

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการอังกษยะเศษาอาหารแบบไร้อากาศเพื่อผลิตแก๊สมีเทนใช้
ในการหุงต้ม

คณะผู้วิจัย



ผศ. นันทวัฒน์ จรัสโรจน์ธนเดช
หัวหน้าโครงการวิจัย



นางสาว ชลิตา อู่ตะเภา
ผู้ร่วมวิจัย

RCH
TD
793.3
ร424ค

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 120298
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2555

b. 12 ก.พ. 65
i.

สนับสนุนโดย

เงินรายได้คณะวิศวกรรมศาสตร์ ประจำปี 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินการ โครงการระบบถึงหมักขยะเศษอาหารแบบไร้อากาศเพื่อผลิตแก๊สมีเทนใช้
ในการหุงต้ม คณะผู้วิจัยได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่ง ทั้งจากหน่วยสนับสนุนเงินทุนวิจัย คือ คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง รวมทั้งหน่วยงานเจ้าของ
ข้อมูลและบุคลากรที่เกี่ยวข้องหลายฝ่าย

ผศ.นันทวัฒน์ จรัสโรจนธนเดชและคณะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

บทที่	เรื่อง	หน้า
1	บทนำ	
	1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
	1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
	1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2	ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
	2.1 นิยามและความหมายของขยะมูลฝอย	4
	2.2 แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย	4
	2.3 ชนิดของขยะมูลฝอย	4
	2.4 ประเภทและชนิดของขยะมูลฝอย	6
	2.5 ลักษณะของมูลฝอย	7
	2.6 ปริมาณของขยะมูลฝอย	15
	2.7 การคาดคะเนปริมาณขยะในอนาคต	16
	2.8 ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม	17
	2.9 การกำจัดขยะมูลฝอย	18
	2.10 ทฤษฎีแก๊สชีวภาพ	19
	2.11 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย	23
	2.12 การหายใจของจุลชีพ	23
	2.13 จุลชีววิทยาของถังย่อยแอนแอโรบิก	25
	2.14 จุลชีววิทยาและชีวเคมีของกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ	27
	2.15 ประเภทของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ	27
	2.16 กลไกการสร้างมีเทน	31
	2.17 อันตรายเนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
3	ขั้นตอนการดำเนินงานและอุปกรณ์การวิจัย	
	3.1 อุปกรณ์การหาปริมาณขยะในโรงอาหาร	36
	3.1.1 ถังสำหรับบรรจุเศษอาหาร	36
	3.1.2 ตะแกรงสำหรับคัดแยกขยะ	36
	3.1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก	36
	3.1.4 รถเข็นสำหรับเครื่องย้ายเศษอาหาร	36
	3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมักแก๊สชีวภาพ	37
	3.2.1 เครื่องหมักแก๊สชีวภาพ	37
	3.2.2 ขยะเศษอาหาร	40
	3.2.3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักแก๊สชีวภาพ	40
	3.2.4 เครื่องวัดปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น	41
	3.2.5 เครื่องหาเปอร์เซ็นต์ของแก๊สที่เกิดขึ้น	41
	3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	42
	3.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์หมักแก๊สชีวภาพจากเศษอาหาร	42
	3.3.2 การคำนวณอัตราส่วนเศษอาหาร และจุลินทรีย์	42
	3.3.3 การเตรียมเศษอาหาร	43
	3.3.4 การเตรียมจุลินทรีย์	43
	3.3.5 การหาปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น	44
	3.3.6 การกวนเศษอาหาร	45
	3.3.7 การวัดชนิดของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น	45
	3.3.8 การทดสอบคุณภาพของแก๊ส	46
4	ผลการทดลอง	
	4.1 ผลการทดลองจากการเก็บตัวอย่างอาหาร	47
	4.1.1 ผลการทดลองหาปริมาณเศษอาหาร	47
	4.1.2 คุณสมบัติด้านกายภาพและเคมีของขยะเศษอาหาร	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	เรื่อง	หน้า
	4.2 ผลการทดลองจากการทดลองแก๊สชีวภาพ	49
	4.2.1 ผลการทดลองการหาปริมาณแก๊ส	49
	4.2.2 ผลการทดลองหาคุณภาพของแก๊ส	51
5	สรุปผลการทดลอง	
	5.1 สรุปการทดลองจากการเก็บตัวอย่างอาหาร	57
	5.2 สรุปการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหาร	58
	5.3 สรุปการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารในการหมักแก๊สครั้งแรก	58
	5.4 สรุปการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารในการหมักแก๊สครั้งที่สอง	59
	5.5 สรุปผลการทดลองจากการทำการทดลองทั้งหมด	60
	บรรณานุกรม	61

สารบัญตาราง

ตารางที่	ชื่อตาราง	หน้า
2.1	ประเภทกิจกรรมหรือสถานที่ของแหล่งที่มาและชนิดของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น	5
2.2	องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจากเมืองต่าง ๆ ในเอเชีย	8
2.3	องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจากแหล่งผลิตต่าง ๆ	9
2.4	องค์ประกอบขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร ปี 2540	10
2.5	องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนในเขตประชาธิปัตย์	10
2.6	องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดกลางรังสิต	11
2.7	ชนิดและปริมาณของขยะประเภทผักผลไม้และดอกไม้จากตลาดสามย่าน	12
2.8	ปริมาณความชื้นของส่วนประกอบของขยะมูลฝอยจากชุมชน	13
2.9	องค์ประกอบทางเคมีของขยะมูลฝอยชุมชนทั่วไปและของกรุงเทพมหานคร	14
2.10	การผลิตขยะมูลฝอยตามชนิดของแหล่งกำเนิด	16
2.11	การคาดคะเนปริมาณของขยะจากตลาดในกรุงเทพมหานคร	16
2.12	Organic gases produced through microbial activity in anaerobic digesters	22
2.13	Final electron carrier molecule, energy yield and cell (sludge) production	25
2.14	Growth yields	25
2.15	ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียบางกลุ่มในจินัส	29
2.16	สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้	31
4.1	แสดงค่าโดยเฉลี่ยของปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้น	49
4.2	แสดงค่าปริมาตรแก๊ส โดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์	51
4.3	แสดงค่าคุณภาพแก๊ส โดยเฉลี่ยก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์	51
4.4	แสดงค่าปริมาตรแก๊ส โดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นหลังปรับสภาพจุลินทรีย์	53
4.5	แสดงค่าคุณภาพแก๊ส โดยเฉลี่ยหลังปรับสภาพจุลินทรีย์	54

สารบัญรูป

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
1.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน โดยละเอียดและสรุปเป็นแผงผังขั้นตอนการศึกษา	3
2.1	รูปแสดงขั้นตอนการเกิดแก๊สมีเทนเริ่มต้นจากสารประกอบ โมเลกุลใหญ่	19
2.2	รูปแสดงการย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะได้ผลผลิตเป็นสารอินทรีย์ที่มีพลังงานน้อยลง	23
2.3	รูปแสดงเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ ในรูป COD ในการหายใจแบบ Aerobic และ Anaerobic	24
2.4	รูปแสดงกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพ	26
2.5	รูปแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาไม่ใช้อากาศ	30
2.6	รูปแสดงขั้นตอนการย่อยสลายไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต แบบไม่ใช้อากาศ	33
3.1	รูปแสดงด้านหน้าและรูปแปลนของเครื่องผลิตแก๊สชีวภาพ	36
3.2	รูปแสดงรายละเอียดขนาดต่างๆ ของเครื่องผลิตแก๊สชีวภาพ	37
3.3	รูปอธิบายรายละเอียดส่วนประกอบต่างๆของเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ	37
3.4	รูปแสดงภาพตำแหน่งที่ตั้งของเศษอาหารบริเวณ โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์	39
3.5	รูปแสดงภาพตำแหน่งที่ตั้งของเชื้อจุลินทรีย์บริเวณ โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์	39
3.6	แสดงเครื่องวัดคุณภาพแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น	40
3.7	แสดงปริมาณเศษอาหารและจุลินทรีย์ในเครื่อง	41
3.8	แสดงการเตรียมเศษอาหารที่ทำการบรรจุในเครื่องหมักแก๊ส	42
3.9	แสดงการจุลินทรีย์ที่ทำการบรรจุในเครื่องหมักแก๊ส	43
3.10	แสดงการวัดค่าปริมาตรแก๊ส โดยการแทนที่ของน้ำ	43
3.11	เครื่องมือวัดปริมาตรความเข้มข้นของแก๊สและการทำการติดตั้ง	44
3.12	รูปแสดงการเตรียมจุดไฟเพื่อทดสอบคุณภาพแก๊ส	45
3.13	รูปแสดงลักษณะเปลวไฟที่ได้จากแก๊สชีวภาพ	45
4.1	รูปแสดงปริมาณขยะเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์	46
4.2	รูปแสดงปริมาณของแข็งทั้งหมดในขยะเศษอาหารจาก โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์	47

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	ชื่อรูป	หน้า
4.3	รูปแสดงค่าความเป็นกรดค่าของขยะเศษอาหารจากโรงอาหารคณะ วิศวกรรมศาสตร์	48
4.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ทำการเก็บแก๊ส และค่าปริมาตร แก๊สที่เกิดขึ้น	49
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ทำการเก็บแก๊สและค่าปริมาตรแก๊ส ก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์	51
4.6	แผนภูมิแสดงคุณภาพแก๊สก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์	52
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ทำการเก็บแก๊สและค่าปริมาตรแก๊ส หลังจากปรับสภาพจุลินทรีย์	52
4.8	แผนภูมิแสดงคุณภาพแก๊สหลังปรับสภาพจุลินทรีย์	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการวิจัย

เนื่องจากในปัจจุบัน โลกของเรากำลังประสบภาวะขาดแคลนพลังงานและแก๊สธรรมชาติ โดยส่งผลกระทบต่อให้ราคาน้ำมันและราคาแก๊สสูงขึ้นมาก อีกทั้งปัญหาด้านขยะมูลฝอยที่มีมากขึ้นจนเป็นปัญหาอยู่ในปัจจุบัน เป็นผลทำให้เกิดปัญหาอีกหลายด้านตามมา ยกตัวอย่างเช่น ปัญหาโลกที่ร้อนขึ้น และปัญหาเนื่องจากการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกวิธี โดยเราสามารถแก้ปัญหเหล่านี้ได้ทางหนึ่งคือการใช้พลังงานทดแทน เช่นพลังงานทดแทนจากเศษอาหาร โดยพลังงานทดแทนจากเศษอาหารนั้นสามารถทำได้ง่าย ใช้งบประมาณในการลงทุนน้อย อีกทั้งขยะเศษอาหารเหล่านี้สามารถหาได้ไม่ยาก โดยสามารถหาได้จากโรงอาหาร หรือตามบริเวณชุมชนต่าง วิธีการคือนำของเสียเหล่านั้นมาทำการหมัก เพื่อให้ได้แก๊สที่เรียกว่าแก๊สมีเทน(Methane) จากนั้นนำแก๊สที่ได้จากการหมักมาใช้เป็นพลังงานหมุนเวียน การนำแก๊สที่ได้จากการหมักมาทำการหุงต้มอาหาร หมุนเวียนกลับมาใช้ในครัวเรือน หรือนำกลับมาใช้ในการเผาทำลายขยะเอง โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของราคาแก๊สหุงต้มที่ราคาแพงขึ้น อีกทั้งยังสามารถช่วยชาติลดค่าใช้จ่ายที่ต้องนำมากำจัดของเสียรวมทั้งจัดปัญหาทางด้านกลิ่นเหม็นอีกทางหนึ่ง

จากปัญหากลิ่นเหม็นของขยะที่มีในปัจจุบัน โดยได้ทำการตรวจพบว่าแก๊สที่มีกลิ่นเหม็นเหล่านั้นได้มีแก๊ส H_2S (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) เป็นส่วนประกอบหลัก โดยสารประกอบนี้เองที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก ทั้งในด้านกลิ่น และความเป็นพิษ มีคุณสมบัติในการกัดกร่อนโลหะต่างๆ อีกทั้งเป็นพิษอย่างมากต่อร่างกาย ซึ่งเป็นผลเสียอย่างมากต่อสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อมในปัจจุบัน ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องหาวิธีการ เพื่อที่จะทำการกำจัดแก๊ส H_2S (ไฮโดรเจนซัลไฟด์) โดยวิธีที่ประหยัดและลดวิธีการรวมทั้งค่าใช้จ่ายมากที่สุด อีกทั้งส่งผลกระทบต่อธรรมชาติน้อยที่สุด โดยการวิจัยครั้งนี้จะได้นำตัวอย่างของการหมักแก๊สชีวภาพมาทำการปรับลดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีในปัจจุบัน โดยตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้ใช้ระบบไบโอแก๊ส ในการหมักแก๊สมีเทนได้แก่ โรงงานแป้งมันสำปะหลัง โรงงานน้ำมันปาล์ม ฟาร์มหมู ฟาร์มไก่ และโรงงานอื่นๆ ที่มีกลิ่นของเสียที่มีปริมาณมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเศษอาหารและพืช ผัก ผลไม้ที่เหลือใช้จากครัวเรือนมาใช้ประโยชน์
2. ศึกษากระบวนการผลิตแก๊สมีเทนโดยการย่อยสลายแบบ ไร้อากาศ จากขยะเหลือใช้
3. วิเคราะห์ปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นจากการหมักขยะเศษอาหาร
4. วิเคราะห์คุณภาพแก๊สที่เกิดขึ้นทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพจุลินทรีย์
5. สามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวิจัยมาใช้ในชีวิตประจำวัน ได้อย่างเหมาะสม

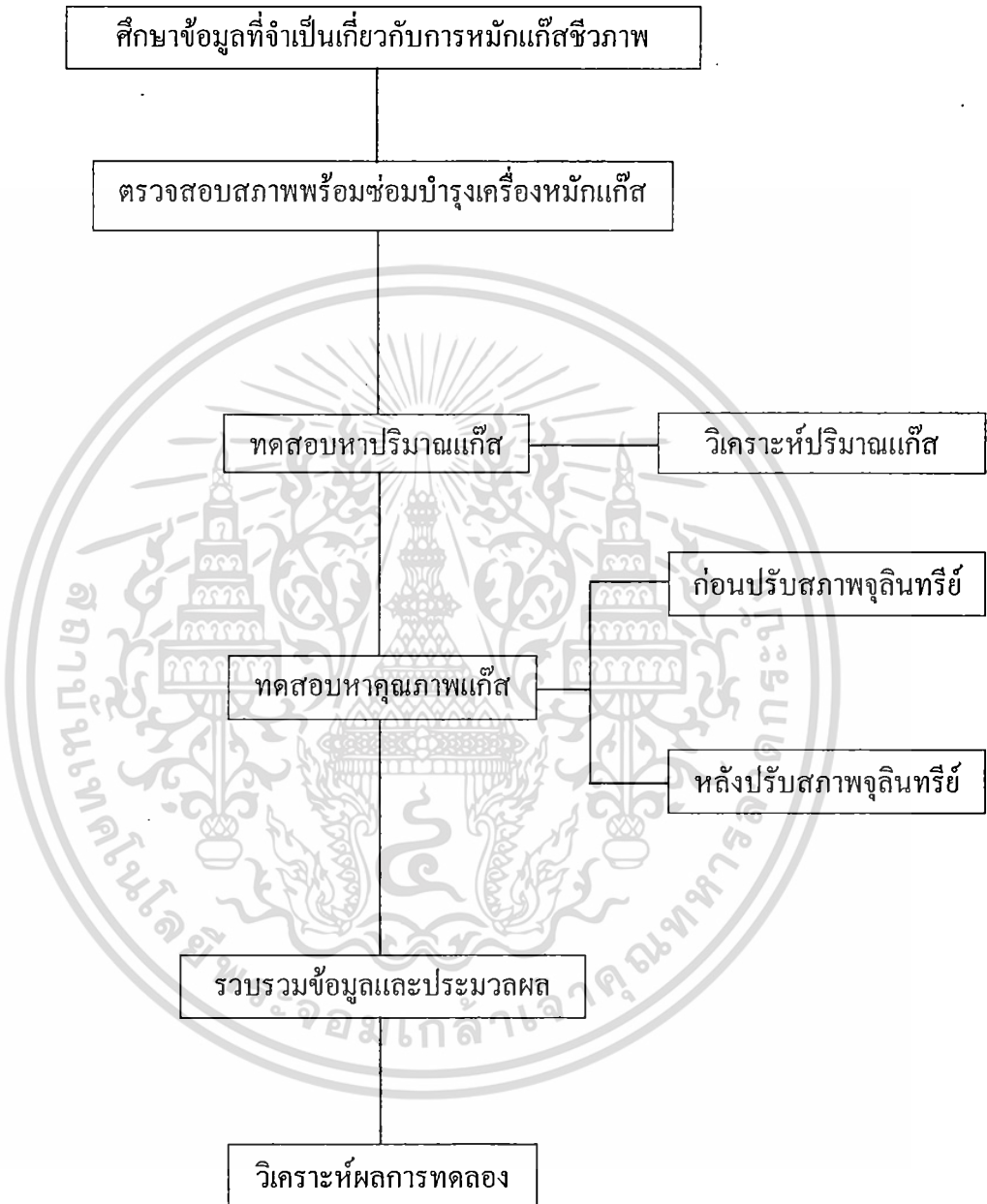
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1. ทำการทดลองหาปริมาณการเกิดของแก๊สจากการหมักขยะเศษอาหาร
2. วิเคราะห์การเกิดของแก๊สที่เกิดขึ้น โดยหาระยะเวลาที่แก๊สเกิดขึ้นมากที่สุด
3. ทำการทดลองหาคุณภาพของแก๊สทั้งก่อนและหลังการปรับสภาพจุลินทรีย์
4. วิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบ พร้อมทั้งเปรียบเทียบคุณภาพแก๊สที่เกิดขึ้น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ทำการศึกษาหาข้อมูล เกี่ยวกับแก๊สมีเทน รวมถึงวิธีการแยกแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์
2. จัดเตรียมสถานที่สำหรับทำการทดสอบแก๊สมีเทน
3. ทำการศึกษาทดสอบ และทำการซ่อมแซมเครื่องมือแก๊สมีเทน
4. ทำการทดสอบการหมักแก๊สมีเทน และทำการเก็บค่าต่างๆที่ได้จากการหมัก
5. ทดลองการแยกสกัดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ ออกจากแก๊สมีเทน
6. นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาวิธีในการนำไปประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด
7. ทำรายงานสรุปผลการทดลอง

รูปที่ 1.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน โดยละเอียดและสรุปเป็นแผนผังขั้นตอนการศึกษา



บทที่ 2

วรรณกรรมปริทัศน์

2.1 นิยามและความหมายของขยะมูลฝอย

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

2.2 แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอย

แหล่งกำเนิดของขยะมูลฝอยแบ่งตามการใช้ประโยชน์ของที่ดิน ได้แก่

1. ขยะมูลฝอยจากบ้านพักอาศัย (Residential Wastes)
2. ขยะมูลฝอยจากธุรกิจการค้า (Commercial Wastes)
3. ขยะมูลฝอยทางการเกษตร (Agricultural Wastes)
4. ขยะมูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastes)
5. ขยะมูลฝอยจากโรงพยาบาล (Hospital Wastes)

2.3 ชนิดของขยะมูลฝอย

การจำแนกชนิดของขยะมูลฝอยมีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากขยะที่เกิดขึ้นนั้นเกิดจากปัจจัยหลายด้าน อีกทั้งสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน จึงจำเป็นที่จะต้องจำแนกชนิดของขยะนั้นๆ โดยเพื่อที่จะสามารถจัดการขยะมูลฝอยนั้นอย่างถูกวิธี และถูกหลักวิชาการ ซึ่งชนิดของขยะมูลฝอยนั้นจะมีค่าความสัมพันธ์กับการย่อยสลายของจุลินทรีย์แตกต่างกัน ดังนั้นนักวิชาการสิ่งแวดล้อมจำแนกชนิดของขยะมูลฝอย ออกเป็นลักษณะต่างๆกันดังนี้

ตารางที่ 2.1 ประเภทกิจกรรมหรือสถานที่ของแหล่งที่มาและชนิดของขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

แหล่งที่มา	ประเภทกิจกรรมหรือสถานที่	ชนิดของขยะมูลฝอย
ที่อยู่อาศัย	บ้านพักเดี่ยว ห้องแถว อพาร์ทเมนท์ คอนโดมิเนียม ฯลฯ	เศษอาหาร ขยะแห้ง ขี้เถ้า ขยะพิเศษ
ย่านธุรกิจ	ร้านค้า ภัตตาคาร ตลาด สำนักงาน โรงแรม โรงพิมพ์ อุ้งซ่อมรถ โรงพยาบาล สถาบันการศึกษา ฯลฯ	เศษอาหาร ขยะแห้ง ขี้เถ้า ขยะจากการ ทำลายตึกและการก่อสร้าง ขยะพิเศษ สารพิษ (ในบางแห่ง)
เทศบาล	เช่นเดียวกับที่อยู่อาศัยและย่านธุรกิจ	เช่นเดียวกับที่อยู่อาศัยและย่านธุรกิจ
อุตสาหกรรม	การก่อสร้าง โรงทอผ้า การกลั่นน้ำมัน โรงเลื่อย การทำเหมืองแร่ โรงงานผลิต สินค้าต่าง ๆ ฯลฯ	เศษอาหาร ขยะแห้ง ขี้เถ้า ขยะจากการ ทำลายตึกและการก่อสร้าง ขยะพิเศษและ สารพิษ
ที่สาธารณะ	ถนน ตรอกซอย ที่จอดรถ สนามเด็กเล่น สวนสาธารณะ ชายหาด สถานที่ท่องเที่ยว ฯลฯ	ขยะพิเศษ ขยะแห้ง
การประปาและ กำจัดน้ำทิ้ง	โรงประปา โรงกำจัดน้ำทิ้งจากชุมชน โรงพยาบาล และอุตสาหกรรม	กากตะกอนจากขบวนการกำจัด
เกษตรกรรม	ไร่นา สวนผัก-ผลไม้ ฟาร์มโคนม ฟาร์มสัตว์อื่น ๆ ฯลฯ	ผัก-ผลไม้ที่เน่าเปื่อย ขยะจากผลผลิตทาง การเกษตร ขยะแห้ง สารพิษ มูลสัตว์

หมายเหตุ โดยทั่วไปแล้ว “เทศบาล” หมายถึง ย่านที่อยู่อาศัย และย่านธุรกิจรวมกัน

ที่มา : พัชร [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ประเภทและชนิดของขยะมูลฝอย

2.4.1 ขยะมูลฝอยที่นำเปื้อยได้ง่ายหรือขยะเปียกสด (*Garage*) เป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่สามารถเปื้อยผุพังหรือเกิดการย่อยสลายโดยจุลชีพได้ง่าย คุณลักษณะที่สำคัญที่สุดของขยะชนิดนี้ คือ มีความชื้นสูงจะย่อยสลายและนำเปื้อยได้เร็วมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออากาศร้อนและการนำเปื้อยของขยะชนิดนี้จะทำให้เกิดกลิ่นเหม็นขึ้น ขยะชนิดนี้ ได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก เศษเนื้อที่เหลือทิ้งจากการเตรียมและการปรุงอาหาร ส่วนใหญ่มักจะมาจากครัวของบ้าน ภัตตาคาร โรงอาหาร ฯลฯ

2.4.2 ขยะมูลฝอยที่ไม่นำเปื้อยได้มากหรือขยะแห้ง (*Rubbish*) เป็นขยะมูลฝอยอินทรีย์ที่ย่อยสลายด้วยจุลชีพได้ยาก ได้แก่ ขยะที่ประกอบด้วยวัสดุทั้งที่เผาไหม้ได้ เช่น กระดาษ เศษไม้ เศษผัก ยาง หนังสือ เครื่องเรือน เศษใบไม้กิ่งไม้ และพลาสติก ตลอดจนวัสดุที่ไม่เผาไหม้ เช่น แก้ว กระเบื้อง กระจ่างบรรจุอาหาร ภาชนะอลูมิเนียม เหล็กและโลหะอื่น ๆ

2.4.3 ขี้เถ้า (*Ashes*) เป็นขยะมูลฝอยหรือวัสดุที่หลงเหลืออยู่จากการเผาไหม้ เช่น ขี้เถ้าถ่าน ขี้เถ้าพื้น เถ้าที่เกิดจากการเผาไหม้ถ่านหิน หรือวัสดุติดไฟอื่น ๆ

2.4.4 ขยะมูลฝอยจากถนน (*street reuse*) เป็นเศษขยะที่อยู่ตามริมถนนหรือบนถนนทำให้ไม่ปลอดภัยในการขับรถยนต์และดูไม่เรียบร้อย เช่น เศษผลไม้ ใบไม้ ดิน กรวด ทราย กระดาษ ถุงพลาสติก เป็นต้น

2.4.5 ซากสัตว์ (*dead animals*) เป็นซากสัตว์ที่ปราศจากเจ้าของและตายแล้ว ได้แก่ ซากสุนัข แมว หนู ฯลฯ เป็นขยะมูลฝอยที่นำเปื้อยเร็วและมีกลิ่นเหม็น

2.4.6 ซากยานพาหนะ (*abandoned vehicles*) ได้แก่ ยานพาหนะทุกชนิดที่หมดสภาพการใช้งานหรือใช้งานไม่ได้แล้ว รวมตลอดทั้งชิ้นส่วนประกอบของยานพาหนะด้วย เช่น ยาง แบตเตอรี่ และอื่น ๆ

2.4.7 มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (*industrial refuse*) เป็นเศษขยะทุกประเภทที่มาจากโรงงานต่าง ๆ ดังนั้นขยะประเภทนี้จะมีความแตกต่างกันตามประเภทของโรงงาน ซึ่งขยะชนิดนี้ ได้แก่ เศษวัสดุคืบและวัสดุที่เกิดจากขบวนการผลิตหรือขั้นตอนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมโดยมีทั้งพวกที่นำเปื้อยได้อันอาจก่อให้เกิดเหตุรำคาญและเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน เช่น เศษอาหารกระป๋อง

เศษผัก เศษยาง เศษไม้ เศษกระดาษ เป็นต้น และพวกที่เนาเปื่อยไม่ได้ เช่น เศษแก้ว และ เศษโลหะต่าง ๆ เป็นต้น

2.4.8 มูลฝอยจากการก่อสร้างและการทำลายตึก (*construction and demolition refuse*) ขยะจากกิจกรรมนี้จัดได้ว่าเป็นขยะแห่งประเภทหนึ่งประกอบด้วย ฝุ่น หิน คอนกรีต อิฐ ปูน โลหะต่าง ๆ อุปกรณ์ในการต่อท่อและสายไฟ ฯลฯ

2.4.9 มูลฝอยที่ทำลายยากหรือเป็นอันตราย (*special or hazardous refuse*) ได้แก่สารใด ๆ ที่จะเป็นโทษต่อชีวิตมนุษย์ พืช และสัตว์ ทั้งเฉียบพลัน และ/หรือในระยะขยาย สามารถพบได้ในหลายรูปแบบ เช่น สารเคมีอันตราย วัตถุระเบิด สารไวไฟ ซึ่งในการจัดการต้องใช้ความระมัดระวังอย่างมาก และสารที่ต้องใช้กรรมวิธีพิเศษจึงจะทำลายได้ เช่น พลาสติก ฟิล์มถ่ายรูป กากแร่ต่าง ๆ ขยะจากโรงพยาบาล เป็นต้น

2.4.10 ขยะมูลฝอยจากการกสิกรรม (*agricultural wastes*) เป็นเศษขยะทุกประเภทที่มาจากพื้นที่ทำเกษตรกรรม เช่น เศษฟาง เศษมูลสัตว์ เศษผัก เศษหญ้า เป็นต้น

2.4.11 ขยะจากการประปาและโรงกำจัดน้ำเสีย (*treatment plants waster*) ได้แก่ กากตะกอนที่ทิ้งออกจากระบบประปาและระบบกำจัดน้ำเสีย มีลักษณะเป็นโคลนตะกอน กากตะกอนจากระบบต่าง ๆ จะมีลักษณะแตกต่างกันออกไป เช่น กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งที่ประกอบด้วยสารอินทรีย์มาก ๆ จะเป็นตะกอนจุลินทรีย์ และกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเคมีจะเป็นตะกอนเคมี เป็นต้น

2.4.12 ขยะที่มาจากสิ่งที่ยับถ่ายจากมนุษย์ (*night soil*) เช่น อุจจาระและปัสสาวะแต่เป็นสิ่งที่ยับถ่ายที่ผ่านการเก็บหมักไว้นาน ๆ จนเกิดการสลายตัวแล้วกลายเป็นสีดำ เมื่อถึงส้วมที่บรรจุสิ่งที่ยับถ่ายเต็มแล้วไม่อาจจะระบายถ่ายเทไปที่อื่นได้ต้องจัดการถ่ายออกเพื่อนำไปกำจัดต่อไปโดยปกติจะเอาไปทำเป็นปุ๋ยโดยตรงหรือเอาไปหมักรวมกับขยะเปียกอื่น ๆ ต่อไปได้ดี

2.5 ลักษณะของมูลฝอย

ลักษณะทางกายของขยะมูลฝอย ประกอบด้วยองค์ประกอบหรือส่วนประกอบของขยะมูลฝอยแต่ละส่วนปริมาณความชื้น และความหนาแน่นของขยะมูลฝอยแล้วจะมีองค์ประกอบหรือส่วนประกอบต่าง ๆ กันซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดในปริมาณต่างกันแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

นอกจากนี้การศึกษาองค์ประกอบขยะนั้นจำเป็นในการเลือกวางแผนจัดการขยะให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยองค์ประกอบขยะจะแตกต่างกันไปตามแหล่งกำเนิดและฤดูกาล จากการศึกษาของสำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร พบว่าองค์ประกอบขยะจำพวกเศษอาหาร และผักผลไม้มีมากที่สุด ร้อยละ 50.10 ขององค์ประกอบน้ำหนักเปียก (ตารางที่ 2.4) องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากบ้านเรือน องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษอาหาร ผักผลไม้ และใบไม้ถึงร้อยละ 56.7 ขององค์ประกอบน้ำหนักเปียก (ตารางที่ 2.5) องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดสด องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดสดส่วนใหญ่ประกอบด้วยเศษอาหาร และผักผลไม้ ตารางที่ 2.5 และ 2.6 เป็นตัวอย่างโดยตัวอย่างองค์ประกอบขยะมูลฝอยชนิดและปริมาณจากตลาดสามย่าน (ตารางที่ 2.6)

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจากเมืองต่าง ๆ ในเอเชีย

องค์ประกอบ	ปริมาณโดยน้ำหนัก (%)						
	ฟิลิปปินส์	กวม.	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 [8]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะมูลฝอยจากแหล่งผลิตต่าง ๆ

องค์ประกอบ	แหล่งผลิตขยะมูลฝอย (%ของน้ำหนักแห้ง)								ขยะมูลฝอยจาก สถานที่ทิ้งขยะ	
	บ้าน เรือน	ตลาด	ห้าง สรรพ สินค้า	โรงแ รม	สำนั กงาน	โรงงา น ทอผ้า	โรงเลื่อ ยไม้	โรงงาน ประกอบ รถยนต์	% น้ำหนั กเปียก	% น้ำหนั กแห้ง
กระดาษ	24.7	12.7	60.3	40.6	58.9	22.4	0.0	47.7	18.3	19.0
เศษผ้าและสิ่งทอ	4.7	1.9	1.1	5.0	0.7	88.7	0.0	4.9	4.0	3.3
เศษอาหาร	25.0	42.6	7.6	11.4	4.1	0.2	0.0	2.2	14.4	30.3
ใบไม้กิ่งไม้	7.6	19.1	2.5	6.0	4.8	1.4	29.6	1.5	19.0	21.7
ซีเมนต์	-	-	-	-	-	-	26.4	-	-	-
พลาสติก	11.2	6.7	16.3	11.5	10.7	2.4	0.3	17.9	10.4	7.6
synthetic glue	-	-	-	-	-	-	23.4	-	-	-
ยางและหนังสัตว์	1.2	0.1	0.8	0.2	0.9	1.0	0.0	10.0	2.0	10.0
เหล็ก	5.0	1.0	1.2	7.3	3.8	1.2	0.1	5.8	5.4	2.3
โลหะอื่นยกเว้น เหล็ก	0.3	0.1	0.2	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.4	0.2
แก้ว	5.5	0.8	1.1	4.9	5.7	0.0	0.0	0.0	6.1	2.6
กระดุก, หิน	8.6	8.9	2.2	3.3	1.7	0.1	0.2	0.0	11.9	6.4
dry cells	0.48	0	1.4	0.27	0.27	-	-	-	3.38	-
กระดาษทราย	-	-	-	-	-	-	-	3.9	-	4.6
อื่นๆ	5.9	6.0	5.3	9.0	8.3	2.6	0.0	6.1	6.7	-

ที่มา : JICA[19]

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบขยะมูลฝอยของกรุงเทพมหานคร ปี 2540

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ(น้ำหนักเปียก)
เศษอาหาร ผักผลไม้ ใบไม้	50.10
กระดาษ	11.39
พลาสติกและโฟม	17.43
ยางและหนัง	0.62
ผ้าและสิ่งทอ	6.17
ไม้	1.3
แก้ว	4.47
โลหะ	2.30
หินและกระเบื้อง	0.00
ประเภทอื่นๆ	6.22
รวม	100.00
ความหนาแน่น(ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	0.32

ตารางที่ 2.5 องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากบ้านเรือนในเขตประชาธิปัตย์

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ(น้ำหนักเปียก)
เศษอาหาร ผักผลไม้ ใบไม้	56.7
กระดาษ	8.7
พลาสติก	17.7
ยาง	0.5
ผ้า	2.1
ไม้	1.3
แก้ว	6.9
โลหะ	3.2
หินและกระเบื้อง	0.8
สารพิษหรือสารอันตราย	2.1
รวม	100.00
ความหนาแน่น(ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	0.217

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบขยะมูลฝอยจากตลาดกลางรังสิต

องค์ประกอบ	ร้อยละขององค์ประกอบ(น้ำหนักเปียก)
เศษอาหาร ผักผลไม้ ใบไม้ กระดาษ	77.48
พลาสติก	8.97
ยาง	7.68
ไม้	0.19
แก้ว	0.77
โลหะ	0.23
หินและกระเบื้อง	3.46
กระดุกและเปลือกหอย	-
สารพิษหรือสารอันตราย	1.22
รวม	100.00
ความหนาแน่น(ตันต่อลูกบาศก์เมตร)	0.301

ขนาดของแต่ละส่วน ข้อมูลขนาดของขยะมูลฝอยมีส่วนสำคัญมากในการนำขยะมูลฝอยกลับมาผลิตใช้ใหม่ที่ต้องใช้กระบวนการแยกขนาดของมูลฝอยด้วยตะแกรงและเครื่องแยกโลหะเหล็ก โดยแสดงข้อมูลเป็นค่าร้อยละของมวลรวมของขยะมูลฝอยที่ผ่านตะแกรงร้อนได้

ปริมาณความชื้น ค่าความชื้นของขยะมูลฝอยโดยทั่วไปแสดงในรูปของ ปริมาณความชื้นในขยะมูลฝอยต่อมวล โดยมีค่าความชื้นประมาณ 15-40% ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและฤดูกาล ปริมาณความชื้นของส่วนประกอบของขยะมูลฝอยแสดงไว้ในตารางที่ 2.4

ความหนาแน่น ความหนาแน่นของขยะมูลฝอยเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในการประเมินค่าน้ำหนักและปริมาตรของขยะมูลฝอยที่ต้องจัดการ โดยข้อมูลความหนาแน่นของขยะมูลฝอยจะเปลี่ยนแปลงตามสภาพภูมิประเทศ ฤดูกาล และระยะเวลาที่ถูกทิ้งไว้ในถังขยะ ซึ่งค่าความหนาแน่นโดยเฉลี่ยทั่วไปของขยะมูลฝอยที่มาจากแหล่งชุมชนต่าง ๆ แสดงไว้ในตารางที่ 2.5 สำหรับขยะมูลฝอยชุมชนที่ถ่ายจากรถบดอัดขยะนั้น พบว่า มักจะมีความหนาแน่นประมาณ 180 – 420 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 2.7 ชนิดและปริมาณของขยะประเภทผักผลไม้และดอกไม้จากตลาดสามย่าน

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

ที่มา : พัชรี [10]

ตารางที่ 2.8 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
ซีเมนต์ อิฐ และอื่นๆ	6-12	8
ขยะมูลฝอยรวมจากชุมชน	15-40	20

ที่มา : พัชรี [10]

ลักษณะทางชีววิทยา ขยะมูลฝอยตามแหล่งต่าง ๆ จะมีแบคทีเรียและจุลินทรีย์อื่น ๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดโรคและไม่ก่อให้เกิดโรคปนเปื้อนอยู่เสมอ อย่างไรก็ตามขยะมูลฝอยจะเป็นแหล่งเชื้อโรคหลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าขยะมูลฝอยนั้นมาจากโรงพยาบาลและศูนย์อนามัยต่าง ๆ ก็จะมีเชื้อโรคอันตรายติดมาด้วยเสมอกับมูลฝอย เช่น เชื้อฉีดยา เศษเนื้อเยื่อจากห้องผ่าตัด เป็นต้น ในขณะที่เดียวกันยังคงมีแมลงวันแมลงสาป หนู ฯลฯ มาอาศัยในกองขยะเพื่อหาอาหารและแพร่พันธุ์ สัตว์เหล่านี้ล้วนเป็นพาหะนำโรคร้ายต่าง ๆ มาสู่คน ได้แก่ อหิวาต์ ไทฟอยด์ บิด และพยาธิต่าง ๆ การจัดการ ขยะด้วยการทำให้เป็นปุ๋ยหมักนั้น

ไม่สามารถกำจัดเชื้อโรคต่าง ๆ ลงได้หมดเพราะ ตัวอย่างเช่นปุ๋ยหมักจากขยะเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี พบว่า ปุ๋ยหมักจากขยะนั้นยังคงตรวจพบเชื้อแบคทีเรียก่อโรคที่สำคัญ คือ กลุ่มทางเชื้อซาลโมเนลลาสปีชีส์ (*Salmonella* sp.) วิปริโอ คลอเรลล่า (*V.Cholerae*) วิปริโอ พาราฮีโมลีสติคัส (*V.parahaemolyticus*) และเชื้อสแตฟฟีโลคอกคัส ออเรียส (*Staphylococcus aureus*)

ตารางที่ 2.9 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 [8]

2.6 ปริมาณของขยะมูลฝอย

ปริมาณขยะจากแหล่งชุมชนแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

ปริมาณขยะที่เก็บรวบรวมได้ จากการสำรวจของงานจัดการมูลฝอยและปฏิกูลกองมาตรฐานคุณภาพสิ่งแวดล้อม สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติซึ่งได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของขยะที่เก็บรวบรวมได้ในเขตเทศบาลต่าง ๆ ทั่วประเทศ พบว่า ปริมาณของขยะที่เก็บรวบรวมจะขึ้นอยู่กับจำนวนประชากรและงบประมาณด้านการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูลเป็นสำคัญ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ[22]

ปริมาณของขยะในแหล่งกำเนิดหรือปริมาณของขยะที่มีอยู่จริง ต้องคาดคะเนปริมาณเอง เนื่องจากบางส่วนของขยะในแหล่งกำเนิดไม่มีการเก็บรวบรวมและถูกนำไปวางกองไว้ในที่โล่งหรือกำจัดในแหล่งกำเนิด จึงทำให้ปริมาณของขยะที่รวบรวมได้มีน้อยกว่าขยะที่มีอยู่จริง

- ปริมาณของขยะจากแหล่งอุตสาหกรรม ขึ้นอยู่กับประเภทและกำลังผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับปริมาณขยะที่เกิดจากแหล่งอุตสาหกรรมนั้นไม่ได้มีการรวบรวมไว้ โดยเฉพาะ แต่ได้เก็บรวบรวมไว้กับปริมาณของขยะจากแหล่งชุมชนส่งเทศบาลเพื่อการกำจัดและขยะบางส่วนถูกกำจัดโดยโรงงานเอง
- ปริมาณขยะจากแหล่งเกษตรกรรม เป็นขยะที่ไม่สามารถบอกถึงปริมาณขยะได้เนื่องจากอยู่นอกพื้นที่การเก็บรวบรวมของเทศบาลหรือสุขาภิบาล และขยะเหล่านี้จะถูกกำจัดให้หมดไป หรือนำไปใช้ประโยชน์อื่น จึงไม่สามารถที่จะรู้ถึงปริมาณของขยะจากแหล่งนี้ได้

จากการศึกษาของ JICA [19] พบว่าอัตราการผลิตมูลฝอยผันแปรไปตามชนิดของแหล่งกำเนิดขยะ กล่าวคือ จะขึ้นอยู่กับกิจกรรมนั้น ๆ ปริมาณขยะจากอาคารบ้านเรือน สำนักงาน โรงพยาบาล โรงแรม ห้างสรรพสินค้า โรงเลื่อย และตลาด มีรายละเอียดในตารางที่ 2.7 นอกจากนี้คาดคะเนไว้ด้วยว่า ในปี พ.ศ.2538 จะมีปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากชุมชนทั่วประเทศสูงถึงปริมาณ 12.58 ล้านตันต่อปี และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นระหว่างปี พ.ศ. 2537-2538 ก็พบว่าปริมาณมูลฝอยจะเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 4.5 ต่อปี โดยมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลทั่วประเทศ,กรมควบคุมมลพิษ[1]

2.7 การคาดคะเนปริมาณขยะในอนาคต

จากการคาดคะเนปริมาณของขยะที่เก็บได้จากทุกตลาดในกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2534 พบว่า จะมีปริมาณของเสียจากอาหารและจากพืชผักเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2523 ถึง 2512 เท่า และคาดคะเนไว้ด้วย ว่าปริมาณของขยะที่เก็บจากตลาดในปี พ.ศ. 2534 จะมีถึงประมาณ 2,680 ตัน/วัน

ตารางที่ 2.10 การผลิตขยะมูลฝอยตามชนิดของแหล่งกำเนิด

ชนิดของแหล่งกำเนิด	อัตราการผลิตขยะ
1. อาคารบ้านเรือน	
1.1 ที่พักอาศัย	315 กรัม/คน/วัน (1.09 ลิตร/คน/วัน)
1.2 ธุรกิจส่วนตัว	296 กรัม/คน/วัน (1.01 ลิตร/น/วัน)
2. สำนักงาน	32 กรัม/ตารางเมตร/วัน
3. โรงพยาบาล	660 กิโลกรัม/วัน
4. โรงแรม	2.8 กิโลกรัม/ห้อง/วัน
5. ห้างสรรพสินค้าขนาดใหญ่	26 กรัม/ตารางเมตร/วัน
6. โรงเรียน	315 กิโลกรัม/คน/วัน
7. ตลาด	320 กรัม/ตารางเมตร/วัน

ที่มา : JICA[19]

ตารางที่ 2.11 การคาดคะเนปริมาณของขยะจากตลาดในกรุงเทพมหานคร

รายการ	ปี พ.ศ.	
	2523	2534
ปริมาณของขยะทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดในกทม.(ตัน/วัน)	2,360	5,710
ปริมาณของขยะทั้งหมดที่เป็นเศษอาหารและพืชผักจากขยะรวม(%)	53.1	47
ปริมาณของขยะจากตลาด (ตัน/วัน)	1,160	2,680
อัตราการเพิ่ม(เทียบกับปี 2523)	1	2.12

ที่มา : JICA [19]

เพื่อผลิตแก๊สมีเทนใช้ในการหุงต้ม

2.8 ผลกระทบของขยะมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม

ผลกระทบของขยะมูลฝอยที่มีต่อสิ่งแวดล้อม เมื่อได้มีการจัดการและทำลายอย่างถูกต้อง นอกจากจะก่อให้เกิดความไม่เป็นระเบียบเรียบร้อยแล้วยังก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกมากมาย เช่น ปัญหาน้ำเสีย ดินเสีย อากาศเป็นพิษ เป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของเชื้อโรค เป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

ผลกระทบต่อดิน ขยะและสิ่งปฏิกูลที่ถูกทิ้งทับถมกันบนดินจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อดินมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของขยะและสิ่งปฏิกูล กล่าวคือ หากมีองค์ประกอบที่เป็นสารที่สลายตัวยากหรือไม่สลายตัวเลยหรือเป็นขยะพิเศษที่มีอันตราย เช่น มีโลหะหนักหรือเชื้อโรคปะปนอยู่ก็จะก่อให้เกิดมลพิษทางดินขึ้น แต่ถ้ามีองค์ประกอบของสารอินทรีย์อยู่มากก็จะช่วยทำให้ดินมีโครงสร้างและอินทรีย์วัตถุในดินมากขึ้น

ผลกระทบต่อคุณภาพน้ำ การทิ้งขยะลงในแม่น้ำลำคลองก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำอย่างมาก เพราะเป็นการเพิ่มขยะที่แขวนลอยและสารที่ละลายได้ในน้ำและจะไปลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ นอกจากนี้ยังอาจทำให้เกิดการตื่นเงินของแม่น้ำลำคลองได้อีกด้วย

ผลกระทบต่ออากาศ จากองค์ประกอบทางเคมีของขยะและสิ่งปฏิกูล ซึ่งมีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็น คาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และซัลเฟอร์ ซึ่งเป็นอากาศชั้นดีของจุลินทรีย์จะเกิดการบูดเน่าอย่างรวดเร็วในเขตร้อนชื้นเช่นในประเทศไทยเรา ทำให้เกิดแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีเทน แอมโมเนีย ซึ่งเกิดในสภาวะที่ไร้ออกซิเจนอันจะทำให้เกิดแก๊สเหม็น ก่อความรำคาญ และเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชนได้

ผลกระทบต่อมนุษย์ ขยะมูลฝอยที่บูดเน่าได้ล้วนส่งกลิ่นเหม็นรบกวนต่อมนุษย์ ในขณะที่ขยะที่มีองค์ประกอบของโลหะหนัก สารพิษ รวมทั้งเชื้อโรค ล้วนแล้วแต่ก่อให้เกิดโทษต่อมนุษย์โดยตรงถ้าหากเข้าสู่ร่างกายได้ นอกจากนี้สารอินทรีย์จากเศษอาหารยังเป็นอาหารของแมลงวันและแมลงนำโรคต่าง ๆ มาสู่มนุษย์ซึ่งเป็นผลกระทบทางอ้อมที่มีต่อมนุษย์อีกด้วย

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

ผลกระทบต่อพืช กากขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความเป็นกรดหรือด่างรุนแรง เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำอาจทำให้พืชป่าหรือพืชปลูกตายเป็นแถบ ๆ บริเวณที่ฝังกลบซึ่งมีการจัดการที่ไม่ดีได้ ขณะที่มิเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

องค์ประกอบที่สลายด้วยอากาศหรือมีสารพิษต่าง ๆ เจือปนอยู่ เช่น โลหะหนัก ขยะเหล่านี้ถูกพืชจะดูดขึ้นมาสะสมไว้ในต้นพืช พืชเหล่านั้นอาจไม่ได้รับผลกระทบเลย แต่ถ้าหากสัตว์หรือชาวบ้านกินเข้าไปอาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพอนามัยได้

ผลกระทบทางเศรษฐกิจ เมื่อมีขยะมูลฝอยจำนวนมากก็จำเป็นต้องมีการกำจัดขยะมูลฝอย ซึ่งต้องทำให้เสียงบประมาณในการกำจัด เช่น ในปี ค.ศ. 1980 กรุงเทพมหานคร ต้องตั้งงบประมาณในการกำจัดขยะถึง 330 ล้านบาท, JICA [38] นอกจากนี้ยังต้องเสียค่าใช้จ่ายในการรักษาพยาบาล เนื่องจากขยะมูลฝอยก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อยู่ใกล้เคียงกับที่ทิ้งขยะด้วย

ผลกระทบทางสังคม ขยะมูลฝอยทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและคุณภาพชีวิตของประชาชน ทำให้ชุมชนขาดความสวยงามและความเป็นระเบียบ เป็นเหตุรำคาญเนื่องจากกลิ่นเหม็นรบกวน

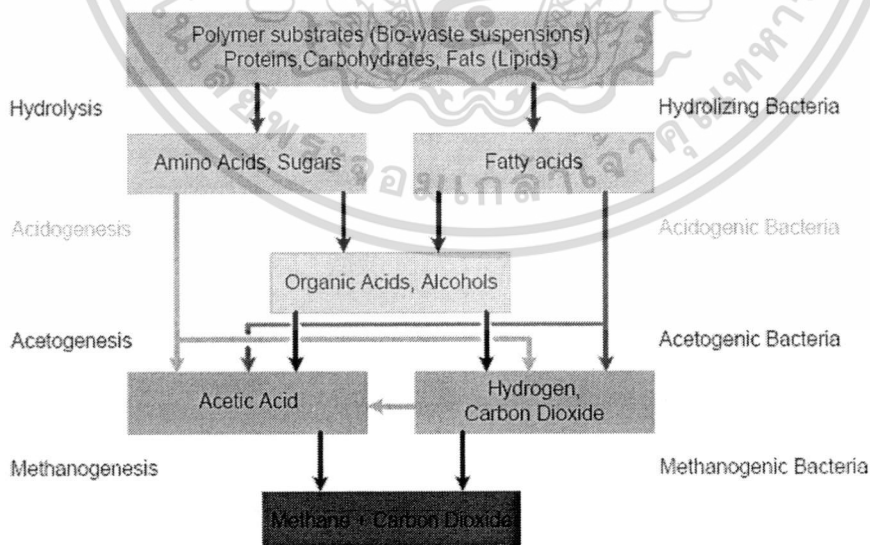
2.9 การกำจัดขยะมูลฝอย

ระบบกำจัดขยะที่ปฏิบัติกันโดยทั่วไปว่ามีอยู่ 7 วิธี ได้แก่ การย่อยสลายตามกระบวนการธรรมชาติ การสร้างโรงงานเผาขยะ การนำไปเป็นอาหารสัตว์การนำกลับไปใช้ใหม่ การนำขยะไปทิ้งไว้ตามธรรมชาติ การฝังกลบที่ถูกสุขลักษณะ และการนำไปทิ้งทะเล แต่ปัจจุบันพบว่าวิธีกำจัดขยะที่เหมาะสมกับชุมชนของประเทศไทยอยู่เพียง 3 วิธี คือการเผา การทำปุ๋ยหมัก และฝังกลบ ซึ่งประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์จะใช้วิธีฝังกลบ เนื่องจากต้นทุนในการกำจัดขยะมูลฝอยต่ำและจังหวัดใหญ่ก็นิยมใช้วิธีนี้ การทิ้งขยะไว้บนดินก่อนที่จะทำการฝังกลบหรือการหมักขยะมีปฏิกิริยาชีวเคมีที่เกิดจากการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายอินทรีย์มาเกี่ยวข้อง การเพิ่มประชากรของจุลินทรีย์อย่างรวดเร็วเมื่อมีสารอินทรีย์ที่ข่อย่ง่ายทำให้เกิดภาวะขาดออกซิเจน ผลจากการหมักในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจนนี้เองได้ก่อให้เกิดแก๊สที่มีกลิ่นเหม็น จากสถิติของกระทรวงมหาดไทยในปี 2532 ปัญหากลิ่นเหม็นนั้นมีผู้ร้องเรียนมากที่สุด คือ ร้อยละ 22.3 ของจำนวนทั้งหมด และปัญหายังครอบคลุมพื้นที่กว้างมากด้วย ซึ่งเดิมในปี 2527 มีเพียง 2 จังหวัด แต่ในปี 2532 มีถึง 22 จังหวัด (มูลนิธิโลกสีเขียว, 2535) แต่หากมีการฝังกลบขยะมูลฝอยอย่างถูกสุขลักษณะแล้วจะไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม รวมทั้งเหตุรำคาญอื่น ๆ เช่น กลิ่น ควัน ฝุ่นละออง การปลิวของพลาสติกและอื่น ๆ เนื่องจากการฝังกลบอย่างถูกสุขลักษณะเป็นวิธีการทางวิศวกรรมที่ใช้ในการกำจัดขยะมูลฝอยที่พื้นดินอย่างถูกต้องตามหลักสุขาภิบาลด้วยการเทขยะมูลฝอยลงไป เกลี่ยให้กระจาย แล้วใช้ดินหรือวัสดุอย่างอื่นที่มีดินปนอยู่อย่างน้อย 50 เปอร์เซ็นต์ กลบแล้วบดทับให้แน่นอีกครั้งหนึ่ง จึงไม่ก่อให้เกิดเหตุรำคาญและอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมดังนั้นในที่นี้จึงขอกกล่าวถึงปฏิกิริยาทางเคมีและชีวเคมีที่เกิดจากการหมักขยะ โดยวิธีการฝังกลบซึ่งอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจน ดังอธิบายได้ดังต่อไปนี้

2.10 ทฤษฎีแก๊สชีวภาพ (Biogas)

แก๊สชีวภาพ (Biogas) เป็นแก๊สที่เกิดจากการย่อยแบบแอนแอโรบิก แก๊สมีเทน (Methane) ซึ่งเป็นแก๊สที่มีประโยชน์ทางเศรษฐกิจและสามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับการเผาไหม้ แก๊สมีเทนบริสุทธิ์ให้ค่าความร้อนประมาณ $35,800 \text{ kJ/m}^3$ แก๊สชีวภาพ (Biogas) ที่มีสัดส่วนแก๊สมีเทน 65% ให้ค่าความร้อนประมาณ $22,400 \text{ kJ/m}^3$ ปริมาณความร้อนของแก๊สชีวภาพขึ้นอยู่กับปริมาณของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) หรือระดับความบริสุทธิ์ของแก๊สชีวภาพ แก๊สธรรมชาติที่ส่วนผสมของแก๊ส Methane, Propane และ Butane ให้ค่าความร้อนประมาณ $37,300 \text{ kJ/m}^3$ (Metcalf & Eddy, 2003)

ในถังย่อยแอนแอโรบิก (Anaerobic digester) มีแก๊สอินทรีย์เกิดขึ้นจำนวนมากขึ้นอยู่กับลักษณะน้ำเสียที่ป้อนเข้าระบบ ขั้นตอนการเกิดแก๊สชีวภาพจากสารโมเลกุลใหญ่แสดงในรูปที่ 2.1 โดยส่วนใหญ่จะเป็นแก๊สมีเทน (CH_4) ประมาณ 60-65% และ CO_2 ประมาณ 35-38% ส่วนที่เหลือประมาณ 2% จะเป็นแก๊สอื่นๆ ซึ่งได้แก่ NH_3 , CO , CS_2 , N_2 , N_2O , H_2 และ H_2S สัดส่วนของแก๊สขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ ในขณะเดินระบบ ได้แก่ อุณหภูมิ, องค์ประกอบของน้ำเสีย, pH, alkalinity, Hydraulic Retention Time (HRT), Solid Retention Time (SRT), สารพิษ, Nutrient & Trace element (Metcalf & Eddy, 2003; Gerardi, M. H., 2003)



รูปที่ 2.1 รูปแสดงขั้นตอนการเกิดแก๊สมีเทนเริ่มต้นจากสารประกอบ โมเลกุลใหญ่: ปฏิกรณ์ [6]

ในกรณีเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดินระบบ จะส่งผลให้ระบบย่อยแอนแอโรบิกผลิตแก๊สสารประกอบอินทรีย์ (Organic Compound) (ดูตารางที่ 2.12) ซึ่งประกอบด้วยแก๊สมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound, VOC) VOC ประกอบด้วย กรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) สารประกอบไนโตรเจนและสารประกอบซัลเฟอร์ (Volatile Sulfur Compound, VSC) สาร VSC เกิดจากการย่อยสารประกอบโปรตีน (Gerardi, M. H., 2003)

การเกิดแก๊สมีเทนขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของน้ำ ที่ สภาวะมาตรฐาน (ความดันบรรยากาศ 1 atm และ 0°C) ระบบแอนแอโรบิกสามารถเปลี่ยนสารประกอบในรูป COD ไปเป็น CH₄ เท่ากับ 0.35L CH₄/ g COD (COD ของมีเทนคือปริมาณออกซิเจนที่ใช้สำหรับออกซิไดซ์มีเทนไปเป็นแก๊สคาร์บอน ไดออกไซด์และน้ำ) ดังสมการที่ 1



จากสมการที่ 1 COD ต่อโมลของมีเทนคือ $2(32 \text{ g O}_2/\text{mole}) = 64 \text{ g O}_2/\text{mole CH}_4$ ที่สภาวะมาตรฐาน แก๊สมีเทนมีปริมาตรต่อหน่วยโมล 22.414 L สมมูลของการเปลี่ยน COD เป็นแก๊สมีเทนเท่ากับ $22.414/64 = 0.35 \text{ L CH}_4/\text{g COD}$ เราสามารถคำนวณปริมาตรของแก๊สมีเทนที่อุณหภูมิต่างๆ ได้จากสมการที่ 2

$$V = \frac{nRT}{P} \quad (2)$$

โดยที่ $V =$ volume of gas, L

$N =$ mole of gas, mole

$R =$ universal gas law constant, 0.082057 atm. L/mole.K

$T =$ temperature, K (273.15 + °C)

$P =$ absolute pressure, atm

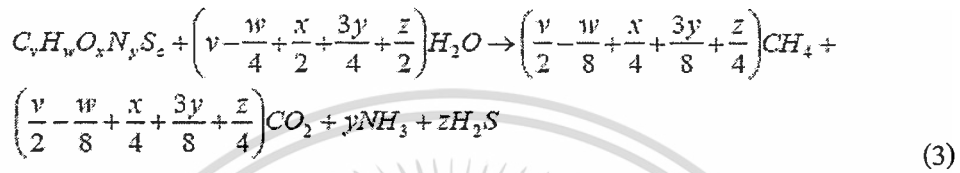
ดังนั้น ที่อุณหภูมิเดินระบบแอนแอโรบิก 35 °C

$$V = \frac{(1\text{mole})(0.082057\text{ atm}\cdot\text{L}/\text{mole}\cdot\text{K})((273.15 + 35)\text{K})}{1.0\text{ atm}} \\ = 25.29\text{ L}$$

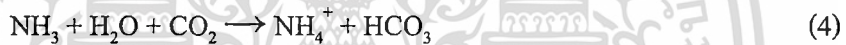
จากสมการที่ 1 จะได้ $\text{CH}_4 = (25.29 \text{ L})/(64 \text{ g COD}/\text{mole CH}_4)$

$$= 0.40 \text{ L CH}_4/\text{g COD}$$

แก๊สชีวภาพมีแก๊สมีเทนเป็นองค์ประกอบประมาณ 65% ดังนั้นปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นทั้งหมดเท่ากับ $(0.40 \text{ L CH}_4/\text{g COD})/0.65 = 0.62 \text{ L biogas/g COD}$ โดยถ้าในกรณีที่ทราบโครงสร้างทางเคมีของน้ำเสีย สามารถคำนวณปริมาณแก๊ส CH_4 , CO_2 , NH_3 และ H_2S ได้จากสมการที่ 3 โดยที่ไม่รวมธาตุอื่นๆ ที่ใช้สำหรับการสังเคราะห์เซลล์ (Metcalf & Eddy, 2003)



NH_3 ที่เกิดขึ้นดังกล่าว จะเข้าทำปฏิกิริยากับ CO_2 และเปลี่ยนไปเป็น NH_4^+ และ HCO_3^- ดังสมการที่ 4



และสามารถคำนวณสัดส่วน โมลของแก๊ส CH_4 , CO_2 และ H_2S ได้จากสมการที่ 5-7

$$f_{CH_4} = \frac{4v + w - 2x - 5y - 2z}{8(v - y + z)} \quad (5)$$

$$f_{CO_2} = \frac{4v + w + 2x - 5y + 2z}{8(v - y + z)} \quad (6)$$

$$f_{H_2S} = \frac{z}{8(v - y + z)} \quad (7)$$

ตารางที่ 2.12 Organic gases produced through microbial activity in anaerobic digesters

Name	Formula	VFA	VSC
Acetate	CH_3COOH	x	
Butyrate	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_2\text{CH}_2\text{COOH}$	x	
Caproic acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_4\text{CH}_2\text{COOH}$	x	
Formate	HCOOH	x	
Propionate	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$	x	
Succinate	$\text{CH}_2\text{CHOHCOOH}$	x	
Valeric acid	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{CH}_2\text{COOH}$	x	
Methane	CH_4		
Dimethylamine	CH_3NHCH_3		
Ethylamine	$\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$		
Methylamine	CH_3NH_2		
Propylamine	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$		
Pyridine	$\text{C}_5\text{H}_6\text{N}$		
Trimethylamine	$\text{CH}_3\text{NCH}_3\text{CH}_3$		
Allyl mercaptan	$\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{SH}$		x
Benzyl mercaptan	$\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{SH}$		x
Dimethyl sulfide	$(\text{CH}_3)_2\text{S}$		x
Ethyl mercaptan	$\text{C}_2\text{H}_5\text{SH}$		x
Methyl mercaptan	CH_3SH		x
Thiocresol	$\text{CH}_3\text{C}_6\text{H}_4\text{SH}$		x
Thioglycolic acid	HSCH_2COOH		x

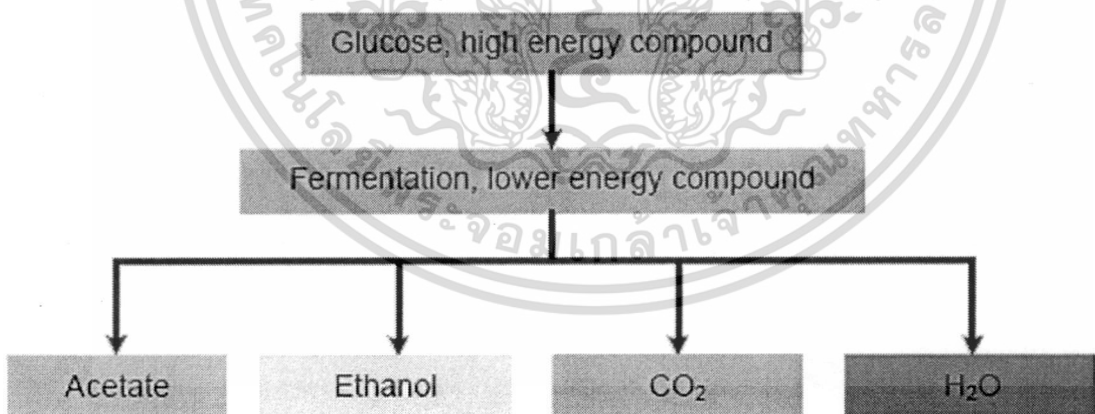
ที่มา : ปฏิกรณ์ [6]

2.11 ลักษณะสมบัติน้ำเสีย (Wastewater characteristics)

น้ำเสียที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดแบบแอนแอโรบิกเพื่อผลิตแก๊สชีวภาพควรมีค่า COD มากกว่า 1,500 mg/L และอุณหภูมิสูง (25-35°C) ถ้าน้ำเสียมีค่า COD ต่ำกว่า 1,500 mg/L การเลือกใช้ระบบที่ใช้ออกซิเจนจะมีความเหมาะสมมากกว่า (Metcalf & Eddy, 2003) โดยทั่วไปน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจะมีค่า COD สูงซึ่งสามารถที่จะนำระบบแอนแอโรบิกมาใช้ได้เป็นอย่างดี น้ำเสียจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีค่า COD ประมาณ 12,000-35,000 mg/L (Annachhatre, A. P. and Amatya, P. L., 2000; Plevin, R. and Donnelly, D., 2004)

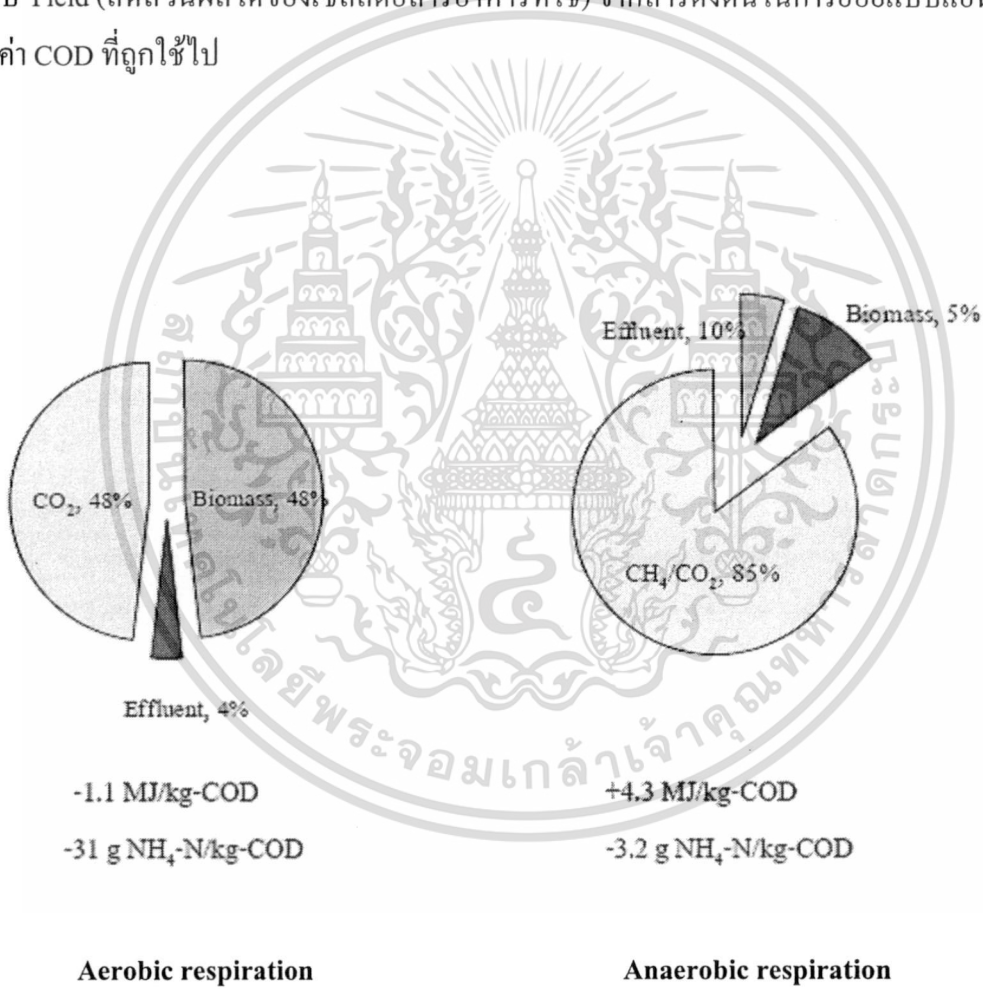
2.12 การหายใจของจุลชีพ (Microbial Respiration)

การหายใจเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ของแบคทีเรีย เมื่อสารอาหารถูกย่อยสลายในเซลล์จะได้พลังงานจากอิเล็กตรอนที่ปลดปล่อยออกมาจากการทำลายพันธะสารโมเลกุลใหญ่ที่มีพลังงานสูง (ดูรูปที่ 2.2) อิเล็กตรอนจะถูกส่งไปยังตัวรับอิเล็กตรอนตัวอื่นๆหลายขั้นตอน ส่วนหนึ่งจะนำไปสร้าง Adenosine Triphosphate (ATP) เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเติบโตและรักษาเซลล์และอีกส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปในรูปของความร้อนในสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 2.2 การย่อยสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่จะได้ผลผลิตเป็นสารอินทรีย์ที่มีพลังงานน้อยลง: ปฏิกรณ์ [6]

การหายใจโดยใช้ O_2 เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้ายเรียกว่า Aerobic respiration จะได้พลังงานในรูป ATP มากที่สุด (36 ATP จากกลูโคส 1 โมล) (สารโรจน์ ศิริสันสนียกุล และ ประวิทย์ วงศ์คงคาเทพ, 2538) แบคทีเรียจะใช้พลังงานส่วนหนึ่งสำหรับการสร้างหรือการเติบโตของเซลล์ เมื่อเปรียบเทียบในรูปของค่า COD ที่ถูกใช้ไป พบว่าประมาณ 48-50% จะนำไปสร้างเป็นเซลล์ แต่การหายใจโดยไม่ใช้ O_2 (Anaerobic respiration) จะได้พลังงานต่ำ (2 ATP จากกลูโคส 1 โมล) และมีการสร้างเซลล์ประมาณ 5-10% และเปลี่ยนไปเป็นแก๊สชีวภาพประมาณ 85-90% (Kleerebezem, R and Macarie, H., 2003; Gerardi, M. H., 2003) (ดูรูปที่ 2.3) ลำดับพลังงานตัวรับอิเล็กตรอนสุดท้ายดังแสดงในตารางที่ 2.13 และตารางที่ 2.14 เปรียบเทียบ Yield (สัดส่วนผลได้ของเซลล์ต่อสารอาหารที่ใช้) จากสารตั้งต้นในการย่อยแบบแอนแอโรบิก ในรูปของค่า COD ที่ถูกใช้ไป



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสารอินทรีย์ ในรูป COD

ในการหายใจแบบ Aerobic และ Anaerobic : ปฏิกรณ์ [6]

ตารางที่ 2.13 Final electron carrier molecule, energy yield and cell (sludge) production: Visser A. [16]

Final Electron Carrier Molecule	From of Respiration	Energy Yield Rank	g of Cell Produce/ g of COD degrade
O ₂	Aerobic or oxic	1	0.4-0.6
NO ₃ ⁻	Anaerobic or anoxic	2	~0.4
SO ₄ ²⁻	Anaerobic: sulfate reduction	3	0.04-0.1
Organic Molecule	Anaerobic: mixed acid and alcohol	4	0.04-0.1
CO ₂	Anaerobic: methane production	5	0.02-0.04

ตารางที่ 2.14 Growth yields (as % of COD removed) : Visser A. [16]

Substrate (waste)	Yield
Alcohol	0.06-0.08
Carbohydrates	0.08-0.15
Organic acids	0.02-0.04
Proteins	0.03-0.06

2.13 จุลชีววิทยาของถังย่อยแอนแอโรบิก (Microbiology of Anaerobic digester)

ในระบบย่อยแบบแอนแอโรบิก จะมีกลุ่มแบคทีเรียที่ไม่ใช่กลุ่มแบคทีเรียสำหรับสร้างแก๊สมีเทน ซึ่งเป็นส่วนการย่อยสลายสารโมเลกุลและการหมัก (Fermentation) ซึ่งจะได้สารตั้งต้นสำหรับผลิตแก๊สมีเทน แบคทีเรียที่มีหน้าที่สร้างแก๊สมีเทน (Methane-Forming Bacteria) เป็นแบคทีเรียชนิดแอนแอโรบิกแท้ (Strict obligate anaerobe) รูปที่ 2.4 แสดงขั้นตอนการสร้างแก๊สมีเทน โดยมีกลูโคสเป็นสารตั้งต้น และแบคทีเรียซึ่งทำหน้าที่สร้างแก๊สมีเทนสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่มดังนี้

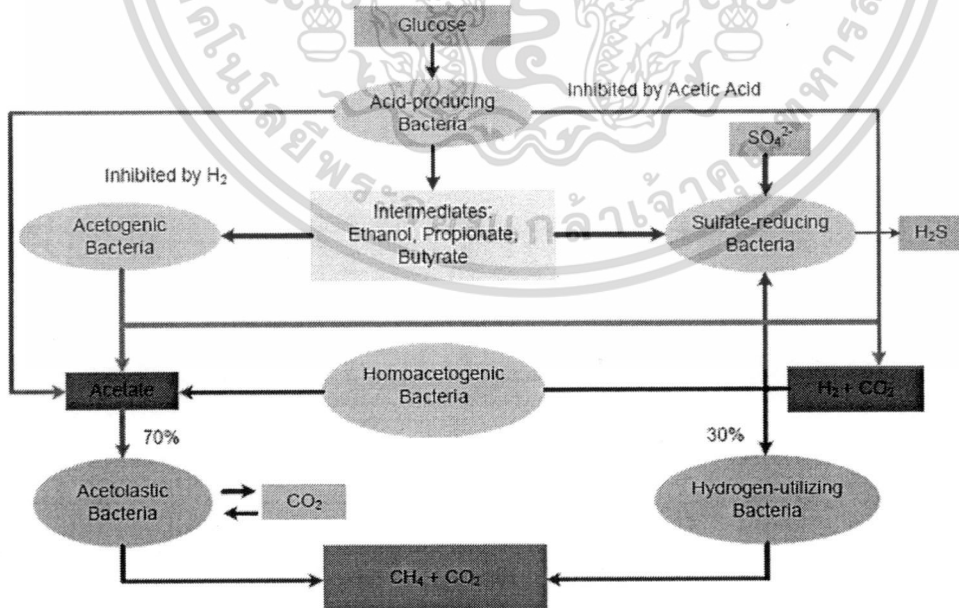
กลุ่มที่ 1 Hydrogenotrophic Methanogens แบคทีเรียกลุ่มนี้เปลี่ยน CO_2 เป็น CH_4 และแบคทีเรียกลุ่มนี้ช่วยรักษาความดันของของแก๊สไฮโดรเจนให้มีค่าต่ำในถังย่อยแอนแอโรบิก ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้กรดอะซิติกสร้างแก๊สมีเทน ดังสมการที่ 8



กลุ่มที่ 2 Acetotrophic Methanogens แบคทีเรียกลุ่มนี้เปลี่ยนกรดอะซิติกเป็น CH_4 และ CO_2 ซึ่งกรดอะซิติกจะถูกเปลี่ยนไปเป็น CH_4 โดยอาศัยแบคทีเรียกลุ่มที่ 1 บางชนิดยังสามารถใช้ CO เพื่อสร้างมีเทนได้ด้วย ดังสมการที่ 9 และ 10



กลุ่มที่ 3 Methylotrophic Methanogens แบคทีเรียกลุ่มนี้ใช้สารที่มี Methyl group (CH_3) เป็นสารตั้งต้นสำหรับการผลิต CH_4 ได้แก่ Methanol และ Methylamine $[(\text{CH}_3)_3\text{-N}]$ ดังสมการที่ 11 และ 12



รูปที่ 2.4 รูปแสดงกลุ่มแบคทีเรียที่ใช้กลูโคสเป็นสารตั้งต้นสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพ: ปฏิกรณ์ [6]

2.14 จุลชีววิทยาและชีวเคมีของกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ

กระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic Digestion) หมายถึงการเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำเสียหรือในสลัดจ์ให้กลายเป็นแก๊สมีเทน โดยทั่วไปเมื่อกล่าวถึงการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ มักหมายถึงการย่อยแบบไม่ใช้อากาศนั่นเองแก๊สมีเทนเป็นผลผลิตของกระบวนการไม่ใช้อากาศนี้เสมอ

กระบวนการไม่ใช้อากาศเกิดขึ้น 4 ขั้นตอนตามลำดับ ดังนี้

- ไฮโดรไลซิส
- การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)
- การสร้างอะซิเตท (Acetogenesis)
- การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นตอนทั้ง 4 ต้องอาศัยแบคทีเรีย 3 ประเภท ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid : VFA) แบคทีเรียสร้างอะซิเตท และแบคทีเรียสร้างมีเทน

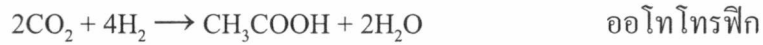
2.15 ประเภทของแบคทีเรียในกระบวนการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ

1. แบคทีเรียสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenic Bacteria) ในขั้นตอนการสร้างกรดไขมันระเหยของกระบวนการไม่ใช้อากาศ กรดจะผลิตขึ้นโดยแบคทีเรียไม่ใช้อากาศชนิดเค็ดขาด (Obligate Anaerobes) มากกว่าชนิด Facultative ทั้งนี้เพราะแบคทีเรียชนิดเค็ดขาดมีจำนวนมากกว่าแบคทีเรียไม่ใช้อากาศชนิดเค็ดขาดที่มีบทบาทในการสร้างกรดไขมันระเหย ก็คือกลุ่ม Clostridium ซึ่งมีเมตาบอลิซึมหลายแบบ จึงสามารถใช้สารอาหารทั้งที่เป็นพวกแป้งหรือโปรตีนได้ ผลปฏิกิริยาที่ได้มีหลากหลายชนิดเช่น กรดบิวทริก กรดอะซิติก แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ แก๊สไฮโดรเจน เอทานอล บิวทานอล อะซิโตน เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีแบคทีเรียในกลุ่ม Propionibacterium ที่ผลิตกรดพรอปิโอนิก (Propionic Acid) และกรดอะซิติกจากกรดแลคติก

2. แบคทีเรียสร้างกรดอะซิติก (Acetogenic Bacteria) เมื่อผลผลิตจากแบคทีเรียสร้างกรดมีหลายชนิดดังที่กล่าวข้างต้น และบางชนิดยังเป็นสารโมเลกุลใหญ่ที่แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้เป็นสารอาหารได้จึงต้องมีการเปลี่ยนสารเหล่านั้นให้กลายเป็นสารอาหารอย่างง่ายสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทนเพื่อให้สามารถดูดซึมเข้าไปใช้ได้ ในเซลล์ แบคทีเรียที่ย่อยกรดไขมันระเหยโมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ได้นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แบคทีเรียผลิตอะซิเตทอย่างเดี่ยว (*Homoacetogenic Bacteria*) แบคทีเรียชนิดนี้เป็นแบคทีเรียที่ใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและผลิตกรดอะซิติกขึ้นมาผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Acetyl-CoA ตัวอย่างแบคทีเรียชนิดนี้ ได้แก่ *Acetobacterium woodii* และ *Clostridium aceticum* สามารถเจริญเติบโตทั้งในแบบออโทโทรฟิกคือใช้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารรับอิเล็กตรอนและแหล่งคาร์บอนและใช้แก๊สไฮโดรเจนเป็นสารให้อิเล็กตรอนเพื่อเปลี่ยนคาร์บอนไดออกไซด์เป็นกรดอะซิติก



อีกทั้งเจริญเติบโตในแบบเฮเทอโรโทรฟิก (*Heterotrophic*) ก็ได้ โดยการหมักน้ำตาล



แบคทีเรียที่อยู่ในจีนัส แบคทีเรียกลุ่มนี้จะมีเมตาบอลิซึมหลายแบบดังแสดงใน ตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียบางกลุ่มในจีนัส: ดร. มั่นสิน[1]

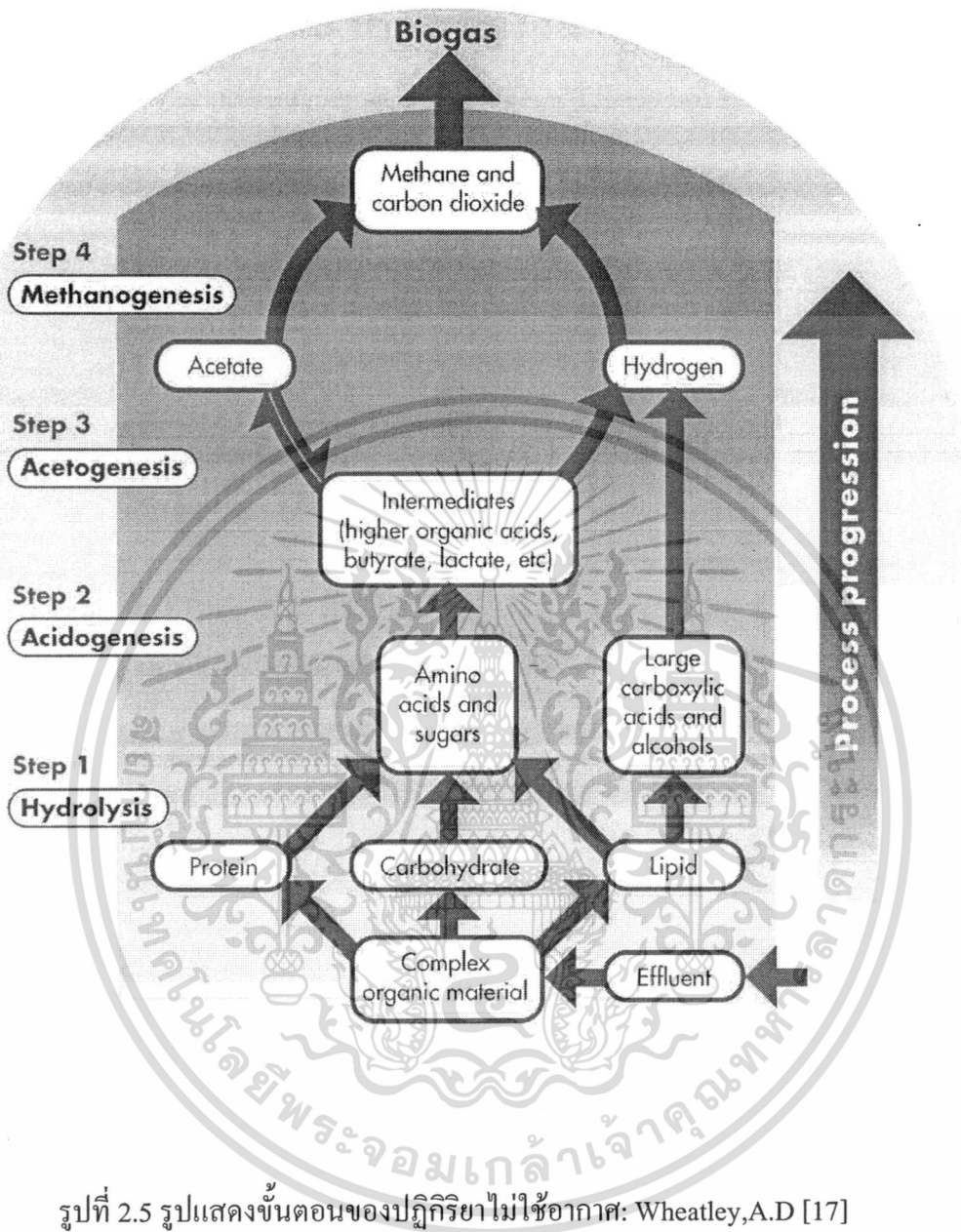
ลักษณะสำคัญ	ผลผลิตและลักษณะอื่น	ชนิด
1. ย่อยคาร์บอนไฮเดรท		
ย่อยเซลลูโลสได้	อะซิเตท, แลกเตท, ซัลไฟเนท, ไฮโดรเจน, เอทานอล, คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. cellobioparum</i> <i>C. thermocellum</i>
ย่อยน้ำตาล, แป้ง และ เปกติน (<i>pectin</i>) ได้	ผลผลิตคือ อะเซโทท, บิวทานอล, เอทานอล, ไอโซพรอทินอล,	<i>C. butyricum</i> <i>C. acetobutylicum</i>
บางชนิดตรึง	บิวไทเรต, อะซิเตท, พรอพิโอนเนท,	<i>C. pasteurianum</i>
ไนโตรเจนได้	ซัลไฟเนท, ไฮโดรเจน, คาร์บอนไดออกไซด์	<i>C. perfringens</i> <i>C. thermosulfurogenes</i>

ตารางที่ 2.15 ลักษณะสมบัติของแบคทีเรียบางกลุ่มในจีนัส: คร. มั่นสิน[1] (ต่อ)

ลักษณะสำคัญ	ผลผลิตและลักษณะอื่น	ชนิด
ย่อยน้ำตาลให้เป็นกรดอะซิติกได้	ผลิตอะซิเตทจากคาร์บอนไดออกไซด์	C. acetium
		C. thermoacetium
		C. formicoacetium
ย่อยเฉพาะ pentoses หรือ methylpentoses ได้	ผลผลิตคือ อะซิเตท, พรอพิโอนัท, n- บิวทานอล, ไฮโดรเจน, คาร์บอนไดออกไซด์	C. methylpentosum
2. ย่อยโปรตีนและกรดอะมิโนได้	ผลผลิตคือ อะซิเตท, กรดไขมันระเหยง่าย, แอมโมเนีย, คาร์บอนไดออกไซด์, อาจให้ไฮโดรเจน	C. sporogenes
		C. tetani
		C. botulinum
อาจย่อยน้ำตาลได้	ผลผลิตคือ บิวทานอลและอะซิเตท อาจผลิตเอกโซทอกซิน (exotoxins)	C. tetanomorphum
ย่อยสารประกอบที่มีคาร์บอน 3 อะตอม	พรอพิโอนัท, อะซิเตทและ คาร์บอนไดออกไซด์	C. propionicum
		C. bifermentans
3. ย่อยคาร์บอนไฮเดรทหรือกรดอะมิโนได้	อะซิเตท, ฟอร์มัท, มีไอโซบิวทานอล และ ไอโซวาเลอเรท (isovalerate) เล็กน้อย	C. bifermentans
		C. acidurici
4. ย่อยพิวรีน (Purine) ได้	อะซิเตท, purines, forming acetate, คาร์บอนไดออกไซด์, แอมโมเนีย	C. acidurici
5. ย่อยเอทานอลให้เป็นกรดไขมันได้	ใช้อะซิเตทเป็นสารรับอิเล็กตรอน	C. kluyveri

2. แบคทีเรียสร้างอะซิเตทที่ผลิตไฮโดรเจนได้ (*H₂-Producing Acetogenic Bacteria*) แบคทีเรียชนิดนี้จะใช้กรดไขมันระเหย (ที่ไม่ใช่กรดอะซิติก) หรือแอลกอฮอล์เป็นสารอาหาร แล้วสร้างกรดอะซิติกและแก๊สไฮโดรเจนซึ่งเป็นสารอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทนขึ้นมา ดังนั้นแบคทีเรียชนิดนี้จึงมีบทบาทสำคัญ เพราะเป็นตัวเชื่อมระหว่างแบคทีเรียสร้างกรดกับแบคทีเรียสร้างมีเทน อย่างไรก็ตาม แบคทีเรียชนิดนี้จะไม่เจริญเติบโตเมื่ออยู่ตามลำพัง ทั้งนี้เพราะเมื่อมีการสะสมของแก๊สไฮโดรเจนที่ผลิตขึ้นมา (ทำให้มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง) ปฏิกิริยาสร้างกรดอะซิติกจะไม่สามารถเกิดขึ้นได้ เนื่องจากแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกหยุดการเจริญเติบโต ดังนั้น จะต้องมีการกำจัดไฮโดรเจนก่อนแบคทีเรียสร้างกรดอะซิติกจึงจะเจริญเติบโตได้ แบคทีเรียสร้างมีเทนจึงเข้ามามีบทบาทในตรงนี้เพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถบริโภคไฮโดรเจนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 รูปแสดงขั้นตอนของปฏิกิริยาไม่ใช้อากาศ: Wheatley,A.D [17]

3. แบคทีเรียสร้างมีเทนแบคทีเรียสร้างมีเทนเป็นแบคทีเรียไม่ใช้อากาศ ไม่อาจทนต่อออกซิเจนได้ แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย จัดอยู่ในกลุ่มของแบคทีเรียชนิดเคโมเฮเทโรโทรฟ ดำรงชีวิตอยู่และเจริญเติบโต โดยได้รับพลังงานจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ประมาณ 10 ชนิดเท่านั้น สารอาหารชนิดอื่นนอกเหนือจากนี้ ไม่ว่าจะเป็นกรดไขมันระเหย เช่น บิวทิริก หรือพรอพิโอนิก ซึ่งปกติเป็นสารอาหารของแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำไปใช้ได้

ตารางที่ 2.16 สารอาหารที่แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ได้: ดร. มั่นสิน[1]

สับสเตรทประเภทคาร์บอนไดออกไซด์	
คาร์บอนไดออกไซด์	
$\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}; \Delta G^{0'} = -131 \text{ kJ/reaction}$	
ฟอร์มेट, HCOO^-	
$4\text{HCOO}^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}; \Delta G^{0'} = -145 \text{ kJ/reaction}$	
คาร์บอนมอนอกไซด์, CO	
$4\text{CO} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2; \Delta G^{0'} = -210 \text{ kJ/reaction}$	
สับสเตรทประเภทเมทิล	
Methanol, CH_3OH	
$4\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}; \Delta G^{0'} = -319 \text{ kJ/reaction}$	
Methylamine, CH_3NH_2	
$4\text{CH}_3\text{NH}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 4\text{NH}_3; \Delta G^{0'} = -230 \text{ kJ/reaction}$	
Dimethylamine, $(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+$	
$(\text{CH}_3)_2\text{NH}_2^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{NH}_3; \Delta G^{0'} = -230$	
Trimethylamine, $(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+$	
$4(\text{CH}_3)_3\text{NH}^+ + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 9\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 4\text{NH}_3; \Delta G^{0'} = -666$	
Methylmercaptan, CH_3SH	
Dimethylsulfide, $(\text{CH}_3)_2\text{S}$	
อะซิเตต	
Acetate, CH_3COO^-	
$\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2; \Delta G^{0'} = -31 \text{ kJ/reaction}$	

2.16 กลไกการสร้างมีเทน

ในกระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศที่ไม่มีไนโตรเจนอยู่ด้วยจะมีแบคทีเรียอาศัยอยู่ในระบบร่วมกัน 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่ แบคทีเรียสร้างกรด แบคทีเรียสร้างมีเทน และแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต สาเหตุที่ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศมีแบคทีเรียหลายกลุ่มอาศัยอยู่ร่วมกันเป็นเพราะแบคทีเรียสร้างมีเทนและแบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟตใช้สารอาหารได้จำกัดชนิด ซึ่งมักเป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็ก ทำให้แบคทีเรียสร้างกรดใช้สารอินทรีย์ได้ก่อนและเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้เป็นกรดอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลเล็กลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อจากนั้นแบคทีเรียรีดิคูลอส-ซัลเฟตและแบคทีเรียสร้างมีเทนจึงใช้กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นนั้นต่อไป โดยสารอินทรีย์ที่เข้าสู่กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ จะถูกย่อยสลายผ่านขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 "ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)"

ไฮโดรไลซิสเป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีนและไขมัน ให้กลายเป็นสารประกอบโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาล กรดอะมิโน และกรดไขมันชนิดยาวตามลำดับ ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้ ภายนอกเซลล์แบคทีเรียโดยอาศัยเอนไซม์ที่แบคทีเรียปล่อยออกมาใช้ในการย่อย สลายดังกล่าว

ขั้นตอนที่ 2 "การสร้างกรดไขมันระเหย (Acidogenesis)"

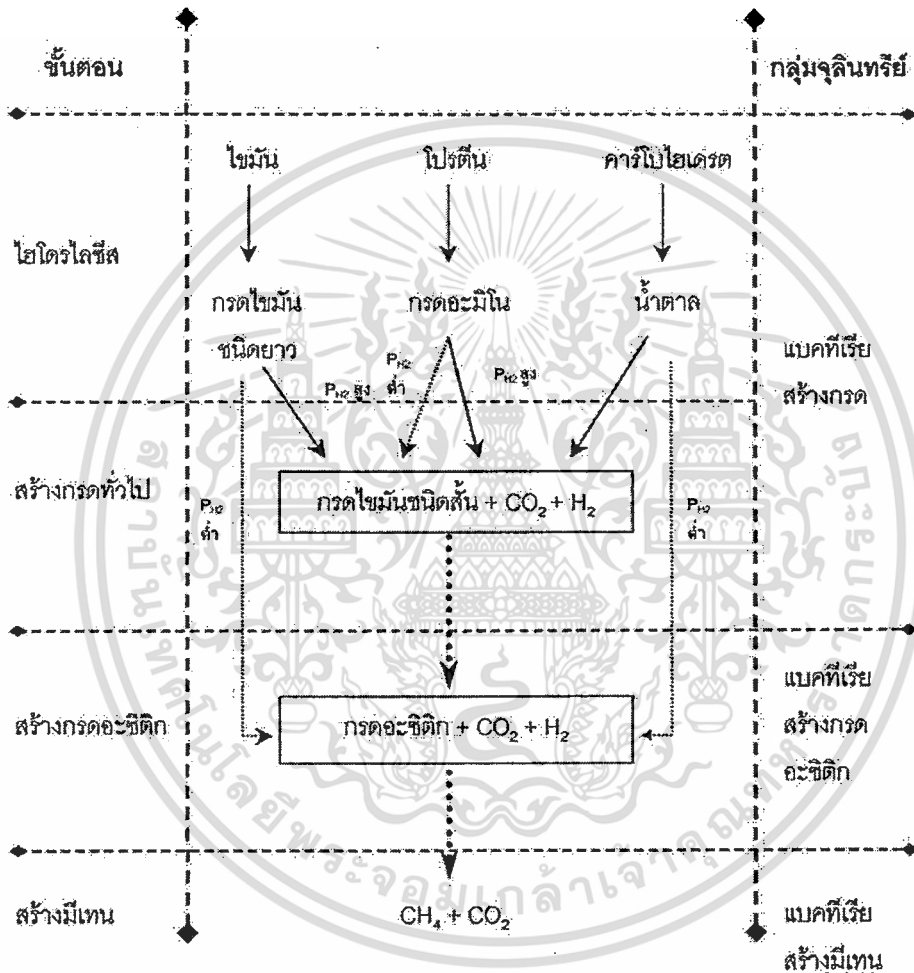
ผลผลิตของขั้นตอนที่ 1 จะถูกแบคทีเรียสร้างกรดดูดซึมเข้าไปภายในเซลล์ เพื่อไปใช้เป็นอาหาร และถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid) เช่น กรดอะซิติก กรดบิวไทริก กรดพรอพิโอนิก เป็นต้น และผลิตไฮโดรเจนกับ คาร์บอนไดออกไซด์ออกมาด้วยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นในระหว่างการย่อยสลายสารประกอบโมเลกุลเล็กและชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการ คือ ชนิดของสับสเตรท และความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นยกตัวอย่างเช่น กรดไขมันชนิดยาวจะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะที่ความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่จะย่อยสลายกลายเป็นกรดบิวไทริกและกรดพรอพิโอนิก เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง น้ำตาลถูกย่อยสลายเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์โดยผ่านวิถี Embden-Meyerhof ภายใต้สภาวะที่มีความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำ แต่ถ้าไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูงผลผลิตที่ได้คือ กรดอะซิติก กรดพรอพิโอนิก กรดบิวไทริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

ขั้นตอนที่ 3 "การสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหยอื่นๆ (Acetogenesis)"

แบคทีเรียอะเซโตจีนิค (แบคทีเรียสร้างอะซิเตท) มีบทบาทสำคัญในการเป็นตัวเชื่อมระหว่างขั้นตอนการสร้างกรดและขั้นตอนการสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นต้องการสับสเตรทเฉพาะเจาะจงมาก ได้แก่ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก ไฮโดรเจน เมทานอล และเมทิลามีน (Methylamine) กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมไม่อาจใช้เป็นสับสเตรทในการผลิตมีเทนได้โดยตรงแบคทีเรียอะเซโตจีนิค (ที่ผลิตไฮโดรเจนได้ด้วย) มีความสามารถในการย่อยสลายกรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอมให้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลายเป็นคาร์บอน ไดออกไซด์กรดอะซิติก และไฮโดรเจนภายใต้สภาวะที่ไฮโดรเจนมีความดันพาร์เซียลต่ำกว่า 2×10^{-3} บรรยากาศ และต่ำกว่า 9×10^{-3} บรรยากาศ สำหรับการย่อยสลายกรดบิว ไทริกและกรดพรอพิอ นิก ตามลำดับ

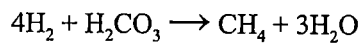
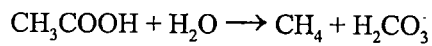


รูปที่ 2.6 รูปแสดงขั้นตอนการย่อยสลายไขมัน โปรตีน และคาร์โบไฮเดรต แบบไม่ใช้อากาศ

ที่มา: ดร. มั่นสิน[2]

ขั้นตอนที่ 4 "การสร้างมีเทน"

กรดอะซิติกและไฮโดรเจนจะถูกแบคทีเรียใช้สร้างแก๊สมีเทนภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศอย่างเด็ดขาด



กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม ไม่สามารถถูกเปลี่ยนเป็นมีเทนได้โดยตรง แบคทีเรียจะต้องเปลี่ยนกรดไขมันระเหยต่างๆ ให้เป็นกรดอะซิติก หรือไฮโดรเจนเสียก่อนจึงจะใช้ผลิตมีเทนได้ นอกจากนี้กรดอะซิติกและไฮโดรเจนแล้ว แบคทีเรียอาจใช้สับสเตรตอย่างง่ายอีกเพียงไม่กี่ชนิดในการผลิตมีเทน เช่น เมทานอล, กรดฟอร์มิก (HCOOH)



บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานและอุปกรณ์การวิจัย

อุปกรณ์และการเตรียมการก่อนการทำหมักแก๊ส

3.1 อุปกรณ์การหาปริมาณเศษอาหารในโรงอาหาร

3.1.1 ถังสำหรับบรรจุเศษอาหาร โดยใช้ถังพลาสติกที่มีปริมาตรความจุประมาณ 0.3 ลบ.ม. กิโลกรัม โดยได้ทำการตรวจสอบแล้วว่าไม่มีการรั่วซึม โดยเศษอาหารทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองจะใช้ถังใบเดิมเพื่อป้องกันค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

3.1.2 ตะแกรงสำหรับคัดแยกขยะ เนื่องจากขยะเศษอาหารที่นำมาจากโรงอาหารนั้น มีเศษขยะและเปลือกของอาหาร รวมทั้งกระดูกสัตว์ ที่จุลินทรีย์ไม่สามารถทำการย่อยได้เป็นจำนวนมาก ก่อนทำการหาปริมาณเศษอาหารที่ทำการบรรจุลงเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ จึงนำเศษอาหารที่ได้มาผ่านตะแกรงเหล็ก เพื่อให้เศษอาหารที่ได้มีขนาดเล็กง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์

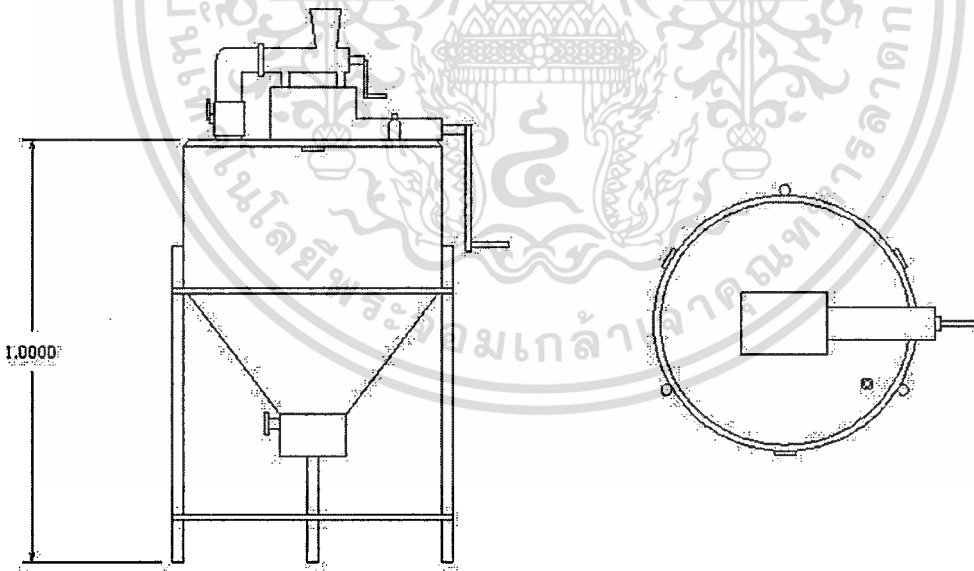
3.1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก เครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้ในการทดสอบได้ทำการทดสอบด้วยเครื่องชั่งของภาคโยธา โดยเครื่องชั่งน้ำหนักที่ใช้มีขนาด 100 กิโลกรัม ก่อนใช้งานได้ทำการตรวจสอบสภาพความพร้อมก่อนใช้งาน รวมทั้งตรวจสอบความคลาดเคลื่อนของเครื่อง

3.1.4 รถเข็นสำหรับเคลื่อนย้ายเศษอาหาร เนื่องจากปริมาณของขยะเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองมีปริมาณมาก เพื่อสะดวกแก่การขนย้ายเศษอาหารในการหาปริมาณ รวมถึงการนำเศษอาหารเหล่านั้นบรรจุลงในเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ อีกทั้งป้องกันขยะเศษอาหารทำความสกปรกต่ออาคารสถานที่ ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุในระหว่างการขนย้าย

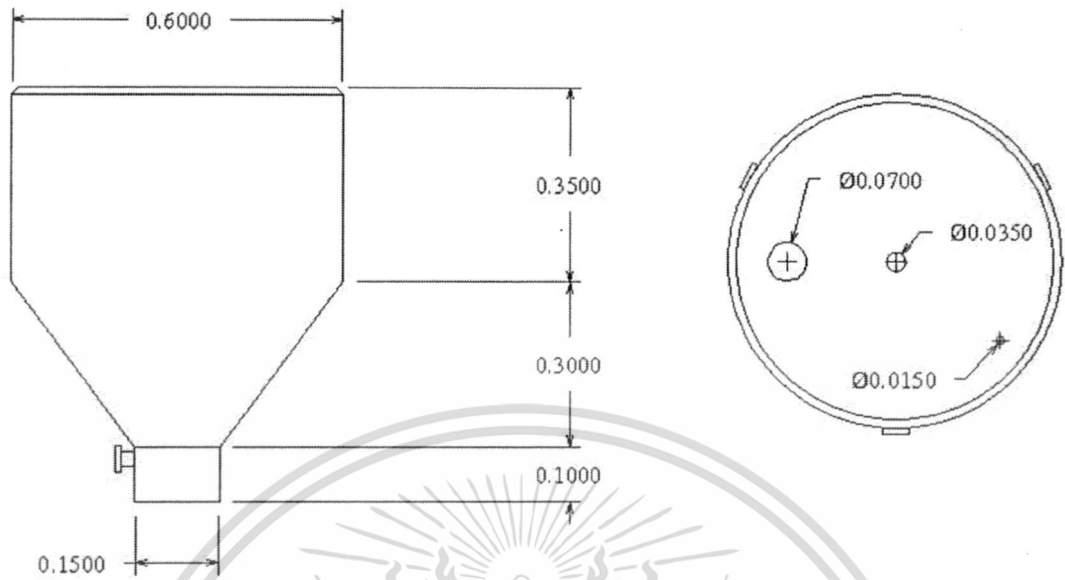
3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการหมักแก๊สชีวภาพ

3.2.1 เครื่องหมักแก๊สชีวภาพ ทำการศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ โดยหลักการของเครื่องหมักแก๊สชีวภาพคือ ทำการใส่อาหารและจุลินทรีย์ทางด้านวาล์วด้านบนของเครื่อง เมื่อทำการใส่อาหารเสร็จแล้วจึงทำการปิดวาล์วบริเวณด้านบนของเครื่องหมักแก๊สทำให้บริเวณตัวเครื่องอยู่ในสภาวะไร้อากาศ และเมื่อจะทำการนำอาหารออกจากเครื่อง สามารถทำได้โดยเปิดวาล์วทางด้านล่างของตัวเครื่องหมักแก๊ส ทำให้อากาศไม่สามารถเข้าไปในตัวเครื่องได้

ทำการตรวจสอบสภาพความพร้อมและทำความสะอาดของเครื่องหมักแก๊สชีวภาพโดยทำการแยกส่วนประกอบของเครื่องหมักแก๊ส โดยเครื่องหมักแก๊สมีขนาด และส่วนประกอบของดังต่อไปนี้ ประกอบด้วย ระบบถังหมักแก๊สทั้งหมด 1 ชุดสำหรับหมักขยะเศษอาหารกับจุลินทรีย์ โดยเป็นการหมักแบบไร้อากาศ โดยส่วนด้านบนของบริเวณเครื่องหมักแก๊สนั้น ได้ติดตั้งเครื่องลำเลียงเศษอาหารไว้เพื่อให้ง่ายต่อการใส่เศษอาหารลงในตัวเครื่อง

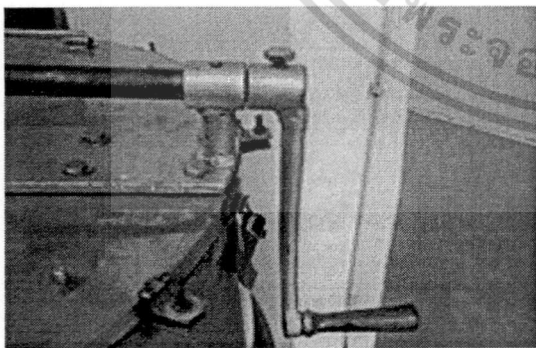


รูปที่ 3.1 แสดงด้านหน้าและรูปแปลนของเครื่องผลิตแก๊สชีวภาพ

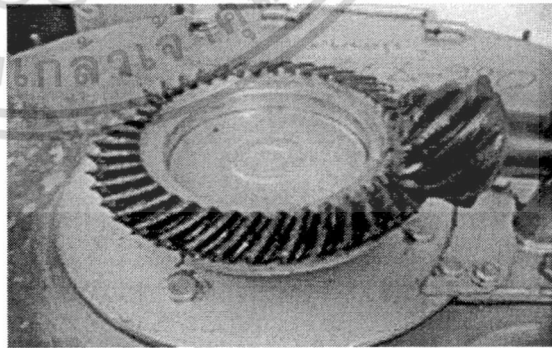


รูปที่ 3.2 รายละเอียดขนาดต่างๆ ของเครื่องผลิตแก๊สชีวภาพ

ชิ้นส่วนและอุปกรณ์ของเครื่องผลิตแก๊ส โดยในการออกแบบเครื่องผลิตแก๊สชีวภาพนั้น ต้องคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่อง โดยบริเวณตัวเครื่องและอุปกรณ์ชิ้นส่วนต่างๆ จะต้องเชื่อมติดกันแน่นสนิทแก๊สที่เกิดขึ้นจากการหมักไม่สามารถรั่วไหลได้ อีกทั้งยังต้องมีความคงทนต่อการกัดกร่อนของแก๊ส H_2S ไฮโดรเจนซัลไฟด์ อีกทั้งยังสามารถซ่อมแซมหรือถอดเปลี่ยนได้โดยง่าย



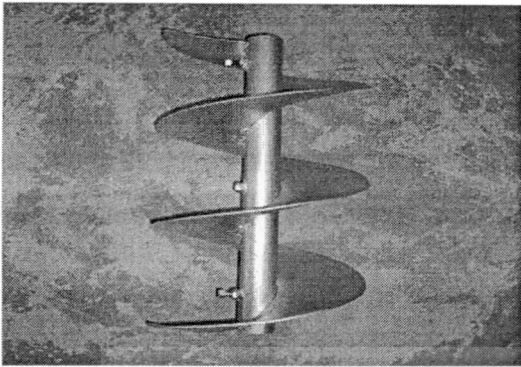
มือหมุนระบบกวน



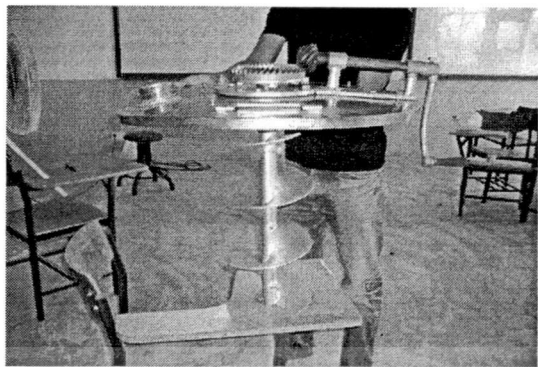
กลไกการกวน

รูปที่ 3.3 อธิบายรายละเอียดส่วนประกอบต่างๆของเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ

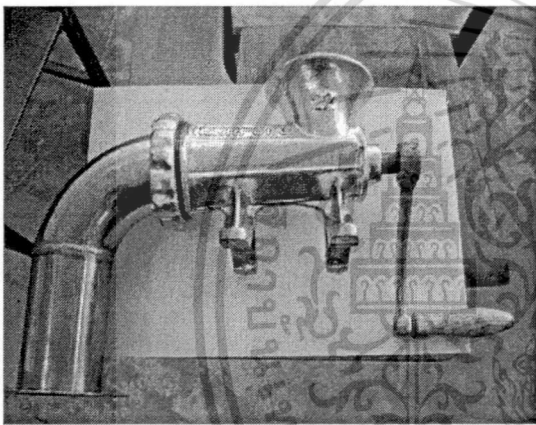
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



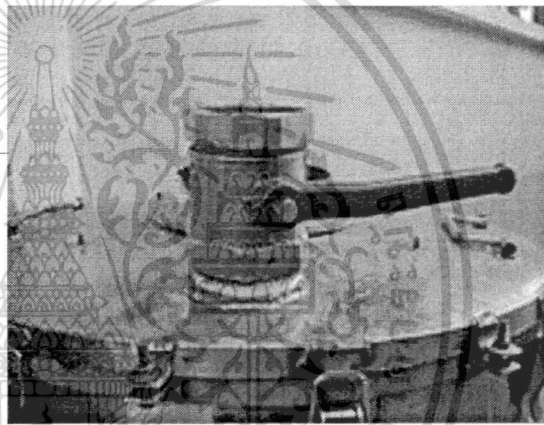
ใบพัดสำหรับกวน



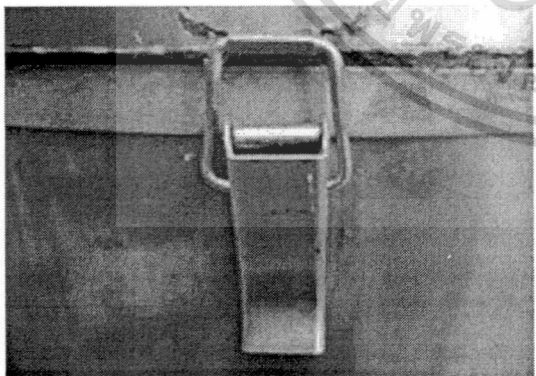
การติดตั้งระบบกวน



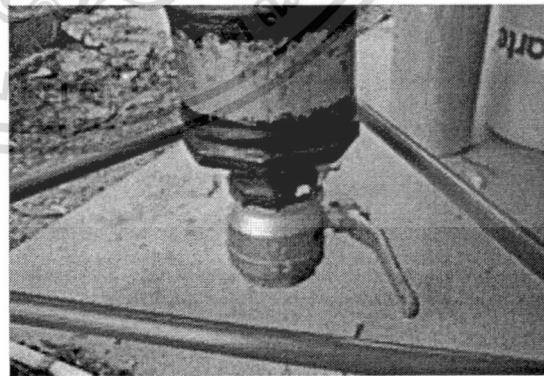
เครื่องตำเลี้ยงเศษอาหาร



วาล์วปิดด้านบน



ตัวล็อกฝาเครื่อง

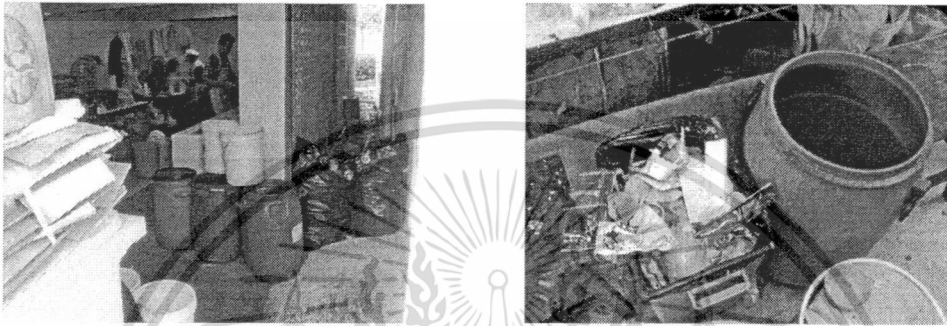


วาล์วปิด-เปิดถ่ายเศษอาหาร

รูปที่ 3.3 อธิบายรายละเอียดส่วนประกอบต่างๆของเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ (ต่อ)

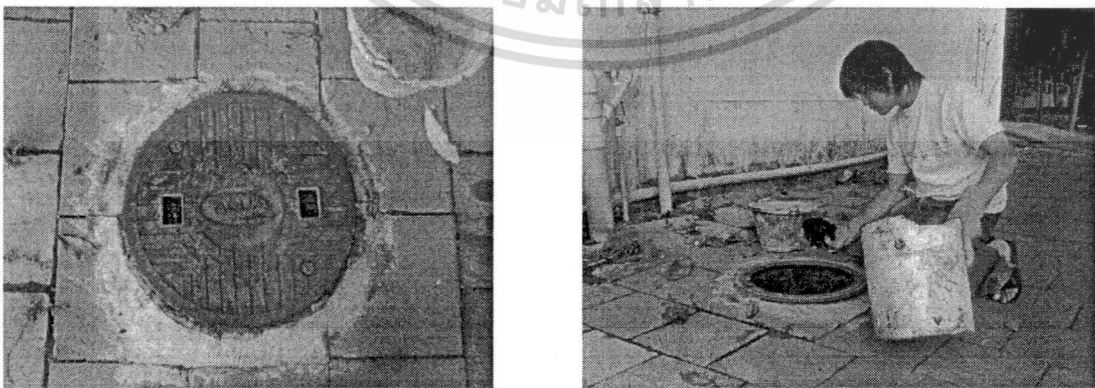
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 ขยะเศษอาหาร ขยะเศษอาหารที่ใช้ในการหมักแก๊ส ที่ใช้ในการทดลองหมักแก๊สชีวภาพใน
ครั้งนี้ได้แก่ ขยะจากโรงอาหาร 1 ข้างอาคารเรียน A คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยนำมาทำการบดให้ละเอียด และทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาณที่แน่นอนก่อน
ทำการบรรจุลงในเครื่องหมักแก๊ส



รูปที่ 3.4 แสดงภาพตำแหน่งที่ตั้งของเศษอาหารบริเวณ โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์

3.2.3 เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการหมักแก๊สชีวภาพ เชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้สำหรับกระบวนการย่อยสลาย
แบบไร้อากาศ นำมาจากกากตะกอนของถังหมักแบบระบบไร้อากาศ ด้านหลังอาคารเรียนภาควิชาโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยนำมาทำการหาปริมาณ
ก่อนทำการบรรจุลงในเครื่องหมักแก๊ส



รูปที่ 3.5 แสดงภาพตำแหน่งที่ตั้งของเชื้อจุลินทรีย์บริเวณ โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การวัดปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น ปริมาณแก๊สที่เกิดจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศวัดได้โดยตรงจากเครื่องวัดปริมาณแก๊สที่ติดกับตัวเครื่องโดยใช้หลักการแทนที่น้ำ (Fluid Displacement) โดยหน่วยเป็นลิตรต่อวัน โดยน้ำในขวดจะถูกแทนที่โดยแก๊สที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายเศษอาหาร โดยน้ำที่ใช้ในการวัดปริมาตรต้องทำการเติมกรดซัลฟูริกเจือจางเพื่อป้องกันการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ทำการติดตั้งเครื่องวัดปริมาณแก๊ส โดยใช้ขวดพลาสติกขนาด 5 ลิตร โดยทำการทดสอบด้วยการอัดกาสแล้วว่าไม่มีการรั่วซึมโดยการเก็บแก๊สใช้หลักการแทนที่ของน้ำ โดยเปรียบเทียบว่าน้ำหนักของน้ำที่เกินออกมาเท่ากับปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น

3.2.5 การหาเปอร์เซ็นต์ของแก๊สที่เกิดขึ้น (biogas analyzer) สำหรับการหาเปอร์เซ็นต์ของแก๊สมีเทนและแก๊สอื่นๆ ที่เกิดจากการหมักแบบไร้อากาศ จะทำการเก็บตัวอย่างแก๊สไปวิเคราะห์ โดยใช้เครื่องวิเคราะห์ความเข้มข้นของแก๊สของ Geotechnical Instrument GA45 โดยวิธีการทำงานของเครื่องคือนำปลายท่อรับแก๊สของเครื่องวัดทำการต่อเข้ากับเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ โดยเมื่อเปิดเครื่องเครื่องจะทำการดูดแก๊สเข้าไปและทำการประมวลผลโดยค่าที่ออกมาจะแสดงปริมาณความเข้มข้นแก๊สออกในในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์แก๊ส



รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องวัดคุณภาพแก๊สชีวภาพ (biogas analyzer)

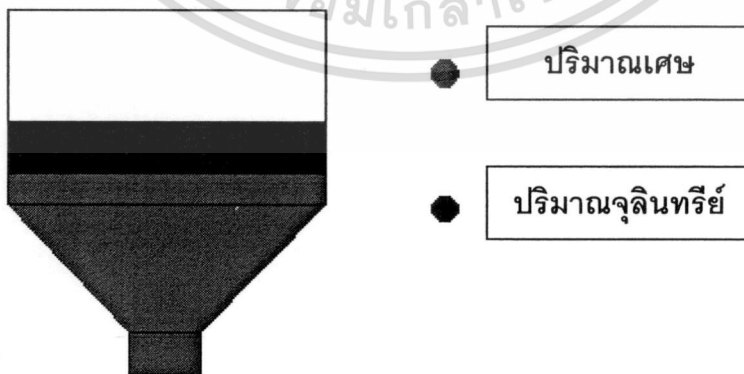
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.3.1 การติดตั้งอุปกรณ์หมักแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารโดยการติดตั้งอุปกรณ์หมักแก๊สนั้น ต้องเป็นต้องติดตั้งให้มีชนิดแน่นสนิท โดยที่อากาศไม่เข้ามาผ่านเข้ามาได้ โดยเลือกสถานที่ใช้ทำการทดลองหมักแก๊สโดยเลือกสถานที่ที่ใช้ทำการทดลองควรเป็นที่โล่งและเป็นบริเวณที่สามารถใช้ไฟฟ้าได้ เพื่อให้สะดวกต่อการทำงานและควรเป็นบริเวณที่มีน้ำและท่อระบายน้ำเพราะสามารถทำความสะอาดสถานที่ได้ง่าย โดยสถานที่เลือกทำการทดลองนั้นได้เลือกบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ด้านหลังตึก CCA ฝั่งภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

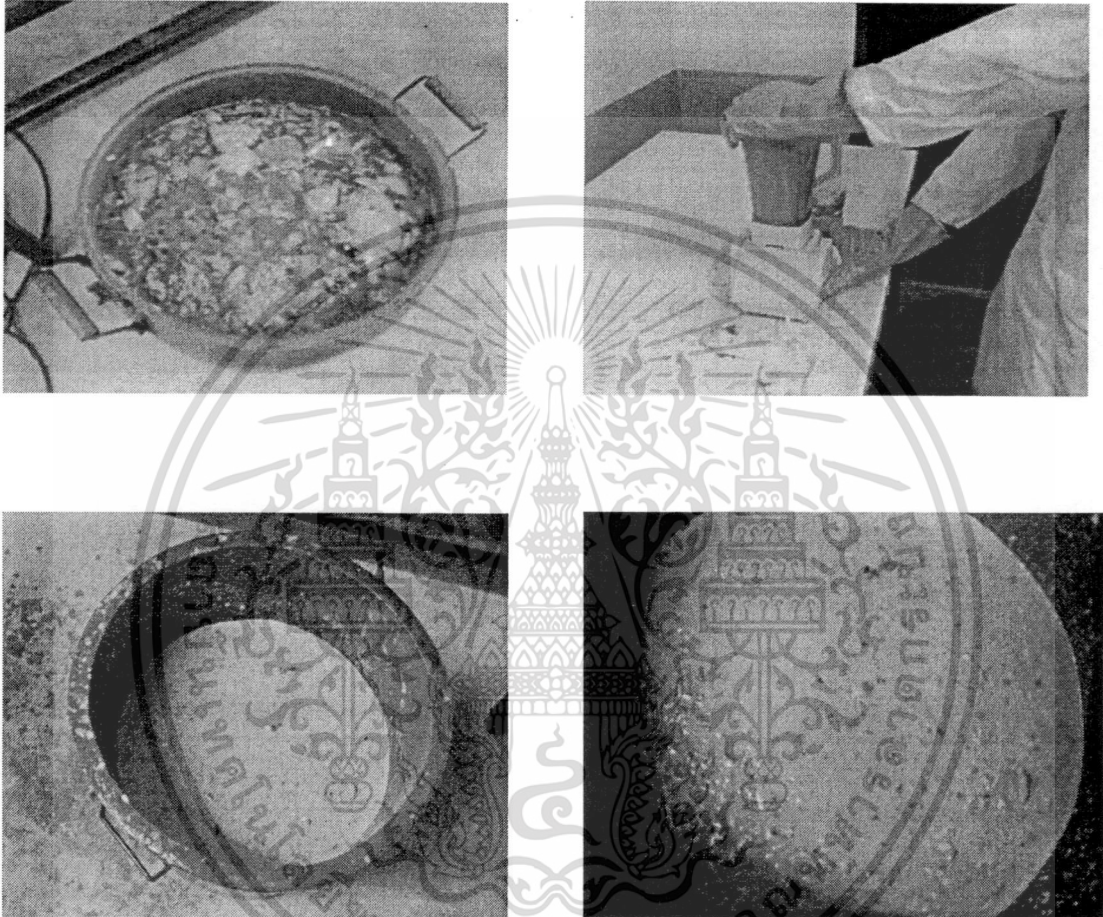
3.3.2 การคำนวณอัตราส่วนเศษอาหาร และจุลินทรีย์ ที่จะใช้ทำการหมักแก๊สชีวภาพ โดยใส่จุลินทรีย์ภายในเครื่องหมัก โดยอัตราการใส่เศษอาหารต่อจุลินทรีย์ ได้ใช้อัตราส่วน เศษอาหารประมาณ 3 ส่วน ต่อปริมาณจุลินทรีย์ 1 ส่วน โดยจะทำการใส่ในปริมาณ 60 % ของเครื่องผลิตแก๊สมีเทน (ทฤษฎีโดยวิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยีเพชรบุรี)

ปริมาตรของถังหมักแก๊สมีความจุเท่ากับ	1.45 ลบ.เมตร
เศษอาหารที่บรรจุลงในเครื่องหมักแก๊สมีปริมาตรเท่ากับ	0.65 ลบ.เมตร
จุลินทรีย์ที่บรรจุลงในเครื่องหมักแก๊สมีปริมาตรเท่ากับ	0.16 ลบ.เมตร
ปริมาตรของที่ว่างของเครื่องหมักแก๊สหลังทำการบรรจุ	0.58 ลบ.เมตร



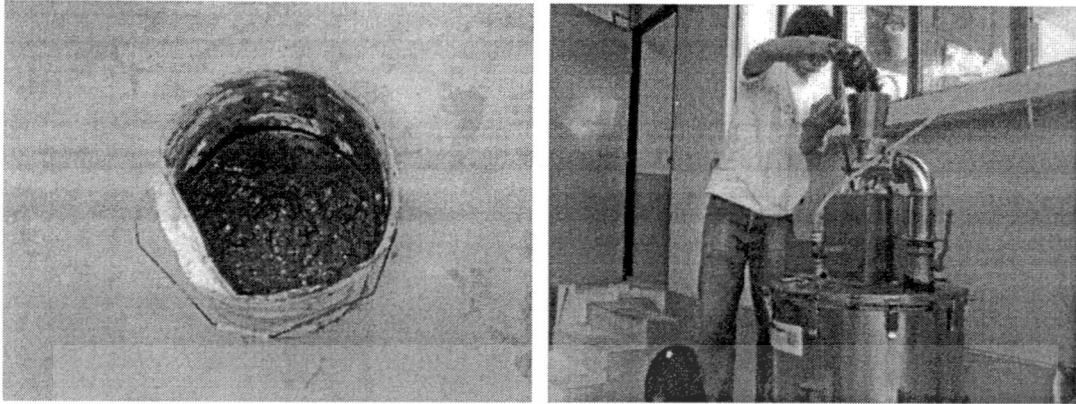
รูปที่ 3.7 แสดงปริมาณเศษอาหารและจุลินทรีย์ในเครื่อง

3.3.3 การเตรียมเศษอาหาร โดยทำการคัดแยกเศษขยะออกจากเศษอาหาร เมื่อได้เศษอาหารที่ผ่านการคัดแยกแล้ว จึงนำเศษอาหารมาบดให้ละเอียดเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้โดยง่าย ในที่นี้ใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้เป็นเครื่องช่วยบดให้ละเอียด



รูปที่ 3.8 แสดงการเตรียมเศษอาหารที่ทำการบรจุในเครื่องหมักแก๊ส

3.3.4 การเตรียมจุลินทรีย์ ที่ใช้ในการหมักแก๊ส โดยจะใช้จุลินทรีย์จากบ่อเกรอะ ก่อนทำการใส่ในเครื่องหมักแก๊สชีวภาพนั้น ได้ผสมน้ำเล็กน้อย เพื่อให้จุลินทรีย์อยู่ในสภาพที่เป็นของเหลว และสามารถรวมตัวเข้ากับเศษอาหารและเกิดแก๊สได้โดยง่าย



รูปที่ 3.9 แสดงการจุลินทรีย์ที่ทำการบรรจุในเครื่องหมักแก๊ส

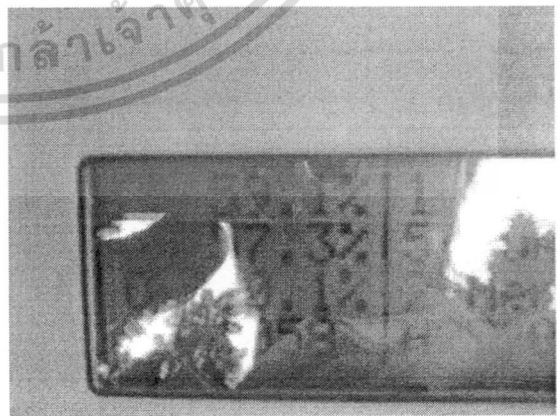
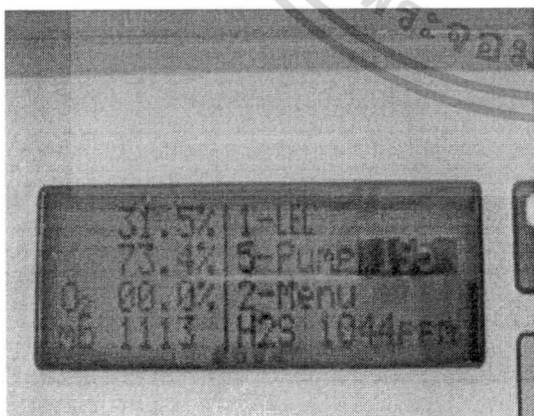
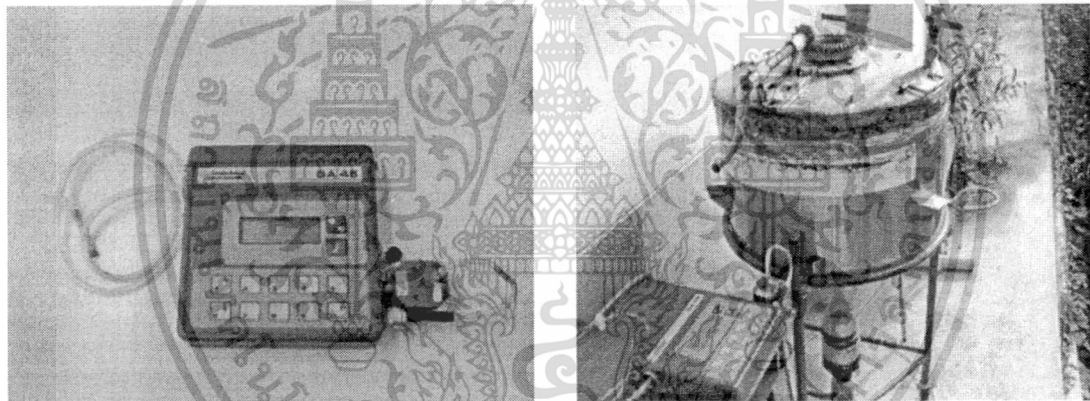
3.3.5 การหาปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น ปริมาณแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของเศษอาหารนั้นทำการวัด โดยทำการติดตั้งสายขงบริเวณทางออกของแก๊ส เพื่อวัดปริมาตรแก๊สตรงบริเวณปลายทางออกของแก๊ส โดยการเก็บแก๊สนั้นใช้หลักการแทนที่ของน้ำ (Fluid Displacement) โดยน้ำที่ใช้ในกระบวนการแทนที่น้ำจะทำการเติมกรดซัลฟูริกเจือจางเพื่อป้องกันการละลายของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น โดยนำน้ำที่ถูกปริมาตรของแก๊สแทนที่นำไปทำการชั่งน้ำหนักเพื่อหาปริมาตรของแก๊ส โดยใช้หน่วยเป็น ลิตร



รูปที่ 3.10 แสดงการวัดค่าปริมาตรแก๊ส โดยการแทนที่ของน้ำ

3.3.6 การกวนเศษอาหาร ทำการหมุนวนเศษอาหาร โดยใช้ใบพัดสำหรับกวน เพื่อให้จุลินทรีย์และเศษอาหารรวมตัวกันได้ และสามารถย่อยอาหารได้เร็วขึ้น โดยการหมุนวนจุลินทรีย์และเศษอาหารนั้นจะทำ 2 เวลาคือ ช่วงเช้า เวลา 9.00 นาฬิกา และช่วงเย็น ประมาณ 16.00 นาฬิกา โดยการหมุนวนเศษอาหารนั้นจะใช้ใบพัดสำหรับกวน โดยจะกวนครั้งละ 100 รอบ

3.3.7 การวัดชนิดของแก๊สชีวภาพที่เกิดขึ้น แก๊สชีวภาพที่ได้จากการหมักเศษอาหาร โดยใช้เครื่องวัดปริมาณความเข้มข้นของแก๊สของ Geotechnical Instrument GA45 โดยวิธีการทำงานของเครื่องคือนำปลายท่อรับแก๊สของเครื่องวัดทำการต่อเข้ากับเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ โดยเมื่อเปิดเครื่องเครื่องจะทำการดูดแก๊สเข้าไปและทำการประมวลผลโดยค่าที่ออกมาจะแสดงปริมาณความเข้มข้นของแก๊สออกในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์แก๊ส



รูปที่ 3.11 เครื่องมือวัดปริมาณความเข้มข้นของแก๊สและการทำการติดตั้ง

3.3.8 การทดสอบคุณภาพของแก๊ส โดยการทดสอบคุณภาพของแก๊สที่เกิดขึ้นครั้งนี้ได้ทดสอบด้วยการนำแก๊สที่ได้จากการหมักมาจุดไฟ เพื่อดูว่าสามารถใช้งานจริงได้หรือไม่ เนื่องจากทางทฤษฎีนั้นถ้าแก๊สมีเทนมีค่ามากกว่า 55% แล้วจะสามารถติดไฟได้ โดยทำการจุดไฟครั้งนี้ปรากฏว่าสามารถจุดไฟให้ติดได้ และเปลวไฟที่จุดติดนั้นมีความสม่ำเสมอต่อเนื่องกัน แสดงให้เห็นว่าแก๊สชีวภาพที่เกิดจากการหมักเศษอาหารนั้นสามารถนำไปใช้งานได้จริงในชีวิตประจำวัน



รูปที่ 3.12 รูปแสดงการเตรียมจุดไฟเพื่อทดสอบคุณภาพแก๊ส



รูปที่ 3.13 รูปแสดงลักษณะเปลวไฟที่ได้จากแก๊สชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

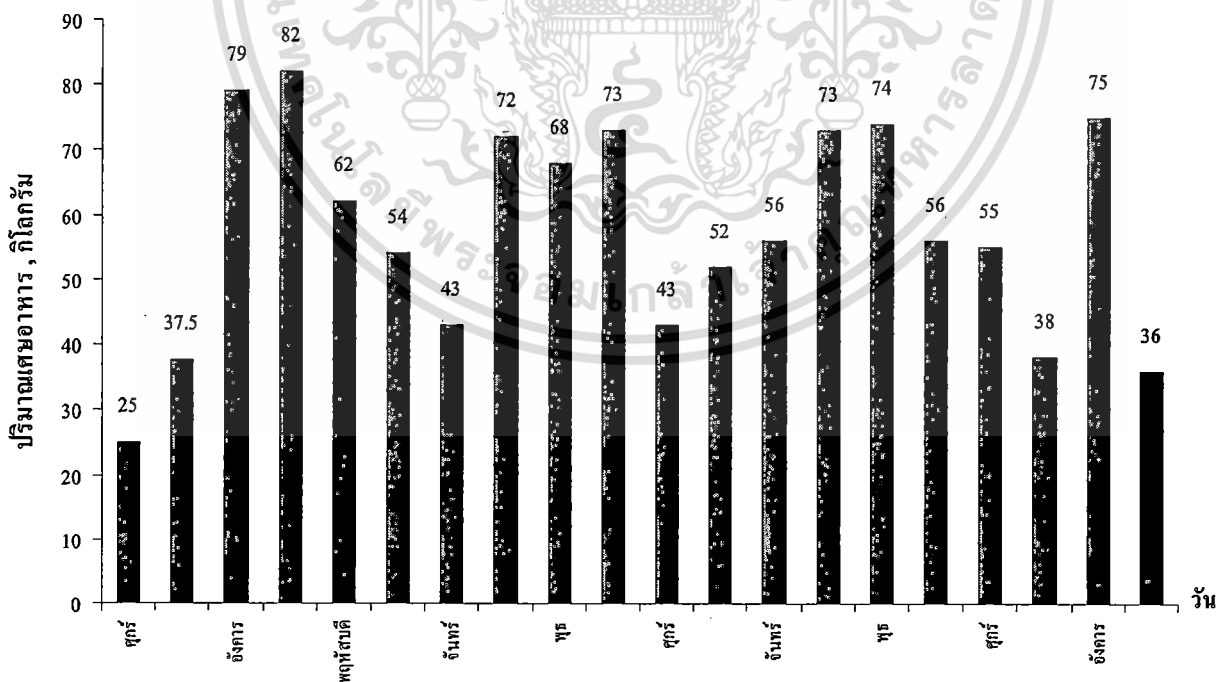
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ผลการทดลองจากการเก็บตัวอย่างอาหาร

4.1.1 ผลการทดลองหาปริมาณเศษอาหาร

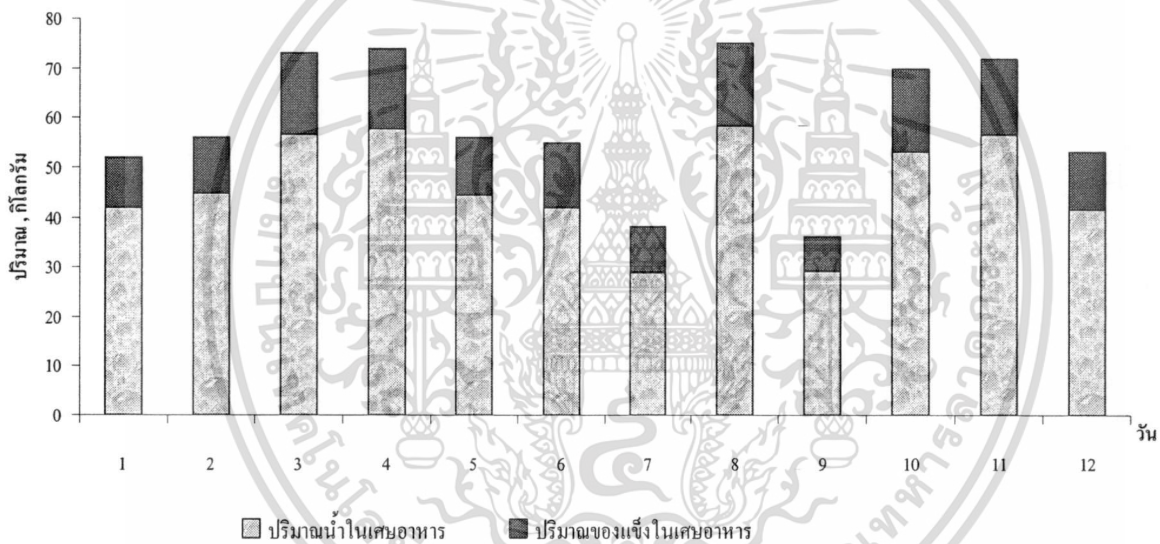
จากการทำการเก็บตัวอย่างเศษอาหาร ปริมาณของขยะเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ การเก็บข้อมูลกระทำโดยทำการเก็บหาปริมาณขยะโดยการชั่งน้ำหนักขยะเศษอาหารโดยคิดเป็นหน่วยกิโลกรัม การทำการเก็บตัวอย่างครั้งนี้กระทำในช่วงเดือนในช่วงเดือนกันยายน โดยทำการเป็นปริมาณขยะเศษอาหารติดต่อกันเป็นเวลา 1 เดือน ทำการเก็บข้อมูลในวันจันทร์ ถึงวันศุกร์ ในแต่ละสัปดาห์พบว่าปริมาณขยะเศษอาหารจะมีมากในวันอังคารและพุธ เฉลี่ยประมาณ 75 กิโลกรัม



รูปที่ 4.1 รูปแสดงปริมาณขยะเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์

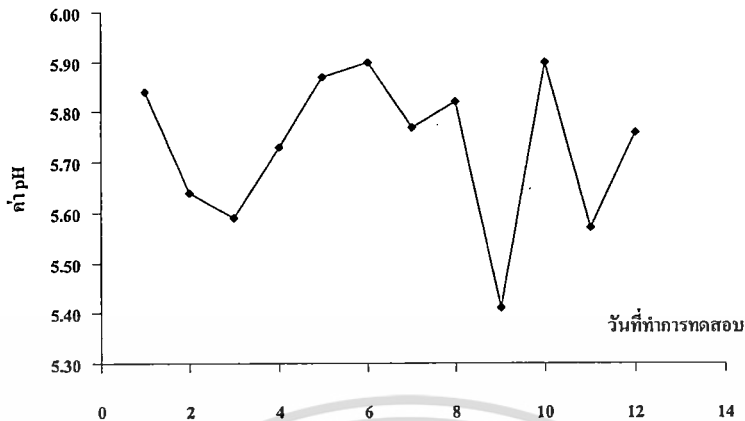
4.1.2 คุณสมบัติด้านกายภาพและเคมีของขยะเศษอาหาร

ปริมาณความชื้นในขยะเศษอาหาร จากผลการทดสอบหาปริมาณความชื้นในอาหาร โดยทำการคดแยกเศษขยะและ ขยะเศษอาหารที่เป็นของแข็งเช่น กระดูกสัตว์ ก้างปลา ฯลฯ ออกก่อนที่จะทำการทดลอง โดยการทดลองครั้งนี้ได้ทำการชั่งน้ำหนักเศษอาหารและเปรียบเทียบหาปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเศษอาหาร พบว่าในเศษอาหารทั้งหมด มีปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด (Total Solid, TS) คิดเป็นร้อยละ 21.74 ± 1.77 และปริมาณความชื้นหรือปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบของขยะเศษอาหารนั้น มีค่าร้อยละ 78.26 ± 1.77 โดยองค์ประกอบของน้ำในขยะเศษอาหารนั้น คิดเป็นน้ำที่มาจากในผักและผลไม้มากกว่าร้อยละ 80



รูปที่ 4.2 รูปแสดงปริมาณของแข็งทั้งหมดในขยะเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์

ค่าความเป็นกรดค่าของขยะเศษอาหาร จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดค่าของขยะเศษอาหารนั้นมีค่าอยู่ที่ 5.73 ± 0.15 แสดงว่าเศษอาหารจากการสำรวจนั้น มีความเป็นกรดอ่อนๆ (ค่าความเป็นกรดค่า 5-6) ซึ่งค่ากรดค่าซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบและเป็นตัวกำหนดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จากการทดสอบพบว่าเศษอาหารที่ทำการสำรวจมานั้นมีสภาวะความเป็นกรดอ่อนๆ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำการหมักแก๊สชีวภาพซึ่งผักที่มีสภาวะเป็นกรดอ่อน ได้แก่ มันสำปะหลัง กัวยว กะหล่ำปลี กวางตุ้งและ กะหล่ำดอก



รูปที่ 4.3 รูปแสดงค่าความเป็นกรดต่างของขยะเศษอาหารจาก โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์

4.2 ผลการทดลองจากการทดลองแก๊สชีวภาพ

ผลการทดลองที่เกิดขึ้น ทำการแบ่งผลการทดลอง ดังนี้

- ผลการทดลองหาปริมาณแก๊ส
- การทดลองหาคูณภาพของแก๊ส

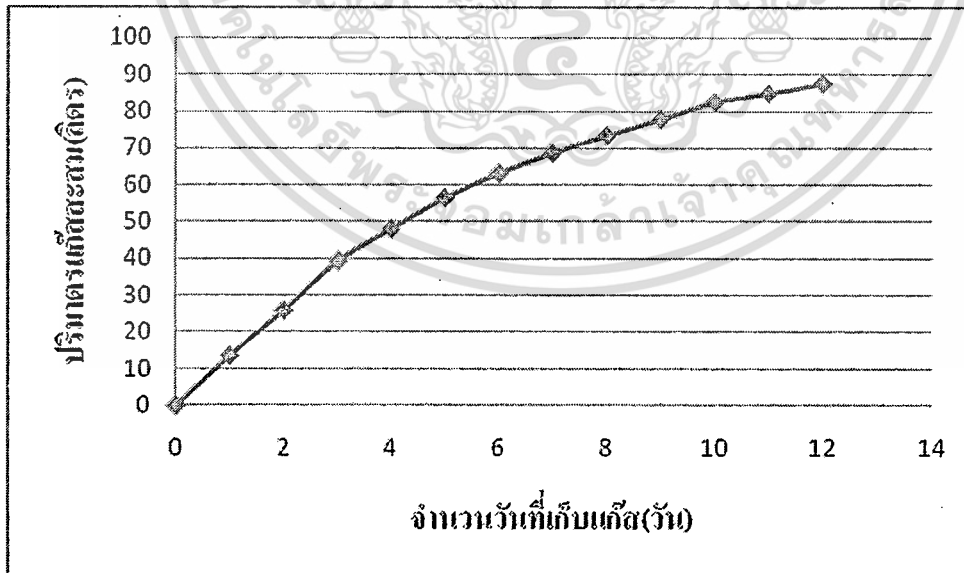
4.2.1 ผลการทดลองการหาปริมาณแก๊ส

จากการทำการหมักแก๊สชีวภาพในครั้งแรกนั้น ได้ทำการนำเศษอาหารมาบดให้ละเอียด โดยการบดครั้งนี้ได้ใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ และทำการใส่ผสมกับจุลินทรีย์ โดยจุลินทรีย์ที่นำมานี้ได้นำมาจาก บ่อเกรอะ โดยอัตราการใช้ส่วนผสมนั้น เป็นอัตราส่วน 3:1 โดยปริมาตร ทำการบรรจุเศษอาหารเป็นปริมาณ 3 ส่วนและจุลินทรีย์เป็นจำนวน 1 ส่วน คิดปริมาณการใช้เป็นปริมาณ 60% ของถ้ำหมักแก๊สชีวภาพ โดยการบันทึกค่านี้จะทำการบันทึก ปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้นหลังจากทำการใส่เศษอาหาร

จากการที่ได้ทำการทดลองทำการหมักเศษอาหารลงในเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ การเก็บ ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น โดยหลักการแทนที่ของน้ำ โดยเมื่อมีแก๊สเกิดขึ้นแก๊สที่เกิดขึ้นนั้นจะเข้าไปแทนที่ของ น้ำทำให้มีปริมาณของน้ำส่วนที่เกินออกมาเทียบเท่าปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้น จากนั้นนำน้ำที่ได้มาทำการ ชั่งน้ำหนักก็จะสามารถหาปริมาณที่เกิดขึ้นของแก๊สได้ การบันทึกผลการทดลอง ทำการบันทึกผลพร้อมทั้ง ทำกราฟเพื่อเปรียบเทียบปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นและทำการวิเคราะห์ผลการทดลองต่อไป

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าโดยเฉลี่ยของปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น

จำนวนวันที่ทำการวัดปริมาณแก๊ส(วัน)	ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น(ลิตร)	ปริมาณแก๊สสะสม(ลิตร)
0	0	0
1	13.68	13.68
2	12.34	26.02
3	13.42	39.44
4	8.73	48.17
5	8.36	56.53
6	6.73	63.26
7	5.46	68.72
8	4.65	73.37
9	4.42	77.79
10	4.64	82.43
11	2.35	84.78
12	2.68	87.46



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง

จำนวนวันที่ทำการเก็บแก๊ส และค่าปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น

วิเคราะห์ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น

จากการทดลองครั้งแรกทำให้ได้ทราบถึงปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นหลังจากการทำการหมักแก๊ส โดยหลังจากการเริ่มทำการหมักแก๊สชีวภาพ ปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นในช่วงแรกโดยเริ่มทำการวัด ปริมาณของแก๊สจะเกิดขึ้นมาก แต่เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นก็จะลดน้อยลงเรื่อยๆ

จากปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นนั้น จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟมีความชันมากในช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 6 ซึ่งแตกต่างจากช่วงหลังวันที่ 6 โดยกราฟในส่วนของวันที่ 7 – 12 นั้นมีความชันน้อยลงมากแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของแก๊สมีการลดลง แต่เนื่องจากปริมาณของเศษอาหาร นั้นสามารถหาได้ง่ายและมีปริมาณเพียงพอกับ ความต้องการที่จะใช้ทำการหมักแก๊ส ดังนั้นถ้าหากต้องการปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมและมี ประสิทธิภาพสูง ควรทำการนำเศษอาหารเก่าออก และบรรจุเศษอาหารใหม่เข้าไป ทุกๆ 6 วัน

4.2.2 ผลการทดลองหาคุณภาพของแก๊ส

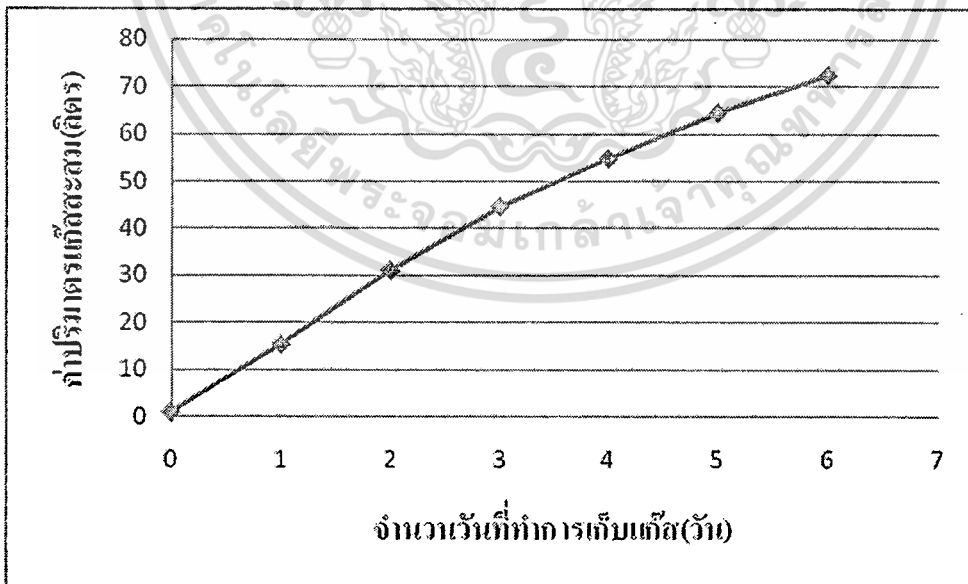
การทำการทดลองครั้งที่สองนี้เป็นการทำการทดลองทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยใช้อุปกรณ์ เศษอาหารและจุลินทรีย์เห็นในการทดลองครั้งแรก แต่การเก็บค่าของแก๊สได้แตกต่างการออกไปโดยการทำ การทดลองครั้งที่สองนี้ ได้ทำการเก็บค่าโดยใช้ระยะเวลา 6 วัน โดยจะทำการบันทึกค่าปริมาณของแก๊สและ ชนิดของแก๊สที่เกิดขึ้น โดยชนิดของแก๊สที่ทำการเก็บค่าได้แก่ แก๊สมีเทน (Methane), แก๊ส คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), แก๊สออกซิเจน (O_2), และแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากนั้นนำค่าที่ได้มาทำ การวิเคราะห์ข้อมูล โดยการวิเคราะห์ข้อมูลนั้นแบ่งออกเป็นสองช่วงคือ

- ช่วงแรก ทำการวัดปริมาณและชนิดของแก๊สที่เกิดขึ้นทันทีหลังจากทำการบรรจุเศษอาหาร และจุลินทรีย์เสร็จ
- ช่วงที่สอง โดยทำการวัดปริมาณของแก๊สและชนิดของแก๊สที่เกิดขึ้นโดยให้เวลาจุลินทรีย์ใน การเติบโตเป็นเวลา 1 เดือน หลังจากทำการใส่เศษอาหาร จากนั้นทำการวัด ปริมาณของแก๊สและความเข้มข้นของแก๊สที่เกิดขึ้น

ผลการทดลองก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าปริมาตรแก๊สโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์

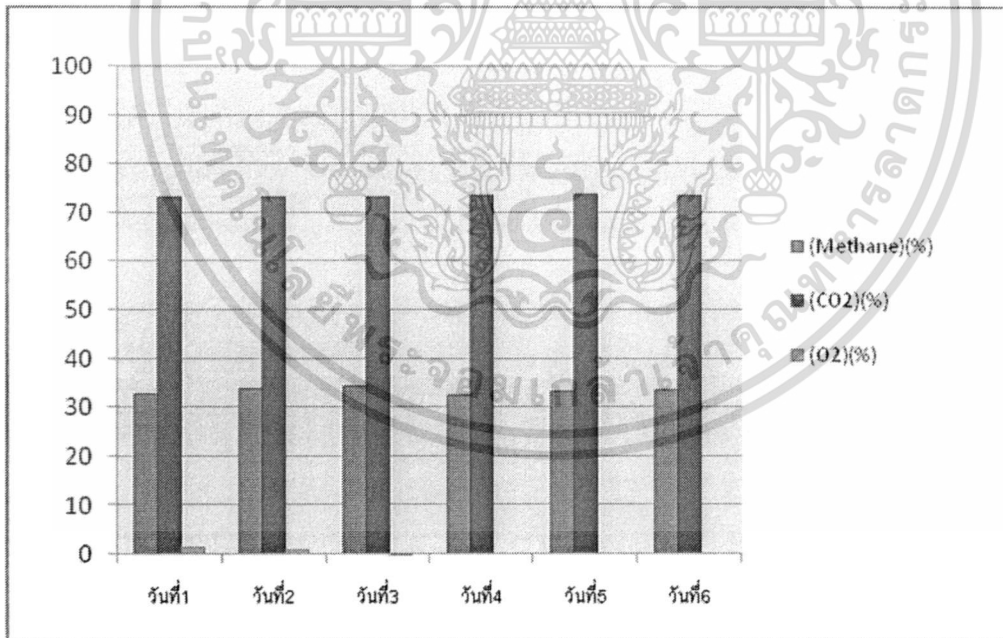
จำนวนวันที่ทำการ วัดปริมาตรแก๊ส(วัน)	ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น(ลิตร)	ปริมาณแก๊สสะสม(ลิตร)
0	0.00	0.00
1	14.43	14.43
2	15.64	30.07
3	13.55	43.63
4	10.09	53.71
5	9.74	63.45
6	7.91	71.36



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ทำการเก็บแก๊ส
และค่าปริมาตรแก๊ส ก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าคุณภาพแก๊สโดยเฉลี่ยก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์

วันที่เริ่มวัดคุณภาพแก๊ส	แก๊สมีเทน	คาร์บอน ไดออกไซด์	ออกซิเจน	H ₂ S(ppm)
วันที่ 1.	32.78%	73.10%	1.50%	619
วันที่ 2.	33.84%	73.14%	0.80%	942
วันที่ 3.	34.26%	73.24%	0.10%	940
วันที่ 4.	32.55%	73.42%	0.01%	938
วันที่ 5.	33.28%	73.73%	0.01%	940
วันที่ 6.	33.62%	73.34%	0.01%	942

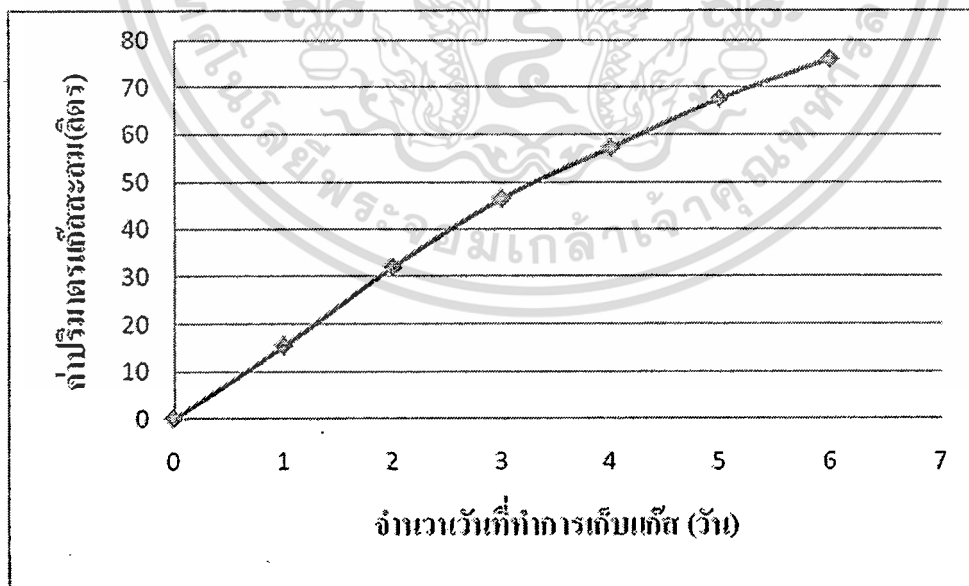


รูปที่ 4.6 แผนภูมิแสดงคุณภาพแก๊สก่อนปรับสภาพจุลินทรีย์

ผลการทดลองหลังปรับสภาพจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าปริมาณแก๊สโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นหลังปรับสภาพจุลินทรีย์

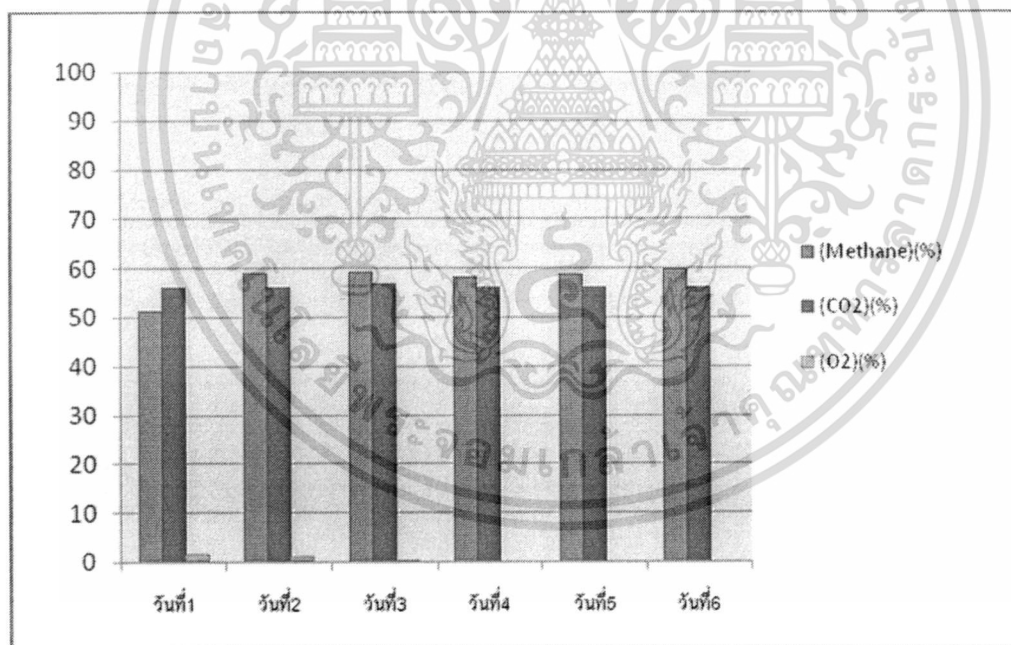
จำนวนวันที่ทำการ วัดปริมาณแก๊ส(วัน)	ปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้น(ลิตร)	ปริมาณแก๊สสะสม(ลิตร)
0	0	0
1	15.35	15.35
2	16.64	31.99
3	14.42	46.41
4	10.73	57.14
5	10.36	67.5
6	8.42	75.92



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนวันที่ทำการเก็บแก๊ส
และค่าปริมาณแก๊ส หลังจากปรับสภาพจุลินทรีย์

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าคุณภาพแก๊สโดยเฉลี่ยหลังปรับสภาพจุลินทรีย์

วันที่เริ่มวัดคุณภาพแก๊ส	แก๊สมีเทน	คาร์บอนไดออกไซด์	ออกซิเจน	H ₂ S(ppm)
วันที่ 1.	51.45%	56.16%	1.50%	58
วันที่ 2.	58.99%	56.51%	0.12%	35
วันที่ 3.	59.39%	57.02%	0.01%	35
วันที่ 4.	58.18%	56.51%	0.01%	12
วันที่ 5.	58.69%	56.31%	0.01%	00
วันที่ 6.	59.69%	55.91%	0.01%	00



รูปที่ 4.8 แผนภูมิแสดงคุณภาพแก๊สหลังปรับสภาพจุลินทรีย์

วิเคราะห์คุณภาพแก๊สที่เกิดขึ้นหลังปรับสภาพจุลินทรีย์

โดยการบันทึกผลการทดลองครั้งที่สองนี้ เป็นผลการทดลองที่ได้จากการวัดปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นและชนิดของแก๊ส โดยทำการวัดค่าเป็นสองช่วง โดยช่วงแรกคือทำการวัดค่าหลังจากการบรรจุเศษอาหารทันที และเก็บค่าช่วงที่สองคือโดยปล่อยให้จุลินทรีย์เติบโตไปแล้วเป็นระยะเวลา 30 วัน และได้ทำการนำเศษอาหารเก่าออก และบรรจุเศษอาหารใหม่เข้าไป เป็นปริมาณหนึ่งในสามของปริมาณเศษอาหารเก่า จากการทำการวัดค่าปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นโดยปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นนั้นยังคงเป็นไปตามแนวโน้มของผลการทดลองครั้งแรก โดยมีค่าปริมาณแก๊สสะสม 6 วันอยู่ที่ 71 – 76 ลิตร

การเปรียบเทียบชนิดของแก๊สที่เกิดขึ้นในสองช่วงที่ได้ทำการวัดค่า โดยค่าหลักที่ทำการวิเคราะห์ครั้งนี้ได้แก่ ค่าความเข้มข้นของแก๊สมีเทน(Methane) และไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) โดยผลที่การทดลองครั้งแรกนั้นมีค่าปริมาณของแก๊สมีเทน (Methane) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 31 – 35 % และค่า ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) อยู่ที่ประมาณ 600 – 1000 ppm และผลการทดลองครั้งที่สองปรากฏว่าปริมาณของแก๊สมีเทน (Methane) เพิ่มขึ้นเป็น 51 – 60 % และปริมาณ H_2S ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ลดลงเหลือ 60 ppm จนกระทั่งไม่สามารถทำการวัดค่าได้ ทำให้เห็นว่าเมื่อแบคทีเรียสามารถปรับสภาพและโตเต็มที่แล้ว แบคทีเรียจะสามารถย่อยสลายเศษอาหารและสามารถเปลี่ยนสภาพของเสียนั้นให้กลายเป็นแก๊สมีเทนได้ และสามารถลดปริมาณของแก๊สพิษที่เกิดขึ้นจากเศษอาหารได้อีกทางหนึ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปการทดลองจากการเก็บตัวอย่างอาหาร

จากการทำการเก็บตัวอย่างขยะเศษอาหารจากบริเวณ โรงอาหารคณะวิศวกรรมศาสตร์ ได้ทำการแบ่งออกเป็น การหาปริมาณของเศษอาหาร ปริมาณความชื้นในขยะเศษอาหาร และการหาคุณสมบัติด้านกายภาพและเคมีของขยะเศษอาหาร เพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ว่า เศษอาหารดังกล่าวนี้มีความเหมาะสมต่อการผลิตแก๊สชีวภาพหรือไม่

จากการทำการเก็บตัวอย่างเศษอาหาร ทำการเก็บข้อมูลในวันจันทร์ ถึงวันศุกร์ ติดต่อกันเป็นเวลา 1 เดือน โดยการชั่งน้ำหนักขยะเศษอาหาร โดยคิดเป็นหน่วยกิโลกรัม โดยผลจากการสำรวจพบว่าปริมาณขยะเศษอาหารจะมีมากในวันอังคารและพุธ เฉลี่ยประมาณ 75 กิโลกรัม

จากการทำการทดสอบหาปริมาณความชื้นในขยะเศษอาหารพบว่าในเศษอาหารทั้งหมด มีปริมาณของแข็งรวมทั้งหมด คิดเป็นร้อยละประมาณ 21.74 และมีปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบของขยะเศษอาหารนั้น มีค่าร้อยละประมาณ 78.26 โดยองค์ประกอบของน้ำในขยะเศษอาหารนั้น คิดเป็นน้ำที่มาจากในผักและผลไม้เป็นส่วนใหญ่ โดยค่าที่ออกมาแสดงให้เห็นว่าเศษอาหารที่ได้เหมาะสมแก่การทำหมักแก๊สชีวภาพเนื่องจากมีสภาวะเป็นของเหลว ง่ายแก่การย่อยสลายของจุลินทรีย์

จากการทำการทดลองหาค่าความเป็นกรดต่างของขยะเศษอาหาร จากผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรดต่างของขยะเศษอาหารนั้นมีค่าอยู่ที่ประมาณ 5.73 แสดงว่าเศษอาหารจากการสำรวจนั้น มีความเป็นกรดอ่อนๆ ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการทำหมักแก๊สชีวภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถปรับตัวได้ง่าย อีกทั้งจุลินทรีย์สามารถนำกรดจากขยะเศษอาหารเหล่านั้นนำมาทำการย่อยและ เปลี่ยนกรดให้เป็นแก๊สมีเทนเพื่อใช้ในการหุงต้มได้อีกต่อไป

5.2 สรุปการผลิตแก๊สชีวภาพจากเศษอาหาร

จากการทำการทดลองการหมักแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารนั้นเพื่อที่จะทำการศึกษาระบบการย่อยสลายของเศษอาหาร โดยการใช้จุลินทรีย์ และกระบวนการเกิดแก๊สชีวภาพ รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้น ว่ามีลักษณะอย่างไร สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้หรือไม่ และมีข้อดีข้อเสียอย่างไร จึงได้ทำการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องหมักแก๊สชีวภาพรวมทั้งข้อมูลทางด้านทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเกิดแก๊สแล้ว เพื่อให้การทดลองมีความถูกต้องแม่นยำและสามารถนำข้อมูลที่ได้ออกมาทดลองไปใช้ในชีวิตประจำวัน หรือนำไปทำการศึกษาวิจัยต่อไปได้

หลังจากได้ทำการศึกษาหลักการทำงานของเครื่องหมักแก๊สชีวภาพ และศึกษาทฤษฎีในระบบกระบวนการย่อยสลายของเศษอาหาร โดยจุลินทรีย์แล้ว จึงได้ทำการนำเครื่องหมักแก๊สชีวภาพมาทำการหมักแก๊สให้เกิดขึ้นเพื่อดูว่าการเกิดของแก๊สนั้นได้เป็นไปตามทฤษฎีอย่างไร โดยก่อนทำการทดลองนั้นได้ทำการตรวจสอบสภาพของเครื่องหมักแก๊ส รวมทั้งทำการตรวจสอบอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดว่า อุปกรณ์ทั้งหมดนั้นอยู่ในสภาพที่พร้อมที่จะทำการทดลองได้ จึงได้เริ่มลงมือทำการทดลอง โดยการทำการทดลองครั้งนี้ได้นำเศษอาหารจากโรงอาหารและจุลินทรีย์ มาทำการทดสอบการหมักเพื่อให้เกิดแก๊สชีวภาพและนำค่าที่ได้จากการทดลองมาทำการวิเคราะห์ และเก็บข้อมูลไว้เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

โดยการทำการทดลองการหมักแก๊สชีวภาพจากเศษอาหารนั้นเพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองจึงได้ ทำการแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงแรก หลังจากทำการทำการใส่ขยะเศษอาหารและจุลินทรีย์ทันทีโดยที่จุลินทรีย์ยังไม่ได้ปรับสภาพก่อนการทดลอง และช่วงที่ 2 ทำการปรับสภาพจุลินทรีย์เพื่อให้เข้ากับเศษอาหารที่ใช้ในการทดลองเป็นเวลา 1 เดือน โดยการทดลองทั้ง 2 ครั้งนี้ได้ทำการเป็นค่า ปริมาณแก๊สและคุณภาพแก๊สที่เกิดขึ้น

5.3 สรุปการหาปริมาณแก๊สชีวภาพจากเศษอาหาร

จากการทำการหมักแก๊สชีวภาพในครั้งแรกนั้น ได้ทำการนำเศษอาหารมาบดให้ละเอียดโดยการบดครั้งนี้ได้ใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ และทำการใส่ผสมกับจุลินทรีย์โดยจุลินทรีย์ที่นำมาใช้นี้ได้นำมาจากบ่อเกรอะ โดยอัตราการใช้ส่วนผสมนั้น เป็นอัตราส่วน 3:1 โดยทำการบรรจุเศษอาหารเป็นปริมาณ 3 ส่วนและจุลินทรีย์เป็นจำนวน 1 ส่วน คิดปริมาณการใส่เป็นปริมาณ 60% ของถังหมักแก๊สชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ที่มาจากบ่อเกรอะเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา - 57 - และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากบ่อเกรอะนั้น เมื่อนำมาทำการย่อยสลายเศษอาหาร จุลินทรีย์จะย่อยสลายเศษอาหารได้น้อยเนื่องจาก จุลินทรีย์ยังไม่สามารถปรับตัวเข้ากับเศษอาหาร ได้ ทำให้ค่าปริมาณของแก๊สมีเทน(Methane) มีค่าต่ำ โดยมี ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 31 – 35 % และปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นนั้นมีค่าประมาณ 13 – 14 ลิตรต่อวัน เนื่องจาก จุลินทรีย์ชนิดสร้างกรด ได้ทำการสร้างกรด (Acidogenesis), และให้แก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ออกมา

ปริมาตรของแก๊สที่ขึ้นในช่วงการหมักหมักครั้งแรก เกิดจากการหมักขยะเศษอาหารออกมาเฉลี่ย ในช่วง 1 – 2 วันแรกมีปริมาตรรวมกันเท่ากับ 26.02 ลิตร ปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 3 – 4 มีปริมาตร แก๊สรวมกันเท่ากับ 22.15 ลิตร ปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 5 – 6 มีปริมาตรแก๊สรวมกันเท่ากับ 15.09 ลิตร และปริมาณแก๊สที่เกิดขึ้นในช่วงวันที่ 7 – 8 มีปริมาตรแก๊สรวมกันเท่ากับ 10.11 ลิตร จะเห็นได้ว่า ปริมาตรแก๊สที่เกิดขึ้นในวันที่ 7 - 8 มีปริมาณน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของแก๊สที่เกิดขึ้นในช่วงแรก อีกทั้งการหาเศษอาหารเพื่อที่จะนำมาทำการหมักสามารถทำได้โดยง่าย ดังนั้นการทำการบรรจุเศษอาหารใหม่ และทำการนำเศษอาหารเก่าออกนั้น ควรกระทำทุกๆ 6 - 7 วันจะทำให้มีปริมาณการเกิดของแก๊สมากที่สุด และเป็นสามารถนำเศษอาหารที่ผ่านการหมักมาใช้เป็นปุ๋ยแก่พืชได้อีกทาง

5.4 สรุปผลการคุณภาพแก๊สก่อนและหลังปรับสภาพจุลินทรีย์

จากการทำการหมักแก๊สครั้งแรกโดยใช้จุลินทรีย์และเศษอาหาร โดยจุลินทรีย์ที่ได้ทำมาทำการหมัก ครั้งแรกนั้นได้นำมาจากบ่อเกรอะ การที่จุลินทรีย์จะสามารถย่อยสลายเศษอาหารได้นั้นจำเป็นที่จะต้องให้ จุลินทรีย์ทำการปรับสภาพ โดยจุลินทรีย์จะสามารถปรับสภาพเองได้แต่จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาและการดูแล ที่เหมาะสม โดยในการทดลองครั้งที่สองนี้ได้ให้จุลินทรีย์ทำการปรับสภาพโดยวิธีการทางธรรมชาติเป็น เวลา 1 เดือนจากนั้นจึงทำการทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จึงทำการเก็บค่าปริมาณแก๊สและวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของ แก๊สที่เกิดขึ้นจากการทดลอง

โดยจากการทำการทดลองหมักแก๊สในครั้งแรก ทำให้ทราบว่าปริมาณการเกิดของแก๊สมีเทนในช่วงเวลา 6 – 7 วันนั้นมีปริมาณสูงและเป็นปริมาณที่เพียงพอกับการทำการวัดปริมาณ ดังนั้นการทำการทดลองครั้งที่ สองนั้นจึงได้เก็บค่าปริมาตรของแก๊สเป็นเวลาทั้งหมดเป็นเวลา 6 วัน โดยการทดลองครั้งนี้ได้ทำการ เปรียบเทียบค่าปริมาณของแก๊สมีเทน (Methane) และ H_2S ไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นหลัก โดยจากการ

เปรียบเทียบผลการทดลองทั้งสองนั้นแก๊สมีเทน (Methane) มีค่าปริมาณสัดส่วนแก๊สที่เกิดขึ้นแตกต่างกัน 20 – 25 % และค่า H_2S ไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในการทำการทดลองหมักครั้งที่สองนั้นมีค่าน้อยมาก

5.5 สรุปผลการทดลองจากการทำการทดลองทั้งหมด

ปัจจุบันนี้การใช้แก๊สชีวภาพในประเทศไทยมีการขยายตัวสูงขึ้น ทำให้สามารถลดปัญหามลพิษที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมได้ ซึ่งทำให้ของเสียเช่น เศษอาหารนั้นสามารถหาวิธีกำจัดได้อย่างถูกต้องเหมาะสมทำให้สามารถลดมลภาวะ และสามารถแก้ไขปัญหาด้านกลิ่น และพลังงานทดแทนได้เป็นอย่างดี นอกเหนือจากรักษาสภาพแวดล้อมแล้วยังได้แก๊สชีวภาพมาเป็นแหล่งพลังงานในการหุงต้ม และให้แสงสว่างในครัวเรือนซึ่งจะช่วยประหยัดการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิง จากการหมักแก๊สชีวภาพนั้นยังสามารถนำมาทำปุ๋ยอินทรีย์ที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงดินเพิ่มผลผลิตพืชได้อีกด้วย หรือนำมาใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพใช้ปุ๋ยเคมีให้เป็นประโยชน์กับพืชมากขึ้น

จากการทำการทดลองครั้งนี้ได้แสดงให้เห็นถึงวิธีการทำการหมักแก๊สชีวภาพโดยที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับชีวิตประจำวันได้ และได้ทำการบันทึกผลการทดลองไว้ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นถึงประโยชน์ของแก๊สชีวภาพ โดยแสดงให้เห็นว่าการนำเศษอาหารเหลือใช้มาทำการผลิตแก๊สชีวภาพนั้น สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่นนำแก๊สที่ได้ก็นำมาทำการหุงต้มอาหารหรือนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ในครัวเรือน โดยสามารถลดค่าใช้จ่ายในเรื่องของราคาแก๊สหุงต้มที่ราคาแพงขึ้น อีกทั้งยังสามารถช่วยชาติลดค่าใช้จ่ายที่ต้องนำมากำจัดของเสียเหล่านั้นอีกทางหนึ่ง

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

1. ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ ศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2546), คู่มือวิชาการระบบบำบัดน้ำเสียแบบไม่ใช้อากาศ เล่มที่ 1, 2, กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
2. ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ (2542), เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1, 2, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. กรมส่งเสริมพลังงาน (2544), โครงการการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรม เพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพ และประหยัดพลังงาน โดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน, สำนักงานศึกษาค้นคว้าและพัฒนาพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
4. บุญมา ป่านประดิษฐ์ (2550), ถังหมักก๊าซจรรยาเปลี่ยนขยะเป็นแก๊สชีวภาพ :คู่มือพึ่งตนเอง (BIOGAS) สำนักพิมพ์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
5. ดร.สาโรจน์ ศิริคันสนียกุล และ ประวิทย์ วงศ์คงคาเทพ. (2538). วิศวกรรมเคมีชีวภาพพื้นฐาน 1. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
6. ปฏิกรณ์ แสนสิ่ง (2550), BIOGAS Energy from Biological Conversion of Organic Waste สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
7. โสภกา ชินเวชกิจวานิชย์ และ มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์(2543) "ความสำคัญของสภาพต่างในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ" การประชุมวิชาการประจำปีระดับชาติ ครั้งที่ 13 สวสท.'43
8. เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2537, วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มิตรนราการพิมพ์, พระโขนง, กรุงเทพฯ. 368 น.
9. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2545) "โครงการจัดทำแนวทางการออกแบบวิศวกรรมเพื่อปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานโดยระบบไม่ใช้ออกซิเจน", รายงานความก้าวหน้า ครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2
10. พัชรี หอวิจิตร, 2529, การจัดการขยะมูลฝอย, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 244 น.

ภาษาต่างประเทศ

11. Cheynoweth, D.P. and Isaacson, R (1987), Editors "Anaerobic Digestion of Biomass", Elsevier Applied Science, London and New York.
12. Grady, C.P.L. Jr. and Lim, H.C (1980) "Biological Wastewater Treatment : " Theory and Applications" Marcel Dekker, Inc., New York and Basel
13. Grady, C.P.L. Jr., Daigger, G.T and Lim, H.C (1999) "Biological Wastewater Treatment: "Second Edition, Marcel Dekker, Inc., New York and Basel
14. Rittmann, B.E and McCarty, P.L (2001) "Environmental Biotechnology: Principles and Applications" McGraw-Hill International Editions
15. Speece, R.E (1996) "Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters", Archae Press, Nashville, Tennessee
16. Visser A. (1994.) Anaerobic Treatment of Sulfate Containing Wastewaters. International Training Course on Anaerobic and Low Cost Treatment of Wastewater and Wastes. 10 to 21 October, 1994, Asian Institute of Technology. Thailand
17. Wheatley, A.D (1997) "Applications of Anaerobic Digestion for the Treatment of Industrial Wastewaters in Europe" Water and Environmental Management, 11, 39-46
18. Waste Solutions Ltd. (2001). Prospects for Biogas Harvesting at Sangan Wong Industries Co. Ltd (Thailand) [On-line]. Available: http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/FS_211159673
19. JICA, 1982, The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand final Report, Bangkok, pp.14-25
20. Barton, L.L, Editor (1995) "Sulfate Reducing Bacteria", Plenum Press, New York, London
21. Gerardi, M. H. (2003). The microbiology of anaerobic digesters. New Jersey: John Wiley & Son.
22. Kleerebezem, R. and Macarie, H. (2003). Treating industrial wastewater: Anaerobic digestion comes of age. AIChemJ. april: 56-64.
23. Reynolds, T. D. and Richards, P. A. (1996). Unit operations and processes in environmental engineering. Boston: PWS.
24. Plevin, R. and Donnelly, D. (2004). Converting waste to energy and profit: Tapioca starch power in Thailand [On-line]. Available: http://palangthai.org/en/docs/KWTE_REW.pdf

25. Wellinger, A. and Lindberg, A.(2005). Upgrading and utilization of biogas [On-line]. Available: <http://www.novaenergie.ch/iea-bioenergy-task37/Dokumente/Biogas%20upgrading.pdf>
26. Annachhatre, A. P. and Amatya, P. L. (2000). UASB Treatment of Tapioca Starch Wastewater. J. Envir. Engrg. 126 (12): 1149-1152.
27. Spiro, T. G. and Stigliani, W. M. (2003). Chemistry of the environment. (2nd ed.). New Jersey: Prentice Hall.
28. Harada H., Uemura S. and Komonoi K. Interaction Between Sulfate Reducing Bacteria and Methane Producing Bacteria in UASB Reactors Fed with Low Strength Wastes Containing Different Levels Of Sulfate. Water Research. Vol. 28, No. 2, 1994: 355-367.
29. Henzen,M and Harremoes,P 1983 "Anaerobic Treatment of Wastewater in Fixed Film Reactors-a Literature Review" Water Science and Technology,15,1
30. Hughes, D.E et al. Editors (1981) "Anaerobic Digestion 1981", Proceedings of the 2nd. International Symposium on Anaerobic Digestion, Travemunde, Federal Republic of Germany,6-11 Sept.1981 Elsevier Biomedical Press,Amsterdam, New York-Oxford
31. Lawrence, A.W (1971) "Application of Process Kinetics to Design of Anaerobic Processes " in Anaerobic Biological Treatment Processes, American Chemical Society Advanced in Chemical series 105: 163-189
32. Lawrence, A.W and McCarty, P.L (1969) "Kinetics of Methane Fermentation in Anaerobic Treatment" J.WPCF,41(2) ,R1-R17