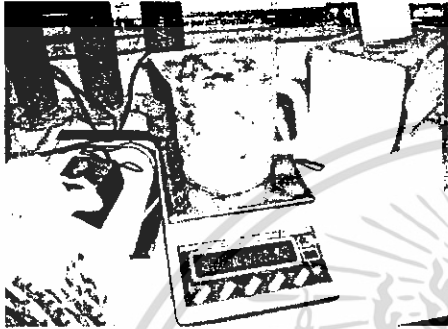


เครื่องชั่ง

รูปที่ 3.2. อุปกรณ์ที่ใช้หาหน่วยน้ำหนักและปริมาตรและปริมาตรของเศษอาหาร

วิธีการทดลอง

1. ชั่งน้ำหนักของเศษอาหาร ให้ได้ 1 กิโลกรัม
2. นำเศษอาหารที่ชั่งไว้ เทใส่ลงในกระบอกลดวง
3. ทำการเขย่าเบาๆ เพื่อให้เศษอาหารยุบตัวลงไปให้ผิวบนราบ
4. ทำการอ่านค่าที่ได้เป็นหน่วย ลบ.ซม.



รูปที่ 3.3. การชั่งน้ำหนักของเศษอาหาร

รูปที่ 3.4. การหาปริมาตรของเศษอาหาร

โดยถังหมักที่ได้นี้สามารถรองรับปริมาณเศษอาหารได้ 100 กิโลกรัม ซึ่งคำนวณมา

จากสูตร

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

จากการนำเศษอาหารจำนวน 1 กิโลกรัมมาหาหน่วยน้ำหนักพบว่า เศษอาหารมีหน่วยน้ำหนัก 989.6 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จะได้ปริมาตรถังหมัก

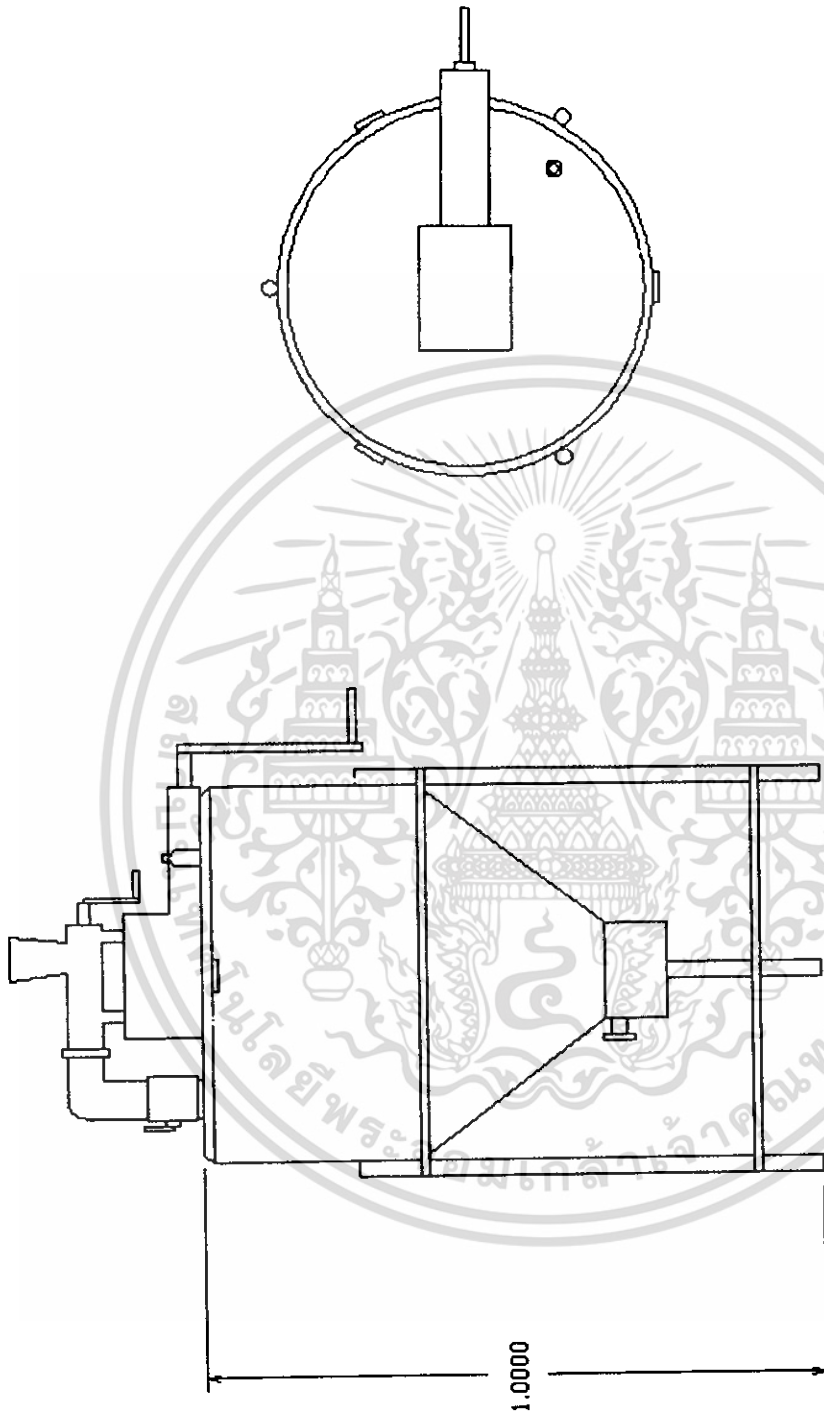
$$\begin{aligned} V &= \frac{100 \text{ kg.}}{989.6 \text{ kg./m}^3} \\ &= 0.101 \text{ m}^3. \end{aligned}$$

2. การหาขนาดถัง

นำปริมาตรที่ได้ไปหาขนาดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของถังหมัก โดยความสูงที่ใช้ นั้นจะถูกกำหนดให้มีความสูงไม่เกิน 80 เซนติเมตรเพื่อความสะดวกในการเติมวัตถุดิบลงในถังหมัก ความสูงของถังหมักจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกเป็นส่วนของทรงกระบอกที่ออกแบบให้มีความสูง 35 เซนติเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร ซึ่งจะให้ปริมาตรเท่ากับ 0.099 ลูกบาศก์เมตร ส่วนที่สองเป็นส่วนของรูปทรงกรวยที่ออกแบบไว้เพื่อเพิ่มพื้นที่ในกระบวนการผลิตก๊าซที่เกิดขึ้น โดยคิดเผื่อไว้ 30 % ของปริมาตรทั้งหมด จะให้ความสูงถังในส่วนนี้เท่ากับ 30 เซนติเมตร ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องผลิตก๊าซจะแสดงในหัวข้อถัดไป

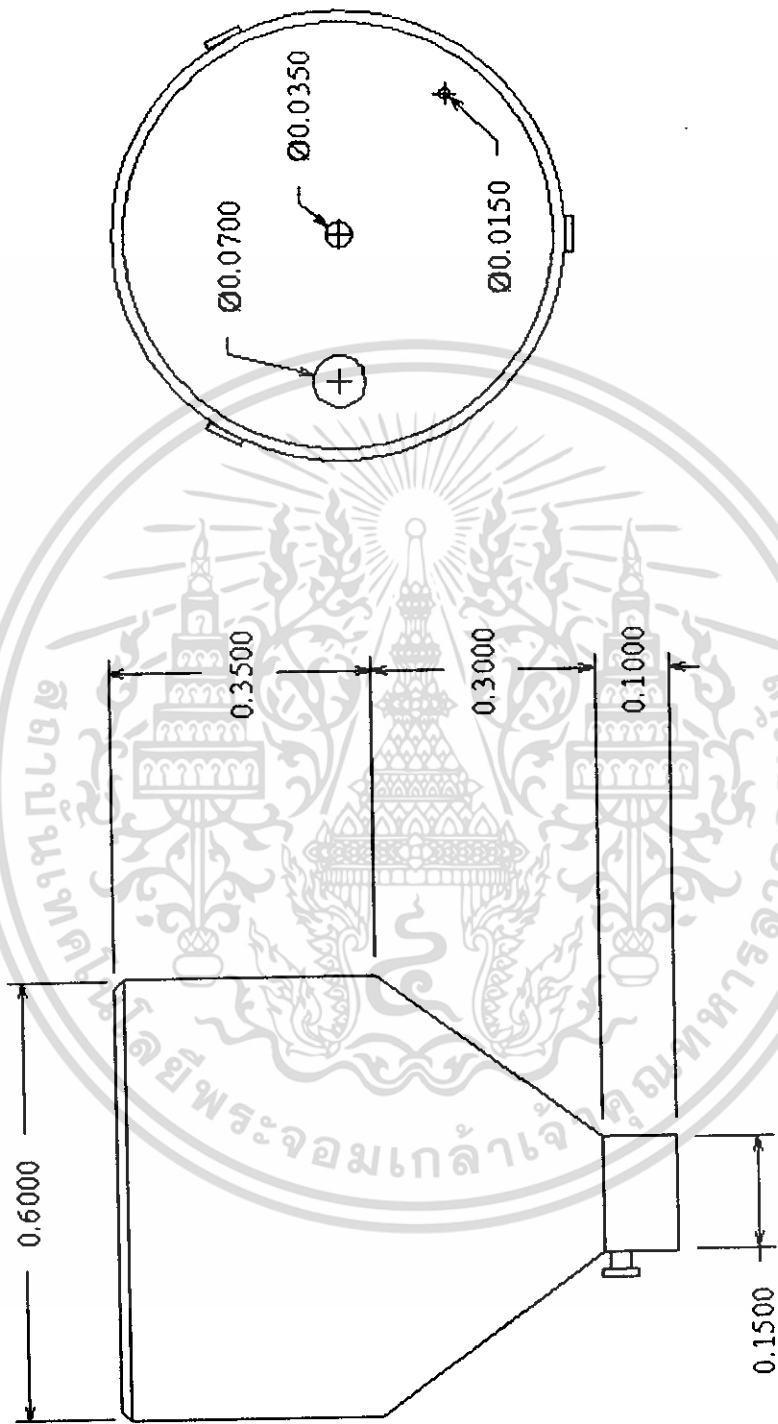
3. แบบเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

จากหัวข้อที่ผ่านมาได้ทำการออกแบบขนาดของเครื่องไว้แล้ว ดังนั้นจึงทำการออกแบบในส่วนอื่นๆ และรายละเอียดในส่วนที่เหลือ ดังแสดงในรูปที่ 3.5. ถึง รูปที่ 3.9.



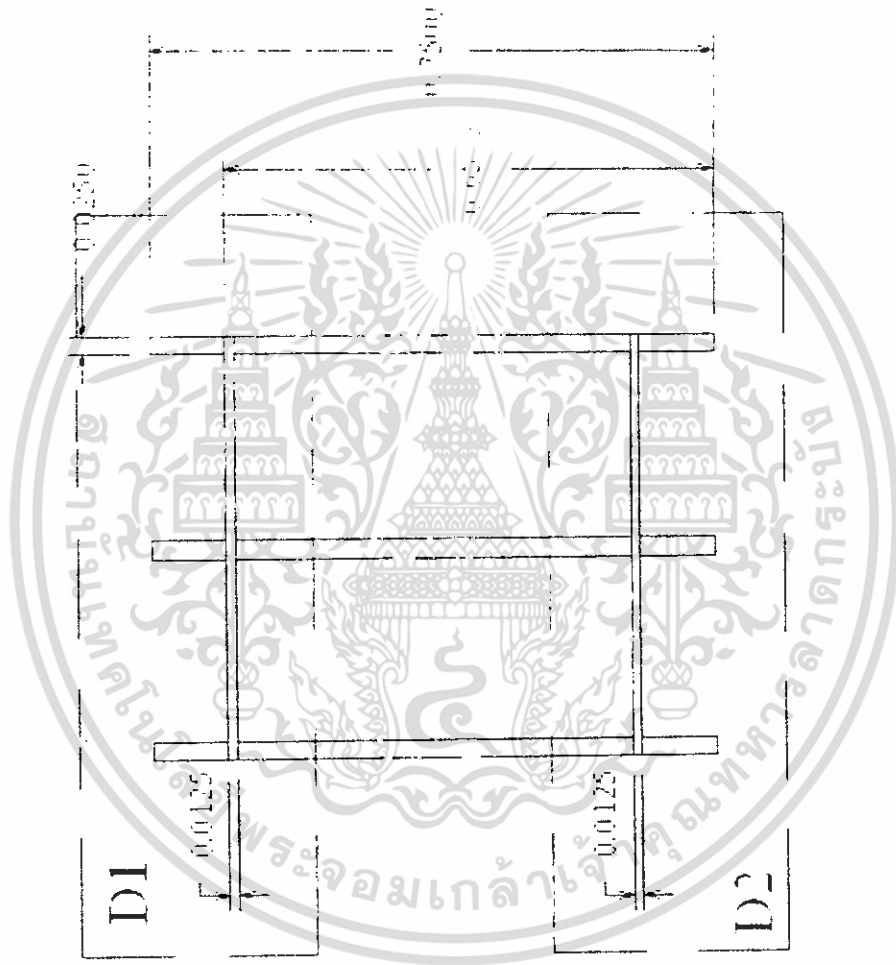
รูปที่ 3.5. รูปด้านหน้าและรูปแปลนของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

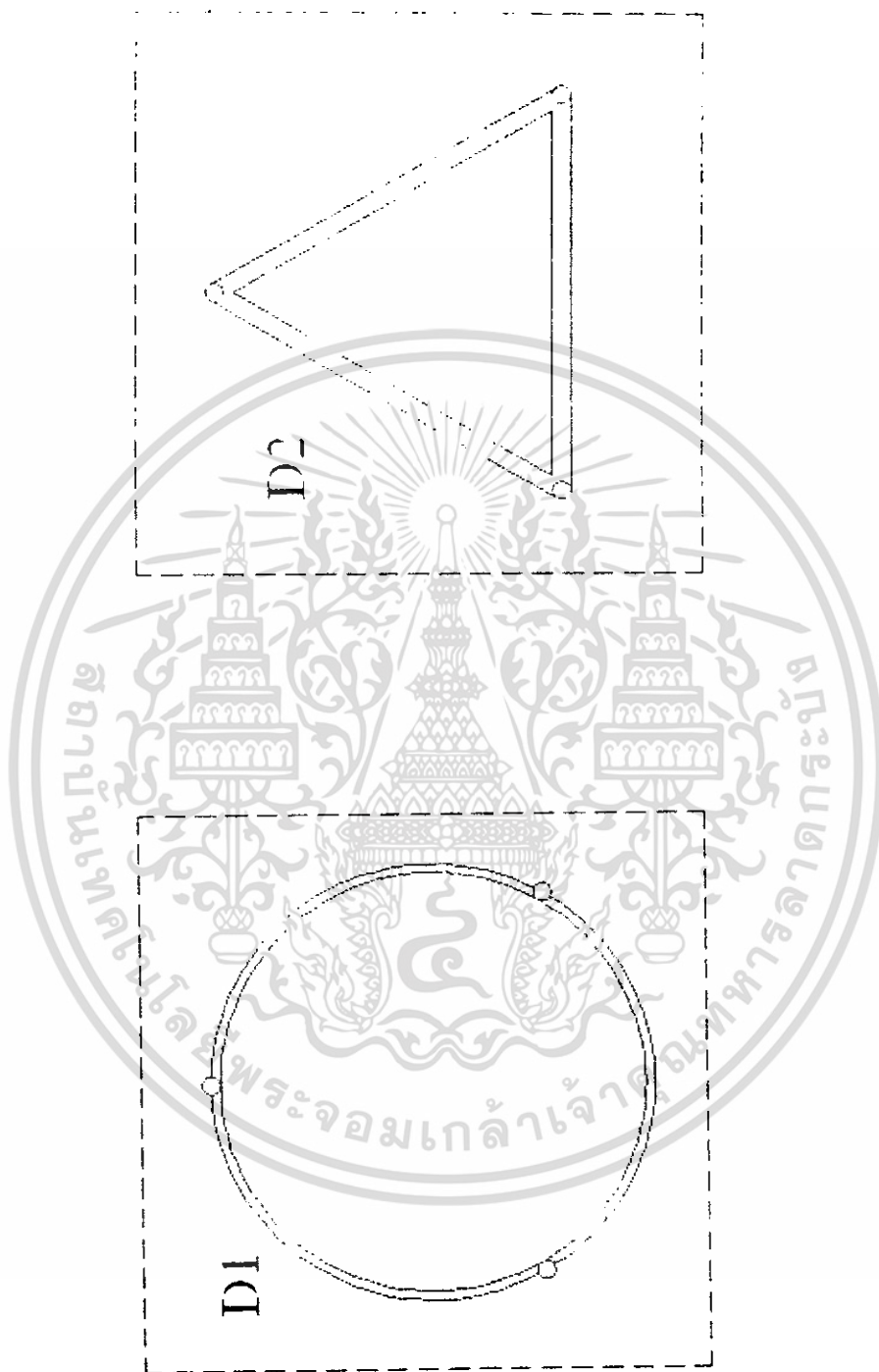


รูปที่ 3.6. รายละเอียดขนาดต่างๆ ของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา⁵² และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7. รายละเอียดขนาดต่าง ๆ ของขาเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 3.8. แปลนส่วนประกอบของงานเครื่องผลิตกึ่งชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา⁵⁴ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

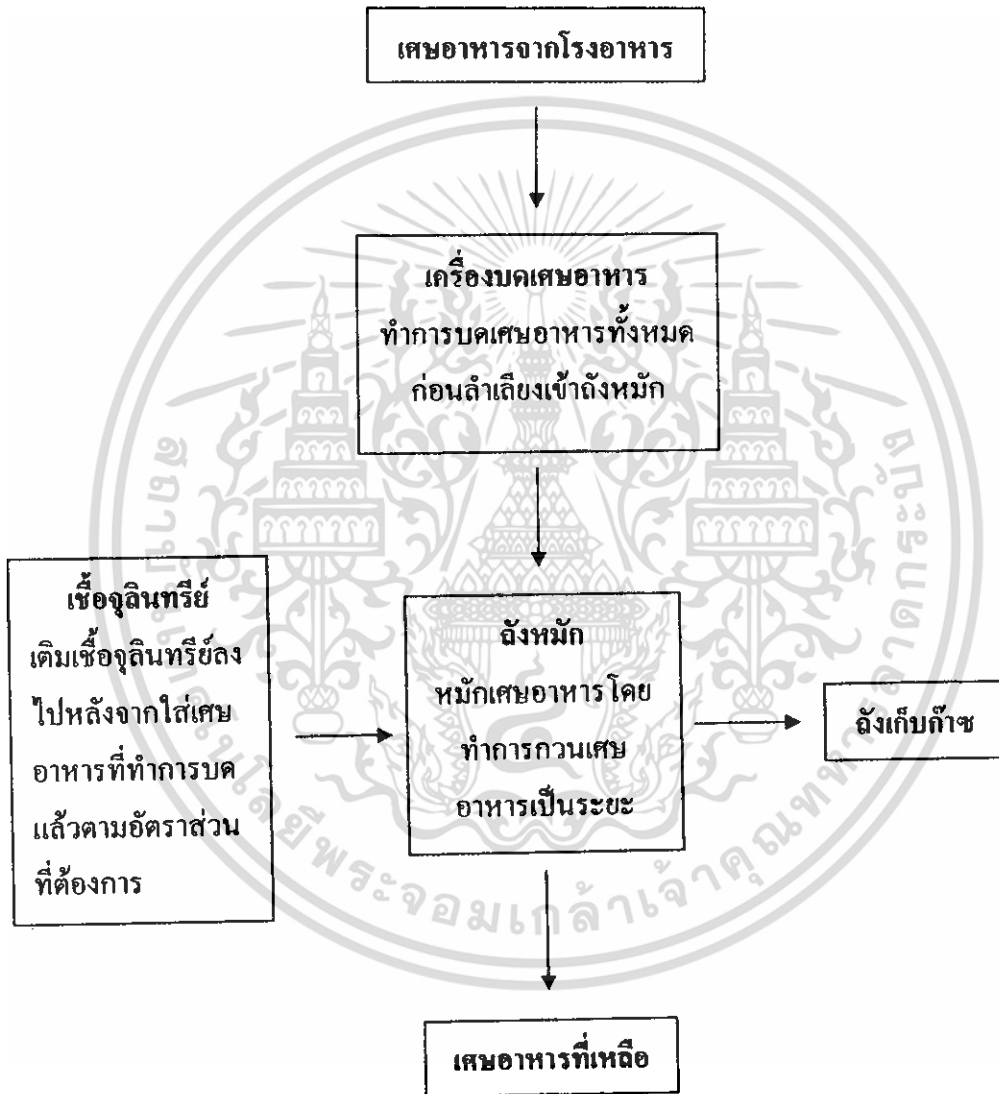


รูปที่ 3.9. รูปตัดและใบกวนของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระบบการใช้งาน

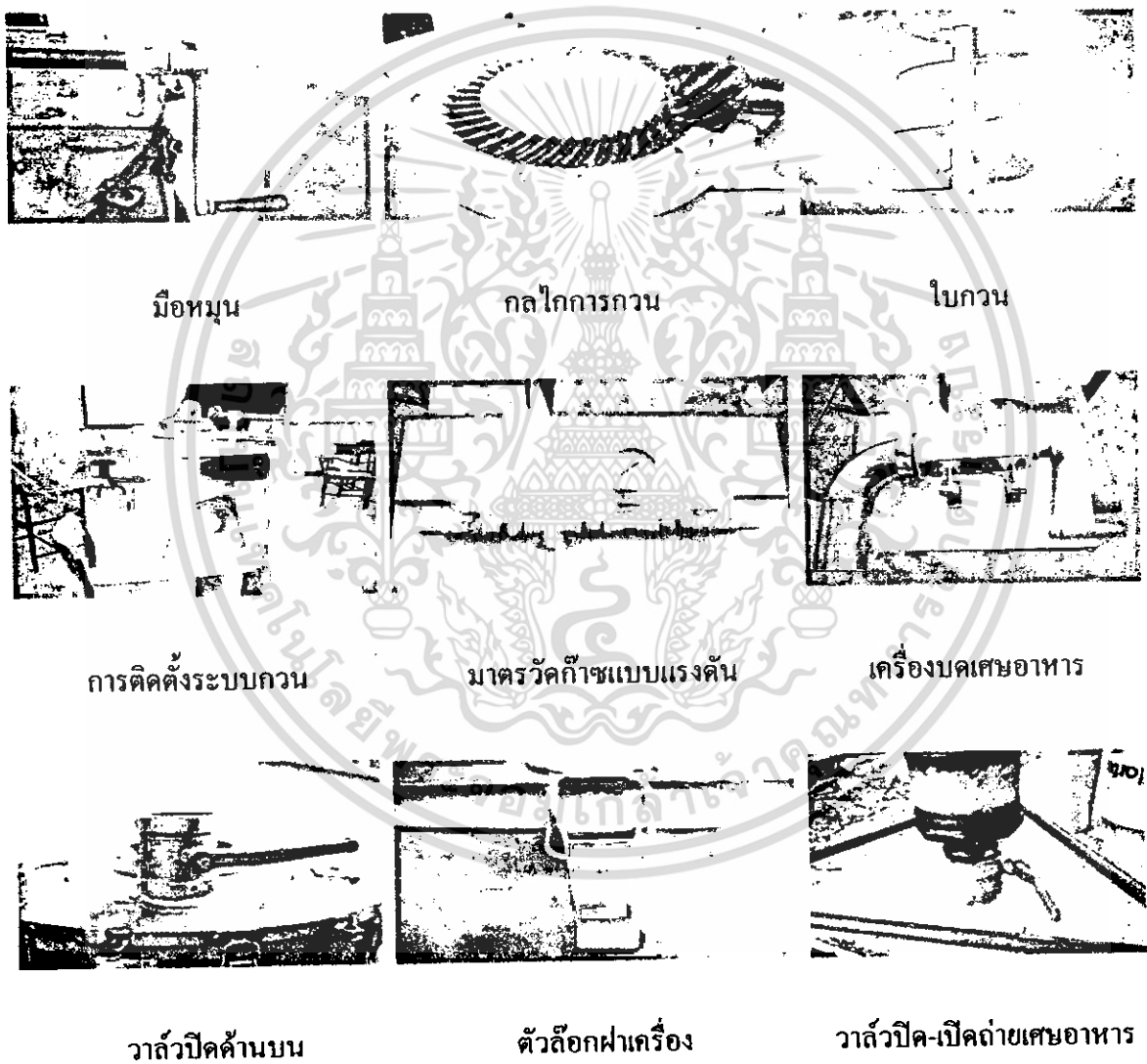
ระบบการใช้งานของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพนั้น จะถูกออกแบบควบคู่กัน กับการออกแบบเครื่องในส่วนอื่นๆ เพื่อให้ทุกส่วนสอดคล้องซึ่งกันและกัน ระบบการใช้งานของเครื่องแสดงดังรูปที่ 3.10.



รูปที่ 3.10. ระบบการใช้งานของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

5. ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของเครื่องผลิตก๊าซ

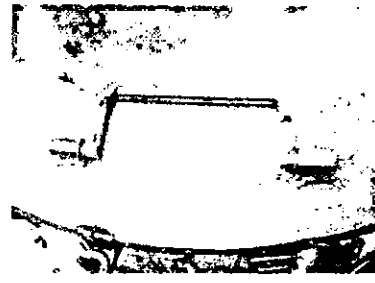
ในการออกแบบถังหมักก๊าซชีวภาพสิ่งแรกเริ่มที่ต้องคำนึงถึงคือ ประสิทธิภาพในการใช้งาน การเป็นระบบที่ต้องไว้อากาศรวมถึงการต้องมีระบบต่าง ๆ ในการเร่งการเกิดของก๊าซ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของเครื่องผลิตก๊าซที่จะทำให้ตรงตามเป้าหมายที่ได้ตั้งไว้ พร้อมทั้งจะทำให้สะดวกแก่การใช้งานดังแสดงในรูปที่ 3.11. โดยจะทำการติดไว้กับเครื่องผลิตก๊าซแต่สามารถถอดออกได้เมื่อชำรุดหรือต้องการที่จะปรับปรุงเครื่องต่อไป



รูปที่ 3.11. ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ



มือจับสำหรับไว้อยู่เครื่อง



ล้อเหล็กสำหรับการเคลื่อนย้ายเครื่อง

รูปที่ 3.11. ส่วนประกอบต่าง ๆ ของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ (ต่อ)

3.2.3. การทดสอบระบบถัง

การตรวจสอบรอยรั่วเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะระบบนี้จะต้องเป็นระบบปิดอย่างแท้จริงมีจะนั้นแล้วก๊าซจะออกมาตามรอยรั่วต่าง ๆ เป็นเหตุให้แรงดันมีไม่มากพอที่จะแทนที่น้ำในระบบเก็บก๊าซชีวภาพ การตรวจสอบทำได้โดยการเติมน้ำเข้าไปในถังแล้วสังเกตการณ์รั่วซึมจากทุกด้าน ส่วนการตรวจสอบการรั่วของก๊าซที่อาจเกิดขึ้น โดยการใช้น้ำอัดลมเข้าถังหมัก จากนั้นอุดรอยรั่วทุกทางด้วยการกาวซิลิโคนและแผ่นปะกั้นยางปูปิดรอยรั่ว

3.2.4. การวิเคราะห์คุณสมบัติของเศษอาหาร

นำตัวอย่างเศษอาหารมาวิเคราะห์หาค่าต่าง ๆ ดังนี้

1. พีเอช (pH)
2. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid ,TS), ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) และ ปริมาณความชื้นในเศษอาหาร (Water Content)

3. ปริมาณตะกอนหนัก

4. การทดสอบหาค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

5. การทดสอบหาค่าไนโตรเจน (Total Nitrogens, N)

การวิเคราะห์คุณสมบัติของเศษอาหารทั้งหมดมีวิธีการดังแสดงไว้ในภาคผนวก

3.2.5. การวัดปริมาณก๊าซ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายขยะเศษอาหาร สามารถวัดได้โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ (Fluid Displacement) หน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันภายใต้สภาวะการทดลอง (room condition อุณหภูมิ 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล น้ำที่อยู่ในขวดจะถูกแทนที่ด้วยก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายเศษอาหารทำให้น้ำไหลออกจากรูที่ปากขวด ปริมาตรของก๊าซที่ถูกเก็บอยู่ในขวดจะมีค่าเท่ากับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทำการวัดปริมาณก๊าซจากการแทนที่น้ำในขวดด้วยการชั่งน้ำหนักเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน และนอกจากนี้ น้ำที่ใช้ในกระบวนการแทนที่น้ำจะมีการเติมกรดซัลฟูริกเจือจางเพื่อป้องกันการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยทำการเก็บข้อมูลทุกวันและนำตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas Chromatography เพื่อหาองค์ประกอบของก๊าซต่อไป หลังจากนั้นจะพิจารณาเมื่อทำการคำนวณระบบและทำการเก็บวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจนพบว่า มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพน้อยลงมาก ไม่มีการผลิตก๊าซชีวภาพเหลืออยู่เลยที่เวลาประมาณ 30 วัน จึงนำข้อมูลที่ได้มาหาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในขยะเศษอาหาร

3.2.6. การหาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน โดยการดูดเก็บก๊าซด้วยหลอดสูญญากาศ (venoject tube) แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี ซึ่งจะวิเคราะห์ก๊าซออกมาในรูปก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่น ๆ ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงออกซิเจนเพียงชนิดเดียวแต่รวมถึงก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. หลอดรูปตัวยู
2. เข็มสองปลายที่ติดกับตัวยึด (holder)
3. หลอดสูญญากาศ (venoject tube)

หลอดรูปตัวยู

เข็มสองปลาย

หลอดสุญญากาศ(venoject tube)

รูปที่ 3.12. อุปกรณ์การหาลูกประกอบของก๊าช

วิธีการทดลอง

1. นำปลายเข็มด้านหนึ่งแทงทะลุเข้าไปในจุดขางที่ครอบหลอดรูปตัวยู
2. นำหลอดสุญญากาศแทงเข้าไปในเข็มที่ปลายอีกด้านหนึ่ง
3. ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที ก๊าชชีวภาพในระบบเก็บก๊าชจะเข้ามาในหลอดสุญญากาศโดยอาศัยแรงดูด (เนื่องจากแรงดันต่ำกว่า)
4. ดึงหลอดสุญญากาศออกจากเข็มสองปลาย แล้วจากนั้นจึงดึงออกจากหลอดรูปตัวยู

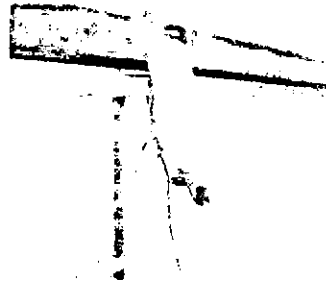


แทงปลายเข็มลงในหลอดรูปตัวยู



แทงหลอดสุญญากาศในเข็มที่ปลายอีกด้าน

รูปที่ 3.13. แสดงขั้นตอนการเก็บก๊าชเพื่อนำไปหาลูกประกอบของก๊าช



ทิ้งไว้ประมาณ 1 นาที เพื่อให้ก๊าซเข้าสู่หลอดสูญญากาศ

รูปที่ 3.13. แสดงขั้นตอนการเก็บก๊าซเพื่อนำไปหาองค์ประกอบของก๊าซ (ต่อ)



บทที่ 4

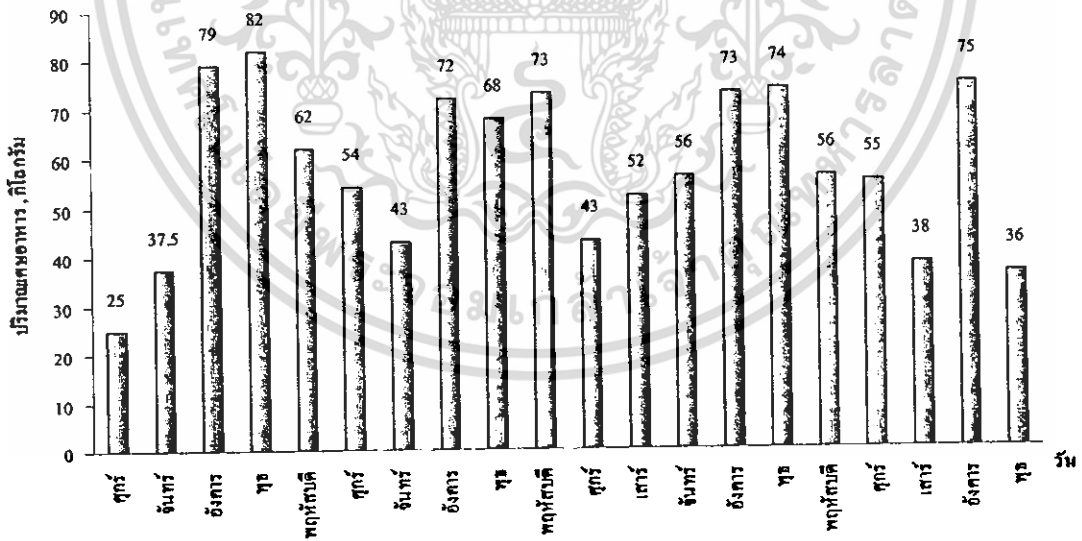
ผลการทดลอง

การทดสอบการหมักเศษอาหาร ในเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพครั้งนี้ทางคณะวิจัยได้นำเศษอาหารจากโรงอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยมีสัดส่วนการทดสอบดังนี้

ปริมาณเศษอาหาร	25	กิโลกรัม
ปริมาณน้ำเศษอาหาร	10	กิโลกรัม
เชื้อจุลินทรีย์	20	กิโลกรัม

การทดสอบการหมักจะแบ่งเป็น 2 ระบบ คือ แบบมีการกวนในระหว่างการหมักและแบบไม่มีการกวน โดยทำการหมักเป็นเวลารวมทั้งหมด 30 วัน

4.1. ผลการหาปริมาณเศษอาหารโรงอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.



รูปที่ 4.1. ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเศษอาหาร โรงอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. กับวันที่ทำการวัด

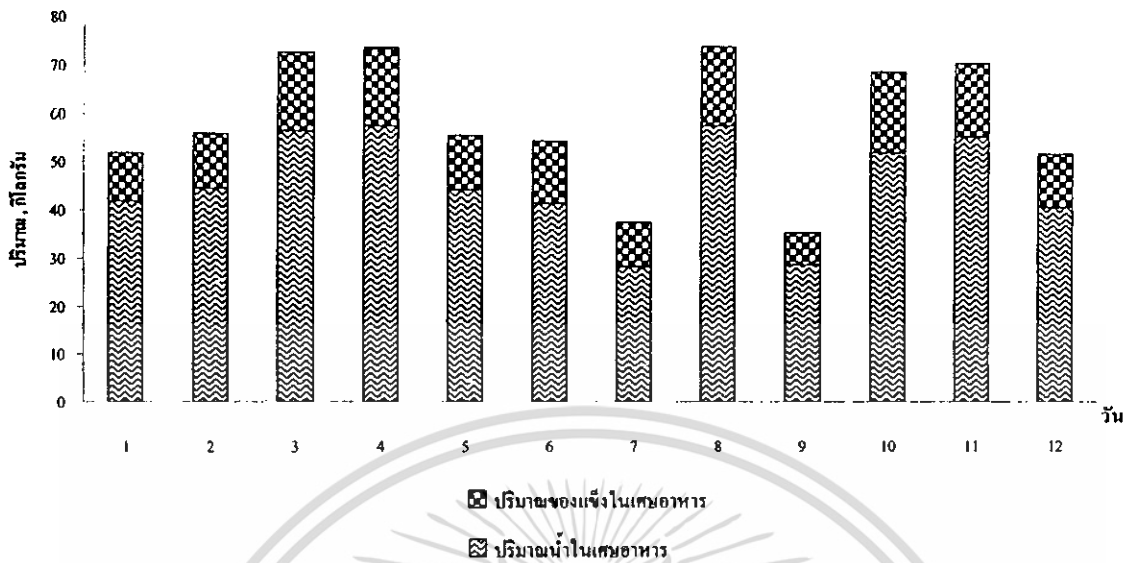
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาปริมาณเศษอาหารในโรงอาหาร 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. จำนวน 20 วัน พบว่าวันอังคารและวันพุธของในแต่ละสัปดาห์จะมีปริมาณเศษอาหารจำนวนมากคือ ประมาณ 75 กิโลกรัม จากปริมาณเศษอาหารที่ได้นี้สามารถนำไปใช้ออกแบบขนาดของถังหมักเศษอาหาร และประมาณการถ่ายเศษอาหารทุก ๆ 3 วันควรให้ตรงกับวันอังคารหรือวันพุธ

4.2. ปริมาณความชื้นในเศษอาหาร

ตารางที่ 4.1. แสดงผลการทดสอบปริมาณความชื้นในเศษอาหาร

วันที่	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3	ตัวอย่างที่ 4	ตัวอย่างที่ 5	เฉลี่ย
1	77.92	80.25	78.59	81.63	84.09	80.50
2	79.48	81.49	79.32	81.06	77.39	79.75
3	76.59	79.95	77.76	77.85	76.58	77.75
4	76.69	77.98	78.23	77.83	79.92	78.13
5	77.70	79.36	79.41	80.42	81.43	79.66
6	77.54	75.53	77.69	73.18	77.46	76.28
7	77.95	78.71	74.80	74.25	72.83	75.71
8	76.77	77.47	78.21	78.18	77.89	77.70
9	80.45	79.19	80.87	81.18	83.44	81.03
10	75.22	74.36	76.15	78.44	74.46	75.72
11	80.02	80.13	78.46	76.29	77.52	78.49
12	79.14	77.78	78.18	76.47	80.20	78.35
เฉลี่ยรวม						78.26



รูปที่ 4.2. แสดงความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำในเศษอาหารและปริมาณของแข็งทั้งหมด

การทดสอบปริมาณความชื้น (WC) ก่อนข้างจะมีค่าตรงกันข้ามกันกับค่าของปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS) และจากการทดสอบมีข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.1. ค่าปริมาณความชื้น(WC) ของเศษอาหารอยู่ในช่วงระหว่าง 75.71 – 81.03 % หรือคิดเป็นค่าเฉลี่ยรวมที่ 78.26 %

4.3. ปริมาณของของแข็งทั้งหมด (TS), ปริมาณของของแข็งระเหยง่าย (VS)

ตารางที่ 4.2. แสดงผลการทดสอบค่าปริมาณของของแข็งทั้งหมด (TS), ปริมาณของของแข็งระเหยง่าย (VS)

วันที่	% ของของแข็งทั้งหมด	% ของของแข็งระเหยง่าย
1	19.34	8.85
2	20.25	19.15
3	22.27	11.23
4	21.89	9.87
5	20.33	11.79
6	23.71	10.72
7	24.28	16.13
8	23.30	18.52
9	19.05	19.75
10	24.25	11.76
11	21.50	40.51
12	21.65	22.49

ในการทดสอบปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) จากข้อมูลที่แสดงดังตารางที่ 4.2. ค่าของปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS) จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 19.05 -24.28 % ของปริมาณเศษอาหารในแต่ละวัน ข้อมูลที่มีเป็นการเก็บตัวอย่าง 12 วัน ซึ่งในความจริงแล้วอาจมีค่าที่มากหรือน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลองแต่เมื่อพิจารณาแนวโน้มแล้วพบว่าค่าที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อย

การทดสอบปริมาณของแข็งระเหยง่าย(VS) นั้น จะมีการทดสอบควบคู่กันไปกับการหาปริมาณความชื้น(WC) จากข้อมูลที่แสดงดังตารางที่ 4.2. ปริมาณของแข็งระเหยง่าย(VS) มีค่าเฉลี่ยรวมโดยประมาณ 16.73 %

จากการทดสอบทั้ง 3 ทำให้ทราบแนวโน้มของเศษอาหารได้ว่า ในเศษอาหารแต่ละวัน นั้นจะประกอบไปด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ โดยมีค่าประมาณ 78 % และเป็นของแข็ง ประมาณ 22 % แต่ค่าที่ได้นั้นเกิดจากเศษอาหาร ในโรงอาหาร A คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ไม่สามารถนำมาเป็นค่าแน่นอนกับโรงอาหารอื่นๆ ได้ เนื่องจากปัจจัยที่แตกต่างกันไป

4.4. การทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

ตารางที่ 4.3. แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ก่อนการหมัก

วันที่	อุณหภูมิ °C	ค่าความเป็นกรด-ด่างที่อ่านได้			pH เฉลี่ย
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
1	29.3	5.84	5.80	5.83	5.82
2	28.7	5.64	5.68	5.66	5.66
3	27.7	5.59	5.61	5.57	5.59
4	28.4	5.73	5.78	5.75	5.75
5	27.9	5.87	5.81	5.86	5.85
6	28.9	5.90	5.89	5.92	5.90
7	28.6	5.77	5.76	5.78	5.77
8	28.3	5.82	5.83	5.82	5.82
9	27.9	5.41	5.50	5.46	5.46
10	28.5	5.90	5.87	5.84	5.87
11	29.3	5.57	5.64	5.60	5.60
12	28.1	5.76	5.73	5.80	5.76

ตารางที่ 4.4. แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) หลังการหมัก 30 วัน

อุณหภูมิ °C	ค่า pH ที่อ่านได้			pH เฉลี่ย
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	
31.3	4.02	3.97	4.04	4.01

จากการทดสอบหาค่า pH ในเศษอาหารด้วยการใช้มาตรวัด มีข้อมูลดังแสดงดังตารางที่ 4.3. พบว่าค่าของ pH ที่ได้ นั้น เฉลี่ยรวมแล้วประมาณ 5.74 ซึ่งแสดงว่าเศษอาหารนั้นมีค่าความเป็นกรดอยู่เล็กน้อยและเมื่อทำการวัดค่า pH หลังจากการหมักเศษอาหารในเครื่องผลิตก๊าซ 30 วัน มีค่า 4.01 ซึ่งมีค่าของความเป็นกรดที่สูงขึ้น

ตามหลักการในกระบวนการเกิดก๊าซนั้น จะมีสภาพเป็นกรด ดังนั้นสมมติฐานได้ว่าระบบการหมักที่เกิดขึ้นในเครื่องผลิตก๊าซนั้นมีกระบวนการเกิดก๊าซขึ้นจริง

4.5. การทดสอบค่าตะกอนหนัก

ตารางที่ 4.5. แสดงผลการทดสอบค่าตะกอนหนัก

ตัวอย่าง	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
ตะกอนหนัก, ml.	220	228	210	217	220	219

เมื่อนำตัวอย่างนำมาตั้งทิ้งไว้หนึ่ง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง พบว่าตัวอย่างน้ำที่นำมาทดสอบมีค่าตะกอนหนัก 219 ลบ.ซม./ลบ.คม./ชั่วโมง ซึ่งก็คือปริมาณเศษอาหารที่จมตัวลงได้ค้เมื่อตั้งทิ้งไว้

4.6. การทดสอบซีโอดี (COD)

ตารางที่ 4.6. แสดงผลการทดสอบค่า COD

ครั้งที่อ่านค่า	ปริมาณค่า COD ที่อ่านได้ (mg/l)				
	หลอดที่ 1	หลอดที่ 2	หลอดที่ 3	หลอดที่ 4	หลอดที่ 5
1	99500	108100	102500	103600	105700
2	99800	107800	102400	103500	105600
3	99600	107800	102100	103300	105200
4	99400	107400	102000	103100	105200
5	98600	106600	101000	102100	106500
6	99000	107400	101700	103000	105600
7	98900	108900	101900	103100	106100
8	99000	108200	101800	103000	105800
9	98800	108600	101600	102900	105400
10	98700	108200	101900	103100	105200
เฉลี่ย	99130	107900	101890	103070	105630

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.6. พบว่ามีค่า COD ที่ค่อนข้างสูงมาก คืออยู่ในช่วง 99,130 – 107,900 มก.ต่อลิตร หรือเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 103,524 มก.ต่อลิตร โดยมีค่าที่สูงกว่าน้ำทิ้งจากบ้านเรือน หรือ ภัตตาคารที่มีค่าเพียง 3,200 มก.ต่อลิตร ค่าที่ได้มีความเป็นไปได้เนื่องจาก ตัวอย่างน้ำ นำมาจากการกรองเศษอาหารออกเหลือเพียงน้ำเท่านั้น

4.7. การทดสอบค่า ไนโตรเจน (N)

ตารางที่ 4.7. แสดงผลการทดสอบค่า ไนโตรเจน (N)

ครั้งที่อ่านค่า	ปริมาณค่า N ที่อ่านได้ (mg/l)				
	หลอดที่ 1	หลอดที่ 2	หลอดที่ 3	หลอดที่ 4	หลอดที่ 5
1	300	360	530	600	450
2	350	400	540	620	460
3	350	440	630	710	560
4	370	460	620	700	530
5	370	470	670	710	530
6	380	440	630	710	540
7	390	450	630	720	530
8	370	470	630	730	550
9	380	470	630	730	550
10	380	470	630	730	550
เฉลี่ย	364	443	614	696	525

จากข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 4.7. พบว่ามีค่าไนโตรเจนที่ค่อนข้างสูงมากอยู่ในช่วง 364 - 696 และเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 528 มก.ต่อลิตรเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำจากแหล่งอื่นแล้วมีค่าที่มากกว่าไม่ต่ำกว่า 4 เท่า

4.8. การวัดค่าปริมาณก๊าซในการหมักแบบไม่กวนเศษอาหาร

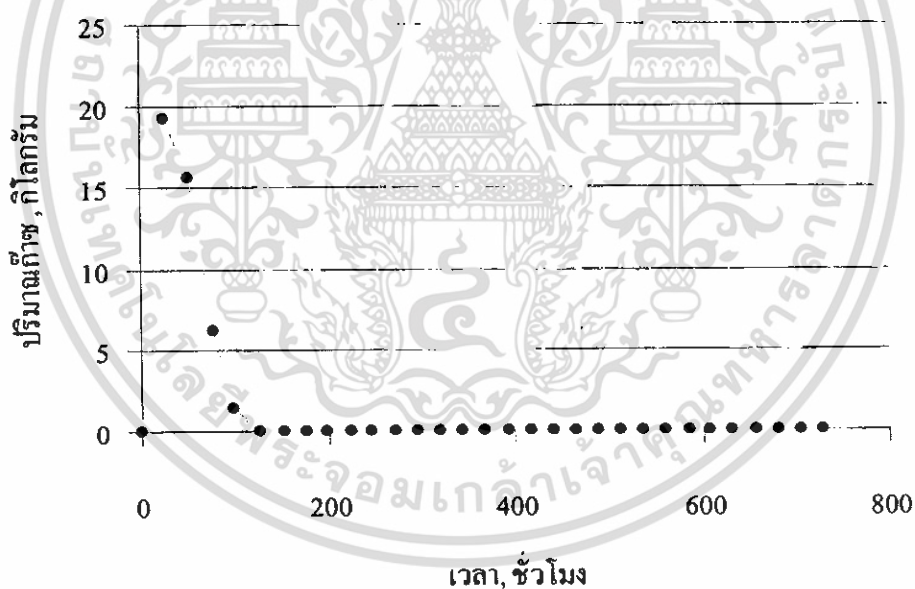
สัดส่วนที่ใช้ในการหมักเศษอาหาร	25	กิโลกรัม
น้ำจากเศษอาหาร	10	กิโลกรัม
เชื้อจุลินทรีย์	20	กิโลกรัม

ตารางที่ 4.8. แสดงผลการวัดค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน
ในการหมักแบบไม่กวนเศษอาหารระหว่างการหมัก

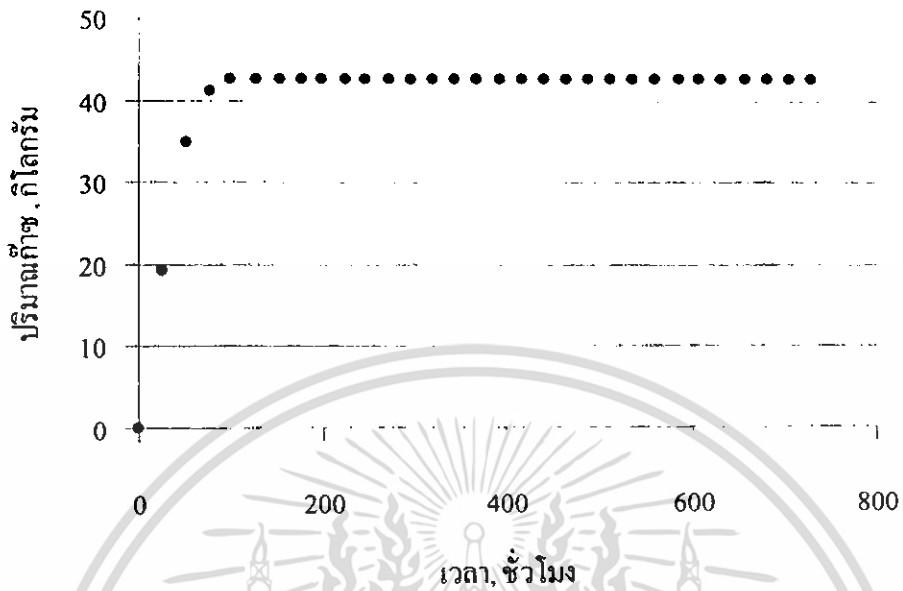
จำนวนวัน	เวลาที่วัดค่า	เวลาสะสม (ชั่วโมง)	ปริมาณก๊าซ (กิโลกรัม)	ปริมาณก๊าซสะสม (กิโลกรัม)	อุณหภูมิ (°C)	
					กลางวัน	กลางคืน
0	8.00	0.00	0.0	0.0	31.5	29.5
1	11.00	27.00	19.2	19.2	31.0	29.0
2	11.30	51.50	15.6	34.8	31.0	29.0
3	14.30	78.50	6.3	41.1	31.5	28.5
4	12.30	100.50	1.5	42.6	32.0	28.0
5	15.30	127.50	0.0	42.6	32.0	28.5
6	16.30	152.50	0.0	42.6	31.5	29.0
7	16.30	176.50	0.0	42.6	31.0	28.5
8	15.00	199.00	0.0	42.6	32.0	29.0
9	16.30	224.50	0.0	42.6	32.0	28.5
10	14.30	246.50	0.0	42.6	31.5	29.0
11	16.00	272.00	0.0	42.6	31.0	29.0
12	15.30	295.50	0.0	42.6	32.5	29.0
13	15.30	319.50	0.0	42.6	32.0	29.0
14	16.30	344.50	0.0	42.6	32.0	29.5
15	15.30	367.50	0.0	42.6	31.0	29.0
16	16.30	392.50	0.0	42.6	31.0	28.5
17	17.00	417.00	0.0	42.6	31.0	28.0
18	16.00	440.00	0.0	42.6	32.0	28.5
19	16.00	464.00	0.0	42.6	31.0	29.0
20	16.30	488.50	0.0	42.6	31.5	29.5
21	16.00	512.00	0.0	42.6	32.0	28.0
22	17.00	537.00	0.0	42.6	32.0	28.5
23	16.00	560.00	0.0	42.6	31.0	28.0
24	17.30	585.50	0.0	42.6	31.5	28.5
25	16.00	608.00	0.0	42.6	32.0	29.0

ตารางที่ 4.8. แสดงผลการวัดค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน
ในการหมักแบบไม่กวนเศษอาหารระหว่างการหมัก (ต่อ)

จำนวนวัน	เวลาที่วัดค่า	เวลาสะสม (ชั่วโมง)	ปริมาณก๊าซ (กิโลกรัม)	ปริมาณก๊าซสะสม (กิโลกรัม)	อุณหภูมิ (°C)	
					กลางวัน	กลางคืน
26	16.00	632.00	0.0	42.6	32.5	29.0
27	16.30	656.50	0.0	42.6	32.0	29.0
28	16.00	680.00	0.0	42.6	32.0	29.0
29	16.30	704.50	0.0	42.6	32.5	29.0
30	16.00	728.00	0.0	42.6	33.0	29.5



รูปที่ 4.3. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น
ในการหมักแบบไม่กวนเศษอาหาร



รูปที่ 4.4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสะสม ในการหมักแบบไม่กวนเศษอาหาร

4.9. การวัดค่าปริมาณก๊าซในการหมักแบบกวนเศษอาหาร

สัดส่วนที่ใช้ในการหมักเศษอาหาร	25	กิโลกรัม
น้ำจากเศษอาหาร	10	กิโลกรัม
เชื้อจุลินทรีย์	20	กิโลกรัม

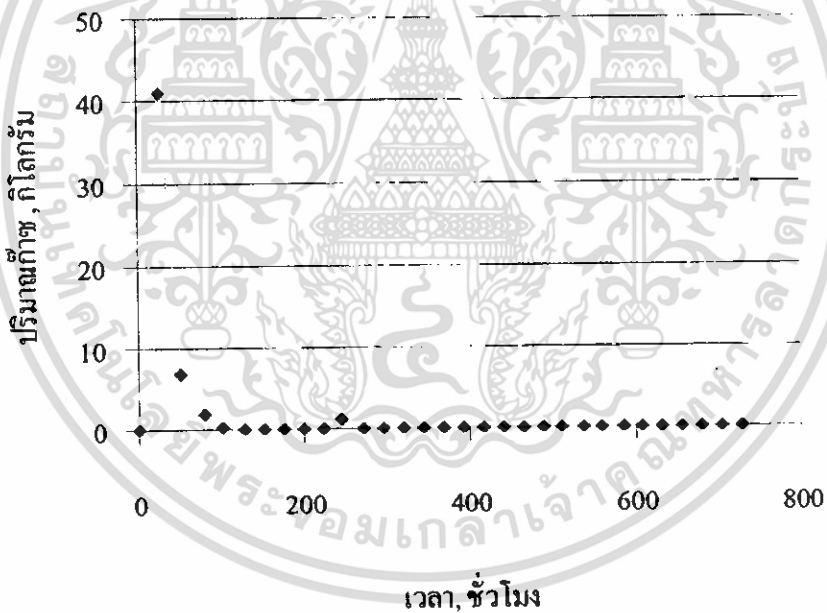
ตารางที่ 4.9. แสดงผลการวัดค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน
ในการหมักแบบกวนเศษอาหารระหว่างการหมัก

จำนวนวัน	เวลาที่วัดค่า	เวลาสะสม (ชั่วโมง)	ปริมาณก๊าซ (กิโลกรัม)	ปริมาณก๊าซสะสม (กิโลกรัม)	อุณหภูมิ (°C)	
					กลางวัน	กลางคืน
0	8.00	0.00	0.0	0.0	31.5	29.5
1	11.00	27.00	41.0	41.0	31.0	29.0
2	11.30	51.50	6.8	47.8	31.0	29.0
3	14.30	78.50	1.8	49.6	31.5	28.5
4	12.30	100.50	0.3	49.9	32.0	28.0
5	15.30	127.50	0.0	49.9	32.0	28.5
6	16.30	152.50	0.0	49.9	31.5	29.0
7	16.30	176.50	0.0	49.9	31.0	28.5
8	15.00	199.00	0.0	49.9	32.0	29.0
9	16.30	224.50	0.0	49.9	32.0	28.5
10	14.30	246.50	1.1	51.0	31.5	29.0
11	16.00	272.00	0.0	51.0	31.0	29.0
12	15.30	295.50	0.0	51.0	32.5	29.0
13	15.30	319.50	0.0	51.0	32.0	29.0
14	16.30	344.50	0.0	51.0	32.0	29.5
15	15.30	367.50	0.0	51.0	31.0	29.0
16	16.30	392.50	0.0	51.0	31.0	28.5
17	17.00	417.00	0.0	51.0	31.0	28.0
18	16.00	440.00	0.0	51.0	32.0	28.5
19	16.00	464.00	0.0	51.0	31.0	29.0
20	16.30	488.50	0.0	51.0	31.5	29.5
21	16.00	512.00	0.0	51.0	32.0	28.0
22	17.00	537.00	0.0	51.0	32.0	28.5
23	16.00	560.00	0.0	51.0	31.0	28.0
24	17.30	585.50	0.0	51.0	31.5	28.5
25	16.00	608.00	0.0	51.0	32.0	29.0

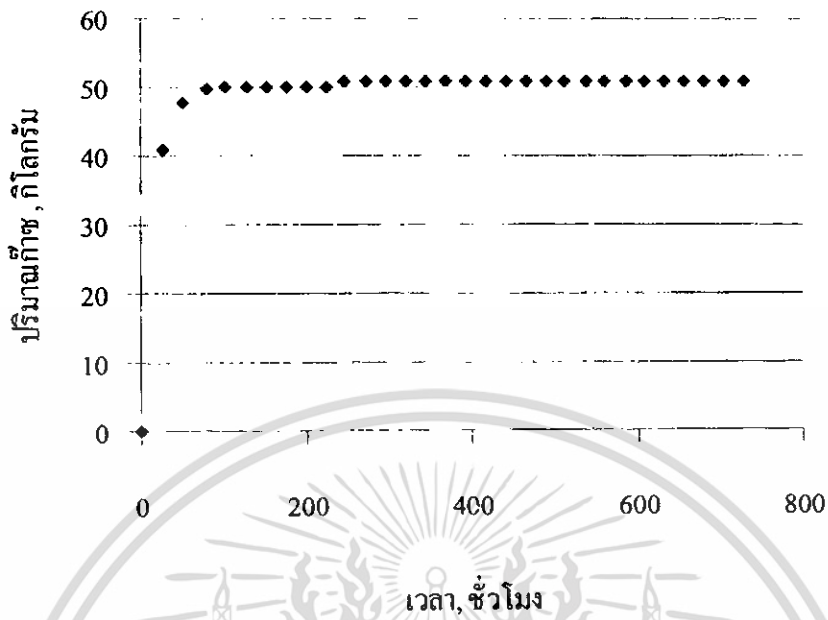
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9. แสดงผลการวัดค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน
ในการหมักแบบกวนเศษอาหารระหว่างการหมัก (ต่อ)

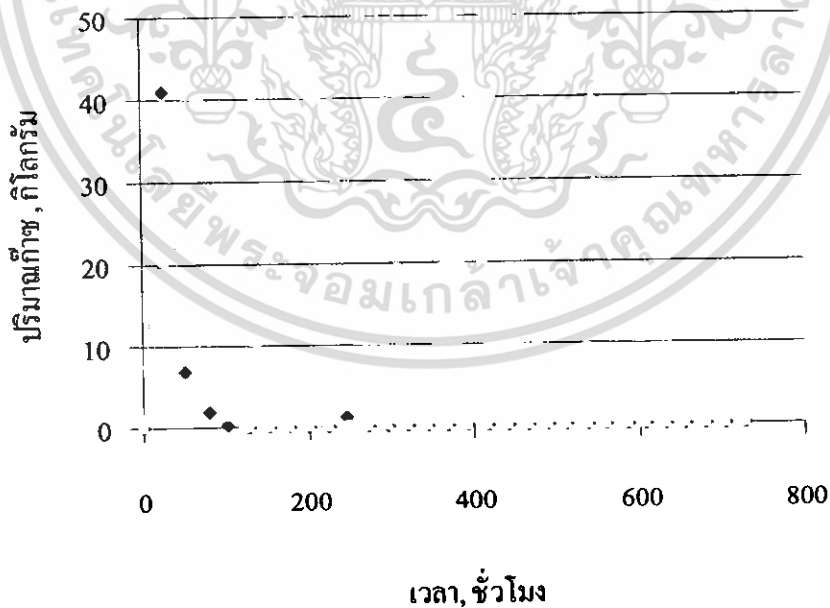
จำนวนวัน	เวลาที่วัดค่า	เวลาสะสม (ชั่วโมง)	ปริมาณก๊าซ (กิโลกรัม)	ปริมาณก๊าซสะสม (กิโลกรัม)	อุณหภูมิ(°C)	
					กลางวัน	กลางคืน
26	16.00	632.00	0.0	51.0	32.5	29.0
27	16.30	656.50	0.0	51.0	32.0	29.0
28	16.00	680.00	0.0	51.0	32.0	29.0
29	16.30	704.50	0.0	51.0	32.5	29.0
30	16.00	728.00	0.0	51.0	33.0	29.5



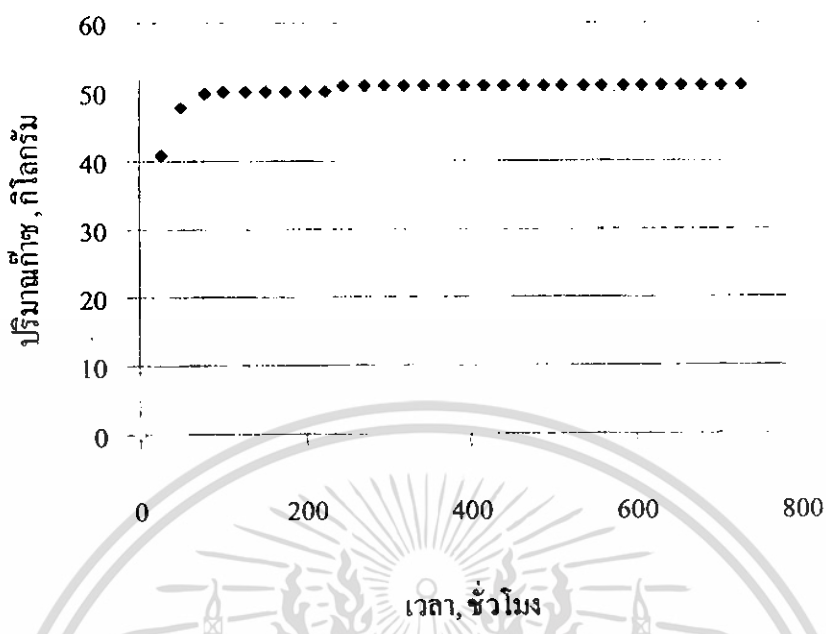
รูปที่ 4.5. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น
ในการหมักแบบกวนเศษอาหาร



รูปที่ 4.6. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมัก กับ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสะสม ในการหมักแบบกวนเศษอาหาร



รูปที่ 4.7. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น เปรียบเทียบการหมักทั้ง 2 แบบ



รูปที่ 4.8. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่หมักกับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสะสม
เปรียบเทียบการหมักทั้ง 2 แบบ

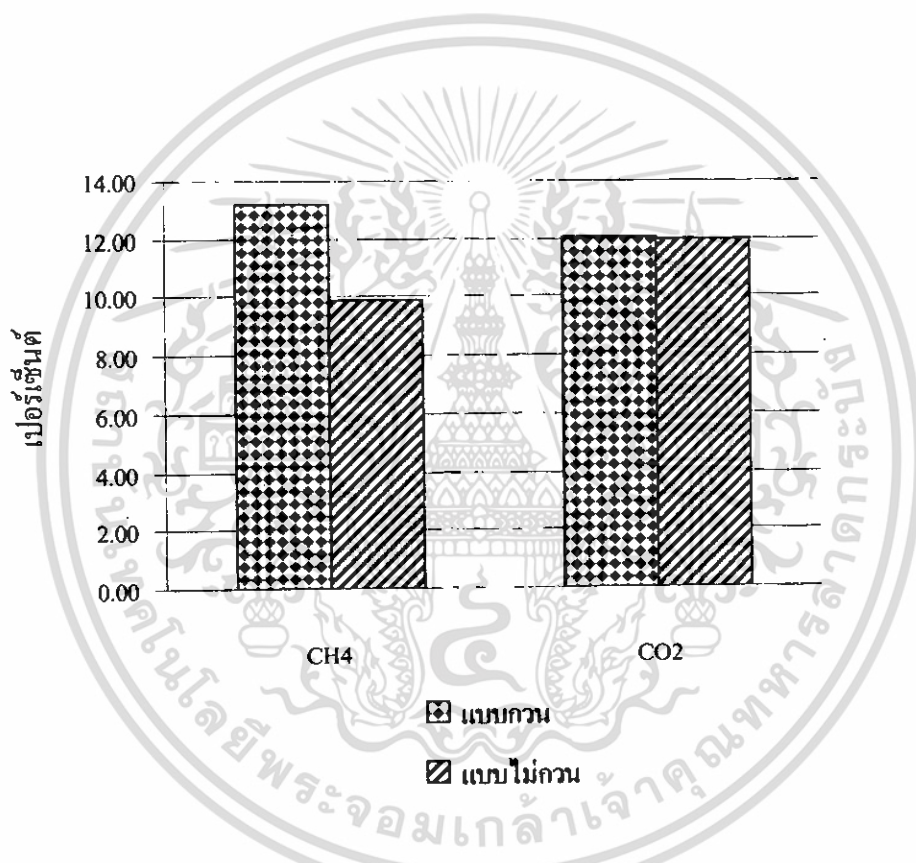
4.10. การหาลงศ์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ในการวัดค่าปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ทำให้ทราบปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นมาทั้งหมด แต่จะไม่สามารถทราบได้ว่ามีก๊าซชนิดใดสูงที่สุดจึงจำเป็นต้องแยกองค์ประกอบของก๊าซ โดยการเก็บตัวอย่างก๊าซเพื่อนำไปหาลงศ์ประกอบ ซึ่งจะทำการเก็บวันเว้นวัน โดยจะใช้หลอดสูญญากาศขนาด 10 มิลลิลิตร ในการเก็บตัวอย่างก๊าซ

จากตารางที่ 4.10. พบว่าก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่ประกอบด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นหลัก ซึ่งการหมักเศษอาหารแบบมีการกวนจะทำให้เกิดปริมาณก๊าซมากกว่า โดยมีก๊าซมีเทน 13.2 % และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 12.05 %

ตารางที่ 4.10. แสดงผลการหาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

วันที่	CH ₄ (%)		CO ₂ (%)	
	แบบกวน	แบบไม่กวน	แบบกวน	แบบไม่กวน
1	12.80	9.60	11.70	12.30
2	13.60	10.20	12.40	11.60
เฉลี่ย	13.20	9.90	12.05	11.95



รูปที่ 4.9. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างก๊าซมีเทนกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ก๊าซชีวภาพ

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การทดสอบการหมักเศษอาหารในเครื่องผลิตก๊าซ ด้วยระบบการหมักแบบไม่มีการกวนเศษอาหาร มีข้อมูลดังตารางที่ 4.8. และรูปที่ 4.3. จะพบว่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น จะมีปริมาณค่อนข้างสูงในช่วง 4 วันแรกของการหมัก โดยวันแรกที่ทำกรหมักจะมีปริมาณที่สูงที่สุด คือ 19.2 กิโลกรัม หลังจากนั้นปริมาณก๊าซที่ได้มีค่าที่ลดน้อยลงในแต่ละวัน และจากรูปที่ 4.4. มีปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ได้จากระบบกวนเศษอาหาร 42.6 กิโลกรัม และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณเศษอาหารแล้วปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเป็น 1.7 เท่าของปริมาณเศษอาหาร และ 7.7 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมด

การทดสอบการหมักเศษอาหารในเครื่องผลิตก๊าซ ด้วยระบบการหมักแบบกวนเศษอาหาร โดยมีการกวนวันละ 4 ครั้ง มีข้อมูลดังตารางที่ 4.9. และรูปที่ 4.5. จะพบว่า ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น จะมีปริมาณค่อนข้างสูงในช่วง 3 วันแรกของการหมัก โดยวันแรกที่ทำกรหมักจะมีปริมาณที่สูงที่สุด คือ 41.0 กิโลกรัม หลังจากนั้นปริมาณก๊าซที่ได้มีค่าที่ลดน้อยลงในแต่ละวัน และจากรูปที่ 4.6. มีปริมาณก๊าซทั้งหมดที่ได้จากระบบกวนเศษอาหาร 51.0 กิโลกรัม เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณเศษอาหารแล้ว ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเป็น 2 เท่าของปริมาณเศษอาหาร และ 9 เท่าเมื่อเทียบกับปริมาณของแข็งทั้งหมด

จากข้อมูลการหมักทั้ง 2 ระบบคือ แบบมีการกวนและแบบไม่มีการกวน พบว่าปริมาณการเกิดก๊าซในทั้ง 2 ระบบ ระบบที่มีการกวนจะมีการให้ค่าปริมาณก๊าซที่มากกว่าทั้งในส่วนในช่วงในการเกิดก๊าซเริ่มต้นและปริมาณรวมทั้งหมดของก๊าซที่เกิดขึ้น ในส่วนของระยะเวลาในการหมัก ระบบแบบมีการกวนจะทำให้เกิดช่วงระยะเวลาในการเกิดก๊าซสูงสุดที่น้อยกว่าประมาณ 3-4 วัน ซึ่งสามารถนำมากำหนดเวลาของการเปลี่ยนถ่ายเศษอาหารได้

จากผลการแยกองค์ประกอบของก๊าซดังตารางที่ 4.10. ซึ่งการเกิดก๊าซมีก๊าซที่มีค่าที่สูงอยู่ 2 ชนิด คือ ก๊าซมีเทน(CH_4) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) จากผลทดสอบทำให้ทราบว่า ในระบบการหมักแบบกวนเศษอาหารมีค่าของก๊าซมีเทน (CH_4) สูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) แต่ในการหมักแบบไม่มีการกวน จะให้ค่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ที่สูงกว่า และเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบก๊าซมีเทน (CH₄) และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ที่เกิดขึ้นในการหมักทั้ง 2 ระบบ ดังรูปที่ 4.9. จะพบว่าระบบการหมักแบบกวนเศษอาหารมีค่าของการเกิดก๊าซมีเทน (CH₄) สูงกว่าในการหมักแบบไม่มีการกวน

กล่าวได้ว่า การหมักเศษอาหาร ด้วยระบบการกวนจะก่อให้เกิดสภาวะในการผลิตก๊าซที่สูงกว่าและรวดเร็วกว่าการหมักในระบบไม่มีการกวนเศษอาหาร

5.2. สรุปผลการใช้งานของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ

จากการทำการทดลองใช้งานเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพในการหมักจริง ทั้งในระบบแบบมีการกวนเศษอาหารและระบบไม่มีการกวน พบว่าเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพนั้นสามารถที่จะทำให้เกิดสภาวะไร้อากาศได้และผลิตก๊าซออกมาได้จริง

กลไกในการกวนเศษอาหารระหว่างการหมัก สามารถทำให้เกิดปริมาณก๊าซชีวภาพสูงขึ้นและช่วยในการเร่งเวลาในการผลิตก๊าซชีวภาพให้เร็วขึ้นด้วย ในส่วนของอุปกรณ์เสริมอื่นๆ สามารถใช้งานได้จริง ช่วยให้การใช้งานเครื่องผลิตก๊าซสะดวกมากยิ่งขึ้น ไม่เกะกะ สามารถถอดเปลี่ยนเพื่อซ่อมแซมและปรับปรุงประสิทธิภาพได้ง่าย

5.3. ข้อเสนอแนะ

จากการทดสอบใช้งานจริงของเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพ พบว่ามีบางส่วนของเครื่องที่สามารถปรับปรุงและพัฒนาให้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นและทำให้การใช้งานเครื่องง่ายมากขึ้น ดังนี้

1. ระบบสภาวะไร้อากาศ การจะทำให้ระบบนี้สมบูรณ์นั้น ควรที่จะออกแบบให้ตัวเครื่องและฝาเครื่องมีบารองรับกันและกัน โดยมีแผ่นปะเก็นยางรองอยู่ระหว่างกลางรอบ ๆ บนบ่า แล้วจึงใช้น็อตสกรูร้อยยึดไว้ ด้วยวิธีนี้จะทำให้เครื่องอยู่ในสภาวะไร้อากาศได้ง่าย

2. การวัดปริมาณก๊าซ จากข้อที่กล่าวมาหากทำแล้วจะทำให้เครื่องมีสภาพการรับแรงดันที่สูงขึ้นด้วย ดังนั้นการที่จะวัดปริมาณก๊าซด้วยวิธีวัดแรงดันจึงทำได้ด้วยการติดมาตรวัดแรงดันเพิ่ม ซึ่งมีผลดีกว่าวิธีการแทนที่ด้วยน้ำ เนื่องจากการแทนที่ด้วยน้ำนั้นถ้ามีอุณหภูมิสูงขึ้นอาจทำให้น้ำกลายเป็นไอแล้วดันตัวทำให้ค่าปริมาณก๊าซที่ได้อาจคลาดเคลื่อน

3. ระบบการกวน ในที่นี้หมายถึงใบกวนซึ่งที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบสกรูนั้น พบว่า หากเราทำการบดเศษอาหารให้ละเอียดแล้วใบกวนแบบสกรูจะกวนได้ไม่คีนัก แต่จะใช้ได้ดีกว่ากับเศษอาหารที่ไม่ได้บด ฉะนั้นจึงควรออกแบบใบกวนไว้ 2 แบบคือ แบบสกรูไว้ใช้กับเศษอาหารที่ไม่มีการบดก่อนหมัก และแบบใบพัดสำหรับเศษอาหารที่มีการบด

4. น้ำหนัก เครื่องผลิตก๊าซชีวภาพที่สร้างขึ้นนี้ประกอบไปด้วยเหล็กและสแตนเลส จึงทำให้มีน้ำหนักค่อนข้างมาก โดยเฉพาะบริเวณของฝาเครื่องเพราะมีส่วนของกลไกการกวนติดอยู่ด้วย จึงควรลดขนาดในบางอย่างให้เล็กลง เช่น เฟืองกับเพลลาให้มีขนาดเล็กลง หรือเปลี่ยนไปใช้วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่า

5. การเก็บตัวอย่างก๊าซ จากการทดลองจะพบว่าช่วงเวลาในการเกิดก๊าซนั้นมีช่วงเวลาที่สั้นมาก ดังนั้นการเก็บตัวอย่างในแบบวันเว้นวันอาจได้ค่าที่ไม่แน่นอน ควรทำการเก็บตัวอย่างให้ถี่ขึ้น อาจเป็นทุกๆ 3-6 ชั่วโมงก็ได้ เพื่อค่าที่ได้จะมีความแน่นอนที่สูงขึ้น

5.4. ปัญหาและอุปสรรค

ปัญหาและอุปสรรคที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักจะเกิดในช่วงที่ทำการทดสอบเครื่องผลิตก๊าซชีวภาพก่อนนำไปใช้หมักเศษอาหาร โดยเฉพาะในเรื่องของรอยรั่วซึมที่เกิดขึ้นทำให้ไม่สามารถเก็บกักก๊าซที่เกิดขึ้นในระหว่างการหมักได้ แต่หากทำตามข้อเสนอแนะที่ได้กล่าวไว้ก็จะสามารถแก้ไขปัญหารอยรั่วซึมนี้ได้ นอกจากนี้ฝาของเครื่องที่มีน้ำหนักมากก็เป็นอุปสรรคในกรณีที่ต้องการล้างทำความสะอาดเครื่อง แต่ข้อดีของฝามีน้ำหนักมากก็จะช่วยในการต้านแรงดันของก๊าซภายในถังหมักได้

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน, การศึกษาความเหมาะสมก่อนการลงทุนในการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะชุมชน เพื่อเป็นเชื้อเพลิงพลังงานในเขต อ.เมือง จ.นครราชสีมาและกรุงเทพฯ. กรุงเทพฯ :
สำนักงานศึกษาค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม,
2542.

เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, พระโขง, กรุงเทพฯ : มิตรนราการพิมพ์, 2537, หน้า
368 .

เกียรติไกร อาวุฒัน, “การผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซขยะ,” การประชุมทางวิชาการคณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สจธ, ครั้งที่ 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2537, หน้า 26 – 47.
บุษบา ธรรมประเสริฐ, “การกำจัดของเสียจากสุกรโดยใช้ระบบหมักแบบ UASB,” วิทยานิพนธ์วิชา
ศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2537.
ปราการ บุญช่วยดี, “รูปแบบและการสร้างประกอบระบบหมักผลิตและใช้ก๊าซชีวภาพ.” กรุงเทพฯ :
กองนโยบายและวางแผนพลังงาน สำนักงานพลังงานแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี
และการพลังงาน, 2528.

พัชรี หอวิจิตร, การจัดการขยะมูลฝอย, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2529, หน้า 244 .

เพชรพร คุณาวนากิจ, การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.
สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, “แนวทางการกำจัดน้ำจากโรงงาน
สุรา” กรมสรรพสามิต ตอนที่ 2, 2524.

สมชาย เข็มธีรสกุล, “การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะ โดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศ 2 ชั้นตอน,”
วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, “รายงานการสำรวจข้อมูลด้านการเก็บและกำจัดมูลฝอย
และสิ่งปฏิกูลของเทศบาล”, ภาคผนวก ค.1, 2524

สุพรรณิ ชาญประเสริฐ, “ผลของระยะเวลาเก็บกักและอัตราการป้อนอินทรีย์สารต่อการหมักเมะเชื้อเทศ
แบบอับอากาศ 2 ชั้นตอน,” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาชีววิทยาประยุกต์ บัณฑิต
วิทยาลัย, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร, 2536.

สุรพล สายพานิช, “กระบวนการเร่งตะกอนคอนแทกต์สเตบิลไลเซชันแบบแอนแอโรบิก,” รายงาน
ผลการวิจัย, กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยและพัฒนาของคณะวิศวกรรมศาสตร์,
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2530.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สุเมธ ชวเดช, “การผลัดก๊าซชีวภาพจากมูลสัตว์โดยถังหมักแบบบรรจุตัวกลาง,” รายงานผลการวิจัย, กรุงเทพฯ : กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมและนิเวศวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2522.
- Andrews, J.F., “Dynamic Model of the Anaerobic Digestion Process,” **Proc. Amer. Soc. Civil. Engr.** 1969, 95 : 5 – 10.
- Barker, H.A., “Studies on the Methane Fermentation and Biochemical Activities of *Methanobacterium omelianskill*,” **J. Biol. Chem.** 1941, 51 : 131 – 153.
- Barker, H.A., “Biological Formation of Methane,” **Ind. Eng. Chem.** 1956, 48(9) : 1438 – 1443.
- Barker, H.A., Bacterial Fermentation, New York : John Wiley and Sons.
- Barker, M.P., “Microbial Methane Production Theoretical Aspects,” **J. Anim. Sci.** 1979, 48(1) : 193 – 201.
- Buren, Renewable methane from anaerobic digestion of biomass, Renewable Energy, Vol. 22, 2001, pp.1 – 8.
- Buswell, A.M., and Mueller, H.F., “Mechanisms of Methane Fermentation,” **Ind. Eng. Chem.** 1952, 44(3) : 550 – 552.
- Cooney, C.L. and Wise, D.L., “Thermophilic Anaerobic Digestion of Solid Wastes for Fuel Gas Production,” **Biotechnol. Bioeng.** 1975, 17 : 1119 – 1135.
- Economic and Social Commission for Asia and the Pacific., Updated Guidebook on Biogas Development, Energy Resources Development Series No. 27, New York : United Nation, 1984.
- EPA., Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, Washington, D.C. : U.S. Environmental Protection Agency, 1979.
- Gosh, S.et. al., “Anaerobic Process,” **J. Water Poll. Control Fed.** 1978, 50(10) : 307 – 313.
- Graef, S.P. and Andrews, J.F., “Stability and Control of Anaerobic Digestion,” **J. Water Poll. Control Fed.** 1974, 46(4) : 666 – 683.
- Hayes, T.P. and Theis, T.L., “The Distribution of Heavy Metals in Anaerobic Digestion,” **J. Water Poll. Control Fed.** 1978, 50(1) : 307 – 313.
- Henze, M. and Harremoes, P., “Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactor a literature review,” **Wat.Sci.Tech.** Vol.15, 1982, pp.1 – 101.
- Heukelekian, H. and Heinemann, B., “Studies on the Methane Producing Bacteria II Enumeration in the Digesting Sewage Solids,” **J. New. Work.** 1939, 11(3) : 436 – 444.
- Holland, K.T. et.al., Anaerobic Bacteria, New York : Chapman and Hall, 1987.
- Hobson, P.N. and Wheatly, A.D., Anaerobic Digestion : Modern Theory and Practice, New York : Elsevier Applied Science, 1993.

- Huang, J.H. and Shih C.H., The potential of biological methane generation from chicken manure, *Biotechnol, Bioeng*, Vol 23, 1981, pp.2307 – 2314.
- JICA, The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand final Report, Bangkok, 1982, pp.14 – 25.
- Lawrence, A.W., “Anaerobic Biological Waste Treatment System, Agricultural Waste : Principle and Guideline for Practical Solutions,” *Proc. Cornell Univ. Conf. Agric. Wastes Management*, 1971.
- Lawrence, A.W. et.al., “The Effect of Sulfides on Anaerobic Treatment,” 343 – 357, In *Proceeding of the 19 th Industrial Waste Conference, Purdue University. Michigan : Ann Arbor Science*, 1964.
- Lawrence, A.W. and McCarty, P.L., “The Role of Sulfide in Preventing Heavy Metal Toxicity in Anaerobic Treatment,” *J. Water Poll. Control Fed.* 1965, 37(1) : 392 – 409.
- Marty, B., “Microbiology of Anaerobic Digestion ,” 72 – 89, In Bruce, A.M. Kouzeli, A. and Newman, P.J.(editors). **Anaerobic Digestion of Sewage Sludge and Organic Agricultural Wastes**. New York : Elsevier Applied Science, 1984.
- McCarty, P.L., “Anaerobic Waste Treatment Fundamental Part 1, 2, 3, 4.” *Public Works*, 1964, 95(9) : 107 – 115.
- McCarty, P.L. and McKinney, R.E., “Salt Toxicity in Anaerobic Digestion,” *J. Water Poll. Control Fed.* 1961a, 33(4) : 399 – 415.
- McCarty, P.L. and McKinney, R.E., “Volatile Acid Toxicity in Anaerobic Digestion,” *J. Water Poll. Control Fed.* 1961b, 33(3) : 223 – 235.
- Mosey F.E, Mathematic Modelling of anaerobic digestion process: regulatory mechanism for the formation of short chain volatile and from glucose, *Wat.Sci.Tech.*, Vol.15, 1983, pp. 209 – 232.
- National Research Council, “Methane generation from human, Animal and Agriculture Waste,” *National Academy of Science*, Washington D.C., 1977, pp.1074
- Novaes, R.F., “Microbiology of Anaerobic Digestion,” *Water Sci. Technol.* 1986, 18(12) : 1 – 14.
- Pfeffer, J.T., “Temperature Effects on Anaerobic Fermentation of domestic Refuse,” *Biotechnol. Bioeng.* 1974, 16 : 771 – 787.
- Price, E.C. and Cheremisinoff, P.N., Production and Utilization, Michigan : Ann Arbor Science, 1981.

- Sassc, L., Biogas Plants : Design and Details of Simple Biogas Plant. 2 nd. USA : Vieweg and Son(GTZ) Eschborn, 1988.
- Sprott, G.D. et.al., “Proton Motive Forces as a Function of the pH at which *Methanobacterium bryantii* is Grown,” **J. Microbiol.** 1985, 31 : 1031 – 1034.
- Taylor, G.T., “The Methanogenic Bacteria,” **Prog. Ind. Microbiol.** 1982, 16 : 231 – 329.
- Therkelson, H.H., and Carlson, D.A., “Thermophilic Anaerobic Digestion of a Strong Complex,” **J. Water Poll. Control Fed.** 1979, 51(7) : 1949 – 1964.
- Toerien, D.F. et.al., “the Bacterial Nature of the Acid Forming Phase of Anaerobic Digestion,” **Water Res.** 1967, 1 : 497 – 507.



ภาคผนวก ก

ข้อมูลปริมาณและความชื้นในเศษอาหาร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลปริมาณและความชื้นในเศษอาหาร

วันที่ 9 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	24.71	29.10	27.88	29.77	29.21
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	23.37	27.39	26.15	28.13	27.38
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	12.92	13.21	13.45	13.24	12.67
WT. CONTAINER	g	9.58	9.30	9.52	9.52	9.54
WT. เศษอาหาร	g	15.13	19.80	18.36	20.25	19.67
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	13.79	18.09	16.63	18.61	17.84
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	3.34	3.91	3.93	3.72	3.13
WATER CONTENT	%	77.92	80.25	78.59	81.63	84.09
AVERAGE WATER CONTENT	%					80.50

WT. เศษอาหารทั้งหมด	52	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัว ตัวอย่างในการอบ	93.21	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	84.96	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	18.03	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	19.34	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	8.85	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	10.06	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผก2
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 11 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	28.48	25.07	24.35	28.35	26.68
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	25.07	21.52	20.83	25.32	23.71
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	13.30	12.30	12.50	12.90	13.30
WT. CONTAINER	g	9.38	9.40	9.41	9.29	9.39
WT. เศษอาหาร	g	19.10	15.67	14.94	19.06	17.29
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	15.69	12.12	11.42	16.03	14.32
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	3.92	2.90	3.09	3.61	3.91
WATER CONTENT	%	79.48	81.49	79.32	81.06	77.39
AVERAGE WATER CONTENT	%	79.75				

WT. เศษอาหารทั้งหมด	56	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการอบ	86.06	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	69.58	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	17.43	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	20.25	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	19.15	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	11.34	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ฃก3
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 12 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	27.10	27.70	28.70	28.90	29.30
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	24.60	25.40	26.40	27.20	27.50
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	13.62	13.15	13.77	13.72	14.06
WT. CONTAINER	g	9.50	9.50	9.50	9.40	9.40
WT. เศษอาหาร	g	17.60	18.20	19.20	19.50	19.90
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	15.10	15.90	16.90	17.80	18.10
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	4.12	3.65	4.27	4.32	4.66
WATER CONTENT	%	76.59	79.95	77.76	77.85	76.58
AVERAGE WATER CONTENT	%	77.75				

WT. เศษอาหารทั้งหมด	73	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการอบ	94.40	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	83.80	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	21.02	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	22.27	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	11.23	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	16.25	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนวก4
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 13 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	29.02	24.72	24.56	24.45	27.01
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	26.44	25.25	23.01	21.94	24.94
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	13.95	12.68	12.70	12.83	12.88
WT. CONTAINER	g	9.37	9.28	9.40	9.52	9.33
WT. เศษอาหาร	g	19.65	15.44	15.16	14.93	17.68
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	17.07	15.97	13.61	12.42	15.61
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	4.58	3.40	3.30	3.31	3.55
WATER CONTENT	%	76.69	77.98	78.23	77.83	79.92
AVERAGE WATER CONTENT	%	78.13				

WT. เศษอาหารทั้งหมด	74	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการอบ	82.86	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	74.68	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	18.14	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	21.89	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	9.87	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	16.20	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 หนก5
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 14 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	27.82	28.76	28.99	29.08	27.95
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	25.54	26.73	26.40	26.45	26.26
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	13.64	13.38	13.56	13.35	12.87
WT. CONTAINER	g	9.57	9.38	9.56	9.52	9.43
WT. เศษอาหาร	g	18.25	19.38	19.43	19.56	18.52
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	15.97	17.35	16.84	16.93	16.83
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	4.07	4.00	4.00	3.83	3.44
WATER CONTENT	%	77.70	79.36	79.41	80.42	81.43
AVERAGE WATER CONTENT	%	79.66				

WT. เศษอาหารทั้งหมด	56	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการอบ	95.14	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	83.92	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	19.34	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	20.33	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	11.79	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	11.38	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 15 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	29.71	29.17	28.85	29.26	30.40
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	27.41	26.77	26.81	27.08	28.63
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	14.04	14.29	13.84	14.85	14.32
WT. CONTAINER	g	9.50	9.47	9.53	9.57	9.64
WT. เศษอาหาร	g	20.21	19.70	19.32	19.69	20.76
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	17.91	17.30	17.28	17.51	18.99
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	4.54	4.82	4.31	5.28	4.68
WATER CONTENT	%	77.54	75.53	77.69	73.18	77.46
AVERAGE WATER CONTENT	%					76.28

WT. เศษอาหารทั้งหมด	55	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการอบ	99.68	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	88.99	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	23.63	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	23.71	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	10.72	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	13.04	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 16 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	27.95	24.99	24.70	25.97	26.44
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	25.93	21.89	21.91	23.18	23.93
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	13.70	12.90	13.45	13.86	14.11
WT. CONTAINER	g	9.67	9.63	9.66	9.66	9.51
WT. เศษอาหาร	g	18.28	15.36	15.04	16.31	16.93
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	16.26	12.26	12.25	13.52	14.42
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	4.03	3.27	3.79	4.20	4.60
WATER CONTENT	%	77.95	78.71	74.80	74.25	72.83
AVERAGE WATER CONTENT	%	75.71				

WT. เศษอาหารทั้งหมด	38	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างไม่การอบ	81.92	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	68.71	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	19.89	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	24.28	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	16.13	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	9.23	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 19 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	25.67	27.48	26.06	25.22	26.34
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	22.22	23.31	23.97	22.37	23.36
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	13.21	13.42	13.03	12.79	13.13
WT. CONTAINER	g	9.44	9.33	9.40	9.32	9.38
WT. เศษอาหาร	g	16.23	18.15	16.66	15.90	16.96
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	12.78	13.98	14.57	13.05	13.98
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	3.77	4.09	3.63	3.47	3.75
WATER CONTENT	%	76.77	77.47	78.21	78.18	77.89
AVERAGE WATER CONTENT	%					77.70

WT. เศษอาหารทั้งหมด	75	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็น ตัวอย่างในการอบ	83.90	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	68.36	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	18.71	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	22.30	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	18.52	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	16.73	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนวก 9
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 20 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	21.26	22.01	22.73	22.27	19.85
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	18.54	19.46	20.46	19.86	17.70
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	11.71	12.00	11.95	11.79	11.08
WT. CONTAINER	g	9.39	9.37	9.40	9.36	9.34
WT. เศษอาหาร	g	11.87	12.64	13.33	12.91	10.51
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	9.15	10.09	11.06	10.50	8.36
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	2.32	2.63	2.55	2.43	1.74
WATER CONTENT	%	80.45	79.19	80.87	81.18	83.44
AVERAGE WATER CONTENT	%					81.03

WT. เศษอาหารทั้งหมด	36	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างไม่การอบ	61.26	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	49.16	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	11.67	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	19.05	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	19.75	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	6.86	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนวก 10
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 21 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	26.59	25.27	27.52	27.40	28.25
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	24.78	21.89	26.01	25.80	26.17
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	13.63	13.41	13.76	13.25	14.14
WT. CONTAINER	g	9.36	9.32	9.45	9.36	9.30
WT. เศษอาหาร	g	17.23	15.95	18.07	18.04	18.95
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	15.42	12.57	16.56	16.44	16.87
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	4.27	4.09	4.31	3.89	4.84
WATER CONTENT	%	75.22	74.36	76.15	78.44	74.46
AVERAGE WATER CONTENT	%	75.72				

WT. เศษอาหารทั้งหมด	70	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างในการอบ	88.24	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	77.86	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	21.40	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	24.25	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	11.76	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	16.98	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 22 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	27.03	33.00	27.29	30.03	29.26
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	19.40	23.72	19.72	20.89	22.47
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	12.89	14.05	13.30	14.26	13.81
WT. CONTAINER	g	9.36	9.35	9.46	9.36	9.33
WT. เศษอาหาร	g	17.67	23.65	17.83	20.67	19.93
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	10.04	14.37	10.26	11.53	13.14
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	3.53	4.70	3.84	4.90	4.48
WATER CONTENT	%	80.02	80.13	78.46	76.29	77.52
AVERAGE WATER CONTENT	%	78.49				

WT. เศษอาหารทั้งหมด	72	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างไม่การอบ	99.75	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	59.34	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	21.45	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	21.50	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	40.51	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	15.48	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 27 กันยายน 2549

NO.		1	2	3	4	5
WT. เศษอาหาร + CONTAINER	g	27.83	26.02	26.95	28.99	28.07
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 1 ชม.	g	23.33	23.12	23.16	23.12	24.70
WT. เศษอาหาร + CONTAINER						
หลังอบ 24 ชม.	g	13.30	13.03	13.30	14.01	13.04
WT. CONTAINER	g	9.47	9.32	9.49	9.40	9.33
WT. เศษอาหาร	g	18.36	16.70	17.46	19.59	18.74
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	g	13.86	13.80	13.67	13.72	15.37
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	g	3.83	3.71	3.81	4.61	3.71
WATER CONTENT	%	79.14	77.78	78.18	76.47	80.20
AVERAGE WATER CONTENT	%	78.35				

WT. เศษอาหารทั้งหมด	53	kg.
WT. เศษอาหารที่ถูกใช้เป็นตัวอย่างเป็นการอบ	90.85	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 1 ชม.	70.42	g
WT. เศษอาหาร หลังอบ 24 ชม.	19.67	g
% ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})	21.65	%
% ของของแข็งระเหยง่าย (VS)	22.49	%
น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_{TS})	11.48	kg. TS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ผนวก 13
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การวิเคราะห์คุณสมบัติ

- ข1. อุปกรณ์การทดลอง
- ข2. การทดสอบคุณสมบัติของเศษอาหาร
- ข3. การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์คุณสมบัติ

1. อุปกรณ์การทดลอง

ในการทดสอบหาค่าต่าง ๆ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์มาทำการทดสอบ โดยอุปกรณ์สำหรับการทดสอบค่าต่าง ๆ จะมีความแตกต่างกันไปดังแสดงในตารางที่ ผ.ข. 1

ตารางที่ ผ.ข. 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบค่าต่างๆ

การทดลอง	อุปกรณ์ที่ใช้						เครื่องมือเฉพาะ
	ปิเกตอร์	กระบอกตวง	เครื่องชั่ง	เตาอบ	ถาด	ถัง	
หน่วยน้ำหนัก	*	*	*				-
ปริมาณเศษอาหาร			*			*	-
กรด-ด่าง (pH)	*						มาตรวัดพีเอช
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (TS)			*	*	*		-
ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS)			*	*	*		-
ปริมาณความชื้น (Water Content)			*	*	*		-
ปริมาณตะกอนหนัก	*	*	*				-
COD	*						เครื่องวัดค่า COD เครื่องให้ความร้อน
ไนโตรเจน	*						เครื่องวัดค่า N
BOD	*						เครื่องให้ความร้อน เครื่องวัดค่า BOD

2. การทดสอบคุณสมบัติของเศษอาหาร

2.1. พีเอช (pH)

พีเอช เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจน $[H^+]$ ในน้ำ โดยคำนวณได้จากสูตร

$$pH = -\log [H^+]$$

เมื่อ $[H^+]$ = ความเข้มข้นของ H^+ มีหน่วยเป็น โมลต่อลบ.คม.

ในทางปฏิบัติ ค่าพีเอชแสดงถึงความเป็นกรดหรือด่างของสารละลาย น้ำทิ้งที่สมบัติเป็นกรดจะมีค่าพีเอชน้อยกว่า 7 เป็นด่างจะมีค่าพีเอชมากกว่า 7 และเป็นกลางจะมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 ค่าพีเอชของน้ำทิ้ง มีความสำคัญในการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี ฟิสิกส์ และชีววิทยา ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมค่าพีเอชของน้ำทิ้งให้คงที่หรือควบคุมให้อยู่ในช่วงที่จำกัดไว้

การวัดค่าพีเอชทำได้หลายวิธี คือ

1. ใช้กระดาษพีเอช ซึ่งเมื่อนำน้ำทิ้งมาหยดบนกระดาษพีเอชแล้ว จะมีสีเปลี่ยนไปตามค่าพีเอชของน้ำทิ้ง เมื่อนำมาเทียบกับแถบสีมาตรฐานจะได้ค่าพีเอชโดยประมาณ
2. ใช้การเทียบสีกับสารละลายมาตรฐานที่ทราบค่าพีเอชโดยการเติมสารที่มีสมบัติเป็นอินดิเคเตอร์ (indicator) ปริมาณที่กำหนดลงในน้ำทิ้ง วิธีนี้จะวัดค่าพีเอชได้ละเอียดกว่าใช้กระดาษ และสีจะคงทนอยู่นานกว่า แต่อาจเกิดข้อผิดพลาดได้ในกรณีที่ตัวอย่างน้ำที่นำมาทดสอบมีสี
3. ใช้มาตรวัดพีเอช (pH meter) ซึ่งมีหลายแบบขึ้นอยู่กับความละเอียดของค่าพีเอชที่ต้องการ ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นแบบใช้ไฟสลับและไฟตรง เช่น รูปที่ 3.12. เป็นแบบราคาถูกที่ใช้ในห้องทดลองและในงานสนาม วัดค่าได้ละเอียดใช้ในห้องปฏิบัติการ

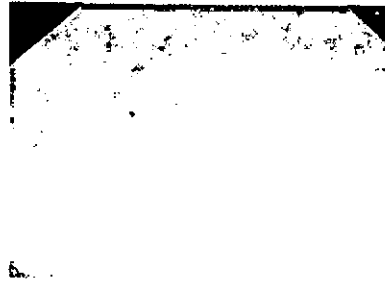
วิธีการหาค่าพีเอชโดยใช้เครื่องวัด

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. มาตรพีเอช
2. บีกเกอร์



มาตราพีเอช



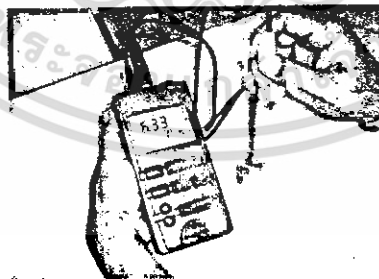
บีกเกอร์

รูปที่ ผ.ข. 1 อุปกรณ์ที่ใช้หาค่าพีเอช

วิธีการวัด

หลักการหาค่าพีเอช โดยทั่ว ๆ ไป ด้วยมาตราพีเอช

1. ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างแท่งอิเล็กโทรดให้สะอาด ใช้กระดาษทิชชูเนื้อละเอียดซับน้ำให้แห้ง
2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐาน ตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องมือ นั้น ๆ โดยจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าของน้ำที่ตัวอย่างที่จะวัด
3. ใช้น้ำกลั่นชนิดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้ง ซับน้ำให้แห้ง
4. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ (ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาหาค่า ต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของสารละลายมาตรฐานในข้อ 2)



รูปที่ ผ.ข. 2 การวัดค่าพีเอชโดยมาตราพีเอช

2.2. ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solid ,TS), ปริมาณของแข็งระเหยง่าย (VS) และปริมาณความชื้นในเศษอาหาร (Water Content)

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. container
2. เตาอบแห้ง
3. เครื่องชั่ง



เครื่องชั่ง

Container

เตาอบ

รูปที่ ผ.ข. 3 อุปกรณ์ที่ใช้หาปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย และปริมาณความชื้นในเศษอาหาร

วิธีวิเคราะห์

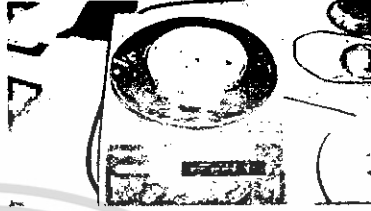
1. ชั่งน้ำหนักปริมาณเศษอาหารทั้งหมด , w
2. นำตัวอย่างเศษอาหารใส่ลงใน container แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105°C , w_1
3. นำออกมาชั่งน้ำหนักหลังอบได้ 1 ชั่วโมง บันทึกค่า, w_3 นำกลับไปอบจนแห้ง (24 ชั่วโมง)
4. เมื่ออบจนแห้งแล้วนำออกมาวางไว้สักพักแล้วค่อยนำไปชั่งน้ำหนัก , w_2
5. คำนวณผล ดังนี้

- เปอร์เซ็นต์ของของแข็งทั้งหมด (m_{TS})

$$m_{TS} = \frac{w_2}{w_1} \times 100 \%$$

- น้ำหนักทั้งหมดของของแข็ง (w_s)

$$WTS = w \cdot mTS$$



ดวงเศษอาหารลงใน Container

ชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่า



นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105 °C

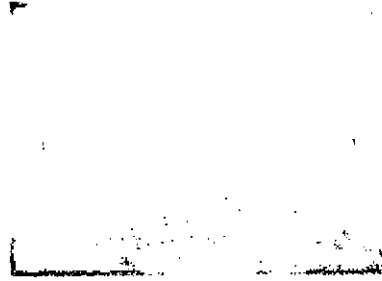
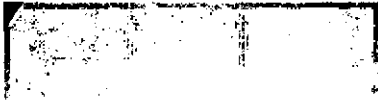
รูปที่ ผ.ช. 4 ขั้นตอนในการหาปริมาณของแข็งทั้งหมด, ปริมาณของแข็งระเหยง่าย และปริมาณความชื้นในเศษอาหาร

2.3. ปริมาณตะกอนหนัก

ตะกอนหนัก หมายถึง ปริมาณตะกอนที่จมตัวลงได้ดีเมื่อคั่งตัวอย่างน้ำทิ้งไว้หนึ่ง ๆ เป็นเวลา 1 ชั่วโมงมีหน่วยเป็น ลบ.ซม./ลบ.คม./ชั่วโมง

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. กระบอกลบความจุ 1,000 ลบ.ซม
2. แท่งแก้วสำหรับกวน



กระบอกตวง 1,000 ลบ.ซม

แท่งแก้ว

รูปที่ ผ.ข. 5 อุปกรณ์ที่ใช้หาปริมาณตะกอนหนัก

วิธีการทดลอง

1. เทตัวอย่างน้ำที่เขย่าเข้ากันดีแล้วลงในกระบอกตวง จนกระทั่ง ได้ปริมาตรเป็น 1,000 ลบ.ซม
2. ปล่อยให้สารที่หนักจมตัวลงเป็นเวลา 45 นาที ใช้แท่งแก้วค่อยๆ กวนข้างๆ กรวย เพื่อให้สารต่างๆ จมตัวได้ถึงก้นให้หมด
3. ตั้งทิ้งไว้ต่อไปอีก 15 นาที (รวมทั้งหมด 60 นาที) จึงอ่านปริมาณของสารที่จมตัวลงได้เป็น ลบ.ซม



บดเศษอาหารให้ละเอียด



เทในกระบอกตวง



เทน้ำผสมให้ได้ 1,000 ลบ.ซม

รูปที่ ผ.ข. 6 ขั้นตอนการหาปริมาณตะกอนหนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เขย่าผสมให้เข้ากัน

ทิ้งไว้ให้ตกตะกอนแล้วอ่านค่า

รูปที่ ผ.ช. 6 ขั้นตอนการหาปริมาณตะกอนหนัก (ต่อ)

2.4. การทดสอบหาค่า COD

การวิเคราะห์หาค่าซีโอดีเป็นการวัดความสกปรกของน้ำเสีย โดยคิดเปรียบเทียบในรูปของปริมาณออกซิเจนที่ต้องการใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ โดยใช้สารเคมีซึ่งมีอำนาจในการออกซิไดซ์สูงในสารละลายที่เป็นกรด ในการวิเคราะห์หาค่าซีโอดีจากตัวอย่างจำเพาะบางชนิด สามารถหาค่าความสัมพันธ์กับค่าบีโอดี สารอินทรีย์คาร์บอน หรือสารอินทรีย์ต่าง ๆ เพื่อใช้ในการติดตามและควบคุมกระบวนการบำบัดน้ำเสียได้ วิธีรีฟลักซ์โดยใช้โคโครเมทเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่าการใช้สารออกซิแดนท์ชนิดอื่น ๆ เนื่องจากความสามารถในการออกซิไดซ์ใช้ได้กับตัวอย่างชนิดต่าง ๆ และวิธีวิเคราะห์ง่าย ออกซิไดซ์สารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ประมาณ 95 – 100 % แต่สำหรับไพรีดีนและอนุพันธ์จะทนต่อการถูกออกซิไดซ์ และพวกสารอินทรีย์ที่ระเหยได้จะถูกออกซิไดซ์เมื่อสัมผัสกับสารออกซิไดซ์เท่านั้น แอมโมเนียที่อยู่ในน้ำเสียหรือถูกปล่อยออกจากสารอินทรีย์จะไม่ถูกออกซิไดซ์ ถ้าไม่มีประจุคลอไรด์อิสระจำนวนมากเพียงพอ

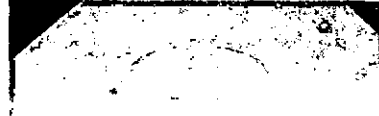
เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือทดสอบค่า COD
2. บีกเกอร์
3. เครื่องให้ความร้อนแบบตั้งเวลาและ อุณหภูมิได้
4. หลอดทดสอบใช้สำหรับ หาค่า COD แบบ วิธี MR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



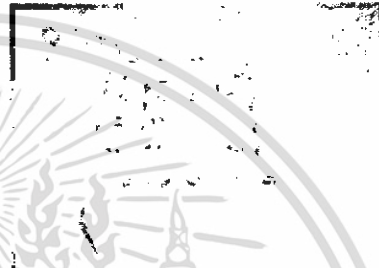
เครื่องมือทดสอบค่า COD



บีกเกอร์



เครื่องให้ความร้อนแบบตั้งเวลา-อุณหภูมิได้



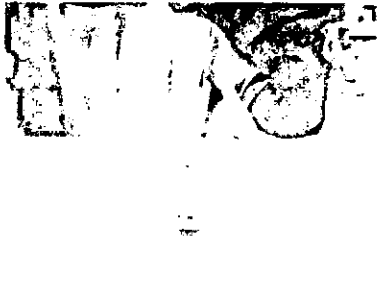
หลอดทดสอบ หาค่า COD แบบวิธี MR

รูปที่ ผ.ข. 7 อุปกรณ์การทดสอบค่าซีโอดี

วิธีการทดลอง

1. เปิดฝาขวดทดสอบค่า COD แล้วเติมน้ำที่ไม่มีค่าของออกซิเจนละลายอยู่ ลงไป 2 มล. ให้เป็นหลอดตั้งต้น
2. เปิดฝาขวดทดสอบค่า COD อีกขวด แล้วเติมน้ำตัวอย่างลงไป 2 มล. ให้เป็นหลอดตัวอย่าง
3. ปิดฝาขวดทดสอบให้สนิท กลับหัวขวดทดสอบไปมาอย่างช้าๆ หลายๆ ครั้งเพื่อให้ตัวอย่างที่ใส่ลงไปผสมกันกับสารที่อยู่ในขวด
4. นำไปใส่ลงในเครื่องให้ความร้อน โดยให้ความร้อนที่ 148 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เอาขวดทดสอบออกเมื่อครบเวลา ทิ้งไว้ให้อุณหภูมิลดลงเหลือที่ 60 °C แล้วกลับหัวขวดทดสอบไปมาอย่างช้าๆ หลายๆ ครั้ง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นเทียบเท่าอุณหภูมิห้อง
6. นำหลอดตั้งต้น ใส่ลงในเครื่องทดสอบ แล้วให้เครื่องทดสอบอ่านค่าของหลอดตั้งต้นกำหนดให้ค่าที่เครื่องทดสอบอ่านเป็นค่าเริ่มต้น
7. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงในเครื่องทดสอบที่ละหลอด ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็น mg/l

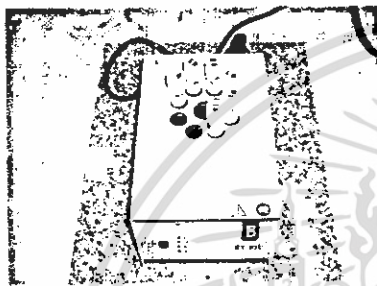
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ใส่น้ำตัวอย่างลงในหลอดทดสอบ



เขย่าหลอดให้ผสมกัน



นำไปให้ความร้อน 148 °C 2 ชั่วโมง



นำไปทดสอบกับเครื่องหาค่า COD

รูปที่ ผ.ข. 8 ขั้นตอนการทดสอบค่าซีโอดี

2.5. การทดสอบหาค่าไนโตรเจน N

2.5.1 ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN)

ไนโตรเจนที่พบในน้ำตามแม่น้ำ ลำคลอง บึง น้ำโสโครก น้ำทิ้งที่มาจากโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีอยู่หลายรูปแบบคือ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย - ไนโตรเจน หรือ ไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของสารอินทรีย์ที่เรียกว่า ออร์แกนิกไนโตรเจนก็ได้ ทีเคเอ็นหมายถึง ผลบวกระหว่างออร์แกนิกไนโตรเจน และแอมโมเนียไนโตรเจนที่อยู่ในโปรตีนของพืชหรือสัตว์ หรือที่เกิดจากกระบวนการของสิ่งมีชีวิต เช่น เกิดจากการขับถ่ายของเสีย ขกตัวอย่างเช่น ในปัสสาวะมียูเรีย ซึ่งในยูเรียจะมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ด้วย เป็นต้น

2.5.2. แอมโมเนีย – ไนโตรเจน

แอมโมเนีย-ไนโตรเจนที่พบในน้ำผิวดินจะมีปริมาณไม่มากนัก เมื่อเทียบกับที่พบในน้ำโสโครก หรือน้ำเสียที่มาจากแหล่งชุมชน เนื่องจากน้ำซึ่งนำมาทำน้ำประปาเป็นน้ำผิวดินซึ่งมีแอมโมเนีย-ไนโตรเจนอยู่ ดังนั้นเมื่อนำน้ำนั้นมาเติมคลอรีนเพื่อฆ่าเชื้อโรค แอมโมเนีย-ไนโตรเจนจะทำปฏิกิริยากับคลอรีนที่เติมไปนั้นทำให้เกิดเป็นสารคลอรามิน ซึ่งการเกิดสารนี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของแอมโมเนีย ดังนั้นถ้าจะหาปริมาณของแอมโมเนีย – ไนโตรเจนจากน้ำซึ่งมีคลอรีนตกค้าง จำเป็นจะต้องกำจัดคลอรีนออกเสียก่อนจะทำการวิเคราะห์ อาจจะไปทำลายคลอรีน (dechlorinating agents) ลงไปก็ได้

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องมือทดสอบค่าไนโตรเจน
2. บีกเกอร์
3. เครื่องให้ความร้อนแบบตั้งเวลาและ อุณหภูมิได้
4. หลอดทดสอบใช้สำหรับหาค่าไนโตรเจนแบบวิธี LR (low range)
5. สารผสมที่ใช้สำหรับหาค่าไนโตรเจนแบบวิธี LR (low range)

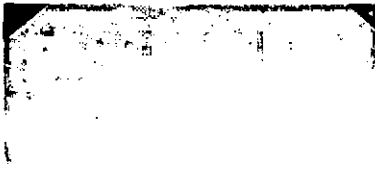


เครื่องมือทดสอบค่า COD

บีกเกอร์

เครื่องให้ความร้อนแบบตั้ง
เวลา-อุณหภูมิได้

รูปที่ ผ.ข. 9 อุปกรณ์การทดสอบไนโตรเจน



หลอดทดสอบหาค่าไนโตรเจน
แบบวิธี LR (low range)

สารผสมหาค่าไนโตรเจน
แบบวิธี LR (low range)

รูปที่ ผ.ข. 9 อุปกรณ์การทดสอบไนโตรเจน (ต่อ)

วิธีการทดลอง

1. เปิดหลอดทดสอบที่มีสารประกอบ TN Hydroxide LR ผสมอยู่ 2 หลอด จากนั้นใส่สาร TN Persulfate Rgt. ลงไป
2. เติมน้ำที่ไม่มีค่าของไอออนผสมอยู่ ลงไป 2 มล. ที่หลอดใดหลอดหนึ่ง ให้เป็นหลอดตั้งต้น
3. ให้เติมน้ำตัวอย่างลงไป 2 มล. ในขวดที่เหลือ ให้เป็นหลอดตัวอย่าง
4. ปิดฝาหลอดทดสอบให้สนิท จากนั้นทำการเขย่าไปมาอย่างเบาๆ ประมาณ 30 วินาที เพื่อให้สารที่ใส่ลงไปกับสารในหลอดทดสอบผสมกัน
5. นำไปใส่ลงในเครื่องให้ความร้อน โดยให้ความร้อนที่ 100°C เป็นเวลา 30 นาที
6. หลังจากครบ 30 นาที ให้นำหลอดทดสอบออกแล้วทิ้งไว้ให้เย็นเทียบเท่าอุณหภูมิห้อง
7. เปิดฝาขวดทดสอบ แล้วเติมสาร TN Reagent A ลงไป
8. ปิดฝาหลอดทดสอบ แล้วทำการเขย่าไปมาอย่างเบาๆ ประมาณ 15 วินาที เพื่อให้สารที่ใส่ลงไปผสมกัน
9. ทิ้งไว้ 3 นาทีเพื่อให้สารที่ใส่ลงไปทำปฏิกิริยากัน
10. เมื่อครบ 3 นาที เปิดฝาขวดทดสอบ แล้วเติมสาร TN Reagent B ลงไป
11. ปิดฝาหลอดทดสอบ แล้วทำการเขย่าไปมาอย่างเบาๆ ประมาณ 15 วินาที เพื่อให้สารที่ใส่ลงไปผสมกัน
12. ทิ้งไว้ 2 นาทีเพื่อให้สารที่ใส่ลงไปทำปฏิกิริยากัน
13. เปิดหลอดทดสอบ ที่มีกรด TN HR/LR (Reagent C) ผสมอยู่ 2 หลอด
14. เติมน้ำในหลอดตั้งต้นลงไป 2 มล. ในหลอดใดหลอดหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

15. เติมน้ำในหลอดตัวอย่างลงไป 2 มล. ในอีกหลอดที่เหลือ

16. ปิดฝาหลอดทดสอบให้สนิท จากนั้นทำการเขย่าไปมาอย่างเบาๆ ประมาณ 30 วินาที เพื่อให้สารที่ใส่ลงผสมกัน (ทวระวัง ขณะเขย่าหลอดทดสอบจะร้อนขึ้น)

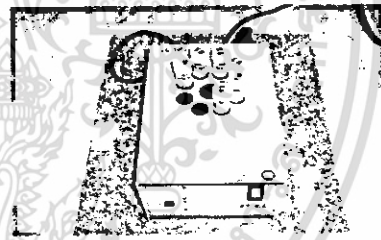
17. นำหลอดตั้งต้นใส่ลงไปในเครื่องทดสอบ แล้วให้เครื่องทดสอบอ่านค่าของหลอด ตั้งต้นกำหนดให้ค่าที่เครื่องทดสอบอ่านเป็นค่าเริ่มต้น

18. นำหลอดตัวอย่างใส่ลงไปในเครื่องทดสอบทีละหลอด ค่าที่อ่านได้มีหน่วยเป็นmg/l



ใส่สาร TN Persulfate Rgt. ลงไป

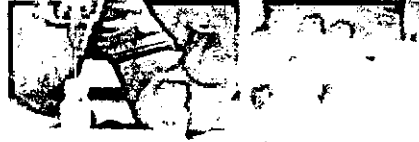
ใส่น้ำตัวอย่างลงไป 2 มล.



เขย่าเบา ๆ ประมาณ 30 วินาที

นำไปให้ความร้อน 100 °C 30 นาที

รูปที่ ผ.ข. 10 ขั้นตอนการทดสอบไนโตรเจน



ใส่สารที่เหลือลงไป ทิ้งให้ทำปฏิกิริยา

นำตัวอย่างที่ผสมสารแล้ว ใส่ลงในหลอดที่มี
กรด TN HR/LR (Reagent C) แล้วเขย่า

นำไปทดสอบกับเครื่องหาค่าไนโตรเจน

รูปที่ ผ.ข. 10 ขั้นตอนการทดสอบไนโตรเจน (ต่อ)

3. การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซ

การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพคือ การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน โดยจะทำการเก็บตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas Chromatography Analysis โดยเครื่อง Shimadzu Gas Chromatography Model GC-8A ภายใต้สภาวะการทดลองดังนี้

ใช้ดีเทคเตอร์แบบ Thermal conductivity Detector(TCD) และใช้คอลัมน์ 80/100 mesh Porapak Q คอลัมน์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 19.3 เมตร

อุณหภูมิคอลัมน์ 50 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของ Injector 150 องศาเซลเซียส

อุณหภูมิของ Detector 150 องศาเซลเซียส

ใช้อีเลียมเป็น Carrier Gas ที่อัตราการไหล 50 มิลลิลิตรต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการวิเคราะห์

การฉีดตัวอย่างก๊าซโดยใช้ syringe แบบ gas tight syringe ขนาด 10 มิลลิลิตร ฉูด
ก๊าซจากหลอดสูญญากาศที่ใช้เก็บตัวอย่างก๊าซมา 10 มิลลิลิตร ฉีดเข้าเครื่องก๊าซโครมาโตกราฟี
คำนวณหาร้อยละของก๊าซมีเทนโดยเทียบร้อยละของพื้นที่ใต้พีคของก๊าซมีเทนมาตรฐาน 99.8 %

