

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหาร โรงอาหารวิศวกรรมศาสตร์  
METHANE POTENTIAL OF FOOD WASTE FROM FACULTY  
ENGINEERING CANTEEN IN ANAEROBIC BIODEGRADATION



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 72002  
วัน,เดือน,ปี..... - 7 ส.ย. 2550

b..... 117 ๒๗๘๑  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหาร โรงอาหารวิศวกรรมศาสตร์**  
**METHANE POTENTIAL OF FOOD WASTE FROM FACULTY**  
**ENGINEERING CANTEEN IN ANAEROBIC BIODEGRADATION**



**ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต**  
**สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์**  
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**METHANE POTENTIAL OF FOOD WASTE FROM FACULTY  
ENGINEERING CANTEEN IN ANAEROBIC BIODEGRADATION**



**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**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KING MONGKUT 'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2006

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองโครงการพิเศษ

**หัวข้อโครงการพิเศษ**      ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหาร โรงอาหารอาคารเรียนเอ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

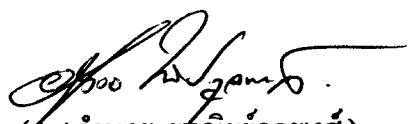
**นักศึกษา**                      นางสาว วรวรรณ      วิโรจน์ชัยยนต์                      รหัสประจำตัว 46010659  
   นาย    ชานู                      สุริยวิจิตรเสรี                      46010171  
   นาย    วิเศษพล                      ทรัพย์มณี                      46010659

**หลักสูตร**                      วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต                      สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา  
**ภาควิชา**                      วิศวกรรมโยธา

**อาจารย์ที่ปรึกษา**              ชลิตา    อุตะเกา

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
รศ. สิริวัฒน์ ไชยชนะ	
อ. วิบูลย์ วุฒินาน	
ดร. อูมา สีนุญเรือง	
อ. ชลิตา อุตะเกา	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธาได้รับรองแล้ว

  
(รศ.อำนวย พานิชย์กุลพงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่    เดือน                      พ.ศ.2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะอาหาร ใน โรงอาหาร  
อาคารเรียนเอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

นักศึกษา

นาย ชานู สุริยวิจิตรเศรษฐ์  
นางสาว วรวรรณ วิโรจน์ชัยยันต์  
นาย วิเศษพล ทรัพย์มณี

รหัสนักศึกษา

46010171  
46010659  
46010729

ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมโยธา

พ.ศ.

2549

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

ชลิตา อุตะเมษา

**บทคัดย่อ**

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาศักยภาพ การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะ  
อาหารใน โรงอาหาร อาคารเรียนเอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง โดยนำขยะอาหารที่มีปริมาณมากที่สุด 5 อันดับมาทำการทดลอง หาค่า  
ปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้ โดยใน 7 วันของขยะอาหารสามารถผลิตก๊าซมีเทนได้ 149.68 มิลลิลิตร  
ต่อปริมาณขยะอาหาร 1 กิโลกรัม ชนิดอาหารที่ทำการทดลองเรียงอันดับจากปริมาณก๊าซมีเทน  
มากที่สุดตามลำดับได้ดังนี้ ไข่ กะหล่ำปลี ฝรั่ง แดงกว่า ข้าว รวมถึงทดสอบค่าทางเคมี ประกอบด้วย  
ของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งทั้งหมด (TS) ของแข็งละลาย (TDS) เรียงอันดับจากค่ามากที่สุด  
กะหล่ำปลี ฝรั่ง แดงกว่า ไข่ ข้าว, ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เรียงอันดับจากค่าความเป็นเบสได้  
ตามลำดับดังนี้ ไข่ ข้าว กะหล่ำปลี แดงกว่า ฝรั่ง, ค่าไนโตรเจน (N) เรียงตามอันดับจากค่ามากที่สุด  
ตามลำดับดังนี้ ไข่ ข้าว ฝรั่ง แดงกว่า กะหล่ำปลี, ค่าซีโอดี (COD) เรียงตามอันดับจากมากไปน้อย  
ดังนี้ ไข่ ข้าว แดงกว่า กะหล่ำปลี ฝรั่ง เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับความสัมพันธ์กับค่าปริมาณก๊าซ  
มีเทนที่เกิดขึ้น ผลจากการวิเคราะห์สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการประเมินศักยภาพ  
ความสามารถในการผลิตก๊าซมีเทน จากขยะอาหารใน โรงอาหารอาคารเรียนเอ หรือใช้เป็น  
แนวทางในการออกแบบระบบการผลิตเพื่อศักยภาพสูงสุดในการผลิตก๊าซมีเทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Title** : METHANE POTENTIAL OF FOOD WASTE FROM FACULTY  
ENGINEERING CANTEEN IN ANAEROBIC BIODEGRADATION

**Student** : Mr. Chanu Suriyawijitseranee  
Miss Worawan virojchaiyun  
Mr. Vesedpol Sapmanee

**Student ID** : 46010171  
46010659  
46010729

**Degree** : Bachelor of Engineering

**Department** : Civil engineering

**Year** : 2006

**Thesis Adviser** : Chalida autapal

### ABSTRACT

The research is study about the methane potential of food wastes from faculty engineering canteen in anaerobic biodegradation potential. First find out the fifth maximum sort in the engineering canteen food waste. Test the fifth maximum food waste in the laboratory to find COD , Nitrogen , pH , Volatile Solids, Total Dissolved Solid and Total solid and then digest the fifth maximum food waste in anaerobic digestion when the gas is occur compare the gas quantity with the chemical test. Analysis the value and conclude the relation of quantity and chemical test

# กิตติกรรมประกาศ

'วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้เป็นอย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจากท่าน  
อาจารย์ ชลิตา อู่ตะเภา ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความ  
อนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกๆท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้

ขอขอบคุณภาคอุตสาหกรรมโยธา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้  
เอื้อเฟื้อ เชื้อหมักในการทดลอง

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์  
การทดลอง ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้

ขอขอบคุณสำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุน  
เงินทุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน  
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้คำแนะนำและกำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่  
เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกๆเรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ  
ดลบันดาลด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์ที่พึงมาอันจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุก  
ท่าน

ชานู สุริยวิจิตรเสรมณี  
วรวรรณ วิโรจน์ชัยยันต์  
วิเศษพล ทรัพย์มณี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
	ปกใน (ภาษาไทย)	ก
	ปกใน (ภาษาอังกฤษ)	ข
	หน้าอนุมัติ	ค
	บทคัดย่อภาษาไทย	ง
	บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
	กิตติกรรมประกาศ	ฉ
1	บทนำ	
	1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
	1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
	1.3. ขอบเขตของงานวิจัย	2
	1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2	ทบทวนทฤษฎีพื้นฐาน	
	2.1. นิยามและความหมายของขยะมูลฝอย	4
	2.2. แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย	4
	2.2.1. แหล่งชุมชน	4
	2.2.2. แหล่งอุตสาหกรรม	4
	2.2.3. แหล่งเกษตรกรรม	5
	2.3. ชนิดของขยะมูลฝอย	5
	2.3.1. ขยะมูลฝอยที่เน่าเปื่อยได้ง่ายหรือขยะเปียกสด	5
	2.3.2. ขยะมูลฝอยที่เน่าเปื่อยได้ยากหรือขยะแห้ง	5
	2.3.3. ขี้เถ้า	6
	2.3.4. ขยะมูลฝอยจากถนน	6
	2.3.5. ซากสัตว์	6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.3.6. ซากยานพาหนะ	6
	2.3.7. มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม	6
	2.3.8. มูลฝอยจากการก่อสร้างและทำลายตึก	7
	2.3.9. มูลฝอยที่ทำลายซากหรือเป็นอันตราย	7
	2.3.10. ขยะมูลฝอยจากการกสิกรรม	7
	2.3.11. ขยะจากการประปาและโรงกำจัดน้ำเสีย	7
	2.3.12. ขยะที่มาจากสิ่งที่ยับถ่ายจากมนุษย์	8
2.4.	ลักษณะของมูลฝอย	8
2.4.1.	ลักษณะทางกายภาพ	8
2.4.1.1.	องค์ประกอบหรือส่วนประกอบของขยะมูลฝอย	8
2.4.1.2.	ขนาดของแต่ละส่วน	11
2.4.1.3.	ปริมาณความชื้น	11
2.4.1.4.	ความหนาแน่น	11
2.4.1.5.	ลักษณะทางชีววิทยา	13
2.5.	ปริมาณของขยะมูลฝอย	14
2.5.1.	ปริมาณขยะจากแหล่งชุมชน	15
2.5.2.	ปริมาณขยะจากแหล่งอุตสาหกรรม	15
2.5.3.	ปริมาณขยะจากแหล่งเกษตรกรรม	15
2.6.	ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม	16
2.6.1.	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ	16
2.6.1.1.	ผลกระทบต่อดิน	16
2.6.1.2.	ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ	17
2.6.1.3.	ผลกระทบต่ออากาศ	17
2.6.2.	ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ	17
2.6.2.1.	ผลกระทบต่อมนุษย์	17
2.6.2.2.	ผลกระทบต่อสัตว์	18
2.6.2.3.	ผลกระทบต่อพืช	18
2.6.3.	ผลกระทบต่อสถานะเศรษฐกิจและสังคม	18
2.6.3.1.	ผลกระทบทางเศรษฐกิจ	18
2.6.3.2.	ผลกระทบทางสังคม	18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	เรื่อง	หน้า
	2.7. การกำจัดขยะมูลฝอย	19
	2.8. ปฏิกริยาเคมีการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน	19
	2.9. ก๊าซที่เกิดจากปฏิกริยาการหมักขยะแบบไร้ออกซิเจน	27
	2.9.1. ชนิดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมัก	27
	2.9.2. คุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจากปฏิกริยาการหมักขยะ	30
	2.9.2.1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	30
	2.9.2.2. ก๊าซมีเทน (CH <sub>4</sub> )	31
	2.9.2.3. ก๊าซแอมโมเนีย (NH <sub>3</sub> )	31
	2.10. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน	31
	2.10.1. พีเอช (pH)	32
	2.10.2. ความเป็นด่าง (Alkalinity)	32
	2.10.3. กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid)	33
	2.10.4. อุณหภูมิ (Temperature)	33
	2.10.5. ความชื้น (Moisture)	33
	2.10.6. ขนาดของอนุภาค (Particle Size)	34
	2.10.7. อาหารเสริม (Nutrient)	34
	2.10.8. สารพิษ (Toxic Material)	34
	2.11. ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบมูลฝอย	35
	2.12. พลังงานจากก๊าซชีวภาพ	40
3	<b>วิธีดำเนินการวิจัย</b>	
	3.1. แผนการทดลอง	42
	3.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	43
	3.2.1. ดังปฏิกรณ์ในการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ	
	จำนวน 21 ชุดต่อหนึ่งการทดลอง	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	เรื่อง	หน้า
	3.2.2. เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำงานในสภาพแอนแอโรบิก	45
	3.2.3. เครื่องมือวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของก๊าซชีวภาพ ที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ	45
	3.3. วิธีการที่ใช้ในการทำการวิจัย	45
	3.3.1. การเตรียมขยะเศษอาหารแต่ละชนิด	45
	3.4. การวิเคราะห์คุณลักษณะทางเคมีของขยะเศษอาหาร แต่ละชนิด	46
	3.4.1. การหมักขยะเศษอาหารแบบไร้อากาศ	46
	3.4.2. การวัดปริมาณก๊าซ	47
	3.4.3. การทดสอบหาองค์ประกอบของก๊าซ	48
4	<b>ผลการทดลอง</b>	
	4.1. ผลการสำรวจหาปริมาณขยะเศษอาหารที่มากที่สุด 5 ชนิด จากโรงอาหารวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	50
	4.2. ผลการทดสอบหาค่าของแข็งระเหยง่าย (VS), ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TSS), ของแข็งละลาย (TDS)	51
	4.2.1. ผลการทดสอบหาค่าของแข็งระเหยง่าย (VS)	51
	4.2.2. ผลการทดสอบหาค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TDS)	53
	4.2.3. ผลการทดสอบหาค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TS)	55
	4.2.4. ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็ง แขวนลอยทั้งหมด (TSS) ของแข็ง (TDS)	57
	4.3. คุณสมบัติทางเคมีของขยะเศษอาหาร	59
	4.3.1. ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง	60
	4.3.2. ผลการทดสอบค่าไนโตรเจน	61
	4.3.3. ผลการทดสอบค่า COD	62
	4.4. ผลการทดสอบหาค่าปริมาณก๊าซ	63
	4.5. ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ (Total gas production)	69

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่	เรื่อง	หน้า
5	<b>วิเคราะห์ผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	
	5.1. วิเคราะห์ผลการทดลอง	72
	5.1.1. ผลการทดลองของช่วงก่อนทำการหมักตัวอย่าง ขยะชนิดต่างๆ	72
	5.1.2. ผลการทดลองของช่วงระหว่างทำการหมักตัวอย่าง ขยะชนิดต่างๆ	72
	5.1.3. เปรียบเทียบผลการทดลองของช่วงก่อนทำการทดลอง และระหว่างการทดลอง	73
	5.1.3.1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลการทดลอง ที่มีต่อแนวโน้มของการเกิดปริมาณก๊าซมีเทน (CH <sub>4</sub> )	73
	5.1.3.2. วิเคราะห์การเลือกช่วงการเปลี่ยนถ่ายขยะ เศษอาหาร	74
	5.1.3.3. วิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนต่อขยะ เศษอาหาร 1 กิโลกรัม และแปลงให้อยู่ ในรูปของพลังงาน	75
	5.2. ข้อเสนอแนะ	75
	เอกสารอ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1.	องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจากเมืองต่าง ๆ ในเอเชีย	9
2.2.	องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจากแหล่งผลิตต่าง ๆ	10
2.3.	ชนิดและปริมาณของขยะประเภทผักผลไม้และดอกไม้จากตลาดสามย่าน	12
2.4.	ปริมาณความชื้นของส่วนประกอบของขยะมูลฝอยจากชุมชน	13
2.5.	องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชนทั่วไปและของกรุงเทพมหานคร	14
2.6.	การผลิตขยะมูลฝอยตามชนิดของแหล่งกำเนิด	16
2.7.	องค์ประกอบทางเคมีของ solid waste	22
2.8.	เปอร์เซ็นต์ของก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากขยะ	28
2.9.	ความเข้มข้นในการกระตุ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของไอออนประจุบวก	35
2.10.	องค์ประกอบของก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากการย่อยสลายมูลฝอย	39
2.11.	ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอย	40
3.1.	ขยะเศษอาหารแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลองจำนวน 5 ชนิด	46
3.2.	สรุปการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของขยะเศษอาหาร ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	46
4.1.	ผลการทดสอบหาค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) กับวันที่ทำการทดลอง	51
4.2.	ผลการทดสอบหาค่าของแข็งแขวนลอย (TDS) กับวันที่ทำการทดลอง	53
4.3.	ผลการทดสอบหาค่าของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TS) กับวันที่ทำการทดลอง	55
4.4.	ผลการทดสอบหาค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (TDS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TS) กับวันที่ทำการทดลอง	57

. ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
4.5.	แสดงค่าสถิติของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (TDS) ของแข็งแขวนลอยทั้งหมด (TS)	58
4.6.	คุณสมบัติทางเคมีของขยะเศษอาหาร	59
4.7.	ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	60
4.8.	ผลการทดสอบหาค่าไนโตรเจน	61
4.9	ผลการทดสอบหาค่าCOD	62
4.10	ผลการทดสอบหาปริมาณก๊าซของ ข้าว แดงควา และกะหล่ำปลี	63
4.11.	ผลการทดสอบหาปริมาณก๊าซของผักบุ้ง ไข่และเศษอาหาร	64
4.12.	ผลการทดสอบหาปริมาณก๊าซของเชื้อจุลินทรีย์	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
2.1.	แสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียตามระยะเวลา	20
2.2.	แสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน	23
2.3.	แสดงแผนผังการทำงานของแบคทีเรียในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน	25
2.4.	แสดงขั้นตอนการผลิตกรดของแบคทีเรีย	26
2.5.	แสดงขั้นตอนการผลิตก๊าซของแบคทีเรีย	27
2.6.	แสดงการใช้ก๊าซชีวภาพ	41
3.1.	แสดงระบบหมักขยะระดับห้องปฏิบัติการ	42
3.2.	แสดงขวดโหลแก้วขนาดความจุ 1000 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิดสนิท จำนวน 21 ขวด	43
3.3.	แสดงสายน้ำเกลือ ระบบเก็บก๊าซ	44
3.4.	แสดงแผนภาพขั้นตอนการทำงานของระบบปฏิบัติการ	44
3.5.	แสดงการติดตั้งระบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ	44
3.6.	แสดงไซริงค์และหลอดเพื่อใช้ในการเก็บก๊าซ	48
3.7.	แสดงหลอดรูปตัวยูสำหรับเก็บก๊าซ	49
3.8.	แสดง การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ	49
4.1.	แสดง ผลการทดสอบค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) กับวันที่ทดลอง	52
4.2.	แสดงผลการทดสอบค่าของแข็งแขวนลอย (TDS) กับวันที่ทดลอง	54
4.3.	แสดงผลการทดสอบค่าของแข็งทั้งหมด (TS) กับวันที่ทดลอง	56
4.4.	แสดงผลการทดสอบค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (TDS) ของแข็งทั้งหมด (TS) กับวันที่ทดลอง	58
4.5.	แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นกรดด่าง กับ ชนิดของเศษอาหาร	60
4.6.	แสดงผลการทดสอบค่าไนโตรเจน กับ ชนิดของเศษอาหาร	61
4.7.	แสดงผลการทดสอบค่าซีโอดี กับ ชนิดของเศษอาหาร	62
4.8.	แสดงการเกิดก๊าซของข้าวกับจำนวนวันในการทดลอง	66
4.9.	แสดงการเกิดก๊าซของแตงกวากับจำนวนวันในการทดลอง	66
4.10.	แสดงการเกิดก๊าซของกะหล่ำปลีกับจำนวนวันในการทดลอง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.11.	แสดงการเกิดก๊าซของผักนึ่งกับจำนวนวันในการทดลอง	67
4.12.	แสดงการเกิดก๊าซของไข่กับจำนวนวันในการทดลอง	68
4.13.	แสดงการเกิดก๊าซของเศษอาหารกับจำนวนวันในการทดลอง	68
4.14.	แสดงการเกิดก๊าซของเชื้อจุลินทรีย์กับจำนวนวันในการทดลอง	69
4.15.	แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม เปรียบกับวันที่ทำการทดลอง	70
4.16.	แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเปรียบเทียบที่ 7,17 และ 30 วัน ในตัวอย่างการทดลอง 8 ชนิด	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1 บทนำ

## 1.1. ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัญหาขยะมูลฝอยที่เพิ่มปริมาณมากขึ้นในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเป็นปัญหาสำคัญที่นับวันจะเพิ่มมากขึ้นส่งผลกระทบต่อสุขภาพความเป็นอยู่และคุณภาพชีวิตของนักศึกษามากขึ้น ดังนั้นการรีไซเคิลอย่างเต็มศักยภาพก็จะสามารถลดปัญหาขยะได้อย่างมากจากการรับนักศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่เพิ่มมากขึ้นทุกปี จึงทำให้ขยะมูลฝอยเพิ่มจำนวนมากขึ้นด้วย และเนื่องจากสภาพอากาศของประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น ทำให้มูลฝอยเหล่านี้เกิดการบูดเน่าง่าย ส่งกลิ่นเหม็นและเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค หากนำไปกองทิ้งไว้โดยไม่จัดการกำจัด อีกทั้งขยะสดเป็นมูลฝอยที่มีความชื้นสูงจึงไม่เหมาะที่จะนำมากำจัดโดยวิธีการเผาและไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จากการศึกษาของคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พบว่าการกำจัดมูลฝอยของชุมชนต่างๆยังไม่เหมาะสม และเนื่องจากค่าใช้จ่ายในการเก็บรวบรวมและขนส่ง โดยยังไม่รวมค่าใช้จ่ายในการกำจัดประมาณ 200 ถึง 300 บาท ต่อตันซึ่งนับว่าเป็นอัตราที่ค่อนข้างสูง ปัจจุบันมูลฝอยในกรุงเทพมหานครกำจัดด้วยการฝังกลบนอกเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร แต่การดำเนินการขั้นต่อไปอาจมีปัญหาต่อต้านจากมวลชน ทำให้การกำจัดมูลฝอยด้วยวิธีฝังกลบยังมีแรงกดดันทำให้ราคาค่าดำเนินการสูงขึ้น ดังนั้นถ้าหากมีวิธีลดปริมาณขยะก่อนจะนำไปฝังกลบก็จะเป็นการลดปริมาณและต้นทุนในการกำจัดได้อีกทางหนึ่ง จากการศึกษาดังกล่าวเห็นได้อย่างชัดเจนว่าหากมีการกำจัดขยะ ณ แหล่งกำเนิด คือภายในสถาบันก่อน ก็จะทำให้ต้นทุนค่าขนส่งได้มาก อีกทั้งประเทศไทยมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายในสภาพไร้อากาศ การนำขยะมากำจัดในสภาพไร้อากาศซึ่งได้ผลผลิตเป็นก๊าซชีวภาพจากขยะสามารถนำไปใช้เป็นพลังงานในกิจกรรมต่างๆ เช่นการหุงต้ม น่าจะเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่น่าสนใจศึกษาเป็นแหล่งพลังงานทดแทน และยังเกิดผลพลอยได้ คือ ปุ๋ยหมัก ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้อีกทางหนึ่ง

พลังงานจากก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักขยะมูลฝอยขึ้นอยู่กับ ปริมาณของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซชีวภาพนั้น ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีค่าความร้อนประมาณ 38,100 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร หรือสามารถให้ความร้อนประมาณ 13,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของสารอินทรีย์ที่ถูกทำลายไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและองค์ประกอบของสารที่ถูกย่อยสลายแต่ละชนิด ก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้ โดยก๊าซชีวภาพปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จะให้พลังงานความร้อน 5,200

ถึง 5,900 กิโลแคลอรี ซึ่งเพียงพอสำหรับคัมน์น้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสให้เค็ลคได้ หรือให้แสงสว่างจากตะเกียงที่ความสว่าง 60-100 วัตต์ ได้นาน 5-6 ชั่วโมง

นอกจากนี้จึงได้เสนอวิธีการแก้ไขปัญหามลพิษที่เกิดขึ้นภายในสถาบัน โดยมี เป้าหมายสำคัญคือให้มีการเก็บรวบรวมและกำจัดมลพิษด้วยวิธีการที่ถูกต้อง มีการเลือกใช้เทคโนโลยี การกำจัดแบบผสมผสานหลายวิธีที่เน้นการทำขยะมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ทั้งในรูปแบบปุ๋ยอินทรีย์และ การแปรรูปเป็นพลังงาน

## 1.2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อหาปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนเปรียบเทียบกับส่วนที่ข่อยสลายได้ จากการข่อยสลาย ขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆจำนวน 5 ชนิดที่มีปริมาณมากที่สุดในโรงอาหารอาคารเรียน A คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยวิธีการไร้อากาศ

## 1.3. ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษาจะทำในระดับห้องปฏิบัติการ
2. กระบวนการศึกษาการข่อยสลายจะควบคุมให้ระบบอยู่ในสภาพไร้อากาศเท่านั้น
3. การศึกษาใช้ขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆ จำนวน 5 ชนิดที่มีปริมาณมากที่สุดในโรงอาหารอาคารเรียน A คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
4. กระบวนการศึกษาจะใช้จุลินทรีย์ที่มีตามธรรมชาติซึ่งได้จากถังหมักแบบไร้อากาศของระบบก๊าซ มีเทนจากเศษอาหาร โดยไม่มีการคัดแยกชนิดของเชื้อ

## 1.4. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถหาปริมาณก๊าซมีเทนจากการข่อยสลายแบบไร้อากาศที่เกิดกับขยะอินทรีย์ชนิดต่างๆ จำนวน 5 ชนิด ข้อมูลที่ได้จะใช้เป็นแนวทางสำหรับการออกแบบระบบกำจัดของเสีย และสิ่งปฏิกูลจำพวกเศษอาหารได้
2. สามารถกำจัดขยะเศษอาหารอย่างถูกวิธี และได้ประโยชน์จากก๊าซมีเทน เพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิง

3. ผู้ประกอบการในโรงอาหารได้ผลตอบแทนที่ดีกว่าการกำจัดขยะเศษอาหารด้วยวิธีเดิม
4. สามารถนำผลการศึกษาไปเป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลายได้ของขยะเศษอาหารสด ทั้ง พืช และ สัตว์ ที่ย่อยสลายได้ง่าย และ ยาก เนื่องจากองค์ประกอบทางเคมีของเศษอาหารสดชนิดต่างๆ



## บทที่ 2 ทบทวนทฤษฎีพื้นฐาน

### 2.1. นิยามและความหมายของขยะมูลฝอย

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

### 2.2. แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย

สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ กล่าวว่า การควบคุมและจัดการเพื่อให้สามารถกำจัดขยะได้โดยง่ายต้องมีการควบคุมหรือแก้ปัญหาที่แหล่งกำเนิดมูลฝอย ซึ่งแหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอยสามารถจำแนกได้ดังนี้

#### 2.2.1. แหล่งชุมชน

เป็นแหล่งกำเนิดขยะที่ใหญ่ที่สุด โดยเฉพาะจากบ้านพักอาศัยจะมีปริมาณมากกว่าขยะจากแหล่งอื่น ๆ

#### 2.2.2. แหล่งอุตสาหกรรม

ขยะจากโรงงานมักก่อปัญหาสิ่งแวดล้อมเฉพาะจุดเท่านั้น เมื่อได้รับการจัดการแล้วปัญหาจะหมดไป จึงสร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าแหล่งชุมชน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 4 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.2.3. แหล่งกิจกรรม

เป็นขยะที่ไม่ได้สร้างปัญหาให้กับชุมชนมากนัก เนื่องจากมีการกำจัดขยะโดย  
เกษตรกรเอง จึงถือได้ว่าสร้างปัญหาสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าแหล่งอื่นมาก

### 2.3. ชนิดของขยะมูลฝอย

ชนิดของขยะมูลฝอยมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการจัดการขยะมูลฝอยอย่างถูกวิธี และถูก  
หลักวิชาการ ซึ่งจะมีความสัมพันธ์กับการย่อยสลายของจุลินทรีย์ด้วย นักวิชาการสิ่งแวดล้อมหลายท่าน  
จำแนกชนิดของขยะมูลฝอย ดังนี้

#### 2.3.1. ขยะมูลฝอยที่เน่าเปื่อยได้ง่ายหรือขยะเปียกสด (Garage)

เป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่สามารถเน่าเปื่อยผุพังหรือเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ได้ง่าย  
คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดของขยะชนิดนี้ คือ มีความชื้นสูง จะย่อยสลายและเน่าเปื่อยได้เร็วมาก  
โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออากาศร้อนและการเน่าเปื่อยของขยะชนิดนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเน่าเหม็นขึ้น ขยะ  
ชนิดนี้ ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก เศษเนื้อที่เหลือทิ้งจากการเตรียมและการปรุงอาหาร ส่วนใหญ่มักจะมา  
จากครัวของบ้าน ภัตตาคาร โรงอาหาร ฯลฯ

#### 2.3.2. ขยะมูลฝอยที่ไม่เน่าเปื่อยได้มากหรือขยะแห้ง (Rubbish)

เป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ได้ยาก ได้แก่ ขยะที่ประกอบด้วยวัสดุทั้ง  
ที่เผาไหม้ได้ เช่น กระดาษ เศษไม้ ตลอดจนวัสดุที่ไม่เผาไหม้ เช่น แก้ว กระเบื้อง กระจังบรรจุอาหาร  
เหล็กและโลหะอื่น ๆ

### 2.3.3. ขี้เถ้า (Ashes)

เป็นขยะมูลฝอยหรือวัสดุที่หลงเหลืออยู่จากการเผาไหม้ เช่น ขี้เถ้าถ่าน หรือวัสดุคั่วไฟ  
อื่น ๆ

### 2.3.4. ขยะมูลฝอยจากถนน (street refuse)

เป็นเศษขยะที่อยู่ตามริมถนนหรือบนถนนทำให้ไม่ปลอดภัยในการขับรถบนถนนและ  
ดูไม่เรียบร้อย เช่น เศษผลไม้ ใบไม้ ดิน ทราช ถุงพลาสติก เป็นต้น

### 2.3.5. ซากสัตว์ (dead animals)

เป็นซากสัตว์ที่ปราศจากเจ้าของและตายแล้ว เป็นขยะมูลฝอยที่เน่าเปื่อยเร็วและมีกลิ่น  
เหม็น

### 2.3.6. ซากยานพาหนะ (abandoned vehicles)

ได้แก่ ยานพาหนะทุกชนิดที่หมดสภาพการใช้งานหรือใช้งานไม่ได้แล้ว รวมตลอดทั้ง  
ชิ้นส่วนประกอบของยานพาหนะด้วย

### 2.3.7. มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial refuse)

เป็นเศษขยะที่มาจากโรงงานต่าง ๆ ดังนั้นขยะประเภทนี้จะมีความแตกต่างกันตาม  
ประเภทของโรงงาน ซึ่งขยะชนิดนี้ได้แก่ เศษวัสดุคั่วและวัสดุที่เกิดจากขบวนการผลิตหรือขั้นตอนการ  
ผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม โดยมีทั้งพวกที่เน่าเปื่อยได้อันอาจก่อให้เกิดเหตุน้ำเสียและเป็นอันตราย  
ต่อสุขภาพของประชาชน เช่น เศษอาหารกระป๋อง เศษยาง เป็นต้น และพวกที่เน่าเปื่อยไม่ได้ เช่น  
เศษโลหะต่าง ๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 6 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.8. มูลฝอยจากการก่อสร้างและการทำลายตึก (construction and demolition refuse)

ขยะจากกิจกรรมนี้จัดได้ว่าเป็นขยะแห่งประเภทหนึ่งที่ประกอบด้วย ฝุ่น หิน คอนกรีต อิฐ ปูน โลหะต่าง ๆ ฯลฯ

### 2.3.9. มูลฝอยที่ทำลายยากหรือเป็นอันตราย (special or hazardous refuse)

ได้แก่สารใด ๆ ที่จะเป็นโทษต่อชีวิตมนุษย์ พืช และสัตว์ ทั้งเฉียบพลัน และ/หรือในระยะขยาย สามารถพบได้ในหลายรูปแบบ เช่น สารเคมีอันตราย วัตถุระเบิด สารไวไฟ ซึ่งในการจัดการต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก และสารที่ต้องใช้กรรมวิธีพิเศษจึงจะทำลายได้ เช่น พลาสติก फिल्मถ่ายภาพ กากแร่ต่าง ๆ ขยะจากโรงพยาบาล เป็นต้น

### 2.3.10. ขยะมูลฝอยจากการกสิกรรม (agricultural wastes)

เป็นเศษขยะทุกประเภทที่มาจากพื้นที่ทำเกษตรกรรม เช่น เศษฟาง เศษมูลสัตว์ เศษหญ้า เป็นต้น

### 2.3.11. ขยะจากการประปาและโรงกำจัดน้ำเสีย (treatment plants waste water)

ได้แก่ กากตะกอนที่ทิ้งออกจากระบบประปาและระบบกำจัดน้ำเสีย มีลักษณะเป็นโคลนตะกอน กากตะกอน จากระบบ ต่าง ๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้ง ที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์มาก ๆ จะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเคมีจะเป็นตะกอนเคมี เป็นต้น

### 2.3.12. ขยะที่มาจากสิ่งที่ยับถ่ายจากมนุษย์ (night soil)

เช่น อุจจาระและปัสสาวะแต่เป็นสิ่ง ยับถ่ายที่ผ่านการเก็บหมักไว้นาน ๆ จนเกิดการสลายตัวแล้วกลายเป็นสีดำ โดยปกติจะเอาไปทำเป็นปุ๋ยโดยตรงหรือเอาไปหมักรวมกับขยะเปียกอื่น ๆ ค่อยไปใช้ได้

## 2.4. ลักษณะของมูลฝอย

ลักษณะของขยะมูลฝอยจะมีความสำคัญต่อการจัดการขยะมูลฝอย สำหรับลักษณะของขยะมูลฝอยที่มาจากชุมชนจะประกอบด้วย 3 ลักษณะดังที่ กล่าวโดยสรุปไว้ดังนี้

### 2.4.1. ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพของขยะมูลฝอยประกอบด้วยองค์ประกอบหรือส่วน ประกอบของขยะมูลฝอยขนาดของแต่ละส่วนปริมาณความชื้น และความหนาแน่นของขยะมูลฝอยซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

#### 2.4.1.1. องค์ประกอบหรือส่วนประกอบของขยะมูลฝอย

ขยะมูลฝอยโดยทั่วไปแล้วจะมีองค์ประกอบ หรือส่วนประกอบต่าง ๆ กัน เช่น ใบไม้ กิ่งไม้ เศษอาหาร แก้ว โลหะ ฯลฯ ซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดในปริมาณต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 2.1. และตารางที่ 2.2. ข้อมูลขององค์ประกอบต่าง ๆ เหล่านี้สามารถใช้พิจารณาถึงลักษณะของขยะมูลฝอยได้ เช่น สามารถประมาณได้ว่า ขยะมูลฝอยจะเกิดกลิ่นเหม็นหรือไม่ถ้านำไปทิ้งในพื้นที่ใดๆ เป็นต้น นอกจากนี้การศึกษาขององค์ประกอบขยะนั้นจำเป็นในการเลือกวางแผนจัดการขยะให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพโดยองค์ประกอบขยะจะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดและฤดูกาล จากการศึกษาของสำนักวิจัยความสะอาดกรุงเทพมหานคร พบว่าองค์ประกอบขยะจำพวกเศษอาหาร และผักผลไม้มีมากที่สุดราวร้อยละ 50.10 ขององค์ประกอบน้ำหนักเปียกซึ่งองค์ประกอบขยะมูลฝอยจากบ้านเรือน ส่วนองค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดสดส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษอาหาร ผักผลไม้ และใบไม้ถึงร้อยละ 56.7 ขององค์ประกอบน้ำหนักเปียก และจากตารางที่ 2.3. เป็นตัวอย่างองค์ประกอบขยะมูลฝอยจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 8 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตลาดสดสามย่าน ซึ่งจากตัวอย่างองค์ประกอบขยะมูลฝอยชนิดและปริมาณของขยะประเภทผักผลไม้ และดอกไม้จากตลาดสดที่มีอยู่โดยทั่วไปตามชุมชน รวมกับปริมาณขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนทำให้กล่าวได้ว่าปริมาณขยะมูลฝอยส่วนใหญ่จะเป็นขยะจำพวกเศษอาหาร ผักผลไม้

ตารางที่ 2.1. องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจากเมืองต่าง ๆ ในเอเชีย

องค์ประกอบ	ปริมาณโดยน้ำหนัก (%)						
	พิตัย	กทม.	จันทบุรี	ฮ่องกง	จาร์กาตา	เซอูล	ไต้หวัน
เศษอาหาร	20-60	22.0	52.7	15.0	50.0	-	24.6
กระดาษ	2-45	5.6	13.2	32.5	3.0	4.0	7.5
พลาสติก	2-15	8.2	14.3	6.0	5.0	2.0	2.5
ยาง	0-2	1.4	0.2	0.5	1.0	0.5	0.5
เศษผ้า	0-10	3.7	2.0	9.6	1.0	0.6	3.2
หนัง	0-2	-	0.2	-	-	-	-
ใบไม้กิ่งไม้	0-15	10.8	0.5	-	1.0	-	0.5
ไม้	0-15	11.5	3.4	-	-	0.6	-
แก้ว	0-15	3.2	2.5	9.7	2.0	0.2	2.8
กระป๋อง	0-10	-	-	-	-	-	-
โลหะเหล็ก	0-4	2.9	3.9	2.2	2.0	0.4	1.1
โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก	0-1	-	-	-	-	-	-
ฝุ่นขี้เถ้าอิฐและอื่น ๆ	5-60	30.7	7.1	24.5	25.0	91.7	56.8
รวม	-	100	100	100	100	100	100

ที่มา : เกรียงศักดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 9 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2. องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจากแหล่งผลิตต่าง ๆ

องค์ประกอบ	แหล่งผลิตขยะมูลฝอย (%ของน้ำหนักแห้ง)								ขยะมูลฝอยจากสถานที่ทิ้งขยะ	
	บ้านเรือน	ตลาด	ห้างสรรพสินค้า	โรงแรม	สำนักงาน	โรงงานทอผ้า	โรงเลื่อยไม้	โรงงานประกอบรถยนต์	% น้ำหนักเปียก	% น้ำหนักแห้ง
กระดาษ	24.7	12.7	60.3	40.6	58.	22.4	0.0	47.7	18.3	19.0
เศษผ้าและสิ่งทอ	4.7	1.9	1.1	5.0	9	88.7	0.0	4.9	4.0	3.3
เศษอาหาร	25.0	42.6	7.6	11.4	0.7	0.2	0.0	2.2	14.4	30.3
ใบไม้กิ่งไม้	7.6	19.1	2.5	6.0	4.1	1.4	29.6	1.5	19.0	21.7
ซีเมนต์	-	-	-	-	4.8	-	26.4	-	-	-
พลาสติก	11.2	6.7	16.3	11.5	-	2.4	0.3	17.9	10.4	7.6
synthetic glue	-	-	-	-	10.	-	23.4	-	-	-
ยางและหนัง	1.2	0.1	0.8	0.2	7	1.0	0.0	10.0	2.0	10.0
สัตว์	5.0	1.0	1.2	7.3	-	1.2	0.1	5.8	5.4	2.3
เหล็ก	0.3	0.1	0.2	0.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2
โลหะอื่นยกเว้นเหล็ก	5.5	0.8	1.1	4.9	3.8	0.0	0.0	0.0	6.1	2.6
แก้ว	8.6	8.9	2.2	3.3	0.1	0.1	0.2	0.0	11.9	6.4
กระดุก, หิน	0.48	0	1.4	0.27	5.7	-	-	-	3.38	-
dry cells	-	-	-	-	1.7	-	-	3.9	-	4.6
กระดาษทราย	5.9	6.0	5.3	9.0	0.2	2.6	0.0	6.1	6.7	-
อื่นๆ					7					
					8.3					

ที่มา : JICA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 10 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.4.1.2. ขนาดของแต่ละส่วน

ข้อมูลขนาดของขยะมูลฝอยมีส่วนสำคัญมากในการนำขยะมูลฝอยกลับมาผลิตใช้ใหม่ ที่ต้องใช้กระบวนการแยกขนาดของมูลฝอยด้วยตะแกรงและเครื่องแยกโลหะเหล็ก โดยแสดงข้อมูลเป็น ค่าร้อยละของมวลรวมของขยะมูลฝอยที่ผ่านตะแกรงร้อนได้

#### 2.4.1.3. ปริมาณความชื้น

ค่าความชื้นของขยะมูลฝอยโดยทั่วไปแสดงในรูปของปริมาณความชื้นในขยะมูลฝอย ต่อมวลขยะมูลฝอยเปียกหรือแห้ง ขยะมูลฝอยที่มาจากชุมชน โดยมีค่าความชื้นประมาณ 15-40% ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและฤดูกาล ปริมาณความชื้นของส่วนประกอบของขยะมูลฝอยแสดงไว้ใน ตารางที่ 2.4.

#### 2.4.1.4. ความหนาแน่น

ความหนาแน่นของขยะมูลฝอยเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในการประเมินค่าน้ำหนักและ ปริมาตรของขยะมูลฝอยที่ต้องจัดการ โดยข้อมูลความหนาแน่นของขยะมูลฝอยจะเปลี่ยนแปลงตาม สภาพภูมิประเทศ ฤดูกาล และระยะเวลาที่ถูกต้องถึงไว้ในถังขยะ ซึ่งค่าความหนาแน่นโดยเฉลี่ยทั่วไปของ ขยะมูลฝอยที่มาจากแหล่งชุมชนต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.5. สำหรับขยะมูลฝอยชุมชนที่ถ่ายจากระถ บลอัดขยะนั้น พบว่า มักจะมีความหนาแน่นประมาณ 180 ถึง 420 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2.3. ชนิดและปริมาณของขยะประเภทผักผลไม้และดอกไม้จากตลาดสามย่าน

ชนิด	ปริมาณรวม (กิโลกรัม)	ร้อยละขององค์ประกอบ (น้ำหนักเปียก)
1.ผักคะน้า	48.5	13.5
2.ผักกาดขาว	31.2	8.7
3.ผักกาดหอม	32.4	9.0
4.ผักบุ้ง	47.7	13.3
5.ผักกระเฉด	52.9	14.7
6.กระทั่ปลี	38.9	10.8
7.ผักกวางตุ้ง	13.7	3.8
8.มะระ	9.4	2.6
9.บวบ	6.9	1.9
10.มะเขือ(มะเขือยาว มะเขือเทศ)	11.0	3.1
11.ถั่ว(ถั่วฝักยาว ถั่วลิสงเตา ถั่วพู)	4.5	1.3
12.อื่นๆ(แตงกวา ขึ้นฉ่าย สะระแหน่ ต้นหอม เสน่ห์ผัก)	10.8	3.0
รวม	307.9	85.7
ผลไม้(ส้มเขียวหวาน ชมพู ฝรั่ง สับปะรด)	37.1	10.3
ดอกไม้(กุหลาบ คาวเรือง ดอกกรัก)	14.3	4.0
รวมทั้งหมด	359.3	100.00

ที่มา : JICA

ตารางที่ 2.4. ปริมาณความชื้นของส่วนประกอบของขยะมูลฝอยจากชุมชน

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
ใบไม้ใบหญ้าจากการทำสวน	30-80	60
ไม้	15-40	20
แก้ว	1-4	2
กระป๋องอาหาร	2-4	3
โลหะเหล็ก	2-6	3
โลหะที่ไม่ใช่เหล็ก	2-4	2
ขี้เถ้า อีฐ และอื่นๆ	6-12	8
ขยะมูลฝอยรวมจากชุมชน	15-40	20

ที่มา : พันธ์

#### 2.4.1.5. ลักษณะทางชีววิทยา

ขยะมูลฝอยตามแหล่งต่าง ๆ จะมีแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดโรคและไม่ก่อให้เกิดโรคปนเปื้อนอยู่เสมอ อย่างไรก็ตามขยะมูลฝอยจะเป็นแหล่งเชื้อโรคหลากหลายโดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าขยะมูลฝอยนั้นมาจากโรงพยาบาลและศูนย์อนามัยต่าง ๆ ก็จะมีเชื้อโรคอันตรายติดมาด้วยเสมอกับมูลฝอย ในขณะที่เดียวกันยังคงมีแมลงวัน แมลงสาป หนู ฯลฯ มาอาศัยในกองขยะเพื่อหาอาหารและแพร่พันธุ์ สัตว์เหล่านี้ล้วนเป็นพาหนะนำโรคร้ายต่าง ๆ มาสู่คน การจัดการ ขยะด้วยการทำให้เป็นปุ๋ยหมักนั้นไม่สามารถกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ ลงได้หมดเพราะ ตัวอย่างเช่นปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี พบว่า ปุ๋ยหมักจากขะนั้นยังคงตรวจพบเชื้อแบคทีเรียก่อโรค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>13</sup> และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.5. องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชนทั่วไปและของกรุงเทพมหานคร

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

## 2.5. ปริมาณของขยะมูลฝอย

ปริมาณขยะที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งสามารถจำแนกได้ตามชนิดของแหล่งกำเนิดของขยะ  
ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.1. ปริมาณขยะจากแหล่งชุมชน

แบ่งได้ 2 ลักษณะคือ ปริมาณขยะที่เก็บรวบรวมได้ จากการสำรวจของงานจัดการมูลฝอยและปฏิภูลกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติซึ่งได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของขยะที่เก็บรวบรวมได้ ในเขตเทศบาลต่าง ๆ ทั่วประเทศ พบว่า ปริมาณของขยะที่เก็บรวบรวมจะขึ้นอยู่กับจำนวนประชากร งบประมาณด้านการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิภูลเป็นสำคัญ ปริมาณของขยะในแหล่งกำเนิดหรือปริมาณของขยะที่มีอยู่จริง ต้องคาดคะเนปริมาณเอง เนื่องจากบางส่วนของขยะในแหล่งกำเนิดไม่มีการเก็บรวบรวมและถูกนำไปวางกองไว้ในที่โล่งหรือกำจัดในแหล่งกำเนิด จึงทำให้ปริมาณของขยะที่รวบรวมได้มีน้อยกว่าขยะที่มีอยู่จริง

### 2.5.2. ปริมาณของขยะจากแหล่งอุตสาหกรรม

ขึ้นอยู่กับประเภทและกำลังผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับปริมาณขยะที่เกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมนั้น ไม่ได้มีการรวบรวมไว้โดยเฉพาะ แต่ได้เก็บรวบรวมไว้กับปริมาณของขยะจากแหล่งชุมชนส่งเทศบาลเพื่อการกำจัดและขยะบางส่วนถูกกำจัดโดยโรงงานเอง

### 2.5.3. ปริมาณขยะจากแหล่งเกษตรกรรม

เป็นขยะที่ไม่สามารถบอกถึงปริมาณขยะได้เนื่องจากอยู่นอก พื้นที่การเก็บรวบรวมของเทศบาลหรือสุขาภิบาล และขยะเหล่านี้จะถูกกำจัดให้หมดไป หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น จึงไม่สามารถที่จะรู้ถึงปริมาณของขยะจากแหล่งนี้ได้ จากการศึกษายของ JICA พบว่าอัตราการผลิตมูลฝอยผันแปรไปตามชนิดของแหล่งกำเนิดขยะ กล่าวคือ จะขึ้นอยู่กับกิจกรรมนั้น ๆ ปริมาณขยะจากอาคารบ้านเรือน สำนักงาน โรงพยาบาล โรงแรม ห้างสรรพสินค้า โรงเล็ย และตลาด มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2.6.

ตารางที่ 2.6. การผลิตขยะมูลฝอยตามชนิดของแหล่งกำเนิด

ชนิดของแหล่งกำเนิด	อัตราการผลิตขยะ <sup>๑</sup>
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. โรงเรียน	315 กิโลกรัม/คน/วัน
7. ตลาด	320 กรัม/ตารางเมตร/วัน

ที่มา : JICA

**2.6. ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม**

ผลกระทบของขยะมูลฝอยที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อได้มีการจัดการและทำลายอย่างถูกต้อง นอกจากจะก่อให้เกิดความไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยแล้วยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกมากมาย เช่น ปัญหาน้ำเสีย ดินเสีย อากาศเป็นพิษ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรค เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

**2.6.1. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางกายภาพ**

**2.6.1.1. ผลกระทบต่อดิน**

ขยะและสิ่งปฏิกูลที่ถูกทิ้งทับถมกันบนดินจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อดินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะและสิ่งปฏิกูล กล่าวคือ หากมีองค์ประกอบที่เป็นสารที่สลายตัวยากหรือไม่สลายตัวเลยหรือเป็นขยะพิเศษที่มีอันตราย เช่น มีโลหะหนักหรือเชื้อโรคปะปนอยู่ก็จะก่อให้เกิดเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

มลพิษทางดินขึ้น แต่ถ้ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่มาก ก็จะช่วยให้ดินมีโครงสร้างและอินทรีย์วัตถุในดินมากขึ้น

### 2.6.1.2. ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ

การทิ้งขยะลงในแม่น้ำลำคลองก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำอย่างมาก เพราะเป็นการเพิ่มขยะที่แขวนลอยและสารที่ละลายได้ในน้ำและจะไปลดปริมาณออกซิเจนในน้ำนอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดการคั่งเงินของแม่น้ำลำคลองได้อีกด้วย

### 2.6.1.3. ผลกระทบต่ออากาศ

จากองค์ประกอบทางเคมีของขยะและสิ่งปฏิกูล ซึ่งมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นอาหารชั้นดีของจุลินทรีย์จะเกิดการบูดเน่าอย่างรวดเร็วในเขตร้อนชื้นเช่นในประเทศไทยทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทน แอมโมเนีย ซึ่งเกิดในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนอันจะทำให้เกิดก๊าซเหม็น ก่อความรำคาญ และเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนได้

### 2.6.2. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทางชีวภาพ

#### 2.6.2.1. ผลกระทบต่อมนุษย์

ขยะมูลฝอยที่บูดเน่าได้ล้วนส่งกลิ่นเหม็นรบกวนต่อมนุษย์ ในขณะที่ขยะที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก สารพิษ รวมทั้งเชื้อโรค ล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดโทษต่อมนุษย์โดยตรงถ้าหากเข้าสู่ร่างกายได้ นอกจากนี้สารอินทรีย์จากเศษอาหารยังเป็นอาหารของแมลงวันและแมลงนำโรคต่าง ๆ มาสู่มนุษย์ซึ่งเป็นผลกระทบทางอ้อมที่มีต่อมนุษย์อีกด้วย

### 2.6.2.2. ผลกระทบต่อสัตว์

ขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลก่อให้เกิดผลกระทบต่อสัตว์ทั้งทางตรงและทางอ้อม กล่าวคือ ขยะมูลฝอยเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรคต่าง ๆ ซึ่งสามารถแพร่กระจายไปสู่สัตว์เลี้ยงและสัตว์อื่น ๆ ได้ในทางอ้อม นอกจากนี้ยังอาจทำให้ระบบนิเวศของสัตว์น้ำเลวลง เช่น ปลาหรือสัตว์น้ำอื่น ๆ อาจตายได้เนื่องจากขาดออกซิเจน

### 2.6.2.3. ผลกระทบต่อพืช

กากขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเป็นกรดหรือด่างรุนแรง เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำอาจทำให้พืชป่าหรือพืชปลูกตายเป็นบริเวณกว้าง บริเวณที่ฝังกลบซึ่งมีการจัดการที่ไม่ดีได้ ขณะที่มีการประกอบที่สลายตัวยากหรือมีสารพิษต่าง ๆ เจือปนอยู่ เช่น โลหะหนัก ขยะเหล่านี้ถูกพืชจะดูดขึ้นมาสะสมไว้ในต้นพืช พืชเหล่านั้นอาจไม่ได้รับผลกระทบเลย แต่ถ้าหากสัตว์หรือชาวบ้านกินเข้าไปอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยได้

## 2.6.3. ผลกระทบต่อภาวะเศรษฐกิจและสังคม

### 2.6.3.1. ผลกระทบทางเศรษฐกิจ

เมื่อมีขยะมูลฝอยจำนวนมากก็จำเป็นต้องมีการกำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งต้องทำให้เสียงบประมาณในการกำจัด นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล เนื่องจากขยะมูลฝอยก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงกับที่ทิ้งขยะด้วย

### 2.6.3.2. ผลกระทบทางสังคม

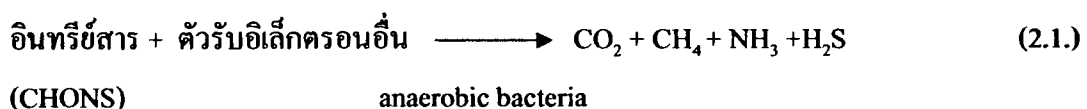
ขยะมูลฝอยทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตของประชาชนทำให้ชุมชนขาดความสวยงามและความเป็นระเบียบเป็นเหตุรำคาญเนื่องจากกลิ่นเหม็นรบกวน

## 2.7. การกำจัดขยะมูลฝอย

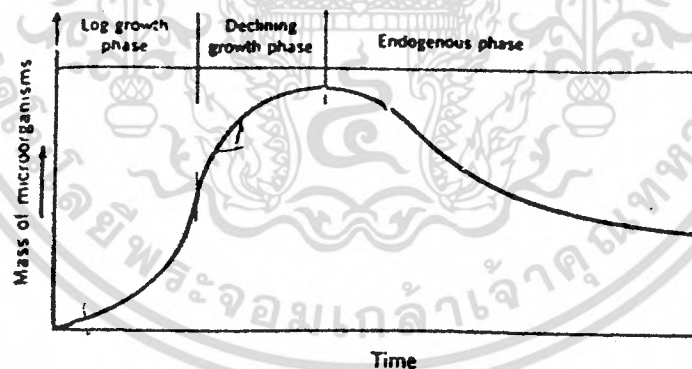
ระบบกำจัดขยะที่ปฏิบัติกันโดยทั่วไปว่ามีอยู่ 7 วิธี ได้แก่ การย่อยสลายตามกระบวนการธรรมชาติ การสร้างโรงงานเผาขยะ การนำไปเป็นอาหารสัตว์การนำกลับไปใช้ใหม่ การนำขยะไปทิ้งไว้ตามธรรมชาติ การฝังกลบที่ถูกต้องสุขลักษณะ และการนำไปทิ้งทะเล แต่ปัจจุบันพบว่ามีวิธีการกำจัดขยะที่เหมาะสมกับชุมชนของประเทศไทยอยู่เพียง 3 วิธี คือการเผา การทำปุ๋ยหมัก และฝังกลบ ซึ่งประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จะใช้วิธีฝังกลบ เนื่องจากต้นทุนในการกำจัดขยะมูลฝอยต่ำและจังหวัดใหญ่ก็นิยมใช้วิธีนี้ การทิ้งขยะไว้บนดินก่อนที่จะทำการฝังกลบหรือการหมักขยะมีปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์มาเกี่ยวข้อง การเพิ่มประชากรของจุลินทรีย์อย่างรวดเร็วเมื่อมีสารอินทรีย์ที่ย่อยง่ายทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจนผลจากการหมักในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนนี้เองได้ก่อให้เกิดก๊าซที่มีกลิ่นเหม็น และปัญหายังครอบคลุมพื้นที่ที่กว้างมากด้วย แต่หากมีการฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกต้องสุขลักษณะแล้วจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเหตุรำคาญอื่น ๆ เช่น กลิ่น กวน ฝุ่นละออง การปลิวของพลาสติก และอื่น ๆ เนื่องจากการฝังกลบอย่างถูกต้องสุขลักษณะเป็นวิธีการทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยที่พื้นดินอย่างถูกต้องตามหลักสุขภาพีบาลด้วยการเทขยะมูลฝอยลงไป เกลี่ยให้กระจาย แล้วใช้ดินหรือวัสดุอย่างอื่นที่มีดินปนอยู่อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ กลบแล้วบดทับให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง จึงไม่ก่อให้เกิดเหตุรำคาญและอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมดังนั้นในที่นี้จึงขอกล่าวถึงปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีที่เกิดจากการหมักขยะโดยวิธีการฝังกลบซึ่งอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ดังอธิบายได้ดังต่อไปนี้

## 2.8. ปฏิกิริยาเคมีการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition)

การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน เป็นการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจน ในอากาศ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (final products) ดังได้แสดงใน สมการ (2.1.)



ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นในส่วนที่เป็นก๊าซจะหายไปและส่งกลิ่นเหม็นฟุ้งกระจายไปไกล กระบวนการนี้เกิดขึ้นช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมาก ประมาณ 2-6 เดือน หรือถึง 1 ปี ระบบหมักแบบ Batch ระบบหมักแบบ Batch เป็นกระบวนการหมักแบบไม่ต่อเนื่อง โดยการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบปิด ซึ่งมีปริมาณสารอาหารเริ่มต้นจำกัด โดยไม่มีการเติมสารอาหารใดๆลงไปอีก การเริ่มต้นระบบโดยใส่จุลินทรีย์ลงไปในอาหาร ระยะแรกจะยังไม่มีการเพิ่มจำนวนของเซลล์จุลินทรีย์ เนื่องจากระยะนี้จุลินทรีย์กำลังปรับตัว เรียกระยะนี้ว่า Lag Phase ช่วงระยะนี้ต้องเร่งให้สั้นที่สุดโดยใส่เชื้อในอัตราที่เหมาะสม หลังจากนั้นจุลินทรีย์จะมีอัตราการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว เพราะมีอาหารเหลือเฟือ เรียกระยะนี้ว่า Log Phase อัตราการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระยะนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการย่อยสลายอาหารของจุลินทรีย์เอง เมื่อมีจำนวนจุลินทรีย์เพิ่มขึ้น อัตราการใช้สารอาหารก็เพิ่มขึ้นด้วย และเมื่ออาหารเริ่มขาดแคลนเนื่องจากไม่มีการเติมเข้าไปอีก ทำให้จุลินทรีย์เติบโตช้าลงและบางส่วนจะตายไป แล้วจะถูกย่อยสลายกลายเป็นสารอาหารให้กับจุลินทรีย์ที่เหลือ จนในที่สุดจุลินทรีย์ก็จะตายหมดเนื่องจากขาดแคลนสารอาหาร เรียกระยะนี้ว่า Endogenous Phase ดังในรูปที่ 2.1. ในบางครั้งจึงมีการเติมสารอาหารบางอย่างเป็นระยะๆ เพื่อให้จุลินทรีย์เติบโตได้ต่อไป โดยไม่มีการถ่ายอาหารเก่าออกและยังเป็นการป้องกันระบบล้มเหลวเนื่องจากขาดสารอาหาร เรียกถังหมักแบบนี้ว่า Fed-Batch การเติมสารอาหารเข้าไปจะเป็นแบบ Plug Flow คือการเคลื่อนที่ของสารอาหารอย่างสม่ำเสมอไปตามแนวความยาวถัง



รูปที่ 2.1. แสดง การเจริญเติบโตของแบคทีเรียตามระยะเวลา

### ข้อดีของการย่อยสลายแบบไร้อากาศ มีดังนี้

1. ทำให้ของเสียเกิดการ Stabilization คือจะไม่มีการทำปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่อได้มากกว่า
2. มีผลผลิตของมวลจุลินทรีย์ต่ำ เนื่องจากการสังเคราะห์สร้างเซลล์มีน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 20 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตะกอนที่เหลือสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้
4. ความต้องการสารอาหารต่ำ
5. ไม่ต้องมีการเติมอากาศ
6. ได้ก๊าซมีเทนเป็นผลผลิต

### ข้อเสียของการย่อยสลายแบบไร้อากาศ มีดังนี้

1. ใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบนาน เนื่องจากปฏิกิริยาการตอบสนองของจุลินทรีย์เป็นไปอย่างช้าๆ
2. การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนเป็นไปได้ช้า
3. ต้องดูแลควบคุมระบบอย่างใกล้ชิดเป็นเวลานาน เนื่องจากความสัมพันธ์ของกลุ่มจุลินทรีย์ไม่คงที่ มีกลิ่นเหม็น และมีสีดำเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ปฏิกิริยาชีวเคมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนเป็นปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์สาร โดยแบคทีเรียในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนสามารถแบ่งออกได้ 3 ขั้นตอนซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ปฏิกิริยาการแตกสลายสาร โมเลกุลใหญ่ (hydrolysis) เป็นขบวนการแตกสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและอาจอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเศษพืชผัก และส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืชได้แก่ เช่น เซลลูโลส และลิกนิน แสดงดังตารางที่ 2.7. ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการย่อยสลายที่มีความสำคัญกระบวนการไร้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อเปลี่ยนขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสารทำให้แบคทีเรียสามารถนำสารอาหารผ่านผนังเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ โดยแบคทีเรียจะขับเอนไซม์ออกมาภายนอกเซลล์ เพื่อให้โมเลกุลใหญ่ ๆ เหล่านี้แตกตัวออกมาเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เอนไซม์ที่แบคทีเรียขับออกมา ได้แก่ cellulolytic, biolytic, proteolytic โดยเอนไซม์ cellulolytic จะทำหน้าที่ในขั้นวิกฤตที่สุด คือ ทำให้สารประกอบเชิงซ้อนแตกตัวออกเป็นสารประกอบอย่างง่าย ๆ สารละลายและสารประกอบอินทรีย์ เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมันสายยาว เป็นต้นแสดงดังรูปที่ 2.1. และรูปที่ 2.2.

ตารางที่ 2.7. องค์ประกอบทางเคมีของ solid waste

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์คิดจากน้ำหนักแห้ง
Hemicelluloses	11.9
Cellulose	28.3
Lipids	-
Protein	28.75*
Ash	24

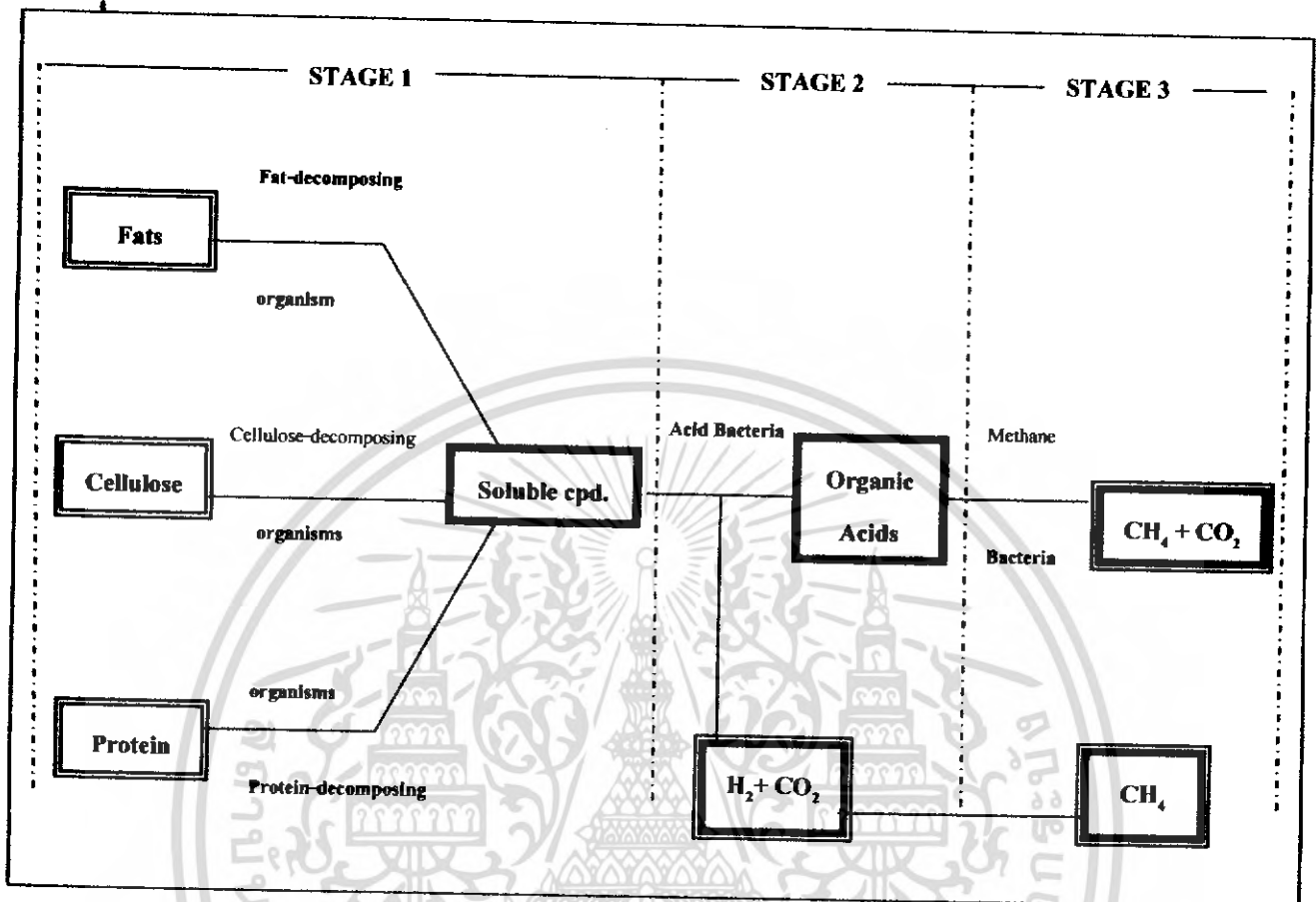
หมายเหตุ \* crude protein = total nitrogen x 6.25

ที่มา : Huang และ Shih

2. การผลิตกรด (acidogenesis) สารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลงนี้ จะถูกย่อยสลายโดยกลุ่มแบคทีเรียที่สร้างกรดที่เรียกว่า acid forming bacteria อาจจะเป็นพวก facultative หรือ anaerobes ก็ได้ โดยจะทำกรดย่อยสลายโมเลกุลสารอินทรีย์ที่แตกตัวจากขั้นตอนแรกให้เป็นกรดอินทรีย์และสารอื่นๆ เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่และใช้เป็นพลังงาน แบคทีเรียในกลุ่มนี้ ได้แก่ genera Psuedomonas Flavobacterium Alcatigenei Escherichia และ Aerobacter กรดที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก (acetic acid) ซึ่งใช้เป็นสารอาหารในขั้นตอนต่อไปและยังเกิดกรด โพร โอนิก (propionic acid) และ กรดบิวทิริก (butyric acid) รูปที่ 2.3. แต่แบคทีเรียพวก acetogenic bacteria จะทำหน้าที่เปลี่ยนกรดบิวทิริกและกรด โพร โอนิกเป็นกรดอะซิติกได้ แสดงดังสมการที่ (2.2.) และ (2.3.)

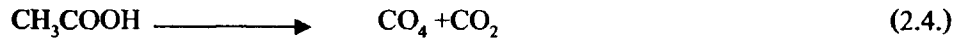


นอกจากนี้ยังพบว่า กรดอะซิติกเกิดมาจากอะซิเตต ซึ่งได้มาจากปฏิกิริยาร่วมกันของ คาร์บอนไดออกไซด์  $\text{CO}_2$  รีดักชันกับก๊าซไฮโดรเจน  $\text{H}_2$  แสดงดังรูปที่ 2.2.

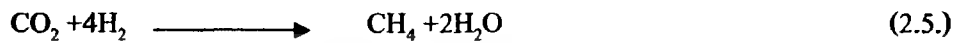


รูปที่ 2.2. แสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นของแข็งภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (National Research Council, 1977)

3. การผลิตก๊าซมีเทน (methanogenesis) กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่สองจะถูกแบคทีเรียกลุ่ม ที่มีชื่อว่า methanogenic bacteria ทำการย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้เกิดเป็นก๊าซมีเทน แบคทีเรียกลุ่มที่มีการเจริญเติบโตช้า สามารถเจริญได้ในภาวะที่ไม่มีออกซิเจนเท่านั้น obligate anaerobic bacteria มีความไวต่อค่าพีเอชและมีจำนวนประชากรต่ำ ส่วนใหญ่ได้แก่ enera Methanobacterium Methanosarcina และ Methanococcus ขั้นตอนนี้จึงเป็นขั้นตอนจำกัดของการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนและมีสารอาหารบางชนิดที่ใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ ได้แก่ กรดฟอร์มิก (formic acid) กรดอะซิติก (acetic acid) เมทานอล (methanol) เอทานอล (ethanol) และก๊าซไฮโดรเจน แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 โดย 70 เปอร์เซ็นต์ของมีเทนเกิดจากรดอะซิติก ดังแสดงในสมการที่ 2.4.

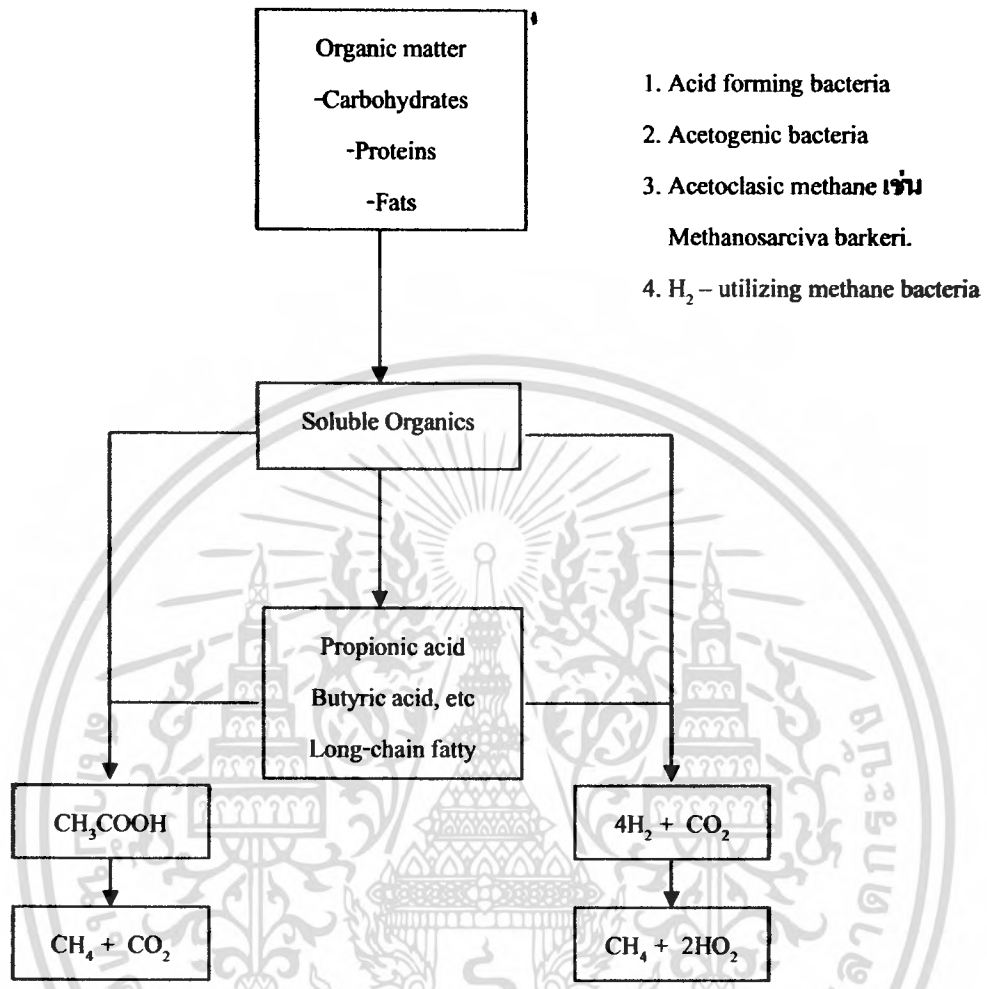


ส่วนที่เหลือ 1 ใน 3 เกิดจากการทำงานของ hydrogen utilizing methane bacteria เป็นผลจากการลดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเป็นแหล่งพลังงาน ดังสมการที่ 2.5.

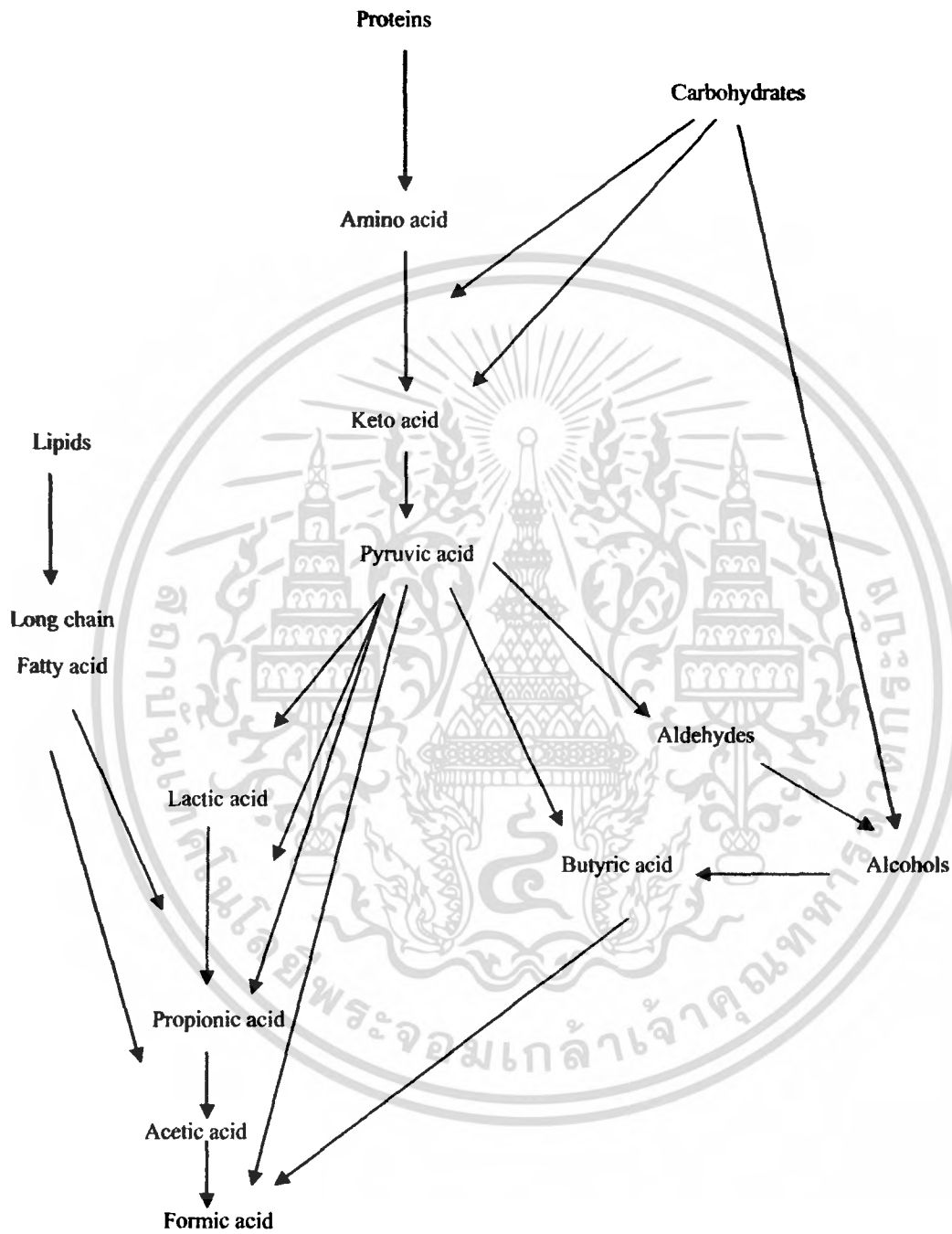


นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียพวกอื่นๆ ได้แก่ sulphate bacteria ซึ่งเปลี่ยนอนุมูลซัลเฟตให้เป็นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $\text{H}_2\text{S}$ ) และ denitrifying bacteria ซึ่งเปลี่ยนอนุมูลไนเตรคกับไนไตรท์เป็นไนโตรเจน

นอกจากนี้ จากรูปที่ 2.4. ถึง 2.5. ได้แสดงขั้นตอนการผลิตก๊าซและการผลิตกรดของจุลินทรีย์ในสภาวะไร้อากาศ

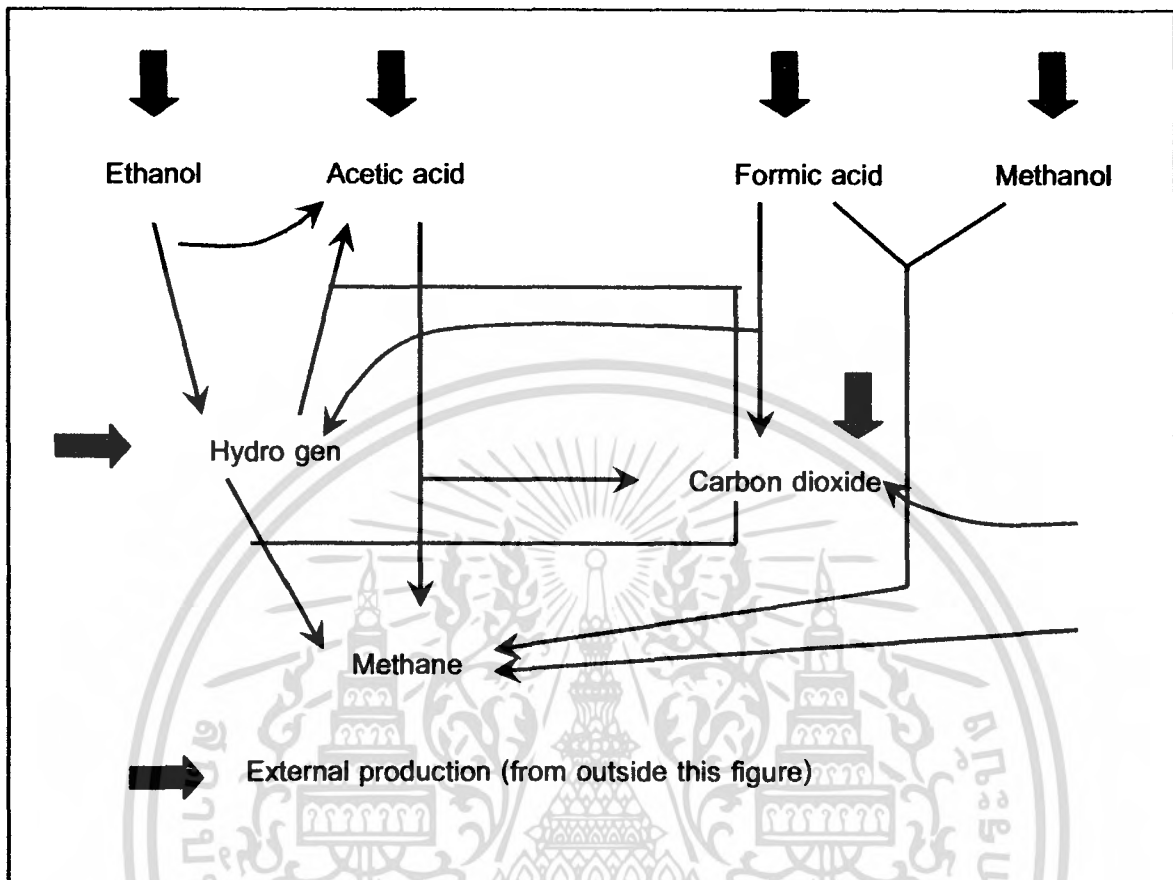


รูปที่ 2.3. แผนผังการทำงานของแบคทีเรียในการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Mosey and Perkin)



รูปที่ 2.4. ขั้นตอนการผลิตกรดของแบคทีเรีย (Henze and Harremoe)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5. ขั้นตอนการผลิตก๊าซของแบคทีเรีย (Henze and Harremoos)

## 2.9. ก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมักขยะแบบไร้ออกซิเจน

### 2.9.1. ชนิดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมัก

การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในขยะมูลฝอยที่ถูกฝังกลบนั้นจะเป็นแบบใช้อากาศใน  
 ตอนแรก โดยใช้ออกซิเจนจากอากาศที่แทรกตัวอยู่ตามช่องว่างภายในบริเวณฝังกลบ ต่อมาเมื่อ  
 ออกซิเจนที่มีอยู่หมด การย่อยสลายจะเปลี่ยนไปเป็นแบบไม่ใช้อากาศและจะเป็นแบบนี้ต่อไปเรื่อยๆ  
 เชื้อแบคทีเรียที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งแบบใช้อากาศและแบบไม่ใช้อากาศได้มาจากเชื้อที่มีอยู่ในดินที่  
 ฝังกลบขยะมูลฝอยนั่นเอง ภายใต้สภาพปกติพบว่าอัตราการย่อยสลาย ซึ่งวัดจากปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 27 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะสูงสุดภายในช่วง 2 ปีแรก หลังจากนั้นจะย่อยสลายช้าลง ๆ เป็นเวลาต่อไปอีก 25 ปีหรือมากกว่า ก๊าซที่พบในบริเวณฝังกลบ ได้แก่แอมโมเนีย คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ ไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทน และไฮโดรเจน ในก๊าซทั้งหมดที่เกิดขึ้นนี้ คาร์บอนไดออกไซด์และมีเทนเป็น ก๊าซที่เกิดขึ้นในปริมาณมากที่สุดที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน การนำเอาขยะหรืออินทรีย์สารฝัง กลบในบ่อหมักเพื่อกำจัดขยะ แบคทีเรียที่มีอยู่ในธรรมชาติจะใช้สิ่งปฏิกูลหรือขยะเหล่านั้นเป็น อาหารและย่อยสิ่งเหล่านี้ ผลที่ได้ออกมาส่วนใหญ่มักจะเป็นก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ ก๊าซอื่น ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.8.

ตารางที่ 2.8. เปอร์เซนต์ของก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากขยะ

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

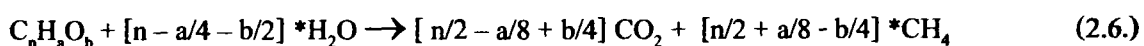
ที่มา : เกียรติไกร

การศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นสอดคล้องกับ Buonicore และ Wayne ที่ศึกษาก๊าซที่ ปลดปล่อยจากการฝังกลบขยะ (landfil gas) พบว่า องค์ประกอบหลักของ landfill gas ในสภาพไร้ออกซิเจนจะเกิด methanogenic phase ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย มีเทน 50% และ คาร์บอนไดออกไซด์ 50% นอกจากนี้ยังมีแอมโมเนีย ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ไนโตรเจน ไฮโดรเจนคลอไรด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และ volatile organic compound (VOCs) ดังแสดงในรูปที่ 2.5. ซึ่ง สอดคล้องกับการศึกษาในอดีต คือในช่วงแรกของการหมักจะเป็นขบวนการใช้ออกซิเจน ซึ่งจะเป็น ผลให้เกิดความร้อนและผลผลิตของก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อออกซิเจนใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 28 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชั้นขยะหมดลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นในสภาพที่ไร้อากาศและมีสภาวะเป็นแบบไร้อากาศในที่สุด ก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดจากขบวนการก็คือ ก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดย 90 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซที่เกิดขึ้นจะเป็นก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์และมีเทน ซึ่งตามทฤษฎีแล้วขยะ 1 ปอนด์จะเกิดก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ 2.7 ลูกบาศก์ฟุต และก๊าซมีเทน 3.9 ลูกบาศก์ฟุต นอกจากนี้ยังพบว่าองค์ประกอบของก๊าซขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการอัดทับ ถ้าความหนาแน่นในการอัดทับมาก จะเกิดก๊าซปริมาณมากต่อหน่วยปริมาตร และพบว่าขยะเปียกจะให้ปริมาณก๊าซมากกว่าขยะแห้ง กล่าวคือ ขยะเปียกและขยะแห้งจะทำให้เกิดก๊าซ 0.21 และ 0.035 ลูกบาศก์ฟุต ของน้ำหนักขยะแห้ง 1 ปอนด์ และยังพบอีกว่าปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ ความชื้น และปริมาณอากาศที่อยู่ในบริเวณหลุมฝังกลบ สำนักวิจัยความสะอาด นอกจากนี้การผลิตก๊าซมีเทนจาก ขยะโดยกระบวนการชีวภาพแบบไร้อากาศสองขั้นตอนได้แสดงให้เห็นว่า ลักษณะการเกิดก๊าซจะเป็นแบบระลอกๆ และมีระยะเวลาเก็บกักประมาณ 6-10 วัน ที่ทำให้อัตราการผลิตก๊าซสูงสุด จากการกำจัด ขยะในตลาดสดโดยกระบวนการไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอนก็พบว่า เปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาเก็บกักที่เพิ่มขึ้นมีค่าระหว่าง 61.61 ถึง 63.39 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ เปอร์เซ็นต์ของคาร์บอน ไดออกไซด์จะลดลงเมื่อระยะเวลาการเก็บกักเพิ่มขึ้น โดยมีค่าระหว่าง 24.0 ถึง 26.7 เปอร์เซ็นต์

Jewell และ Wujcik ได้ทำการทดลองโดยใช้ของเสียจากการเกษตร เช่น มูลสัตว์ ฟาง ข้าว และข้าวโพด โดยใช้ถังหมักแบบ Batch ง่ายๆ พบว่ามีการผลิตก๊าซมีเทนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพแม้จะมีปริมาณ Total Solids มากถึง 50 % แต่ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อถึงระดับปริมาณ Total Solids มากกว่า 32.5 % และได้ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส เพื่อหาผลกระทบของ ความชื้นและสารเคมีอื่นๆ เช่น แอมโมเนีย พบว่า ในระยะเวลาการหมัก 160 วัน เมื่อใช้มูลสัตว์และฟาง ข้าวผสมกันที่ปริมาณ Total Solids ประมาณ 25% มีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนประมาณ 50-60 % สามารถทำนายปริมาณ ก๊าซมีเทนที่จะเกิดขึ้นได้จาก สมการที่ (2.1.) ซึ่งพัฒนาโดย Buswell และ Mueller

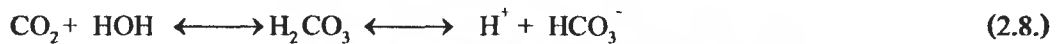


แต่ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ จะไม่อยู่ในรูปของก๊าซทั้งหมด โดยส่วนหนึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำ และไฮดรอกไซด์ไอออน ส่วนโปรตีนจะถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายเป็นแอมโมเนีย ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับน้ำ ดังสมการ (2.2.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 29 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยากับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นไบคาร์บอเนต  
อออน ดังสมการ (2.8.)



ดังนั้นสารอาหารที่มีองค์ประกอบโปรตีน จะมีผลต่อปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์  
ที่ละลายออกมาเป็นสารละลาย รวมทั้งความจุฟเฟอริไบคาร์บอเนตของระบบ ก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยา  
การหมักขยะแบบไร้ออกซิเจนเหล่านี้ได้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซ  
เรือนกระจก (greenhouse gas) และสามารถปลดปล่อยจากบริเวณที่ฝังกลบขยะได้โดยตรง ดังนั้น การ  
นำเอามีเทนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหรือพลังงานทดแทนจึงเป็นแนวทางหนึ่งที่สามารถลดปริมาณการ  
ปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศได้

## 2.9.2. คุณสมบัติของก๊าซที่เกิดจากปฏิกิริยาการหมักขยะ

### 2.9.2.1. ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>)

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)

### 2.9.2.2. ก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>)

เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีโมเลกุลประกอบด้วยคาร์บอน 1 อะตอม และไฮโดรเจน 4 อะตอม เป็นก๊าซที่ปราศจากสีและกลิ่น มีน้ำหนักเบากว่าอากาศ มีน้ำหนักโมเลกุล 16.04 และความหนาแน่นเท่ากับ 0.7167 กรัมต่อลิตร สามารถจุดไฟติดและจุดระเบิดได้ในที่มีออกซิเจน เปลวไฟมีสีน้ำเงินและให้ค่าความร้อน 7,800 กิโลแคลอรีต่อลูกบาศก์เมตร มีจุดเดือดที่ -161.61 องศาเซลเซียส ไม่ละลายน้ำ

### 2.9.2.3. ก๊าซแอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>)

เป็นก๊าซที่ไม่มีสีที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน มีกลิ่นฉุน ง่ายต่อการทำให้เป็นของเหลวโดยการใช้ความดัน น้ำหนักโมเลกุล 17.03 ความหนาแน่น 0.7708 ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ มีจุดเยือกแข็งที่ 77.7 องศาเซลเซียส และจุดเดือดที่ -33.5 องศาเซลเซียส สามารถละลายได้ดีในน้ำ แอลกอฮอล์และอีเทอร์ สามารถจะไฟติดที่อุณหภูมิ 1,204 องศาฟาเรนไฮต์

โดยสรุปแล้วถึงแม้ว่าจะมีปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันหลายกระบวนการ แต่จะมี ปฏิกิริยาเดียวที่แสดงบทบาทเด่น ในช่วงเวลาหนึ่ง และกระบวนการที่เหลือจะมีบทบาทในระดับต่ำ การตรวจวัดของมูลฝอยจะทราบเฉพาะกระบวนการย่อยสลายที่มีบทบาทเด่นในช่วงเวลานั้นเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายเป็นปฏิกิริยาแบบพลวัต

## 2.10. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน

เนื่องจากในระบบการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ประกอบด้วยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรด (acidogenic bacteria) และทำหน้าที่ในการสร้างก๊าซมีเทน (methanogenic bacteria) ดังนั้นเพื่อที่จะควบคุมให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องทำให้แบคทีเรียต่าง ๆ เหล่านี้อยู่ในสถานะที่สมดุลกัน ซึ่งจะต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 31 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.10.1. พีเอช (pH)

แบคทีเรียพวก methanogenic bacteria เป็นแบคทีเรียที่สภาพแวดล้อมรวมทั้งพีเอชที่อยู่ในระหว่าง 6.6 ถึง 7.6 เพื่อที่จะให้การผลิตก๊าซมีเทนเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นโดยทั่วไปการนำพารามิเตอร์ในการควบคุมระบบ ถังหมักแบบไร้ออกซิเจนมาประยุกต์ใช้กับระบบฝังกลบมูลฝอย โดยระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6 ถึง 7.6 สำหรับค่าที่เหมาะสมจะประมาณ 7.0 ถึง 7.2 นอกจากนี้พบว่าที่พีเอชต่ำกว่า 6.5 จะยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียพวก methanogenic bacteria โดยไม่คำนึงถึงความเข้มข้นของกรดโวลาทิลที่นี้เขาพบว่าที่ พีเอช ต่ำกว่า 6.5 และความเข้มข้นของกรดโวลาทิลประมาณ 5,400 มิลลิกรัม/ลิตร การผลิตก๊าซจะไม่เกิดขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับที่ พีเอช 7.0 หรืออยู่ระหว่าง 6.8 กับความเข้มข้นของกรดโวลาทิลก็เท่าเดิมปรากฏว่ามีก๊าซเกิดขึ้น และเมื่อความเข้มข้นของกรดโวลาทิลเพิ่มมากกว่าเดิมอีก 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร คือ ประมาณ 7,200 มิลลิกรัม/ลิตร แต่ยังคงทำการควบคุมพีเอชไว้ได้ ผลปรากฏว่ามีปริมาณก๊าซเกิดมากขึ้น

### 2.10.2. ความเป็นด่าง (Alkalinity)

ความเป็นด่างจะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต (Bica-bonate) เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ให้อยู่ในรูปของแอมโมเนียไปคาร์บอเนต (ammonium bicarbonate) การสร้างความเป็นด่างตามธรรมชาตินี้มีความสำคัญคือจะเป็นบัฟเฟอร์ที่ดีแก่ระบบที่จะควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วง 6.8 ถึง 7.2 อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของ กรดโวลาทิลภายในระบบเพิ่มมากขึ้นความเป็นด่างรูปของไปคาร์บอเนตที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะถูกทำลายไปและถูกแทนที่ด้วย Volatile - Acid Alkalinity (VAA) การทำลายบัฟเฟอร์นี้ เป็นสาเหตุที่ทำให้พีเอชลดลงโดยทั่วไปค่าความเป็นด่างที่แสดงในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ควรจะมีค่า สูงกว่าค่าความเข้มข้นของกรดโวลาทิลที่อยู่ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนตเช่นเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3. นอกจากนี้พบว่าค่าความเห็นด่างในรูปของไปคาร์บอเนต ควรจะรักษาให้อยู่ในระดับอย่างน้อย 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และสมดุลกับแคลเซียมคาร์บอเนต เพื่อที่จะให้แน่ใจเพียงพอในการควบคุมพีเอชอยู่ได้ สำหรับค่าความเป็นด่างไปคาร์บอเนตที่เหมาะสม เพื่อรักษาเสถียรภาพของระดับความเป็นกรด-ด่าง และป้องกันการเพิ่มความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ที่ไม่แตกตัว (undissociate organic acid) ควรอยู่ในช่วงระหว่าง 2,500 ถึง 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 2.10.3. กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid)

กรดโวลาทิลด์เป็นอาหารที่สำคัญของแบคทีเรียพวก (methanogenic bacteria) ในการที่จะผลิตก๊าซมีเทนแต่ถ้าในปริมาณมากเกินไปหรือมีความเข้มข้นสูงอาจเป็นพิษต่อแบคทีเรียต่อแบคทีเรียพวกที่สร้างมีเทนได้ กรดโวลาทิลด์จะต้องมีค่าไม่เกิน 2,000 ถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรที่สภาวะสมดุล หรืออาจกล่าวได้ว่าการที่กรดโวลาทิลด์เกิน 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สมดุลกับกรดอะซิติกจะเป็นผลทำให้ปริมาณก๊าซลดลง และอาจหยุดยั้งขั้นตอนการเกิดก๊าซมีเทน

### 2.10.4. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญอีกตัวหนึ่งในการควบคุมกระบวนการผลิตก๊าซ มีเทน โดยพบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในช่วง mesophilic มีค่า 30 องศาเซลเซียส ถึง 0 องศาเซลเซียส และในช่วง thermophilic มีค่า 45 องศาเซลเซียส ถึง 55 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังพบว่า ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส ในช่วง mesophilic และ 55 องศาเซลเซียส ในช่วง thermophilic พบว่าการผลิตก๊าซมีเทนลดลงอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสม 10 องศาเซลเซียส กลับพบว่าการผลิตก๊าซมีเทนลดลงอย่างช้า ๆ ส่วนการแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิก็มีผลต่อกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน สำหรับรายงานอุณหภูมิในกองมูลฝอยซึ่งส่วนใหญ่ทำการศึกษาในกองมูลฝอยสภาพการทดลองอาจไม่สอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงที่กองมูลฝอยอยู่ภายใต้สภาวะผันแปรของภูมิอากาศโดยผลการตรวจวัดพบอุณหภูมิสูงสุด 35 องศาเซลเซียส ถึง 40 องศาเซลเซียส ในช่วงหลังการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนและจะมีค่าลดลงตามช่วงเวลายาวขึ้น โดยพบว่ามีค่าประมาณ 20 องศาเซลเซียสแต่อาจจะมีการผันแปรได้ตามภูมิอากาศ และคุณสมบัติความเป็นฉนวนของกองมูลฝอย ซึ่งคุณสมบัติผลดีต่อกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนั้นยังใช้มูลฝอยบดมาทำการหมักที่ระยะเวลา 30 วัน และอุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส พบว่าการทำงานของระบบดีขึ้นและให้ปริมาณของก๊าซมากกว่าช่วง mesophilic อัตราร้อยละ 50

### 2.10.5. ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน ทั้งนี้ เนื่องจากแบคทีเรียพวกสร้างมีเทนจะทำงานได้ดีเมื่อมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น และจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อแฉะ

ในน้ำคั่งเช่นในกรณีถังหมักตะกอน (sludge digester) และหากทำการลดความชื้นลงต่ำกว่าระดับ 100% ของน้ำหนักแห้ง หรือ 50% ของน้ำหนักเปียก มีผลทำให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพลดลงทั้งในกองมูลฝอยที่ฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลในระดับห้องปฏิบัติการ (sysimeter) นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อเพิ่มความชื้นให้แก่กองมูลฝอยจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซเพิ่มมากขึ้น ระดับความชื้นที่พอเหมาะอยู่ในช่วงร้อยละ 60 – 80 ของน้ำหนักเปียก ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอยส่วนใหญ่จะประกอบด้วย ก๊าซมีเทนร้อยละ 45 – 55 และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ร้อยละ 33 – 55 จึงทำให้สรุปได้ว่าการเพิ่มความชื้นของมูลฝอยจะทำให้อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นร้อยละ 25 – 50

#### 2.10.6. ขนาดของอนุภาค (Particle Size)

รายงานว่าขนาดของอนุภาคมูลฝอยมีผลต่ออัตราการย่อยสลาย ซึ่งถ้าลดขนาดของอนุภาคลงจาก 25 ซม. เหลือ 2.5 ซม. จะทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น 4.4 เท่า

#### 2.10.7. อาหารเสริม (Nutrient)

แบคทีเรียจำพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน (anaerobic bacteria) นั้นก็จะมีความต้องการสารอาหารจำพวกไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และสารอาหารอื่น ๆ ที่ช่วยในการเจริญเติบโต ฉะนั้นการควบคุมสภาวะให้เหมาะสม ก็คือการใส่อาหารเสริมลงไปให้เพียงพอแก่ความต้องการ เพราะว่าของเสียที่จะเข้าสู่ระบบนั้นมีลักษณะสมบัติแตกต่างกันออกไป

#### 2.10.8. สารพิษ (Toxic Material)

สำหรับของเสียที่มีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สารและอนินทรีย์สารสูง ระบบย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนจะมีความไหวต่อสิ่งเหล่านี้ได้ไวกว่าปกติ เช่น พวกเกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) รวมทั้งสารประกอบอินทรีย์ที่มีพิษ (toxic organic compound) ส่วนพวกอัลคาไลน์ (alkali) และโลหะอัลคาไลน์เอิร์ธ (alkaline earth-metal) นั้นจะมีความเข้มข้นที่แน่นอนในการยับยั้งและเป็นพิษสำหรับค่าสูงสุดที่ยังไม่เป็นพิษ (threshold) จะแปรเปลี่ยนไปขึ้นอยู่กับว่าโลหะนั้นจะมีปฏิกิริยาโดยตัวมันเอง หรือ ปฏิกิริยาร่วมกัน อย่างเช่น แอมโมเนียเมื่ออยู่ในรูปของ  $\text{NH}_3$  จะยับยั้งเมื่อมีความเข้มข้นสูง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงพอ ซึ่งอยู่ระหว่าง 1,500 ถึง 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและที่พีเอชสูงกว่า 7.4 แต่ที่ความเข้มข้นสูงกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร แอมโมเนียอิดรอน (NH<sub>3</sub>) เพียงอย่างเดียวก็จะเป็นพิษอย่างรุนแรงโดยไม่เกี่ยวข้องกับค่าพีเอชแต่อย่างใด

**ตารางที่ 2.9. ความเข้มข้นในการกระตุ้นและยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของไอออนประจุบวก**

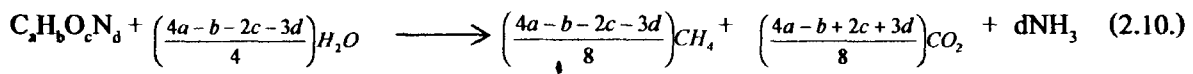
ประจุบวก (Cation)	ความเข้มข้น มก./ล. (Concentration; mg/l)		
	มีฤทธิ์กระตุ้น (Stimulation)	มีฤทธิ์ยับยั้งปานกลาง (Moderately Inhibitory)	มีฤทธิ์ยับยั้งรุนแรง (Strong Inhibitory)
โซเดียม	100-200	3,500-5,500	8,000
โปตัสเซียม	200-400	2,500-4,500	12,000
แคลเซียม	100-200	2,500-4,500	8,000
แมกนีเซียม	75-150	1,000-1,500	3,000

ที่มา : McCarty

**2.11. ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากหลุมฝังกลบมูลฝอย**

ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบมูลฝอยโดยทั่วไป ได้แก่ แอมโมเนีย (NH<sub>3</sub>) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H<sub>2</sub>) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H<sub>2</sub>S) มีเทน (CH<sub>4</sub>) ไนโตรเจน (N<sub>2</sub>) ในก๊าซที่เกิดขึ้นมีก๊าซ คาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซมีเทน เป็นก๊าซที่เกิดขึ้นในปริมาณมากที่สุดถึงร้อยละ 45 ถึง 60 และร้อยละ 40 ถึง 60 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบก๊าซบางชนิดที่พบได้ในหลุมฝังกลบมูลฝอย คือ สารประกอบอินทรีย์ระเหย (Volatile Organic Compounds, VOCs) ซึ่งโดยทั่วไปเราถือว่า VOCs เป็นสารอันตรายส่งผลกระทบต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามสารประกอบนี้มีปริมาณที่น้อยมาก สารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) บางชนิดยังสามารถพบได้ข้างนอกบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอยและยังพบในปริมาณที่เข้มข้นมากกว่าภายในบริเวณหลุมฝังกลบมูลฝอย ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอย สมการทั่วไปของปฏิกิริยาการย่อยสลายอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนอาจเขียนได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 35 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



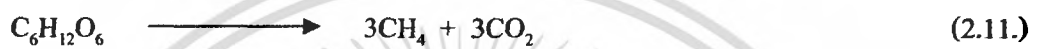
โดยอาศัยสมการที่ (2.10.) ได้ประเมินผลผลิตก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมดในช่วงทฤษฎีโดยอาศัยข้อมูลของ จากการศึกษาในส่วนของมูลฝอยจากชุมชน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ามูลฝอยจากชุมชนประกอบไปด้วย คาร์บอน ( C ) ร้อยละ 28 ไฮโดรเจน (H) ร้อยละ 3.5 ออกซิเจน (O) ร้อยละ 22.4 ไนโตรเจน (N) ร้อยละ 24.9 และซัลเฟอร์ (S) ร้อยละ 0.16

การประเมินผลผลิตก๊าซชีวภาพและองค์ประกอบโดยใช้สมการที่ (2.10.) เป็นสิ่งที่ง่าย แต่ข้อพิจารณาเมื่อใช้วิธีการนี้คือ ค่าที่คำนวณได้จากสมการเป็นตัวเลขที่มีค่าสูงสุดในทางทฤษฎีซึ่งในทางปฏิบัติแล้วผลที่ได้จะไม่เท่ากับที่คำนวณไว้ ทั้งนี้เนื่องจากสมการที่ (2.10.) ได้ตั้งสมมติฐานไว้ดังนี้

1. สารอินทรีย์ทั้งหมดในกองมูลฝอยจะถูกย่อยสลาย แต่ในทางปฏิบัติแล้วสารอินทรีย์พวกลิกนิน และพลาสติก ไม่สามารถถูกย่อยสลาย โดยกระบวนการย่อยสลายแบบ ไร้ออกซิเจน
2. สารอินทรีย์ทุกชนิดที่ถูกย่อยสลาย โดยกระบวนการย่อยสลายแบบ ไร้ออกซิเจน ได้ผลผลิตเป็นก๊าซมีเทน และก๊าซคาร์บอน ไดออกไซด์ทั้งหมด
3. กองมูลฝอยต้องมีธาตุองค์ประกอบอื่น ๆ ที่แบคทีเรียต้องการตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องมีความสมดุลของสารอาหารเสริมของแบคทีเรียทุกกลุ่มในทุกช่วงเวลา
4. ดังแสดงในสมการที่ 2.10. ได้คิดรวมเอาส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเพื่อเอาไปเสริมทางเซลล์ของแบคทีเรีย ดังนั้นในทางปฏิบัติปริมาณก๊าซที่คำนวณได้จะต้องถูกหักออก โดยปริมาณของสารอินทรีย์ที่ถูกนำไปสร้างเซลล์ของแบคทีเรีย ซึ่งโดยทั่วไปองค์ประกอบของเซลล์แบคทีเรียสามารถเขียนแทนโดย  $C_5H_7O_2N$  หรือโดยทั่วไปคำนวณจากอัตราการใช้สารอินทรีย์ในการสร้างเซลล์มีค่าเท่ากับ 0.03 ถึง 0.15 กรัม/กรัม COD ที่ถูกย่อยสลายไป ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของสารอาหาร

ดังนั้นเมื่อพิจารณาสมมติฐานแล้วพบว่าอาจคลาดเคลื่อนกับสภาพความเป็นจริงการย่อยสลายในพื้นที่กลบมูลฝอย นอกจากปัญหาการคำนวณปริมาณก๊าซที่คลาดเคลื่อนแล้วสมการที่ยังไม่มีความเที่ยงตรงในการบอกถึงสัดส่วนองค์ประกอบของก๊าซทั้งนี้เนื่องจากความสามารถในการ

ละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำมีค่าสูงกว่ามีเทนและยังพบว่าความสามารถในการละลายน้ำที่แตกต่างกันของก๊าซทั้งสองเป็นสาเหตุของการที่กองมูลฝอยที่มีปริมาณและความชื้นของมูลฝอยสูงจึงมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนสูงกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในสถานะที่ปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ต่อปริมาณมูลฝอยที่ถูกย่อยสลายมีค่าเท่าเดิม นอกจากนี้ยังมีวิธีการคำนวณโดยใช้อัตราส่วนของสารอินทรีย์ในมูลฝอยมาประเมินโดยพิจารณาสมการการเปลี่ยนสารอินทรีย์แต่ละกลุ่มไปเป็นก๊าซมีเทน เช่น เซลลูโลส จะเริ่มย่อยสลายโดยกระบวนการไฮโดรไลซิสได้น้ำตาลกลูโคสเป็นองค์ประกอบหลักของการย่อยสลายต่อไปนี้



ปฏิกิริยาการย่อยสลายสารพวกไขมัน เช่น Stearic acid จะเป็นดังนี้



ถ้าสามารถทราบองค์ประกอบของสารอินทรีย์ในมูลฝอยแล้ว การแก้ไขตัวเลขปริมาณก๊าซที่คำนวณจากสมการที่ (2.10.) ก็สามารถคำนวณได้ ตัวอย่างการคำนวณเช่นหากแบ่งสารอินทรีย์ในมูลฝอยออกเป็นกระดาษหนังสือพิมพ์ 33% กระดาษห่อของ (Kraft paper) 40% และสารอินทรีย์อื่นๆ อีก 27% ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณจะได้ผลผลิตก๊าซ 0.55 ลบ.ม./กก. น้ำหนักเทอมน้ำหนักของสารอินทรีย์ระเหยได้ การคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าวสามารถลดความคลาดเคลื่อนของการใช้สมการที่ 2.10. มาคำนวณได้ ข้อมูลที่น่าเชื่อถือของผลผลิตก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่ได้จากมูลฝอยค่อนข้างหาได้ยากเนื่องจากข้อมูลที่รายงานอยู่ในปัจจุบันแปรผันอยู่ในช่วงกว้างโดยทางทฤษฎีแล้วการตรวจวัดผลผลิตก๊าซชีวภาพของมูลฝอยต้องกระทำตลอดช่วงอายุมูลฝอย แต่ในทางปฏิบัติแล้วช่วงเวลาในการหาข้อมูลส่วนใหญ่จะมีจำกัด นอกจากนี้ยังมีปัญหาที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของสถานะของมูลฝอยเนื่องจากเทคนิคการตรวจวัด เช่น การนำวัสดุไปปิดคลุมกองมูลฝอยเพื่อวัดก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นซึ่งผลอาจก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของการบวนการย่อยสลายรวมไปถึงการเคลื่อนที่ของน้ำที่เปลี่ยนแปลงและรูปแบบการไหลของก๊าซในสภาวะปกติถูกขัดขวาง เป็นต้น ดังนั้นผลการตรวจวัดที่ได้จริงจะคลาดเคลื่อนไป ส่วนการใช้ Lysimeters นั้นทำโดยการนำมูลฝอยปริมาณน้อยการย่อยสลายใน Lysimeters แต่สิ่งที่เป็นปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา 37 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากในการตรวจวัดวิธีนี้คือ การจำลองสภาวะที่เกิดขึ้นในกองมูลฝอยและความผันแปรของภูมิอากาศ ทำให้ผลผลิตของก๊าซชีวภาพมีค่าคลาดเคลื่อนค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในกระบวนการผลิตก๊าซมีเทนทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเวลาในการทดลองไม่เพียงพอ หรือในบางกรณีอาจเนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายไม่สามารถดำเนินการไปจนถึงขั้นตอนการหมักมีเทนอย่างสมบูรณ์ ก๊าซที่เกิดจากการฝังกลบมูลฝอยจะประกอบด้วยก๊าซต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.10. โดยองค์ประกอบของก๊าซดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา กล่าวคือ ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะลดลงในขณะที่ปริมาณก๊าซมีเทนจะเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถตรวจวัดองค์ประกอบของก๊าซที่ได้จากหลุมฝังกลบมูลฝอยที่มีอายุ 4 ปี ได้ดังนี้คือ มีเทน ร้อยละ 56 ของปริมาตร คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 28 โดยปริมาตร ไนโตรเจนร้อยละ 15 โดยปริมาตร และก๊าซอื่น ๆ ร้อยละ 1 โดยปริมาตร การศึกษาที่กล่าวข้างต้นสอดคล้องกับรายงานของBuonicor และ Wayne ที่ศึกษาองค์ประกอบของก๊าซที่ปลดปล่อยจากหลุมฝังกลบมูลฝอย พบว่า องค์ประกอบหลักของ landfill gas ในสภาพที่ไร้อากาศจะเกิด methanogenic phase ซึ่งก๊าซที่เกิดขึ้นจะประกอบด้วย มีเทน ร้อยละ 50 ของก๊าซที่เกิดขึ้นและคาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 50 ของก๊าซที่เกิดขึ้นนอกจากนี้อาจมีก๊าซแอมโมเนีย ไฮโดรเจน ซัลไฟด์ ไนโตรเจน ไฮโดรเจนคลอไรด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และสารประกอบอินทรีย์ระเหย (VOCs) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Wilson คือในช่วงแรกของการหมักจะเป็นขบวนการใช้ออกซิเจนซึ่งจะเป็นผลให้เกิดความร้อนและผลผลิตของก๊าซที่ได้ส่วนใหญ่ คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เมื่อออกซิเจนในชั้นมูลฝอยหมดลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นในสภาพกึ่งไร้อากาศและมีสภาวะเป็นแบบไร้อากาศในที่สุด ก๊าซส่วนใหญ่ที่เกิดจากขบวนการก็คือ ก๊าซมีเทน คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 90 ของก๊าซที่เกิดขึ้นจะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ซึ่งตามทฤษฎีแล้วการย่อยสลายมูลฝอย 1 ปอนด์จะเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 2.7 ลูกบาศก์ฟุต และก๊าซมีเทน 3.9 ลูกบาศก์ฟุต นอกจากนี้องค์ประกอบของก๊าซยังขึ้นอยู่กับความหนาแน่นในการอัดทับอีกด้วย จากการศึกษาของ สำนักวิจัยความสะอาด

ตารางที่ 2.10. องค์ประกอบของก๊าซต่าง ๆ ที่เกิดจากการย่อยสลายมูลฝอย

ก๊าซองค์ประกอบที่เกิดจากมูลฝอย	ร้อยละ โดยปริมาตร
คาร์บอนไดออกไซด์ CO <sub>2</sub>	20 – 90
มีเทน CH <sub>4</sub>	0 – 65
ไนโตรเจน H <sub>2</sub>	0 – 70
ออกซิเจน O <sub>2</sub>	<1 – 20
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ H <sub>2</sub> S	<1
แอมโมเนีย NH <sub>3</sub>	<1
ไฮโดรเจน H <sub>2</sub>	<1

ที่มา : DeGeare

จากการศึกษาองค์ประกอบมูลฝอยของกรุงเทพฯ ผลการทดลองพบสรุปได้ว่าปริมาณก๊าซที่ได้จากมูลฝอยที่ย่อยสลายได้เร็ว (ใช้มูลฝอยที่มีอายุ 3 เดือนถึง 3 ปี) ได้ปริมาณก๊าซมีเทน 229.2 กรัม/ลบ.ม./วัน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 570 กรัม/ลบ.ม./วัน ในขณะที่ปริมาณก๊าซที่ได้จากมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ช้า (ใช้มูลฝอยที่มีอายุมากกว่า 3 ปี) ได้ปริมาณก๊าซมีเทน 57.6 กรัม/ลบ.ม./วัน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 121.2 กรัม/ลบ.ม./วัน จึงสามารถสรุปข้อมูลผลผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลฝอย และขงระบุข้อมูลเป็นผลการตรวจวัด หรือประเมินทางทฤษฎี ปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้เป็นปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมีเทน ต่อของแข็งระเหยได้ (volatile solid) เมื่อทำการศึกษาการย่อยสลายในหลุมฝังกลบ ระยะเวลาในการศึกษาต่างกัน ได้ผลต่างกันดังแสดงในตารางที่ 2.11.

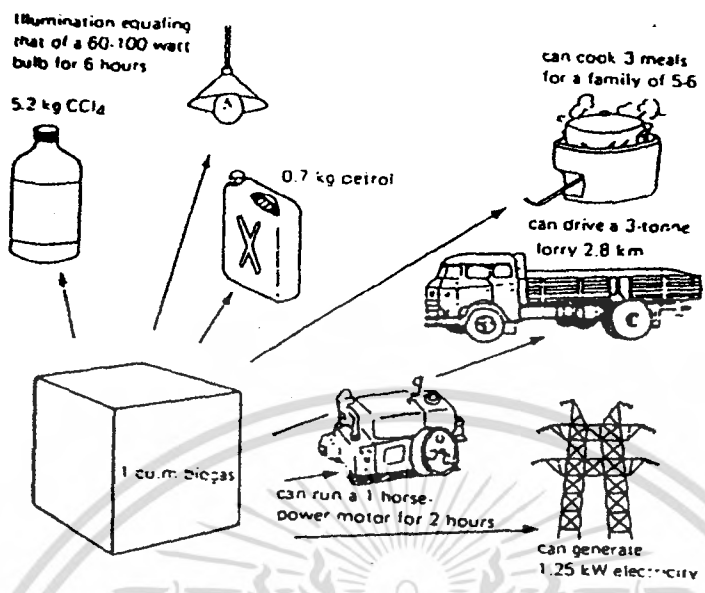
ตารางที่ 2.11. ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการฝังกลบมูลฝอย

ลักษณะของ มูลฝอย	สูตรทางเคมี	อัตราการผลิตก๊าซ CH <sub>4</sub> (g/m <sup>2</sup> /d)	อัตราการผลิตก๊าซ CO <sub>2</sub> (g/m <sup>2</sup> /d)	อายุของมูลฝอย
ย่อยสลายได้เร็ว	C <sub>33.6</sub> H <sub>53.3</sub> O <sub>22</sub> N	229.2	570.0	3เดือนถึง 3 ปี
ย่อยสลายได้ช้า	C <sub>16.7</sub> H <sub>24</sub> O <sub>60</sub> N	57.6	121.2	มากกว่า 3 ปี

ที่มา : Chomsurin

## 2.12. พลังงานจากก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเป็นก๊าซเชื้อเพลิงที่ได้จากการหมักอินทรีย์วัตถุต่างๆ แล้วถูกย่อยสลายโดยกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน (Methanogenic Bacteria) ก๊าซชีวภาพมีลักษณะทางเคมีคือ เป็นก๊าซที่ไม่ละลายน้ำ มีความเสถียร และเบากว่าอากาศ ก๊าซชีวภาพประกอบด้วยก๊าซต่างๆหลายชนิด ได้แก่ ก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งจะมีปริมาณแตกต่างกันไปตามวัตถุดิบที่นำมาผลิต แต่ก๊าซที่สำคัญที่สุดคือก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซที่ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น และไม่มีรส ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ จะได้ก๊าซ 2 ชนิดเป็นส่วนใหญ่คือ ก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 50-70 % ของก๊าซชีวภาพ อีก 30-50 % เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีค่าความร้อนประมาณ 38100 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร หรือสามารถให้ความร้อนประมาณ 13000 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของสารอินทรีย์ที่ถูกทำลายไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและองค์ประกอบของสารที่ถูกย่อยสลายแต่ละชนิด



รูปที่ 2.6. การใช้ก๊าซชีวภาพ

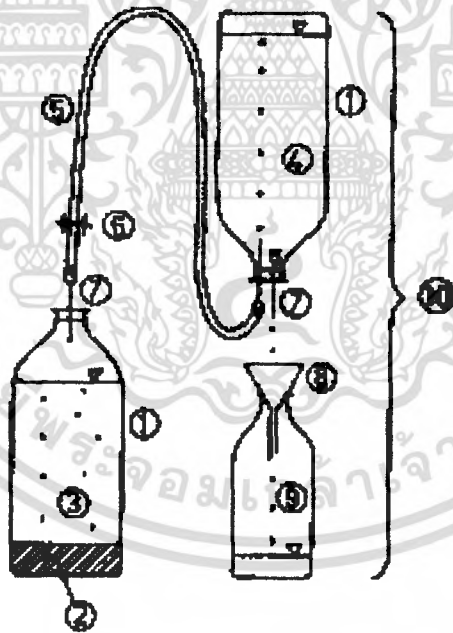
พลังงานจากก๊าซชีวภาพ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซนั้น โดยสรุปเป็นค่าเฉลี่ยว่า ถ้ามีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบอยู่ 64 % ของก๊าซชีวภาพ จะให้พลังงานออกมา 24 เมกะจูลต่อลูกบาศก์เมตร และก๊าซชีวภาพสามารถนำมาใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้แสดงได้ดังรูปที่ 2.6 โดยก๊าซชีวภาพปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร จะให้พลังงานความร้อน 5200-5900 กิโลแคลอรี ซึ่งเพียงพอสำหรับค้มน้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ให้เดือดได้ หรือให้แสงสว่างจากตะเกียงที่ความสว่าง 60-100 วัตต์ ได้นาน 5-6 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังใช้เป็นเชื้อเพลิงเครื่องยนต์ขนาด 1 แรงม้าได้นาน 2 ชั่วโมง ซึ่งเทียบเท่ากับการใช้น้ำมัน 0.6-0.7 กิโลกรัม และยังสามารถปั่นไฟฟ้าได้อีก 1.25 กิโลวัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1. แผนการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากขยะเศษอาหารที่เหลือจากโรงอาหารอาคารเรียน A คณะวิศวกรรมศาสตร์พระจอมเกล้าลาดกระบัง โดยการทดลองจะเลือกทดลองชนิดของขยะเศษอาหารที่มีปริมาณมากที่สุด 5 ชนิด ได้แก่ ข้าว, ผักบด, กะหล่ำปลี, แดงกวา และ ไข่ชนิดละ 3 ชุดการทดลอง และทดลองของขยะเศษอาหารจริงและเชื้อจุลินทรีย์อย่างเดียว อีกชุดละ 3 การทดลอง ( ใช้สำหรับเปรียบเทียบ ) รวมทั้งสิ้น 21 ชุดการทดลอง โดยชุดการทดลองจะเป็นระบบหมักขยะแบบไร้อากาศ ดังรายละเอียดที่แสดงในรูปที่ 3.1. โดยควบคุมวัตถุดิบในการเริ่มต้นระบบในแต่ละชุดให้สภาพแวดล้อมเดียวกัน ได้แก่ การทดลองทำภายในห้องทดลองภาควิชาวิศวกรรมโยธา พระจอมเกล้าลาดกระบัง ทดลองที่อุณหภูมิห้อง ระหว่างวันที่ 18 มกราคม พ.ศ. 2550 ถึงวันที่ 18 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550



รูปที่ 3.1. ระบบหมักขยะระดับห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 42 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากระบบเป็นแบบ Batch Process จึงไม่มีการเพิ่มเติมสารอาหารโคลงไปอีกหลังจากที่ได้เริ่มต้นระบบแล้ว โดยระบบที่ออกแบบนี้จะใช้วัตถุดิบผสมคลุกเคล้าให้เข้ากับเชื้อจุลินทรีย์ แล้วจึงนำไปบรรจุลงในระบบหมัก หลังจากนั้นจึงปิดฝา เพื่อป้องกันอากาศรั่วไหลเข้าสู่ระบบ

### 3.2. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

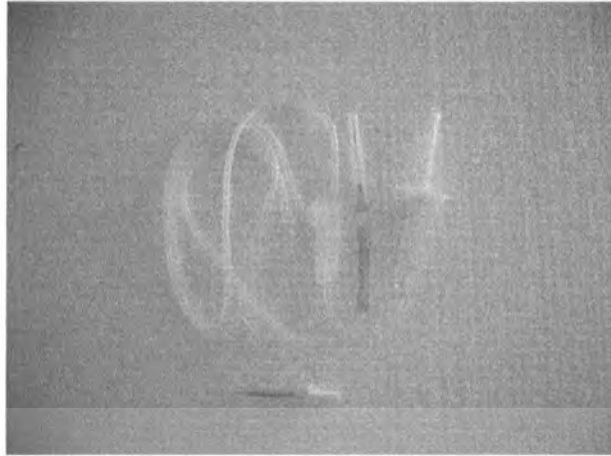
#### 3.2.1. อุปกรณ์ในการศึกษาระดับห้องปฏิบัติการ จำนวน 21 ชุดต่อหนึ่งการทดลอง

ถังหมักในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นแบบระบบการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) โดยใช้ขวดน้ำเกลือแก้วขนาด 1000 มิลลิลิตร พร้อมจุกยางและฝาอลูมิเนียมล็อกแสดงดังรูปที่ 3.2. ระบบลำเลียงก๊าซชีวภาพใช้สายน้ำเกลือเป็นตัวลำเลียงผ่านหลอดแก้วรูปตัวยู (U-tube glass) เพื่อใช้เป็นจุดเก็บก๊าซแล้วนำไปทดสอบหาองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่ปลายสายต่อกับเข็มฉีดยาเพื่อให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นถูกระบายออกจากระบบดังปฏิกรณ์แสดงดังรูปที่ 3.3. ก๊าซชีวภาพที่ถูกระบายออกทั้งหมดจะถูกนำมาแทนที่น้ำในขวดน้ำเกลือขนาด 1,000 มิลลิลิตร ขั้นตอนการทำงานของระบบแสดงในรูปที่ 3.4. รายละเอียดการติดตั้งระบบในการทำการทดลองแสดงในรูปที่ 3.5.

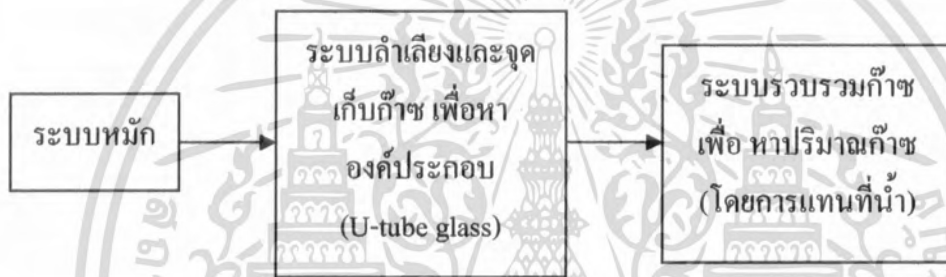


รูปที่ 3.2. ขวดโหลแก้วขนาดความจุ 1000 มิลลิลิตร พร้อมฝาปิดสนิท จำนวน 21 ชุด (ปิดด้วยจุกยางและฝาอลูมิเนียมล็อก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3. สายน้ำเกลือ ระบบเก็บก๊าซ และเข็มฉีดยาเบอร์ 18



รูปที่ 3.4. แผนภาพขั้นตอนการทำงานของระบบปฏิบัติการ



รูปที่ 3.5. การติดตั้งระบบที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2. เชื้อจุลินทรีย์ที่ทำงานในสภาพแอนแอโรบิก

ใช้กากตะกอนจากถังหมักแบบไร้อากาศของระบบผลิตก๊าซมีเทนจากเศษอาหารภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งนำมาปรับสภาพ (Acclimatization) เป็นเวลา 30 วัน ให้สามารถย่อยสลายและใช้ผักผลไม้เป็นอาหารสำหรับการเจริญเติบโตในสภาวะไร้ออกซิเจนได้

### 3.2.3. เครื่องมือวิเคราะห์ชนิดและปริมาณของก๊าซชีวภาพที่ได้จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

ปริมาณก๊าซที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศวัดได้โดยตรงจากกระบวนการแทนที่น้ำ สำหรับการหาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนและก๊าซอื่นๆ ที่เกิดจากการหมักแบบไร้อากาศ จะทำการเก็บตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์ด้วยวิธี Gas Chromatography Analysis โดยเครื่อง Shimadzu Gas Chromatography Model GC-8A ใช้ดีเทคเตอร์แบบ Thermal conductivity Detector (TCD) และใช้คอลัมน์ 80/100 mesh Porapak Q คอลัมน์มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ยาว 1.93 เมตร อุณหภูมิคอลัมน์ 50 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของ Injector 150 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของ Detector 150 องศาเซลเซียส โดยใช้ฮีเลียมเป็น Carrier Gas ที่อัตราการไหล 50 มิลลิลิตร ต่อ นาที

### 3.3. วิธีการที่ใช้ในการทำการวิจัย

#### 3.3.1. การเตรียมขยะเศษอาหารแต่ละชนิด

การทดลองนี้เป็นการนำตัวอย่างการทดลอง (ของสด) ที่เป็นชนิดเดียวกันกับขยะเศษอาหารที่มีปริมาณมากที่สุด 5 ชนิด มาทำให้สุกโดยการต้มให้ได้ตัวอย่างประมาณชนิดละ 1,000 กรัม ทำการปั่นให้ละเอียดด้วยเครื่องบดเพื่อให้มีขนาดสม่ำเสมอและเพื่อให้การทำปฏิกิริยาโดย จุลินทรีย์ง่ายและทั่วถึง เนื่องจากองค์ประกอบของขยะเศษอาหารแต่ละชนิดมีน้ำเป็นองค์ประกอบเป็นส่วนใหญ่ทำให้การปั่นง่ายและทำได้อย่างรวดเร็ว นำตัวอย่างมาหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ โดยแบ่งส่วนของขยะเศษอาหารแต่ละชนิด ที่ทำการบดละเอียดแล้วนั้นมาทำการทดสอบทั้งหมดปริมาณ 600 กรัม แล้วจึงนำขยะเศษอาหารแต่ละชนิดอีกส่วนมาดำเนินการทดลองในถังปฏิกรณ์

ตารางที่ 3.1. ขยะเศษอาหารแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลองจำนวน 5 ชนิด

ลำดับ	ชนิด
1	ข้าว
2	ผักนึ่ง
3	กะหล่ำปลี
4	แตงกวา
5	ไข่

### 3.4. การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของขยะเศษอาหารแต่ละชนิด

ตารางที่ 3.2. สรุปการวิเคราะห์หาค่าประกอบของขยะเศษอาหาร ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ

ค่าพารามิเตอร์ทางเคมี	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์	ความถี่ของการวิเคราะห์
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids)	เผาที่อุณหภูมิ 105°C	วัดเมื่อเริ่มต้นการทดลอง
ปริมาณของแข็งระเหย (Total Volatile Solids)	ทำละลายในกรด	
ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	pH – meter	
ค่าซีไอดี	pc multidirect	
ปริมาณไนโตรเจน (N)	pc multidirect	
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน	แทนที่น้ำ	วัดทุกวัน
วัดค่าองค์ประกอบของก๊าซ	Gas Chromatography Analysis	

#### 3.4.1. การหมักขยะเศษอาหารแบบไร้อากาศ

เริ่มต้นระบบ โดยการเติมตะกอนจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้วลงไปในระบบหมักก๊าซประมาณ 100 กรัม หลังจากนั้นเติมขยะเศษอาหารที่เตรียมไว้ชนิดละ 300 กรัม คิดเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 46 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัดส่วนจุลินทรีย์ต่อขยะเศษอาหารเป็น 1 ต่อ 3 ไปผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน เชื้อจุลินทรีย์ที่ผ่านการปรับสภาพแล้ว การใช้กากตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณมากและปรับสภาพ(Acclimatization)เป็นเวลา 30 วัน ให้สามารถย่อยสลายและขยะเศษอาหารเป็นอาหารสำหรับการเจริญเติบโตในสภาวะไร้ออกซิเจนได้เป็นเชื้อเริ่มต้น จะทำให้การเริ่มต้นดำเนินไปได้อย่างสมบูรณ์ รวดเร็ว และง่ายขึ้น ซึ่งภายใต้สภาวะที่เหมาะสมระบบจะเกิดแบบสมบูรณ์ได้ ภายในระยะเวลาไม่เกิน 30 วัน แต่ถ้าจุลินทรีย์เริ่มต้นมีปริมาณน้อยเกินไปไม่เพียงพอการเริ่มต้นระบบอาจใช้เวลามากกว่า 180 วัน และจากการทดลองครั้งนี้เป็นระบบปิด จึงทำให้สามารถวัดค่าพารามิเตอร์หรือคุณลักษณะต่างๆของขยะเศษอาหารได้เพียงก่อนการทดลองเท่านั้น

ภายหลังจากการบรรจุขยะเศษอาหารในระบบรวมเป็นปริมาตร 400 กรัมจะทำให้ระบบเหลือพื้นที่ว่างภายในขวดแก้ว ทำการไล่อากาศโดยการเป่าก๊าซไนโตรเจน 99.99 เปอร์เซ็นต์ทุกขวดเป็นเวลาขวดละ 1 นาทีเพื่อให้ระบบเป็นระบบไร้อากาศ ปิดฝาขวดยางและล็อกด้วยฝาจุกออลูมิเนียมอีกครั้งเพื่อให้แน่ใจว่าไม่มีอากาศเข้าไปในระบบได้

### 3.4.2. การวัดปริมาณก๊าซ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายขยะเศษอาหาร สามารถวัดได้โดยอาศัยหลักการแทนที่น้ำ (Fluid Displacement) หน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อวัน คิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันภายใต้สภาวะการทดลอง (room condition อุณหภูมิ 20 ถึง 30 องศาเซลเซียส ความดัน 1 บรรยากาศ) จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล น้ำที่อยู่ในขวดจะถูกแทนที่ด้วยก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายผักและผลไม้ ทำให้น้ำไหลออกจากรูที่ปากขวด ปริมาตรของก๊าซที่ถูกเก็บอยู่ในขวดจะมีค่าเท่ากับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด ทำการวัดปริมาณก๊าซจากการแทนที่น้ำในขวดด้วยการชั่งน้ำหนักเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แน่นอน และนอกจากนี้น้ำที่ใช้ในกระบวนการแทนที่น้ำจะมีการเติมกรดซัลฟูริกเจือจางเพื่อป้องกันการละลายของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยทำการเก็บข้อมูลในห้องทดลองทุกวัน และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas Chromatography เพื่อหาองค์ประกอบของก๊าซต่อไป หลังจากนั้นจะพิจารณาเมื่อทำการดำเนินระบบและทำการเก็บวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจนพบว่าปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพน้อยลงมากจนบางชนิดไม่มีการผลิตก๊าซชีวภาพเหลืออยู่เลยที่เวลาประมาณ 30 วันจึงนำข้อมูลที่ได้อามาหาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในขยะเศษอาหารแต่ละชนิด

### 3.4.3. การทดสอบหาองค์ประกอบของก๊าซ

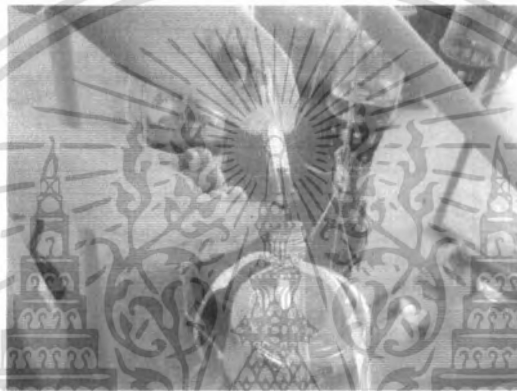
การวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจะทำการเก็บตัวอย่างทุกวัน โดยการดูดเก็บก๊าซชีวภาพจากจุดเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพหลอดรูปตัวยูซึ่งจะมีจุกยางที่มีคุณสมบัติปิดตัวเองได้สนิทครอบอยู่ โดยใช้เข็มสองปลายที่ติดกับตัวยึด (holder) ซึ่งมีลักษณะกลวงคล้ายกับกระบอกสูบ แสดงดังรูปที่ 3.6. และรูปที่ 3.7. แสดงหลอดรูปตัวยูสำหรับเก็บก๊าซ ส่วนรูปที่ 3.8 แสดงการเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ โดยการนำหลอดสุญญากาศ (venoject tube) สอดเข้าไปในส่วนกลวงนี้ ปลายเข็มด้านหนึ่งแทงทะลุเข้าไปในจุกยางที่ครอบหลอดรูปตัวยู ส่วนปลายเข็มอีกด้านหนึ่งแทงเข้าไปในจุกยางของหลอดสุญญากาศ ก๊าซชีวภาพในระบบเก็บก๊าซชีวภาพจะเข้ามาในหลอดสุญญากาศ โดยอาศัยแรงดูด (เนื่องจากแรงดันต่ำกว่า) จากนั้นดึงหลอดสุญญากาศออกจากเข็มสองปลาย แล้วนำตัวอย่างก๊าซชีวภาพ ที่ได้นั้นไปวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทน โดยใช้เครื่องก๊าซโครมาโตกราฟฟี ซึ่งจะวิเคราะห์ก๊าซออกมาในรูปก๊าซมีเทน ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซอื่นๆ ในที่นี้ไม่ได้หมายถึงออกซิเจนเพียงชนิดเดียว แต่รวมถึงก๊าซไนโตรเจน ก๊าซไฮโดรเจน ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และแอมโมเนีย ค่าความถี่ของการวิเคราะห์ตัวอย่างแสดงได้ดังตารางที่ 3.3 การหมักแบบไร้อากาศของขยะเศษอาหารกับ จุลินทรีย์ในสภาพไร้อากาศที่มีอยู่ภาคตะกอนจะย่อยสลายสารอินทรีย์เหล่านั้น ผลที่ได้คือก๊าซต่างๆ และพลังงาน ก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายในภาวะที่ไม่มีอากาศ ส่วนใหญ่ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) มีเทน ( $CH_4$ )



รูปที่ 3.6. ไชริงค์และหลอดเพื่อใช้ในการเก็บก๊าซ



รูปที่ 3.7. หลอดรูปถ้วยสำหรับเก็บก๊าซ



รูปที่ 3.8. การเก็บตัวอย่างก๊าซชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4 ผลการทดลอง

### 4.1. ผลการสำรวจหาปริมาณขยะเศษอาหารที่มากที่สุด 5 ชนิด จากโรงอาหารวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

1. ข้าว
2. กะหล่ำปลี
3. แดงกวา
4. กระจุกไก่
5. เศษไข่
6. ก้างปลา
7. ผักบุ้ง
8. อื่นๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 50 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

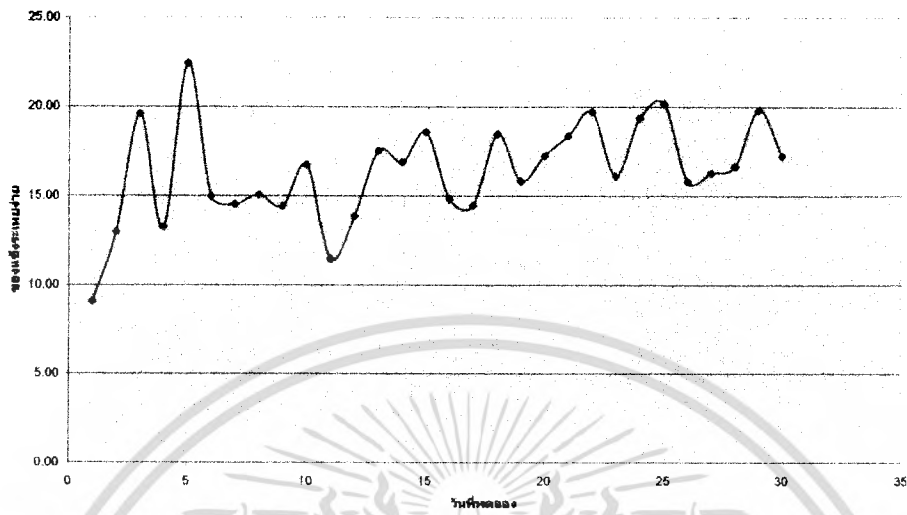
#### 4.2. ผลการทดสอบหาค่าของเบี่ยงระเหยง่าย (VRS) ของแข็งแขวนลอย(TTDS)ของแข็งทั้งหมด (TS)

##### 4.2.1. ผลการทดสอบหาค่าของเบี่ยงระเหยง่าย (VRS)

ตารางที่ 4.1. แสดงผลการทดสอบหาค่าของเบี่ยงระเหยง่าย (VRS) กับวันที่ทำการทดลอง

วันที่ทำการทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ของแข็งระเหยง่าย (VS)	9.08	12.98	19.61	13.25	22.46	14.99	14.54	15.06	14.43	16.75	11.45	13.87	17.54	16.89	18.59
วันที่ทำการทดลอง	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ของแข็งระเหยง่าย (VS)	14.84	14.47	18.49	15.83	17.28	18.39	19.72	16.11	19.37	20.16	15.82	16.29	16.66	19.83	17.25

ของแข็งระเหยง่าย

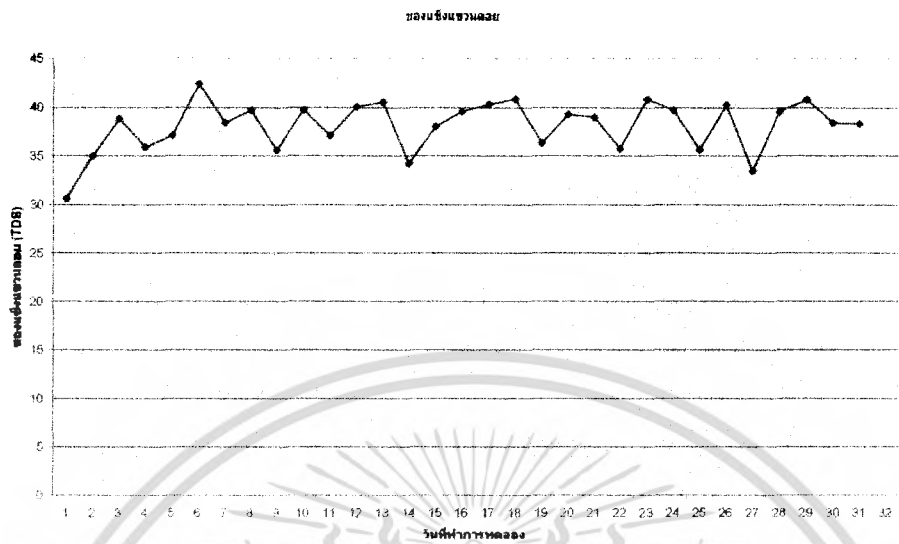


รูปที่ 4.1. แสดงผลการทดสอบค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) กับวันที่ทดลอง

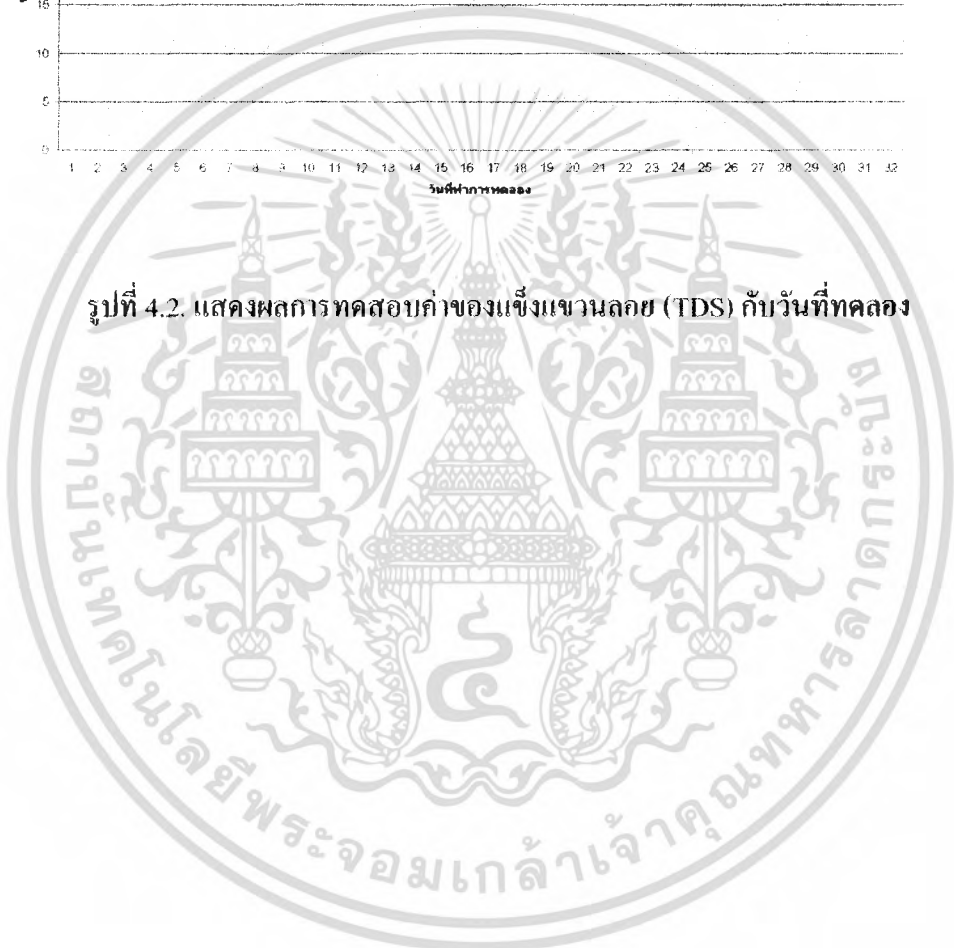
#### 4.2.2. ผลการทดสอบค่าของแข็งแขวนลอย (TDS)

ตารางที่ 4.2. ผลการทดสอบค่าของแข็งแขวนลอย (TDS) กับวันที่ทำการทดลอง

วันที่ทำการทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ของแข็งแขวนลอย (TDS)	30.61	35.01	38.85	35.94	37.14	42.43	38.43	39.73	35.61	39.79	37.13	40.09	40.56	34.23	38.06
วันที่ทำการทดลองของแข็งแขวนลอย (TDS)	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	39.61	40.31	40.88	36.35	39.29	39.01	35.77	40.85	39.73	35.65	40.29	33.49	39.61	40.81	38.42



รูปที่ 4.2. แสดงผลการทดสอบค่าของแข็งแขวนลอย (TDS) กับวันที่ทดลอง

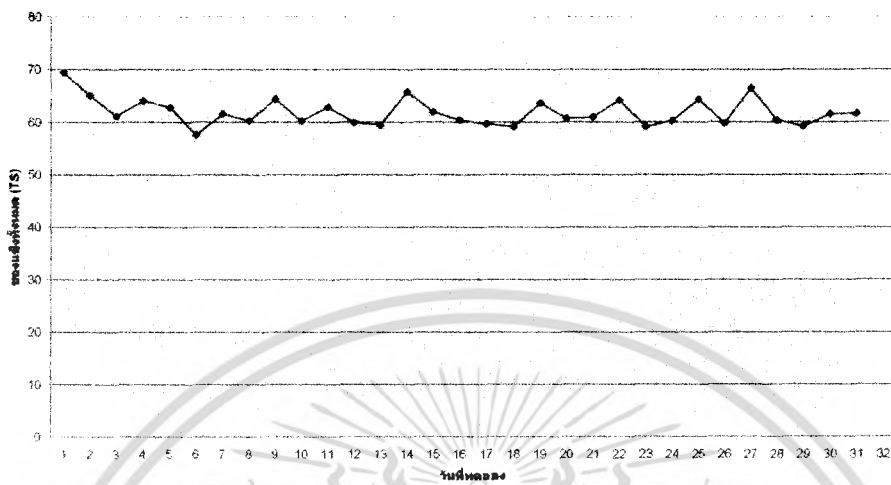


#### 4.2.3. ผลการทดสอบหาค่าของแข็งทั้งหมด (TS)

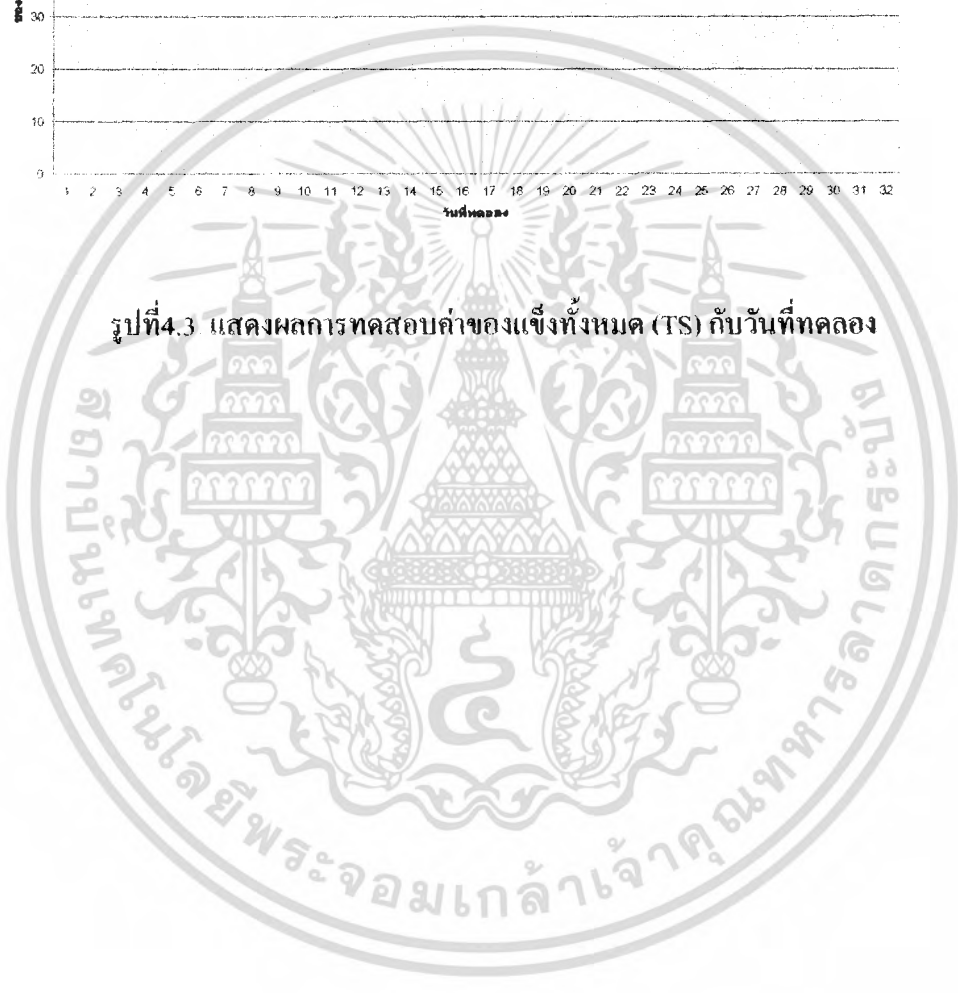
ตารางที่ 4.3. ผลการทดสอบหาค่าของแข็งทั้งหมด (TS) กับวันที่ทำการทดลอง

วันที่ทำการทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ของแข็งทั้งหมด (TS)	69.39	64.99	61.15	64.06	62.86	57.57	61.57	60.27	64.39	60.21	62.87	59.91	59.44	65.77	61.94
วันที่ทำการทดลอง	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ของแข็งทั้งหมด (TS)	60.39	59.69	59.12	63.65	60.71	60.99	64.23	59.15	60.27	64.35	59.71	66.51	60.39	59.19	61.58

ของแข็งทั้งหมด



รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบค่าของแข็งทั้งหมด (TS) กับวันที่ทดลอง



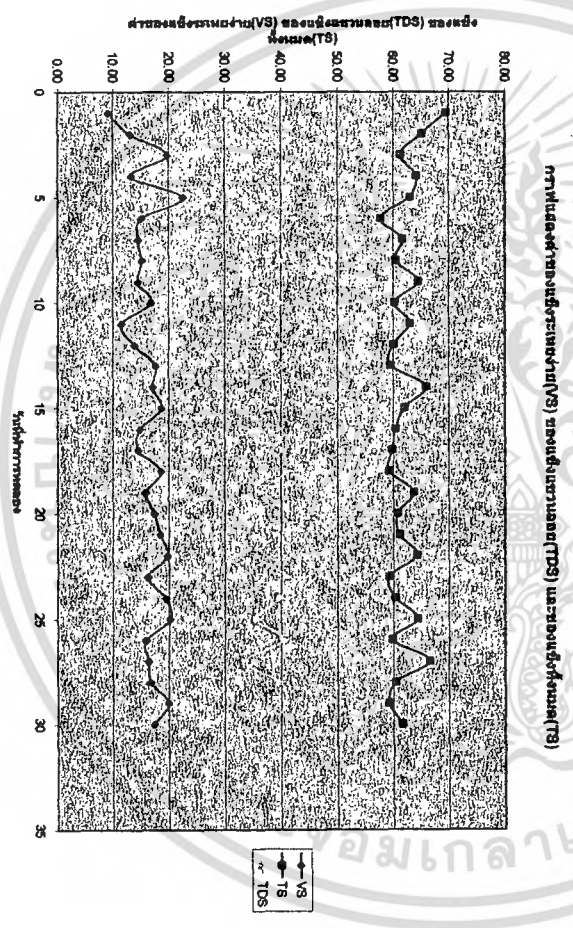
#### 4.2.4.ผลการเปรียบเทียบค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (TDS) ของแข็งทั้งหมด (TS)

ตารางที่ 4.4. ผลการทดสอบหาค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (TDS) ของแข็ง (TS) กับวันที่ทำการทดลอง

วันที่ทำการทดลอง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
ของแข็งระเหยง่าย (VS)	9.08	12.98	19.61	13.25	22.46	14.99	14.54	15.06	14.43	16.75	11.45	13.87	17.54	16.89	18.59
ของแข็งแขวนลอย (TDS)	30.61	35.01	38.85	35.94	37.14	42.43	38.43	39.73	35.61	39.79	37.13	40.09	40.56	34.23	38.06
ของแข็งทั้งหมด (TS)	69.39	64.99	61.15	64.06	62.86	57.57	61.57	60.27	64.39	60.21	62.87	59.91	59.44	65.77	61.94
วันที่ทำการทดลอง	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
ของแข็งระเหยง่าย (VS)	14.84	14.47	18.49	15.83	17.28	18.39	19.72	16.11	19.37	20.16	15.82	16.29	16.66	19.83	17.25
ของแข็งแขวนลอย (TDS)	39.61	40.31	40.88	36.35	39.29	39.01	35.77	40.85	39.73	35.65	40.29	33.49	39.61	40.81	38.42
ของแข็งทั้งหมด (TS)	60.39	59.69	59.12	63.65	60.71	60.99	64.23	59.15	60.27	64.35	59.71	66.51	60.39	59.19	61.58

ตารางที่ 4.5. แสดงค่าสถิติ ของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (TDS) ของแข็งทั้งหมด (TS)

ของแข็งระเหยง่าย (VS)			ของแข็งแขวนลอย(TDS)			ของแข็งทั้งหมด(TS)		
เฉลี่ย	SD	ช่วง (Range)	เฉลี่ย	SD	ช่วง (Range)	เฉลี่ย	SD	ช่วง (Range)
16.32	± 2.83	13.49 ถึง 19.15	61.87	± 2.62	59.25 ถึง 64.49	38.13	± 2.62	35.51 ถึง 40.75



รูปที่ 4.4. แสดงผลการทดสอบค่าของแข็งระเหยง่าย (VS) ของแข็งแขวนลอย (TDS) ของแข็งทั้งหมด (TS) กับวันที่ทดลอง

### 4.3. คุณสมบัติทางเคมีของขยะอาหาร

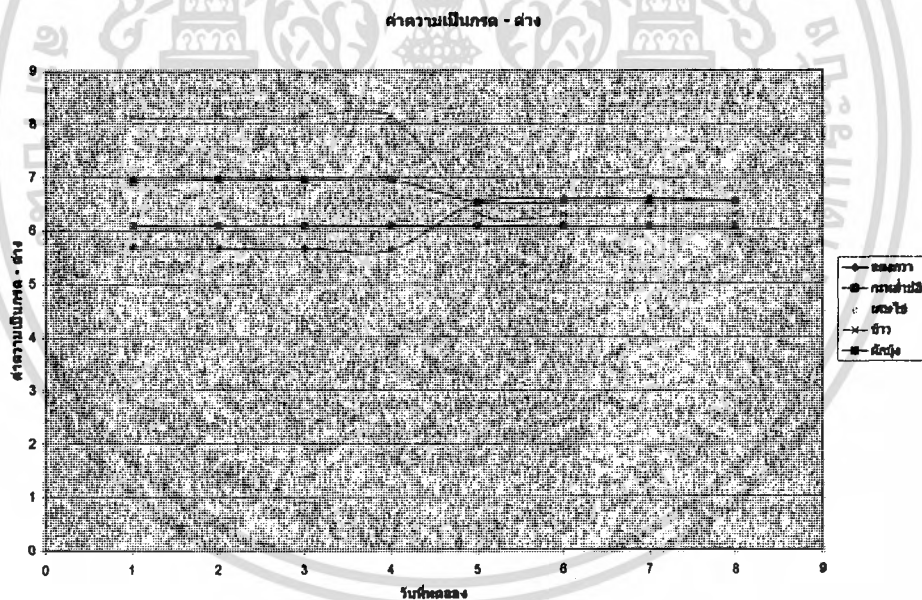
ตารางที่ 4.6. คุณสมบัติทางเคมีของขยะอาหาร

ลำดับ	ชนิดผัก	ความเป็นกรดต่าง				ซีโอติ (มิลลิกรัมต่อลิตร)				ไนโตรเจน (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
		เฉลี่ย	SD	ช่วง (Range)	เฉลี่ย	SD	ช่วง (Range)	เฉลี่ย	SD	ช่วง (Range)			
1	แตงกวา	6.11	± 0.49	5.62 - 6.60	44100	± 3567.91	40532 - 47668	465	± 21.21	444 - 486			
2	กะหล่ำปลี	6.73	± 0.22	6.51 - 6.95	43400	± 87423.00	34657 - 52143	2115	± 318.20	1797 - 2433			
3	เศษไข่	8.21	± 0.08	8.13 - 8.29	300000	± 43588.99	256411 - 343589	900000	± 1421.56	898578 - 901422			
4	ข้าว	7.22	± 0.98	6.24 - 8.20	120533	± 19921.18	100612 - 140454	1120	± 42.43	1078 - 1162			
5	ผักนึ่ง	6.08	± 0.01	6.07 - 6.09	20700	± 2253.89	18446 - 22954	1330	± 14.14	1316 - 1344			

### 4.3.1. ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง

ตารางที่ 4.7. ผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)

	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ครั้งที่ 6	ครั้งที่ 7	ครั้งที่ 8	ค่าเฉลี่ย
แตงกวา	5.68	5.66	5.66	5.63	6.52	6.59	6.6	6.55	6.11
กะหล่ำปลี	6.93	6.94	6.94	6.94	6.52	6.53	6.53	6.53	6.73
เศษไข่	8.12	8.14	8.14	8.15	8.27	8.26	8.3	8.31	8.21
ข้าว	8.12	8.14	8.14	8.15	6.34	6.3	6.3	6.3	7.22
ผักบุ้ง	6.08	6.08	6.08	6.08	6.07	6.08	6.08	6.09	6.08



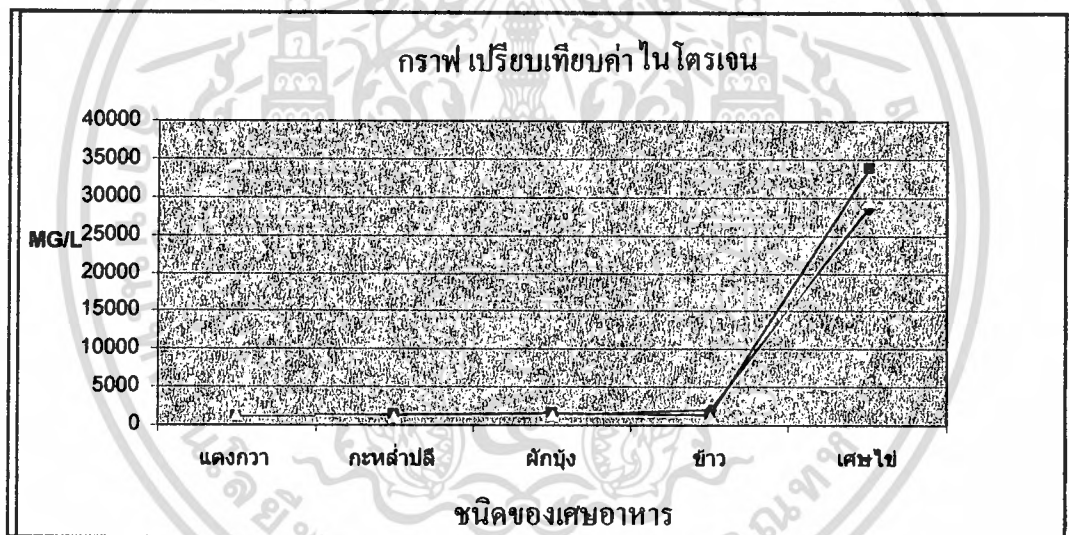
รูปที่ 4.5. แสดงผลการทดสอบค่าความเป็นกรด-ด่าง กับ ชนิดของเศษอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.2. ผลการทดสอบค่าไนโตรเจน

ตารางที่ 4.8. ผลการทดสอบค่าไนโตรเจน

ชนิด	ปริมาณไนโตรเจน ( มิลลิกรัมต่อลิตร )				
	แดงกวา	กะหล่ำปลี	ผักบุ้ง	ข้าว	เศษไข่
ทดสอบครั้งที่ 1	1250	1310	1310	2170	28500
ทดสอบครั้งที่ 2	1180	1300	1670	1440	33750
ทดสอบครั้งที่ 3	1380	1050	1480	1240	29500
ค่าเฉลี่ย	1270.00	1220.00	1486.67	1616.67	30583.33



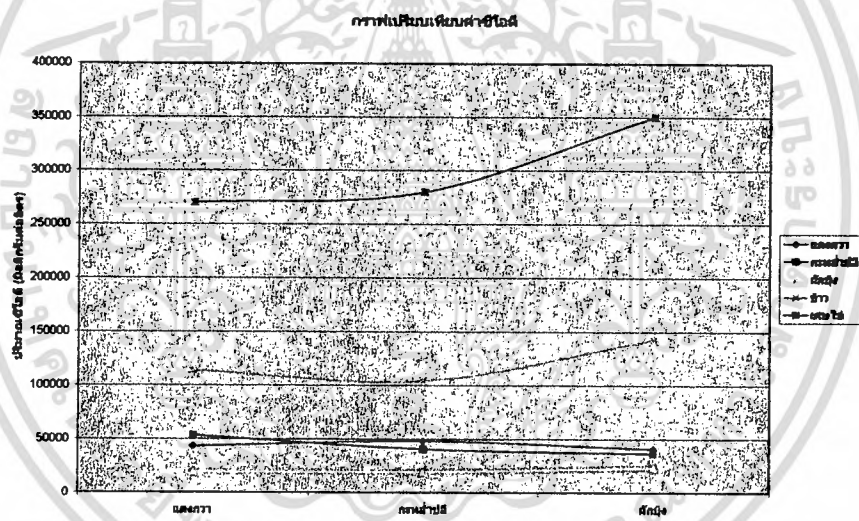
รูปที่ 4.6. แสดงผลการทดสอบค่าไนโตรเจน กับ ชนิดของเศษอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.3. ผลการทดสอบค่าCOD

ตารางที่ 4.9. ผลการทดสอบค่าCOD

ชนิด	ปริมาณซีไอดี (มิลลิกรัมต่อลิตร)				
	แตงกวา	กะหล่ำปลี	ผักบุ้ง	ข้าว	เศษไข่
ทดสอบครั้งที่ 1	43300	53200	19300	114400	270000
ทดสอบครั้งที่ 2	48000	40600	19500	104400	280000
ทดสอบครั้งที่ 3	41000	36400	23300	142800	350000
เฉลี่ย	44100	43400	20700	120533.3	300000



รูปที่ 4.7. แสดงผลการทดสอบค่าซีไอดี กับ ชนิดของเศษอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4. ผลการทดสอบหาค่าปริมาณก๊าซ

ตารางที่ 4.10. ผลการทดสอบหาปริมาณก๊าซของ ข้าว แดงกวา และกะหล่ำปลี

วัน	ข้าว(CC)			แดงกวา(CC)			กะหล่ำปลี(CC)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	5	450	187	1045	910	995	730	630	600
2	5	140	615	205	205	110	135	115	190
3	0	60	80	60	100	170	80	20	0
4	0	0	99	0	50	0	20	10	30
5	0	95	194	60	90	45	51	40	25
6	0	90	160	75	0	40	82	55	35
7	0	4	0	44	98	36	58	56	50
8	0	0	80	74	82	2	20	35	70
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	36	0	0	0	0	0	19	0
11	0	0	86	0	17	0	0	40	0
12	234	13	27	0	0	0	20	0	42
13	0	28	0	10	18	96	60	44	0
14	0	0	0	0	14	0	0	48	0
15	1	18	0	0	0	50	6	2	0
16	0	14	0	0	1086	0	0	0	0
17	0	31	0	0	0	0	0	0	0
18	0	62	150	66	78	0	50	80	70
19	0	30	0	200	20	0	13	0	0
20	0	18	0	170	28	0	15	0	0
21	0	40	0	72	42	0	0	0	0
22	0	14	0	0	0	0	0	0	0
23	0	20	0	0	12	0	0	0	0
24	0	36	0	0	0	0	0	0	0
25	0	18	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 63 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน	ข้าว (cc)			แตงกวา(CC)			กะหล่ำปลี(CC)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
27	0	0	0	340	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	10	0	0	16	0	0	0	0
30	0	2	6	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.11. ผลการทดสอบหาปริมาณก๊าซของผักบุง ไข่และเศษอาหาร

วัน	ผักบุง(CC)			ไข่(CC)			เศษอาหาร(CC)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	380	130	280	315	205	295	485	320	575
2	215	140	125	705	710	565	199	140	100
3	160	260	200	500	470	440	280	190	200
4	40	130	80	400	340	420	170	200	330
5	60	65	55	112	248	200	75	85	230
6	15	120	155	175	1825	280	70	65	312
7	148	52	96	90	12	305	98	66	60
8	124	52	94	166	50	312	44	31	46
9	0	77	136	196	68	107	0	138	60
10	70	61	98	26	34	14	0	46	0
11	83	77	0	122	71	116	0	28	0
12	133	81	0	98	97	89	83	56	0
13	202	92	4	55	138	134	2	82	2
14	56	80	0	12	40	78	0	82	0
15	40	8	0	15	80	92	84	84	0
16	1	0	0	22	62	82	0	150	0
17	30	0	0	24	24	84	0	171	0
18	0	0	74	140	174	198	188	158	84
19	120	30	10	30	25	0	6	100	25
20	100	10	12	20	29	19	10	166	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ 64 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัน	ผักบุ้ง(CC)			ไข่(CC)			เศษอาหาร(CC)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
21	216	13	0	94	70	30	30	27	0
22	148	0	0	96	19	18	0	0	0
23	164	0	0	0	28	0	0	0	0
24	36	0	0	32	4	0	55	36	0
25	152	0	0	94	17	18	0	18	0
27	310	0	0	94	0	0	0	0	0
28	124	0	0	0	0	0	0	0	0
29	42	22	0	32	6	0	8	0	0
30	0	0	0	12	0	0	4	6	0

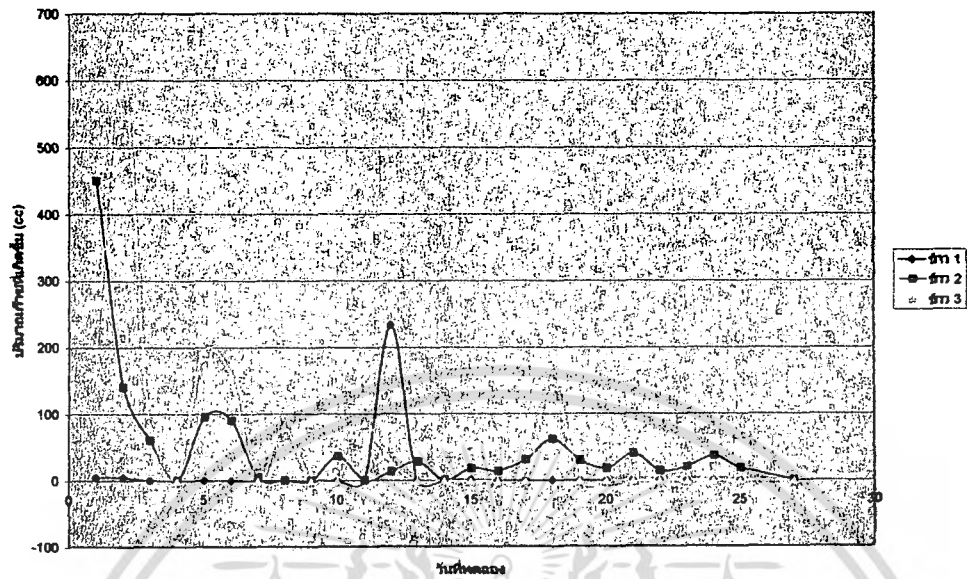
ตารางที่ 4.12. ผลการทดสอบหาปริมาณก๊าซของเชื้อจุลินทรีย์

วัน	เชื้อจุลินทรีย์(CC)		
	1	2	3
1	165	155	202
2	50	56	125
3	100	100	120
4	20	20	30
5	135	80	110
6	60	75	75
7	88	66	120
8	45	80	128
9	56	77	77
10	40	70	12
11	0	0	0
12	56	0	26
13	66	104	38
14	0	0	10

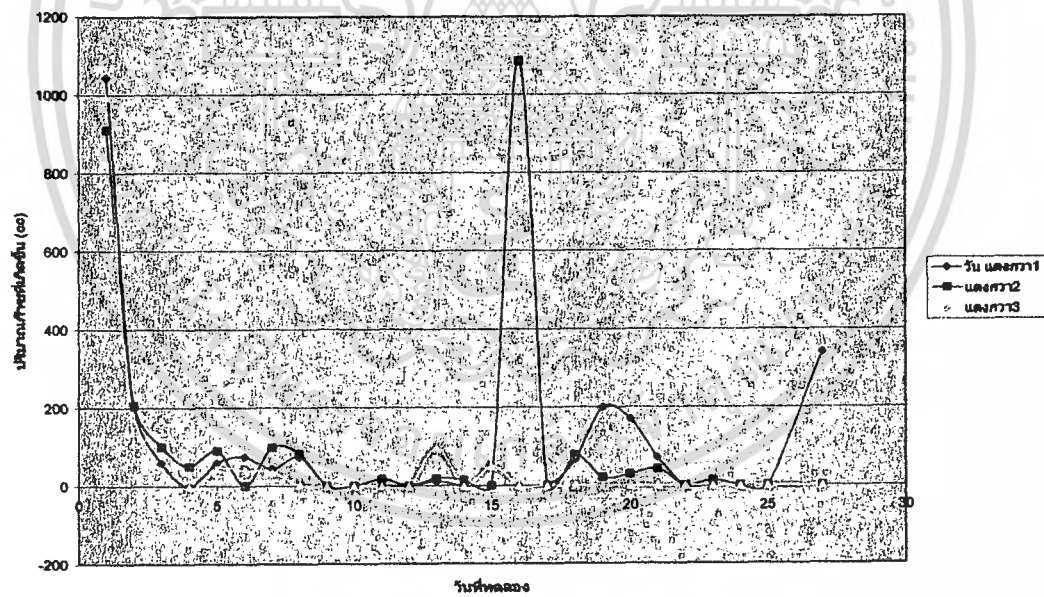
วัน	เชื้อจุลินทรีย์(CC)		
	1	2	3
15	60	14	44
16	80	0	13
17	0	0	39
18	0	0	58
19	10	18	13
20	12	24	13
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	0
24	34	4	0
25	0	0	0
27	0	0	0
28	0	0	0
29	0	4	22
30	0	10	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 65 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : มีเครื่องหมาย \* แสดงว่าการทดสอบไม่ได้มาตรฐาน

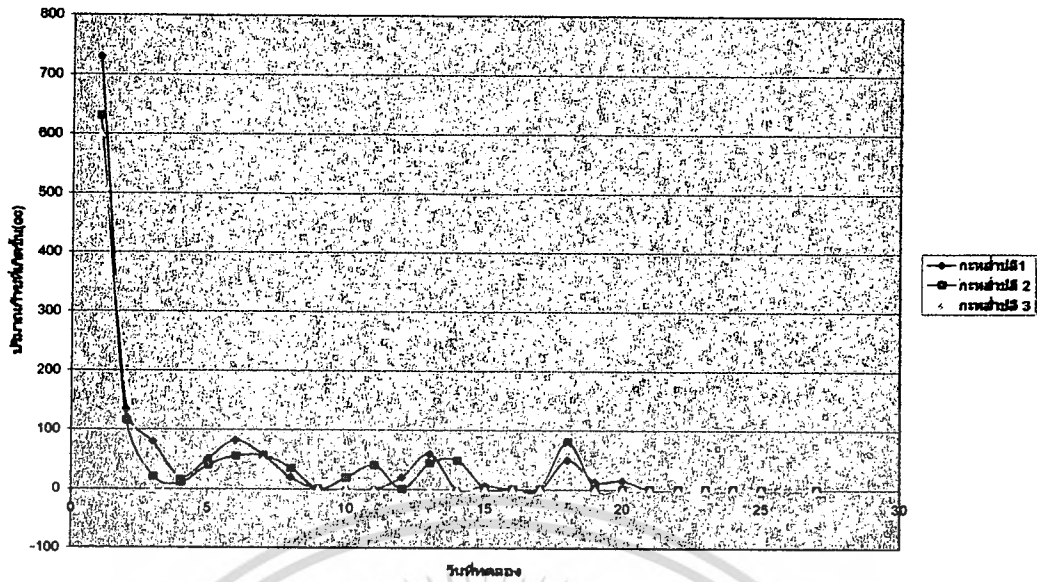


รูปที่ 4.8. แสดงการเกิดก๊าซของข้าวกับจำนวนวันในการทดลอง

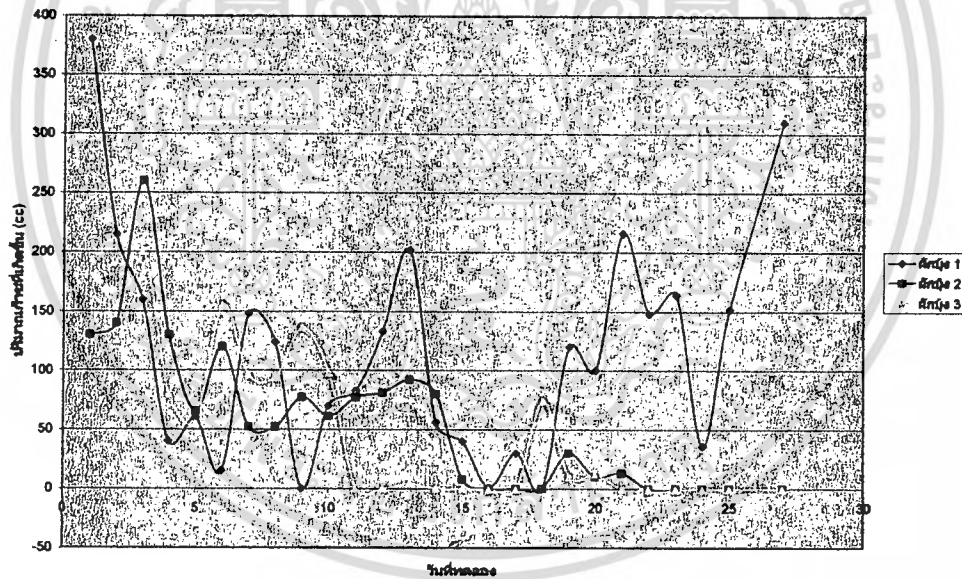


รูปที่ 4.9. แสดงการเกิดก๊าซของแดงกาวกับจำนวนวันในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

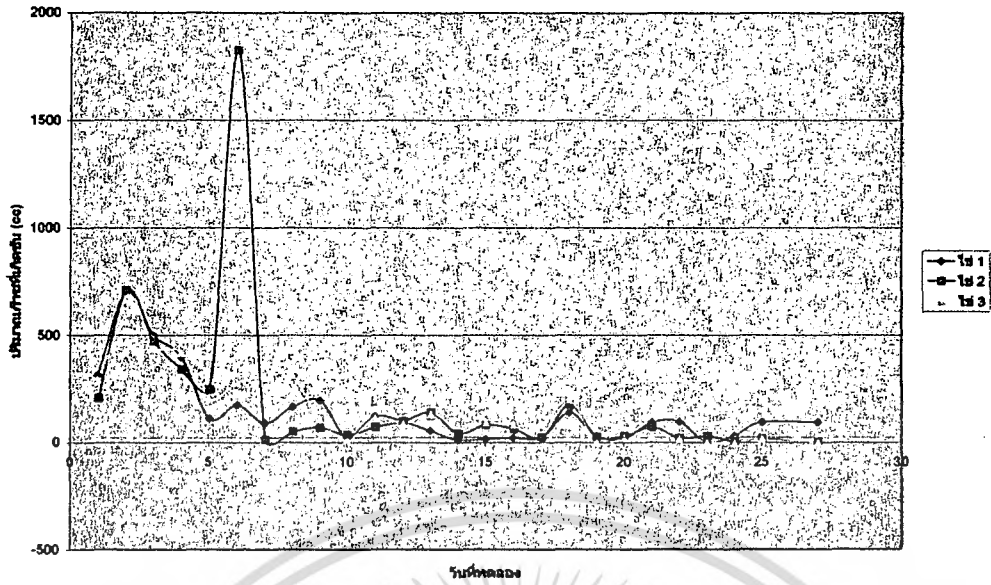


รูปที่ 4.10. แสดงการเกิดก้านของกะหล่ำปลีกับจำนวนวันในการทดลอง

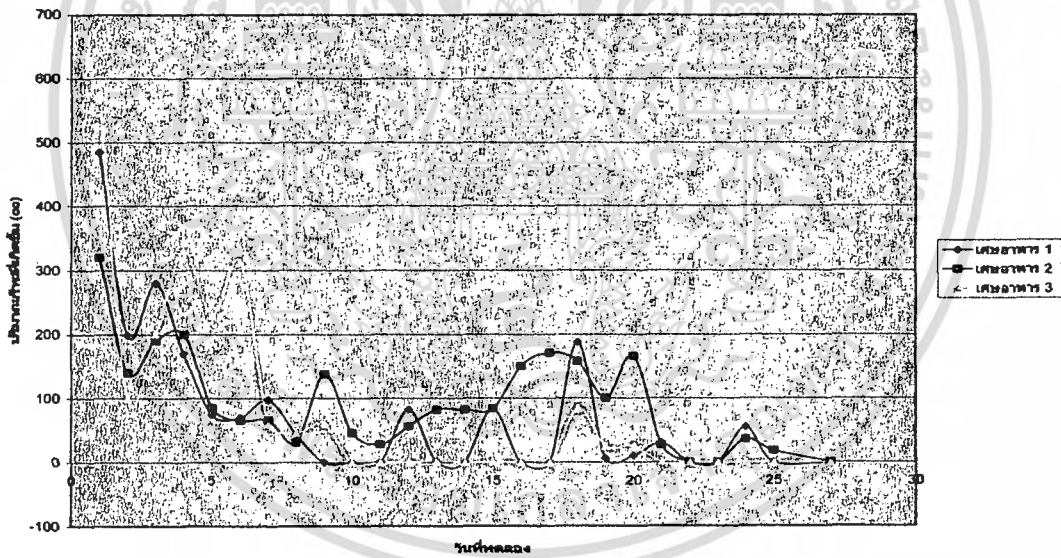


รูปที่ 4.11. แสดงการเกิดก้านของผักบุ้งกับจำนวนวันในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

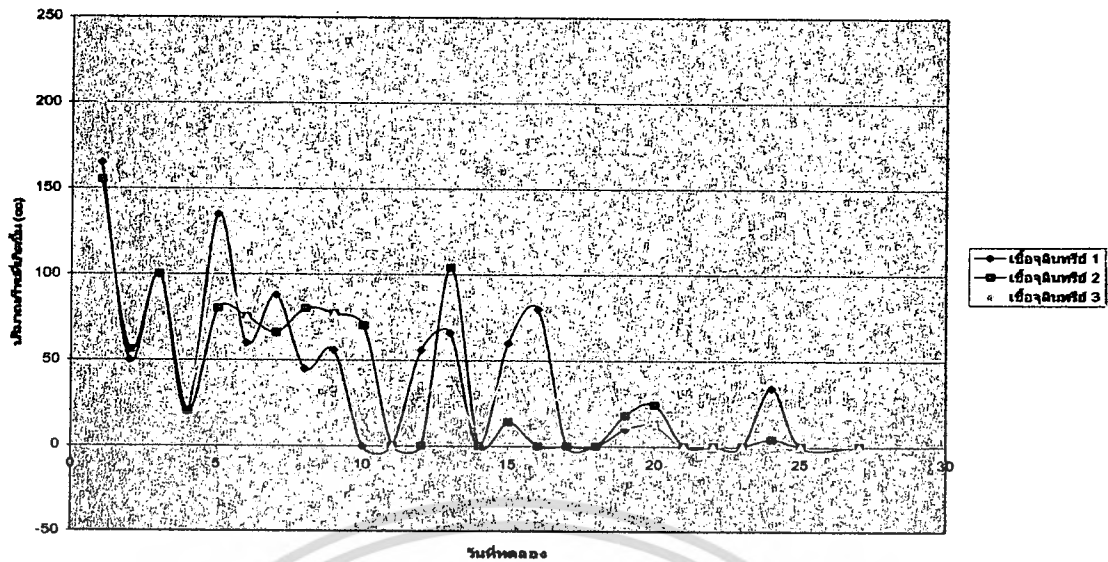


รูปที่ 4.12. แสดงการเกิดก๊าชของไข่กับจำนวนวันในการทดลอง



รูปที่ 4.13. แสดงการเกิดก๊าชของเศษอาหารกับจำนวนวันในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



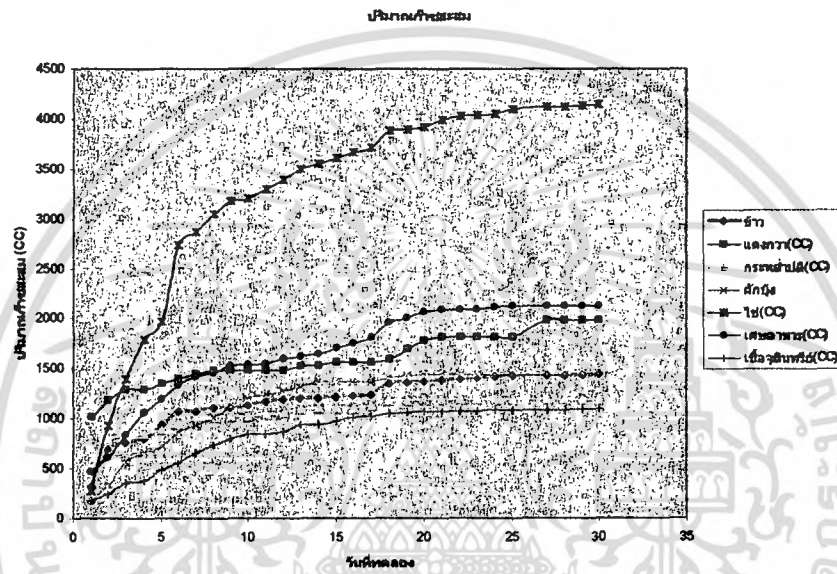
รูปที่ 4.14. แสดงการเกิดก๊าซของเชื้อจุลินทรีย์กับจำนวนวันในการทดลอง

#### 4.5. ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ (Total gas production)

ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่ผลิตได้ทั้งหมดของขยะเศษอาหารที่มีปริมาณมากที่สุด 5 ชนิด ขยะเศษอาหารรวม และ เชื้อจุลินทรีย์ โดยพิจารณาแยกแต่ละชนิดที่เวลา 7, 17, 30 วัน ดังรายละเอียดในตารางที่ 4.12 และ รูปที่ 4.15. มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 1,409.9 ถึง 1920.4 มิลลิลิตร ปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพที่ทำการทดลองในช่วง 1 ถึง 7 วัน จะมีค่าสูง และจะลดลงเมื่อทำการศึกษาต่อ ในช่วง 8 ถึง 17 วัน จนลดน้อยลงมาก ในช่วงเวลาที่ศึกษาเป็นเวลา 18 ถึง 30 วัน ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณขยะเศษอาหารในขวดหมักมีปริมาณน้อยลงเพราะถูกย่อยเมื่อเวลาผ่านไป หรือในขยะเศษอาหารบางชนิดอาจไม่เพียงพอในการที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้ในการดำรงชีวิตและเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นที่อาจมีผลทำให้ไปยับยั้ง หรือหยุดการเจริญเติบโต หรือทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ต้องกระทำได้ช้าลง เช่น ลิกนิน และเซลลูโลสที่เป็นสารย่อยสลายได้ยากต้องใช้เวลาในการย่อยสลาย อย่างไรก็ตามการเก็บข้อมูลปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม โดยตัวอย่างการทดลองทั้ง 7 ชนิดสามารถจำแนกเป็นกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูง และปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมต่ำ โดยให้กลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมที่ 30 วัน มีค่ามากกว่า 1,500 ถึง มากกว่า 3,000 มิลลิลิตรตลอดการศึกษา 30 วัน หรือคิดเป็นกลุ่มที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม มากกว่า 50 ถึง มากกว่า 100 มิลลิลิตรต่อวัน เป็นกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูง และกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมที่ 30 วัน มีเท่ากับ 0 ถึง 1500 มิลลิลิตรตลอดการศึกษา 30 วัน หรือคิดเป็นกลุ่มที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเท่ากับ 0 ถึง 50 มิลลิลิตรต่อวัน เป็นกลุ่มที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมต่ำ กลุ่มของตัวอย่าง

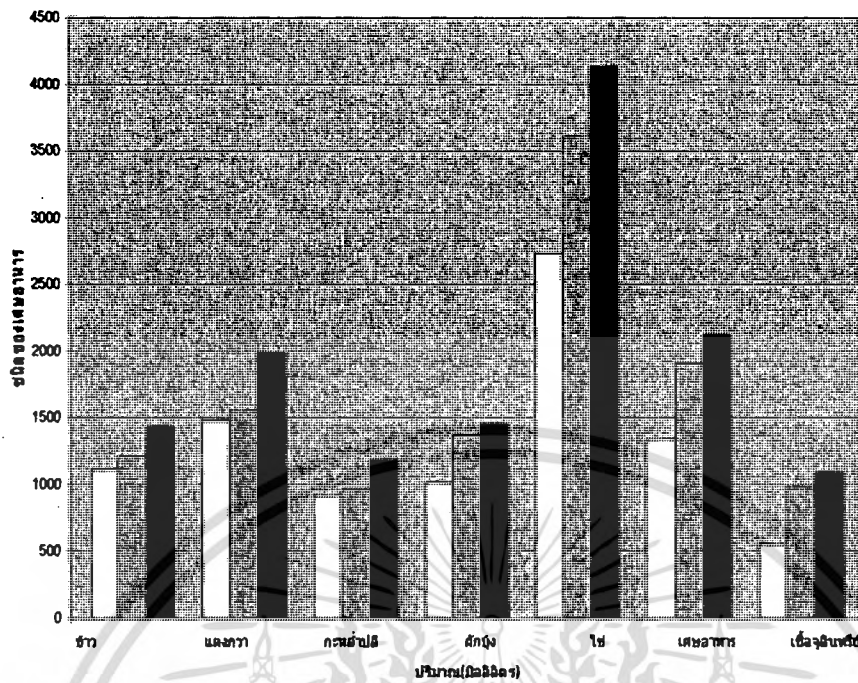
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมสูง เรียงจากสูงไปต่ำได้แก่ ไข่ (4139.67 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 138 มิลลิลิตรต่อวัน ) , เศษอาหาร (2,128.33 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 70.94 มิลลิลิตรต่อวัน ) , แดงกวา ( 1,982.50 มิลลิลิตรต่อ30 วัน หรือ 66.08 มิลลิลิตรต่อวัน ) กลุ่มของตัวอย่างที่มีการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมต่ำ เรียงจากสูงไปต่ำได้แก่ ผักบุ้ง (1459.5 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 48.65 มิลลิลิตรต่อวัน ) ข้าว (1442 มิลลิลิตรต่อ30 วัน หรือ 48.07 มิลลิลิตรต่อวัน ) กะหล่ำปลี (1194 มิลลิลิตรต่อ30 วัน หรือ 39.8 มิลลิลิตรต่อวัน ) และ เชื้อจุลินทรีย์สำหรับหมัก (1100.67 มิลลิลิตรต่อ 30 วัน หรือ 36.69 มิลลิลิตรต่อวัน )



รูปที่ 4.15. แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสม เปรียบกับวันที่ทำการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16. แสดงปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพสะสมเปรียบเทียบที่ 7, 17 และ 30 วัน  
ในตัวอย่างการทดลอง 8 ชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ **71** และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

## 5.1. วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองทั้งหมดที่ผ่านมาในบทที่ 4 ได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่

### 5.1.1. ผลการทดลองของช่วงก่อนทำการหมักตัวอย่างขยะชนิดต่างๆในระบบหมักขยะแบบไร้อากาศ

โดยผลการทดลองในช่วงที่ 1 นี้ จะมีผลการทดสอบหา ค่าของแข็งระเหยง่าย ( Volatile Solids , VS ) , ค่าของแข็งละลาย ( Total Dissolved Solid , TDS ) , ค่าของแข็งรวมทั้งหมด ( Total Solid , TS ) ของตัวอย่างการทดลองทั้ง 7 ชนิด และการทดสอบทางเคมี คือ การทดสอบหา ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง ( pH ) , การทดสอบหาค่า COD และ การทดสอบหาค่า ไนโตรเจน ( N ) ของตัวอย่างการทดลองที่เป็นขยะเศษอาหารที่มีปริมาณมากที่สุด 5 ชนิด ได้แก่ ข้าว , กะหล่ำปลี , แดงกวา , ไข่ , ผักบุ้ง เรียงจากมากไปน้อยตามลำดับ

### 5.1.2. ผลการทดลองของช่วงระหว่างทำการหมักตัวอย่างขยะชนิดต่างๆในระบบหมักขยะแบบไร้อากาศ

โดยผลการทดลองช่วงนี้จะเป็นผลของการเก็บปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นระหว่างทำการหมักเป็นเวลา 30 วัน โดยจะเก็บในรูปของปริมาณก๊าซสะสมจากวันที่ 1 ถึงวันที่ 30 ซึ่งในระหว่างนั้นจะทำการเก็บก๊าซตัวอย่างจากหลอดสำหรับเก็บก๊าซรูปถ้วย ของวันที่ 1 , 3 , 5 , 7 , 9 , 11 และ 13 ไปทดสอบหาว่าก๊าซที่เกิดขึ้นเป็นก๊าซชนิดใดบ้าง โดยก๊าซที่สนใจคือก๊าซมีเทน (  $CH_4$  ) และ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) แล้วหาค่าร้อยละของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น ด้วยเครื่อง Gaschromatography

### 5.1.3. เปรียบเทียบผลการทดลองของช่วงก่อนทำการทดลองและระหว่างทำการทดลอง

สมมติฐานของการทดลองก่อนทำการหมักด้วยขยะทุกชนิดในระบบหมักขยะแบบไร้อากาศ ได้ตั้งไว้ว่า ค่าของผลการทดลองทั้ง 2 ช่วงนี้ น่าจะมีความสัมพันธ์กันที่จะทำให้ทราบแนวโน้มของ ปริมาณการเกิดก๊าซมีเทนได้ ซึ่งความสัมพันธ์ของผลการทดลองอาจจะสัมพันธ์กันทั้งหมด หรือ สัมพันธ์กันบางกลุ่มก็เป็นได้

เมื่อนำผลของการทดลองทั้ง 2 ช่วง มาวิเคราะห์จะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 หัวข้อ ดังนี้

#### 5.1.3.1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของผลการทดลองที่มีต่อแนวโน้มของการเกิดปริมาณก๊าซมีเทน (CH<sub>4</sub>)

จากรูปที่ 4.14. (กราฟเส้นปริมาณก๊าซสะสม) จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซสะสมของตัวอย่างขยะทุกชนิดจะมีอัตราการเกิดก๊าซสูงในช่วงแรกคือ วันที่ 1 ถึงวันที่ 8 และ จะมีอัตราการเกิดก๊าซลดลงในช่วง วันที่ 9 ถึงวันที่ 17 และอัตราการเกิดก๊าซมีแนวโน้มคงที่ในช่วงวันที่ 18 ถึงวันที่ 30 โดยปริมาณก๊าซสะสมของตัวอย่างขยะจะมีปริมาณก๊าซสะสมใน 30 วัน เรียงจากสูงไปต่ำ ดังนี้ ไข่ , เศษอาหาร , แดงกวา , ผักบุ้ง , ข้าว , กะหล่ำปลี และเชื้อจุลินทรีย์ ตามลำดับ เมื่อพิจารณาตัวอย่างของไข่ซึ่งเป็นสารอาหารจำพวก โปรตีน ที่มีปริมาณก๊าซสะสมสูงสุด ซึ่งจะมีค่าไนโตรเจน ( N ) จากกราฟที่ 4.6. (แสดงการทดสอบ N กับชนิดอาหาร) และค่า COD จากกราฟที่ 4.7. (แสดงการทดสอบค่า COD กับชนิดอาหาร) ในปริมาณที่สูงที่สุด โดยเชื้อจุลินทรีย์จะชอบย่อยสลายสารอาหารจำพวก ไนโตรเจน และ คาร์โบไฮเดรต เพราะ องค์ประกอบของเชื้อจุลินทรีย์ประกอบด้วยธาตุ C , H , N , O , S ถ้าย่อย คาร์บอน ( ดูจากค่า COD ) และ ไนโตรเจนมาก เชื้อจุลินทรีย์ก็จะเจริญเติบโตมาก และเจริญเติบโตได้ดีในสภาพความเป็นเบส ที่มีค่า pH = 8.21 ดังนั้น ค่า COD กับค่า ไนโตรเจน จะแปรผันตรงกับปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้น สำหรับตัวอย่างไข่

จากรูปที่ 4.14. (กราฟเส้นปริมาณก๊าซสะสม) ปริมาณก๊าซสะสมใน 30 วัน ของตัวอย่างข้าวมีปริมาณก๊าซต่ำกว่าไข่ และผัก ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ ค่า COD ของข้าวกับไข่แล้ว มีค่าสูงคล้ายกัน แต่ปริมาณก๊าซสะสมใน 30 วันของไข่ กลับมีค่าสูงกว่าข้าวมาก จึงพิจารณาค่า ไนโตรเจนพบว่า ค่าไนโตรเจนของข้าวต่ำมาก เพราะฉะนั้น ค่า COD กับ ไนโตรเจนจึงมีผลไม่สอดคล้องกัน แต่ถ้าคิดเป็นอัตราส่วน COD ต่อ ไนโตรเจน พะว่าสอดคล้องตามกัน ค่า COD ต่อไนโตรเจน ของข้าวมีค่าสูง แต่ของไข่มีค่าต่ำ จึงทำให้เกิดก๊าซสะสมใน 30 วัน ของข้าวมีค่าต่ำ และไข่มีค่าสูง ดังนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อ 73 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า COD ต่อในโตรเจน จึงมีผลกับตัวอย่างข้าวซึ่งเป็นสารอาหารจำพวกคาร์โบไฮเดรต โดยค่า COD ต่อในโตรเจน จะแปรผกผันกับปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้น สำหรับตัวอย่างข้าว

จากรูปที่ 4.14. (กราฟเส้นปริมาณก๊าซสะสม) ปริมาณก๊าซสะสมใน 30 วันเรียง จากค่าสูงไปต่ำตามลำดับ ของตัวอย่าง แดงกวา , ผักบุ้ง และ กะหล่ำปลี ซึ่งเป็นอาหารจำพวกผักที่มี เส้นใยซึ่งค่า COD , ในโตรเจน และ ค่า COD ต่อในโตรเจน ไม่สอดคล้องสัมพันธ์กันกับตัวอย่าง อาหารจำพวกนี้ แต่เมื่อพิจารณาผลจากค่าของแข็งรวมทั้งหมด ( Total Solids , TS ) พบว่า ตัวอย่าง ที่มีค่าของแข็งรวมทั้งหมดสูง หรือ คากใยสูง จะมีค่าปริมาณก๊าซสะสมต่ำ เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์จะ ย่อยสลายสารอาหารจำพวกคากใยได้ยาก จึงทำให้ปริมาณก๊าซสะสมต่ำ ดังนั้นค่าของปริมาณก๊าซ สะสมของตัวอย่างจำพวกผักที่เป็นเส้น ใยจึงแปรผันตามค่าของแข็งรวมทั้งหมด (Total Solids , TS )

สำหรับปริมาณก๊าซสะสมใน 30 วัน ของตัวอย่างขยะเศษอาหาร จะใช้พิจารณาหา ค่าปริมาณก๊าซมีเทนในหัวข้อต่อไป สำหรับปริมาณก๊าซสะสมใน 30 วัน ของตัวอย่างเชื้อจุลินทรีย์ ใช้เปรียบเทียบให้เห็นว่า เมื่อเชื้อจุลินทรีย์ไม่มีอาหารในการย่อยสลาย ก็จะทำให้ปริมาณก๊าซสะสม น้อยมาก โดยปริมาณก๊าซสะสมที่เกิดขึ้นน้อยนี้ ก็เนื่องจากอาหารที่อาจหลงเหลืออยู่ในเชื้อดองนำ เชื้อมาก่อนทำการหมัก เมื่อทำการหมักในระบบปิดแบบไร้อากาศไปแล้ว การเกิดของก๊าซก็จะ ลดลงจนไม่เกิดขึ้นเนื่องจากไม่มีอาหารสำหรับการย่อย

### 5.1.3.2.วิเคราะห์การเลือกช่วงการเปลี่ยนถ่ายขยะเศษอาหารจากระบบหมักขยะแบบไร้ อากาศ

จากรูปที่.4.14 (กราฟเส้นปริมาณก๊าซสะสม) จะเห็นว่าอัตราการเกิดก๊าซสูงสุดจะ เกิดขึ้นในช่วงแรกและจะลดลงในช่วงถัดไป ดังนั้นช่วงการเปลี่ยนถ่ายขยะเศษอาหารจากระบบ หมักขยะก็ควรจะเลือกช่วงแรกคือวันที่ 1 ถึงวันที่ 7 เพราะจะทำให้ศักยภาพของการผลิตก๊าซมีเทน เกิดขึ้นได้สูงสุด และ ขยะเศษอาหารจากโรงอาหารนั้นเกิดขึ้นทุกวันอยู่แล้วจึงเลือกที่จะเปลี่ยน ในช่วงของอัตราการเกิดปริมาณก๊าซสูงสุด ส่วนอาหารที่เหลือจากระบบหมักขยะก็สามารถใช้ทำ เป็นปุ๋ยได้ต่อไป

### 5.1.3.3. วิเคราะห์หาปริมาณก๊าซมีเทนต่อขยะเศษอาหาร 1 กิโลกรัม และแปลงให้อยู่ในรูปของพลังงาน

ที่ระบบหมัก 7 วัน เศษอาหาร 300 กรัม ให้ก๊าซมีเทนสะสมทั้งหมดเท่ากับ 44.905 มิลลิลิตร ถ้ามีอาหาร 1 กิโลกรัม จะมีก๊าซเท่ากับ 1000 คูณ 44.905 หาค่าด้วย 300 เท่ากับ 149.68 มิลลิลิตร ต่อ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 0.15หาร 1000 ลูกบาศก์เมตร ต่อ 1 กิโลกรัม

ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีค่าความร้อนประมาณ 38,100 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร ขยะเศษอาหาร 1 ก.ก. จะให้พลังงานเท่ากับ 38100 คูณ 0.150 หาค่าด้วย 1000 เท่ากับ 5.715 กิโลจูลต่อ 1 กิโลกรัม

### 5.2. ข้อเสนอแนะ

การเก็บตัวอย่างก๊าซของตัวอย่างการหมักทุกชนิด เพื่อทำการทดสอบจะทำการเก็บในวันที่ 1 , 3 , 5 , 7 , 9 ,11 และ 13 เนื่องจากอัตราการเกิดก๊าซสูงสุดจะเกิดในช่วงแรก คือช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 8 และ อัตราการเกิดก๊าซจะลดลงจึงทำการเก็บตัวอย่างก๊าซไปทดสอบถึงวันที่ 13 สาเหตุเพราะว่าค่าใช้จ่ายในการทดสอบหาชนิด และปริมาณก๊าซด้วยเครื่อง Gaschromatography ค่อนข้างสูง จึงเลือกเฉพาะช่วงที่จำเป็น ข้อเสนอแนะที่แนะนำก็คือ ควรที่จะตรวจสอบหาชนิดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นของทุกวันตลอดวันทำการทดลองจะทำให้ได้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมมีค่าที่ละเอียดมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้หาแนวโน้มปริมาณก๊าซมีเทนได้ดียิ่งขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

1. กรมควบคุมมลพิษ, 2540, "มูลฝอยชุมชน," รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย 2540 กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
2. ศรีนพร ลิมหารุ่งเรือง, 2543, "การจัดการมูลฝอย," การฝึกอบรมเรื่อง การจัดการมูลฝอยจากชุมชน และการจัดการกากอุตสาหกรรม, วันที่ 7-9 มิถุนายน 2543
3. กรุงเทพมหานคร, สำนักนโยบายและแผน, 2541, ปริมาณมูลฝอยในกรุงเทพมหานคร
4. Chynoweth D.P., et. al., 1992, "Sequential Batch Anaerobic Composting of organic fraction of municipal solid waste," Water Science and Technology, Vol.25, No.7
5. Kotze, J.P., et. al., 1968, "A Biological-Chemical Study of Several Anaerobic Digestion," Water Res., Vol.2
6. กรุงเทพมหานคร, 2541, กองวิชาการและแผนงาน สำนักรักษาความสะอาด, สถิติกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2541
7. กองอนามัยสิ่งแวดล้อม
8. เกษม จันทร์แก้ว, 2541, เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
9. สิริรัชช ดันธนะสถิตย์, 2528, มลพิษสิ่งแวดล้อม, โครงการสหวิทยาการบัณฑิตศึกษา สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ
10. สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ, 2524, รายงานการสำรวจข้อมูลด้านการเก็บและกำจัดมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลของเทศบาล
11. พิชัย สกฤพรหมมณ, 2535, การกำจัดกากขยะ, การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม
12. อุษา วิเศษสมุน, 2537, เทคโนโลยีการจัดการด้านขยะและกากเป็นพิษ, ตารางประกอบการเรียนมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
13. พัชร หอวิจิตร, 2529, การจัดการขยะมูลฝอย, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น
14. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2537, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มิตรนราการพิมพ์, พระโขนง, กรุงเทพฯ
15. JICA, 1982, The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand final Report, Bangkok

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. ชันวดี ศรีชาวิรัตน์, 2543, การศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และชีวภาพในกระบวนการทำปุ๋ยน้ำจากขยะเศษอาหาร, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
17. สมชาย เจียมธีรสกุล, 2530, การผลิตก๊าซมีเทนจากขยะโดยกระบวนการไร้อากาศสองขั้นตอน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
18. พิชิต สกุดพราหมณ์ 2535 การสุขาภิบาลสิ่งแวดล้อม วิชาการพิมพ์ กรุงเทพฯ 406 น.
19. ชเนศ อุทิศธรรม และคณะ, 2528, "การผลิตก๊าซชีวภาพที่อุณหภูมิต่างๆจากของเสียโรงงานสับประรดกระป๋อง," มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
20. เสริมพล รัตนสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์, 2524, "การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชน," สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.
21. McCarty, P.L. and McCarty, R.E., 1965, "Volatile Acid Toxicity in Anaerobic Digestion," J. WPCF, Vol.33, No.3
22. ศักดิ์ชัย โอภาสวัชชัย, 2526, การย่อยสลายและการผลิตก๊าซชีวภาพของขยะแบบไร้ออกซิเจนโดยแบคทีเรียชอบความร้อน, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
23. Huang, J.H. and Shih C.H., 1981, The potential of biological methane generation from chicken manure, Biotechnol, Bioeng, Vol 23
24. National Research Council, 1977, Methane generation from human, Animal and Agriculture Waste, National Academy of Science, Washington D.C.
25. Mosey F.E, 1983, Mathematic Modelling of anaerobic digestion process: regulatory mechanism for the formation of short chain volatile and from glucose, Wat.Sci.Tech., Vol.15
26. Henze, M.and Harremoos, P., 1982, Anaerobic treatment of wastewater in fixed film reactor a literature review, Wat.Sci.Tech. Vol.15
27. เกียรติไกร อาวุฒัน, 2537, การผลิตกระแสไฟฟ้าจากก๊าซขยะ, การประชุมทางวิชาการคณะวิศวกรรมศาสตร์ สจข, ครั้งที่ 2 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
28. Bounicor, J.A. and D.T. Wayne. 1992, Air Pollution Engineering Manual. Van Nostrand Reinhold, United States of America.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้