

ผลของปุ๋ยหมักชีวภาพและตำแหน่งการวางของปุ๋ยหมักชีวภาพต่อการผลิตก๊าซในหลุมฝังกลบจำลอง

นางสาวชมพูนุช ชุ่มพุดชา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR) are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

Effects of Biological Compost and Locations on Biogas Production in Simulated Landfill

Miss Chompoonuch Chumputsa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science
(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของปุ๋ยหมักชีวภาพและตำแหน่งการวางของปุ๋ยหมัก
	ชีวภาพต่อการผลิตก๊าซในหลุมฝังกลบจำลอง
โดย	นางสาวชมพูนุช ชุ่มพุดชา
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โสมิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธุ์ศักดิ์ สัมพันธ์พานิช)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ. ดร. จักรกริศจิน เนื่องจำนงค์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. สมชาย ดาราวัดน์)

ชมพูนุช ชุ่มพุดชา : ผลของปุ๋ยหมักชีวภาพและตำแหน่งการวางของปุ๋ยหมักชีวภาพต่อการผลิตก๊าซในหลุมฝังกลบจำลอง(Effects of Biological Compost and Locations on Biogas Production in simulated landfill) อ. ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก : ผศ.ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ 82 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปุ๋ยหมักและตำแหน่งการวางปุ๋ยหมักต่อปริมาณการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยได้ทำการทดลองเป็นระยะเวลา 90 วัน ณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณของก๊าซชีวภาพและการลดค่าซีไอดีในน้ำหมักจากมูลฝอยและปุ๋ยหมักจากการวางในตำแหน่งที่ต่างกันในถังปฏิกริยา

การทดลองเป็นการหมักแบบ Batch Process โดยควบคุมองค์ประกอบตั้งต้นของทั้ง 4 ถังปฏิกริยาให้เหมือนกันหมด ได้แก่ ปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอย และเชื้อที่ใช้เริ่มต้นระบบโดยแบ่งถังปฏิกริยาเป็น 4 ถังได้แก่ 1) ถังปฏิกริยา (C) ประกอบด้วยมูลฝอย 2.5 กิโลกรัม 2) ถังปฏิกริยา (U) ประกอบด้วยมูลฝอย 2.5 กิโลกรัม และปุ๋ยหมักคลุมด้านบน 0.5 กิโลกรัม 3) ถังปฏิกริยา (L) ประกอบด้วยมูลฝอย 2.5 กิโลกรัม และปุ๋ยหมัก 0.5 กิโลกรัมปิดอยู่ด้านล่าง และ 4) ถังปฏิกริยา (UL) ชุดท้ายประกอบด้วยมูลฝอย 2.5 กิโลกรัม และปุ๋ยหมัก 0.25 กิโลกรัมปิดคลุมที่ด้านบนและ 0.25 กิโลกรัมปิดอยู่ด้านล่าง

ผลการทดลองพบว่า ถังปฏิกริยาทั้ง 4 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสุดท้ายคือ ถังปฏิกริยา C 20,500 มิลลิกรัม ถังปฏิกริยา U 22,760 มิลลิกรัม ถังปฏิกริยา L 26,560 มิลลิกรัม และถังปฏิกริยา UL 27,315 มิลลิกรัม และในช่วงระยะที่ 3 (ช่วงวันที่ 61 ถึงวันที่ 90 ของการทดลอง) ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี มีค่าเฉลี่ยของถังปฏิกริยา C เท่ากับ 37.24 เปอร์เซ็นต์ ถังปฏิกริยา U เท่ากับ 34.05 เปอร์เซ็นต์ ถังปฏิกริยา L เท่ากับ 39.13 เปอร์เซ็นต์ และถังปฏิกริยา UL เท่ากับ 42.74 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และเพิ่มอัตราการกำจัดซีไอดีได้ดีกว่าถังปฏิกริยาที่ไม่มีปุ๋ยหมักเลย และถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านล่างสามารถเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ และเพิ่มอัตราการกำจัดซีไอดีได้ดีกว่าถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านบนแต่ เมื่อปุ๋ยหมักไว้ทั้งด้านล่างและด้านบนจะมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีและเพิ่มปริมาณกาชีวภาพไม่แตกต่างกัน เมื่อเทียบกับการวางปุ๋ยหมักไว้เฉพาะด้านล่าง

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต

ปีการศึกษา 2554..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก

5187141720 : MAJOR OF ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS : BIOGAS/ COMPOST/ ORGANIC WASTE / ANAEROBIC
FERMENTATION

CHOMPOONUCH CHUMPUTSA : EFFECT OF BIOLOGICAL COMPOST AND
LOCATIONS ON BIOGAS PRODUCTION IN SIMULATED LANDFILL.

ADVISOR : ASST.PROF. PICHAYA RACHDAWONG, Ph.D., 82 pp.

Effects of compost and its placement on the amount of biogas produced was studied. Experiments were conducted over the period of 90 days at the Faculty of Environmental Engineering, Chulalongkorn University.

Assessment for the amount of biogas and COD in leachate from organic waste degradation of the reactors with compost at different locations was performed. The experiment utilized four reactors. The first reactor contained 2.5 kg of waste. The second reactor contained 2.5 kg of waste with 0.5 kg of compost at the top. The third reactor contained 2.5 kg of waste with 0.5 kg of compost at the bottom. Finally, the last reactor contained 2.5 kg of waste with 0.25 kg of compost at the top and 0.25 kg of compost at the bottom.

The results showed that all reactors could produce biogas, with cumulative volume of 22,750, 20,500, 26,560, and 27,315 ml for reactors U, C, L, and UL respectively. During Phase 3 (from Days 61 to 90), the system was effective in removing COD. With an average of 37.24, 34.05, 39.13, and 42.74 percent for reactors U, C, L, and UL respectively. The UL reactor with compost had the highest gas production and highest COD reduction compared to the reactor with no compost. The reactor with compost at the bottom can increase biogas production compared to the reactor with compost at the top. The reactor UL with compost at the top and at the bottom performed similar to the reactor with compost at the bottom only.

Field of Study : Environmental Science

Student's Signature

Academic Year : 2011

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูง ที่กรุณาให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆที่ดี ตลอดจนตลอดจนแนวคิดในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยและการวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พันธวัศ สัมพันธ์พานิช ผู้ช่วยศาสตราจารย์ น.สพ. ดร. จักรกริสน์ เนื่องจำนงค์ และดร. สมชาย ดารารัตน์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการปรับปรุงและแก้ไขให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนอุดหนุนการทำวิจัยครั้งนี้ จนสามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความสะดวกในเรื่องอุปกรณ์เครื่องมือ และสารเคมีในการทำวิจัย ตลอดจนทุนสนับสนุนในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้พื้นที่ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ทุกคนที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคำแนะนำต่างๆ อย่างดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ และน้องสาวเป็นอย่างยิ่ง ที่คอยให้คำแนะนำ และคอยช่วยสนับสนุนเกี่ยวกับด้านการเรียนในทุกๆ ด้านตลอดมา รวมทั้งให้สิ่งดีๆ ในชีวิตตลอดมา ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำงานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่.....	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ขยะเศษอาหาร.....	4
2.2 Daily cover.....	7
2.3 หลักการพื้นฐานของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Process).....	8
2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ.....	13
2.5 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศ.....	15
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	17
3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 แผนการวิจัย.....	21
3.2 มูลฝอยสังเคราะห์(synthetic waste)	21
3.3 การทำปุ๋ยหมัก.....	23
3.4 หัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัย.....	25
3.5 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	25
3.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26

4	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	32
4.1	ลักษณะปฏิกิริยาหมักจากมูลฝอยสังเคราะห์.....	32
4.2	ลักษณะหัวเชื้อจุลินทรีย์.....	33
4.3	การศึกษาระบบหมักแบบไร้อากาศในถังปฏิกรณ์.....	33
4.4	เปรียบเทียบการกำจัดค่าซีไอดี ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพและ เปอร์เซ็นต์มีเทน.....	50
4.5	ลักษณะของปฏิกิริยาหมักและมูลฝอยสังเคราะห์หลังสิ้นสุดการทดลอง.....	51
4.5	ภาพพื้นผิวของปฏิกิริยาหมักที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน(Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ.....	52
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	56
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	56
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	58
	รายการอ้างอิง.....	59
	ภาคผนวก.....	63
	ภาคผนวก ก.....	64
	ภาคผนวก ข.....	66
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	82

สารบัญญัตินำ

ตารางที่		หน้า
2.1	องค์ประกอบของชยะของกรุงเทพมหานครปี 2548 สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร.....	5
3.1	องค์ประกอบของมูลฝอยสังเคราะห์.....	23
3.2	องค์ประกอบของการทำปุ๋ยหมัก.....	23
3.3	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์หัวเชื้อจุลินทรีย์.....	25
3.4	พารามิเตอร์ ความถี่ และวิธีวิเคราะห์ตัวแปรตาม.....	26
3.5	ปริมาณสารอาหารเสริมหลักและสารอาหารเสริมรอง.....	27
4.1	ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยสังเคราะห์.....	32
4.2	ลักษณะสมบัติหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	33
4.3	ค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยง่ายในการทดลอง.....	36
4.4	ค่าซีไอดีเฉลี่ยในระยะต่างๆของการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง.....	39
4.5	ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี.....	40
4.6	แสดงค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของแต่ละระยะ.....	43
4.7	เปอร์เซ็นต์มีเทน.....	44
4.8	ค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทดลอง.....	49
4.9	ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน.....	49
4.10	เปรียบเทียบการกำจัดค่าซีไอดี ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทน.....	50

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างการคลุมดิน.....	8
2.2	ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้อากาศ.....	10
3.1	มูลฝอยที่ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์แล้วก่อนใส่ถังปฏิบัติการ.....	21
3.2	ขั้นตอนการเดินระบบหมักแบบไร้อากาศในถังปฏิบัติการ.....	22
3.3	ขั้นตอนการเตรียมปุ๋ยหมัก.....	24
3.4	กระบอกวัดปริมาตร และ หลอดแก้วรูปตัวยู.....	28
3.5	ถุงเก็บก๊าซชีวภาพ.....	28
3.6	การเจาะรูถังปฏิบัติการเพื่อต่อสายยาง.....	29
3.7	กระบอกฉีดยาขนาด 60 ซีซี.....	29
3.8	ตัวอย่างถังปฏิบัติการกับการวางตำแหน่งใส่ปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลอง.....	30
3.9	ถังปฏิบัติการที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้.....	30
4.1	กรดไขมันระเหยง่ายตลอดระยะเวลาการทดลอง.....	36
4.2	ค่าซีไอดีจากน้ำชะในถังปฏิบัติการตลอดระยะเวลาการทดลอง.....	39
4.3	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแต่ละวัน.....	41
4.4	ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม.....	42
4.5	อุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลอง.....	45
4.6	ค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการทดลอง.....	46
4.7	ค่าความเป็นด่างทั้งหมดตลอดระยะเวลาการทดลอง.....	48
4.8	ปุ๋ยหมักทางด้านบนหลังจากจบการทดลองของถังปฏิบัติการ A และถังปฏิบัติการ B.....	51
4.9	ลักษณะมูลฝอยสังเคราะห์และปุ๋ยหมักหลังจบการทดลองของถังปฏิบัติการ A และถังปฏิบัติการ B.....	51
4.10	ลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 100 เท่า.....	53
4.11	ลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 1,500 เท่า.....	54
4.12	ลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 5,000 เท่า.....	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคมของประเทศไทยทำให้มีการเพิ่มจำนวนของประชากรสูงขึ้น จึงก่อให้เกิดปัญหามลพิษในด้านอากาศ น้ำ และมูลฝอย โดยปัญหามลพิษที่สำคัญคือปัญหามูลฝอยที่มีแนวโน้มสูงขึ้น ปัญหาที่ตามมาคือการจัดการกับมูลฝอยนี้ ซึ่งพบว่าการกำจัดที่นิยมใช้กันคือ การเผา การเทกองกลางแจ้ง การฝังกลบและการทำปุ๋ยหมักหรือวัสดุปรับปรุงดิน (กรุงเทพมหานคร, 2541) ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีปัญหาที่แตกต่างกัน เช่น การเผาจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงในเรื่องการก่อสร้างและค่ารักษาซ่อมบำรุง และยังก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางอากาศอีกด้วย การเทกองกลางแจ้งบนพื้นทำให้เกิดการย่อยสลายทางธรรมชาติจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและยังก่อให้เกิดความรำคาญต่อผู้ที่อยู่ใกล้เคียง ส่วนการฝังกลบจำเป็นต้องใช้พื้นที่มากอาจเกิดการปนเปื้อนของน้ำชะขยะสู่น้ำใต้ดิน และการหมักทำปุ๋ยหมักหรือวัสดุปรับปรุงดินที่เรียกว่า Compost นั้นพบว่าผลผลิตที่ได้อยู่ในอัตราที่ค่อนข้างต่ำ

ในปัจจุบันปัญหาด้านพลังงานมีบทบาทมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาประเทศทำให้มีความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้น ในขณะที่พลังงานที่ต้องการใช้นั้นมีอยู่จำกัดและมีแนวโน้มที่จะหมดไปในอนาคต โดยเฉพาะน้ำมันดิบที่ปัจจุบันมีราคาสูง ซึ่งทำให้นานาประเทศเร่งพัฒนาแหล่งพลังงานเพิ่มเติมหรือหาแหล่งพลังงานอื่นมาเพื่อใช้แทนน้ำมันดิบ แหล่งพลังงานที่ได้รับความสนใจมากที่สุดได้แก่ พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากลม พลังงานจากน้ำ พลังงานจากชีวมวล พลังงานจากก๊าซชีวภาพ เป็นต้น โดยพลังงานจากก๊าซชีวภาพนั้นได้รับความสนใจมากเพราะในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นนอกจากจะได้พลังงานแล้วยังสามารถลดปริมาณมูลฝอยได้อีกด้วย ซึ่งพลังงานจากก๊าซชีวภาพ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่มีอยู่ในก๊าซนั้น ก๊าซมีเทนบริสุทธิ์มีค่าความร้อนประมาณ 38,100 กิโลจูลต่อลูกบาศก์เมตร หรือสามารถให้ความร้อนประมาณ 13,000 กิโลจูลต่อกิโลกรัมของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายไป ซึ่งจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและองค์ประกอบของสารที่ถูกย่อยแต่ละชนิด ก๊าซชีวภาพสามารถ

นำมาใช้เป็นก๊าซเชื้อเพลิงได้ โดยก๊าซชีวภาพปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร จะให้พลังงานความร้อน 5,200 – 5,900 กิโลแคลอรี ซึ่งเพียงพอสำหรับต้มน้ำ 130 กิโลกรัม ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ให้เดือดได้ หรือให้แสงสว่างจากตะเกียงที่ความสว่าง 60 – 100 วัตต์ ได้นาน 5 – 6 ชั่วโมง (Kotze, J.P., et. al., 1968)

Daily cover คือสิ่งที่ประยุกต์ใช้คลุมหลุมฝังกลบอาจเรียกว่า วัสดุคลุมทับรายวันได้ซึ่งหลังจากฝังกากของเสียในแต่ละวัน ซึ่ง Daily cover ทำเพื่อป้องกันลมที่จะพัดเอาฝุ่นในหลุมฝังกลบกระจายออกเป็นการป้องกันการกระจายของเชื้อโรค ป้องกันการเกิดไฟไหม้ ลดกลิ่น และป้องกันสัตว์กินซาก ปกติจะใช้ดินเป็น Daily cover โดยจะใช้ดินที่มีความหนาน้อย 6 นิ้ว แต่เนื่องจากหลุมฝังกลบมีพื้นที่กว้างมากและการหาดินที่เหมาะสมในการปกคลุมยาก ปัจจุบันมีการใช้แผ่นพลาสติก HDPE แต่มีการประยุกต์ใช้ โฟม เศษไม้ และใบไม้ นอกจากนั้นยังสามารถใช้ปุ๋ยหมักเป็น Daily cover ได้โดยปุ๋ยหมักยังช่วยในการผลิตก๊าซชีวภาพ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลฝอยจากขยะอินทรีย์ชนิดเดียวกันได้แก่ เศษผักและผลไม้โดยใช้แทนมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ง่าย โดยปุ๋ยหมักจะถูกวางในตำแหน่งที่ต่างกันเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการเกิดของก๊าซชีวภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดการปัญหามูลฝอยอินทรีย์ในระดับต่อไป มูลฝอยที่เกิดขึ้นในตลาดสดส่วนใหญ่เป็นมูลฝอยอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ สามารถกำจัดด้วยวิธีการหมักแบบไร้อากาศเพื่อผลิตก๊าซมีเทนใช้เป็นพลังงานทดแทน สามารถใช้เป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาการกำจัดมูลฝอยได้ และช่วยลดปัญหาในการจัดการสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากตำแหน่งการวางปุ๋ยหมักในหลุมฝังกลบจำลอง

1.2.2 เพื่อศึกษาความสามารถของปุ๋ยหมักในการลดค่าซีไอดีในน้ำชะขยะ จากหลุมฝังกลบจำลอง

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพและอัตราการลดซีไอดีเมื่อปุ๋ยหมักอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกัน

1.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ โดยทำการตั้งอุปกรณ์ทดลองที่ อุณหภูมิห้อง ณ ห้องปฏิบัติการน้ำเสียภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีขอบเขตงานวิจัยดังนี้

1.3.1 งานวิจัยนี้ทำการทดลองโดยเลือกใช้มูลฝอยสังเคราะห์นำมาย่อยสลายในระบบไร้อากาศ

1.3.2 ตะกอนจุลินทรีย์ (Seed) ที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบเป็นหัวเชื้อจากบริษัทเสริมสุข จำกัด (มหาชน)

1.3.3 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลองจะใช้ขวดพลาสติกปริมาตร 6,000 มิลลิลิตร

1.3.4 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ต่างๆจากน้ำหมักในระบบ ได้แก่ ค่าพีเอช ค่าซีไอดี ค่าไออาร์พี ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถเพิ่มปริมาณก๊าซชีวภาพจากหลุมฝังกลบโดยใช้ปุ๋ยหมักได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.4.2 ประยุกต์ใช้ปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายในหลุมฝังกลบ

1.4.3 ประยุกต์เป็นต้นแบบปรับปรุงและพัฒนากระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขยะเศษอาหาร

2.1.1 ลักษณะและองค์ประกอบ

ความหมายของ มูลฝอย(Solid Wastes) ตามพระราชบัญญัติ รักษาความสะอาด และความเป็นระเบียบเรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ.2535 มูลฝอยหมายความว่า เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์หรือซากสัตว์ รวมถึงสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ คำว่า ขยะ หรือ ขยะมูลฝอย เป็นคำที่มีความหมายเหมือนกับคำว่า มูลฝอย มีความหมายครอบคลุมกว้างขวาง ซึ่งอาจหมายถึงและรวมถึงของเสียหรือวัสดุเหลือใช้ที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ หรือกระบวนการผลิตทางเกษตรกรรมและอุตสาหกรรม เช่นมูลฝอยในชุมชน (Municipal Solid Wastes) มูลฝอยหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial Wastes), มูลฝอยติดเชื้อ (Infectious Wastes) จากโรงพยาบาลหรือสถานพยาบาล เป็นต้น

ขยะเศษอาหารคือขยะเศษอาหารที่เหลือทิ้งจากครัวเรือน จากอาหารที่เหลือจากการรับประทานพวกข้าว เนื้อสัตว์ ผัก ผลไม้ น้ำมัน ของเสียเหล่านี้จะเกิดการย่อยสลายได้ง่าย เกิดการบูดเน่าเสียส่งกลิ่นเน่าเหม็น และเป็นที่สะสมของเชื้อโรค เนื่องจากเศษอาหารเหล่านี้มีของแข็งระเหย (Volatile Solid) ในปริมาณสูงประมาณ 85-95 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้น (Moisture) ประมาณ 75-85 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือมีสารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารได้ (Shin et al., 2001)

จากการศึกษาของสำนักรักษาความสะอาดกรุงเทพมหานคร (2548) ได้แบ่งมูลฝอยออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) ขยะเศษอาหาร พืช ผัก ผลไม้ หรือที่แต่เดิมเรียกว่า ขยะเปียก ได้แก่ เศษอาหาร พืช ผัก เปลือกผลไม้ อินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายเน่าเปื่อยง่าย มีความชื้นสูงและส่งกลิ่นเหม็นได้รวดเร็ว

2) ขยะยังใช้ได้หรือเรียกว่าขยะรีไซเคิล หรือที่ แต่เดิมเรียกว่า ขยะแห้ง ได้แก่ พวก แก้ว กระดาษ โลหะ พลาสติก เศษผ้า ฯลฯ ซึ่งเราสามารถเลือกวัสดุที่ยังมีประโยชน์กลับมาใช้ใหม่ได้อีก

3) ขยะที่มีพิษภัยอันตรายซึ่งเกิดจากบ้านเรือนได้ตั้งถึงสี่เท่าฝาสีลัมไว้สำหรับให้ประชาชนนำขยะที่มีพิษภัยอันตรายซึ่งเกิดจากบ้านเรือนมาทิ้ง โดยตั้งไว้ตามสถานีบริการน้ำมัน และสถานอื่น ๆ ซึ่งขยะพวกนี้ ได้แก่ หลอดไฟ และหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่เสียแล้ว แบตเตอรี่รถยนต์ และถ่านไฟฉายที่หมดอายุ กระจกยาฆ่าแมลง และยาปราบศัตรูพืช ภาชนะใส่แล็กเกอร์ และทินเนอร์ ภาชนะใส่น้ำมันเครื่อง และน้ำมันเบรก น้ำยาทำความสะอาดสุขภัณฑ์ ยารักษาโรค ที่เสื่อมคุณภาพ ฯลฯ พบว่าองค์ประกอบของขยะในกรุงเทพมหานคร พบขยะประเภทผักและผลไม้มากที่สุดประมาณ 44.32 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.1 และองค์ประกอบของขยะมูลฝอยจากตลาดกลางรังสิต (ชลิดา อุ้ตะเภา, 2548) จากตารางที่ 2.1 พบว่าขยะที่เกิดขึ้นตามตลาดและชุมชนนั้นเป็นขยะประเภทเศษอาหาร ผักและผลไม้มากที่สุด

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของขยะของกรุงเทพมหานครปี 2548 สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร (2548)

องค์ประกอบ	องค์ประกอบ(น้ำหนักเปียก)เปอร์เซ็นต์
เศษอาหาร ผักและผลไม้	44.32
พลาสติกและกล่องโฟม	28.21
กระดาษ	9.65
ไม้และใบไม้	5.11
ผ้าและเศษสิ่งทอ	4.58
หนังและยาง	0.83
อื่นๆ	1.1
แก้ว	3.16
โลหะ	2.06
หินและเซรามิค	0.53
กระดุกและเปลือกหอย	0.45
รวม	100

2.1.2 ผลกระทบจากมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อม

- 1) ปัญหากลิ่นเหม็นจากมูลฝอยสร้างความรำคาญให้แก่ชุมชนพักอาศัย
- 2) แหล่งน้ำเน่าเสียจากการที่มูลฝอยมีอินทรีย์สารเน่าเปื่อยปะปนอยู่เป็นอันตรายต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสัตว์น้ำ รวมทั้งผลเสียในด้านการใช้แหล่งน้ำเพื่อการนันทนาการ
- 3) เป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคและสัตว์น้ำโรคต่างๆ เช่น หนู แมลงวัน เป็นต้น
- 4) การกำจัดมูลฝอยที่ไม่ถูกหลักวิชาการจะสร้างความเดือดร้อนรำคาญแก่ผู้ที่อาศัยข้างเคียง รวมทั้งส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของประชาชน
- 5) ทำให้ชุมชนขาดความสะอาดสวยงามและดูไม่มีความเป็นระเบียบทำให้ไม่น่าอยู่
- 6) การสูญเสียทางเศรษฐกิจ เช่น ชุมชนจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยค่าชดเชยความเสียหายในกรณีที่เกิดเพลิงไหม้ และค่ารักษาพยาบาลหากประชาชนได้รับโรคภัยไข้เจ็บจากพิษของมูลฝอย

2.1.3 วิธีการกำจัดมูลฝอย

1) การเผาในเตาเผา (Incineration)

เตาเผาที่สามารถเผาขยะชนิดต่างๆ ได้อย่างสมบูรณ์จะไม่ทำให้เกิดกลิ่นและควันรบกวน ไม่ก่อให้เกิดอากาศเป็นพิษ ความร้อนของเตาเผาขยะที่ใช้โดยทั่วไปคือระหว่าง 676 - 1,100 องศาเซลเซียส ณ ที่ความร้อน 676 องศาเซลเซียส จะช่วยทำให้ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการเผาขยะถูกเผาไหม้ได้อย่างสมบูรณ์ ที่อุณหภูมิ 760 องศาเซลเซียส จะทำให้การเผาไหม้ไม่มีกลิ่นรบกวน อย่างไรก็ตามวิธีนี้เหมาะกับขยะติดเชื้อบางชนิด เช่น ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล

2) วิธีฝังกลบแบบขุดเป็นร่อง (Trend Method)

เหมาะสำหรับพื้นที่ซึ่งเป็นที่ราบ โดยขุดดินเป็นร่องลึก 2-3 เมตร ผนังด้านข้างควรทำมุม 30 องศากับแนวระดับ ก้นร่องควรกว้างประมาณ 3 - 10 เมตร ดินที่ขุดขึ้นจะกองไว้ข้าง ๆ เพื่อสะดวกในการนำมาปิดทับหน้าขยะเมื่อนำขยะมาเทกองในร่องก็ใช้รถแทรกเตอร์เกลี่ย และบดอัดขยะให้แน่นหลังจากนั้นตักดินข้าง ๆ มาปิดทับ และบดอัดขยะด้วยรถแทรกเตอร์อีกครั้ง ดินที่นำมาบดทับหน้าขยะหนา 10 - 15 เซนติเมตร สำหรับความหนาของดินที่จะใช้บดอัดเพื่อปิดทับหน้าร่องควรมีความหนา 15 - 60 เซนติเมตร และร่องดินที่จะเตรียมขึ้นใหม่ควรขุดให้ห่างจากร่องเดิมไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร

3) วิธีฝังกลบขยะมูลฝอยแบบกลบบนพื้นดิน (Area Method)

เป็นวิธีฝังกลบที่เริ่มจากระดับดินเดิม โดยไม่มีการขุดดิน โดยบดอัดขยะตามแนวราบก่อน แล้วค่อยบดอัดทับในชั้นถัดไปจนถึงระดับที่กำหนดไว้ ทำคันดินตามแนวของพื้นที่ก่อนเพื่อทำหน้าที่เป็นผนังหรือขอบยัน สามารถป้องกันน้ำเสียที่เกิดจากการย่อยสลายไม่ให้น้ำเสียซึมออกด้านนอกลักษณะภูมิประเทศของพื้นที่เป็นที่ราบลุ่ม หรือที่มีระดับน้ำ ใต้ดินสูงหรือน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดินเล็กน้อย (ไม่เกิน 1 เมตร) ไม่สามารถขุดดินเพื่อกำจัดด้วยวิธีการกลบบนขุดร่องได้ เพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากขยะต่อน้ำใต้ดิน

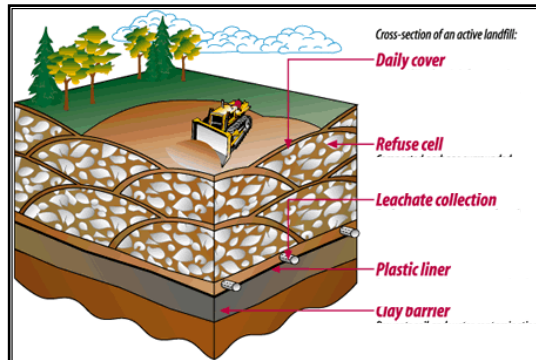
4) การทำปุ๋ยหมัก (Composting)

การกำจัดมูลฝอยโดยวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมทำต่อเนื่องกันมาจนถึงปัจจุบันเพราะประโยชน์ที่ได้คือปุ๋ยอินทรีย์ สามารถนำไปใช้ในด้านเกษตรกรรม เช่น ใช้เป็นปุ๋ยปลูกต้นไม้ได้

อีกวิธีหนึ่งที่ใช้เลือกใช้ในการหมักขยะพวกที่มีความชื้นสูง คือ ระบบหมักไร้อากาศ (Anaerobic Process) คือเป็นการหมักขยะชนิดที่ไม่ต้องใช้อากาศหรือ ออกซิเจนในการย่อยสลาย จึงต้องหมักในถังปิด การหมักใช้เวลานานกว่าวิธี Aerobic Process ปกติจะใช้เวลาประมาณ 1-3 เดือน จะย่อยสลายขยะได้สมบูรณ์จึงจะนำมาใช้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ได้เช่นกัน นอกจากนี้จะใช้วิธีกำจัดขยะมูลฝอยชนิดต่างๆแล้วแผนการลดขยะมูลฝอยจากแหล่งกำเนิด และการนำมูลฝอยกลับไปใช้ใหม่จะทำให้แผนการกำจัดมูลฝอยโดยรวมมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

2.2 Daily cover

Daily cover คือ สิ่งที่ประยุกต์ใช้คลุมหลุมฝังกลบ หลังจากฝังกากของเสียในแต่ละวัน ซึ่ง Daily cover ทำเพื่อป้องกันลมที่จะพัดเอาฝุ่นในหลุมฝังกลบกระจายออกเป็นการป้องกันการกระจายของเชื้อโรค ป้องกันการเกิดไฟไหม้ ลดกลิ่น และป้องกันสัตว์กินซาก ดังภาพที่ 2.1 ปกติจะใช้ดินเป็น Daily cover โดยจะใช้ดินที่มีความหนาอย่างน้อย 6 นิ้ว แต่เนื่องจากหลุมฝังกลบมีพื้นที่กว้างมากและการหาดินที่เหมาะสมในการปกคลุมยาก ปัจจุบันมีการใช้แผ่นพลาสติก HDPE แต่มีการประยุกต์ใช้ โฟม เศษไม้ และใบไม้ นอกจากนั้นยังสามารถใช้ปุ๋ยหมักเป็น Daily cover ได้ โดยปุ๋ยหมักยังช่วยในการผลิตก๊าซชีวภาพ (พิพัฒน์ ธีระจักร , 2548)



ภาพที่ 2.1 ตัวอย่างการคลุมดิน (ที่มา <http://www.agriculture.gov.sk.ca/>)

2.3 หลักการพื้นฐานของกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (Anaerobic Process)

2.3.1 กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic Digestion)

กระบวนการทางชีววิทยาแบบไร้อากาศเป็นกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ โดยอาศัยจุลินทรีย์หลายกลุ่มทำงานร่วมกันซึ่งสามารถแบ่งขั้นตอนการย่อยสลายได้อย่างคร่าวๆ 4 ขั้นตอนหลัก ดังภาพที่ 2.2

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

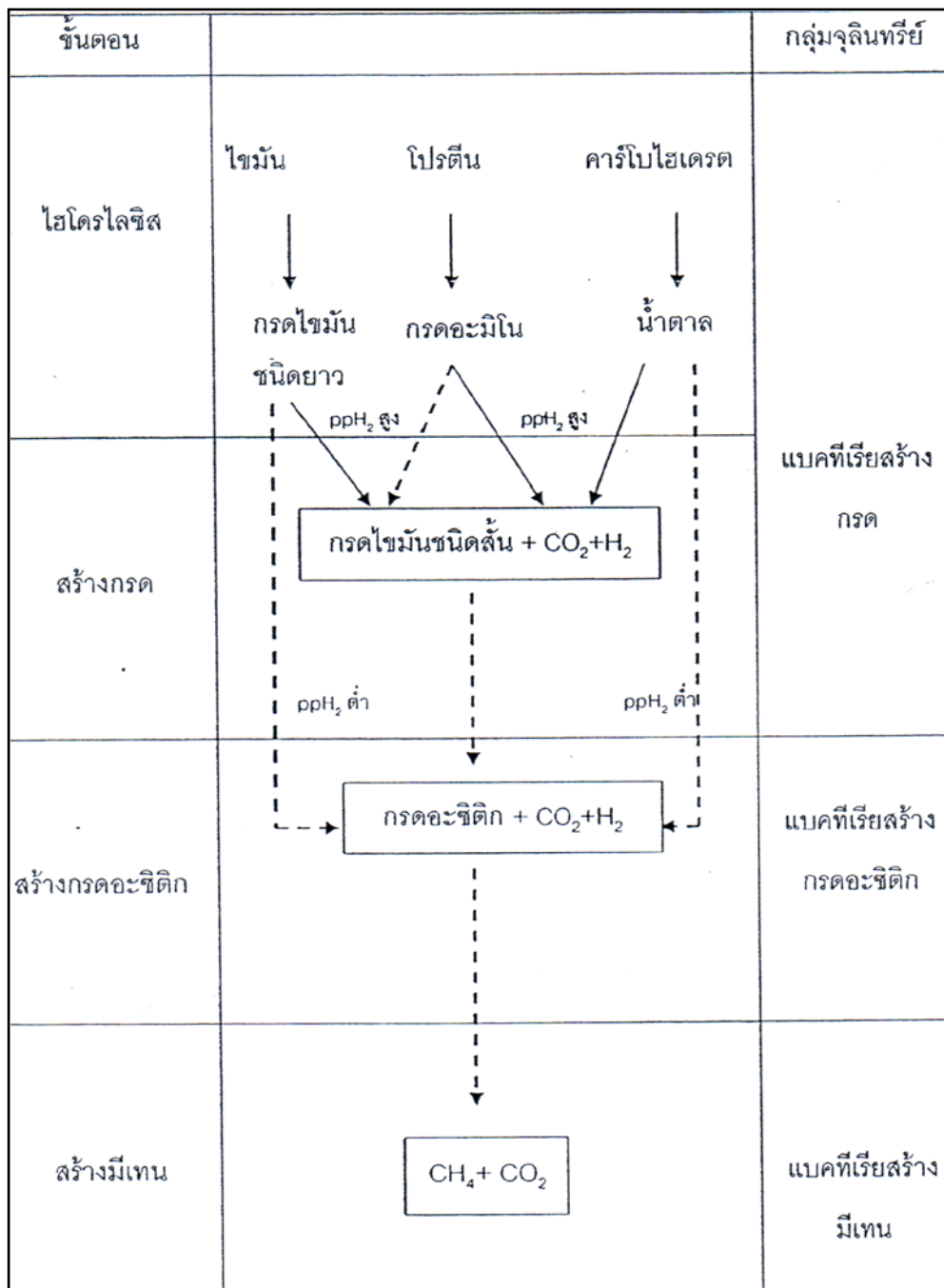
ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรดไขมันระเหยง่าย (Acidogenesis)

ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis)

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

ขั้นตอนที่ 1 กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่ เป็นโมเลกุลขนาดเล็ก (Hydrolysis) เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ที่มีลักษณะซับซ้อนเช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ถูกทำให้ละลายน้ำโดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งใช้เอนไซม์ (Extracellular Enzyme) ของแบคทีเรียจำพวก Hydrolytic Bacteria เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาได้สารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อนเป็นสารโมเลกุลเล็ก เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดอะมิโน กรดไขมัน และกลีเซอรอล สำหรับความเร็วของกระบวนการย่อยสลายในขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับเอนไซม์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแบคทีเรีย ทั้งนี้เอนไซม์มีความเฉพาะเจาะจงมาก การทำงานของเอนไซม์จึงขึ้นกับปัจจัยอื่นด้วยคือ ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ อุณหภูมิ ค่าพีเอช และการสัมผัสระหว่างเอนไซม์กับสารอินทรีย์จากทั้งหมดนี้ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์แต่ละชนิดใช้เวลาต่างกัน และจากเหตุผลนี้ทำให้ขั้นตอนไฮโดรไลซิสนี้เป็นขั้นตอนที่ค่อนข้างช้าและจำกัดอัตราเร็ว เช่น ถ้าสารอินทรีย์ชนิดนั้นมีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่ำ จะต้องใช้เวลาย่อยสลายนานกว่าจะได้สารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็ก



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียโดยกระบวนการไร้อากาศ
 (Sam-soon, 1987 อ้างถึงในมันส์สิน ตันทุลเวศม์, 2546)

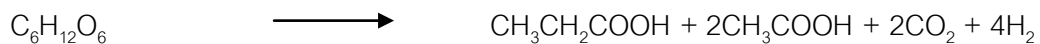
ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการสร้างกรดไขมันระเหยง่าย (Acidogenesis)

การเปลี่ยนสารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็กให้เป็นกรดไขมันระเหยง่าย (Acidogenesis) ผลผลิตจากกระบวนการแรกจะถูกส่งต่อและแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรด (Acidogenic Bacteria) ได้นำไปใช้และผลิตกรดไขมันระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) เช่น กรดอะซิติก (Acetic Acid) กรดโพรพิโอนิก (Propionic Acid) กรดบิวทิริก (Butyric Acid) เป็นต้น ซึ่งเป็นกรดอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีคาร์บอนอะตอมไม่เกิน 5 ตัว (Banerjee et al., 1998) ซึ่งชนิดของผลผลิตที่ได้ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ ชนิดของสารประกอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และสภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนในระบบ (Hydrogen Partial Pressure) เช่น กรดไขมันชนิดยาวจะเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติก และไฮโดรเจน ภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนต่ำ และเปลี่ยนเป็นกรดโพรพิโอนิกและบิวทิริกภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนสูง

ขณะที่น้ำตาลจะถูกย่อยเป็นกรดอะซิติก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ที่สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่มีค่าต่ำ ดังสมการ



แต่จะถูกย่อยเป็นกรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก ไฮโดรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์ ที่สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนที่มีค่าสูง ดังสมการ



ขั้นตอนที่ 3 กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis)

กระบวนการสร้างกรดอะซิติกจากกรดไขมันระเหย (Acetogenesis) กรดไขมันระเหยที่ได้จาก กระบวนการสร้างกรดจะถูกแบคทีเรียอะซิโตจีนิก (Acetogenic Bacteria) เปลี่ยนให้เป็นกรดอะซิติก กรดฟอร์มิก คาร์บอนไดออกไซด์ และไฮโดรเจน ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญในการสร้างมีเทน ปฏิกิริยานี้มีความสำคัญเนื่องจากการลดการสะสมของกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งการสะสมของกรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณที่สูงสามารถยับยั้งกระบวนการสร้างมีเทนได้

ขั้นตอนที่ 4 กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis)

กระบวนการสร้างมีเทน (Methanogenesis) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการย่อยสลายสารอินทรีย์ ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศโดยแบคทีเรียสร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) จะเปลี่ยนสารประกอบที่ได้จากกระบวนการสร้างกรดในขั้นตอนที่ 3 คือ กรดอะซิติก (CH_3COOH) ไฮโดรเจน (H_2) และคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ไปเป็นก๊าซมีเทน (CH_4) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และน้ำ (H_2O) ซึ่งถ้าระบบมีแบคทีเรียสร้างมีเทนในปริมาณมากพอและมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดี จะได้ก๊าซมีเทนประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ แบคทีเรียสร้างก๊าซมีเทนเจริญเติบโตได้ช้าและสภาพแวดล้อมมีผลต่อการเจริญเติบโตค่อนข้างมาก ทำให้ช่วงค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรียในกลุ่มนี้แคบ โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.5 - 7.5 และแบคทีเรียในกลุ่มนี้ที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าหรือการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์ใหม่จะต้องการสารอาหารที่มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ดังนั้นการเติบโตของแบคทีเรียสร้างมีเทนนั้นจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของแบคทีเรียสร้างกรดโดยแบคทีเรียของทุกกลุ่มที่อยู่ภายในระบบต้องทำงานสัมพันธ์กัน จะพบว่ากลุ่มของแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเป็นกลุ่มแบคทีเรียหลักในการควบคุมความเร็วในเกิดปฏิกิริยาทั้งหมดในระบบ เนื่องจากแบคทีเรียในกลุ่มนี้มีอัตราการเติบโตช้าที่สุดและมีข้อจำกัดทางด้านสภาพแวดล้อมมากกว่าแบคทีเรียในกลุ่มอื่นๆ

2.3.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

การบำบัดแบบไร้อากาศ อาจกล่าวได้ว่าเป็นการบำบัดที่เหมาะสมที่สุดสำหรับใช้ในเขตที่มีอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไม่ใช้อากาศต้องการอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง ดังนั้นการบำบัดแบบไร้อากาศจึงไม่ใช้กันแพร่หลายในประเทศที่มีอากาศหนาว เพราะจะต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงมากในการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำเสีย Metcalf and Eddy (2003) ได้สรุปข้อดีข้อเสียของระบบบำบัดแบบไร้อากาศไว้ ดังนี้

1. ข้อดีของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

การบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศมีข้อดีกว่าการบำบัดแบบใช้อากาศหลายประการ

1) ในปฏิกิริยาแบบไร้อากาศ สารอินทรีย์ที่จุลินทรีย์ย่อยสลายได้ประมาณ 80 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ จะถูกย่อยสลายเป็นก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์ ส่วนที่ถูกนำไปสังเคราะห์สร้าง

เซลล์จึงมีน้อยมาก ส่วนในปฏิกิริยาแบบใช้อากาศ สารอินทรีย์ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ จะถูกนำไปใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่ ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ จึงมีปัญหาในการกำจัดตะกอนน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปัญหาการบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ

2) ในการบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ปริมาณอาหารเสริมที่ต้องการจะน้อยกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศมาก เพราะการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีปริมาณที่ต่ำ

3) ช่วยลดค่าใช้จ่ายได้เนื่องจากไม่ต้องใช้ออกซิเจน ผลพลอยได้จากระบบบำบัดแบบไร้อากาศ คือ ก๊าซมีเทน สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

4) สามารถรับอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่มีค่าสูงได้

5) ถังปฏิกริยามีขนาดเล็ก

6) สามารถปรับสภาพตะกอนจุลินทรีย์ให้บำบัดน้ำเสียที่ต้องการได้

7) ระบบทำงานได้ดี แม้ว่าจะหยุดเดินระบบไปชั่วคราว

2. ข้อเสียของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

1) จุลินทรีย์ที่ใช้ในการบำบัดเจริญเติบโตได้ช้า จึงทำให้ต้องใช้เวลาในการเริ่มต้นเดินระบบ (Start-up)

2) ต้องการปริมาณความเป็นด่างที่เหมาะสม

3) น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้อากาศควรนำไปบำบัดต่อโดยระบบใช้อากาศ

4) ไม่สามารถกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัสได้

5) ที่อุณหภูมิต่ำส่งผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง

6) ระบบมีความอ่อนไหวต่ออินออนและโลหะหนักที่เป็นพิษ

7) ในการบำบัดจะเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นด้วย ซึ่งทำให้มีกลิ่นเหม็น

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ

2.4.1 อุณหภูมิ

ปฏิกิริยาเคมีจะเกิดได้ดีที่สุดในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ 2 ช่วง คือ 30-40 องศาเซลเซียส (Mesophilic Temperature) และอุณหภูมิระหว่าง 50-60 องศาเซลเซียส (Thermophilic Temperature) อัตราเร็วของปฏิกิริยาและประสิทธิภาพของระบบจะเกิดในช่วง

Thermophilic Temperature มากกว่าช่วง Mesophilic Temperature (Ahn and Forster, 2002) ทำให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่ระยะเวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์สั้นลงและลดปริมาณถังหมักลง (Pagilla et al., 2000; Zupancic and Ros, 2003) แต่ข้อเสียของการหมักที่อุณหภูมิสูงคือ Thermophilic Bacteria จะทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ไม่ดีเท่า Mesophilic Bacteria ทำให้การควบคุมระบบมีความเสี่ยงสูงต่อการล้มเหลวของระบบ และยังสิ้นเปลืองพลังงานในการควบคุมอุณหภูมิระบบด้วย

2.4.2 พีเอช

ค่าพีเอช ที่เหมาะสมของการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศอยู่ที่ประมาณ 6.5-7.5 (Archer and Kirsop, 1991; Diaz และคณะ, 1993) การตรวจวัดค่าพีเอชภายในระบบสามารถบอกได้ถึงเสถียรภาพของระบบได้ ถ้ามีค่าพีเอชต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบจะต่ำลงอย่างรวดเร็วแสดงว่าอาจเกิดการสะสมของกรดไขมันระเหยภายใต้ระบบเนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนใช้กรดอินทรีย์ระเหยไม่ทันพีเอชจึงต่ำลง สามารถป้องกันได้โดยเติมสารเคมีที่มีความเป็นด่าง เช่น ปูนขาว (Cao) โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) และโซเดียมคาร์บอเนต(Na_2CO_3) เป็นต้น

2.4.3 กรดอินทรีย์ระเหย (Volatile Fatty Acid, VFA)

กรดอินทรีย์ระเหยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรียพวกสร้างกรด ซึ่งจะถูแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนนำไปใช้เป็นสารอาหารและแหล่งพลังงาน โดยปกติปฏิกิริยาการย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนจะสมดุลกับอัตราการสร้างกรดอินทรีย์ แต่ถ้าอยู่ในสภาวะไม่สมดุลที่อัตราการสร้างกรดสูงกว่า จะเกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ทำให้ค่าพีเอชลดลงระดับของกรดอะซิติกที่มีค่าเกิน 800 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ระบบล้มเหลวได้ (Marchaim and Krause, 1993) ดังนั้นการควบคุมพีเอชจึงเป็นกลไกสำคัญในการควบคุมระบบ

2.4.5 สภาพความเป็นด่าง (Alkalinity)

สภาพความเป็นด่างเป็นบัฟเฟอร์ในการควบคุมความเป็นกรดต่างของระบบ กระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ สภาพความเป็นด่างส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของด่างไบคาร์บอเนตที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำให้อยู่ในรูป

ของแอมโมเนียคาร์บอนเนต เมื่อความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ระเหยภายในระบบเพิ่มสูงขึ้น ความ
เป็นด่างไบคาร์บอนเนตก็จะถูกทำลายไป การทำลายความสามารถในการเป็นบัฟเฟอร์จะทำให้ค่าพี
เอชลดลง

2.4.6 สารอาหาร(Nutrient)

แบคทีเรียพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจนจะต้องการสารอาหารจำพวก ไนโตรเจน(N)
ฟอสฟอรัส (P) คาร์บอน (C) กำมะถัน (S) และสารอาหารอื่นๆ ที่ช่วยในการเจริญเติบโต ปริมาณ
ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่แบคทีเรียต้องการในการย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างน้อยที่สุดต้องมี
อัตราส่วน BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 โดยใช้คาร์บอนสังเคราะห์พลังงาน ไนโตรเจน
สังเคราะห์โปรตีน และฟอสฟอรัสสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก

2.4.7 ปริมาณออกซิเจน

ออกซิเจนจะเป็นพิษต่อระบบไร้อากาศอย่างมากแม้จะมีปริมาณเพียงเล็กน้อย
เพราะจะทำให้เกิดการแตกตัวของโมเลกุลเอนไซม์ในตัวแบคทีเรียในระบบไร้อากาศได้ และยังทำ
ให้เกิดการยับยั้งกระบวนการผลิตก๊าซมีเทน (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

2.5 ก๊าซชีวภาพที่เกิดจากการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ก๊าซชีวภาพ (Biogas) คือ ก๊าซที่เกิดขึ้นจากการหมักย่อยสลายของสารอินทรีย์ด้วยวิธีทาง
ชีววิทยา (Biological Treatment) ภายใต้สภาวะไร้อากาศ(Anaerobic Condition) องค์ประกอบ
หลักของก๊าซชีวภาพโดยทั่วไปจะได้แก่ ก๊าซมีเทน(CH_4) ประมาณ 60-70 เปอร์เซ็นต์ ก๊าซ
คาร์บอนไดออกไซด์(CO_2) ประมาณ 28-38 เปอร์เซ็นต์ และก๊าซอื่นๆ ประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ เช่น
ไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) ไนโตรเจน (N_2) และไอน้ำ เป็นต้น เนื่องจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เป็น
ก๊าซที่คงตัวและไม่ติดไฟ ดังนั้น คุณสมบัติของก๊าซชีวภาพที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงได้จึงขึ้นอยู่กับปริมาณ
ของก๊าซมีเทน

2.5.1 การเกิดก๊าซชีวภาพ

ก๊าซชีวภาพเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของวัสดุอินทรีย์ ทั้งจากพืช สัตว์หรือแม้แต่ของเสียจากสัตว์ รวมถึงขยะมูลฝอยที่เป็นขยะอินทรีย์ โดยกระบวนการย่อยสลายทั้งหมดเกิดขึ้นจากการทำงานของจุลินทรีย์ชนิดต่างๆ ในสภาวะที่ไร้อากาศ ก๊าซชีวภาพสามารถเกิดขึ้นได้เองตามธรรมชาติถ้ามีสภาพที่เหมาะสม หรือเกิดขึ้นในระบบผลิตก๊าซ กล่าวคือเมื่อไรก็ตามที่มีสารอินทรีย์หมักหมมกันเป็นเวลานานก็จะเกิดก๊าซชีวภาพ เมื่อองค์ประกอบต่างๆ ครบถ้วน เช่น มีแบคทีเรีย สารอินทรีย์ อาหารเสริม และสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ ที่เหมาะสมแต่ไม่มีออกซิเจน กระบวนการสร้างก๊าซชีวภาพ ก็สามารถเกิดได้ตามธรรมชาติโดยทันที ในธรรมชาตินั้น ก๊าซชีวภาพจะเกิดในบ่อที่มีการหมัก ก้นแม่น้ำ ทะเลสาบ ลำไส้คนและวัว ไร่นาข้าวที่มีน้ำท่วมขังในเปลือกไม้ที่อัดขึ้น ได้ห้องทะเลลึก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการเกิดในสภาวะที่กล่าวมาแล้วข้างต้นนั้นเป็นกระบวนการที่เกิดในธรรมชาติ ซึ่งอัตราการสร้างก๊าซชีวภาพจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับที่กำหนดโดยธรรมชาติ แต่ในเชิงวิศวกรรมแล้ว วิศวกรจะสร้างระบบขึ้นมาเพื่อควบคุมสิ่งแวดล้อมต่างๆ ให้เหมาะสม ให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้รวดเร็ว ตามที่ต้องการ หรืออีกนัยหนึ่งคือ วิศวกรที่ออกแบบระบบผลิตก๊าซชีวภาพ คือ ผู้ที่เข้าใจธรรมชาติของสารอินทรีย์ และสภาวะการทำงานที่เหมาะสมของแบคทีเรียกลุ่มไม่ชอบออกซิเจน และทำการสร้างสภาวะดังกล่าว เพื่อให้แบคทีเรียสามารถทำงานได้ตามที่วิศวกรนั้นๆ ต้องการ

2.5.2 การผลิตก๊าซชีวภาพเชิงอุตสาหกรรม

วัตถุดิบที่ใช้ก็คือ สารอินทรีย์ (Organic Matter) ที่อยู่ในน้ำเสียหรือของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมทางการเกษตร ชุมชน และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ เช่น น้ำเสียที่ออกจากโรงงานแปรงมันสำปะหลัง โรงงานสกัดน้ำมันปาล์มดิบ โรงงานผลไม้กระป๋อง โรงงานน้ำตาล โรงงานผลิตแอลกอฮอล์ โรงฆ่าสัตว์ ขยะชุมชนเฉพาะส่วนที่เป็นขยะอินทรีย์ ฟาร์มสุกร เป็นต้น โดยน้ำเสียหรือของเสียดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสียหรือของเสีย ซึ่งจะทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์และได้ก๊าซชีวภาพเป็นผลผลิตจากการบำบัด นอกจากนี้สารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากก็จะเหลือกลายเป็นกากตะกอนอินทรีย์ ซึ่งจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงปุ๋ยอินทรีย์และสามารถนำมาใช้เป็นสารปรับปรุงดินได้ ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีปริมาณวัตถุดิบเป็นจำนวนมากมายไม่ว่าจะเป็น มันสำปะหลัง ปาล์ม น้ำมัน น้ำตาล และฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โดยกระบวนการแปรรูปผลิตผลทางการเกษตรเหล่านี้จะก่อให้เกิดน้ำเสียจำนวนมากและมีกลิ่นเหม็น ระบบบำบัดน้ำ

เสียแบบไร้อากาศจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งและยังจะให้ผลผลิตที่เป็นก๊าซชีวภาพกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก อย่างไรก็ตาม ศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติและปริมาณของน้ำเสีย

2.5.3 ประโยชน์ของก๊าซชีวภาพ

1. ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อผลิตพลังงานความร้อนใช้ในฟาร์ม
2. ใช้ในการผลิตพลังงานกล / ไฟฟ้า
3. การผลิตพลังงานความร้อนร่วม (Cogeneration System)

ก๊าซชีวภาพ 1 ลูกบาศก์เมตรโดยเฉลี่ย สามารถนำมาใช้ทดแทนพลังงานเชื้อเพลิงจากแหล่งอื่นๆ ได้ ดังนี้ เทียบเท่า ก๊าซหุงต้ม (LPG) 0.46 กรัม เทียบเท่า น้ำมันดีเซล 0.60 ลิตร เทียบเท่า น้ำมันเตา 0.55 ลิตร เทียบเท่า ไฟฟ้า 1.20 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง

2.5.4 การปรับปรุงคุณภาพก๊าซชีวภาพ

1) การดักน้ำในท่อส่งก๊าซชีวภาพ ปกติแล้วก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มักจะมี ความชื้นสูงเกือบถึงจุดอิ่มตัว เมื่อก๊าซชีวภาพไหลผ่านท่อส่งก๊าซที่ฝังอยู่ในดินที่มีอุณหภูมิต่ำ มักจะทำให้ความชื้น (ไอน้ำ) ในก๊าซชีวภาพกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและสะสมจนเกิดเป็นอุปสรรคในการส่งก๊าซไปตามท่อได้ ดังนั้นต้องมีการติดตั้งชุดดักน้ำก่อนนำก๊าซชีวภาพไปใช้งาน

2) ปรบัลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) การปรับลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จากก๊าซชีวภาพนี้จะปฏิบัติก็ต่อเมื่อมีความจำเป็น เช่น ในกรณีที่ก๊าซชีวภาพที่ได้มีสัดส่วนของก๊าซมีเทน (CH₄) ต่ำมากจนอยู่ในระดับที่จุดไฟติดยากคือ ปริมาณเปอร์เซ็นต์ CH₄ น้อยกว่า 45 เปอร์เซ็นต์หรือในกรณีของการพยายามทำให้ก๊าซชีวภาพมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับก๊าซธรรมชาติ

3) การปรับลดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ที่ปนเปื้อนในก๊าซชีวภาพนั้นมีคุณสมบัติเป็นก๊าซพิษและเมื่อสัมผัสกับน้ำหรือไอน้ำจะเปลี่ยนสภาพเป็นกรดซัลฟูริก (H₂SO₄) ซึ่งเป็นสาเหตุของฝนกรดหรือไอกรดที่สามารถกัดกร่อนโลหะและวัสดุอุปกรณ์ได้ ดังนั้นการลดปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ในก๊าซชีวภาพก่อนการนำไปใช้

ประโยชน์นั้นจะเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมโดยทั่วไปและจะช่วยยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ใช้ก๊าซด้วย

2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

พิพัฒน์ วีระจักร (2548) ทำการศึกษาผลกระทบของตะกั่วต่อการย่อยสลายของขยะอินทรีย์ในหลุม ฝังกลบในสภาวะไร้อากาศ กับการใช้ปุ๋ยหมักในการคลุมหลุมฝังกลบเพื่อลดผลกระทบของตะกั่ว โดยแบ่งถังหมักจำลองเป็น 4 ถัง ถังหมักแรกเป็นมูลฝอย ถังหมักที่สองเป็นมูลฝอยที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วในสภาวะเป็นกรด ถังหมักที่สามเป็นมูลฝอยที่ปนเปื้อนด้วยตะกั่วในสภาวะเป็นกรดและมีการใช้ปุ๋ยหมักคลุมหัวและท้ายถังหมัก ถังหมักที่สี่เป็นมูลฝอยและมีการใช้ปุ๋ยหมักคลุมหัวและท้ายถังหมัก โดยมูลฝอยจะถูกนำมาทำเป็นปุ๋ยหมักเป็นเวลา 21 วัน เพื่อใช้ในการคลุมหัวและท้ายของถังหมักไร้อากาศถังที่สามและสี่ โดยใช้เวลาในการหมักแบบไร้อากาศ 125 วันโดยหมุนเวียนน้ำชะขยะ พบว่าตะกั่วมีความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังหมักแบบไร้อากาศ ทำให้เกิดการชะลออัตราการย่อยสลายของขยะ ซึ่งดูได้จากปริมาณมีเทนรวมมีค่าเท่ากับ 631 มิลลิลิตร จากถังหมักที่สอง ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับถังหมักอื่นๆ ในขณะที่การใช้ปุ๋ยหมักเพื่อคลุมหัวและท้ายสามารถลดผลกระทบของตะกั่วต่อระบบย่อยสลายของขยะ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วที่น้อยลงจากน้ำชะ ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 12 มิลลิลิตรต่อลิตรในวันที่ 75 และสามารถสังเกตได้จากน้ำชะขยะและก๊าซในถังหมักที่สาม นอกเหนือจากนี้การใช้ปุ๋ยหมักเพื่อคลุมหลุมฝังกลบไม่มีผลกระทบทางลบต่อระบบย่อยสลายของขยะ ทั้งนี้สังเกตได้จากปริมาณก๊าซมีเทนรวมมีค่าเท่ากับ 1,479 มิลลิลิตร ปริมาณก๊าซชีวภาพรวมมีค่าเท่ากับ 43,695 มิลลิลิตร และสารอาหารในน้ำชะขยะของถังหมักที่สี่มีค่ามากกว่าถังหมักที่หนึ่งซึ่งย่อยสลายด้วยขยะเพียงอย่างเดียว ซึ่งมีปริมาณมีเทนรวมมีค่าเท่ากับ 1,230 มิลลิลิตร และปริมาณก๊าซชีวภาพรวมมีค่าเท่ากับ 34,203 มิลลิลิตร

Hurst and Longhurst (2005) ทำการศึกษาความสามารถของปุ๋ยหมักในการทำ Daily cover เพื่อลดกลิ่น ผลการศึกษาพบว่ากลิ่นลดไป 69 เปอร์เซ็นต์เมื่อนำไปผ่านคอลัมน์ ที่มีปุ๋ยหมักที่ความหนาแน่น 590 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและลดได้ 97 เปอร์เซ็นต์เมื่อใช้ปุ๋ยหมัก 740 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรซึ่งดูได้จากการวัดความเข้มข้นของ Terpenes และก๊าซซัลเฟอร์ที่ออกมาจากคอลัมน์ ในการนำไปประยุกต์ใช้ในการทำ Daily cover ซึ่งจะสามารถลดกลิ่นได้ 13-25 เปอร์เซ็นต์

สุพินดา อรุณเจน (2544) ศึกษาพฤติกรรมการย่อยสลายของขยะผักและผลไม้จากตลาดสดขายส่งสี่มุมเมือง มีค่าของแข็งทั้งหมด 58.94 เปอร์เซ็นต์ ค่าของแข็งระเหยได้ 8.28 เปอร์เซ็นต์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักขยะที่มีและไม่มีกรรมวนเวียนน้ำชะขยะ ใช้ถังขนาด 100 ลิตร ทำการทดลองการหมักแบบ Batch 200 วัน พบว่าในถังที่ไม่มีกรรมวนเวียนน้ำชะขยะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 149.60 ลิตร ก๊าซชีวภาพต่อการทดลอง 200 วัน โดยมีมีเทนเป็นองค์ประกอบสูงสุด 40.48 เปอร์เซ็นต์ ในถังที่กรรมวนเวียนน้ำชะขยะผลิตก๊าซชีวภาพได้ 338.58 ลิตร ก๊าซชีวภาพต่อการทดลอง 200 วัน โดยมีมีเทนเป็นองค์ประกอบสูงสุด 57.55 เปอร์เซ็นต์

Stabnikova และคณะ (2008) ศึกษาการย่อยสลายเศษอาหารที่มีปริมาณของแข็งทั้งหมด 20 เปอร์เซ็นต์ในสภาวะไร้อากาศกับการกรรมวนเวียนน้ำชะขยะจากถังหมักกรด โดยใช้ระบบหมักผสมระหว่างของแข็งกับของเหลวไร้ออกซิเจน ที่มีปริมาตรถังหมัก 5.4 ลิตร ซึ่งมีปริมาณอาหาร 200 กรัม และมีการกรรมวนเวียนน้ำชะขยะจากถังหมักกรดทั้งหมด 21 ครั้ง เปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมที่ไม่มีกรรมวนเวียนน้ำชะขยะ ทำการทดลอง 14 วัน พบว่าในการกรรมวนเวียนน้ำชะขยะจากถังหมักกรดเข้าไปในระบบหมักไร้ออกซิเจนที่มีการหมักเศษอาหารจะทำให้มีการเพิ่มการผลิตก๊าซมีเทน 40 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

Delia และ Osman (2004) ศึกษาผลกระทบของการกรรมวนเวียนน้ำชะในปริมาณต่างๆกันของหลุมฝังกลบจำลองระบบไร้อากาศ โดยจำลอง Bioreactor 3 ถัง ถึงปฏิบัติการแรกไม่กรรมวนเวียนน้ำชะ ถึงปฏิบัติการที่ 2 กรรมวนเวียนน้ำชะปริมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถังต่อวัน และถึงปฏิบัติการที่ 3 กรรมวนเวียนน้ำชะปริมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรถังต่อวัน ระยะเวลาทดลองทั้งหมด 220 วัน พบว่าถึงปฏิบัติการที่ 2 มีอัตราเกิดเปอร์เซ็นต์มีเทนสูงสุด(50 เปอร์เซ็นต์) และถึงปฏิบัติการที่ 3 รองลงมา(40 เปอร์เซ็นต์) ส่วนถึงปฏิบัติการแรกน้อยที่สุด(30 เปอร์เซ็นต์) และ COD recovered เท่ากับ 62.9 162.3 และ 94.6 กรัม ตามลำดับ ทั้งนี้การกรรมวนเวียนน้ำชะจะไม่ส่งผลต่อการกำจัดแอมโมเนียจากน้ำชะ

Irem และ Turgut (2001) ศึกษาผลของการกรรมวนเวียนน้ำชะของหลุมฝังกลบชุมชน โดยจำลองถึงปฏิบัติการ 2 แบบ คือ แบบแรกกรรมวนเวียนน้ำชะหลายรอบทั้งหมด 21 รอบ ใน 215 วัน อีกแบบไม่มีการกรรมวนเวียนน้ำชะ โดยแบบแรกจะเกิดปริมาณก๊าซชีวภาพ เปอร์เซ็นต์มีเทนและค่าซีไอดีมากกว่า ซึ่งผลการศึกษายืนยันว่าการกรรมวนเวียนน้ำชะจะเพิ่มประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้ดีในสภาพจริง

Gibson และ Smyth (2007) ศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์โดยวิธีการหาค่า BMP โดยใช้ของเสียที่มีการผสมรวมกันประกอบไปด้วย ของเสียจากอาหาร กระดาษ พลาสติก โลหะและแก้ว โดยทำการทดลองหาค่าก๊าซชีวภาพเป็นเวลา 14 วัน โดยจะมีการบำบัดเบื้องต้น 2 แบบคือ แบบที่หนึ่งทำการพาสเจอร์ไรส์ตัวอย่างที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และทำการย่อยแบบไร้อากาศที่ 55 องศาเซลเซียส แบบที่สองทำ Thermal Hydrolysis (ความร้อน) 20 นาที และทำการย่อยแบบไร้อากาศที่ 40 องศาเซลเซียส โดยวัดค่า Methane Yield 100 ลิตรต่อกิโลกรัม - ของแข็งระเหย สำหรับการพาสเจอร์ไรส์ และวัดค่าได้ 276 ลิตรต่อกิโลกรัม - ของแข็งระเหยของการทำ Thermal Hydrolysis

Amathussalam (1999) ศึกษาผลจากการบำบัดเบื้องต้นทางเคมีของขยะผัก และผลไม้จากตลาด โดยทำการหมัก 30 วัน อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยขยะที่ยังไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นมีก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 820 ลูกบาศก์เมตรต่อ 250 กรัมของขยะ โดยมีเทนเกิดขึ้น 52 เปอร์เซ็นต์ หลังจากใส่ NaHCO_3 ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 1,240 ลูกบาศก์เมตรต่อ 250 กรัมของขยะ โดยมีเทนเกิดขึ้น 57 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Laboratory Scale) มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศโดยมีปุ๋ยหมักเป็น Daily cover ในตำแหน่งที่ต่างกันในถังปฏิกรณ์ซึ่งเป็นการเลียนแบบสภาวะในหลุมฝังกลบจำลอง มีการเวียนน้ำชะทุกวันแล้วนำน้ำชะในแต่ละถังปฏิกรณ์มาวิเคราะห์ค่าต่างๆและวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุกวัน โดยควบคุมตัวแปรที่สำคัญอื่นๆในการเริ่มระบบ เช่น หัวเชื้อจุลินทรีย์ สารอาหาร ค่าพีเอช อุณหภูมิ และที่ตั้งถังหมัก ให้อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน

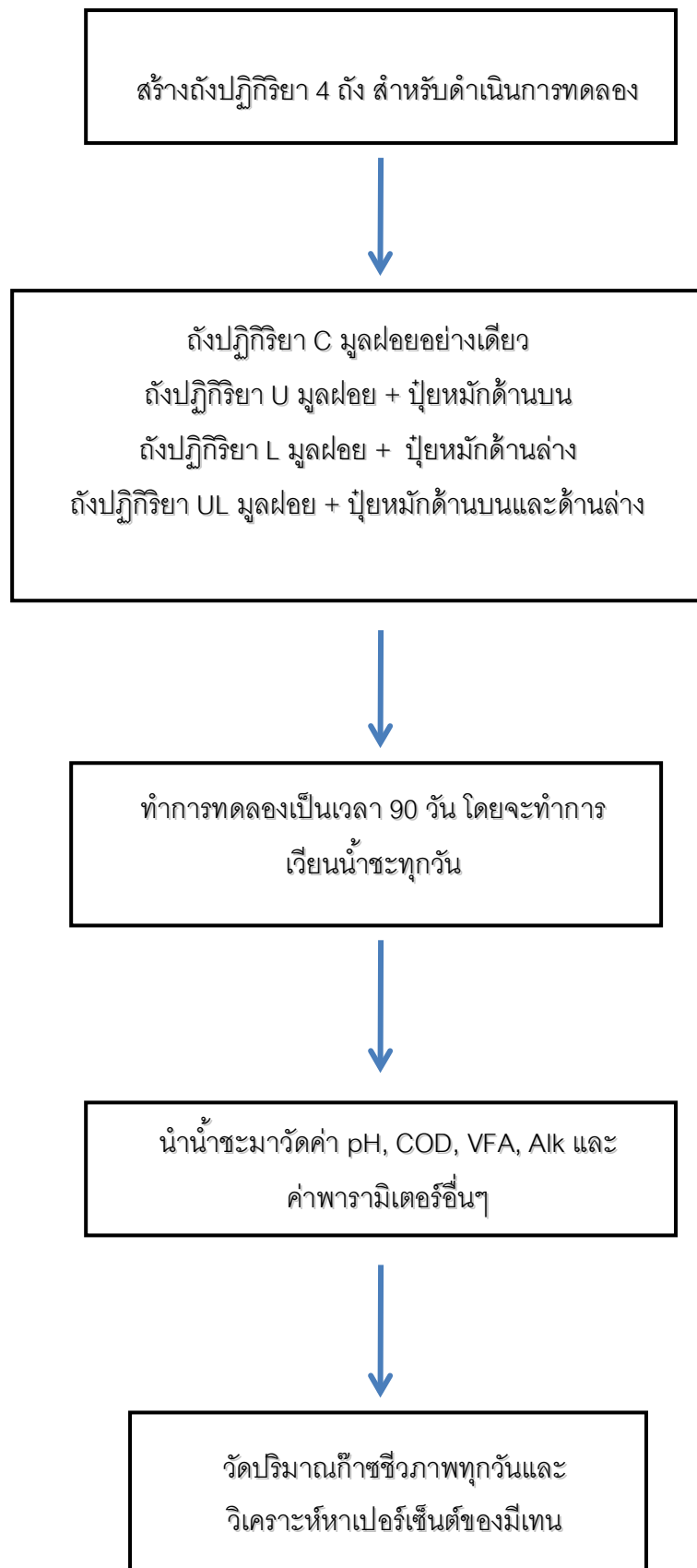
เนื่องจากระบบเป็นแบบ Batch Process จึงไม่มีการเติมสารอาหารใดลงไปอีกหลังจากเริ่มระบบแล้ว โดยระบบนี้จะทำการคลุกเคล้ามูลฝอยกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ให้เข้ากันก่อนจะใส่ในถังหมัก แล้วจึงปิดแล้วใช้ Silicone Gel อุดรอยต่อ เพื่อป้องกันอากาศรั่วเข้าสู่ระบบ

3.2 มูลฝอยสังเคราะห์ (Synthetic Waste)

การเตรียมมูลฝอยสังเคราะห์เตรียมจากตลาดทุ่งครุประกอบไปด้วยผัก 90 เปอร์เซ็นต์และผลไม้ 10 เปอร์เซ็นต์ (พิพัฒน์ ธีระจักร , 2548) ดังตารางที่ 3.1 เบื้องต้นจะนำตัวอย่างมูลฝอยมาวิเคราะห์ค่าความชื้นและค่าของแข็งระเหยง่ายก่อนแล้วนำมาตัดให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.5 - 1 เซนติเมตรแล้วคลุกผสมกับหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมาจากบริษัท เสริมสุข จำกัด(มหาชน) ปริมาณ 250 มิลลิลิตร(พิพัฒน์ ธีระจักร , 2548) ให้เข้ากันดังภาพที่ 3.1 แล้วนำมาใส่ถังปฏิกรณ์ตามขั้นตอนดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 มูลฝอยที่ผสมหัวเชื้อจุลินทรีย์แล้วก่อนใส่ถังปฏิกรณ์



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเดินระบบหมักแบบไร้อากาศในถังปฏิกริยา

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบของมูลฝอยสังเคราะห์

ชนิด	น้ำหนักเปียก (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์
ผักบุงจีน	0.75	30
ผักวางตุ้ง	0.50	20
ผักคะน้า	0.50	20
ผักกระเฉด	0.25	10
กะหล่ำ	0.25	10
เปลือกส้ม	0.25	10
รวม	2.50	100

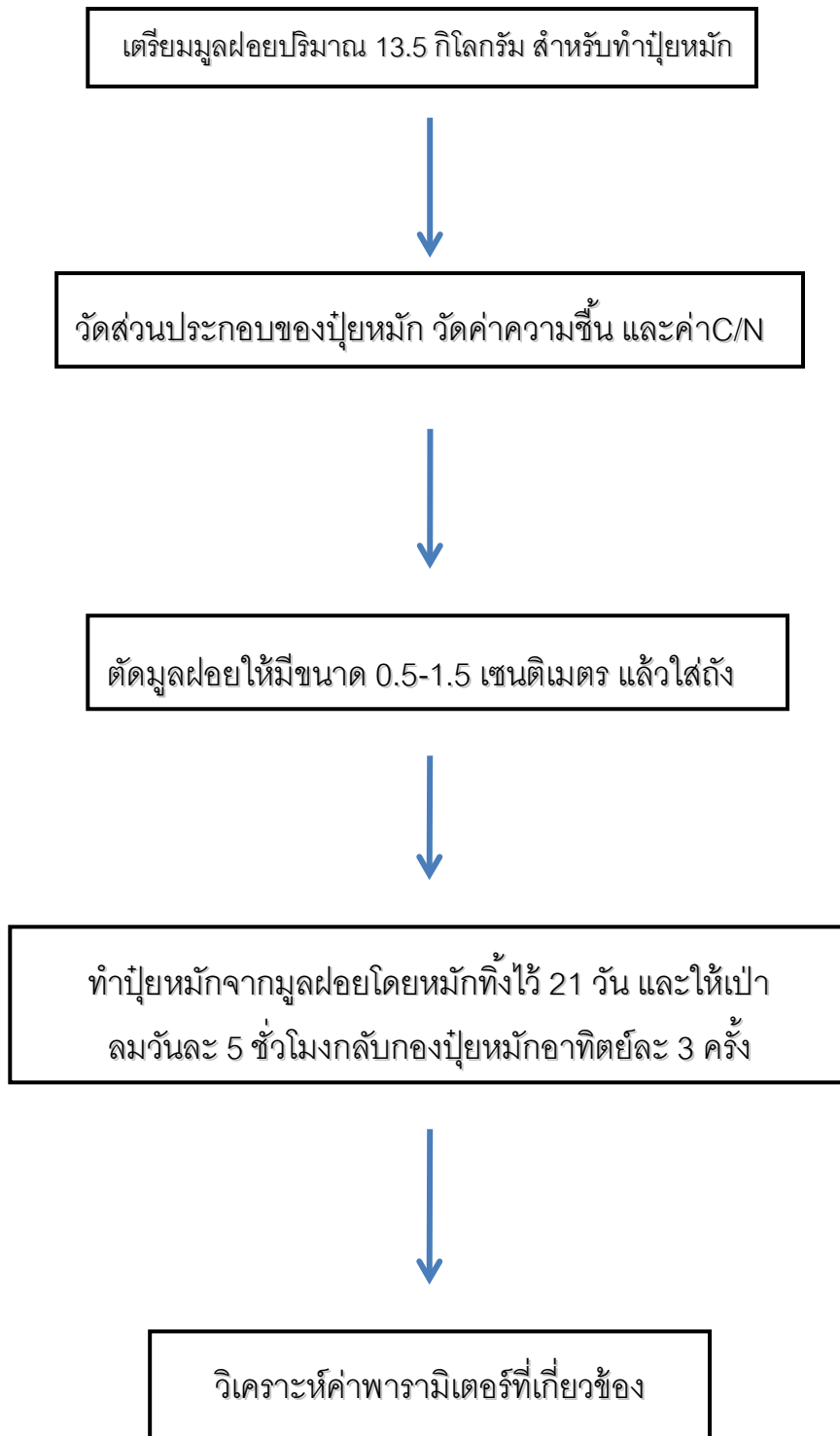
3.3 การทำปุ๋ยหมัก

การทำปุ๋ยหมักในการทดลองนี้จะใช้มูลฝอยสังเคราะห์ (Simulated Synthetic Waste) มาหมักทำปุ๋ยหมักก่อนโดยเลือกเปลือกกล้วย 4.5 กิโลกรัม เปลือกส้ม 9 กิโลกรัม ดังตารางที่ 3.2 มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆขนาดประมาณ 0.5 - 1.5 เซนติเมตร ผสมให้เข้ากันหมักใช้เวลา 21 วัน และทำการกลับกองปุ๋ยหมักอาทิตย์ละ 3 ครั้ง และเป่าลมทุกวัน วันละ 5 ชั่วโมง ดังภาพที่ 3.3 (พิพัฒน์ธีระจักร, 2548)

ซึ่งปุ๋ยหมักในการทดลองครั้งนี้เป็นปุ๋ยหมักจากขยะไม่ใช่ปุ๋ยที่มีสารอาหารครบเหมือนปุ๋ยโดยทั่วไป ในการทดลองนี้จึงเรียกปุ๋ยหมักว่าวัสดุปรับปรุงดินแทน

ตารางที่ 3.2 องค์ประกอบของการทำปุ๋ยหมัก

ชนิด	น้ำหนักเปียก(กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์
เปลือกส้ม	9	65.7
เปลือกกล้วย	4.5	34.3
รวม	13.5	100



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการเตรียมปุ๋ยหมัก

3.4 หัวเชื้อจุลินทรีย์

หัวเชื้อจุลินทรีย์ (seed) ที่นำมาใช้ในการวิจัยนำมาจากบริษัท เสริมสุข จำกัด(มหาชน) และทำการปรับสภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์โดยการเติมสารอาหารก่อนการนำไปใช้ และทำการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์หัวเชื้อจุลินทรีย์

ค่าพารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS)	อบที่ 105°C
ปริมาณของแข็งระเหยง่าย(VS)	เผาที่ 550°C
Chemical Oxygen Demand (COD)	Closed Reflux
ค่าพีเอช (pH)	pH meter

3.5 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการวิเคราะห์ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ

- เครื่องวัดค่าพีเอช (pH meter)
- เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer)
- ตู้อบ (Oven)
- เครื่องชั่งแบบละเอียด 4 ตำแหน่ง
- เครื่องชั่งแบบหยาบ 2 ตำแหน่ง
- ตู้ดูดความชื้น (Dessicator)
- หลอดซีไอดี
- ถังเก็บก๊าซ
- ปิเปต
- ไมโครปิเปต
- ปีกเกอร์
- กระบอกตวง
- กรวยบุนเนอร์
- ขวดกรองดูด

- อินดิเคเตอร์เฟอร์โรอิน
- กรดซัลฟิวริก
- สารละลายโปแทสเซียมไดโครเมต
- สารละลายโซเดียมซัลเฟต

3.6 วิธีดำเนินการวิจัย

3.6.1 การวิเคราะห์

ในการทดลองจะเก็บน้ำชะมาเพื่อทำการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์ ความถี่ และวิธีวิเคราะห์ตัวแปรตาม

ค่าพารามิเตอร์ทางเคมี	วิธีวิเคราะห์	ระยะเวลาในการวิเคราะห์
1. ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน (N-NH ₃)	Standard method for water and wastewater # 4500	เมื่อเริ่มและจบการทดลอง
2. ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหย (Volatile fatty acid)	Direct Titration Method	ทุก 7 วัน
3. ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand)	Closed Reflux	ทุก 3 วัน
4. ค่าเฉลี่ยคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	Standard method for water and wastewater # 4500	เมื่อเริ่มและจบการทดลอง
5. ปริมาณฟอสฟอรัส ฟอสเฟต (P-PO ₄)	Ascorbic Acid	เมื่อเริ่มและจบการทดลอง
6. ปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS)	อบที่ 105°C	เมื่อเริ่มต้น
7. ของแข็งแขวนลอย (SS)	กรองด้วยกระดาษGF/C อบที่105°C	เมื่อเริ่มต้น
8. ค่าพีเอช (pH)	pH meter	ทุกวัน
9. สภาพด่างทั้งหมด (Alkalinity)	Direct Titration Method	ทุก 7 วัน
10. ก๊าซชีวภาพ	การแทนที่น้ำ	ทุกวัน
11. Oxidation Reduction Potential (ORP)	ORP meter	ทุกวัน

3.6.2 สารอาหารเสริม

ในงานวิจัยครั้งนี้มีการเติมสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ในช่วงเริ่มต้นเดินระบบครั้งเดียวเท่านั้น ชนิดและปริมาณสารอาหารเสริมที่เติมในถังปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ปริมาณสารอาหารเสริมหลักและสารอาหารเสริมรอง (Speece, 1996)

ชนิดของสารเคมี	ความเข้มข้นมก./ล.	ชนิดของสารเคมี	ความเข้มข้นมก./ล.
สารอาหารเสริมหลัก		MnCl ₂ ·4H ₂ O	10
NH ₄ Cl	1,200	NH ₄ VO ₃	0.5
MgSO ₄ (H ₂ O) ₅	463.5	CuCl ₂ ·2H ₂ O	0.5
KCl	400	ZnCl ₂	0.5
Na ₂ S·9H ₂ O	300	AlCl ₃ ·6H ₂ O	0.5
CaCl ₂ ·2H ₂ O	748	Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	0.5
(NH ₄) ₂ HPO ₄	80	H ₃ BO ₃	0.5
สารอาหารเสริมรอง		NiCl ₂ ·6H ₂ O	0.5
FeCl ₂ ·4H ₂ O	40	Na ₂ WO ₄ ·2H ₂ O	0.5
CoCl ₂ ·6H ₂ O	10	Na ₂ SeO ₄	0.5
KI	10	NaHCO ₃	5,000
(NaPO ₃) ₆	10		

3.6.3 การวัดปริมาณก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายนั้น สามารถวัดได้โดยอาศัยหลักการแทนที่ของเหลว (Fluid Displacement) คิดเป็นค่าเฉลี่ยของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อวันภายใต้สภาวะการทดลอง จนระบบเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยนำกระบอกตวงปริมาตร 250 มิลลิลิตร และหลอดแก้วรูปตัวยู วางคว่ำลงในกระบอกตวงปริมาตร 500 มิลลิลิตรดังภาพที่ 3.2 แล้วทำการปรับพีเอชน้ำให้ต่ำกว่า 3 โดยใช้โซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) 20 กรัมผสมกับกรดซัลฟูริกเข้มข้น (H₂SO₄)

5 มิลลิเมตร ในน้ำ 100 มิลลิเมตร แล้วต่อสายจากปลายหลอดแก้วรูปตัวยูดังภาพที่ 3.4 ไปยัง
ถึงหมักปฏิกริยา น้ำในกระบอกเก็บอากาศที่พร้อมไปจะมีค่าเท่ากับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด
ปริมาตรของก๊าซที่ถูกเก็บอยู่ในกระบอกจะมีค่าเท่ากับปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นทั้งหมด ก๊าซชีวภาพที่
จะนำมาวิเคราะห์จะเก็บในถุงเก็บก๊าซขนาด 1 ลิตรดังภาพที่ 3.5 และพันด้วยพาราฟินอีกครั้ง
ก่อนจะนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบของก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใช้เครื่อง
Gas Chromatography m มีคอลัมน์เป็น Conductivity Detector (TCD) ต่อไป



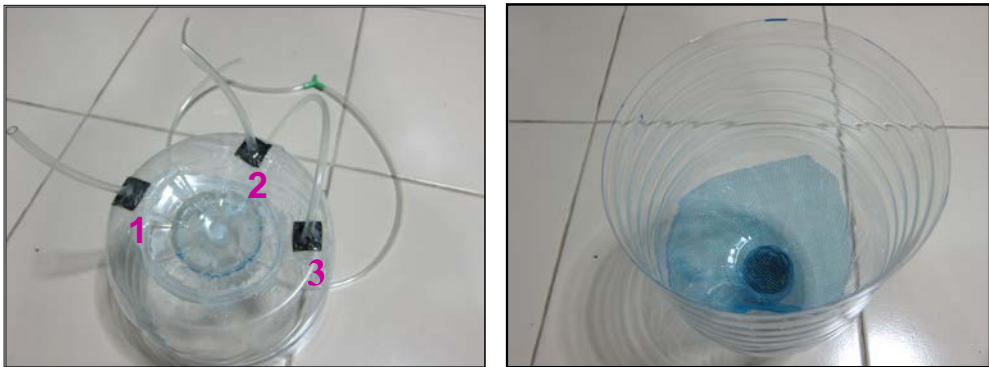
ภาพที่ 3.4 กระบอกวัดปริมาตร และ หลอดแก้วรูปตัวยู



ภาพที่ 3.5 ถุงเก็บก๊าซชีวภาพ

3.6.4 วิธีการทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ถังปฏิริยาที่ทำจากขวดน้ำพลาสติกปริมาตร 6 ลิตร มาตัดดัดภาพที่ 3.6 เพื่อใส่วัสดุหมักทั้งหมด 4 ถัง โดยมีการเจาะรู 3 รูเพื่อต่อสายยางขนาด 0.5 เซนติเมตร โดยรูที่ 1 จะต่อสายยางยาวลงถึงก้นถังเพื่อเป็นทางดูดน้ำชะออกมาเวียนน้ำชะและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รูที่ 2 สำหรับฉีดน้ำกลับเข้ามาในถังปฏิริยา และรูที่ 3 จะเป็นทางออกของก๊าซที่เกิดจากการหมักสายยางจะต่อเข้ากับขวดวัดปริมาตรก๊าซแบบแทนที่น้ำเพื่อเก็บปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น ส่วนถังอีกครั้งจะเอาตาข่ายมารองที่ก้นถังเพื่อกันเศษขยะไปอุดตันสายยางเวลาที่ดูดน้ำชะออกมาและใส่กลับเข้าไปจะใช้กระบอกฉีดยาขนาด 60 ซีซีดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.6 การเจาะรูถังปฏิริยาเพื่อต่อสายยาง



ภาพที่ 3.7 กระบอกฉีดยาขนาด 60 ซีซี

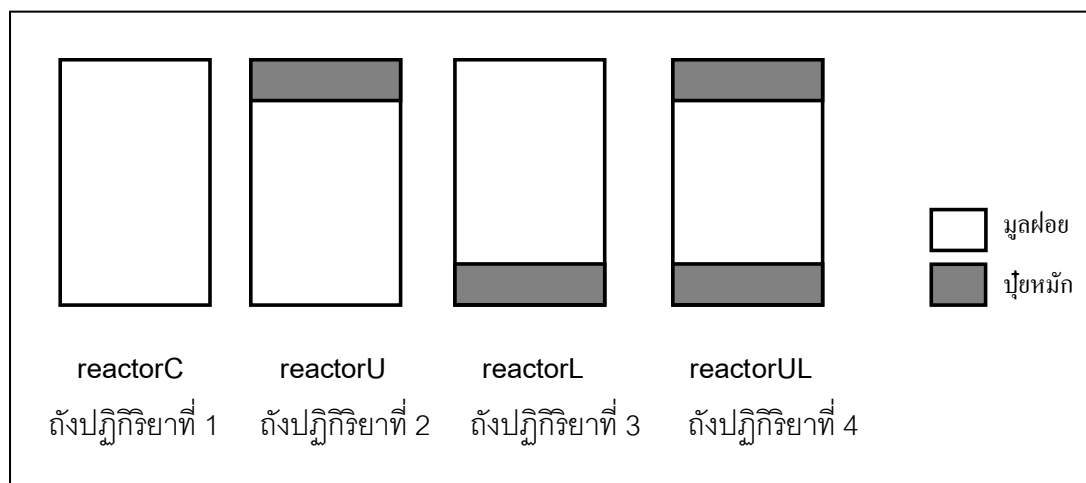
ในการทดลองจะมีทั้งหมด 4 ถังปฏิกริยา ในแต่ละถังปฏิกริยาใส่อัตราส่วนและตำแหน่งของปุ๋ยหมักและมูลฝอย ดังภาพที่ 3.8 และภาพที่ 3.9

ถังปฏิกริยาที่ 1 (C : Control) ใส่มูลฝอยปริมาณ 2.5 กิโลกรัมอย่างเดียว

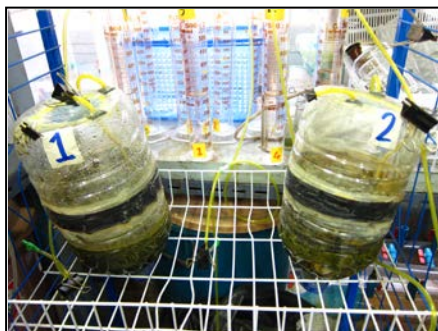
ถังปฏิกริยาที่ 2 (U : Upper) ชั้นล่างใส่มูลฝอยปริมาณ 2.5 กิโลกรัม และชั้นบนใส่ปุ๋ยหมักปริมาณ 0.5 กิโลกรัม

ถังปฏิกริยาที่ 3 (L : Lower) ชั้นล่างสุดใส่ปุ๋ยหมักปริมาณ 0.5 กิโลกรัม ชั้นบนใส่มูลฝอยปริมาณ 2.5 กิโลกรัม

ถังปฏิกริยาที่ 4 (UL :Upper Lower) ชั้นบนใส่ปุ๋ยหมัก 0.25 กิโลกรัม ชั้นกลางใส่มูลฝอยปริมาณ 2.5 กิโลกรัม และชั้นล่างใส่ปุ๋ยหมัก 0.25 กิโลกรัม



ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างถังปฏิกริยากับการวางตำแหน่งที่ใส่ปุ๋ยหมักในการทดลอง



ภาพที่ 3.9 ถังปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้

3.6.5 การเวียนน้ำชะ

วิเคราะห์มูลฝอยสังเคราะห์พบว่าระบบมีค่าความชื้นประมาณ 88 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำที่ดูมาจากกันถังปฏิกิริยาทางสายยางจะถูกหมุนเวียนกลับเข้าไปทางด้านบนทางรูโดยสายยางอีกเส้นที่มีการเจาะรูไว้เป็นระยะเพื่อเป็นการกระจายตัวของน้ำชะที่ใส่เข้าไป การเวียนน้ำจะทำทุกวันซึ่งน้ำชะที่เก็บได้จะนำมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆก่อนแล้วจึงใส่กลับเข้าไป โดยได้นำผลงานวิจัยของ สุพินดา ฐระเจน (2544) และ พิพัฒน์ ธีระจักร (2548) มาใช้เป็นแนวทางการหมุนเวียนน้ำชะขยะ

เนื่องจากงานวิจัยครั้งนี้การวิเคราะห์หาเปอร์เซ็นต์มีเทนนั้นต้องส่งวิเคราะห์ จึงทำการสุ่มมา 3 ระยะ คือ ระยะแรก ระยะกลางและระยะสุดท้ายของการทดลอง จึงไม่สามารถนำผลของค่ามีเทนมาใช้ในการเวียนน้ำชะขยะได้

ในวันที่ 7,14,21,28,35 จะทำการเวียนน้ำชะขยะประมาณ 200 – 300 มิลลิลิตร(เป็นปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีภายในถังปฏิกิริยา) และเริ่มเวียนน้ำชะขยะทุกวันตั้งแต่วันที่ 40 – 90 ประมาณ 400 มิลลิลิตรและในวันที่ 55 มีการใส่น้ำที่ผสม NaHCO_3 เพื่อเป็นการควบคุมค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการทดลองซึ่งในครั้งแรกจะใส่น้ำเข้าไปเพิ่มในระบบ 250 มิลลิลิตร

3.6.6 การเตรียมตัวอย่างเพื่อตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM)

นำชิ้นของปุ๋ยหมักจากตำแหน่งต่างๆของทั้ง 3 ถังปฏิกิริยาและชิ้นปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ใส่ถังปฏิกิริยามาถ่ายภาพกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) ซึ่งมีวิธีเตรียมก่อนจะทดสอบดังนี้

1) ใส่ Specimens ใน 2.5เปอร์เซ็นต์ Glutaraldehyde ที่มีสารละลายบัฟเฟอร์ของ 0.1 M Phosphate พีเอช 7.2 นาน 2 ชั่วโมง แล้วแช่เย็น 4 องศาเซลเซียสทิ้งไว้ค้างคืน

2) ล้าง Specimens ด้วยฟอสเฟตบัฟเฟอร์ทุก 10 นาที 2 ครั้งโดยแต่ละครั้งต้องล้างด้วยน้ำกลั่น 10 นาที

3) นำน้ำออกจาก Specimens โดยใช้ Ethanol 30 เปอร์เซ็นต์ 50 เปอร์เซ็นต์ 70 เปอร์เซ็นต์และ 95 เปอร์เซ็นต์ ล้าง 10 นาทีต่อครั้ง หลังจากนั้นใช้ Absolute Ethanol ล้าง 3 ครั้งทุก 10 นาที แล้วจึงนำไปเข้ากระบวนการ Critical Point Dry แล้วเคลือบด้วยทอง

4) นำเข้าเครื่องตรวจสอบ SEM (JEOL,model JSM-5410LV)

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูล

การศึกษาผลของปุ๋ยหมักชีวภาพและตำแหน่งการวางของปุ๋ยหมักต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ โดยการจำลองระบบในห้องปฏิบัติการ ใช้เวลาในการทดลองทั้งหมด 90 วัน

4.1 ลักษณะปุ๋ยหมักจากมูลฝอยสังเคราะห์

ปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลองเตรียมจากมูลฝอยสังเคราะห์ให้เป็นตัวแทนของวัสดุกลบทับ ทรายวันหลุมปิดฝังกลบหรือ Daily cover ชนิดปุ๋ยหมักเพื่อช่วยเร่งกระบวนการย่อยสลายภายใน หลุมฝังกลบโดยปุ๋ยหมักมีสมบัติต่างๆแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักจากมูลฝอยสังเคราะห์

ตัวแปร	ค่าเริ่มต้น	ค่าสุดท้าย
น้ำหนัก(กิโลกรัม)	13.5	3
ความชื้น(%)	69.28	19.55
pH	5.2	9.1
C/N ratio	43.86	29.65

จากตารางที่ 4.1 ผลวิเคราะห์ค่าสมบัติต่างๆของปุ๋ยหมักได้นำ ค่าพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักก่อนการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เมื่อสิ้นสุดการทดลองแล้วพบว่า น้ำหนักของปุ๋ยหมักก่อนทำการทดลองมีค่าเท่ากับ 13.5 กิโลกรัม และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าน้ำหนักของปุ๋ยหมักลดลงไปโดยค่าเมื่อสิ้นสุดการทดลองเท่ากับ 3 กิโลกรัมที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากค่าความชื้นที่หายไปโดยค่าความชื้นก่อนทำการทดลองเท่ากับ 69.28 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่ามีค่าเท่ากับ 19.55 เปอร์เซ็นต์ ความชื้นที่หายไปนั้นเนื่องมาจากการระเหยจากความร้อนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์และการเป่าลม ส่วนเกณฑ์ในการพิจารณาสมบัติที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักคือ ค่าพีเอชจาก 5 ถึง 12 (Wilson, 1985) และอัตราส่วน

คาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ค่าที่เหมาะสมในระบบเติมอากาศพิจารณาจากค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าระหว่าง 20 - 30 จะทำให้ระบบสามารถผลิตก๊าซชีวภาพในปริมาณสูงที่สุด (Sanders, F.A. and Blood good, D.E.,1965) ซึ่งลักษณะสมบัติของปุ๋ยหมักที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าพีเอชเริ่มต้นการทดลองคือ 5.2 และค่าพีเอชเท่ากับ 9.1 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ส่วนค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้น 43.86 และวันสุดท้ายคือ 29.65 ซึ่งพิจารณาแล้วพบว่าปุ๋ยหมักที่ทำจากมูลฝอยสังเคราะห์นั้นมีค่าที่เหมาะสมตามเกณฑ์ค่านี้เป็น

4.2 ลักษณะหัวเชื้อจุลินทรีย์

หัวเชื้อจุลินทรีย์ (Seed) ที่นำมาใช้ในการวิจัยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท เสริมสุข จำกัด (มหาชน) โดยได้ทำการปรับสภาพหัวเชื้อจุลินทรีย์ก่อนการนำไปใช้และทำการเก็บรักษาโดยนำไปแช่ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะมีสีดำอมน้ำตาล รูปร่างกลมขนาดประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ผลวิเคราะห์ในห้องทดลองพบว่ามีความเหมาะสมดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย

ค่าพารามิเตอร์ทางเคมี	ค่า
ปริมาณของแข็งทั้งหมด(TS)	4 %
ปริมาณของแข็งระเหยง่าย(VS)	90 %
ปริมาณความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	96
Chemical Oxygen Demand(COD)	10,240 มิลลิกรัมต่อลิตร
ค่าพีเอช (pH)	7

4.3 การศึกษาระบบหมักแบบไร้อากาศในถังปฏิกรณ์

4.3.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำชะขยะของระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

4.3.1.1 ปริมาณกรดไขมันระเหย (Volatile Fatty Acid, VFA)

กรดไขมันระเหยง่ายเป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบ เนื่องจากหลังกระบวนการไฮโดรไลซิสจะมีการสร้างกรดไขมันระเหยง่ายขึ้นมา ซึ่งถ้ากรดไขมันระเหยง่ายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจะเป็นสัญญาณว่าระบบกำลังเสียสมดุล เพราะทำให้พีเอช ลดลงจนอยู่ในช่วงที่ไม่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ ไม่ว่าจะเป็นแบคทีเรียสร้างมีเทนหรือแบคทีเรียสร้างกรด แม้ว่าแบคทีเรียสร้างกรดจะทนต่อกรดที่ผลิตขึ้นได้มากกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทนก็ตาม สังเกตได้จากแบคทีเรียสร้างกรดสามารถอยู่ได้ในช่วงพีเอชที่กว้างกว่า(พีเอช 6.5-7.5)

กระบวนการนี้สารอินทรีย์โมเลกุลเล็กที่ละลายน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ที่มีโมเลกุลเล็ก โดยกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรด ซึ่งกรดที่เกิดขึ้นจะมีกรดอะซิติกในปริมาณที่มากที่สุด และมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนเกิดขึ้นในขั้นตอนนี้ด้วย ซึ่งค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่วิเคราะห์นี้คิดในรูปของกรดอะซิติก (CH_3COOH)

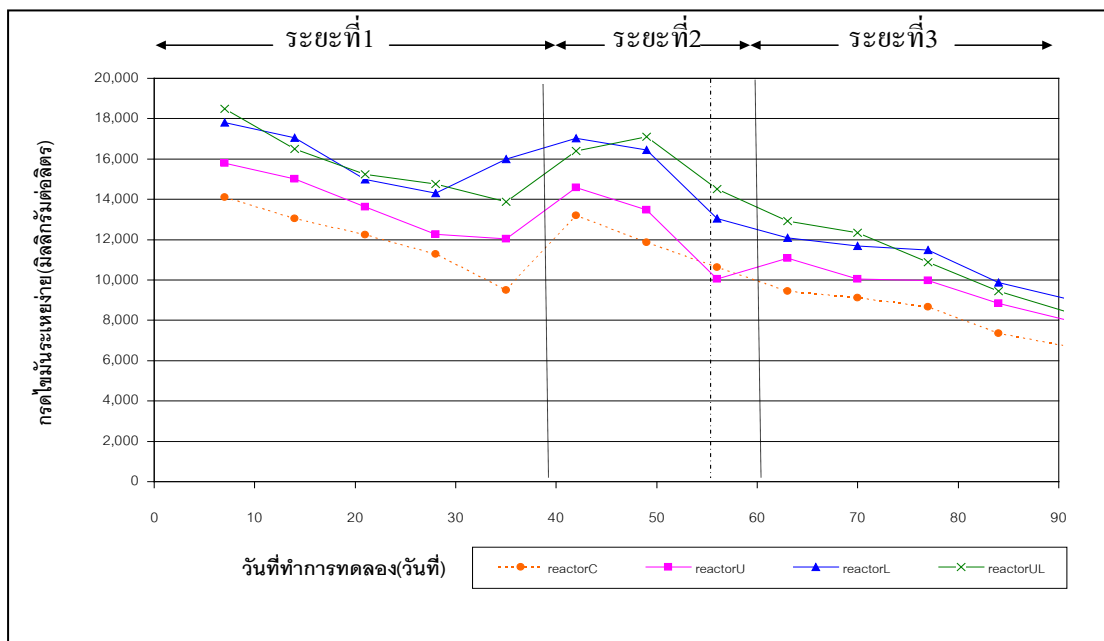
จากตารางที่ 4.3 ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมด พบว่าสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระยะได้ซึ่งผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ทั้งหมดในการวิจัยครั้งนี้จะแบ่งเป็น 3 ระยะเช่นเดียวกัน เพื่อให้ง่ายต่อการดูแนวโน้มของกราฟและการอธิบาย ซึ่งค่ากรดไขมันระเหยง่ายวัดจากน้ำชะขยะ โดยเริ่มวิเคราะห์วันที่ 7 ของการทดลองได้ผลการทดลองดังนี้ ถึงปฏิบัติการ C 14,100 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงปฏิบัติการ U 15,794 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงปฏิบัติการ L 17,800 มิลลิกรัมต่อลิตรและถึงปฏิบัติการ UL 18,500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าถึงปฏิบัติการ UL, L และ U มีค่ากรดไขมันระเหยสูงกว่าถึงปฏิบัติการ C ซึ่งเป็นถึงปฏิบัติการควบคุม ตามลำดับเนื่องจากการย่อยสลายสารอินทรีย์จากปุ๋ยหมักและโดยแนวโน้มค่ากรดไขมันระเหยง่ายจะลดลงจนถึงวันที่ 35 จากนั้นจะดีดตัวสูงขึ้นอีกครั้งแล้วลดลงจนจบการทดลองโดยมีค่าดังต่อไปนี้

ระยะที่ 1 (ช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 40 ของการทดลอง) ค่ากรดไขมันระเหยง่ายเฉลี่ยของถึงปฏิบัติการทั้ง 4 ถึงมีการปรับตัวไปในทิศทางที่ลดลงคล้ายกันทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการ โดยถึงปฏิบัติการ C มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $12,038 \pm 1,754$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิบัติการ U $13,749 \pm 1,648$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิบัติการ L $16,025 \pm 1,436$ มิลลิกรัมต่อลิตร และถึงปฏิบัติการ UL $15,240 \pm 1,789$ มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนของถึงปฏิบัติการเท่ากับ 0.14, 0.12, 0.09 และ 0.12 ตามลำดับ) โดยที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากจุลินทรีย์มีการใช้กรดไขมันระเหยง่ายโดยการย่อยสลายกลายเป็นมีเทนจึงทำให้ค่ากรดไขมันระเหยง่ายมีแนวโน้มลดลง

ระยะที่ 2 (ช่วงวันที่ 41 ถึงวันที่ 60 ของการทดลอง) พบว่าทั้ง 4 ถังปฏิกริยามีการปรับตัวสูงขึ้นและมีค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงที่สุดในระยะนี้โดยค่าสูงสุดของถังปฏิกริยา C, U, L และ UL มีค่าเท่ากับ 13,200, 14,580, 17,020 และ 17,100 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ เนื่องจากการเวียนน้ำชะขยะทุกวันตั้งแต่วันที่ 40 มีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการไฮโดรไลซิส ทำให้ค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงขึ้นและมีการสร้างกรดของแบคทีเรียกลุ่มสร้างกรดภายในระบบ เนื่องจากช่วงนี้พบว่าค่ากรดไขมันระเหยง่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นสูงดังนั้นจึงทำการปรับค่าพีเอชของระบบ โดยการเพิ่มความเป็นด่างโดยการเติม NaHCO_3 ในระบบในวันที่ 55 ของการทดลองเพื่อคุมค่าพีเอชของระบบ โดยถังปฏิกริยา C มีค่าเฉลี่ย $11,903 \pm 1,280$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา U มีค่าเฉลี่ย $12,703 \pm 2,363$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา L มีค่าเฉลี่ย $15,505 \pm 2,149$ มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิกริยา UL มีค่าเฉลี่ย $16,003 \pm 1,347$ มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนของถังปฏิกริยาเท่ากับ 0.10, 0.18, 0.13 และ 0.08 ตามลำดับ)

ระยะที่ 3 (ช่วงวันที่ 61 ถึงวันที่ 90 ของการทดลอง) หลังจากมีการปรับค่าพีเอชในวันที่ 55 โดยเติมโซเดียมคาร์บอเนต (NaHCO_3) เพื่อคุมพีเอชจึงทำให้ทั้ง 4 ถังปฏิกริยามีแนวโน้มปรับตัวลดลงที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากว่าในช่วงนี้มีการนำเอากรดไขมันระเหยง่ายไปใช้ในการสร้างก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนจึงทำให้ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายทั้งหมดมีค่าลดลงด้วยซึ่งสังเกตได้จากก๊าซมีเทนในระยะที่ 3 นี้มีค่ามากกว่าระยะที่ 2 ดังตารางที่ 4.3 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับถังปฏิกริยา C มีค่าเฉลี่ย $8,252 \pm 1,184$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา U มีค่าเฉลี่ย $9,587 \pm 1,194$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา L มีค่าเฉลี่ย $10,840 \pm 1,310$ มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิกริยา UL มีค่าเฉลี่ย $10,800 \pm 1,901$ มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนของถังปฏิกริยาเท่ากับ 0.14, 0.12, 0.12 และ 0.17 ตามลำดับ)

ซึ่งในระยะที่ 3 จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่า หลังจากเวียนน้ำชะขยะและปรับพีเอชในระบบแล้วพบว่าค่ากรดไขมันระเหยเริ่มลดลง และอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น ในทั้ง 4 ถังปฏิกริยา โดยเฉพาะถังปฏิกริยา UL (ปุ๋ยหมักอยู่ทางด้านบนและล่าง) กับถังปฏิกริยา L (ปุ๋ยหมักอยู่ทางด้านล่าง) จะมีกรดไขมันระเหยง่ายลดลงและมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้นมากกว่า ถังปฏิกริยา U (ที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านบน) และถังปฏิกริยา C (ไม่มีปุ๋ยหมัก) ซึ่งยังสอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนที่จะกล่าวในหัวข้อต่อไป



ภาพที่ 4.1 กรดไขมันระเหยง่ายตลอดระยะเวลาการทดลอง

----- วันที่ 55 มีการปรับค่าพีเอช

————— เส้นแบ่งระยะของการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยง่ายในการทดลอง

ค่าเฉลี่ยของการเกิดกรดไขมันระเหยง่าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
ถึงปฏิบัติการ	ระยะที่ 1(1-40 วัน)		ระยะที่ 2(41-60 วัน)		ระยะที่ 3 (61-90 วัน)	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง
C	12,038±1,754	9,505-14,100	11,903±1,280	10,640-13,200	8,252±1,184	6,690-9,450
U	13,749±1,648	12,050-15,794	12,703±2,363	10,050-14,580	9,587±1,194	7,989-11,082
L	16,025±1,436	14,300-17,800	15,505±2,149	13,045-1,7020	10,840±1,310	9,048-12,087
UL	15,240±1,789	13,890-18,500	16,003±1,347	14,500-17,100	10,800±1,901	8,400-12,920

4.3.1.2 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD)

ค่าซีโอดีจะวิเคราะห์จากน้ำชะซึ่งค่าที่วิเคราะห์ได้ในครั้งแรกของทั้ง 4 ถังปฏิกริยานั้นมีค่าสูงมากแสดงให้เห็นว่ามวลฝอยที่ใส่ลงไปมีการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์จากของแข็งเป็นสารละลายและจากการใส่หัวเชื้อจุลินทรีย์เข้าไปโดยค่าซีโอดีเริ่มต้นของถังปฏิกริยา UL ถังปฏิกริยา L และถังปฏิกริยา U มีค่าสูงกว่าถังปฏิกริยา C ตามลำดับ เนื่องมาจากมีสารอินทรีย์ในปุ๋ยหมักรวมอยู่ด้วย พบว่าค่ากรดไขมันระเหยง่ายสัมพันธ์กับค่าซีโอดีโดยดูได้จากค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงซึ่งค่ากรดไขมันระเหยง่ายจะมีค่าประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ของค่าซีโอดีในทุกถังปฏิกริยา

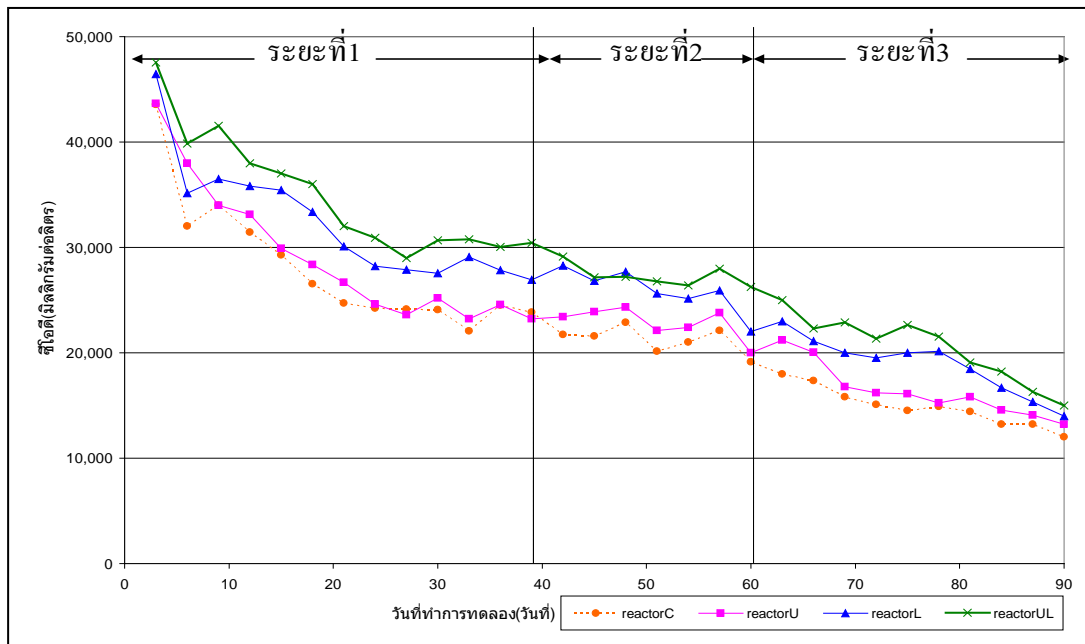
ในตลอดการทดลองพบว่าถังปฏิกริยา UL กับถังปฏิกริยา L จะมีแนวโน้มค่าซีโอดีที่สูงกว่าถังปฏิกริยา U กับถังปฏิกริยา C ตามลำดับ เนื่องมาจากมีสารอินทรีย์ที่อยู่ในปุ๋ยหมักที่วางไว้ในตำแหน่งด้านล่างของถังปฏิกริยาทั้ง 2 รวมอยู่ในถังด้วย ซึ่งในถังปฏิกริยา U ก็มีปุ๋ยหมักวางอยู่ในชั้นบนของถังแต่ก็ยังมีความสูงเท่ากันกับถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักวางอยู่ทางด้านล่าง อธิบายได้ว่าปุ๋ยหมักที่วางอยู่ในตำแหน่งบนของถังปฏิกริยาจะส่งผลต่อค่าซีโอดีน้อยกว่าการวางปุ๋ยหมักไว้ทางด้านล่างของถังปฏิกริยา สอดคล้องกับค่ากรดไขมันระเหยง่ายในระยษะนี้ มีค่าที่ลดลงเช่นกัน ถังปฏิกริยา L และถังปฏิกริยา UL (ปุ๋ยหมักอยู่ทางด้านล่าง) ก็มีค่ากรดไขมันระเหยง่ายสูงกว่าถังปฏิกริยา U (ปุ๋ยหมักวางอยู่ทางด้านบน) และถังปฏิกริยา UL (ปุ๋ยหมักวางตัวอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่าง) ก็จะมีค่าซีโอดีและค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่สูงกว่าถังปฏิกริยา L เช่นกัน และจะเห็นว่าค่าซีโอดีมีผลต่อค่ากรดไขมันระเหยง่ายแบบแปรผันตรงกันคือเมื่อค่าซีโอดีมีค่าเพิ่มขึ้นค่ากรดไขมันระเหยง่ายก็จะปรับตัวเพิ่มขึ้นและถ้าค่า ซีโอดีมีแนวโน้มลดลง ค่ากรดไขมันระเหยง่ายก็จะมีแนวโน้มลดลงเช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ระยะที่ 1 (ช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 40 ของการทดลอง) พบว่าค่าซีโอดีของทั้ง 4 ถังปฏิกริยา มีแนวโน้มลดลงอย่างมากและค่าที่ได้มีความแปรปรวนสูง เนื่องจากในช่วงนี้แบคทีเรียสามารถนำสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายง่ายมาใช้ โดยเริ่มต้นวิเคราะห์ค่าซีโอดีในวันที่ 3 จากน้ำชะขยะในถังปฏิกริยา C, U, L และ UL พบว่ามีค่าเท่ากับ 43,562 , 45,400 , 46,432 และ 47,564 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยในช่วงระยะที่ 1 นี้ถังปฏิกริยา C มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ $28,029 \pm 5,988$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา U มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ $29,084 \pm 6,418$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา L มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ $32,334 \pm 5,563$ มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิกริยา UL มีค่าซีโอดีเฉลี่ยเท่ากับ $34,910 \pm 5,644$ มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบน

ของถึงปฏิกิริยาเท่ากับ 0.21, 0.22, 0.17 และ 0.16 ตามลำดับ) ซึ่งค่าที่มีความแปรปรวนสูงเช่นนี้อาจกล่าวได้ว่าแบคทีเรียกำลังปรับตัวให้เข้ากับสภาพสารอาหารในระบบ

ระยะที่ 2 (ช่วงวันที่ 41 ถึงวันที่ 60 ของการทดลอง) พบว่าช่วงนี้ค่าซีไอดีมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากเริ่มที่จะเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วคือช่วงที่แบคทีเรียไม่สามารถย่อยสารอาหารในระบบเพิ่มขึ้นได้และกำลังปรับตัวให้เข้ากับลักษณะของสารอาหารในระบบ ในช่วงนี้ระบบอาจจะยังอยู่ในกระบวนการย่อยสลายสารโมเลกุลใหญ่ (Hydrolysis) เพื่อเปลี่ยนขนาดและรูปร่างของสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปละลายน้ำ ซึ่งในกระบวนการนี้ไม่ทำให้ค่าซีไอดีของระบบเปลี่ยนแปลงเท่าใดนักการเปลี่ยนแปลงของซีไอดีจึงมีไม่มากเท่ากับระยะที่ 1 และในระยะนี้เริ่มมีการเวียนน้ำชะขยะทุกวันตั้งแต่วันที่ 40 เพื่อเป็นการเพิ่มการกระจายตัวของแบคทีเรียเพื่อเข้าทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น ระยะนี้ระบบจะอยู่ในช่วงการสร้างกรดซึ่งสอดคล้องกับค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่มีการปรับตัวสูงขึ้นในระยะนี้เช่นกัน โดยถึงปฏิกิริยา C มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $21,234 \pm 1,818$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกิริยา U มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $22,850 \pm 1,490$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกิริยา L มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $25,918 \pm 2,064$ มิลลิกรัมต่อลิตร และถึงปฏิกิริยา UL มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $27,271 \pm 1,007$ มิลลิกรัมต่อลิตรซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าซีไอดีในระยะที่ 1 แสดงว่าระบบสามารถกำจัดซีไอดีได้มากขึ้น (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนของถึงปฏิกิริยาเท่ากับ 0.08, 0.06, 0.08 และ 0.04 ตามลำดับ)

ระยะที่ 3 (ช่วงวันที่ 61 ถึงวันที่ 90 ของการทดลอง) จากภาพที่ 4.2 จะพบว่าค่าซีไอดีของทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาเริ่มคงตัวแล้วมีความแปรปรวนน้อยลงกว่าเดิมมากซึ่งสอดคล้องกับค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่ปรับตัวลดลงในระยะนี้เช่นกัน โดยถึงปฏิกิริยา C มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $14,851 \pm 537$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกิริยา U มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $16,324 \pm 2,520$ มิลลิกรัมต่อลิตรถึงปฏิกิริยา L มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $19,623 \pm 1,874$ มิลลิกรัมต่อลิตร และถึงปฏิกิริยา UL มีค่าซีไอดีเฉลี่ยเท่ากับ $20,439 \pm 3,168$ มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนของถึงปฏิกิริยาเท่ากับ 0.03, 0.15, 0.09 และ 0.15 ตามลำดับ)



ภาพที่ 4.2 ค่าซีไอดีจากน้ำชะในถังปฏิบัติการตลอดระยะเวลาการทดลอง

ตารางที่ 4.4 ค่าซีไอเฉลี่ยในระยะเวลาต่างๆของการทดลองตลอดระยะเวลาการทดลอง

ค่าเฉลี่ยของค่าซีไอ (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
ถังปฏิบัติการ	ระยะที่ 1 (1-40 วัน)		ระยะที่ 2 (41-60 วัน)		ระยะที่ 3 (61-90 วัน)	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง
C	28,029 ± 5,988	22,058-43,562	21,234 ± 1,818	19,120-22,900	14,851 ± 537	12,000-18,000
U	29,084 ± 6,418	23,200-43,670	22,850 ± 1,490	20,014-24,350	16,324 ± 2,520	13,200-21,200
L	32,334 ± 5,563	26,940-46,432	25,918 ± 2,064	22,000-28,250	19,623 ± 1,874	14,000-23,000
UL	34,910 ± 5,644	29,000-47,564	27,271 ± 1,007	26,230-29,130	20,439 ± 3,168	15,020-25,000

4.3.1.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอ

จากตารางที่ 4.5 พบว่า ในระยะที่ 1 (ช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 40 ของการทดลอง) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีไอของถังปฏิบัติการ C มีค่าเท่ากับ 49.36 เปอร์เซ็นต์ ถังปฏิบัติการ U 46.87 เปอร์เซ็นต์ ถังปฏิบัติการ L 41.98 เปอร์เซ็นต์ และถังปฏิบัติการ UL 39.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งทั้ง 4 ถังปฏิบัติการมีค่าลดลงอย่างมากเป็นไปในทิศทางเดียวกันอาจเป็นผลมาจากหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้เป็นเชื้อเริ่มต้นระบบและในช่วงแรกของระบบแบคทีเรียมีการย่อยสลายที่ย่อยสลายง่ายได้หมดไปจึงทำให้ค่าซีไอของระบบในระยะแรกสูงตามไปด้วย

ระยะที่ 2 (ช่วงวันที่ 41 ถึงวันที่ 60 ของการทดลอง) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้ง 4 ถึงปฏิกริยามีค่าลดลงจากระยะที่ 1 และมีค่าใกล้เคียงกันโดยในระยะนี้ค่ากรดไขมันระเหยง่ายมีค่ามากขึ้นซึ่งการมีกรดอินทรีย์สะสมอยู่ในปริมาณมากกว่าที่ถูกใช้ไปมีผลให้ค่าซีโอดีเพิ่มขึ้นจากเดิมที่ควรลดลงโดยมีค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีช่วงนี้คือ ถึงปฏิกริยา C 13.32 เปอร์เซ็นต์ ถึงปฏิกริยา U 13.73 เปอร์เซ็นต์ ถึงปฏิกริยา L 18.34 เปอร์เซ็นต์ และถึงปฏิกริยา UL 9.55 เปอร์เซ็นต์

ระยะที่ 3 (ช่วงวันที่ 61 ถึงวันที่ 90 ของการทดลอง) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้ง 4 ถึงปฏิกริยามีค่าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการปรับค่าพีเอชและเวียนน้ำชะขยะทุกวันซึ่งเป็นการเวียนอาหารและเป็นการกระจายตัวของแบคทีเรียกลับเข้าสู่ระบบ ในระยะนี้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อกระบวนการย่อยสลายกรดอินทรีย์ไปเป็นก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียโดยดูจากปริมาณมีเทนในระยะที่ 3 นี้มีค่ามากกว่าระยะที่ 2 ที่โดยมีค่าเฉลี่ยของถึงปฏิกริยา C 37.24 เปอร์เซ็นต์ ถึงปฏิกริยา U 34.05 เปอร์เซ็นต์ ถึงปฏิกริยา L 39.13 เปอร์เซ็นต์ และถึงปฏิกริยา UL 42.74 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระยะที่ 3 ของทั้ง 4 ถึง จะเห็นได้ชัดว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีได้และค่าที่ได้มีแนวโน้มลดลงโดยถึงปฏิกริยา UL มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุด ตามด้วยถึงปฏิกริยา L ถึงปฏิกริยา U และถึงปฏิกริยา C ตามลำดับ

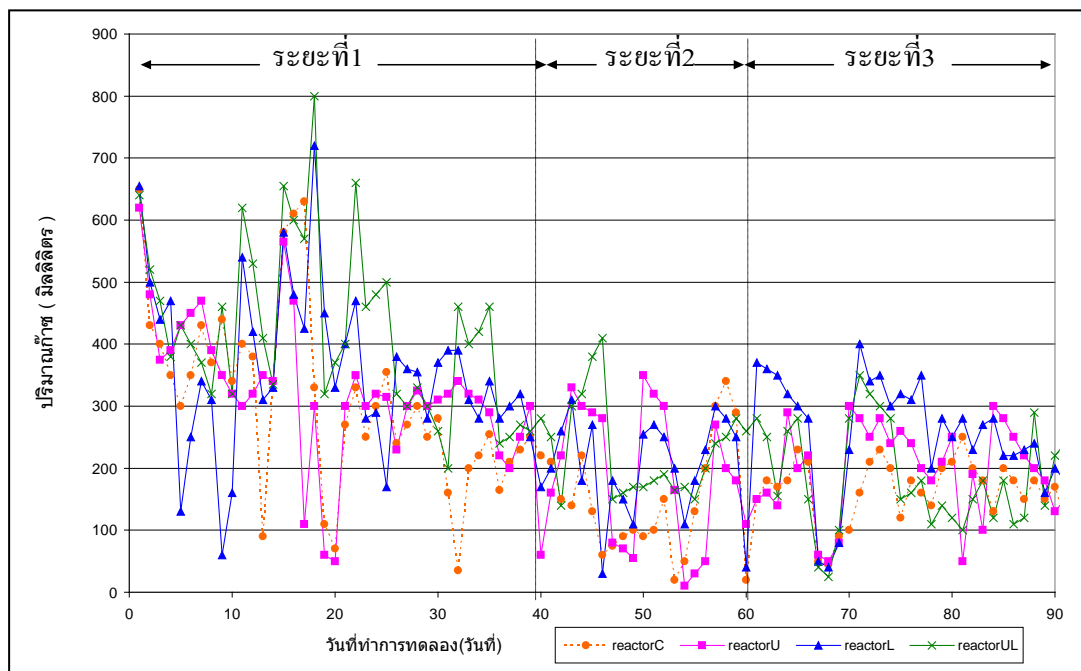
ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ถึงปฏิกริยา	%COD Removal					
	ระยะที่ 1(1-40 วัน)	Std	ระยะที่ 2(41-60 วัน)	Std	ระยะที่ 3 (61-90 วัน)	Std
C	49.36	12.63	13.32	8.90	37.24	4.02
U	46.87	6.93	13.73	8.05	34.05	7.25
L	41.98	10.29	18.34	7.29	39.13	6.27
UL	39.03	7.54	9.55	4.50	42.74	6.06

4.3.2 ประสิทธิภาพของระบบถังหมักแบบไร้อากาศในการผลิตก๊าซชีวภาพจากมูลฝอยสังเคราะห์และปุ๋ยหมักเป็นส่วนประกอบ

4.3.2.1 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดได้จากการแทนที่น้ำ และทำการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ต่อวันภายใต้สภาวะห้อง (Room Condition) โดยก๊าซชีวภาพที่ได้จะเก็บไว้ในอุปกรณ์กักเก็บก๊าซ ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ตรวจสอบสภาพการทำงาน of ระบบได้ ดังภาพที่ 4.3 พบว่า ในระยะที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพจะเพิ่มสูงขึ้นและมีความแปรปรวนอย่างมาก เนื่องจากแบคทีเรียภายในระบบได้มีการนำสารอินทรีย์ในส่วนที่ย่อยสลายได้ง่ายมาใช้ในการผลิตก๊าซชีวภาพซึ่งสัมพันธ์กับค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่มีค่าลดลงในช่วงนี้เช่นเดียวกัน และมีการปรับตัวลดลงเรื่อยๆ ในช่วงวันที่ 67-69 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการมีค่าต่ำมากซึ่งสอดคล้องกับอุณหภูมิในช่วงนั้นที่มีค่าต่ำมาก หลังจากนั้นค่าได้ปรับตัวเพิ่มขึ้น โดยในช่วงวันที่ 90 ทั้ง 4 ถึงปฏิบัติการมีค่าเฉลี่ยของอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพียง 5-10 มิลลิลิตรต่อวัน ซึ่งถือว่าสิ้นสุดการผลิตก๊าซชีวภาพแล้ว

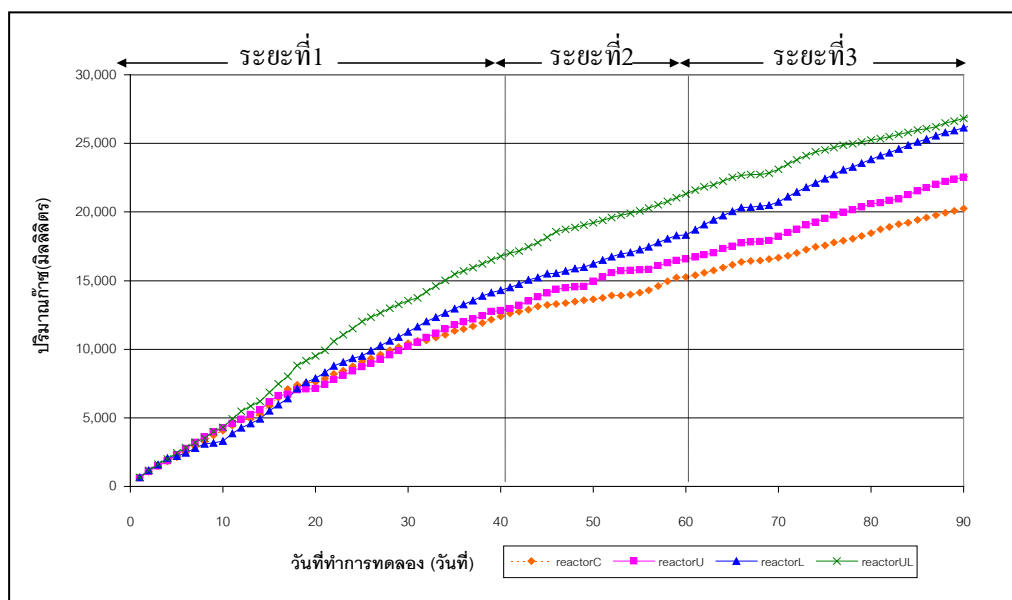


ภาพที่ 4.3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นแต่ละวัน

4.3.2.2 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

จากภาพที่ 4.4 จะพบว่าในช่วงระยะที่ 1 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมของถังปฏิกรณ์ UL จะมีค่ามากกว่าถังปฏิกรณ์ L ถังปฏิกรณ์ U และถังปฏิกรณ์ C ตามลำดับ และจะยิ่งเห็นได้ชัดในระยะที่ 2 และระยะที่ 3 เนื่องจากถังปฏิกรณ์ UL มีปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงมากกว่าถังปฏิกรณ์อื่นในส่วนของปุ๋ยหมักที่ใส่ไว้ด้านล่าง ส่วนถังปฏิกรณ์ L ค่าที่ได้ต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ UL มากอาจเนื่องมาจากถังปฏิกรณ์เกิดร่วของ 2 ครั้งจึงได้ทำการใช้ซิลิโคนแบบใสอุดรอยร่ว โดยถังปฏิกรณ์ทั้ง 4 มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสุดท้ายเท่ากับถังปฏิกรณ์ C เท่ากับ 20,500 มล. ถังปฏิกรณ์ U เท่ากับ 22,760 มิลลิลิตร ถังปฏิกรณ์ L เท่ากับ 26,560 มิลลิลิตรและถังปฏิกรณ์ UL เท่ากับ 27,315 มิลลิลิตร จะเห็นว่าถังปฏิกรณ์ UL มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดมากกว่าถังปฏิกรณ์อื่นๆถังปฏิกรณ์รองลงมาคือถังปฏิกรณ์ L ถังปฏิกรณ์ U และถังปฏิกรณ์ C ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยในแต่ละช่วงแสดงดังตารางที่ 4.6

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าถังปฏิกรณ์ที่มีปุ๋ยหมักมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงกว่าถังปฏิกรณ์ที่ไม่มีปุ๋ยหมักเลย โดยถังปฏิกรณ์ที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านล่างจะสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าถังปฏิกรณ์ที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านบน



ภาพที่ 4.4 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

จากตารางที่ 4.6 จะแสดงให้เห็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพแต่ละระยะซึ่งจะเห็นว่าถังปฏิกริยา C กับถังปฏิกริยา U มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพน้อยกว่าถังปฏิกริยา L กับถังปฏิกริยา UL ตลอดระยะเวลาการทดลอง และพบว่าถังปฏิกริยา UL มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุด

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมเฉลี่ยต่อวันของแต่ละระยะ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ถังปฏิกริยา	ระยะที่1	ระยะที่2	ระยะที่3
C	286.34	136.43	157.92
U	297.07	179.52	182.56
L	332.44	193.10	236.37
UL	393.41	215.95	276.76

4.3.2.3 เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน

ก๊าซชีวภาพที่ได้จะนำไปวิเคราะห์โดยเครื่อง Gas Chromatography จะวิเคราะห์ออกมาเป็นเปอร์เซนต์ของก๊าซมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซอื่นๆ การทดลองครั้งนี้จะเก็บก๊าซ 3 ช่วงคือ ช่วงแรก ช่วงกลางและช่วงท้ายการทดลองแต่ผลวิเคราะห์ก๊าซของช่วงแรกนั้นมีปัญหาด้านอุปกรณ์จึงไม่สามารถนำผลมาใช้ได้

ผลการวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพนั้นจะวิเคราะห์ 2 ครั้งคือ ในระยะที่ 2 (วันที่ 58) และระยะที่ 3 (วันที่ 88) ดังตารางที่4.7 พบว่าในระยะที่ 2 (วันที่ 58) ถังปฏิกริยา UL มีปริมาณก๊าซมีเทนมากที่สุดคือ 28.3 เปอร์เซนต์ รองลงมาคือถังปฏิกริยา L มีปริมาณก๊าซมีเทน 19.39 เปอร์เซนต์ ถังปฏิกริยา C มีปริมาณก๊าซมีเทน 20.35 เปอร์เซนต์และถังปฏิกริยา U มีปริมาณก๊าซมีเทน 19.39 เปอร์เซนต์ (ถังปฏิกริยา C กับ ถังปฏิกริยา U มีปริมาณก๊าซมีเทนที่ใกล้เคียงกันมาก) ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่มีค่าลดลงในช่วงนี้เช่นกัน

ในระยะที่ 3 (วันที่ 88) ทำการการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ผลอีกครั้งพบว่า ถังปฏิกริยา UL ยังคงมีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นมากที่สุดคือ 40.68 เปอร์เซนต์ อาจสันนิษฐานได้ว่าเกี่ยวข้องกับการที่มีปุ๋ยหมักอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างซึ่งมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณ

ก๊าซมีเทนได้ รองลงมาคือ ถังปฏิกรณ์ L มีปริมาณก๊าซมีเทน 38.67 เปอร์เซ็นต์ถังปฏิกรณ์ U มีปริมาณก๊าซมีเทน 29.83 เปอร์เซ็นต์ส่วนถังปฏิกรณ์ C มีปริมาณก๊าซมีเทน 5.72 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องมาจากถูกเก็บก๊าซไว้จึงเป็นผลให้ก๊าซด้านในรั่วออกมา ผลที่ได้จึงมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นว่าระยะที่ 3 ทั้ง 4 ถังปฏิกรณ์จะมีค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนมากกว่าระยะที่ 2 ยกเว้นถังปฏิกรณ์ C ที่มีปัญหา อาจสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณมีเทนได้โดยถังปฏิกรณ์ UL ถังปฏิกรณ์ L และถังปฏิกรณ์ U มีปริมาณมีเทนมากกว่าถังปฏิกรณ์ C และการวางปุ๋ยหมักไว้ที่บริเวณด้านล่างของถังปฏิกรณ์ก็จะช่วยเพิ่มปริมาณมีเทนได้มากกว่าวางไว้ทางด้านบนโดยดูได้จากการที่ถังปฏิกรณ์ L มีปริมาณมีเทนมากกว่าถังปฏิกรณ์ U อาจเนื่องมาจากตัวปุ๋ยหมักที่มีรูพรุนมากทำให้แบคทีเรียสามารถไปเกาะเป็นที่อยู่อาศัย จึงทำให้แบคทีเรียถูกตรึงเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นได้ และจากการที่กรดอินทรีย์ระเหยถูกใช้ไปเป็นสารอาหารของแบคทีเรียพวกสร้างก๊าซมีเทนจึงทำให้ค่าของกรดไขมันระเหยง่ายมีค่าลดลงในช่วงนี้เช่นกัน

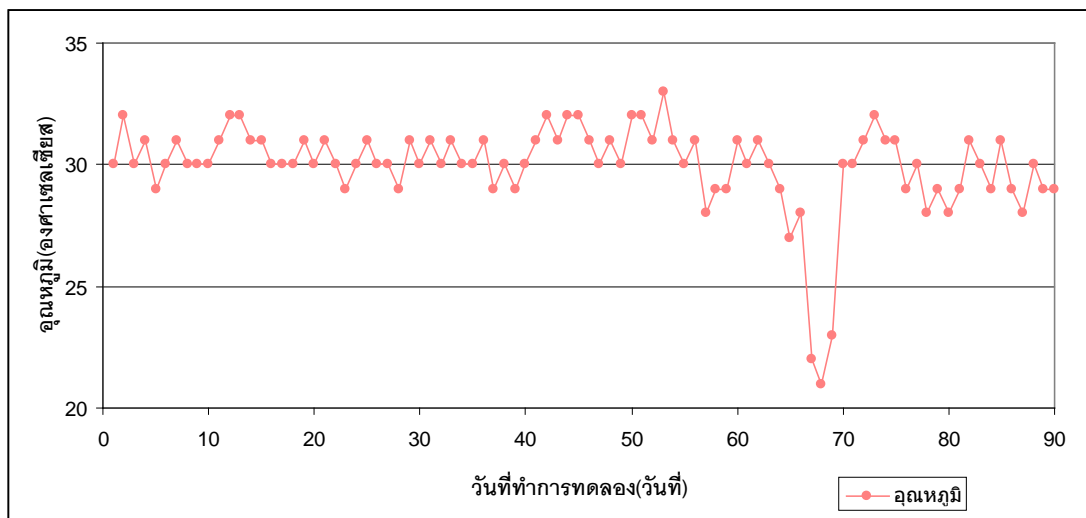
ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์มีเทน

ถังปฏิกรณ์	ระยะที่ 2 (%)	ระยะที่ 3 (%)
C	20.35	5.72
U	19.39	29.83
L	25.68	38.67
UL	28.22	40.68

ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ สุพินดา ชูระเจน (2544) ได้ทำการทดลองการเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักเศษผักและผลไม้ไร้อากาศแบบแห้งที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะแตกต่างกันที่ 10 เปอร์เซ็นต์ 25 เปอร์เซ็นต์และ 50 เปอร์เซ็นต์ตลอดระยะเวลาทำการทดลอง 200 วัน พบว่าเมื่ออัตราการหมุนเวียนน้ำชะขยะเพิ่มขึ้นมีผลให้ก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้นด้วยคือ 40.88, 48.61 และ 52.45 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของ Substrate ที่ใช้ในการทดลอง จึงอาจสรุปได้ว่าการหมุนเวียนน้ำชะขยะกลับในอัตราสูงขึ้น ทำให้ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนเพิ่มขึ้น

4.3.3 สภาวะแวดล้อมของระบบถังหมักแบบไร้อากาศที่มีมูลฝอยสังเคราะห์และปุ๋ยหมักเป็นส่วนประกอบในการผลิตก๊าซชีวภาพ

4.3.3.1 อุณหภูมิ



ภาพที่ 4.5 อุณหภูมิตลอดระยะเวลาการทดลอง

จากภาพที่ 4.5 ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในกระบวนการไร้อากาศมีอยู่ 2 ช่วง คือ

- ช่วง 30 – 40 °C เรียกว่า เมโซฟิลิก (mesophilic)
- ช่วง 45 – 55 °C เรียกว่า เทอร์โมฟิลิก (thermophilic)

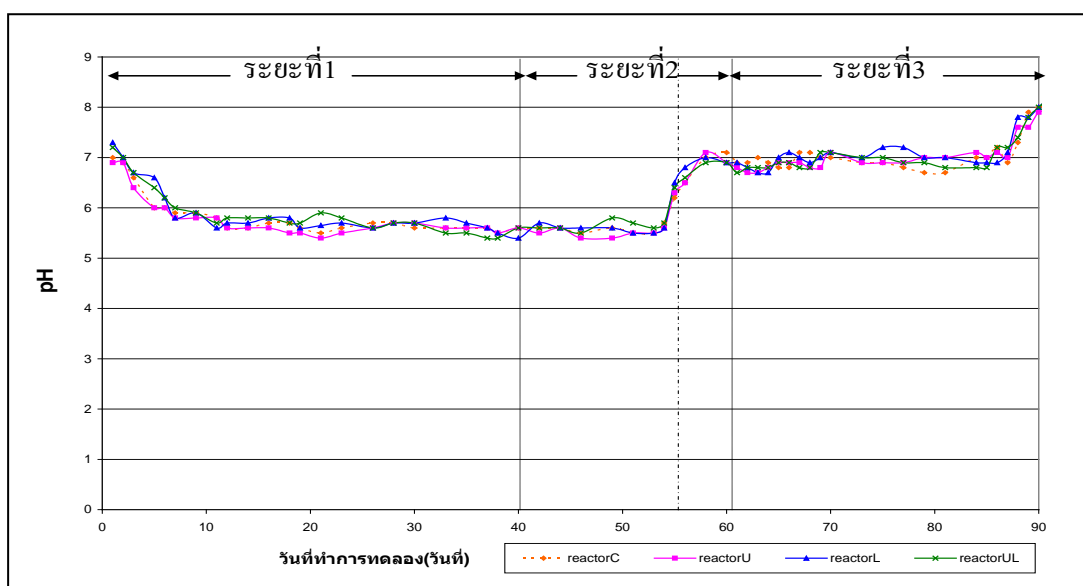
ตามปกติแล้วเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมีและการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์จะเร็วขึ้น อัตราการเจริญเติบโตก็เพิ่มขึ้น งานวิจัยครั้งนี้ทำการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งอุณหภูมิจะอยู่ประมาณ 29 - 33 องศาเซลเซียสตลอดระยะเวลาทำการทดลองอยู่ในช่วงเมโซฟิลิก ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมกับการหมักแบบไร้อากาศ แต่ในช่วงวันที่ 65 ถึงวันที่ 72 อุณหภูมิลดต่ำถึง 23 องศาเซลเซียสเกิดจากสภาพอากาศภายนอกลดต่ำลงมาก

4.3.3.2 ค่าพีเอช

จากภาพที่ 4.6 ค่าพีเอชเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบและเป็นตัววัดสภาวะแวดล้อมที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรียแบบไร้อากาศ

โดยเฉพาะแบคทีเรียกลุ่มผลิตก๊าซมีเทนซึ่งค่าพีเอชที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 6.5 - 7.5 เพื่อให้ระบบมีการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและที่ค่าพีเอช 6.7 - 7.4 จะเหมาะแก่การทำงานของแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (มันสัน ตันฑุลเวศม์, 2542) โดย Seagren et al. (1991) ได้กล่าวว่า การทำงานของแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างมีเทนจะหยุดลงเมื่อค่าพีเอชมากกว่า 8.0 เนื่องจากเมื่อมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนจะทำให้เกิดแอมโมเนียไอออนหรือก๊าซแอมโมเนียเมื่อพีเอชมากกว่า 8.0 จะมีการเปลี่ยนรูปมาเป็นก๊าซแอมโมเนีย (NH_3) ซึ่งจะไปยับยั้งการทำงานและเป็นพิษต่อแบคทีเรียชนิดไร้อากาศมากกว่า NH_4^+ (แอมโมเนียไนโตรเจน) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมต่อการทำงานของแบคทีเรีย

การเริ่มต้นระบบจะพบว่าในช่วงวันที่ 1-7 ของการทดลองค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากในครั้งแรกที่ใส่มูลฝอยสังเคราะห์ลงไปมีการผสมคลุกกับหัวเชื้อจุลินทรีย์และอาหารเสริมซึ่งมีค่าพีเอชเป็นกลางจึงทำให้ค่าพีเอชเริ่มต้นมีค่าประมาณ 7 และใกล้เคียงกันในทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยา หลังจากนั้นค่าพีเอชจึงมีการปรับตัวลดลงและเริ่มแปรปรวนอยู่เล็กน้อย ในวันที่ 55 ของการทดลองได้มีการปรับค่าพีเอชของน้ำชะขยะที่เก็บออกมาให้อยู่ประมาณ 6.8 - 7.2 โดยเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) จึงทำให้หลังจากวันที่ 56 ค่าพีเอชเริ่มมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นจาก 5.7, 5.6, 5.6 และ 5.7 ไปเป็น 8.0, 7.9, 8.2 และ 8.2 ในวันสุดท้ายของการทดลองตามลำดับถึงปฏิกิริยา C, U, L และ UL ในช่วงวันที่ 55-88 ค่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 6.8-7.2 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพของแบคทีเรียในระบบบำบัดแบบไร้อากาศ ซึ่งสอดคล้องกับปริมาณก๊าซชีวภาพที่มีค่ามากในช่วงระยะนี้และเปอร์เซ็นต์มีเทนก็มีค่ามากในระยะนี้เช่นกัน



ภาพที่ 4.6 ค่าพีเอชตลอดระยะเวลาการทดลองวันที่ (... 55 ทำการปรับค่าพีเอชโดยเติม NaHCO_3)

4.3.3.3 ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity, TAlk)

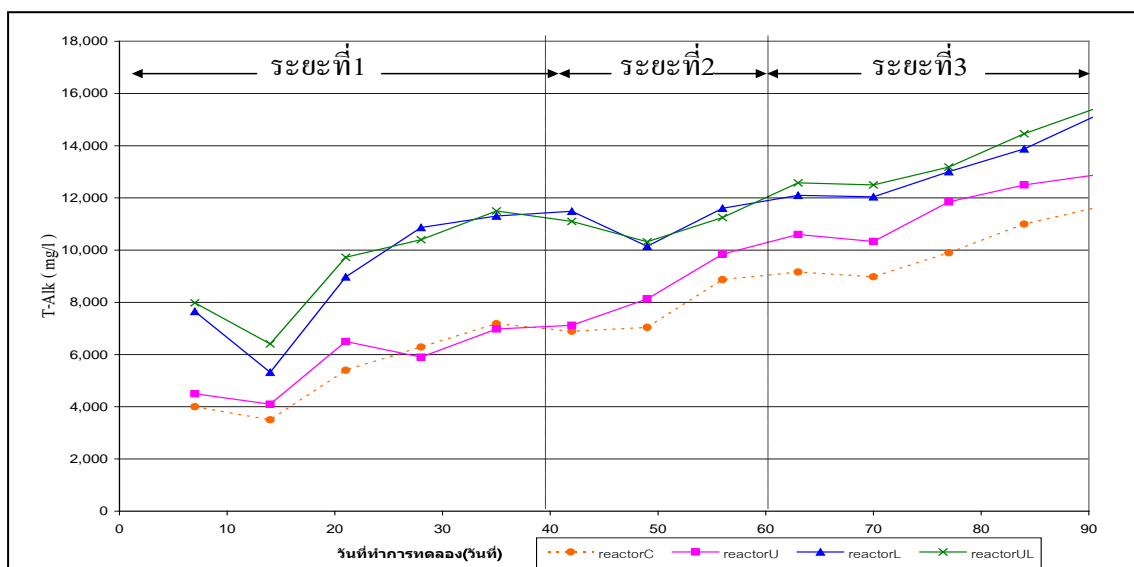
ค่าความเป็นด่างทั้งหมดเป็นพารามิเตอร์ที่บอกให้ทราบถึงกำลังบัฟเฟอร์ในระบบบำบัดแบบไร้อากาศซึ่งจะป้องกันการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของค่ากรดไขมันระเหยง่ายถ้ากำลังบัฟเฟอร์ต่ำ ปริมาณกรดไขมันระเหยที่เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลงอย่างรวดเร็วและมีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียชนิดที่สร้างมีเทน ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้จะเจริญเติบโตที่ pH 6.6-7.5 (Metcalf and Eddy, 2003) ซึ่งค่าความเป็นด่างรวมที่วิเคราะห์นี้จะคิดในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO_3) พบว่าทั้ง 4 ถังปฏิกริยามีการปรับตัวสูงขึ้นโดยมีแนวโน้มสูงขึ้นตลอดการทดลองเนื่องจากเกิดการย่อยสลายกรดอินทรีย์ได้กรดอินทรีย์ระเหยและแอมโมเนียจากนั้นกรดอินทรีย์ระเหยจะถูกใช้ไปเป็นสารอาหารของแบคทีเรียพวกสร้างมีเทน ทำให้แอมโมเนียเหลือมากขึ้นและเมื่อทำปฏิกริยากับคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำกลายเป็นแอมโมเนียมไบคาร์บอเนต ปริมาณความเป็นด่างทั้งหมดจึงเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงหนึ่งแล้วลดลงเพราะการย่อยสลายสารอินทรีย์ย่อยง่ายหมดไป (Raynal and R.Moletta.,1998.)

ค่าความเป็นด่างทั้งหมดเริ่มต้นในแต่ละถังปฏิกริยาเป็นดังนี้ ถังปฏิกริยา C 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา U 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา L 7,650 มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิกริยา UL 7,982 มิลลิกรัมต่อลิตรจะเห็นได้ว่าค่าความเป็นด่างรวมของถังปฏิกริยา L และ UL มีค่าสูงกว่าถังปฏิกริยา C และถังปฏิกริยา U ตลอดระยะเวลาการทดลอง เนื่องจากปุ๋ยหมักสามารถเพิ่มค่าความเป็นด่างได้โดยดูจากค่าความเป็นด่างรวมของถังปฏิกริยา U, L และ UL ที่มีการใส่ปุ๋ยหมักจะมีค่าสูงกว่าถังปฏิกริยา C ซึ่งไม่มีปุ๋ยหมัก โดยค่าความเป็นด่างรวมของถังปฏิกริยา UL จะมากกว่าถังปฏิกริยา L และถังปฏิกริยา U ตามลำดับและในระยะเวลาที่ 2 และ 3 จะเห็นได้ชัดเจนมากกว่าในระยะเวลาที่ 1 ดังภาพที่ 4.7 และตารางที่ 4.8

ระยะเวลาที่ 1 (ช่วงวันที่ 1 ถึงวันที่ 40 ของการทดลอง) ค่าความเป็นด่างมีค่าเฉลี่ยคือถังปฏิกริยา C มีค่าเฉลี่ย $5,274 \pm 1,538$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา U มีค่าเฉลี่ย $5,596 \pm 1,251$ มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยา L มีค่าเฉลี่ย $8,824 \pm 2,451$ มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิกริยา UL มีค่าเฉลี่ย $9,204 \pm 2,017$ มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนของถังปฏิกริยา เท่ากับ 0.29, 0.22, 0.27 และ 0.22 ตามลำดับ)

ระยะที่ 2 (ช่วงวันที่ 41 ถึงวันที่ 60 ของการทดลอง) ค่าความเป็นด่างจะมีการปรับตัวลดลงเล็กน้อยแล้วโดยถึงปฏิกริยา C มีค่าเฉลี่ย 7,601±1,101 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกริยา U มีค่าเฉลี่ย 8,365±1,378 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกริยา L มีค่าเฉลี่ย 11,080±807 มิลลิกรัมต่อลิตร และถึงปฏิกริยา UL มีค่าเฉลี่ย 10,890±499 มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนของถึงปฏิกริยาเท่ากับ 0.14, 0.16, 0.07 และ 0.04 ตามลำดับ)

ระยะที่ 3 (ช่วงวันที่ 61 ถึงวันที่ 90 ของการทดลอง) พบว่าทั้ง 4 ถึงปฏิกริยาจะมีการปรับตัวสูงขึ้นมากจากระยะแรกแล้วหลังจากนั้นค่าความเป็นด่างจึงค่อยๆเพิ่มขึ้นไปซึ่งอาจเป็นผลมาจากมีการควบคุมค่าพีเอช ในระหว่างการทดลองโดยการเติมโซเดียมคาร์บอเนต (NaHCO_3) ในน้ำชะขยะในวันที่ 55 แล้วเวียนน้ำกลับเข้าไปทำให้ค่าความเป็นด่างทั้งหมดของทั้ง 4 ถึงปฏิกริยาค่อยๆมีการปรับตัวเพิ่มขึ้นเป็นถึงปฏิกริยา C 11,657 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงปฏิกริยา U 12,900 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกริยา L 15,210 มิลลิกรัมต่อลิตรและถึงปฏิกริยา UL 15,480 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสุดท้ายของการทดลองและในระยะที่ 3 นี้มีค่าเฉลี่ยคือถึงปฏิกริยา C 10,139±1,162 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงปฏิกริยา U มีค่าเฉลี่ย 11,636±1,137 มิลลิกรัมต่อลิตรถึงปฏิกริยา L มีค่าเฉลี่ย 13,247±1,331 มิลลิกรัมต่อลิตรและถึงปฏิกริยา UL มีค่าเฉลี่ย 13,640±1,294 มิลลิกรัมต่อลิตร (สัมประสิทธิ์ส่วนเบี่ยงเบนของถึงปฏิกริยาเท่ากับ 0.11, 0.10, 0.10 และ 0.09 ตามลำดับ)



ภาพที่ 4.7 ค่าความเป็นด่างทั้งหมดตลอดระยะเวลาการทดลอง

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดที่เกิดขึ้นในการทดลอง (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ค่าเฉลี่ยของสภาพต่างทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร)						
ถังปฏิบัติการ	ระยะที่ 1(1-40 วัน)		ระยะที่ 2(41-60 วัน)		ระยะที่ 3 (61-90 วัน)	
	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง	ค่าเฉลี่ย	ช่วง
C	5,274±1,538	3,500-7,182	7,601±1,101	6,894-8,870	10,139±1,162	8,980-11,657
U	5,596±1,251	4,100-6,980	8,365±1,378	7,120-9,845	11,636±1,137	10,330-12,900
L	8,824±2,451	5,320-11,305	11,080±807	10,150-11,600	13,247±1,331	12,040-15,210
UL	9,204±2,017	6,410-11,500	10,890±499	10,320-11,250	13,640±1,294	12,500-15,480

4.3.3.4 ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน, ORP (Oxidation Reduction Potential)

ความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชันเป็นค่าที่มีความเกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาชีวเคมีต่างๆที่ใช้บำบัดน้ำเสียเพราะเป็นปฏิกิริยารีดอกซ์หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน โดยค่าโออาร์พีจะเป็นตัวชี้วัดปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายเทอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในน้ำ ค่าที่วัดได้อาจเป็นได้ทั้งบวกหรือลบ ถ้าค่าที่ได้เป็นค่าบวกแสดงว่าสารละลายนี้มีสารรับอิเล็กตรอน เช่น มีออกซิเจน แต่ถ้าค่าที่วัดได้เป็นค่าลบแสดงว่าสารละลายนี้มีความสามารถให้อิเล็กตรอน เช่น มีสารอินทรีย์เป็นตัวให้อิเล็กตรอน ซึ่งจากตารางที่ 4.9 ค่าโออาร์พีที่วัดได้จากการทดลองเป็นค่าลบ แสดงว่าเกิดกระบวนการบำบัดชีวภาพแบบไร้อากาศ

ตารางที่ 4.9 ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)

ค่าความต่างศักย์ออกซิเดชัน-รีดักชัน (มิลลิโวลต์)				
วันที่	20	40	60	80
ถังปฏิบัติการC	-154.3	-172.8	-260.1	-243.2
ถังปฏิบัติการU	-162.8	-178.1	-225.7	-247.5
ถังปฏิบัติการL	-172.4	-198.7	-231.5	-251.9
ถังปฏิบัติการUL	-175.3	-186.5	-245.1	-269.6

4.3.3.5 กลิ่นของน้ำชะขยะ

กลิ่นที่เกิดในระบบการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจนส่วนใหญ่เกิดจากกลิ่นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แอมโมเนีย และกรดอินทรีย์ (สุรพล สายพานิช, 2540) ในช่วง 1 เดือนแรกของการหมักกลิ่นมีลักษณะเหม็นเขียวแบบเศษผัก และหลังจากนั้นเมื่อระบบเข้าสู่กระบวนการสร้างกรด (Acid Fermentation) ทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์และเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเป็นผลมาจากซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นเปรี้ยวรุนแรงมาก แต่เมื่อกระบวนการย่อยสลายเข้าสู่การผลิตก๊าซมีเทน (Methane Fermentation) ช่วงนี้ปริมาณกรดอินทรีย์น้อยลง กลิ่นจึงลดลงไปด้วย

4.4 เปรียบเทียบการกำจัดค่าซีโอดี ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทน

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการกำจัดค่าซีโอดี ประสิทธิภาพของการผลิตก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทน

	ถัง ปฏิกริยา	%COD Removal	มีเทน(%)	ปริมาณก๊าซชีวภาพ สะสม(มล./วัน)
ระยะที่3 (วันที่ 60 ถึง 90)	C	37.24	5.72	17,792
	U	34.05	29.83	19,535
	L	39.13	38.67	22,565
	UL	42.74	40.68	24,200

จากตารางที่ 4.10 จะพบว่าถังปฏิกริยา UL (ปุ๋ยหมักด้านบนและด้านล่าง) มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ปริมาณก๊าซชีวภาพและเปอร์เซ็นต์มีเทน สูงกว่าถังปฏิกริยา L ถังปฏิกริยา U และถังปฏิกริยา C ตามลำดับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมที่มากกว่าอย่างเห็นได้ชัดเจน

4.5 ลักษณะของปุ๋ยหมักและมูลฝอยสังเคราะห์หลังสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง 90 วัน ลักษณะของปุ๋ยหมักที่อยู่ด้านบนจะมีลักษณะสีน้ำตาลเข้มมากขึ้นกว่าเริ่มการทดลองและยังคงเป็นชั้นใหญ่อยู่ ดังภาพที่ 4.8 ส่วนปุ๋ยหมักที่อยู่ทางด้านล่างจะมีลักษณะสีที่น้ำตาลเข้มมากกว่าด้านบนและชั้นจะมีลักษณะเปียกชุ่มมากกว่าด้านบนอาจจะเป็นผลมาจากปุ๋ยหมักทางด้านล่างนั้นจะแช่อยู่ในน้ำตลอดเวลา ส่วนด้านบนจะไม่แช่ในน้ำ ภาพที่ 4.9 เป็นภาพของมูลฝอยที่ผ่านการย่อยสลายมา 90 วัน จะมีลักษณะเป็นชั้นละเอียดส่วนผิวด้านบนที่ไม่แช่ในน้ำจะยังเห็นมูลฝอยเป็นชั้นใหญ่อยู่ เนื่องจากระบบไม่มีการกวนผสมทำให้มูลฝอยไม่ผสมกันแต่จะมีการเวียนน้ำชะขยะเพื่อเป็นการกระจายตัวของจุลินทรีย์ให้ไปทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์เพื่อเป็นการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มากขึ้น



ก



ข

ภาพที่ 4.8 ปุ๋ยหมักทางด้านบนหลังจากจบการทดลองของถังปฏิกริยา U (ภาพ ก) และถังปฏิกริยา UL (ภาพ ข)



ก



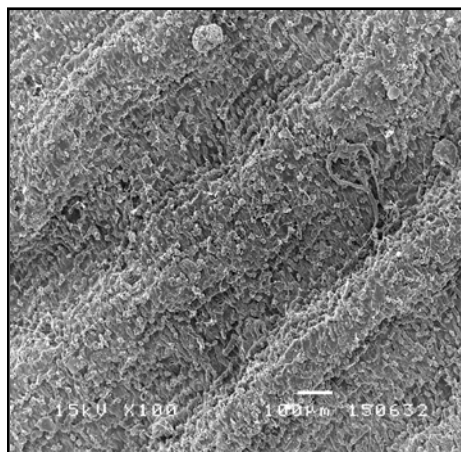
ข

ภาพที่ 4.9 ลักษณะมูลฝอยสังเคราะห์และปุ๋ยหมักหลังจบการทดลองของถังปฏิกริยา U (ภาพ ก) และถังปฏิกริยา UL (ภาพ ข)

4.6 สภาพพื้นผิวของปุ๋ยหมักที่ถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน(Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยายต่างๆ

เมื่อจบการทดลองได้นำปุ๋ยหมักในตำแหน่งต่างๆคือ ด้านบนของถังปฏิกริยา U ด้านล่างของถังปฏิกริยา L ทั้งด้านบน-ล่างของถังปฏิกริยา UL และปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ใส่ในถังปฏิกริยา มาถ่ายรูปตรวจสอบสภาพของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนในกำลังขยายที่ต่างกันเพื่อดูลักษณะการเกาะตัวของแบคทีเรีย ซึ่งภาพที่ 4.10 จะเป็นลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 100 เท่า ภาพที่ 4.11 จะเป็นลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 1,500 เท่า และภาพที่ 4.12 จะเป็นลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 5,000 เท่า ซึ่งภาพที่กำลังขยายที่เพิ่มมากขึ้นก็จะสามารถเห็นจำนวนแบคทีเรียที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของปุ๋ยหมักได้ชัดเจนขึ้น โดยภาพ ก จะแสดงภาพพื้นผิวของปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ใส่ในถังปฏิกริยา ภาพ ข จะแสดงภาพของปุ๋ยหมักที่วางอยู่ในตำแหน่งด้านบนของถังปฏิกริยา U ภาพ ค จะแสดงภาพของปุ๋ยหมักที่วางอยู่ในตำแหน่งด้านล่างของถังปฏิกริยา L ภาพ ง จะแสดงภาพของปุ๋ยหมักที่วางอยู่ในตำแหน่งด้านบนของถังปฏิกริยา UL และภาพ จ จะแสดงภาพของปุ๋ยหมักที่วางอยู่ในตำแหน่งด้านล่างของถังปฏิกริยา UL

โดยจะพบว่าปุ๋ยหมักที่อยู่ทางด้านล่างของถังปฏิกริยาจะมีการเกาะตัวของแบคทีเรียมากกว่าปุ๋ยหมักที่วางอยู่ด้านบนของถังส่วนปุ๋ยหมักที่วางอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่างในถังปฏิกริยา UL ก็จะมีการเกาะตัวของแบคทีเรียมากกว่าปุ๋ยหมักที่วางอยู่เฉพาะด้านล่างในถังปฏิกริยา L และเฉพาะด้านบนในถังปฏิกริยา U ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพของทั้ง 4 ถังปฏิกริยาโดยถังปฏิกริยา UL มีปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมมากที่สุดมากกว่าถังปฏิกริยาอื่นๆ ถังปฏิกริยารองลงมาคือถังปฏิกริยา L ถังปฏิกริยา U และถังปฏิกริยา C ตามลำดับ



ก

Compost



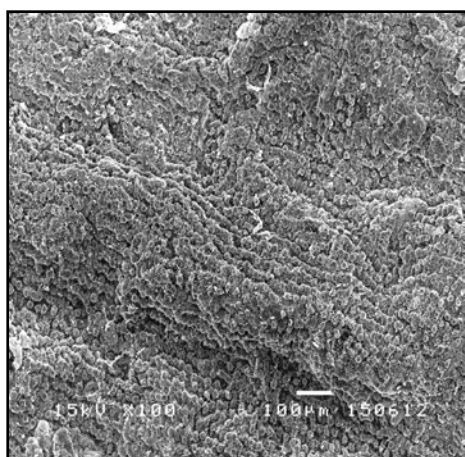
ข

Compost อยู่ด้านบน(reactorU)



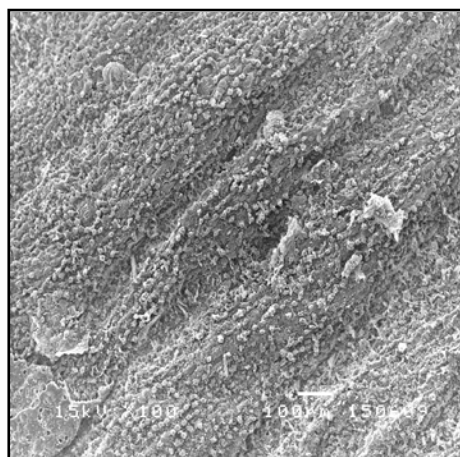
ค

Compost อยู่ด้านล่าง(reactorL)



ง

Compost อยู่ด้านบน (reactorUL)



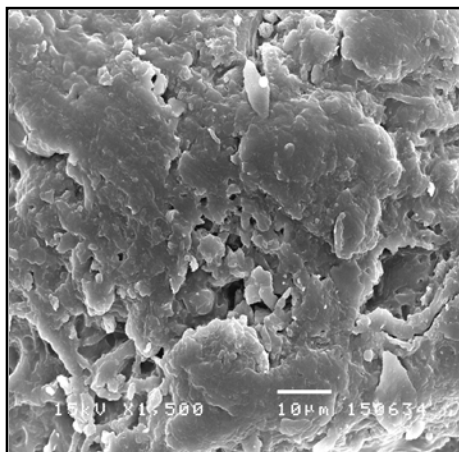
จ

Compost อยู่ด้านล่าง (reactorUL)

ภาพที่ 4.10 ลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 100 เท่า

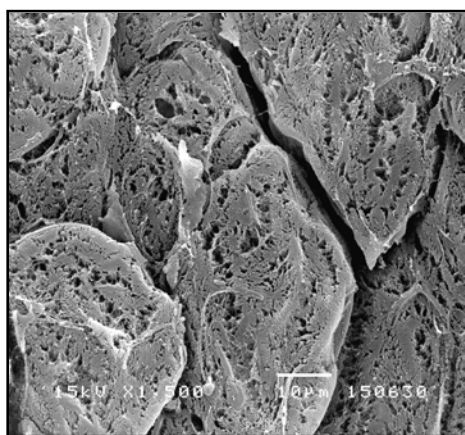
ก. Compost ข. Compost อยู่ด้านบน (reactorU) ค. Compost อยู่ด้านล่าง (reactorL)

ง. Compost อยู่ด้านบน (reactorUL) จ. Compost อยู่ด้านล่าง (reactorUL)



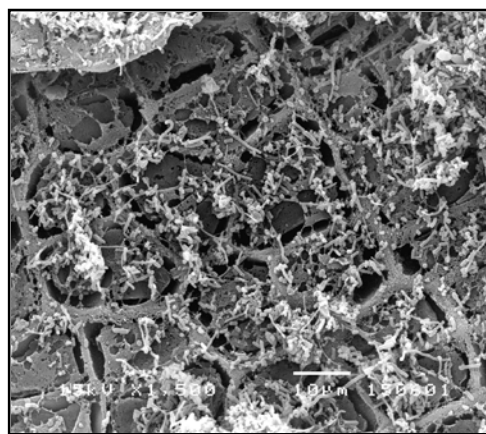
ก

Compost



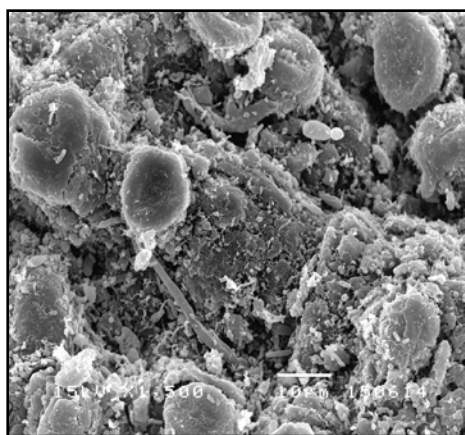
ข

Compost อยู่ด้านบน(reactorU)



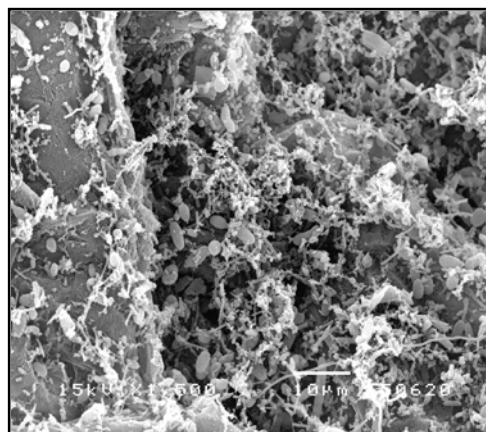
ค

Compost อยู่ด้านล่าง(reactorL)



ง

Compost อยู่ด้านบน(reactorUL)

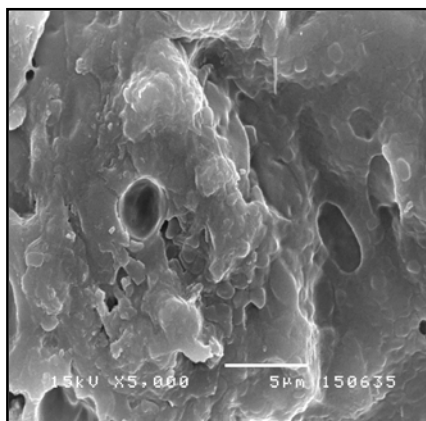


จ

Compost อยู่ด้านล่าง(reactorUL)

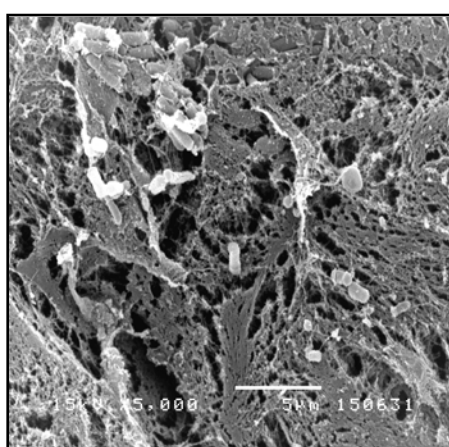
ภาพที่ 4.11 ลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 1,500 เท่า

- ก. Compost ข. Compost อยู่ด้านบน (reactorU) ค. Compost อยู่ด้านล่าง (reactorL)
 ง. Compost อยู่ด้านบน (reactorUL) จ. Compost อยู่ด้านล่าง (reactorUL)



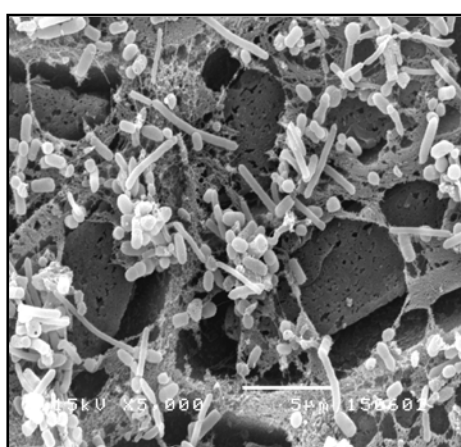
ก

Compost



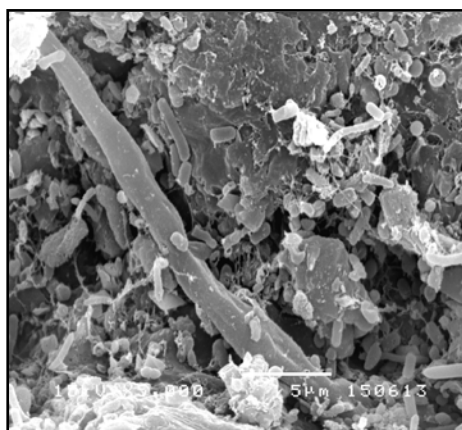
ข

Compost อยู่ด้านบน(reactorU)



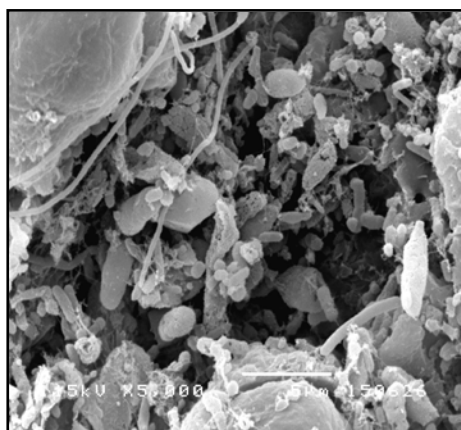
ค

Compost อยู่ด้านล่าง(reactorL)



ง

Compost อยู่ด้านบน (reactorUL)



จ

Compost อยู่ด้านล่าง(reactorUL)

ภาพที่ 4.12 ลักษณะพื้นผิวเม็สของดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope, SEM) กำลังขยาย 5,000 เท่า

- ก. Compost ข. Compost อยู่ด้านบน (reactorU) ค. Compost อยู่ด้านล่าง (reactorL)
 ง. Compost อยู่ด้านบน (reactorUL) จ. Compost อยู่ด้านล่าง (reactorUL)

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองการศึกษาศักยภาพความสามารถในการผลิตก๊าซชีวภาพและประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดีของการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีปุ๋ยหมักวางในตำแหน่งที่ต่างกัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) จากค่าปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมสุดท้ายพบว่าปริมาณของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ปุ๋ยหมักวางในตำแหน่งที่ต่างๆกันพบว่าถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมัก (ถึงปฏิกิริยา U, L และ UL) มีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพได้สูงกว่าถึงปฏิกิริยาที่ไม่มีปุ๋ยหมัก (ถึงปฏิกิริยา C) เลย และถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านล่าง (ถึงปฏิกิริยา L) ก็สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านบน (ถึงปฏิกิริยา U)

2) ผลการศึกษาศักยภาพความสามารถของปุ๋ยหมักแบบ Daily cover ในการลดค่าซีโอดีในน้ำชะขยะและอัตราการลดซีโอดีเมื่อปุ๋ยหมักอยู่ในตำแหน่งที่ต่างกันพบว่าในระยะที่ 3 (วันที่ 61-90) ของการทดลองถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมักมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการกำจัดซีโอดีได้สูงกว่าถึงปฏิกิริยาที่ไม่มีปุ๋ยหมักเลยโดยค่าเฉลี่ยของถึงปฏิกิริยา C (ไม่มีปุ๋ยหมัก) เท่ากับ 37.24 เปอร์เซ็นต์ ถึงปฏิกิริยา U (ปุ๋ยหมักอยู่ด้านบน) เท่ากับ 34.05 เปอร์เซ็นต์ ถึงปฏิกิริยา L (ปุ๋ยหมักอยู่ด้านล่าง) เท่ากับ 39.13 เปอร์เซ็นต์ และถึงปฏิกิริยา UL (ปุ๋ยหมักอยู่ทั้งด้านบนและด้านล่าง) เท่ากับ 42.74 เปอร์เซ็นต์ และจะเห็นว่าถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านล่างก็สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่าถึงปฏิกิริยาที่มีปุ๋ยหมักอยู่ด้านบน ซึ่งผลการวิเคราะห์สอดคล้องกับค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนจะเห็นวาระยะที่ 3 ทั้ง 4 ถึงปฏิกิริยาจะมีค่าเปอร์เซ็นต์มีเทนมากกว่าระยะที่ 2 ยกเว้นถึงปฏิกิริยา C ที่มีปัญหา อาจสรุปได้ว่าปุ๋ยหมักมีส่วนช่วยในการเพิ่มปริมาณมีเทนได้โดยถึงปฏิกิริยา UL ถึงปฏิกิริยา L และถึงปฏิกิริยา U มีเปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับ 40.68, 38.67 และ 29.83 ตามลำดับ ซึ่งมากกว่าถึงปฏิกิริยา C ที่มีเปอร์เซ็นต์มีเทน เท่ากับ 5.72 และการวางปุ๋ยหมักไว้ที่บริเวณด้านล่าง

ของถังปฏิกริยาก็จะช่วยเพิ่มปริมาณมีเทนได้มากกว่าวางไว้ทางด้านบนโดยดูได้จากการที่ถังปฏิกริยา L มีปริมาณมีเทนมากกว่าถังปฏิกริยา U โดยมีเปอร์เซ็นต์มีเทนเท่ากับ 38.67 และ 29.83 ตามลำดับ

3) จากผลการทดลองพบว่าการปรับพีเอชมีผลโดยไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายอย่างเห็นได้ชัด โดยในช่วงแรกค่าพีเอชปรับตัวลดลงอย่างรวดเร็วของทั้งระบบ จนเมื่อเริ่มมีการปรับพีเอชคือในช่วงระยะที่ 2 - ระยะที่ 3 (วันที่ 55) ของการทดลองโดยการเติม NaHCO_3 ที่ทำให้พีเอชปรับตัวสูงขึ้นอยู่ในช่วง 6.8-7.2 พบว่าทำให้ค่าการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในช่วงวันที่ 80 - 90 ของการทดลอง โดยเฉพาะวันที่ 80 - 90 พบว่ามีการผลิตก๊าซชีวภาพมากที่สุดตรงตาม (Metcalf และ Eddy, 2003) ว่าแบคทีเรียชนิดนี้จะเจริญเติบโตได้ดีที่ pH 6.6-7.5 และในช่วงค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่เหมาะสมของระบบหมักแบบไร้อากาศนี้ที่ทำให้ค่าพีเอชของระบบอยู่ที่ประมาณ 7 คือ ประมาณ 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่ากรดไขมันระเหยง่ายที่ 10,000 เป็นค่าที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้

4) จากการเปรียบเทียบระยะต่างๆพบว่าระยะสุดท้ายระบบมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดและจากผลการตรวจลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะพบว่ามีแบคทีเรียมาเกาะจำนวนมากเป็นผลให้เปอร์เซ็นต์การลดซีโอดีเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้การผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้นตามไปด้วยโดยสามารถยืนยันได้จากลักษณะพื้นผิวเมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน จะเห็นได้ว่าการวางปุ๋ยหมักแบบถังปฏิกริยา UL มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับถังปฏิกริยาอื่นๆ

5) การเปรียบเทียบแต่ละถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักวางในตำแหน่งที่ต่างกันคือถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมัก (U,L และ UL) กับถังปฏิกริยาที่ไม่มีปุ๋ยหมัก (C) จะเห็นได้ว่าถังปฏิกริยา C มีประสิทธิภาพต่ำกว่าถังปฏิกริยา U,L และ UL ซึ่งดูได้จากค่าต่างๆที่ได้อธิบายไว้ในข้างต้นแล้วซึ่งยืนยันได้ว่าถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหมักแบบไร้อากาศนี้ได้ เนื่องจากถังปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมัก ซึ่งปุ๋ยหมักทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้แบคทีเรียยึดเกาะ แต่ถังปฏิกริยา C ไม่มีตัวกลางนี้จึงทำให้ประสิทธิภาพของระบบต่ำกว่า โดยสังเกตได้จากการตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนจะเห็นได้ว่าพื้นผิวของปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ใส่ในถังปฏิกริยากับปุ๋ยหมักที่วางในตำแหน่งด้านบนและด้านล่างของถังปฏิกริยา จะมีปริมาณแบคทีเรียต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

6) เปรียบเทียบถึงปฏิกริยาที่มีปุ๋ยหมักวางตัวในตำแหน่งที่ต่างกัน (U,L และ UL) เมื่อเวลาผ่านไปจะพบว่านอกจากปุ๋ยหมักจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางในระบบแล้วยังพบว่าปุ๋ยหมักที่วางอยู่ด้านบนอาจจะช่วยกักเก็บก๊าซชีวภาพ กักกลิ่นเหม็นและเพิ่มความไร้อากาศของระบบหมักแบบไร้อากาศนี้ด้วย ส่วนปุ๋ยหมักที่วางด้านล่างของถังปฏิกริยาอาจจะช่วยเพิ่มศักยภาพในการย่อยสลายของมูลฝอยในหลุมฝังกลบ ลดเนื้อที่การใช้งานของหลุมฝังกลบและเป็นสารอาหารให้แบคทีเรียในส่วนที่แช่น้ำยังเป็นตัวกรองแบคทีเรียหรือสารอินทรีย์เล็กๆไม่ให้ตกลงไปให้ระบบได้นำมาใช้ต่อเป็นการเพิ่มศักยภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพได้ ซึ่งถ้าวางปุ๋ยหมักไว้ทางด้านบนอย่างเดียวระบบจะมีประสิทธิภาพไม่ดีเท่าวางปุ๋ยหมักไว้ที่ด้านล่าง ถ้าจะให้ระบบมีประสิทธิภาพดีที่สุดควรวางปุ๋ยหมักในตำแหน่งด้านบนและด้านล่างของถังปฏิกริยา

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาคุณสมบัติของวัตถุดิบที่นำมาทำปุ๋ยหมักและมูลฝอยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพ
- 2) ศึกษาระยะเวลาและอัตราการเวียนน้ำหมักขยะที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตก๊าซชีวภาพมากขึ้น
- 3) เนื่องจากถังปฏิกริยาที่ทำนี้มีการตัด เจาะรู ที่ตัวถังปฏิกริยาทำให้มีส่วนเชื่อมต่อมากจึงเกิดการรั่วได้ง่าย ระบบที่ทำก็อาจไม่สามารถเป็นระบบปิดอย่างสมบูรณ์
- 4) ควรทดลองเปลี่ยนขนาดถังปฏิกริยาให้ใหญ่ขึ้นกว่านี้ เพื่อให้ใกล้เคียงสภาวะที่เกิดขึ้นจริงตามธรรมชาติ
- 5) ศึกษาเปอร์เซ็นต์หรือขนาดของปุ๋ยหมักที่จะใส่ในถังปฏิกริยาเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของปุ๋ยหมักต่อขนาดถังปฏิกริยาต่อไป

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรุงเทพมหานคร, 2541. สถิติกรุงเทพมหานคร ประจำปี 2541. กองวิชาการและแผนงาน สำนัก
รักษาความสะอาด.

พิพัฒน์ ธีระจักร. 2548. ผลของการใช้ปุ๋ยหมักในการคลุมหลุมฝังกลบต่อการย่อยสลายขยะ
อินทรีย์ที่ปนเปื้อนตะกั่ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการ จัดการ
สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มูลนิธิพลังงานเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2550. ระบบบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไร้อากาศ[ออนไลน์]. แหล่งที่มา:
<http://www.efe.or.th/>. [2553, ธันวาคม 20]

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย. เล่มที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2545. เคมีวิทยาของน้ำและน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรอ. 2548. ตำราระบบการจัดการมลพิษน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. จัดพิมพ์โดย
สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, นนทบุรี.

โรงงานอุตสาหกรรม, กรอ. 2548. ตำราระบบการจัดการมลพิษทางอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1.
จัดพิมพ์ โดย สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, นนทบุรี.

วรรณญา ทิษัมพรพิทยา และ สมใจ กาญจนวงศ์. 2545. ผลของอัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย
ต่อการกำจัดสารอินทรีย์ในมูลฝอยจากตลาดโดยใช้วิธีการหมักไร้ออกซิเจนแบบลีสเบด.
วารสารวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

สุพินดา ฐระเจน. 2544. การเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักเศษผักและผลไม้ไร้อากาศแบบ
แห้งที่มีการหมุนเวียนน้ำชะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาเทคโนโลยี
สิ่งแวดล้อมคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุรพล สายพานิช. 2540. การศึกษากระบวนการคอนแทกต์สแตบิไลเซชันไร้อากาศแบบกวน
สมบูรณ์. สถาบันวิจัยและพัฒนาคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อารียา วิรัชวรกุล. 2546. การผลิตก๊าซชีวภาพจากเศษอาหารโดยกระบวนการย่อยสลายภายใต้
สภาวะไร้ออกซิเจนแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต,
ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

- Abichou, T., Mahieu, K., Yuan, L., Chanton, J. and Hater, G. 2009. Effects of compost biocovers on gas flow and methane oxidation in a landfill cover. Waste Management. 29(5): 1595-1601.
- Angelidaki, I., et al. 2009. Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. Water Science & Technology. 927-934.
- Barrington, S., Choiniere, D. and Trigui, M. 2003. Compost convective airflow under passive aeration. Bioresource Technology. 86:259–266.
- Banerjee, A., Elefsiniotis, P. and Tuhtar, D. 1998. Effect of HRT and temperature on the acidogenesis of municipal primary sludge and industrial wastewater. Wat. Sci. Tech. 38(8-9): 417-423.
- Bouallagui, H., Touhami, Y., Ben, R. and Hamdi, M. 2005. Bioreactor performance in anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes. Biochemistry. 40(3-4): 989-995.
- Bouallagui, H., Lahdheb, H., Romdan, E., Rachdi, E. and Hamdi, M. 2009. Improvement of fruit and vegetable waste anaerobic digestion performance and stability with co-substrates addition. Journal of Environmental Management. 90:1844–1849.
- Das, K., Smith, M., Gattie, D., Dorothy, D. and Boothe, H. 2002. Stability and quality of municipal solid waste compost from a landfill aerobic bioreduction process. Advances in Environmental Research. 6: 401-409.
- Davidsson, S., Gruvberger, C. and Thomas H. 2007. Methane yield in source-sorted organic fraction of municipal solid waste. Waste Management. 27:406–414.
- Gabrielle, B., Da-Silveira, J., Houot, S. and Michelin, J. 2005. Field-scale modelling of carbon and nitrogen dynamics in soils amended with urban waste compost. Agriculture, Ecosystems & Environment. 110(3-4): 289-299.
- Hurst, c., and Longhurst, P. 2005. Assessment of municipal waste compost as a daily cover material for odour control at landfill sites. Environmental Pollution. 135: 171–177.

- Irem, a., Turgut, T. 2001. Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation. Journal Of Harzardous Materials. B87:259-271.
- Kotze, J., et. al., 1968. A biological- Chemical Study of Several Anaerobic Digestion. Water Research. 2: 195-221.
- Kim, M., Ahn, Y. and Speece, R. 2002. Comparative process stability and efficiency of anaerobic digester: mesophilic vs thermophilic. Water Research. 38:3645-3650.
- Liu, C., Yuan, X., Zeng, G., Li, W. and Li, J. 2008. Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. Bioresource Technology. 99:882–888.
- Ledakowicz, S., Kaczarek, K. 2002. Laboratory simulation of anaerobic digestion of municipal solid waste. Appropriate Environmental and Solid Waste Management and Technologies for Developing Countries. vol. 2:1139–46.
- Metcalf, J.S. and Eddy, F.B. 2003. Waste Water Engineering. Fourth Edition. New York. The Mcgraw-Hill Companies.
- McCarty, P. and McCart, R. 1961. Volatile Acid Toxicity in Anaerobic Digestion. Water Pollution Control Federation. 33: 223-232.
- Pohland, F. 1992. Anaerobic Treatment : Fundamental Concepts, Applications and New Horizons, in Malina, J. and Pohland, F. Edited Design of Anaerobic Processes for the Treatment of Industrial and Municipal Wastes. Water Quality Management. 7: 882-888.
- Raynal. J., Delgens, J. and Moletta, R. 1998. Two-phase anaerobic digestion of solid waste by a multiple liquefaction reactors process. Bioresource Technology. 65: 97-103.
- Reinhart, D., Al-Yousfi, A. 1996. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. Waste Manage Res.14:337-46.
- Sanders, F. and Blood good, D. 1965. The effect of nitrogen to carbon ratio an anaerobic decomposition. Journal of water pollution control Fed. 37: 1741-1752.
- Scheutz, C., Pedicone, A., Pedersen, G. and Kjeldsen, P. 2011. Evaluation of respiration in compost landfill biocovers intended for methane oxidation. Waste Management. 31:895–902.

- Song, Y., Kwon, S. and Woo, J. 2004. Mesophilic and thermophilic temperature co-phase anaerobic digestion compared with single-stage mesophilic-and thermophilic digestion of sewage sludge. Water Research. 38:1653–1662.
- Sponza, D., Agdag, O. 2004. Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors. Process Biochemistry. 39:2157-2165.
- Speece, R. 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment. Environ. Sci. Technol. 17(9): 1035-1099
- Tchobanoglous, G., Theisen, G. and Vigil, S. 1993. Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issue. USA : McGRAW-Hill.
- Sterling, J., Lacey, R., Engler, C. and Ricke, S. 2001. Effects of ammonia nitrogen on H₂ and CH₄ production during anaerobic digestion of dairy cattle manure. Bioresource Technology. 77: 8-19.
- Villar, M., Beloso, M., et. al., 1993. Physical Chemical Characterization of Four Composted Urban Refuses. Bioresource Technology. 45: 105-113.
- Yilmazer, T. and Yenigum, P. 1999. Two-phase anaerobic treatment of cheese whey. Wat.Sci.Tech. 40: 289-295.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ภาคผนวก ก-1 ปริมาณของการทำปุ๋ยหมักก่อนและหลัง

เริ่มต้นปุ๋ยหมักมีน้ำหนัก 13.5 กิโลกรัม มีความชื้น 69.28 เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} \text{น้ำหนักน้ำ} &= 13.5 \times 69.28 / 100 = 9.35 \text{ ลิตร} \\ \text{น้ำหนักแห้ง} &= 13.5 - 9.35 = 4.15 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

หลังจากทำปุ๋ยหมักแล้วมีความชื้น 19.55 เปอร์เซ็นต์

$$\begin{aligned} \text{ความชื้นที่หายไป} &= 69.28 - 19.55 = 49.73 \text{ เปอร์เซ็นต์} \\ \text{น้ำที่หายไป} &= 13.5 \times 49.73 / 100 = 6.71 \text{ ลิตร} \\ \text{น้ำหนักของปุ๋ยหมักหลังจากการทำปุ๋ยหมัก} &= 13.5 - 6.71 \\ &= 6.79 \text{ ลิตร} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ก-2 ปริมาณน้ำในระบบ

จากตารางที่ 3.1 น้ำหนักมูลฝอยที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบมีน้ำหนัก 2.5 กิโลกรัม ความชื้น 88 เปอร์เซ็นต์

$$\text{ปริมาณน้ำในระบบ} = 2.5 \times 88 / 100 = 2.2 \text{ ลิตร}$$

ภาคผนวก ก-3 อัตราการเวียนเวียนน้ำหมักขยะ

$$\begin{aligned} \text{อัตราการเวียนน้ำหมัก 15 \%} &= 2.2 \times 15 / 100 = 400 \text{ มิลลิลิตรโดยประมาณ} \\ \text{อัตราการเวียนน้ำหมัก 25 \%} &= 2.2 \times 25 / 100 = 550 \text{ มิลลิลิตรโดยประมาณ} \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข – 1 อุณหภูมิตลอดการทดลอง

วันที่	อุณหภูมิ	วันที่	อุณหภูมิ	วันที่	อุณหภูมิ
1	30	31	31	61	30
2	32	32	30	62	31
3	30	33	31	63	30
4	31	34	30	64	29
5	29	35	30	65	27
6	30	36	31	66	28
7	31	37	29	67	22
8	30	38	30	68	21
9	30	39	29	69	23
10	30	40	30	70	30
11	31	41	31	71	30
12	32	42	32	72	31
13	32	43	31	73	32
14	31	44	32	74	31
15	31	45	32	75	31
16	30	46	31	76	29
17	30	47	30	77	30
18	30	48	31	78	28
19	31	49	30	79	29
20	30	50	32	80	28
21	31	51	32	81	29
22	30	52	31	82	31
23	29	53	33	83	30
24	30	54	31	84	29
25	31	55	30	85	31
26	30	56	31	86	29
27	30	57	28	87	28
28	29	58	29	88	30
29	31	59	29	89	29
30	30	60	31	90	29

ตารางที่ ข – 2 ค่าพีเอช

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL	วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
1	7.0	6.9	7.3	7.2	54	5.7	5.6	5.6	5.7
2	6.9	6.9	7.0	7.0	55	6.2	6.3	6.5	6.4
3	6.6	6.4	6.7	6.7	56	6.5	6.5	6.8	6.6
5	6.0	6.0	6.6	6.4	58	7.0	7.1	7.0	6.9
6	6.0	6.0	6.2	6.2	60	7.1	6.9	6.9	6.9
7	5.9	5.8	5.8	6.0	61	6.9	6.8	6.9	6.7
9	5.9	5.8	5.9	5.9	62	6.9	6.7	6.8	6.8
11	5.8	5.8	5.6	5.7	63	7.0	6.7	6.7	6.8
12	5.6	5.6	5.7	5.8	64	6.9	6.8	6.7	6.8
14	5.6	5.6	5.7	5.8	65	6.8	6.9	7.0	6.9
16	5.7	5.6	5.8	5.8	66	6.8	6.9	7.1	6.9
18	5.7	5.5	5.8	5.7	67	7.1	6.9	7.0	6.8
19	5.6	5.5	5.6	5.7	68	7.1	6.8	6.9	6.8
21	5.5	5.4	5.7	5.9	69	7.0	6.8	7.0	7.1
23	5.6	5.5	5.7	5.8	70	7.0	7.1	7.1	7.1
26	5.7	5.6	5.6	5.6	73	6.9	6.9	7.0	7.0
28	5.7	5.7	5.7	5.7	75	6.9	6.9	7.2	7.0
30	5.6	5.7	5.7	5.7	77	6.8	6.9	7.2	6.9
33	5.6	5.6	5.8	5.5	79	6.7	7.0	7.0	6.9
35	5.6	5.6	5.7	5.5	81	6.7	7.0	7.0	6.8
37	5.6	5.6	5.6	5.4	84	7.0	7.1	6.9	6.8
38	5.5	5.5	5.5	5.4	85	7.0	7.0	6.9	6.8
40	5.6	5.6	5.4	5.6	86	7.2	7.1	6.9	7.2
42	5.6	5.5	5.7	5.6	87	6.9	7.0	7.1	7.2
44	5.6	5.6	5.6	5.6	88	7.3	7.6	7.8	7.4
46	5.5	5.4	5.6	5.5	89	7.9	7.6	7.8	7.8
49	5.6	5.4	5.6	5.8	90	8.0	7.9	8.0	8.0
51	5.5	5.5	5.5	5.7	91	8.0	7.9	8.2	8.2
53	5.5	5.5	5.5	5.6					

ตารางที่ ๗ - 3 ผลวิเคราะห์ค่าซีไอดี

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
3	43,562	43,670	46,432	47,564
6	32,012	38,000	35,145	39,878
9	34,014	34,000	36,513	41,558
12	31,424	33,120	35,837	38,000
15	29,298	29,893	35,428	37,000
18	26,532	28,351	33,355	36,000
21	24,713	26,660	30,085	32,000
24	24,216	24,598	28,225	30,890
27	24,141	23,621	27,900	29,000
30	24,079	25,184	27,540	30,672
33	22,058	23,241	29,100	30,780
36	24,500	24,556	27,840	30,070
39	23,832	23,200	26,940	30,420
42	21,745	23,400	28,250	29,130
45	21,600	23,900	26,840	27,160
48	22,900	24,350	27,705	27,200
51	20,150	22,103	25,604	26,775
54	21,000	22,402	25,127	26,402
57	22,120	23,784	25,900	28,000
60	19,120	20,014	22,000	26,230
63	18,000	21,200	23,000	25,000
66	17,377	20,040	21,102	22,300
69	15,815	16,800	19,987	22,900
72	15,100	16,200	19,500	21,370
75	14,500	16,100	19,980	22,640
78	14,900	15,240	20,150	21,523
81	14,420	15,800	18,460	19,100
84	13,200	14,560	16,700	18,240
87	13,200	14,100	15,350	16,300
90	12,000	13,200	14,000	15,020

ตารางที่ ข - 4 ผลวิเคราะห์ค่ากรดไขมันระเหยง่าย

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
7	14100	15794	17800	18500
14	13050	15010	17050	16490
21	12248	13620	14990	15240
28	11286	12270	14300	14760
35	9505	12050	15983	13890
42	13200	14580	17020	16410
49	11870	13480	16450	17100
56	10640	10050	13045	14500
63	9450	11082	12087	12920
70	9110	10040	11700	12340
77	8664	9980	11490	10890
84	7345	8845	9875	9450
91	6690	7989	9048	8400

ตารางที่ ๕ - 5 ผลวิเคราะห์ค่าความเป็นด่างทั้งหมด

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
7	4000	4500	7650	7982
14	3500	4100	5320	6410
21	5400	6500	8975	9728
28	6290	5901	10870	10400
35	7182	6980	11305	11500
42	6894	7120	11490	11100
49	7040	8130	10150	10320
56	8870	9845	11600	11250
63	9160	10600	12100	12580
70	8980	10330	12040	12500
77	9900	11850	13007	13180
84	11000	12500	13880	14460
91	11657	12900	15210	15480

ตารางที่ ข – 6 ตารางค่าอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยง่ายต่อซีไอดี

วันที่	ถึงปฏิบัติการC	ถึงปฏิบัติการB	ถึงปฏิบัติการL	ถึงปฏิบัติการUL
7	0.43	0.44	0.50	0.45
14	0.43	0.48	0.48	0.44
21	0.50	0.51	0.50	0.48
28	0.47	0.50	0.52	0.49
35	0.41	0.50	0.56	0.46
42	0.61	0.62	0.60	0.56
49	0.55	0.58	0.62	0.63
56	0.49	0.44	0.51	0.53
63	0.53	0.52	0.53	0.52
70	0.59	0.61	0.59	0.56
77	0.59	0.64	0.57	0.49
84	0.56	0.61	0.52	0.52
91	0.56	0.61	0.56	0.56

ตารางที่ ๗ - 7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตแต่ละวัน

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
1	450	420	445	425
2	330	290	300	340
3	400	350	380	380
4	350	390	470	380
5	300	430	130	430
6	350	450	250	400
7	430	470	340	370
8	370	390	310	320
9	440	350	60	460
10	340	320	160	320
11	400	300	540	620
12	380	320	420	530
13	90	350	310	410
14	340	340	330	335
15	580	565	580	655
16	610	470	480	600
17	630	110	425	570
18	330	300	720	800
19	110	60	450	320
20	70	50	330	370
21	270	300	400	400
22	330	350	470	660
23	250	300	280	460
24	300	320	290	480

ตารางที่ ๗ - 7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตแต่ละวัน(ต่อ)

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
25	355	315	170	500
26	240	230	380	320
27	270	300	360	300
28	300	325	355	330
29	250	300	280	300
30	280	310	370	260
31	160	320	390	200
32	35	340	390	460
33	200	320	310	400
34	220	310	280	420
35	255	290	340	460
36	165	220	280	240
37	210	200	300	250
38	230	250	320	270
39	250	300	250	260
40	220	60	170	280
41	210	160	200	250
42	150	220	260	140
43	140	330	310	300
44	220	300	180	320
45	130	290	270	380
46	60	280	30	410
47	75	80	180	150
48	90	70	150	160
49	100	55	110	170
50	90	350	255	170

ตารางที่ ๗ - 7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตแต่ละวัน(ต่อ)

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
51	100	320	270	180
52	150	300	250	190
53	20	165	200	165
54	50	10	110	170
55	130	30	180	150
56	200	50	230	200
57	300	270	300	240
58	340	200	280	250
59	290	180	250	280
60	20	110	40	260
61	150	150	370	280
62	180	160	360	300
63	170	140	350	340
64	180	290	320	260
65	230	200	300	280
66	210	220	280	300
67	50	60	50	40
68	45	50	40	50
69	90	80	80	100
70	100	300	230	280
71	160	280	400	380
72	210	250	340	370
73	230	280	350	400
74	200	240	300	380
75	120	260	320	340

ตารางที่ ๗ - 7 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตแต่ละวัน(ต่อ)

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
76	180	240	310	350
77	160	200	350	390
78	140	180	200	250
79	200	210	280	320
80	210	250	250	260
81	250	50	280	240
82	200	190	230	250
83	180	100	270	300
84	130	300	280	310
85	200	280	220	250
86	180	250	220	200
87	150	220	230	260
88	180	200	240	270
89	150	180	160	280
90	170	130	200	250
91	120	150	180	210
92	80	50	100	100
93	40	50	130	80

ตารางที่ ข- 8 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
1	450	420	445	425
2	780	710	745	765
3	1,180	1,060	1,125	1,145
4	1,530	1,450	1,595	1,525
5	1,830	1,880	1,725	1,955
6	2,180	2,330	1,975	2,355
7	2,610	2,800	2,315	2,725
8	2,980	3,190	2,625	3,045
9	3,420	3,540	2,685	3,505
10	3,760	3,860	2,845	3,825
11	4,160	4,160	3,385	4,445
12	4,540	4,480	3,805	4,975
13	4,630	4,830	4,115	5,385
14	4,970	5,170	4,445	5,720
15	5,550	5,735	5,025	6,375
16	6,160	6,205	5,505	6,975
17	6,790	6,315	5,930	7,545
18	7,120	6,615	6,650	8,345
19	7,230	6,675	7,100	8,665
20	7,300	6,725	7,430	9,035
21	7,570	7,025	7,830	9,435
22	7,900	7,375	8,300	10,095
23	8,150	7,675	8,580	10,555

ตารางที่ ๗- 8 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม(ต่อ)

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
24	8,450	7,995	8,870	11,035
25	8,805	8,310	9,040	11,535
26	9,045	8,540	9,420	11,855
27	9,315	8,840	9,780	12,155
28	9,615	9,165	10,135	12,485
29	9,865	9,465	10,415	12,785
30	10,145	9,775	10,785	13,045
31	10,305	10,095	11,175	13,245
32	10,340	10,435	11,565	13,705
33	10,540	10,755	11,875	14,105
34	10,760	11,065	12,155	14,525
35	11,015	11,355	12,495	14,985
36	11,180	11,575	12,775	15,225
37	11,390	11,775	13,075	15,475
38	11,620	12,025	13,395	15,745
39	11,870	12,325	13,645	16,005
40	12,090	12,385	13,815	16,285
41	12,300	12,545	14,015	16,535
42	12,450	12,765	14,275	16,675
43	12,590	13,095	14,585	16,975
44	12,810	13,395	14,765	17,295
45	12,940	13,685	15,035	17,675
46	13,000	13,965	15,065	18,085
47	13,075	14,045	15,245	18,235
48	13,165	14,115	15,395	18,395

ตารางที่ ๗- 8 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม(ต่อ)

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
49	13,265	14,170	15,505	19,050
50	13,355	14,520	15,760	19,220
51	13,455	14,840	16,030	19,400
52	13,605	15,140	16,280	19,590
53	13,625	15,305	16,480	19,755
54	13,675	15,315	16,590	19,925
55	13,805	15,345	16,770	20,075
56	14,005	15,395	17,000	20,275
57	14,305	15,665	17,300	20,515
58	14,645	15,865	17,580	20,765
59	14,935	16,045	17,830	21,045
60	14,955	16,155	17,870	21,305
61	15,105	16,305	18,240	21,585
62	15,285	16,465	18,600	21,885
63	15,455	16,605	18,950	22,225
64	15,635	16,895	19,270	22,485
65	15,865	17,095	19,570	22,765
66	16,075	17,315	19,850	23,065
67	16,125	17,375	19,900	23,105
68	16,170	17,425	19,940	23,155
69	16,260	17,505	20,020	23,255
70	16,360	17,805	20,250	23,535
71	16,520	18,085	20,650	23,915
72	16,730	18,335	20,990	24,285

ตารางที่ ข- 8 ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสม(ต่อ)

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
73	16,960	18,615	21,340	24,685
74	17,160	18,855	21,640	25,065
75	17,280	19,115	21,960	25,405
76	17,460	19,355	22,270	25,755
77	17,620	19,555	22,620	26,145
78	17,760	19,735	22,820	26,395
79	17,960	19,945	23,100	26,715
80	18,170	20,195	23,350	26,975
81	18,420	20,245	23,630	27,215
82	18,620	20,435	23,860	27,465
83	18,800	20,535	24,130	27,765
84	18,930	20,835	24,410	28,075
85	19,130	21,115	24,630	28,325
86	19,310	21,365	24,850	28,525
87	19,460	21,585	25,080	28,785
88	19,640	21,785	25,320	29,055
89	19,790	21,965	25,480	29,335
90	19,960	22,095	25,680	29,585
91	20,080	22,245	25,860	29,795
92	20,160	22,295	25,960	29,895
93	20,200	22,345	26,090	29,975

ตารางที่ ข – 9 ปริมาณน้ำหมักที่เวียนในระบบตลอดระยะเวลาการทดลอง

วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL	วันที่	reactorC	reactorU	reactorL	reactorUL
1	0	0	0	0	28	400	400	400	400
2	0	0	0	0	29	0	0	0	0
3	0	0	0	0	30	0	0	0	0
4	0	0	0	0	31	0	0	0	0
5	0	0	0	0	32	0	0	0	0
6	0	0	0	0	33	0	0	0	0
7	400	400	400	400	34	0	0	0	0
8	0	0	0	0	35	400	400	400	400
9	0	0	0	0	36	0	0	0	0
10	0	0	0	0	37	0	0	0	0
11	0	0	0	0	38	0	0	0	0
12	0	0	0	0	39	0	0	0	0
13	0	0	0	0	40	110	110	110	110
14	400	400	400	400	41	110	110	110	110
15	0	0	0	0	42	110	110	110	110
16	0	0	0	0	43	110	110	110	110
17	0	0	0	0	44	110	110	110	110
18	0	0	0	0	45	110	110	110	110
19	0	0	0	0	46	110	110	110	110
20	0	0	0	0	47	110	110	110	110
21	400	400	400	400	48	110	110	110	110
22	0	0	0	0	49	110	110	110	110
23	0	0	0	0	50	110	110	110	110
24	0	0	0	0	51	110	110	110	110
25	0	0	0	0	52	110	110	110	110
26	0	0	0	0	53	110	110	110	110
27	0	0	0	0	54	110	110	110	110

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชมพูนุช ชุ่มพุดซา เกิดเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2528 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายสายวิทย์-คณิตจากโรงเรียนสาธิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จังหวัดกรุงเทพมหานคร ในปีการศึกษา 2548 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์(อัญมณีและเครื่องประดับ) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2551 ปัจจุบันได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551