



ผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่เติมอากาศต่อการยุบตัวของมูลฝอยชุมชน
ภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ
Recirculation of Aerated Leachate on the Settlement
of Municipal Solid Waste in Landfill

พิสิษฐ์ ไตรธเนศ
Pisit Traitaned

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Prince of Songkla University

2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่เติมอากาศต่อการยับยั้งตัวของมูลฝอย
ชุมชนภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

ผู้เขียน นายพิสิษฐ์ ไตรธเนศ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรีรัตน์ สุกรัตน์)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกวงค์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรีรัตน์ สุกรัตน์)

.....กรรมการ
(ดร.วิสา คงนคร)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อม

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้มาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณบุคคลที่มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรีรัตน์ สกุรัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลงชื่อ.....

(นายพิสิษฐ์ ไตรธเนศ)

นักศึกษา

(4)

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และ
ไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นายพิสิษฐ์ ไตรธเนศ)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยที่เติมอากาศต่อการยวบตัวของมูลฝอย
ชุมชนภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

ผู้เขียน นายพิสิษฐ์ ไตรธเนศ

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2559

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ศึกษาผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ โดยใช้ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยขนาด กว้าง 0.40 เมตร ยาว 0.40 เมตร และสูง 1.20 เมตร เพื่อย่อยสลายมูลฝอยที่สังเคราะห์ขึ้นซึ่งประกอบไปด้วย เศษอาหาร กระดาษ และพลาสติก โดยประกอบด้วย 2 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความเร็วในการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ จากการศึกษพบว่า การหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อเนื่องตลอดเวลา และการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ทำให้มูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบยวบตัวร้อยละ 33.3 และ 29.3 ตามลำดับ และการทดลองที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตลอดเวลาต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ จากการศึกษพบว่า เมื่อเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตลอดเวลา เมื่อค่า COD ลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือเมื่อสภาวะภายในเป็นแบบไร้อากาศโดยสมบูรณ์ ไม่สามารถเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ ทำให้มูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบยวบตัวเพียงร้อยละ 21.3 ในขณะที่มูลฝอยภายในถังจำลองที่ไม่มี การเติมอากาศยวบตัวร้อยละ 30.7 และพบว่า เมื่อเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตลอดเวลา ตั้งแต่เริ่มต้น ทำให้มูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบยวบตัวร้อยละ 45.3 ในขณะที่มูลฝอยภายในถังจำลองยวบที่ไม่มี การเติมอากาศยวบตัวร้อยละ 29.3 สรุปได้ว่าการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา ร่วมกับการเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตั้งแต่เริ่มต้นเท่านั้นที่ส่งผลให้เกิดการยวบตัวของมูลฝอยในถังจำลองหลุมฝังกลบได้มากขึ้นกว่าการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาโดยไม่มีการเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอย

Thesis Title	Impact of Aerated Leachate Recirculation on the Settlement of Municipal Solid Waste in Simulated Landfill
Author	Mister Pisit Traitaned
Major Program	Environmental Engineering
Academic Year	2016

Abstract

The aim of this research is to study the impact of the aeration of recirculated leachate on the settlement of municipal solid waste (MSW) in a simulated landfill. Reactors with a length of 0.40 m width of 0.40 m and height 1.20 m were used to decompose synthetic MSW consisting of food waste, paper and plastic. This study consists of 2 main experiments. The first experiment studied the effect of recirculation frequency on the settlement of MSW in simulated landfill. The result showed that the reactor with continuously leachate recirculation and the one with weekly leachate recirculation has 33.3 and 29.3 percent of settlement strain respectively. The second experiment studied the effect of aeration of recirculated leachate on the settlement of MSW in a simulated landfill. The result showed that aeration of continuously recirculated leachate when COD was below 2,500 mg/L or when the internal condition is completely anaerobic was unable to enhance the settlement of MSW in the simulated landfill. The settlement strain in the one with aeration and without aeration was 21.3 and 30.7 percent respectively. On the other hand, aeration of continuously recirculated leachate from the beginning increased the settlement of MSW in the simulated landfill. The settlement strain in the one with aeration from the beginning was 45.3 percent while the settlement strain of the one without aeration was only 29.3 percent. In conclusion, continuously recirculating leachate with aeration from the beginning results in higher settlement strain of MSW in a simulated landfill than continuously recirculating leachate without aeration.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรีรัตน์ สกุรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำที่ดีในการทำการวิจัย รวมถึงการเอาใจใส่ กำลังใจ และความเข้าใจที่มอบให้แก่ผู้วิจัยจนสามารถทำให้การวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์ ประธานกรรมสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์ และ ดร.วิสสา คงนคร คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลามาร่วมเป็นคณะกรรมการสอบ พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ทิชม เพื่อให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทุก ๆ ท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนให้ความรู้แก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ทุนอุดหนุนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณอมรรัตน์ ทวลกะสิน และคุณเพ็ญภา ทองประไพ นักวิทยาศาสตร์ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่คอยให้คำแนะนำในการทดลอง การใช้เครื่องมือ และการบริหาร จัดการการทดลองด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ นายอัปตลเถาะ ส่าแหล่หมัน เจ้าหน้าที่กองอาคารและสถานที่ ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้ความเอื้อเฟื้อในการจัดหาวัสดุ ตลอดจนการเก็บขนวัสดุที่ทำการทดลองเสร็จแล้วในครั้งนี้

ขอขอบกราบขอบพระคุณ คุณพ่อนายวุฒิพร – คุณแม่นางกาญจนา ไตรธเนศและครอบครัวสำหรับความรัก ความเอาใจใส่ ความเชื่อมั่น และความห่วงใย ที่มีให้แก่ผู้วิจัยเสมอมา รวมทั้งคอยสนับสนุนเงินทุนในการศึกษาตลอด

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ น้อง ๆ ทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกความช่วยเหลือจากทุกท่านที่มีได้กล่าวถึงในนี้ ซึ่งผู้วิจัยไม่สามารถกล่าวนามได้หมด จึงขอขอบคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

พิสิษฐ์ ไตรธเนศ

สารบัญ

บทคัดย่อ.....	(5)
Abstract.....	(6)
กิตติกรรมประกาศ.....	(7)
สารบัญ.....	(8)
สารบัญตาราง.....	(10)
สารบัญรูปภาพ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
1.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
1.4. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	16
1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	16
1.6. ขอบเขตการวิจัย.....	16
บทที่ 2 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
2.1. การศึกษาการเปรียบเทียบผลของความถี่ในการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยวบตัวของ มูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ	19
2.2. การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ	24
บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์.....	31
3.1. ผลการทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบผลของความถี่ในการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ	31
3.2. ผลการทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ	41
3.3. แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้	55
บทที่ 4 สรุป และข้อเสนอแนะ	57
4.1. สรุปผลการวิจัย	57
4.2. ข้อเสนอแนะ	58
เอกสารอ้างอิง	60
ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์	66
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบจากการทดลองที่ 1	74
เปรียบเทียบผลของความถี่ในการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ.....	74
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบจากการทดลองที่ 2.1.....	81

เปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนต่อการยุบตัวของมูลฝอย ภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ เมื่อค่า COD ต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร	81
ภาคผนวก ง ข้อมูลดิบจากการทดลองที่ 2.2	86
เปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ตั้งแต่เริ่มต้น ต่อการยุบตัว ของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ	86
ประวัติผู้เขียน	96

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	คุณลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบแบ่งตามอายุ	7
ตารางที่ 2.1	พารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย สำหรับการทดลองที่ 1	24
ตารางที่ 2.2	พารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย สำหรับการทดลองที่ 2.1	29
ตารางที่ 2.3	พารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย สำหรับการทดลองที่ 2.2	30
ตารางที่ 3.1	คุณสมบัติของมูลฝอยชุมชนของการทดลองที่ 1	32
ตารางที่ 3.2	คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลองที่ 1	31
ตารางที่ 3.3	คุณสมบัติของมูลฝอยชุมชนก่อนการทดลองที่ 2.1	42
ตารางที่ 3.4	คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลองที่ 2.1	42
ตารางที่ 3.5	คุณสมบัติของมูลฝอยชุมชนก่อนการทดลองที่ 2.2	46
ตารางที่ 3.6	คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลองที่ 2.2	47
ตารางภาคผนวกที่	ข-1 ความสูงของชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 1	74
ตารางภาคผนวกที่	ข-2 VFA ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1	75
ตารางภาคผนวกที่	ข-3 Conductivity ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1	75
ตารางภาคผนวกที่	ข-4 pH ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1	76
ตารางภาคผนวกที่	ข-5 ความเป็นต่างในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1	76
ตารางภาคผนวกที่	ข-6 TKN ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1	77
ตารางภาคผนวกที่	ข-7 COD ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1	77
ตารางภาคผนวกที่	ข-8 อุณหภูมิภายในชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 1	78
ตารางภาคผนวกที่	ค-1 COD ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.1	81
ตารางภาคผนวกที่	ค-2 ความสูงของชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 2.1	83
ตารางภาคผนวกที่	ค-3 DO ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.1	84
ตารางภาคผนวกที่	ง-1 ความสูงของชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2	86
ตารางภาคผนวกที่	ง-2 DO ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2	87
ตารางภาคผนวกที่	ง-3 COD ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2	89
ตารางภาคผนวกที่	ง-4 COD ในน้ำชะมูลฝอยของถังที่ 1 ของการทดลองที่ 2.2	91
ตารางภาคผนวกที่	ง-5 VFA ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2	93
ตารางภาคผนวกที่	ง-6 ความเป็นต่างในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2	94
ตารางภาคผนวกที่	ง-7 TKN ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2	95
ตารางภาคผนวกที่	ง-8 ไนเตรตในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2	95

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1	หลุมฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกสุขอนามัย (Sanitary Landfill).....	4
รูปที่ 1.2	วิธีฝังกลบพื้นที่ราบ (Area Method)	5
รูปที่ 1.3	วิธีฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method).....	5
รูปที่ 1.4	วิธีฝังกลบแบบหุบเขา (Canyon Method).....	6
รูปที่ 1.5	การย่อยสลายสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ แบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ	8
รูปที่ 1.6	ถึงปฏิกริยาในการทดลองของ Bilgili et al. (Bilgili et al. 2007).....	12
รูปที่ 1.7	ถึงปฏิกริยาในการทดลองของ Jun et al. (Jun et al. 2007).....	13
รูปที่ 1.8	เส้นโค้งการยวบตัวที่เกิดภายในชั้นมูลฝอย 3 ระยะ (Datta and Eastes 2017).....	15
รูปที่ 2.1	ขั้นตอนการทดลอง.....	18
รูปที่ 2.2	การออกแบบถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ในการทดลองที่ 1.....	19
รูปที่ 2.3	ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ของการทดลองที่ 1	20
รูปที่ 2.4	ถังรองรับน้ำชะมูลฝอย	20
รูปที่ 2.5	ปั๊มที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย.....	21
รูปที่ 2.6	การคัดแยกมูลฝอย	22
รูปที่ 2.7	การคลุกเคล้ามูลฝอย.....	22
รูปที่ 2.8	การออกแบบถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ในการทดลองที่ 2.....	25
รูปที่ 2.9	ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ในการทดลองที่ 2	25
รูปที่ 2.10	ถังรองรับน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.....	26
รูปที่ 2.11	ปั๊มที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.....	26
รูปที่ 2.12	ถังเติมอากาศ	27
รูปที่ 2.13	เครื่องเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.....	27
รูปที่ 3.1	ความสูงของชั้นมูลฝอยในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย.....	33
รูปที่ 3.2	การเปลี่ยนแปลงค่ากรดอินทรีย์ระเหย	34
รูปที่ 3.3	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า.....	35
รูปที่ 3.4	การเปลี่ยนแปลงค่า pH.....	36
รูปที่ 3.5	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่าง	37
รูปที่ 3.6	การเปลี่ยนแปลงค่า TKN.....	38
รูปที่ 3.7	การเปลี่ยนแปลงค่า COD.....	38
รูปที่ 3.8	การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ	39
รูปที่ 3.9	การเปลี่ยนแปลงค่า COD.....	43
รูปที่ 3.10	ความสูงของมูลฝอยและร้อยละของการยวบตัวของมูลฝอย.....	44
รูปที่ 3.11	การเปลี่ยนแปลงค่า DO.....	45
รูปที่ 3.12	ความสูงของมูลฝอยและร้อยละของการยวบตัวของมูลฝอย.....	48
รูปที่ 3.13	การเปลี่ยนแปลงค่า DO.....	49

รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงค่า COD.....	50
รูปที่ 3.15 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยของถังที่ 1.....	51
รูปที่ 3.16 การเปลี่ยนแปลงค่ากรดอินทรีย์ระเหย	52
รูปที่ 3.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่าง.....	52
รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนแปลงค่า TKN	53
รูปที่ 3.19 การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรต.....	54

บทที่ 1 บทนำ

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยมีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยสถิติจำนวนประชากรในปี 2559 เพิ่มขึ้นจากปี 2551 ร้อยละ 4 (กรมการปกครอง 2560) จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้การใช้ทรัพยากรเพิ่มสูงขึ้น ทรัพยากรเหล่านี้ภายหลังจากการใช้งานจะถูกเปลี่ยนเป็นมูลฝอย ซึ่งในปี 2559 ประเทศไทยมีมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 27 ล้านตัน หรือคิดเป็น 74,130 ตันต่อวัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี 2551 ร้อยละ 13 (กรมควบคุมมลพิษ 2560)

การจัดการมูลฝอยในปัจจุบันมีหลายวิธี เช่น การหมักปุ๋ย (Composting) การเผาในเตาเผา (Incineration) และการฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) (กรมควบคุมมลพิษ 2560) แต่วิธีการที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ การฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล ข้อดีของวิธีนี้ คือ สามารถรองรับมูลฝอยได้ปริมาณมาก สะดวกต่อการดำเนินการ แต่ในปัจจุบันพบว่าระบบนี้ไม่สามารถกำจัดมูลฝอยที่เกิดขึ้นได้หมด เนื่องจากพื้นที่ฝังกลบในปัจจุบันมีอยู่จำกัด และการสร้างหลุมฝังกลบใหม่ทำได้ยาก เนื่องจากมีการต่อต้านของประชาชนในพื้นที่โดยรอบ (กรมควบคุมมลพิษ 2560) ซึ่งเทศบาลนครหาดใหญ่ เป็นอีกพื้นที่หนึ่งที่ประสบกับปัญหาดังกล่าวเช่นกัน โดยแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหานี้ คือ การนำพื้นที่หลุมฝังกลบเดิมกลับมาใช้งานอีกครั้ง แต่โดยทั่วไปการย่อยสลายภายในหลุมฝังกลบใช้เวลามากกว่า 5 ปี ขึ้นอยู่กับปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอยที่ถูกกำจัด (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 2554) เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายเป็นแบบไร้อากาศ ซึ่งใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย ทำให้การยุบตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ (Bilgili et al. 2007) ซึ่งเป็นอุปสรรคในการนำพื้นที่หลุมฝังกลบเดิมกลับมาใช้งานได้ทันกับความต้องการ

ดังนั้นจึงมีงานวิจัยเพื่อหาวิธีการเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในหลุมฝังกลบเพื่อให้เกิดการยุบตัวของชั้นมูลฝอยเร็วขึ้น โดยวิธีการหนึ่ง คือ การอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบโดยตรง หรือที่เรียกว่า Active Landfill (Sandip et al. 2012; Wu et al. 2014) ซึ่งทำให้ภายในหลุมฝังกลบเกิดการย่อยสลายแบบใช้อากาศเพื่อให้เกิดการย่อยสลายมูลฝอยในหลุมฝังกลบเร็วขึ้นกว่าการย่อยสลายตามธรรมชาติ และจากงานวิจัยของ Sandip et al. (2012) พบว่า ในระยะเวลาเท่ากัน การอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบโดยตรง ส่งผลให้เกิดการยุบตัวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 11 เป็นร้อยละ 27 แต่วิธีการนี้ประยุกต์ใช้กับหลุมฝังกลบที่มีอยู่เดิมได้ยาก เนื่องจากต้องมีการสร้างระบบในการเติมอากาศก่อนทำการฝังกลบมูลฝอย แต่อีกวิธีหนึ่งที่สามารถประยุกต์ใช้กับหลุมฝังกลบที่มีอยู่เดิมได้ คือ การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับสู่หลุมฝังกลบ (Leachate Recirculation) (Hao et al. 2008; Wu et al. 2014) ซึ่งเป็นการเพิ่มความชื้น สารอาหาร และเชื้อจุลินทรีย์เข้าสู่หลุมฝังกลบ ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายมูลฝอยในหลุมฝังกลบเกิดขึ้นได้เร็วกว่าการย่อยสลายตามธรรมชาติ และจากงานวิจัยของ Hao et al. (2008) พบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ส่งผลให้เกิดการยุบตัวเพิ่มขึ้นจากร้อยละ

4.5 เป็นร้อยละ 7.5 และยังมีงานวิจัยที่เปรียบเทียบความถี่ของการหมนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่หลุมฝังกลบ เพื่อเร่งการย่อยตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบเช่นกัน อย่างไรก็ตามปฏิกิริยาการย่อยสลายภายในหลุมฝังกลบยังคงเป็นแบบไร้อากาศ ทำให้เร่งการย่อยสลายได้น้อยกว่าการอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบโดยตรง (Bilgili et al. 2007)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์การอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบโดยตรงและการหมนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับเข้าสู่หลุมฝังกลบเข้าด้วยกัน ด้วยการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมนเวียน แทนการอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบโดยตรง โดยศึกษาผลของความถี่ของการหมนเวียนน้ำชะมูลฝอยและผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมนเวียนต่อการย่อยตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ เพื่อหาแนวทางเพิ่มการย่อยตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ และนำหลุมฝังกลบที่มีอยู่เดิมกลับมาใช้งานได้อีกครั้งได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

1.2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.2.1. มูลฝอย

“มูลฝอย” หมายความว่า เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัตถุ ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร เถ้า มูลสัตว์ ซากสัตว์ หรือสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น และหมายความรวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษหรืออันตรายจากชุมชน (พระราชบัญญัติ การสาธารณสุข (ฉบับที่2) 2550) โดยปริมาณมูลฝอยตลอดทั้งปีเฉลี่ยต่อวันปี 2559 เท่ากับ 74,130 ตันต่อวันเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับปีที่ผ่านมา โดยกรุงเทพมหานครมีปริมาณมูลฝอยเฉลี่ยประมาณ 11,861 ตันต่อวัน เขตเทศบาลและเมืองพัทยาประมาณ 30,393 ตันต่อวัน และองค์การบริหารส่วนตำบลประมาณ 31,876 ตันต่อวัน ปริมาณมูลฝอยเหล่านี้วันจะเพิ่มมากขึ้น และเป็นภาระหนักของผู้รับผิดชอบ (กรมควบคุมมลพิษ 2560)

1.2.2. การจัดการมูลฝอย

การกำจัดมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีหลายรูปแบบ แต่ละรูปแบบมีข้อดี - ข้อด้อย และการดำเนินการที่แตกต่างกันไป การกำจัดมูลฝอยที่เหมาะสมกับท้องถิ่นหนึ่ง อาจไม่เหมาะสมกับอีกท้องถิ่นหนึ่งก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพทางเศรษฐกิจสังคม ความพร้อมด้านองค์กรและบุคลากร ตลอดจนสภาพของพื้นที่ โดยเทคโนโลยีในการกำจัดมูลฝอยในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 3 ระบบใหญ่ ๆ คือ ระบบหมักทำปุ๋ย ระบบการเผาในเตาเผา และระบบฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล (กรมควบคุมมลพิษ 2560)

1.) ระบบหมักทำปุ๋ย (Composting)

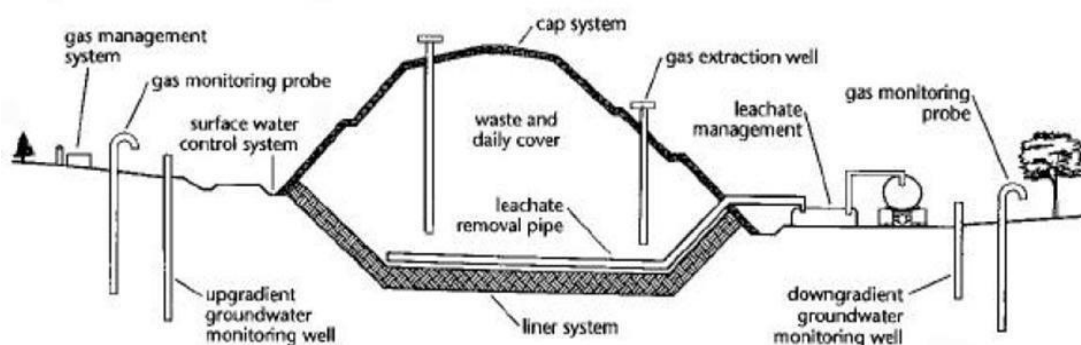
ระบบหมักทำปุ๋ย มีข้อดี คือ เป็นการลดปริมาณมูลฝอยให้เข้าสู่หลุมฝังกลบน้อยลง (เหลือเฉพาะมูลฝอยที่ไม่สามารถย่อยสลายได้) ได้ปุ๋ยเพื่อเป็นธาตุอาหารสำหรับพืช แต่ข้อด้อย คือ จำเป็นต้องคัดแยกมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ออกจากมูลฝอยทั้งหมด และการหมักปุ๋ยใช้ระยะเวลานาน และขั้นตอนของการหมักปุ๋ย คือ คัดแยกมูลฝอยส่วนที่ไม่อาจย่อยสลายโดยธรรมชาติออก เช่น โลหะ พลาสติก กระเบื้อง แก้ว ฯลฯ จากนั้นนำมูลฝอยที่เหลือไปหมักในที่ที่มีอากาศถ่ายเทได้ดี ซึ่งเป็นการสร้างสภาวะที่เหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ในกลุ่มใช้อากาศในการหายใจ ย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นแร่ธาตุที่มีลักษณะค่อนข้างคงรูป มีสีดำค่อนข้างแห้ง สามารถใช้เป็นแหล่งอาหารสำหรับต้นไม้ เมื่อผ่านมาตรฐานปุ๋ยหมัก หรืออาจใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้

2.) ระบบการเผาด้วยเตาเผา (Incineration)

ระบบการเผาด้วยเตาเผา มีข้อดี คือ เป็นการกำจัดมูลฝอยได้รวดเร็ว สามารถลดปริมาณมูลฝอยได้เกือบทั้งหมด (เหลือกากและขี้เถ้าจำนวนน้อย) สามารถนำความร้อนจากการเผาไปใช้ประโยชน์ได้ แต่มีข้อด้อย คือ ค่าการก่อสร้างเตาเผาสูง และค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบควบคุมมลพิษที่ระบายปล่อยออกจากระบบค่อนข้างแพง และขั้นตอนของการกำจัดมูลฝอยโดยใช้เตาเผา คือ คัดแยกมูลฝอยที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้ออกจากมูลฝอยทั้งหมด เช่น โลหะ แก้ว กระเบื้อง เป็นต้น จากนั้นนำมูลฝอยเข้าสู่เตาเผา ในกรณีที่มีมูลฝอยมีความชื้นสูง ควรลดความชื้นของมูลฝอยก่อนการกำจัดด้วยการเผา เนื่องจากความชื้นอาจทำให้อุณหภูมิภายในเตาเผาลดต่ำลง

3.) ระบบฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)

ระบบฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล มีข้อดี คือ เป็นการกำจัดมูลฝอยที่ง่าย การจัดการสะดวก แต่มีข้อด้อย คือ ใช้พื้นที่จำนวนมาก ใช้ระยะเวลานาน พื้นที่ที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่เพียงพอต่อมูลฝอยที่เกิดขึ้น และขั้นตอนการฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล คือ เทกองมูลฝอยในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้โดยเฉพาะ ซึ่งจะมีการวางระบบต่าง ๆ เพื่อใช้จัดการมูลฝอย แล้วใช้เครื่องจักรกลเกลี่ยและบดอัดให้ยุบตัวลง หลังจากนั้นใช้ดินกลบทับและบดอัดให้แน่นอีกครั้ง เป็นลักษณะนี้จนเต็มพื้นที่ฝังกลบ เพื่อป้องกันปัญหาในด้านกลิ่น แมลง สัตว์พาหะ น้ำฝนไหลผ่านชั้นมูลฝอย และเหตุรำคาญอื่น ๆ โดยองค์ประกอบของหลุมฝังกลบอย่างถูกสุขาภิบาล ดังแสดงในรูปที่ 1.1

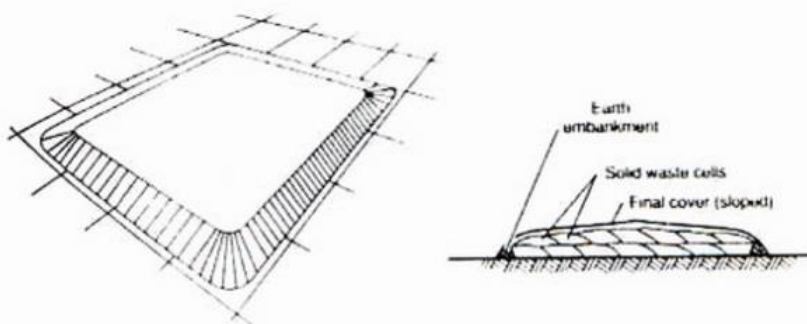


รูปที่ 1.1 หลุมฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกสุขาภิบาล (Sanitary Landfill)
ที่มา : UNEP (2002)

สารอินทรีย์ที่มีอยู่ในมูลฝอยจะถูกย่อยสลายตามธรรมชาติโดยจุลินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกาศ (Anaerobic Decomposition) ทำให้มูลฝอยยวบตัว เกิดก๊าซมีเทน และน้ำเสียขึ้นในชั้นของมูลฝอย (น้ำชะมูลฝอย) นอกจากนี้การดำเนินการฝังกลบมูลฝอยจะต้องมีมาตรการในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น การระบายก๊าซออกจากบริเวณฝังกลบ และการติดตามการรั่วซึมของน้ำชะมูลฝอยออกนอกพื้นที่ ซึ่งพื้นที่ที่จะใช้ในการฝังกลบนี้จะต้องมีการศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียดโครงสร้างทางวิศวกรรมที่เหมาะสม และอาจจะใช้พื้นที่ที่ไม่ได้ใช้ประโยชน์ที่มีขนาดกว้างใหญ่เพียงพอและอยู่ห่างไกลจากชุมชน อาทิ พื้นที่ป่าเสื่อมโทรมหรือเป็นพื้นที่ด้อยคุณค่าทางการเกษตร ชุมเหมืองแร่เก่า เป็นต้น และวิธีการฝังกลบมูลฝอย แบ่งตามพื้นที่และวิธีการฝังกลบ ได้ดังนี้

3.1.) วิธีฝังกลบพื้นที่ราบ (Area Method)

เป็นวิธีที่เริ่มจากระดับดินเดิม โดยไม่มีการทำการขุดดิน ทำการบดอัดมูลฝอยตามแนวราบก่อน แล้วค่อยบดอัดทับในชั้นถัดไปสูงเรื่อยๆ จนได้ระดับตามที่กำหนด การฝังกลบมูลฝอยโดยวิธีนี้ จำเป็นต้องทำคันดิน (Embankment or Berm) ตามแนวขอบพื้นที่ เพื่อทำหน้าที่เป็นผนังหรือขอบรับการบดอัดมูลฝอย และทำหน้าที่ป้องกันน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากการย่อยสลายของมูลฝอยไม่ให้ซึมออกด้านนอก ดังแสดงในรูปที่ 1.2



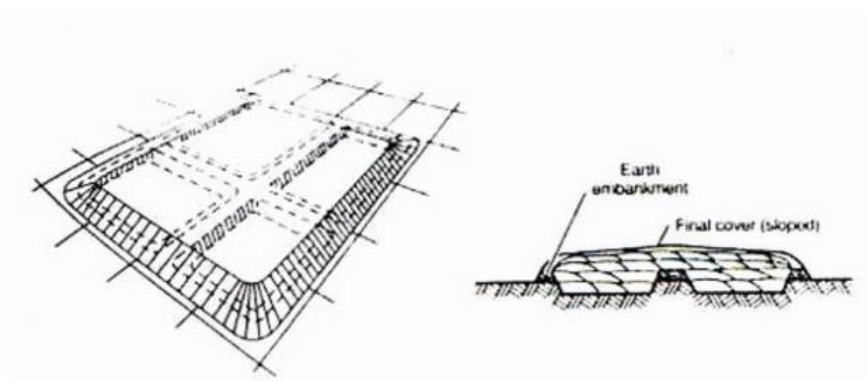
รูปที่ 1.2 วิธีฝังกลบพื้นที่ราบ (Area Method)

ที่มา : Tchobanoglous et al. (1993)

ลักษณะของพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้วิธีนี้ คือ ที่ราบลุ่มหรือพื้นที่ที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าผิวดินเล็กน้อย (ไม่เกิน 1 เมตร) ซึ่งไม่สามารถขุดดินเพื่อกำจัดด้วยวิธีฝังกลบแบบขุดร่องได้ เพราะอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำเสียจากมูลฝอยลงสู่ น้ำใต้ดินได้ง่าย การกำจัดด้วยวิธีนี้ จำเป็นต้องหาดินจากที่อื่นเพื่อมาทำคันดิน ทำให้เสียค่าใช้จ่ายให้การดำเนินการสูง

3.2.) วิธีฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method)

เป็นวิธีฝังกลบที่เริ่มจากระดับที่ต่ำกว่าระดับดินเดิม โดยทำการขุดดินลึกลงไปได้ระดับตามที่กำหนด แล้วจึงเริ่มบดอัดมูลฝอยให้เป็นชั้นบาง ๆ ทับกันหนาขึ้นเรื่อย ๆ จนได้ระดับตามที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 1.3



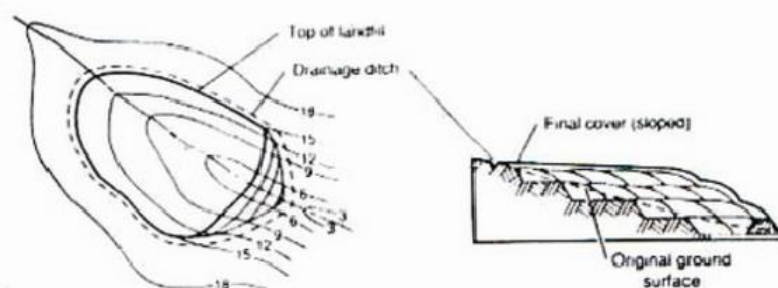
รูปที่ 1.3 วิธีฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method)

ที่มา : Tchobanoglous et al. (1993)

โดยทั่วไปความลึกของการขุดร่อง จะถูกกำหนดด้วยระดับดิน อย่างน้อยระดับกับร่องหรือพื้นล่างควรอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 1 เมตร โดยยึดระดับน้ำในฤดูฝนเป็นเกณฑ์ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนต่อน้ำใต้ดิน การฝังกลบแบบขุดร่องไม่จำเป็นต้องทำคันดิน เพราะสามารถใช้ผนังของร่องขุดเป็นกำแพงยับยั้งมูลฝอยที่จะบดอัดได้ ทำให้ไม่ต้องขนดินมาจากพื้นที่อื่น และยังสามารถใช้ดินที่ขุดออกมาแล้วนั้นกลับมาใช้กลบทับมูลฝอยได้

3.3.) วิธีฝังกลบแบบหุบเขา (Canyon Method)

เป็นวิธีฝังกลบบนพื้นที่ที่ลักษณะเป็นแอ่งขนาดใหญ่ ซึ่งอาจเกิดขึ้นตามธรรมชาติ หรืออาจเกิดจากการขุด เช่น หุบเขา ห้วยบ่อ เหมือน ฯลฯ วิธีการในการฝังกลบและอัดมูลฝอยในบ่อแต่ละแห่งอาจแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศของพื้นที่นั้น ๆ เช่น ถ้าพื้นที่ของบ่อมีสภาพค่อนข้างราบ อาจใช้วิธีการฝังกลบแบบขุดร่องหรือแบบที่ราบ แล้วแต่กรณีดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 วิธีฝังกลบแบบหุบเขา (Canyon Method)
ที่มา : Tchobanoglous et al. (1993)

1.2.3. น้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอย หรือ น้ำเสียจากกองมูลฝอย (กรมควบคุมมลพิษ 2557) หมายถึงของเหลวใด ๆ เช่น น้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน หรือน้ำที่ไหลซึมจากผิวดิน ซึ่งไหลผ่านชั้นมูลฝอยและชะละลายเอาสารต่าง ๆ จากมูลฝอยไหลออกจากบริเวณฝังกลบ ทั้งจากผิวน้ำหลุมฝังกลบและซึมผ่านชั้นฝังกลบ ซึ่งส่งผลให้ลักษณะน้ำชะมูลฝอยที่เกิดจากบริเวณฝังกลบมูลฝอย มีความเข้มข้นของสารต่าง ๆ อยู่สูง โดยมีทั้งที่อยู่ในรูปสารละลาย สารแขวนลอย หรือผลิตภัณฑ์จากการย่อยสลายมูลฝอยด้วยจุลินทรีย์ ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 คุณลักษณะน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบแบ่งตามอายุ

พารามิเตอร์	อายุหลุมฝังกลบ		
	น้อยกว่า 5 ปี	5 – 10 ปี	มากกว่า 10 ปี
pH	<6.5	6.5 – 7.5	>7.5
BOD/COD	0.5 – 1	0.1 – 0.5	<0.1
COD (mg/L)	>10,000	4,000 – 10,000	<4,000
NH ₃ -N (mg/L)	<400	-	>400
DO* (mg/L)	0.49	-	-
โลหะหนัก	ต่ำ-ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำ
การย่อยสลายทางชีวภาพ	สูง	ปานกลาง	ต่ำ

ที่มา : Ahmed and Lan (2012); * Mahmud et al. (2012)

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณน้ำชะมูลฝอย มี 3 ปัจจัยสำคัญ ได้แก่

1.) ธรรมชาติ

ปัจจัยทางธรรมชาติ เช่น ปริมาณน้ำฝนหรือน้ำไหลล้นบนผิวดิน ซึ่งตกลงบนบริเวณพื้นที่ฝังกลบหรือบริเวณใกล้เคียง ที่สามารถไหลเข้าสู่หลุมฝังกลบได้ และระดับน้ำใต้ดิน ถ้าพื้นที่ฝังกลบอยู่ต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีปริมาณมาก เนื่องจากน้ำใต้ดินอาจไหลเข้ามาในหลุมฝังกลบทำให้เกิดเป็นน้ำชะมูลฝอย

2.) ลักษณะของวัสดุปกคลุมมูลฝอย

ลักษณะของวัสดุปกคลุมมูลฝอย เช่น ลักษณะของดินที่ปิดทับชั้นมูลฝอย ขนาดอนุภาคของดิน ชนิดของดิน ความชื้นของดิน และความสามารถในการซึมผ่านของดิน เนื่องจากในกรณีวัสดุปกคลุมมูลฝอยมีขนาดใหญ่ มีความสามารถในการซึมผ่านสูง เมื่อเกิดฝนตกหรือน้ำไหลล้นก็จะทำให้น้ำนั้นไหลซึมลงไปชั้นมูลฝอย เกิดเป็นน้ำชะมูลฝอย รวมถึงพีชคลุมดิน เนื่องจากถ้าพีชปกคลุมดินมีรากยาวหรือมีรากฝอยจำนวนมาก จะทำให้ดินมีความร่วนซุย มีผลต่อการเกิดเป็นน้ำชะมูลฝอยเช่นกัน

3.) ประเภทของมูลฝอยที่นำมาฝังกลบ

ประเภทของมูลฝอยที่นำมาฝังกลบ เช่น มีมูลฝอยอินทรีย์ (เศษอาหาร พืชผัก และผลไม้) ในปริมาณมาก มีผลทำให้เกิดเป็นน้ำชะมูลฝอยเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมูลฝอยอินทรีย์มีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อถูกย่อยสลายจะได้น้ำเป็นผลิตภัณฑ์ มากกว่ามูลฝอยประเภท กระดาษ เศษแก้ว โลหะ

1.2.4. การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย

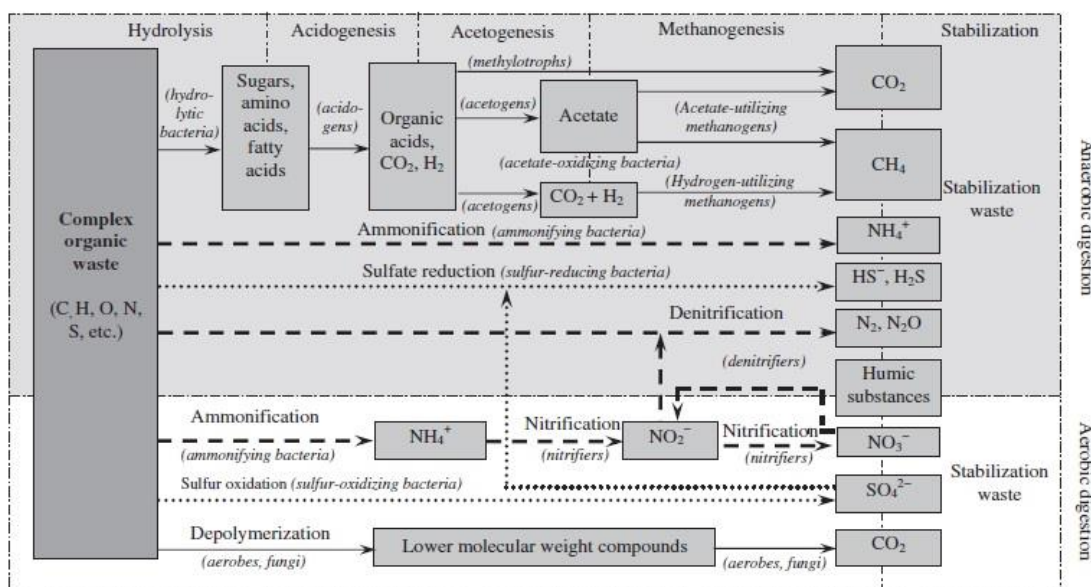
มูลฝอยที่นำมากำจัดภายในหลุมฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาลจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งทางด้านชีวภาพ เคมี และกายภาพ

1.) ปฏิกริยาทางชีวภาพและเคมี

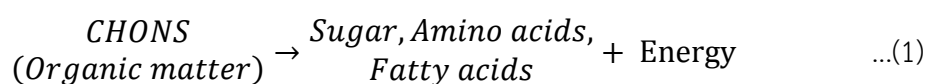
โดยที่ปฏิกริยาทางชีวภาพและเคมีจะเกิดขึ้นสัมพันธ์กัน และสามารถจำแนกปฏิกริยาการย่อยสลายได้ 4 ปฏิกริยา (Metcalf and Eddy 2004; Sang et al. 2012) ดังนี้

1.1.) ปฏิกริยา Hydrolysis

ปฏิกริยา Hydrolysis เป็นการย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดใหญ่ให้มีขนาดเล็กลง ดังแสดงในรูปที่ 1.5 โดย Hydrolytic bacteria ย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การย่อยสลายจะได้ผลิตภัณฑ์ คือ น้ำตาล กรดอะมิโน กรดไขมัน และพลังงาน (ความร้อน) ดังแสดงในสมการที่ 1

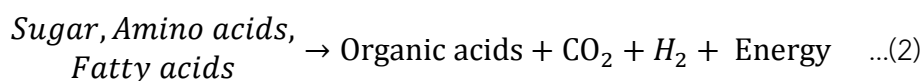


รูปที่ 1.5 การย่อยสลายสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ แบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ
ที่มา : Sang et al. (2012)



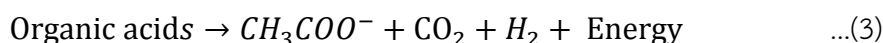
1.2.) ปฏิกริยา Acidogenesis

ปฏิกริยา Acidogenesis เกิดโดย Acidogens ย่อยสลายสารอินทรีย์ขนาดเล็กให้กลายเป็น กรดอินทรีย์ (Organic acid) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และพลังงาน (ความร้อน) ดังแสดงในสมการที่ 2



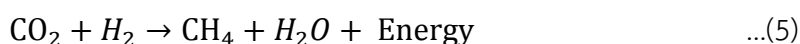
1.3.) ปฏิกริยา Acetogenesis

ปฏิกริยา Acetogenesis เกิดโดย Acetogens ย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้กลายเป็น แอซีเทต (CH_3COO^-) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และพลังงาน (ความร้อน) ดังแสดงในสมการที่ 3



1.4.) ปฏิกริยา Methanogenesis

ปฏิกริยา Methanogenesis เกิดโดย Acetate-utilizing methanogens ย่อยสลายแอซีเทต (CH_3COO^-) ให้กลายเป็นมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และพลังงาน (ความร้อน) ดังแสดงในสมการที่ 4 และเกิดจาก Hydrogen-utilizing methanogens ใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) สร้างมีเทน (CH_4) น้ำ (H_2O) และพลังงาน (ความร้อน) ดังแสดงในสมการที่ 5



2.) ปฏิกริยาทางกายภาพ

ปฏิกริยาทางกายภาพ เป็นปฏิกริยาที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภายในชั้นมูลฝอย ซึ่งอาจเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการยุบตัวในชั้นของมูลฝอย หรืออาจเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้ น้ำ เป็นผลิตภัณฑ์ น้ำที่เกิดขึ้นทำให้มูลฝอยมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิด

การก่อกำเนิดของชั้นมูลฝอย จึงเกิดการยุบตัวของมูลฝอยในหลุมฝังกลบ รวมไปถึงการแพร่ของก๊าซที่เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ออกสู่บรรยากาศ (Sang et al. 2012)

1.2.5. ปัจจัยที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์แบบใช้ออกซิเจนในการหายใจ

1.) ปริมาณสารอาหาร

สารอาหารจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบ โดยปริมาณสารอาหารเข้าระบบต้องมีปริมาณคาร์บอน : ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส เท่ากับ 100 : 5 : 1 (สุบัญญัติ นิมรัตน์ 2548)

2.) ค่าออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen : DO)

ค่าออกซิเจนละลาย (DO) เป็นปัจจัยที่สำคัญในการดำรงชีวิตอยู่ของจุลินทรีย์ในกลุ่มใช้ออกซิเจนในการหายใจ ควรมีค่ามากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และที่ค่า DO มากกว่า 0.50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปฏิกริยาการย่อยสลายจะเกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย (Metcalf and Eddy 2004)

3.) pH

ค่า pH ที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในระบบแบบใช้อากาศควรอยู่ในช่วง 6.0 – 8.0

4.) อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ จุลินทรีย์ในกลุ่มใช้ออกซิเจนในการหายใจจะเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25 – 50 องศาเซลเซียส โดยทั่วไปแล้ว ปฏิกริยาออกซิเดชันจะเกิดได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และถ้าอุณหภูมิลดลงมักจะทำให้ปฏิกริยาลดลง (สุบัญญัติ นิมรัตน์ 2548)

1.3. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Tittlebaum (1982) ศึกษาผลของการย่อยมูลฝอยรวมกับการหมักเวียมน้ำชะมูลฝอยต่ออัตราการย่อยสลายมูลฝอย โดยศึกษาค่าที่เปลี่ยนแปลงไปของค่าพารามิเตอร์ในน้ำชะมูลฝอยจากการหมักในแบบจำลอง โดยทำแบบจำลอง บรรจุมูลฝอยให้มีความหนาแน่น 237.5 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยควบคุม pH ให้มีค่า 7 โดยทำการทดลองในกรณีต่างกัน คือ กรณีย่อยมูลฝอย และกรณีไม่ย่อยมูลฝอย จากการศึกษาเป็นระยะเวลา 514 วัน พบว่าการย่อยมูลฝอยรวมกับการ

หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย มีผลในการเร่งอัตราการย่อยสลายมูลฝอย และค่า VFA BOD₅ COD และ TOC ก็มีค่าลดต่ำกว่าแบบไม่ย่อยมูลฝอยด้วย

อุบลวรรณ นนทพันธุ์ (2543) ศึกษาการลดขนาดมูลฝอยร่วมกับการเติมกากตะกอนน้ำทิ้ง และกำหนดความถี่การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่แตกต่างกัน คือ ถังที่ 1 15 ครั้ง/เดือน ถังที่ 2 8 ครั้ง/เดือน และถังที่ 3 4 ครั้ง/เดือน จากการศึกษาเป็นระยะเวลา 245 วัน พบว่าการลดขนาดมูลฝอยร่วมกับการเติมกากตะกอนน้ำทิ้ง ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 15 ครั้ง/เดือน เกิดก๊าซชีวภาพสูงกว่า 8 ครั้ง/เดือน และ 4 ครั้ง/เดือน เนื่องจากมูลฝอยมีความชื้นสูงและสามารถเข้าสู่ช่วงการสร้างมีเทนได้เร็วกว่า

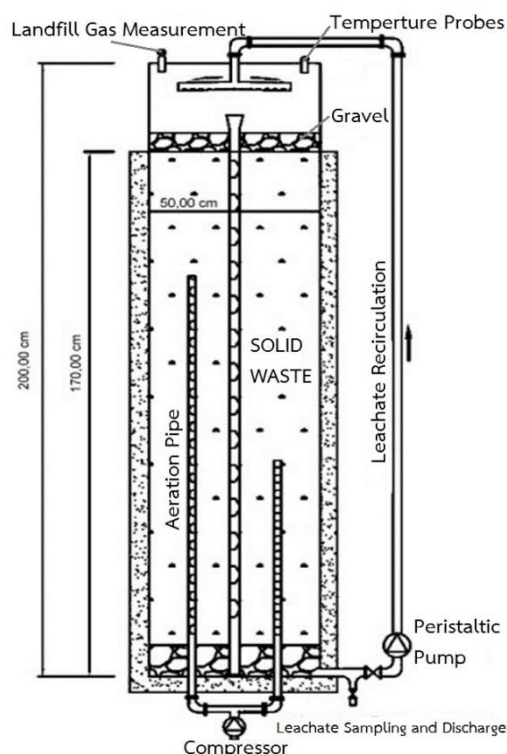
สุพินดา ธุระเจน (2544) ศึกษาพฤติกรรมการย่อยสลาย และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักมูลฝอยที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยและไม่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย โดยสร้างระบบหมักแบบไร้อากาศ ขนาด 125 ลิตร สูง 1 เมตร ทำจากท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 16 นิ้ว หนา 10.3 มิลลิเมตร เป็นการทดลองแบบกะ (Batch) ควบคุมองค์ประกอบตั้งต้นของมูลฝอยเหมือนกัน แบ่งการทดลองเป็น 3 ช่วง ตามอัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่ต่างกัน คือ 10% 20% และ 50% ทำการทดลอง 200 วัน จากการศึกษาพบว่า การหมักมูลฝอยที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ผลิตก๊าซชีวภาพได้ 338.58 ลิตร เป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 57.55 มากกว่าการหมักมูลฝอยที่ไม่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ซึ่งผลิตก๊าซชีวภาพได้เพียง 149.60 ลิตร คิดเป็นก๊าซมีเทนร้อยละ 40.48

San and Onay (2001) ศึกษาผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยในการทำให้มูลฝอยชุมชนเข้าสู่สถานะเสถียร โดยสร้างแบบจำลอง 2 ถัง ควบคุมอุณหภูมิที่ 34 องศาเซลเซียส ถังที่ 1 ไม่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย (ถังควบคุม) ถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย โดยมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของการหมุนเวียนในระยะเวลาต่าง ๆ จากการศึกษาเป็นระยะเวลา 275 วัน พบว่า ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยมีผลทำให้มูลฝอยชุมชนเข้าสู่สถานะเสถียรได้เร็วกว่าถังไม่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

วิวิธटना สุนทรเลิศวิช (2547) ศึกษาผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยามีเทนออกซิเดชัน และการผลิตเอ็กซ์ตร้าเซลลูลาร์โพลีแซคคาไรด์ โดยแบ่งเป็น 2 กรณี คือ การใช้ดินผสมเชื้อ Methanotrophs และการใช้ดินจากแบบจำลองดินกลบชั้นสุดท้าย จากการศึกษาพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้มข้นร้อยละ 20 สามารถเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยามีเทนออกซิเดชัน และสามารถเพิ่มการผลิตเอ็กซ์ตร้าเซลลูลาร์โพลีแซคคาไรด์ได้

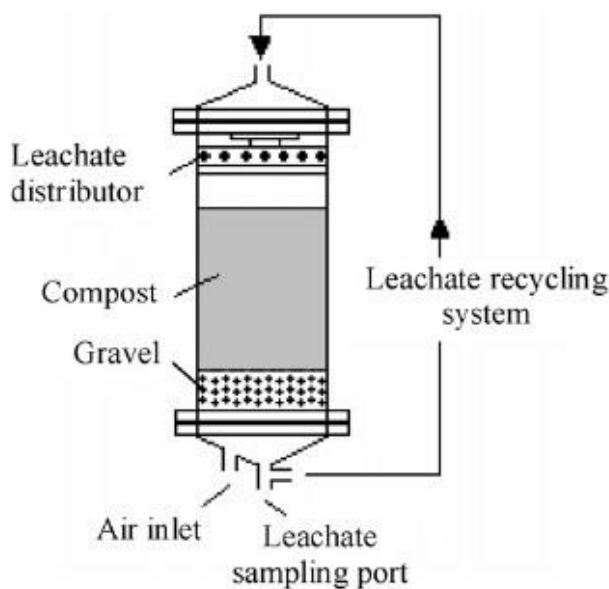
Bilgili et al. (2007) ศึกษาผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนและใช้ออกซิเจนของมูลฝอยชุมชน โดยสร้างแบบจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 1.6 จำนวน 2 ถัง คือ ถังที่ 1 เป็นแบบเติมอากาศ โดยอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบโดยตรง และถังที่ 2 เป็นแบบไม่เติมอากาศ โดยทั้ง 2 ถังมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย จากการศึกษาพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมกับการอัดอากาศเข้าสู่ถัง ส่งผลให้ค่า COD ลดต่ำสุดใช้เวลาน้อยกว่าแบบไม่อัดอากาศ

ประมาณ 120 วัน ดังนั้นการหมุนเวียนน้ำชะร่วมกับอากาศเข้าสู่แบบจำลองสามารถช่วยลดระยะเวลาในการทำให้มูลฝอยเข้าสู่สถานะเสถียรได้



รูปที่ 1.6 ถึงปฏิบัติการในการทดลองของ Bilgili et al. (Bilgili et al. 2007)

Jun et al. (2007) ศึกษาผลกระทบของการเติมอากาศร่วมกับการเติมตะกอนเร่งในระบบหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการลดลงของปริมาณ COD ในน้ำชะมูลฝอย โดยเติมอากาศเข้าสู่แบบจำลองโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 1.7 โดยสร้างแบบจำลอง 3 ถัง และทำการเดินระบบแตกต่างกัน คือ ถังที่ 1 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมกับการเติมอากาศในแบบจำลอง และถังที่ 3 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมกับการเติมอากาศในแบบจำลองและเติมตะกอนเร่ง จากการศึกษพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมกับการเติมอากาศในแบบจำลองและเติมตะกอนเร่ง สามารถลดค่า COD ได้มากกว่าหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมกับการเติมอากาศ และมากกว่าหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเพียงอย่างเดียว คิดเป็นร้อยละ 5.11 และ 18.9 ตามลำดับ ดังนั้นการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมกับการเติมอากาศและเติมตะกอนเร่งทำให้จุลินทรีย์สามารถย่อยสลาย COD ได้ดีขึ้น



รูปที่ 1.7 ถังปฏิกรณ์ในการทดลองของ Jun et al. (Jun et al. 2007)

Erses et al. (2008) เปรียบเทียบการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนของมูลฝอยชุมชนภายในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยสร้างแบบจำลองในการเดินระบบ ลดขนาดมูลฝอยตามองค์ประกอบที่กำหนด และบรรจุมูลฝอยลงแบบจำลองเริ่มทำการเดินระบบ จากการศึกษาพบว่าค่า COD ลดลงประมาณร้อยละ 90 และพบว่าระบบที่ใช้ออกซิเจนสิ้นสุดปฏิกิริยาภายในเวลา 72 วัน ซึ่งเร็วกว่าระบบที่ไม่ใช้ออกซิเจนที่ใช้เวลานานมากถึง 462 วัน แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายของระบบที่เติมอากาศสิ้นสุดเร็วกว่า 390 วัน

Hao et al. (2008) ศึกษาการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการย่อยสลายของมูลฝอยชุมชน โดยสร้างแบบจำลอง 2 ถัง คือ ถังที่ 1 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายใต้สภาวะอิมิตัวด้วยน้ำชะมูลฝอย และถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยแบบไม่อิมิตัวด้วยน้ำชะมูลฝอย โดยมูลฝอยในระบบถูกลดขนาดให้อยู่ในช่วง 2 - 5 เซนติเมตร และบรรจุมูลฝอยให้มีความหนาแน่น 325 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร จากการศึกษาพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายใต้สภาวะอิมิตัวด้วยน้ำชะมูลฝอยทำให้เกิดการย่อยสลายของมูลฝอยภายในแบบจำลองได้ดี และเกิดการยุบตัวได้ดีกว่า และสามารถทำให้มูลฝอยอยู่ในสภาวะคงตัว โดยใช้เวลาเพียง 240 วัน แต่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยแบบไม่อิมิตัวด้วยน้ำชะมูลฝอยใช้เวลา 420 วัน

Sun et al. (2013) ศึกษาการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แบบจำลองร่วมกับการอัดอากาศเข้าสู่แบบจำลองโดยตรงเพื่อเร่งการเข้าสู่สภาวะเสถียรของมูลฝอย โดยสร้างแบบจำลอง 2 ถัง คือ ถังที่ 1 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยโดยไม่อัดอากาศเข้าสู่แบบจำลอง และถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แบบจำลองร่วมกับการอัดอากาศเข้าสู่ระบบโดยตรง จากการศึกษาพบว่า มูลฝอยภายในถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แบบจำลองร่วมกับการอัดอากาศเข้าสู่แบบจำลองโดยตรงเข้าสู่

สภาวะเสถียรได้เร็วกว่าถังที่ หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยโดยไม่อัดอากาศเข้าสู่แบบจำลอง และยังสามารถตรวจพบ ไนไตรต์และไนเตรต ในน้ำชะมูลฝอยด้วย

Wu et al. (2014) ศึกษาผลของการเติมอากาศต่อคุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ โดยสร้างแบบจำลอง 2 ถัง คือ ถังที่ 1 เติมอากาศเข้าสู่ถังปฏิกรณ์โดยตรง และถังที่ 2 ไม่เติมอากาศเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ จากการศึกษาพบว่า การเติมอากาศเข้าสู่ถังปฏิกรณ์โดยตรงมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนได้ดี และการเติมอากาศมากกว่า 1 ลิตรต่อนาที่เข้าสู่แบบจำลอง ทำให้ไม่เกิดปฏิกิริยา Denitrification ทำให้สารประกอบไนโตรเจนภายในถังปฏิกรณ์เกิดการย่อยสลายกลายเป็น ไนไตรต์และไนเตรต จากผลการศึกษาจึงสรุปได้ว่า การเติมอากาศเข้าสู่ถังปฏิกรณ์สามารถช่วยให้น้ำชะมูลฝอยเข้าสู่สภาวะเสถียรได้เร็วกว่า และสามารถเร่งการย่อยสารอินทรีย์คาร์บอนได้

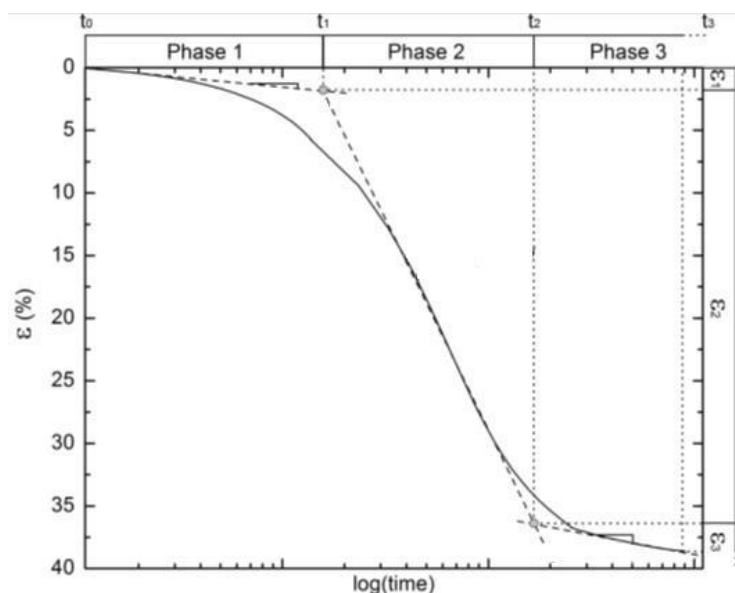
He et al. (2015) ศึกษาการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แบบจำลองเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยสร้างแบบจำลอง 2 ถัง คือ ถังที่ 1 ไม่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย และถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย จากการศึกษาพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากกว่า และพบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ โดยเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็น Acetic acid (CH_3COOH) Propionic acid ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) Butyric acid ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$) และ Valeric acid ($\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_2$) โดยพบความสัมพันธ์ คือ เริ่มต้นมีปริมาณ Propionic acid Butyric acid และ Valeric acid มาก จากนั้นลดต่ำลงจนสิ้นสุดการทดลอง แต่ปริมาณ Acetic acid เริ่มต้นมีอยู่มาก จากนั้นเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการย่อยสลาย Propionic acid Butyric acid และ Valeric acid ให้ให้กลายเป็น Acetic acid และถูกย่อยสลายต่อไปเป็นก๊าซชีวภาพต่อไป จึงสรุปได้ว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยสามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้ดีกว่าการไม่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

Ko et al. (2016) ศึกษาผลกระทบของการอัดตัวและการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แบบจำลองต่ออัตราการเกิดก๊าซชีวภาพ แบ่งเป็น 3 ระยะ คือ 1.ระยะเติมอากาศ 2.ระยะอัดตัว และ 3.ระยะหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย จากผลการศึกษาพบว่า ระยะที่ 1 ที่เติมอากาศไม่เกิดก๊าซชีวภาพ แต่หลังจากหยุดเติมอากาศเข้าสู่แบบจำลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพในแบบจำลองเพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลง จากนั้นจึงอัดมูลฝอยภายในแบบจำลอง เมื่อเกิดการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์ก็เกิดเป็นก๊าซชีวภาพอีกครั้งหนึ่ง โดยพบว่ามีปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นและลดต่ำลง จากนั้นจึงเริ่มหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แบบจำลอง เมื่อหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แบบจำลอง ปริมาณก๊าซชีวภาพภายในแบบจำลองก็เพิ่มสูงขึ้นอีกครั้ง จึงสรุปได้ว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แบบจำลอง เมื่อดำเนินการทดลองไปแล้วระยะหนึ่ง สามารถเพิ่มการสร้างก๊าซชีวภาพภายในแบบจำลองได้

Cossu et al. (2016) ศึกษาการเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้ถังปฏิกรณ์เติมอากาศแบบกึ่งใช้อากาศ โดยสร้างแบบจำลอง 3 ถัง คือ ถังที่ 1 เติมอากาศเข้าสู่แบบจำลองเป็นระยะ ๆ ถังที่ 2 เติมอากาศเข้าสู่แบบจำลองตลอดเวลา และถังที่ 3 ไม่เติมอากาศเข้าสู่แบบจำลอง จากการศึกษาพบว่า การเติมอากาศเป็นระยะ ๆ มีประสิทธิภาพการผลิตก๊าซชีวภาพได้มากที่สุดและ

เร็วที่สุด เนื่องจากสภาวะเป็นแบบกึ่งใช้อากาศ สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในแบบจำลองให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ได้มากและเร็วกว่า เมื่อสภาวะภายในเป็นแบบไร้อากาศ จะเกิดการสร้างก๊าซมีเทนภายในแบบจำลอง

Datta and Eastes (2017) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ จากการศึกษาพบว่า การยุบตัวเกิดขึ้น 3 ระยะ ดังแสดงในรูปที่ 1.8 ระยะที่ 1 ระยะการเปลี่ยนผ่าน คือ การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของมูลฝอย เช่น การเคลื่อนที่ของอนุภาค การอัดตัวของมูลฝอย และการเกิดน้ำชะมูลฝอยทำให้ความชื้นในแบบจำลองเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้จุลินทรีย์เริ่มเจริญเติบโต แต่จำนวนจุลินทรีย์ในช่วงนี้มีอยู่น้อย กิจกรรมการย่อยสลายสารอินทรีย์จึงไม่ได้เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ระยะที่ 2 ระยะการย่อยสลาย คือ การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ภายในแบบจำลองย่อยสลายสารอินทรีย์อย่างรวดเร็ว ทำให้มูลฝอยเกิดการยุบตัวอย่างรวดเร็ว และระยะที่ 3 ระยะตกค้าง คือ การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ โดยจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่ในแบบจำลอง ทำให้เกิดการยุบตัวอีกเล็กน้อย



รูปที่ 1.8 เส้นโค้งการยุบตัวที่เกิดภายในชั้นมูลฝอย 3 ระยะ (Datta and Eastes 2017)

Zhang et al. (2017) ศึกษาผลกระทบของการเติมอากาศและการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการปลดปล่อยมลพิษจากหลุมฝังกลบ โดยสร้างแบบจำลอง 2 ถึง คือ ถึงที่ 1 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายใต้สภาวะไร้อากาศ ถึงที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายใต้สภาวะกึ่งใช้อากาศ จากการศึกษาพบว่า การปลดปล่อยมลพิษจากหลุมฝังกลบขึ้นอยู่กับปริมาณ VFA และ COD ของน้ำชะ

มูลฝอยในแบบจำลอง โดยพบว่า ถังที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายใต้สภาวะกึ่งไร้อากาศสามารถกำจัด VFA และ COD ได้มากกว่าและเร็วกว่าถังที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายใต้สภาวะไร้อากาศ

จากการทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มการยวบตัวของมูลฝอยและการเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลาย พบว่ามีการศึกษาเกี่ยวกับการปิดทับหน้าชั้นมูลฝอยด้วยดิน การย่อยและไม่ย่อยมูลฝอย ความถี่ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย การอัดอากาศเข้าสู่ถังปฏิกรณ์โดยตรง และการอัดอากาศเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ร่วมกับการเติมตะกอนเร่งในแบบจำลอง เพื่อเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ และเพื่อใช้บำบัดคุณภาพน้ำชะมูลฝอย อย่างไรก็ตาม ไม่มีงานวิจัยที่ศึกษาการเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนในการเพิ่มการยวบตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำประเด็นนี้มาเป็นวัตถุประสงค์ของงานวิจัย เพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มการยวบตัวของมูลฝอย

1.4. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.) เพื่อศึกษาผลของความถี่ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ
- 2.) เพื่อศึกษาผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบเก่า และหลุมฝังกลบใหม่

1.5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.) การยวบตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบเพิ่มขึ้น
- 2.) ความสกปรกของน้ำชะมูลฝอยลดลง

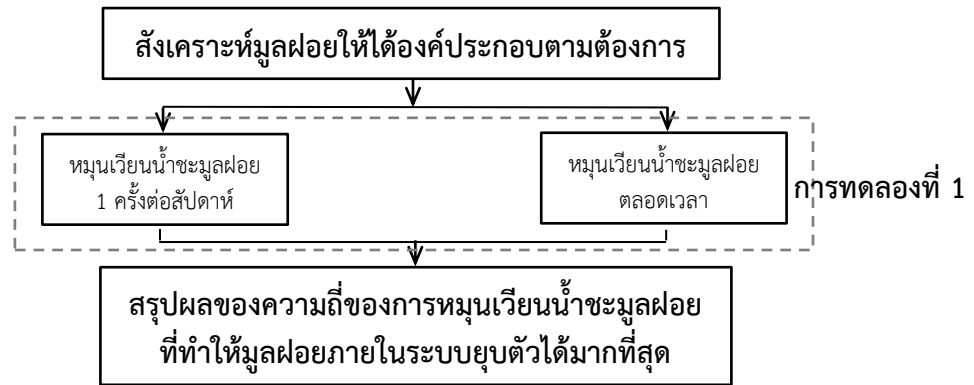
1.6. ขอบเขตการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) ของสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่

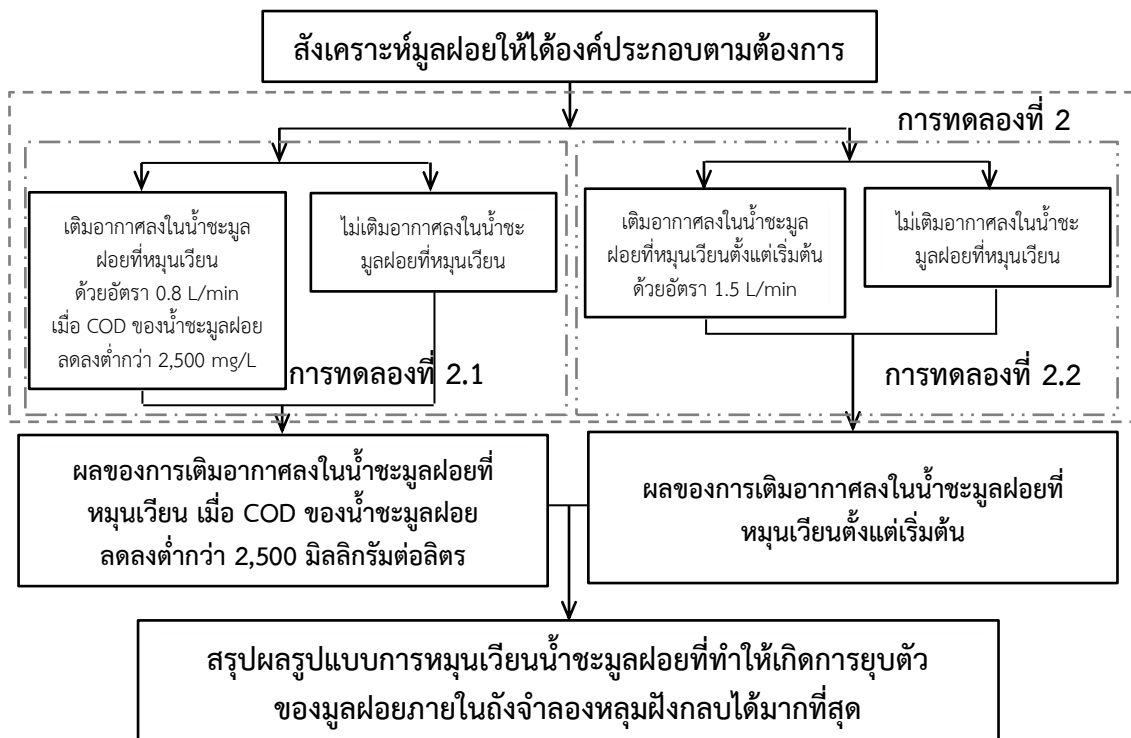
บทที่ 2

วิธีดำเนินการวิจัย

บทนี้เสนอวิธีการศึกษารูปแบบการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ ซึ่งได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการของสาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยได้แบ่งการศึกษาเป็น 2 การทดลอง ดังนี้ คือ การทดลองที่ 1 เปรียบเทียบผลของความถี่ของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ ระหว่าง การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อเนื่องตลอดเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และการทดลองที่ 2 เปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ เมื่อเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยในรูปค่า COD ลดลงต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเป็นตัวแทนของหลุมฝังกลบเก่า และกรณีที่ 2 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อเป็นตัวแทนของหลุมฝังกลบใหม่ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนการทดลองทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนการทดลองเปรียบเทียบผลของควมถี่ของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย



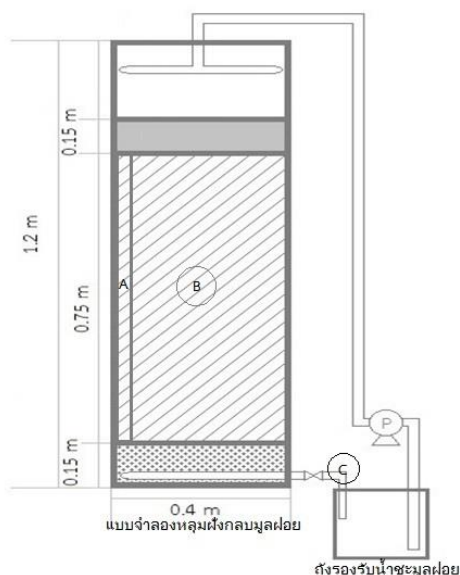
รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการทดลองเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน

2.1. การศึกษาการเปรียบเทียบผลของควมถึในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

การเปรียบเทียบผลของควมถึในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ ระหว่าง การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อเนื่องตลอดเวลา มีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

2.1.1. ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย

สร้างถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยทำเป็นถังทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัสทรงสูง ด้วยอะคริลิกใสหนา 10 มิลลิเมตร ขนาด 0.4 x 0.4 x 1.2 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงจุดวัดความสูงของชั้นมูลฝอย จุดวัดอุณหภูมิภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย และจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในสัญลักษณ์ A B และ C ตามลำดับ



รูปที่ 2.3 การออกแบบถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ในการทดลองที่ 1

(A : จุดวัดความสูงของชั้นมูลฝอย, B : จุดวัดอุณหภูมิภายในถังจำลอง

และ C : จุดเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย

■ : ดินปิดทับหน้ามูลฝอยสูง 15 cm., □ : มูลฝอยชุ่มชื้นสูง 75 cm. และ ▨ กรวดสูง 15 cm.)

ซึ่งมีระบบระบายน้ำชะมูลฝอยออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เป็นวาล์วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ของการทดลองที่ 1

และมีระบบรวบรวมน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เป็นถังทรงกระบอกไม่มีฝาปิด ความจุประมาณ 45 ลิตร ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ถังรองรับน้ำชะมูลฝอย

และมีระบบหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ปั๊ม peristaltic ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และสายยางซิลิโคนยาว 2.5 เมตร และมีระบบกระจายน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน โดยใช้ท่อ pvc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร โดยเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร จำนวน 20 รู ในการกระจายน้ำชะมูลฝอย เป็น 2 ทาง เหนือชั้นดินด้านบน ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.6 ปั๊มที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

2.1.2. มูลฝอยที่ใช้ในการศึกษา

ในการศึกษานี้ใช้มูลฝอยที่สังเคราะห์ขึ้น ให้มีองค์ประกอบตามลักษณะมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งประกอบด้วย มูลฝอยอินทรีย์ร้อยละ 48 กระดาษร้อยละ 6 พลาสติกร้อยละ 15 แก้วร้อยละ 8 โลหะร้อยละ 1 และอื่น ๆ ร้อยละ 22 (ยาง หนัง หรือเศษผ้า) (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16, 2559) โดยความหนาแน่นมูลฝอยที่บรรจุลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเท่ากับ 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจากปริมาตรของถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยที่ออกแบบ ต้องใช้มูลฝอยทั้งสิ้น 48 กิโลกรัม แบ่งเป็นมูลฝอยอินทรีย์ 23 กิโลกรัม กระดาษ 2.9 กิโลกรัม พลาสติก 7.2 กิโลกรัม แก้ว 3.8 กิโลกรัม โลหะ 0.5 กิโลกรัม และอื่น ๆ 10.6 กิโลกรัม โดยมูลฝอยอินทรีย์หรือเศษอาหาร กระดาษและพลาสติกเป็นมูลฝอยที่เกิดขึ้นบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ส่วนแก้ว โลหะ และอื่น ๆ เป็นมูลฝอยจากหอพักบุคลากร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เมื่อเตรียมมูลฝอยให้ได้องค์ประกอบตามต้องการแล้ว ทำการผสมมูลฝอยแต่ละประเภทให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงสุ่มมูลฝอยแต่ละประเภท เพื่อนำไปวิเคราะห์

ค่าความชื้น (Moisture Content) เพื่อให้ทราบถึงปริมาณน้ำในมูลฝอยที่จะเกิดขึ้นในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย และปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solid) เพื่อให้ทราบถึงความสามารถในการย่อยสลายของมูลฝอย ก่อนการบรรจุลงถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย รายละเอียดวิธีวิเคราะห์แต่ละพารามิเตอร์ ดังแสดงในภาคผนวก ก จากนั้นทำการคลุกเคล้ามูลฝอยทั้งหมดให้เข้ากัน โดยมูลฝอยทั้งหมดไม่มีการตัดย่อย/ลดขนาด ดังแสดงในรูปที่ 2.7 และรูปที่ 2.8 และบรรจุมูลฝอยทั้งหมดลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย



รูปที่ 2.7 การตัดแยกมูลฝอย



รูปที่ 2.8 การคลุกเคล้ามูลฝอย

2.1.3. การดำเนินการทดลอง

1.) เริ่มต้นใส่กรวดให้มีความสูงประมาณ 0.15 เมตร เพื่อใช้เป็นชั้นกรองมูลฝอยและรวบรวมน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นด้านล่างถึงจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย

2.) คลุกเคล้ามูลฝอยตามองค์ประกอบที่ต้องการให้เข้ากัน ดังนี้ มูลฝอยอินทรีย์ 23 กิโลกรัม กระจก 2.9 กิโลกรัม พลาสติก 7.2 กิโลกรัม แก้ว 3.8 กิโลกรัม โลหะ 0.5 กิโลกรัม และอื่น ๆ 10.6 กิโลกรัม

3.) บรรจุมูลฝอยลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยให้ชั้นมูลฝอยมีความสูง 0.75 เมตร (ความหนาแน่น 400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

4.) ปิดทับด้านบนด้วยดินหนา 0.15 เมตร เพื่อป้องกันแมลงและสัตว์รบกวนการเกิดปฏิกิริยาในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย

5.) ทำขั้นตอนที่ 1 – 4 อีกครั้งในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยถึงที่ 2

6.) เติมน้ำประปาปริมาตร 30 ลิตร ลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยทันที ให้ท่วมชั้นมูลฝอยทั้ง 2 ถัง จากนั้นทิ้งไว้ 5 วัน เพื่อให้เกิดเป็นน้ำชะมูลฝอย จากนั้นเปิดวาล์วระบายน้ำชะมูลฝอยทั้งหมดออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยทั้ง 2 ถัง

7.) เปรียบเทียบการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยโดย ถังที่ 1 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา

7.1.) สำหรับถังที่ 1 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ทำการเติมน้ำชะมูลฝอยปริมาตร 30 ลิตร ที่เกิดขึ้นเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยให้ท่วมชั้นมูลฝอย และทิ้งไว้ในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเป็นเวลา 7 วัน จากนั้นเปิดวาล์วให้น้ำชะมูลฝอยทั้งหมดออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยไปเก็บไว้ที่ ถังรองรับน้ำชะมูลฝอย โดยเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยบริเวณปลายท่อน้ำออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยไปวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 จากนั้นจึงเติมน้ำชะมูลฝอยจากถังรองรับน้ำชะมูลฝอยกลับเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยควบคุมให้น้ำชะมูลฝอยท่วมเฉพาะชั้นของมูลฝอย และทำขั้นตอนนี้ซ้ำทุก ๆ 7 วัน

7.2.) สำหรับถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา ทำการเติมน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยโดยควบคุมให้ท่วมชั้นมูลฝอยตลอดการทดลอง จากนั้นจึงเปิดวาล์วน้ำออกด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 150 – 180 มิลลิลิตรต่อนาทีตลอดเวลา ลงในถังรองรับน้ำชะมูลฝอย และใช้ปั๊ม peristaltic หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจากถังรองรับน้ำชะมูลฝอยกลับเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยตลอดเวลา ด้วยอัตราการไหลเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเท่ากับที่ 150 – 180 มิลลิลิตรต่อนาที (Bilgili et al. 2007) โดยเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยบริเวณปลายท่อน้ำออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เพื่อใช้วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ทุก ๆ 7 วัน

8.) วัดอุณหภูมิที่จุดกึ่งกลางของชั้นมูลฝอยทุกวันทั้ง 2 ถัง โดยสอด Probe ของ Thermometer เข้าไปในชั้นมูลฝอย

9.) วัดความสูงของมูลฝอยทุก ๆ 10 วัน ทั้ง 2 ถัง ด้วยตลับเมตร ที่ตำแหน่งขอบถังจำลองหลุมฝังกลบเพียงด้านเดียว

10.) ดำเนินการทดลองจนกระทั่งอุณหภูมิภายในถังจำลองหลุมฝังกลบทั้ง 2 ถึง ลดกลับลงมาสู่อุณหภูมิห้อง จากนั้นจึงเปรียบเทียบการยุบตัว และอภิปรายผลที่เกิดขึ้น

11.) ทำการทดลองเพียงครั้งเดียว

ตารางที่ 2.1 พารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย สำหรับการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง* และวิเคราะห์ตัวอย่าง	วิธีการ / เครื่องมือ
COD	ทุก ๆ 7 วัน	Standard method 5220 C. Close Reflux, Titrimetric Method
TKN	ทุก ๆ 7 วัน	Standard method 4500-N _{org} B. Macro-Kjeldahl Method
pH	ทุก ๆ 7 วัน	Standard method 4500-H ⁺ B. Electrometric Method
VFA	ทุก ๆ 7 วัน	Standard method 5560 B. Chromatographic Separation Method for Organic Acids
Alkalinity	ทุก ๆ 7 วัน	Standard method 2320 B. Titration Method
Conductivity	ทุก ๆ 7 วัน	Conductivity instrument 3200 YSI

หมายเหตุ : *เก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยบริเวณปลายท่อน้ำออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย

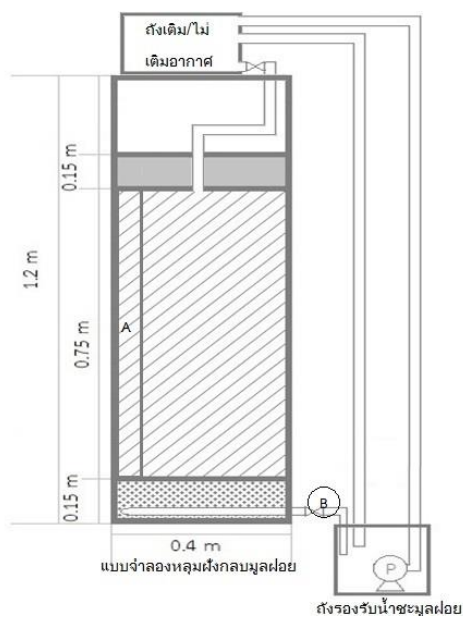
2.2. การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ เมื่อเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียน 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตลอดเวลา เมื่อค่า COD ต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรณีที่ 2 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ มีขั้นตอนการศึกษา ดังนี้

2.2.1. ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย

ใช้ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยของการทดลองที่ 1 โดยเพิ่มถังเติมอากาศไว้ด้านบนของถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ดังแสดงในรูปที่ 2.9 ซึ่งแสดงจุดวัดความสูงของชั้นมูลฝอย และจุดเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในสัญลักษณ์ A และ B ตามลำดับ และมีระบบกระจายน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียน

โดยใช้ท่อ pvc ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยผ่านชั้นดินลงไปยังชั้นมูลฝอย และรูปถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 การออกแบบถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ในการทดลองที่ 2

(A : จุดวัดความสูงของชั้นมูลฝอย และ B : จุดเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย

■ : ดินปิดทับหน้ามูลฝอยสูง 15 cm., □ : มูลฝอยชุมชนสูง 75 cm. และ ▣ กรวดสูง 15 cm.)



รูปที่ 2.10 ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ในการทดลองที่ 2

และมีระบบรวบรวมน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เป็นถังทรงกระบอกไม่มีฝาปิด ความจุประมาณ 100 ลิตร ปริมาตรใช้งานประมาณ 14 ลิตร มีระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ประมาณ 94 นาที ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ถังรองรับน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2

และมีระบบหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ปั๊ม submersible ยี่ห้อ Sonic รุ่น AP 3500 ดังแสดงในรูปที่ 2.12 และสายยางยาว 2.5 เมตร



รูปที่ 2.12 ปั๊มที่ใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2

และใช้ถังเติมอากาศ เป็นถังทรงกระบอกไม่มีฝาปิด ความจุประมาณ 45 ลิตร ปริมาตรใช้งานประมาณ 16 ลิตร มีระยะเวลาที่กักพักคลศาสตร์ประมาณ 106 นาที ดังแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ถังเติมอากาศ

และมีระบบเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย เป็นเครื่องเติมอากาศยี่ห้อ BIG BOY รุ่น BB – 8000 อัตราการเติมอากาศประมาณ 1.5 ลิตรต่อนาที หรือประมาณ 2,160 ลิตรต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และใช้หัวทรายในการเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอย



รูปที่ 2.14 เครื่องเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2

2.2.2. มูลฝอยที่ใช้ในการศึกษา

สังเคราะห์มูลฝอยตามองค์ประกอบมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่ไม่รวม แก้ว โลหะ และอื่น ๆ (ยาง หนัง หรือเศษผ้า) เนื่องจากองค์ประกอบเหล่านี้ไม่มีการยุบตัวภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ดังนั้นเมื่อปรับอัตราส่วนขององค์ประกอบที่เหลือแล้ว มูลฝอยสังเคราะห์ที่ใช้จึงมี มูลฝอยอินทรีย์ร้อยละ 70 (เศษผัก และผลไม้) กระจาดร้อยละ 9 และพลาสติกร้อยละ 21 โดยความหนาแน่นมูลฝอยที่บรรจุลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังนั้นจากปริมาตรของถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยที่ออกแบบ ต้องใช้มูลฝอยทั้งสิ้น 30 กิโลกรัม แบ่งเป็นมูลฝอยอินทรีย์ 21 กิโลกรัม กระจาด 2.7 กิโลกรัม และพลาสติก 6.3 กิโลกรัม โดยมูลฝอยอินทรีย์หรือเศษผักและผลไม้ที่เหลือจากการขาย ณ ตลาดสดปลาซา หอนาฬิกา เทศบาลนครหาดใหญ่ ส่วนกระจาดและพลาสติกเป็นมูลฝอยที่เกิดขึ้นบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำการผสมมูลฝอยแต่ละประเภทให้เป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นจึงสุ่มมูลฝอยแต่ละประเภทเพื่อนำไปวิเคราะห์ ค่าความชื้นก่อนการบรรจุลงถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย รายละเอียดวิธีวิเคราะห์ ดังแสดงในภาคผนวก ก จากนั้นทำการคลุกเคล้ามูลฝอยทั้งหมดให้เข้ากัน โดยมูลฝอยทั้งหมดไม่มีการตัดย่อย/ลดขนาด

2.2.3. การดำเนินการทดลอง

2.2.3.1. การทดลองที่ 2.1

- 1.) เริ่มต้นใส่กรวดให้มีความสูงประมาณ 0.15 เมตร เพื่อใช้เป็นชั้นกรองมูลฝอยและรวบรวมน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นด้านล่างถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย
- 2.) คลุกเคล้ามูลฝอยตามองค์ประกอบที่ต้องการให้เข้ากัน ดังนี้ มูลฝอยอินทรีย์ 21 กิโลกรัม กระจาด 2.7 กิโลกรัม และพลาสติก 6.3 กิโลกรัม
- 3.) บรรจุมูลฝอยลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยให้ชั้นมูลฝอยมีความสูง 0.75 เมตร (ความหนาแน่น 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
- 4.) ปิดทับด้านบนด้วยดินหนา 0.15 เมตร พร้อมทั้งสอดท่อ pvc ใช้สำหรับหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยผ่านชั้นดินปิดทับหน้าลงไปยังชั้นมูลฝอย เพื่อให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในน้ำชะมูลฝอยได้เข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย
- 5.) ทำขั้นตอนที่ 1 – 4 อีกครั้งในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยถังที่ 2
- 6.) เติมน้ำประปาปริมาตร 30 ลิตร ลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยทันที ให้ท่วมชั้นมูลฝอยทั้ง 2 ถัง จากนั้นทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง ทำขั้นตอนที่ 2 ครั้ง เพื่อสร้างให้เกิดเป็นน้ำชะมูลฝอยที่มากเกินไป จำนวน 60 ลิตร จากนั้นเปิดวาล์วระบายน้ำชะมูลฝอยทั้งหมดออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยทั้ง 2 ถัง
- 7.) ทำการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา โดย ถังที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย และถังที่ 2 ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดการทดลอง

7.1.) สำหรับถังที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย เมื่อค่า COD ลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการเติมน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยควบคุมให้ท่วมชั้นมูลฝอยตลอดการทดลอง จากนั้นจึงเปิดวาล์วน้ำออกด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 150 – 180 มิลลิเมตรต่อวินาทีตลอดเวลา ให้น้ำชะมูลฝอยออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยไปอยู่ในถังรองรับน้ำชะมูลฝอย และใช้ปั๊ม submersible สูบน้ำชะมูลฝอยขึ้นไปอยู่ในถังเติมอากาศ และเปิดวาล์วของถังเติมอากาศให้มีอัตราการไหลออกเท่ากับที่ 150 – 180 มิลลิเมตรต่อวินาที ซึ่งเท่ากับอัตราการไหลออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยทุกวัน บริเวณปลายท่อน้ำออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย และภายในถังเติมอากาศ เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.2 และเมื่อค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เมื่อมีค่าต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงเริ่มเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยด้วยอัตรา 0.8 ลิตรต่อวินาที (อัตราการให้ออกซิเจน 0.168 ลิตรต่อวินาที)

7.2.) สำหรับถังที่ 2 ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ดำเนินการทดลองตามข้อ 7.1 โดยไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยตลอดการทดลอง

8.) วัดความสูงของชั้นมูลฝอยของทั้ง 2 ถัง ทุก ๆ 4 วัน ด้วยตลับเมตร ที่ตำแหน่งขอบถังจำลองหลุมฝังกลบเพียงด้านเดียว

9.) ดำเนินการทดลองจนกระทั่งค่า COD ไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นจึงเปรียบเทียบการยุบตัว และอภิปรายผลที่เกิดขึ้น

10.) ทำการทดลองเพียงครั้งเดียว

ตารางที่ 2.2 พารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย สำหรับการทดลองที่ 2.1

พารามิเตอร์	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง* และวิเคราะห์ตัวอย่าง	วิธีการ / เครื่องมือ
COD	ทุกวัน	Standard method 5220 C. Close Reflux, Titrimetric Method
DO	ทุกวัน	DO Meter

หมายเหตุ : *เก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยบริเวณปลายท่อน้ำออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย

2.2.3.2. การทดลองที่ 2.2

- เตรียมถังจำลองตามข้อ 1 – 6 ของการทดลองที่ 2.1
- ทำการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา โดย ถังที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตั้งแต่เริ่มต้น และถังที่ 2 ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตลอดการทดลอง

2.1.) สำหรับถังที่ 1 เติมน้ำอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลอง ทำการเติมน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยควบคุมให้ท่วมชั้นมูลฝอยตลอดการทดลอง จากนั้นจึงเปิดวาล์วน้ำออกด้วยอัตราการไหลอยู่ในช่วง 150 – 180 มิลลิลิตรต่อนาที ตลอดเวลาให้น้ำชะมูลฝอยออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยไปอยู่ในถังรองรับน้ำชะมูลฝอย และใช้ปั๊ม submersible สูบน้ำชะมูลฝอยขึ้นไปในถังเติมน้ำอากาศ เริ่มเติมน้ำอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยด้วยอัตรา 1.5 ลิตรต่อนาที (อัตราการให้ออกซิเจน 0.315 ลิตรต่อนาที) และเปิดวาล์วของถังเติมน้ำอากาศให้มีอัตราการไหลออกเท่ากับที่ 150 – 180 มิลลิลิตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับอัตราการไหลออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยเก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยบริเวณปลายท่อน้ำออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย และภายในถังเติมน้ำอากาศ เพื่อวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

2.2.) สำหรับถังที่ 2 ไม่เติมน้ำอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ดำเนินการทดลองตามข้อ 2.1 โดยไม่เติมน้ำอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยตลอดการทดลอง

3.) วัดความสูงของชั้นมูลฝอยของทั้ง 2 ถัง ทุก ๆ 5 วัน ด้วยตลับเมตร ที่ตำแหน่งขอบถังจำลองหลุมฝังกลบเพียงด้านเดียว

4.) ดำเนินการทดลองจนกระทั่งค่า COD ไม่เปลี่ยนแปลง จากนั้นจึงเปรียบเทียบการยุบตัว และอภิปรายผลที่เกิดขึ้น

5.) ทำการทดลองเพียงครั้งเดียว

ตารางที่ 2.3 พารามิเตอร์ ความถี่ในการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง และวิธีวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอย สำหรับการทดลองที่ 2.2

พารามิเตอร์	ความถี่ในการเก็บตัวอย่าง* และวิเคราะห์ตัวอย่าง	วิธีการ / เครื่องมือ
COD	ทุกวัน	Standard method 5220 C. Close Reflux, Titrimetric Method
TKN	ทุก ๆ 7 วัน	Standard method 4500-N _{org} B. Macro-Kjeldahl Method
VFA	ทุก ๆ 3 วัน	Standard method 5560 B. Chromatographic Separation Method for Organic Acids
Alkalinity	ทุก ๆ 3 วัน	Standard method 2320 B. Titration Method
DO	ทุกวัน	DO Meter
Nitrate	ทุก ๆ 7 วัน	Spectrophotometer

หมายเหตุ : *เก็บตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยบริเวณปลายท่อน้ำออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย

บทที่ 3 ผลการทดลองและวิจารณ์

บทนี้นำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลกระทบของการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยที่เติมอากาศต่อการย่อยตัวของมูลฝอยชุมชนภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

3.1. ผลการทดลองที่ 1 การเปรียบเทียบผลของความถี่ในการหมუნเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการย่อยตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

3.1.1. คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 1

หลังจากที่บรรจุมูลฝอยลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยและปิดทับหน้าชั้นมูลฝอยด้วยดินแล้ว จึงเติมน้ำประปาปริมาตร 30 ลิตรลงในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เพื่อสร้างน้ำชะมูลฝอยและสภาวะไร้อากาศ ทิ้งไว้ 5 วัน จากนั้นจึงเปิดวาล์วน้ำชะมูลฝอย เพื่อระบายน้ำชะมูลฝอยออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย และวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยก่อนเริ่มต้นการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 น้ำชะมูลฝอยมีปริมาณสารอินทรีย์สูงมาก แสดงให้เห็นว่าเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแข็งให้ชะละลายออกมาคกับน้ำชะมูลฝอยได้มาก จึงส่งผลให้ค่า COD เริ่มต้นสูง

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	น้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลอง
pH	5.71
VFA (mg CH ₃ COOH/L)	2,924 ± 128
ความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ /L)	892 ± 45
TKN (mg/L)	46 ± 10
COD (mg/L)	40,175 ± 2,143

3.1.1. คุณสมบัติมูลฝอย ของการทดลองที่ 1

องค์ประกอบของมูลฝอยในถังจำลองหลุมฝังกลบดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งเป็นองค์ประกอบมูลฝอยชุมชนในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่ตามผลการศึกษาของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 (2559) โดยประกอบด้วย มูลฝอยอินทรีย์ (เศษข้าว เศษผัก ที่เหลือจากการรับประทานอาหาร) กระจก พลาสติก แก้ว โลหะ และอื่น ๆ (ยาง หนัง หรือเศษผ้า) ซึ่งเก็บตัวอย่างแต่ละองค์ประกอบจากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของมูลฝอยชุมชนของการทดลองที่ 1

องค์ประกอบ	ปริมาณ* (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)	ปริมาณของแข็งระเหย (ร้อยละ)
มูลฝอยอินทรีย์	48	62.44	93.01
กระดาษ	6	7.94	96.88
พลาสติก	15	2.92	96.94
แก้ว	8	2.14	0.00
โลหะ	1	3.27	0.00
อื่น ๆ	22	18.53	21.97

ที่มา : *สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 (2559)

จากตารางพบว่า มูลฝอยอินทรีย์เป็นองค์ประกอบหลัก และมีความชื้นสูงที่สุด และมีปริมาณของแข็งระเหยสูง แสดงให้เห็นว่า องค์ประกอบส่วนใหญ่ย่อยสลายได้ง่าย

3.1.2. ผลการทดลองที่ 1

จากการศึกษาผลของความรู้ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ โดยเปรียบเทียบระหว่าง

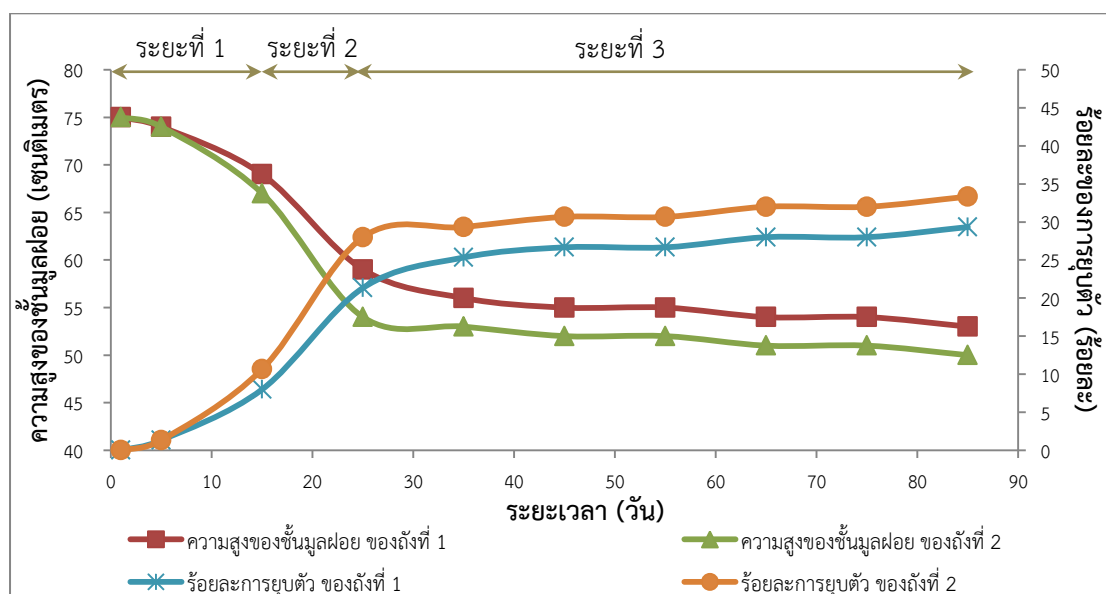
ถังที่ 1 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ (30 ลิตรต่อครั้ง) และ

ถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา (216 ลิตรต่อวัน)

โดยทำการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจนกระทั่งอุณหภูมิภายในถังจำลองหลุมฝังกลบทั้ง 2 ถัง ลดกลับลงมาสู่อุณหภูมิห้อง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาย่อยสลายสิ้นสุดแล้ว ซึ่งพบว่าใช้เวลาทั้งสิ้น 85 วัน โดยรายละเอียดผลการทดลอง ดังแสดงในภาคผนวก ข และพบการเปลี่ยนแปลงภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ดังนี้

การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นมูลฝอย ดังแสดงในรูปที่ 3.1 พบว่า มูลฝอยภายในถังจำลองทั้ง 2 ถัง ยุบตัวอย่างต่อเนื่อง โดยเกิดขึ้นสูงในช่วง 25 วันแรก และสามารถแบ่งลักษณะการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองตามอัตราการยุบตัวได้เป็น 3 ระยะ คือ ระยะที่ 1 ช่วงวันที่ 1 – 15 ของการทดลอง พบว่ามูลฝอยภายในถังจำลองที่ 1 และ 2 เกิดการยุบตัวเร็วด้วยอัตรา 0.44 และ 0.60 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ ระยะที่ 2 ช่วงวันที่ 15 – 25 ของการทดลอง พบว่า มูลฝอยภายในถังจำลองเกิดการยุบตัวอย่างรวดเร็วมาก โดยถังที่ 1 และ 2 ยุบตัวด้วยอัตรา 1.0 และ 1.3 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ และระยะที่ 3 ตั้งแต่วันที่ 25 ของการทดลองเป็นต้นไป พบว่า มูลฝอยภายในถัง

จำลองยุบตัวอีกเพียงเล็กน้อย โดยถึงที่ 1 และ 2 ยุบตัวด้วยอัตรา 0.08 และ 0.06 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Datta and Eastes (2017) ซึ่งแบ่งการยุบตัวของมูลฝอยได้เป็น 3 ระยะเช่นเดียวกัน โดยระยะที่ 1 คือระยะเปลี่ยนผ่านซึ่งเกิดการยุบตัวเกิดขึ้นเล็กน้อยจากกระบวนการทางกายภาพเป็นหลัก ระยะที่ 2 คือระยะที่เกิดการยุบตัวเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจากการย่อยสลายทางชีวภาพ และระยะที่ 3 คือระยะตกค้างที่มีการยุบตัวเกิดขึ้นอีกเพียงเล็กน้อยจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มูลฝอยภายในถังที่ 2 มีการยุบตัว 25 เซนติเมตร (คิดเป็นร้อยละ 33.3) มากกว่าถังที่ 1 ที่มีการยุบตัวของมูลฝอย 22 เซนติเมตร (คิดเป็นร้อยละ 29.3)

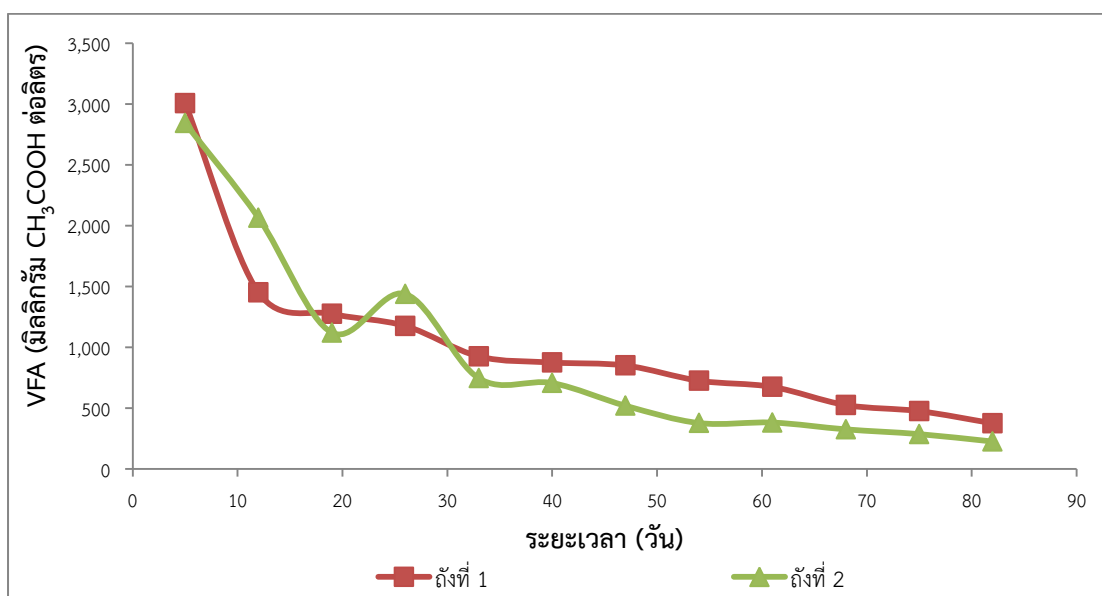


รูปที่ 3.1 ความสูงของชั้นมูลฝอยในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย

ซึ่งการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยสามารถเกิดได้จากทั้งปฏิกิริยาทางกายภาพและชีวภาพ (Datta and Eastes 2017) โดยทางกายภาพ คือ การยุบตัวจากการแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้น เนื่องจากการไหลของน้ำชะมูลฝอย ทำให้มูลฝอยขนาดเล็กด้านบนเคลื่อนที่ลงสู่ช่องว่างด้านล่างตามการไหลของน้ำชะมูลฝอย และการแทนที่ช่องว่างที่เกิดขึ้นยังสัมพันธ์กับอัตราการไหลด้วย (Sandip et al. 2012; Datta and Eastes 2017) เห็นได้จากผลการทดลองพบว่า ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา (216 ลิตรต่อวัน) ซึ่งมีอัตราการไหลมากกว่าถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ (30 ลิตรต่อครั้ง) ทำให้มูลฝอยขนาดเล็กเคลื่อนที่ลงสู่ช่องว่างด้านล่างได้มากกว่า ส่งผลให้มูลฝอยภายในถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาเกิดการยุบตัวได้มากกว่าถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์

และการยวบตัวที่เกิดขึ้นอีกส่วนหนึ่งเกิดจากปฏิกิริยาทางชีวภาพ คือ การยวบตัว เนื่องจากสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ โดยหากมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ทำให้เกิดการกวนผสม (Mixing) สามารถทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น เนื่องจากทำให้จุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับสารอาหารได้ทั่วถึง และยังช่วยให้สารอาหารเกิดการกระจายตัวได้ดีด้วย จึงทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มาก ส่งผลให้เกิดการยวบตัวได้มาก (Metcalf and Eddy 2004; Andalib et al. 2012; Sandip et al. 2012) จากผลการทดลอง พบว่า ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาเกิดการยวบตัวได้มากกว่าถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เนื่องจากทำให้เกิดการกวนผสมได้มากกว่า ส่งผลให้สารอาหารกระจายตัวได้ดีกว่าและจุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับสารอาหารได้มากกว่า ทำให้เกิดการย่อยสลายและเกิดการยวบตัวที่มากกว่า

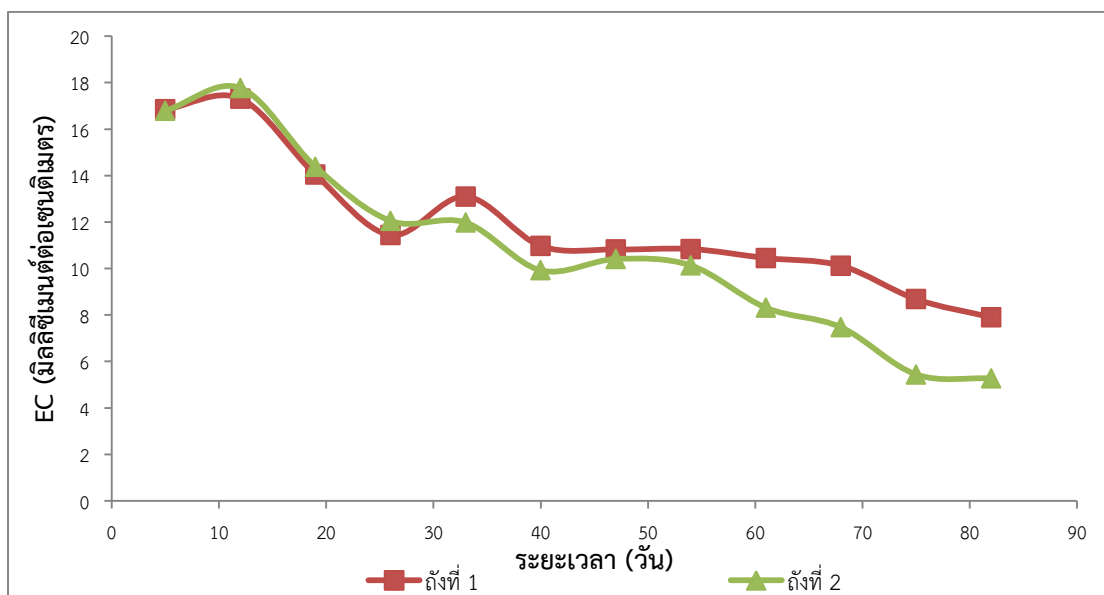
ซึ่งจะเห็นได้จากค่า VFA ที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยค่า VFA คือ กรดอินทรีย์ ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Hydrolysis โดย Hydrolytic bacteria ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่ให้กลายเป็นสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก จากนั้นเกิดปฏิกิริยา Acidogenesis ย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ระเหย (VFA) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในสมการที่ 2 และถูกชะละลายปนออกมากับน้ำชะมูลฝอย (Metcalf and Eddy 2004; Sang et al. 2012) จากผลการทดลองพบว่า ค่า VFA ของน้ำชะมูลฝอยจากทั้ง 2 ถัง มีค่าสูงในช่วงแรก 25 วัน และพบว่า ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา มีค่า VFA มากกว่าถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ แสดงให้เห็นว่ามีการย่อยสลายสารอินทรีย์โมเลกุลใหญ่มากกว่า สอดคล้องกับอัตราการยวบตัวของชั้นมูลฝอยที่สูงและมากกว่าในช่วงระยะที่ 2 ของการทดลอง



รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงค่า VFA

จากนั้นพบว่าค่า VFA ลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Acetogenesis โดย Acetogens จะย่อยกรดอินทรีย์ ให้กลายเป็น แอซีเตต (CH_3COO^-) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในสมการที่ 3 โดยพบว่า ถังที่หมวนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา มีค่า VFA น้อยกว่าถังที่หมวนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ แสดงให้เห็นว่า เกิดการย่อยสลายกรดอินทรีย์ให้กลายเป็นก๊าซได้มากกว่า สอดคล้องกับการยุบตัวของชั้นมูลฝอยในระยะที่ 3 ที่มากกว่าเช่นเดียวกัน

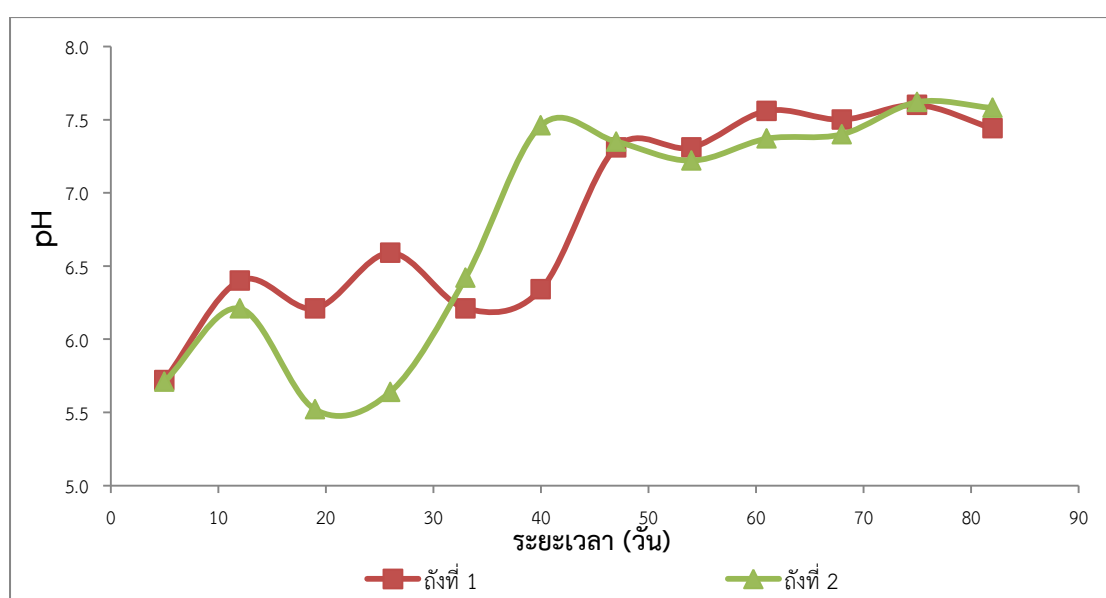
และจากปริมาณกรดอินทรีย์ที่มาก ทำให้ในน้ำชะมูลฝอยมีประจุของ แอซีเตต (CH_3COO^-) ละลายอยู่มากเช่นกัน ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้าช่วงแรกเพิ่มสูงขึ้น และลดต่ำลง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณ VFA ในน้ำชะมูลฝอย (Metcalf and Eddy 2004) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ He et al. (2015) และพบว่า หลังจากวันที่ 54 ของการทดลองเป็นต้นไป ถังที่หมวนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา มีค่าการนำไฟฟ้าน้อยกว่าถังที่หมวนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจจะเกิดจากปฏิกิริยา Methanogenesis โดย Acetate-utilizing methanogens ย่อยสลายแอซีเตต (CH_3COO^-) ให้กลายเป็นมีเทน (CH_4) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และพลังงาน (ความร้อน) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในสมการที่ 4 ทำให้ประจุในน้ำชะมูลฝอยลดลง ส่งผลให้ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าลดลง (Metcalf and Eddy 2004)



รูปที่ 3.3 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้า

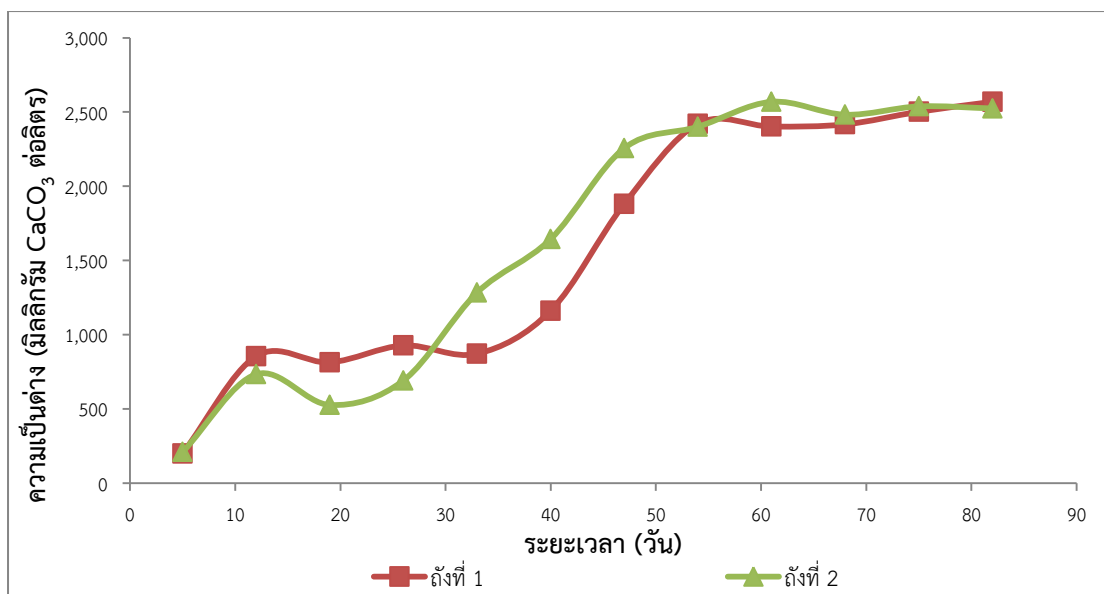
และจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์เป็นกรดอินทรีย์และถูกชะปนออกมากับน้ำชะมูลฝอย ทำให้ค่า pH ในช่วงแรกมีค่าต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ซึ่งสอดคล้องกับ

งานวิจัยของ Bilgili et al. (2007) ซึ่งพบว่า ค่า pH ในช่วงเริ่มต้นการทดลองของน้ำชะมูลฝอยมีความเป็นกรด และเมื่อพิจารณาผลการทดลอง พบว่า ในช่วง 25 วันแรก ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตลอดเวลามีค่า pH ต่ำกว่าถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับปริมาณ VFA ในน้ำชะมูลฝอยที่มากกว่าในช่วงเริ่มต้น และปรับตัวสูงขึ้นเป็นกลางตั้งแต่วันที่ 25 ของการทดลอง สอดคล้องกับการลดลงของปริมาณ VFA ในน้ำชะมูลฝอย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Hao et al. (2008) ซึ่งพบว่าค่า pH ของน้ำชะมูลฝอยในช่วงแรกมีความเป็นกรด จากนั้นก็ปรับตัวสูงขึ้น เช่นเดียวกัน



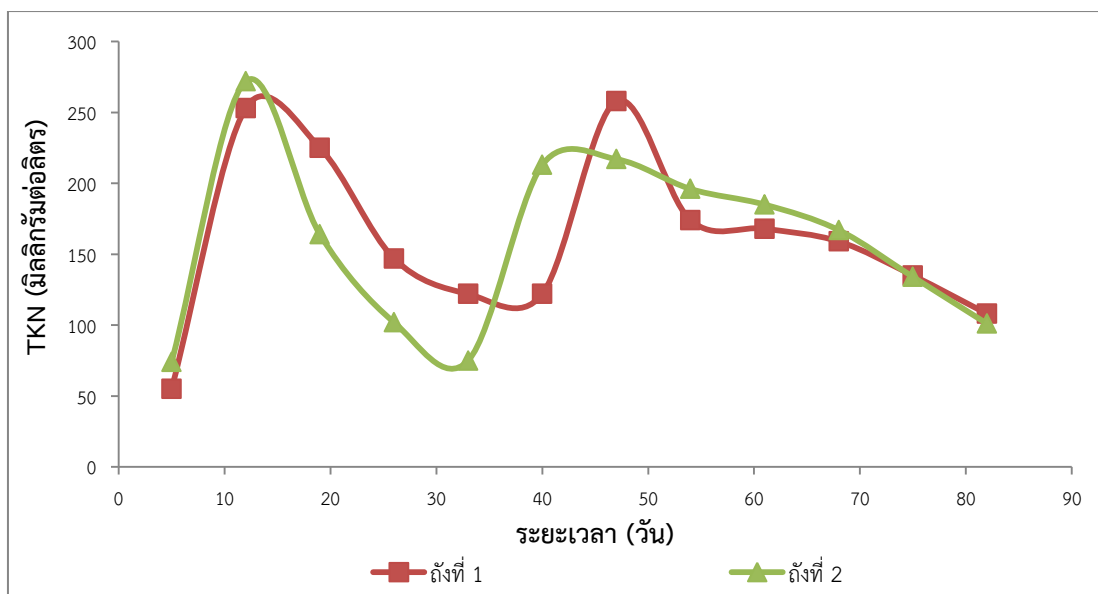
รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงค่า pH

และจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย ส่งผลให้ค่าความเป็นด่างเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) คือ ความสามารถในการรักษาความเป็นกรด - ด่าง ถ้าในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยมีค่าความเป็นด่างน้อย ในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยอาจมีเป็นกรดได้ง่าย โดยพบว่า ช่วงแรกทั้ง 2 ถัง มีค่าความเป็นด่างใกล้เคียงกัน จากนั้นก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง โดยพบว่า ถังที่ 2 มีค่าความเป็นด่างมากกว่าถังที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับค่า VFA ของถังที่ 2 ที่มีค่าน้อยกว่าถังที่ 1 และสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า pH เช่นเดียวกัน



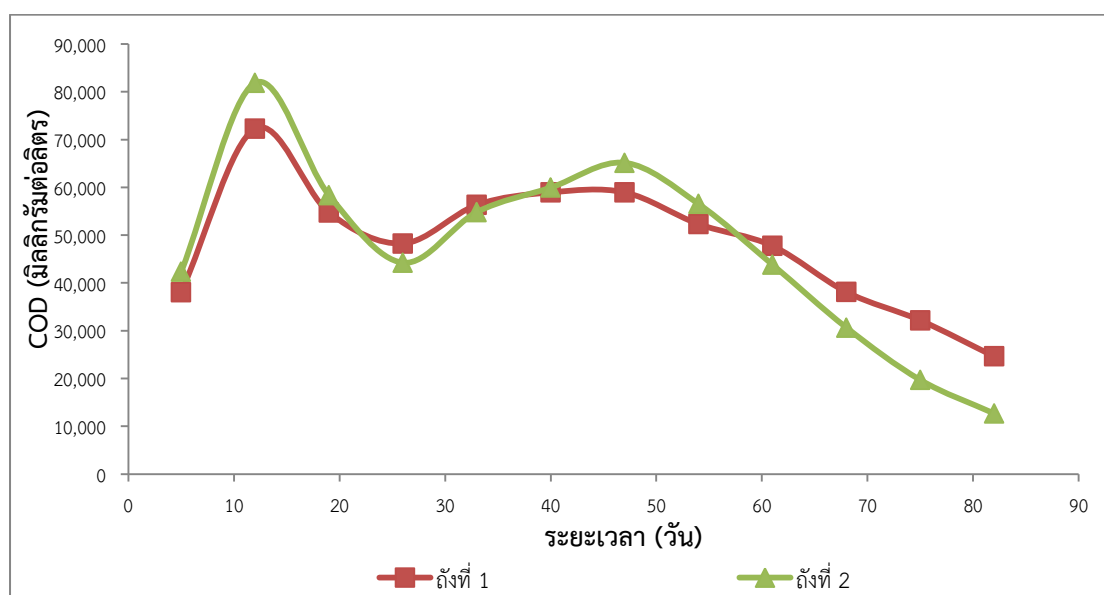
รูปที่ 3.5 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่าง

นอกจากนี้ยังเห็นได้จากปริมาณ TKN ที่ถูกชะออกมาในน้ำชะมูลฝอยที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6 โดยค่า TKN ในช่วงแรกมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในช่วง 1-11 วันแรก ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยา Ammonification โดย Ammonifying bacteria ย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอยให้กลายเป็นสารประกอบไนโตรเจนและถูกชะปนออกมากับน้ำชะมูลฝอย (Metcalf and Eddy 2004; Sang et al. 2012) จากนั้นช่วงวันที่ 12 - 33 ค่า TKN ค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไปแล้ว TKN ในน้ำชะมูลฝอยจะมีองค์ประกอบของแอมโมเนียมไนโตรเจน ($\text{NH}_4^+ - \text{N}$) อยู่ร้อยละ 60 - 90 ซึ่งมากกว่าสารอินทรีย์ไนโตรเจน (Organic-N) (Olisa et al., 2016; Wang et al., 2016; Rafizul and Alamgir 2012) ค่า TKN ที่ลดลงจึงอาจเกิดจากปฏิกิริยานิไตรฟิเคชัน (Nitrification) และดีไนไตรฟิเคชัน (Denitrification) เปลี่ยนรูปแอมโมเนียมเป็นก๊าซไนโตรเจนกลับคืนสู่บรรยากาศ ส่งผลให้ค่า TKN ลดลง โดยค่า TKN ของถังที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาตลอดลดต่ำกว่าถังที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ อาจเกิดจากการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ใช้วิธีการกระจายน้ำชะมูลฝอยด้านบนถังจำลองหลุมฝังกลบเหนือชั้นดินปิดทับหน้ามูลฝอย ทำให้น้ำชะมูลฝอยของถังที่ 2 มีโอกาสสัมผัสกับอากาศได้มากกว่า ส่งผลให้ปฏิกิริยานิไตรฟิเคชันของถังที่ 2 เกิดได้ดีกว่าถังที่ 1 (Metcalf and Eddy 2004) ค่า TKN ของถังที่ 2 จึงลดลงเร็วกว่าถังที่ 1 จากนั้นในช่วงวันที่ 33 - 47 ของการทดลอง พบว่าค่า TKN เพิ่มสูงขึ้นทั้ง 2 ถัง อาจเกิดจากสารประกอบไนโตรเจนถูกชะละลายออกมากับน้ำชะมูลฝอย จากนั้นพบว่า ค่า TKN ของทั้ง 2 ถัง ลดต่ำลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าสารประกอบไนโตรเจนถูกย่อยสลายกลายเป็น ก๊าซไนโตรเจน (N_2) และถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ



รูปที่ 3.6 การเปลี่ยนแปลงค่า TKN

และเมื่อวิเคราะห์สารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยในรูปของ COD ที่ปลายท่อน้ำออกจากถังจำลอง ซึ่งถือเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงค่า COD ของทั้งระบบ (ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยและถังเติมอากาศ) ดังแสดงในรูปที่ 3.7 พบว่า การเปลี่ยนแปลงของค่า COD สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า VFA และ TKN โดยในช่วงวันที่ 12 ของการทดลอง ค่า COD ของถึงที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา มีค่า COD มากกว่าถึงที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับค่า VFA และ TKN ที่สูงกว่า

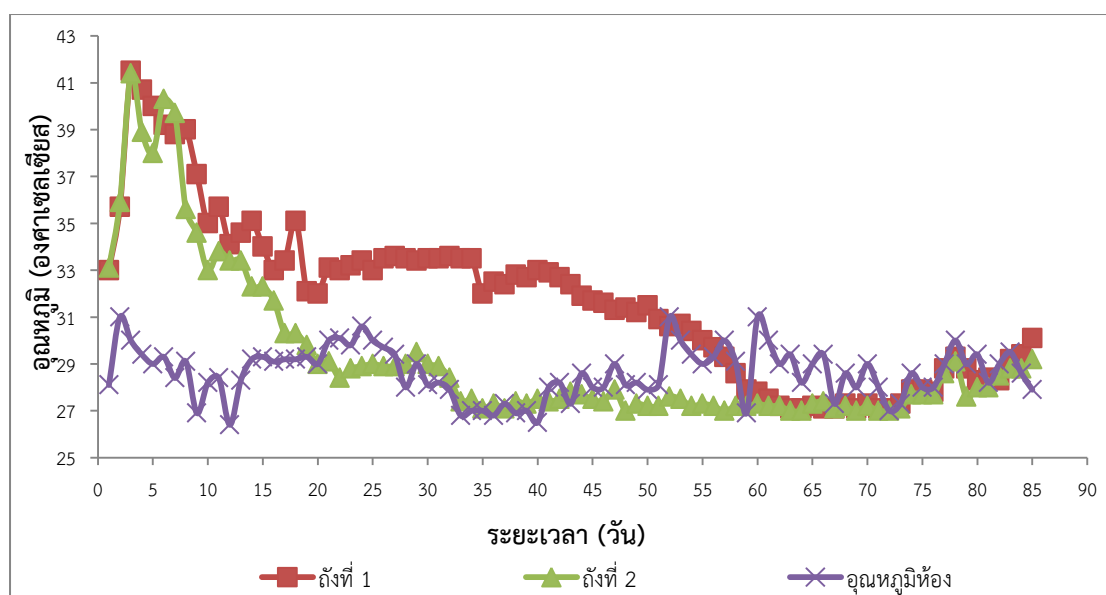
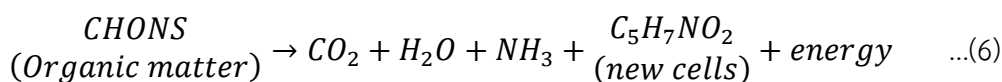


รูปที่ 3.7 การเปลี่ยนแปลงค่า COD

จากนั้นในช่วงวันที่ 12 - 26 ของการทดลอง ค่า COD ลดต่ำลง และถึงที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาที่มีค่า COD น้อยกว่าถึงที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ สอดคล้องกับการลดลงของค่า VFA และ TKN และมีค่าต่ำกว่า จากนั้นในช่วงวันที่ 26 - 47 ของการทดลอง ค่า COD เพิ่มสูงขึ้น เช่นเดียวกับค่า TKN จากนั้นค่า COD ลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง เช่นเดียวกัน

ดังนั้นจากข้อมูลข้างต้น จะพบว่า ความถี่ของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่มากกว่า ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่า แม้ว่ามีระยะเวลาพักพักชลศาสตร์ (HRT) ในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยที่น้อยกว่า (คิดเป็น 0.14 และ 7 วัน ตามลำดับ) และเมื่อเกิดการย่อยสลายสูงกว่า ส่งผลให้เกิดก๊าซออกสู่อากาศและช่องว่างระหว่างชั้นมูลฝอยมากกว่า ทำให้เกิดการยุบตัวทางกายภาพมากขึ้นด้วยเช่นกัน

นอกจากนี้ยังพบว่า ความถี่ของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่มากกว่า ยังส่งผลให้สิ้นสุดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3.8 จะพบว่า อุณหภูมิภายในถังจำลองทั้ง 2 ถัง เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีค่าสูงสุดในช่วงวันที่ 3 - 5 ของการทดลอง แสดงให้เห็นถึง การเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายซึ่งเกิดการคายความร้อน ดังแสดงในสมการที่ 6 (Metcalf and Eddy 2004) โดยตลอดการทดลองอุณหภูมิอยู่ในช่วง Mesophilic (20 - 45 องศาเซลเซียส) และเป็นช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ คือ 25 - 50 องศาเซลเซียส (Metcalf and Eddy 2004)



รูปที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

และพบว่า อุณหภูมิภายในถังที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิห้องในเวลา 20 วัน โดยเร็วกว่าถังที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งกลับมากังในเวลา 59 วัน

โดยอุณหภูมิในช่วง 15 วันแรกของการทดลอง ทั้ง 2 ถัง มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองที่ยุบตัวใกล้เคียงกัน พบว่าการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ย่อยง่าย (Rapid degradation) ได้ใกล้เคียงกัน

และในช่วงวันที่ 15 ของการทดลองเป็นต้นไป พบว่าอุณหภูมิภายในถังที่ 2 ลดลงมากกว่าถังที่ 1 อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจเกิดจากภายในถังที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา มีจุลินทรีย์กลุ่มกึ่งใช้อากาศ (Facultative bacteria) เกิดขึ้น เนื่องจากวิธีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ด้วยวิธีกระจายน้ำชะมูลฝอยด้านบนถังจำลองหลุมฝังกลบเหนือชั้นดินปิดทับหน้ามูลฝอย ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีโอกาสสัมผัสกับอากาศได้มากกว่า โดยจุลินทรีย์กลุ่มกึ่งใช้อากาศเป็นกลุ่มที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลงได้ดีกว่าจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้อากาศ เนื่องจากเป็นจุลินทรีย์ที่อยู่ได้ในทั้งสภาวะมีอากาศและไม่มีอากาศ และสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ย่อยยาก (Slow degradation) ได้มากกว่า ทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นได้มากกว่าและเร็วกว่า ส่งผลให้สิ้นสุดปฏิกิริยาได้เร็วกว่า (Metcalf and Eddy 2004) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhang et al. (2017) ที่ศึกษาการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายใต้สภาวะไร้อากาศและกึ่งไร้อากาศ โดยพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยภายใต้สภาวะกึ่งไร้อากาศสามารถกำจัดความสกปรกของน้ำชะมูลฝอยได้เร็วกว่าการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายใต้สภาวะไร้อากาศร้อยละ 12.9 ในขณะที่ถังที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ อุณหภูมิคงที่ จากนั้นลดลงจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากต้องใช้เวลาในการย่อยสลายสารอินทรีย์ย่อยยาก

จากผลการทดลอง พบว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ถังที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาเกิดการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบร้อยละ 33.3 ในขณะที่ถังที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ มีการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองร้อยละ 29.3 เนื่องจากถังที่ 2 มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าต่อเนื่องตลอดเวลา (0.15 ลิตรต่ออนาที) ทำให้น้ำชะมูลฝอยขนาดเล็กเคลื่อนที่ลงสู่ช่องว่างด้านล่างได้อย่างต่อเนื่องกว่า และทำให้สารอินทรีย์กระจายตัวได้ดี และมีโอกาสสัมผัสกับจุลินทรีย์ได้มาก (ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ถูกหมุนเวียนเข้าถังจำลอง คิดเป็น 16.3 ลูกบาศก์เมตร) นอกจากนี้ การกระจายน้ำชะมูลฝอยด้านบนเหนือชั้นดิน ทำให้น้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนในถังที่ 2 มีโอกาสสัมผัสกับอากาศได้มากกว่า ทำให้จุลินทรีย์กลุ่มกึ่งใช้อากาศ (Facultative bacteria) มีโอกาสเกิดขึ้นภายในถังจำลอง ซึ่งเป็นกลุ่มที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้อากาศ ทำให้เกิดการย่อยสลายโดยเฉพาะกับสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากได้มากขึ้น ในขณะที่ถังที่ 1 เป็นการหมุนแบบกะ (หมุนเวียนทุก 7 วัน ครั้งละ 30 ลิตร และมีปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ถูกหมุนเวียนเข้าถังจำลองเพียง 0.33 ลูกบาศก์เมตร) จึงทำให้เกิดการยุบตัวทางกายภาพและชีวภาพได้น้อยกว่า อย่างไรก็ตามพบว่า การยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝัง

กลบของทั้ง 2 ยังไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจจะเป็นเนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นเป็นสภาวะที่ใกล้เคียงกัน คือ แบบไม่ใช้อากาศหรือกึ่งใช้อากาศ

นอกจากนี้พบว่า อุณหภูมิภายในถังที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิห้องในเวลา 20 วัน โดยเร็วกว่าถังที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งกลับมาคงที่ในเวลา 59 วัน อาจเป็นเนื่องจากภายในถังจำลองมีจุลินทรีย์กลุ่มกึ่งใช้อากาศ (Facultative bacteria) ดังที่กล่าวแล้วข้างต้น จึงทำให้ปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วกว่า

3.2. ผลการทดลองที่ 2 การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

จากการทดลองที่ 1 พบว่า การยวบตัวของมูลฝอยแตกต่างกันไม่มาก อาจจะเป็นเนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นเป็นการย่อยสลายแบบไม่ใช้อากาศหรือแบบกึ่งใช้อากาศ จึงมีแนวคิดที่จะเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเพื่อเพิ่มออกซิเจนละลายน้ำ และจุลินทรีย์กลุ่มใช้อากาศเข้าไปในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มการยวบตัวของหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยเลือกการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายได้เร็วกว่า และแบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยในรูปค่า COD ลดลงต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเป็นตัวแทนของหลุมฝังกลบเก่า เนื่องจากต้องการนำหลุมฝังกลบเดิมกลับมาใช้งานใหม่ให้เร็วที่สุด และจากการวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยเทศบาลนครหาดใหญ่ ซึ่งเป็นหลุมฝังกลบเก่า พบว่า มีค่า COD ประมาณ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงเลือกค่านี้มาใช้ในการทดลอง และกรณีที่ 2 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อเป็นตัวแทนของหลุมฝังกลบใหม่

3.2.1. ผลการทดลองที่ 2.1 การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนต่อการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ เมื่อค่า COD ต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2.1.1. คุณสมบัติมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.1

องค์ประกอบและค่าความชื้นของมูลฝอยในถังจำลองหลุมฝังกลบดังแสดงในตารางที่ 3.3 โดยทำการหมักเฉพาะองค์ประกอบหลักที่พบในหลุมฝังกลบมูลฝอย ตามข้อมูลของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 (2559) ซึ่งมูลฝอยอินทรีย์มีค่าความชื้นสูงที่สุด เนื่องจากประกอบด้วยเศษผักและผลไม้ที่เหลือทิ้งและมีน้ำเป็นองค์ประกอบหลัก เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1

ตารางที่ 3.3 คุณสมบัติของมูลฝอยชุมชนก่อนการทดลองที่ 2.1

องค์ประกอบ	สัดส่วน* (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)
มูลฝอยอินทรีย์	70	73.71
กระดาษ	9	33.90
พลาสติก	21	16.79

ที่มา : *สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 (2559)

3.2.1.2. คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.1

หลังจากสร้างน้ำชะมูลฝอยปริมาณ 60 ลิตร แล้วจึงวิเคราะห์คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอย ก่อนเริ่มต้นการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.4 น้ำชะมูลฝอยมีปริมาณสารอินทรีย์สูง เนื่องจากการชะละลายสารอินทรีย์เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยพบว่าค่า COD ของการทดลองที่ 2.1 มีค่าต่ำกว่าค่า COD ของการทดลองที่ 1 อาจเนื่องมาจากสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองที่ 2.1 เป็นเศษผักและผลไม้ แต่การทดลองที่ 1 เป็นเศษอาหารที่เหลือจากการรับประทาน ซึ่งมีไขมันปริมาณมาก และจากการชั่งน้ำชะมูลฝอยในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย 5 วัน ก่อนเริ่มหมุนเวียน จึงทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแข็งให้ชะละลายออกมากับน้ำชะมูลฝอยได้มาก จึงส่งผลให้ค่า COD เริ่มต้นสูงกว่า

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติน้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลองที่ 2.1

พารามิเตอร์	น้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลอง
DO (mg/L)	0.26 ± 0.01
COD (mg/L)	7,057 ± 189

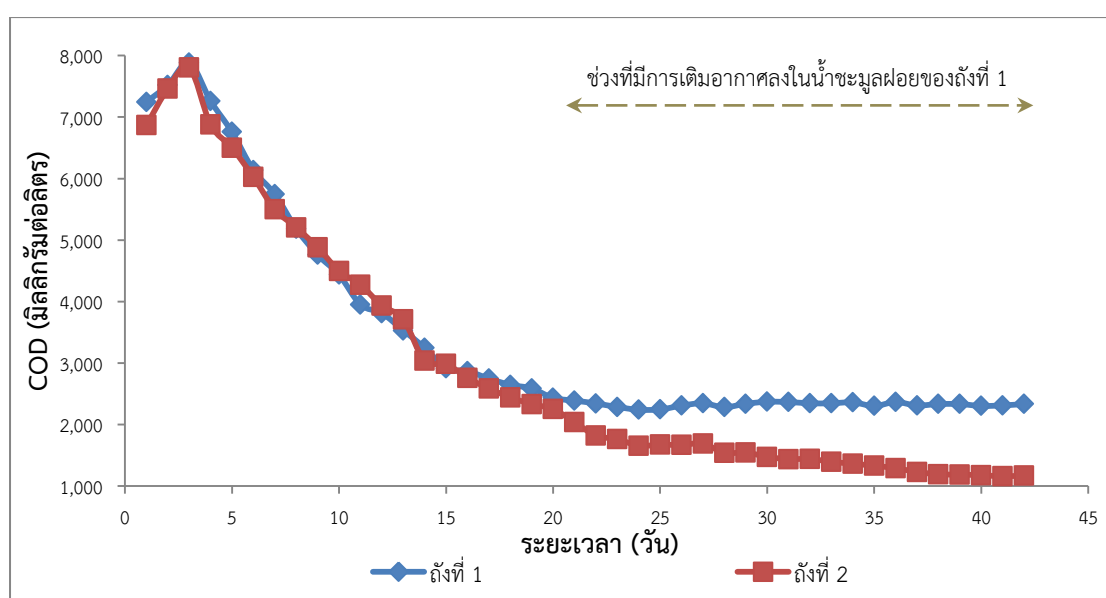
3.2.1.3. ผลการทดลองที่ 2.1

จากการศึกษาผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดเวลาต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยเปรียบเทียบระหว่าง

ถังที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน เมื่อค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และ

ถังที่ 2 ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ตลอดการทดลอง

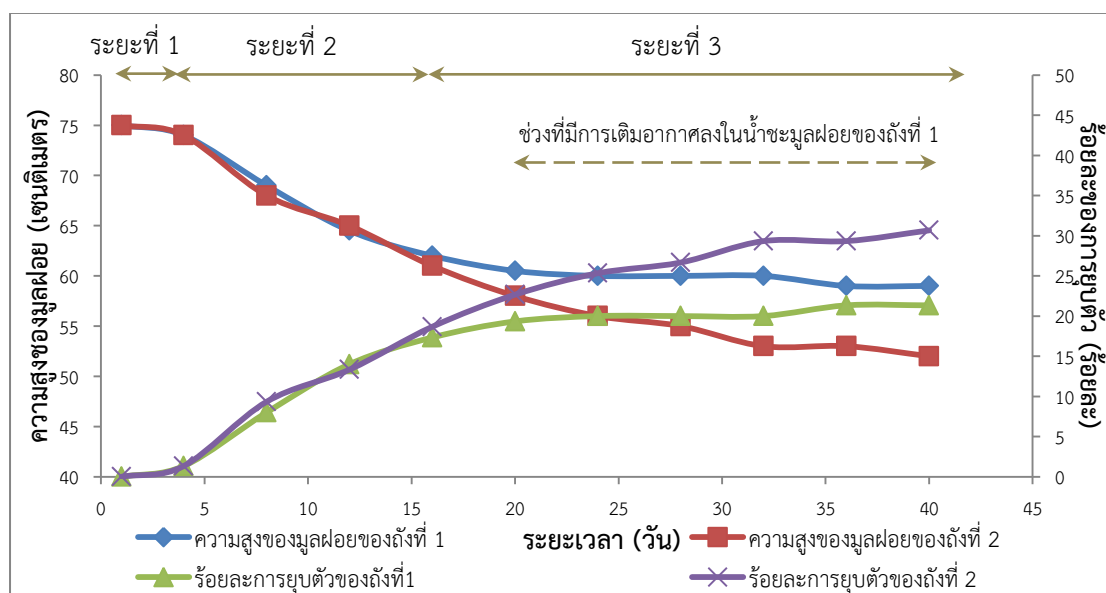
โดยทำการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย จนกระทั่งค่า COD ที่ปลายท่อน้ำออกจากถังจำลอง ซึ่งถือเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงค่า COD ของทั้งระบบ (ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยและถังเติมอากาศ) มีค่าลดต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยพบว่า วันที่ 20 ของการทดลอง ค่า COD ลดลงต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในรูปที่ 3.9 จึงเริ่มเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยของถังที่ 1 จากนั้นทำการทดลอง จนกระทั่งค่า COD ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาย่อยสลายสิ้นสุดแล้ว ซึ่งพบว่าใช้เวลาทั้งสิ้น 42 วัน โดยรายละเอียดผลการทดลอง ดังแสดงในภาคผนวก ค และพบการเปลี่ยนแปลงภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ดังนี้



รูปที่ 3.9 การเปลี่ยนแปลงค่า COD

การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นมูลฝอย ดังแสดงในรูปที่ 3.10 พบว่า ลักษณะการยุบตัวแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 โดยระยะที่ 1 ของทั้ง 2 ถัง อยู่ในช่วงวันที่ 1 – 4 ของการทดลอง ที่มูลฝอยยุบตัวเร็ว ซึ่งการยุบตัวทั้ง 2 ถัง เกิดด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน คือ 0.33 เซนติเมตรต่อวัน ส่วนระยะที่ 2 อยู่ในช่วงวันที่ 4 – 16 ของการทดลอง ที่มูลฝอยของถังที่ 1 และ 2 เกิดการยุบตัวรวดเร็วมาก (อัตราการยุบตัวเท่ากับ 1.01 และ 1.05 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ) และเข้าสู่ระยะที่ 3 ตั้งแต่วันที่ 16 ของการทดลอง โดยในระยะนี้ พบว่า ถังที่ 1 ที่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนในวันที่ 20 ของการทดลอง มีการยุบตัวน้อยกว่าถังที่ 2 อย่างชัดเจน (อัตราการยุบตัวเท่ากับ 0.11 และ 0.36 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ) และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ถังที่ 1 ที่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนมีการยุบตัวของมูลฝอยเพียง 16 เซนติเมตร (คิดเป็น

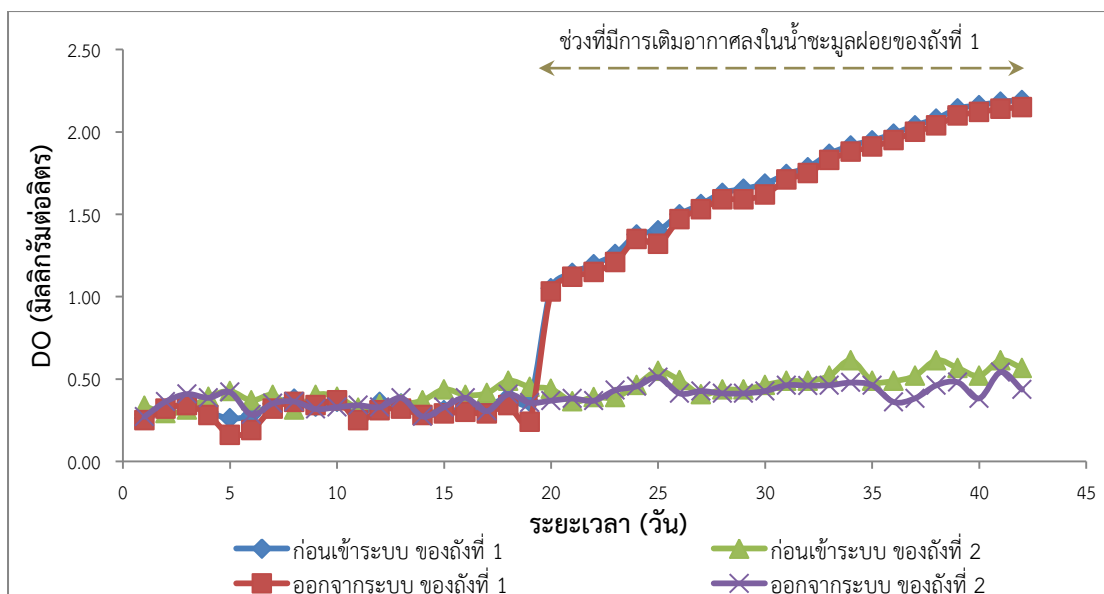
ร้อยละ 21.3) ซึ่งน้อยกว่าถังที่ 2 ที่ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนที่มีการยุบตัวของมูลฝอย 23 เซนติเมตร (คิดเป็นร้อยละ 30.7)



รูปที่ 3.10 ความสูงของมูลฝอยและร้อยละของการยุบตัวของมูลฝอย

โดยการยุบตัวของมูลฝอยในช่วงระยะที่ 1 และ 2 มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากดำเนินการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกัน คือ ใช้องค์ประกอบมูลฝอยแบบเดียวกัน มีอัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเท่ากัน และไม่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดการยุบตัวจากปฏิกิริยาทางกายภาพและชีวภาพใกล้เคียงกัน

และเมื่อเริ่มเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนของถังที่ 1 ในวันที่ 20 ของการทดลองพบว่า การยุบตัวของมูลฝอยของถังที่ 1 ที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเกิดการยุบตัวเพียงเล็กน้อย แต่มูลฝอยภายในถังที่ 2 ซึ่งไม่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดการทดลองยุบตัวลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาทางชีวภาพหรือการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยพบว่าค่า DO ของถังที่ 1 เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในรูปที่ 3.11 ซึ่งยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้อากาศ เพราะจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้อากาศจะเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีออกซิเจนละลายต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร (Metcalf and Eddy 2004) ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของค่า COD ดังแสดงในรูปที่ 3.9 ที่พบว่า ค่า COD ไม่ลดลงตั้งแต่เริ่มเติมอากาศ แสดงให้เห็นว่าไม่เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย ซึ่งสอดคล้องกับการยุบตัวของมูลฝอยเล็กน้อยเช่นกัน



รูปที่ 3.11 การเปลี่ยนแปลงค่า DO

และเมื่อเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำชะมูลฝอยของถังที่ 1 ก่อนเข้าและเมื่อออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย พบว่า ค่า DO ของน้ำชะมูลฝอยไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าไม่มีการใช้ออกซิเจนในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ซึ่งอาจเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจนที่ยังการเจริญเติบโต หรือภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยมีปริมาณสารอินทรีย์ย่อยง่ายเหลือเพียงเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับค่า COD ที่ลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นกัน ในขณะที่ค่า DO ของน้ำชะมูลฝอยของถังไม่เติมอากาศ ก่อนเข้าถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยมีค่า DO มากกว่าเมื่อออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ออกซิเจนในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยหรือมีจุลินทรีย์กลุ่มกึ่งใช้ออกซิเจน (Facultative bacteria) ภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย สอดคล้องและสนับสนุนกับผลของการทดลองที่ 1

จากผลการทดลอง จึงสรุปได้ว่า การยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองทั้ง 2 ถังเกิดขึ้นได้ใกล้เคียงกันในช่วง 20 วันแรกของการทดลอง เนื่องจากใช้องค์ประกอบมูลฝอยแบบเดียวกัน มีอัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเท่ากัน และไม่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเช่นเดียวกัน ทำให้เกิดการยุบตัวจากปฏิกิริยาทางกายภาพและชีวภาพใกล้เคียงกัน แต่หลังจากวันที่ 20 เป็นต้นไป พบว่าการยุบตัวของมูลฝอยในถังที่ 1 เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนทำให้สภาวะภายในถังที่ 1 เปลี่ยนแปลงไป (จากค่า DO ที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างชัดเจน) อาจทำให้จุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้ออกซิเจนที่มีอยู่เดิมถูกยับยั้งการเจริญเติบโต ทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง (จากค่า COD ที่ลดลงเพียงเล็กน้อย) ภายหลังจากเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย) หรือแสดงให้เห็นว่า การเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เมื่อเดินระบบไปแล้วระยะหนึ่ง หรือเมื่อสภาวะภายในถัง

จำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเป็นแบบไร้อากาศโดยสมบูรณ์ ไม่สามารถเพิ่มการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ แต่ในส่วนของถังที่ 2 ที่ไม่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดการทดลอง มีการยุบตัวของชั้นมูลฝอยอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากสภาวะภายในถังเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มไม่ใช้อากาศที่มีอยู่เดิมตลอดการทดลอง (จากค่า COD ที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง) ส่งผลเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า มูลฝอยภายในถังที่ 1 ที่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนยุบตัวเพียงร้อยละ 21.3 น้อยกว่าถังที่ 2 ที่ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนที่ยุบตัวได้ร้อยละ 30.7 ซึ่งร้อยละการยุบตัวของมูลฝอยในถังที่ 2 ของการทดลองที่ 2.1 มีความใกล้เคียงกับถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาที่ไม่เติมอากาศของการทดลองที่ 1 (ร้อยละ 33.3) เนื่องจากมูลฝอยอินทรีย์ที่ใช้ในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เป็นเศษอาหาร เศษผักและผลไม้ เช่นเดียวกัน

3.2.2. ผลการทดลองที่ 2.2 การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ตั้งแต่เริ่มต้น ต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

3.2.2.1. คุณสมบัติมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.2

องค์ประกอบและค่าความชื้นของมูลฝอยในถังจำลองหลุมฝังกลบของการทดลองที่ 2.2 ดังแสดงในตารางที่ 3.5 โดยทำการหมักเฉพาะองค์ประกอบหลักที่พบในหลุมฝังกลบมูลฝอย ตามข้อมูลของสำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 (2559) เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2.1 และเมื่อวิเคราะห์ค่าความชื้นพบว่ามูลฝอยอินทรีย์มีค่าความชื้นสูงที่สุดเช่นเดิม

ตารางที่ 3.5 คุณสมบัติของมูลฝอยชุมชนก่อนการทดลองที่ 2.2

องค์ประกอบ	สัดส่วน* (ร้อยละ)	ความชื้น (ร้อยละ)
มูลฝอยอินทรีย์	70	72.24
กระดาษ	9	32.46
พลาสติก	21	17.70

ที่มา : *สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16 (2559)

3.2.2.2. คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.2

คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนเริ่มต้นการทดลองที่ 2.2 ดังแสดงในตารางที่ 3.5 พบว่า น้ำชะมูลฝอยมีค่า DO และ COD ใกล้เคียงกับการทดลองที่ 2.1 เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองที่ 2.2 เป็นเศษผักและผลไม้เช่นเดียวกัน และพบว่าค่า VFA มีค่าสูง และค่า Alkalinity และ TKN มีค่าต่ำ สอดคล้องกับการทดลองที่ 1

ตารางที่ 3.6 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลองที่ 2.2

พารามิเตอร์	น้ำชะมูลฝอยก่อนการทดลอง
DO (mg/L)	0.32 ± 0.03
COD (mg/L)	7,114 ± 137
VFA (mg CH ₃ COOH/L)	2,105 ± 255
ความเป็นด่าง (mg CaCO ₃ /L)	852 ± 16
TKN (mg/L)	676 ± 84

3.2.2.3. ผลการทดลองที่ 2.2

จากการศึกษาผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดเวลาต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยเปรียบเทียบระหว่าง

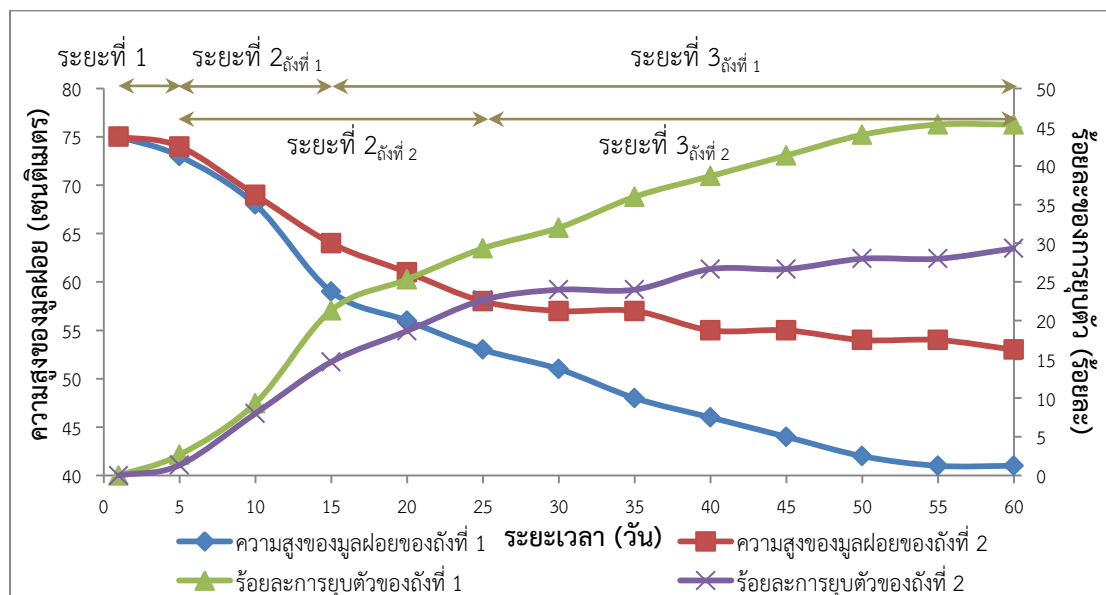
ถังที่ 1 เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น และ

ถังที่ 2 ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ตลอดการทดลอง

โดยทำการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจนกระทั่งค่า COD ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาย่อยสลายสิ้นสุดแล้ว ซึ่งพบว่าใช้เวลาทั้งสิ้น 60 วัน โดยรายละเอียดผลการทดลอง ดังแสดงในภาคผนวก ง และพบการเปลี่ยนแปลงภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ดังนี้

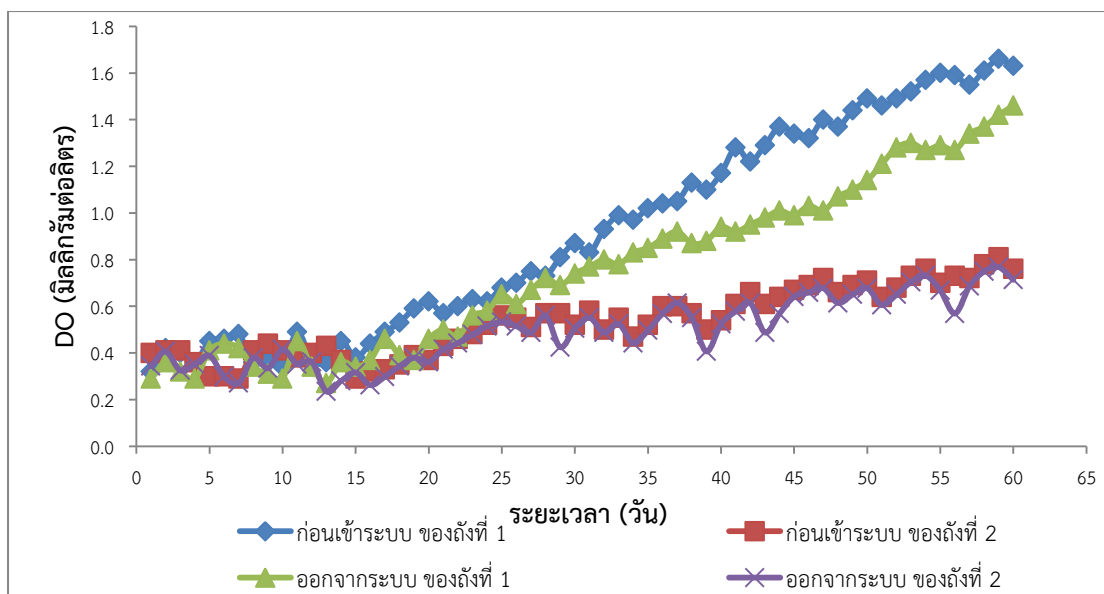
การเปลี่ยนแปลงความสูงของชั้นมูลฝอย ดังแสดงในรูปที่ 3.12 พบว่า มูลฝอยทั้ง 2 ถัง เกิดการยุบตัวอย่างต่อเนื่อง และพบว่าลักษณะการยุบตัวแบ่งออกได้เป็น 3 ระยะ เช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 และ 2.1 โดยระยะที่ 1 ของทั้ง 2 ถัง คือ ช่วงวันที่ 1 – 5 ของการทดลอง ซึ่งพบว่ามูลฝอยภายในถังจำลองที่ 1 และ 2 เกิดการยุบตัวเร็วด้วยอัตรา 0.5 และ 0.25 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ แต่ในระยะที่ 2 ที่เกิดการยุบตัวเร็วมาก พบว่า ถังที่ 1 อยู่ในช่วงวันที่ 5 – 15 ของการทดลอง ในขณะที่ถังที่ 2 อยู่ในช่วงวันที่ 5 – 25 ของการทดลอง แสดงให้เห็นว่า อัตราการยุบตัวของมูลฝอยในถังที่ 1 สูงกว่าถังที่ 2 (อัตรา 1.4 และ 0.8 เซนติเมตรต่อวัน ตามลำดับ) ดังนั้น ถังที่ 1 จึง

เริ่มระยะที่ 3 เร็วกว่าถึงที่ 2 และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ถึงที่ 1 ที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น มีการยุบตัวของมูลฝอย 34 เซนติเมตร (คิดเป็นร้อยละ 45.3) มากกว่าถึงที่ 2 ที่ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ซึ่งมีการยุบตัวของมูลฝอยเพียง 22 เซนติเมตร (คิดเป็นร้อยละ 29.3)



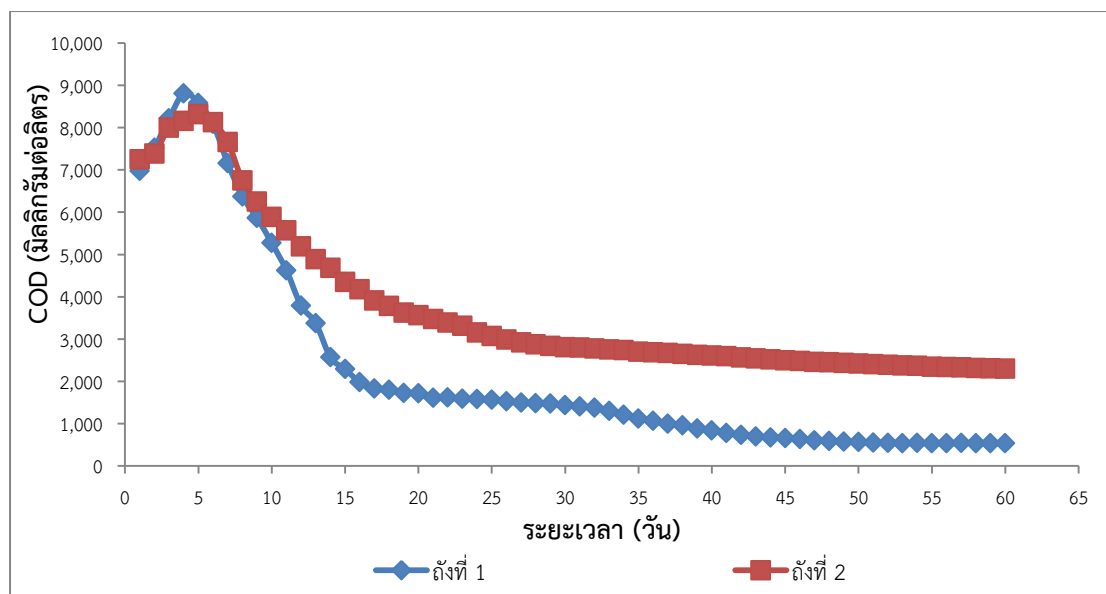
รูปที่ 3.12 ความสูงของมูลฝอยและร้อยละของการยุบตัวของมูลฝอย

โดยการยุบตัวในช่วง 10 วันแรก มีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากดำเนินการทดลอง โดยใช้องค์ประกอบมูลฝอยแบบเดียวกัน อัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเท่ากัน และพบว่าค่า DO ของน้ำชะมูลฝอยของทั้ง 2 ถัง มีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.13 จึงทำให้เกิดการยุบตัวจากปฏิกิริยาทางกายภาพและชีวภาพใกล้เคียงกัน



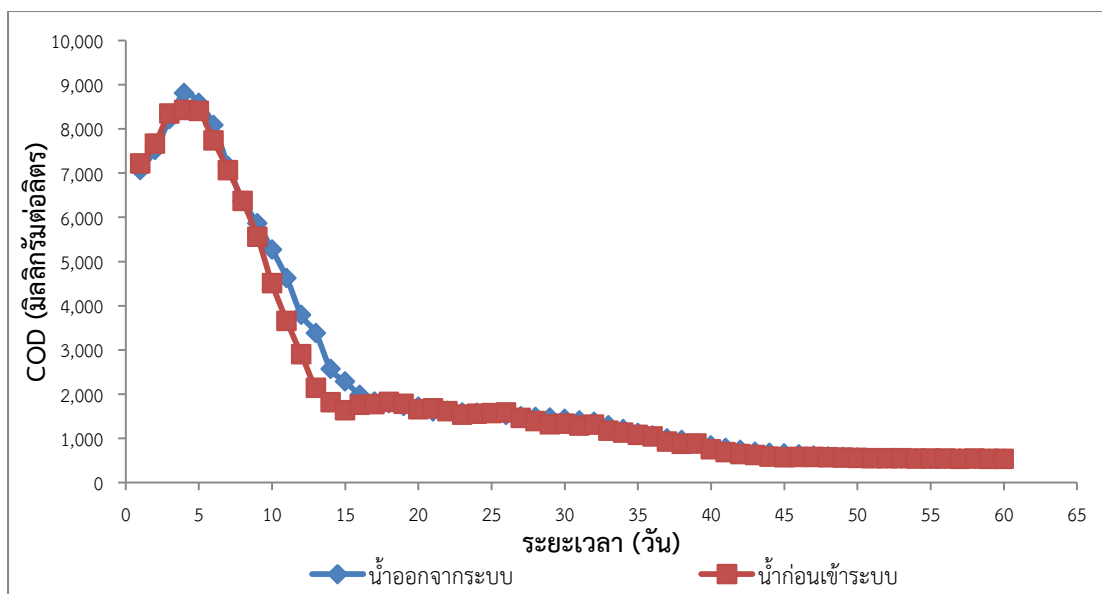
รูปที่ 3.13 การเปลี่ยนแปลงค่า DO

จากนั้นในช่วงวันที่ 10 - 15 ของการทดลอง พบว่า มูลฝอยภายในถังที่ 1 ยุกตัวได้มากกว่าถังที่ 2 อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งอาจเกิดจากปฏิกิริยาทางชีวภาพหรือการย่อยสลายที่แตกต่างกัน โดยพบว่า ค่า DO ของถังที่ 1 มากกว่าถังที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 ซึ่งอาจทำให้เกิดการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มกึ่งใช้อากาศ (Facultative bacteria) ภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่า ดังเห็นได้จากการลดลงอย่างชัดเจนของค่า COD ในน้ำชะมูลฝอยที่ปลายท่อน้ำออกจากถังจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.14 โดยพบว่า ถังที่ 1 มีค่า COD น้อยกว่าถังที่ 2 อย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการยุกตัวของชั้นมูลฝอยที่มากกว่า



รูปที่ 3.14 การเปลี่ยนแปลงค่า COD

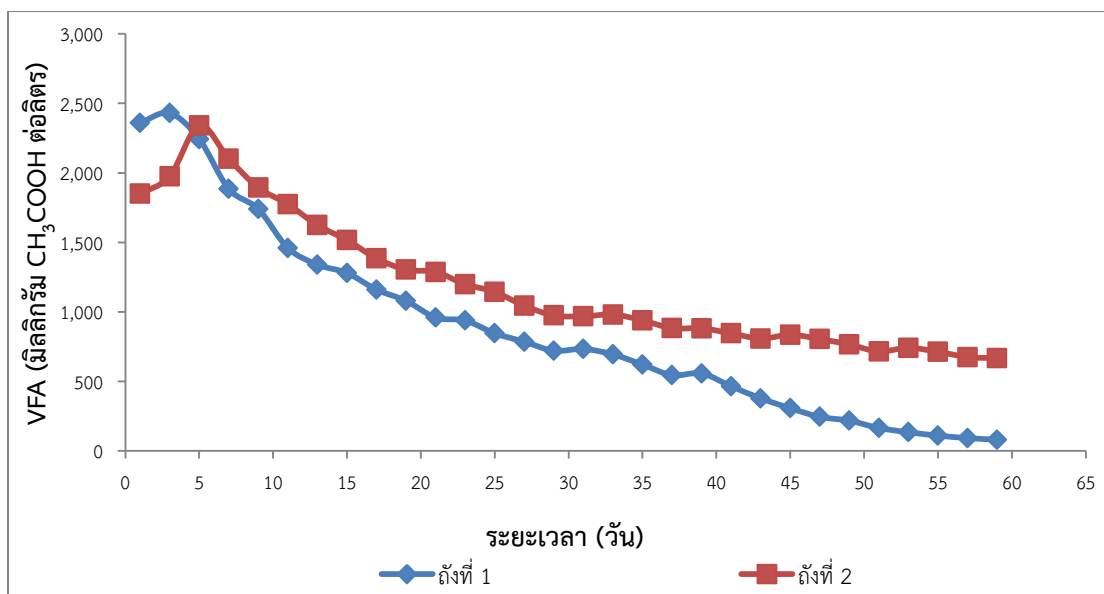
และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ในรูปของ COD ในน้ำชะมูลฝอยของถังเติมอากาศที่อยู่ด้านบนถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยก่อนเข้าถังจำลอง และบริเวณปลายท่อน้ำออกจากถังจำลองของถังที่ 1 ที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น ดังแสดงในรูปที่ 3.15 พบว่า ในช่วงวันที่ 1 – 8 ของการทดลอง ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าและหลังออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแข็งภายในถังจำลองเกิดขึ้นใกล้เคียงกัน จากนั้นในช่วงวันที่ 9 -16 ของการทดลอง ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยหลังออกจากถังจำลองมีค่ามากกว่าก่อนเข้าถังจำลอง แสดงให้เห็นว่าเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแข็งที่อยู่ภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยให้กลายเป็นสารอินทรีย์ละลายน้ำได้มากกว่า และถูกชะละลายออกมากับน้ำชะมูลฝอยได้มากกว่า และตั้งแต่วันที่ 16 ของการทดลองเป็นต้นไป พบว่า ค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยก่อนเข้าและหลังออกจากถังจำลองมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแข็งภายในถังจำลองเกิดขึ้นใกล้เคียงกัน หรืออาจเกิดจากภายในถังจำลองมีปริมาณสารอินทรีย์ของแข็งเหลือเพียงเล็กน้อย โดยทำการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างทุกวัน



รูปที่ 3.15 การเปลี่ยนแปลงค่า COD ของน้ำชะมูลฝอยของถังที่ 1

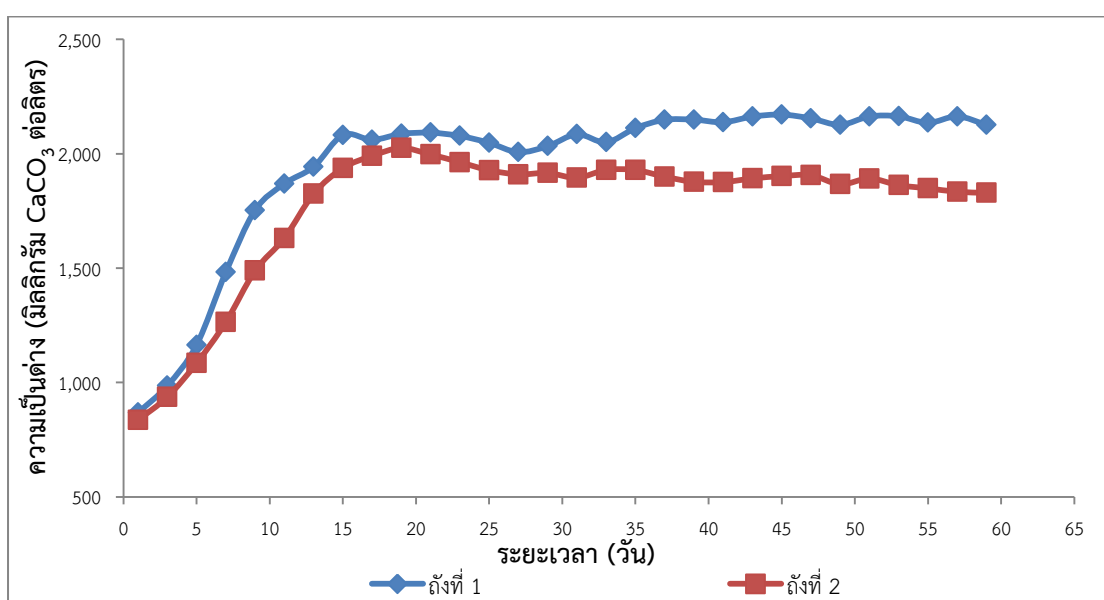
และเมื่อเปรียบเทียบค่า DO ของน้ำชะมูลฝอยจากถังที่ 1 ที่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น ก่อนเข้าและเมื่อออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย พบว่าค่า DO ก่อนเข้าถังจำลองอยู่ในช่วง 0.49 – 1.66 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสูงกว่าออกจากถังจำลอง แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ออกซิเจนในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย หรือสถานะที่เกิดขึ้นในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยมีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มกึ่งใช้อากาศ ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของค่า COD ในขณะที่ค่า DO ของน้ำชะมูลฝอยจากถังที่ 2 ที่ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ก่อนเข้าและเมื่อออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย มีค่าต่างกันเล็กน้อย อาจเกิดจากจุลินทรีย์กลุ่มกึ่งใช้อากาศ ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองที่ 1 และ 2.1 ด้วย

และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยในรูปของ VFA ดังแสดงในรูปที่ 3.16 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่า VFA มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยพบว่า หลังจากวันที่ 5 ของการทดลองเป็นต้นไป ค่า VFA ของถังที่ 1 มีค่าน้อยกว่าถังที่ 2 จนสิ้นสุดการทดลอง แสดงให้เห็นว่าเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงค่า COD เช่นเดียวกัน



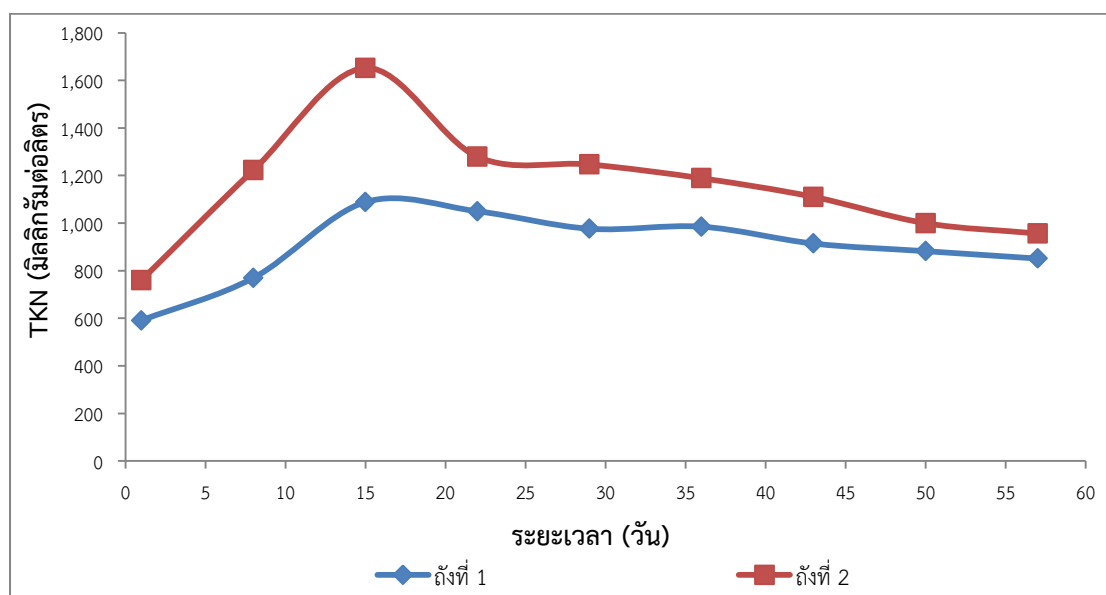
รูปที่ 3.16 การเปลี่ยนแปลงค่า VFA

และจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย ส่งผลให้ค่าความเป็นด่างเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในรูปที่ 3.17 พบว่า ช่วงแรกทั้ง 2 ถึง มีค่าความเป็นด่างใกล้เคียงกัน จากนั้นก็เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง โดยพบว่า ถึงที่ 1 มีค่าความเป็นด่างมากกว่าถึงที่ 2 ซึ่งสอดคล้องกับค่า VFA ของถึงที่ 1 ที่มีค่าน้อยกว่าถึงที่ 2 และการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นด่างที่เกิดขึ้นยังสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างของการทดลองที่ 1 เช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.17 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่าง

นอกจากนี้ยังเห็นได้จากปริมาณไนโตรเจนที่ถูกชะออกมาในน้ำชะมูลฝอยที่แตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.18 โดยพบว่าค่า TKN ในน้ำชะมูลฝอยของทั้ง 2 ถึง ช่วงวันที่ 1 – 15 ของการทดลอง เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด โดยสูงที่สุดในวันที่ 15 ของการทดลอง เนื่องจากเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้กลายเป็น แอมโมเนียมไอออนและถูกชะปนออกมากับน้ำชะมูลฝอย โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนเกิดขึ้นได้ช้ากว่าสารอินทรีย์คาร์บอน สอดคล้องกับการทดลองที่ 1 และพบว่า ค่า TKN ของถังที่ 1 มีค่าต่ำกว่าถังที่ 2 ตลอดการทดลอง เนื่องจากช่วงแรกเมื่อเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ทำให้สารอินทรีย์ไนโตรเจนเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมไอออน พร้อมกันนั้นแอมโมเนียมไอออนที่เกิดขึ้นถูกเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนียและถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ ในขณะที่ถังที่ 2 ช่วงแรกเกิดเฉพาะการย่อยสลายสารอินทรีย์ไนโตรเจนให้กลายเป็นแอมโมเนียมไอออนและถูกชะปนออกมากับน้ำชะมูลฝอยเท่านั้น

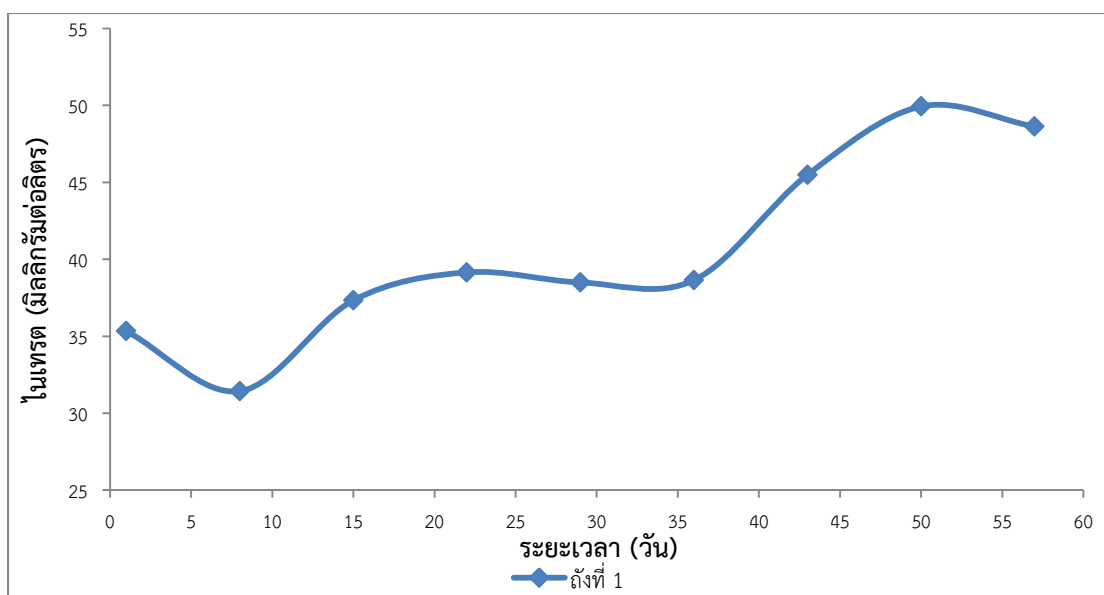
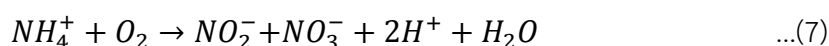


รูปที่ 3.18 การเปลี่ยนแปลงค่า TKN

หลังจากวันที่ 15 จนสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ค่า TKN ของทั้ง 2 ถังลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง เนื่องจากในถังเติมอากาศเกิดปฏิกิริยา Nitrification โดย Nitrifiers เปลี่ยนแอมโมเนียมไอออนให้กลายเป็นไนเตรต ในขณะที่ถังไม่เติมอากาศเกิดปฏิกิริยา Denitrification โดย Denitrifiers เปลี่ยนแอมโมเนียมไอออนให้กลายเป็นก๊าซไนโตรเจนปลดปล่อยสู่บรรยากาศ (Metcalf and Eddy 2004)

และเมื่อวิเคราะห์ค่าปริมาณไนเตรตในน้ำชะมูลฝอยของถังที่ 1 ที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อตรวจสอบการใช้อากาศภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

มูลฝอย โดยพบว่า ในน้ำชะมูลฝอยของถังเติมอากาศมีค่าไนเตรต (NO_3^-) เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.19 แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายจริง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยา Nitrification โดย Nitrifiers จะย่อย NH_4^+ ให้กลายเป็น ไนไตรต์ (NO_2^-) และ ไนเตรต (NO_3^-) ดังสมการที่ 7 (Metcalf and Eddy 2004; Sang et al. 2012) ซึ่ง Nitrifier เป็นจุลินทรีย์ในกลุ่มใช้ออกซิเจน สอดคล้องกับการลดลงของ DO ของน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย แสดงให้เห็นว่ามีการใช้ออกซิเจนละลายในน้ำชะมูลฝอยเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยจริง



รูปที่ 3.19 การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรต

จากผลการทดลอง จึงสรุปได้ว่า มูลฝอยภายในถังที่ 1 ที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น ยุกตัวได้มากกว่าถังที่ 2 ที่ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดการทดลอง เนื่องจากการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยตั้งแต่เริ่มต้น ทำให้สภาวะภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยมีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มกึ่งใช้ออกซิเจน (จากค่า DO และ ไนเตรต ที่เพิ่มขึ้นในน้ำชะมูลฝอย) ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่า (จากค่า COD VFA และ TKN ที่เหลือต่ำกว่าเมื่อสิ้นสุดการทดลอง) ส่งผลให้เกิดการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยที่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น ร้อยละ 45.3 ซึ่งมากกว่าถังที่ 2 ที่ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ที่มีการยุบตัวของมูลฝอยเพียงร้อยละ 29.3 และมากกว่าถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาที่ไม่เติมอากาศของการทดลองที่ 1

(ยุบตัวร้อยละ 33.3) และมากกว่าถึงไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนของการทดลองที่ 2.1 (ยุบตัวร้อยละ 30.7) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

3.3. แนวทางการนำไปประยุกต์ใช้

3.3.1. กรณีที่ 1 การนำไปประยุกต์ใช้กับหลุมฝังกลบเดิม

กรณีที่ทางองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นมีหลุมฝังกลบเดิมอยู่แล้ว และต้องการเพิ่มการยุบตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ วิธีการที่เหมาะสมจากการศึกษาวิจัยนี้ คือ การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อเนื่องตลอดเวลาโดยไม่ต้องเติมอากาศ เพื่อเพิ่มการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ย่อยช้าภายในหลุมฝังกลบ โดยวิธีการประยุกต์ใช้มีดังนี้ (Bilgili et al. 2007; Jun et al. 2007; Erses et al. 2008; Hao et al. 2008; Wu et al. 2014)

- 1.) ในระบบต้องมีบ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอย ในกรณีที่มีบ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอยอยู่แล้ว สามารถประยุกต์ใช้บ่อเดิมที่มีอยู่ได้
- 2.) ติดตั้งปั๊มและท่อสำหรับหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับสู่หลุมฝังกลบ
- 3.) ติดตั้งวาล์วที่บ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอย เพื่อควบคุมการไหลออกของน้ำชะมูลฝอย และให้มีน้ำชะมูลฝอยกักอยู่ภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย
- 4.) เดินระบบหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่หลุมฝังกลบ โดยควบคุมอัตราการไหลของน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่หลุมฝังกลบให้สัมพันธ์กับปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากหลุมฝังกลบ

ข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้ระบบนี้ คือ หลุมฝังกลบต้องมีปริมาณน้ำชะมูลฝอยเพียงพอต่อการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

3.3.2. กรณีที่ 2 การนำไปประยุกต์ใช้เมื่อมีการสร้างหลุมฝังกลบใหม่

วิธีการที่เหมาะสมจากการศึกษาวิจัยนี้ คือ การเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อเร่งปฏิบัติการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เร็ว โดยวิธีการประยุกต์ใช้มีดังนี้ (Bilgili et al. 2007; Jun et al. 2007; Erses et al. 2008; Hao et al. 2008; Wu et al. 2014)

- 1.) ติดตั้งบ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอย ที่มีวาล์วควบคุมการไหลออกของน้ำชะมูลฝอย เพื่อควบคุมการไหลออกของน้ำชะมูลฝอย และให้มีน้ำชะมูลฝอยกักอยู่ภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย
- 2.) สร้างบ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอย เพื่อใช้เติมอากาศและบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น
- 3.) ติดตั้งระบบเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย

- 4.) ติดตั้งปั๊มและท่อสำหรับหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับสู่หลุมฝังกลบ
- 5.) เดินระบบหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่มีการเติมอากาศต่อเนื่องตลอดเวลา กลับสู่หลุมฝังกลบ โดยควบคุมอัตราการไหลให้สัมพันธ์กับปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ออกจากหลุมฝังกลบ

ข้อจำกัดของการประยุกต์ใช้ระบบนี้ คือ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและเดินระบบค่อนข้างสูง แต่การสร้างหลุมฝังกลบใหม่ทำได้ยาก เนื่องจากมีการต่อต้านของประชาชนในพื้นที่โดยรอบ (กรมควบคุมมลพิษ 2560) ดังนั้นการเพิ่มการยุบตัวด้วยวิธีนี้จึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการนำหลุมฝังกลบเดิมกลับมาใช้งานใหม่ให้เร็วที่สุด

บทที่ 4

สรุป และข้อเสนอแนะ

4.1.สรุปผลการวิจัย

บทนี้นำเสนอสรุปผลการประยุกต์การอัดอากาศเข้าสู่หลุมฝังกลบโดยตรงและการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับเข้าสู่หลุมฝังกลบเข้าด้วยกัน โดยการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเข้าถึงจำลองหลุมฝังกลบแทนการอัดอากาศโดยตรง เพื่อเป็นทางเลือกในการเพิ่มการยวบตัวของมูลฝอยภายในหลุมฝังกลบ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า

การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา ส่งผลให้เกิดการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบร้อยละ 33.3 ในขณะที่การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ เกิดการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบร้อยละ 29.3 ซึ่งการยวบตัวที่เกิดขึ้นต่างกันนั้น เนื่องจากถังจำลองที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลามีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเข้าต่อเนื่องตลอดเวลา (0.16 ลิตรต่อนาที) ทำให้มูลฝอยขนาดเล็กเคลื่อนที่ลงสู่ช่องว่างด้านล่างได้มากขึ้น และสารอาหารกระจายตัวได้ดีและจุลินทรีย์มีโอกาสสัมผัสกับสารอาหารได้มากขึ้น ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากขึ้น และพบว่า อุณหภูมิภายในถังที่ 2 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลาลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิห้องในเวลา 20 วัน โดยเร็วกว่าถังที่ 1 ที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ซึ่งกลับมากังในเวลา 59 วัน อาจเนื่องจากการกระจายน้ำชะมูลฝอยด้านบนเหนือชั้นดิน ทำให้น้ำชะมูลฝอยมีโอกาสสัมผัสอากาศและเกิดจุลินทรีย์กลุ่มกึ่งใช้อากาศ (Facultative bacteria) ในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยยากได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าการยวบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบของทั้ง 2 ถังไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อาจเนื่องจากการย่อยสลายเกิดขึ้นภายใต้สภาวะไม่ใช้อากาศหรือกึ่งใช้อากาศเช่นเดียวกัน

จากนั้นจึงศึกษาผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน โดยทำการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดเวลา เมื่อปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยในรูปค่า COD ลดลงต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือสภาวะภายในเป็นแบบไร้อากาศโดยสมบูรณ์ ซึ่งเป็นตัวแทนของหลุมฝังกลบเก่า พบว่า ไม่สามารถเพิ่มการยวบตัวของมูลฝอยจากเดิมได้ เนื่องจากการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน เมื่อสภาวะภายในเป็นแบบไร้อากาศโดยสมบูรณ์ อาจยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์กลุ่มไม่ใช้อากาศที่มีอยู่เดิมในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย ทำให้ย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ลดลง ส่งผลให้ไม่สามารถเพิ่มการยวบตัวของมูลฝอยได้ จึงพบว่า มูลฝอยภายในถังที่มีการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนยวบตัวเพียงร้อยละ 21.3 น้อยกว่าถังที่ไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนที่ยวบตัวได้ร้อยละ 30.7

จากนั้นจึงศึกษาผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดเวลา โดยเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น ซึ่งเป็นตัวแทนของหลุมฝังกลบใหม่ พบว่า ส่งผลให้มูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบยวบตัวร้อยละ 45.3 ในขณะที่มูลฝอยในถังจำลองที่ไม่เติม

อากาศในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดเวลา มีการยุบตัวเพียงร้อยละ 29.3 เนื่องจากการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยตั้งแต่เริ่มต้น ทำให้สภาวะภายในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยมีความเหมาะสมในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในกลุ่มใช้อากาศหรือกึ่งใช้อากาศ ทำให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากกว่า ส่งผลให้เกิดการยุบตัวของมูลฝอยได้มากกว่าการย่อยสลายตามธรรมชาติ

ดังนั้น แนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับหลุมฝังกลบที่มีอยู่เดิม คือ การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อเนื่องตลอดเวลาโดยไม่ต้องเติมอากาศ เพื่อเพิ่มการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ย่อยช้าภายในหลุมฝังกลบ และแนวทางการนำไปประยุกต์ใช้เมื่อมีการสร้างหลุมฝังกลบใหม่ คือ การเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดเวลาตั้งแต่เริ่มต้น เพื่อเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เร็ว

4.2. ข้อเสนอแนะ

1.) ในการทดลองโดยใช้ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยที่ทำจากอะคริลิก ไม่ควรกำหนดความหนาแน่นที่ใช้ในการทดลองที่มีค่าสูง เพราะทำให้เมื่อบรรจุมูลฝอยลงถังจำลองให้มีความหนาแน่นตามต้องการโดยการอัดมูลฝอยลงถังจำลอง ทำให้ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยเกิดการรั่วซึม ไม่สามารถทำการทดลองได้ ต้องใช้เวลาในการซ่อมบำรุง

2.) ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยไม่ควรใช้ปั๊ม peristaltic ในการดูดน้ำเข้าสู่ถังจำลอง เพราะจะเกิดการเสียดสีขึ้นบริเวณสายยางที่ใช้ ทำให้เกิดการรั่วของสายยางจำเป็นต้องเปลี่ยนสายยางซิลิโคนบ่อยครั้ง ควรใช้ปั๊มแบบ Submersible แล้วสร้างถังไว้ด้านบนถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยแทน

3.) การให้น้ำชะไหลผ่านบริเวณดินที่ปิดทับหน้ามูลฝอย เป็นการกรองทำให้อินทรีย์ไม่สามารถผ่านลงไปในถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอยได้มากเท่าที่ต้องการ ควรสอดท่อทะลุผ่านชั้นดินใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเพื่อไม่ให้เกิดการไหลผ่านบริเวณดินปิดทับหน้ามูลฝอย

4.) ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนเท่านั้น สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรศึกษาการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยภายในถังรองรับน้ำชะมูลฝอย โดยไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยกลับเข้าสู่ถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย เพื่อให้ทราบถึงการลดลงของปริมาณสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากการเติมอากาศเท่านั้น

5.) ในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์หลัก ๆ ประกอบด้วย อุณหภูมิ pH VFA DO COD NO_3^- และ TKN ซึ่งไม่สามารถใช้คำนวณสมดุลมวลได้ (Mass balance) งานวิจัยในอนาคตจึงควรทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์เพิ่มเติม อาทิ ปริมาณและองค์ประกอบของก๊าซที่เกิดขึ้น เนื่องจากทำให้ทราบถึงผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายในรูปของก๊าซ เพื่อใช้ยืนยันการย่อยสลาย

ของสารอินทรีย์แล้วถูกเปลี่ยนเป็น CO_2 CH_4 ที่จะถูกปลดปล่อยสู่บรรยากาศ และการวิเคราะห์ของแข็งทั้งหมด (Total Solid) ทั้งก่อนการทดลองและภายหลังสิ้นสุดการทดลอง ทำให้สามารถคำนวณผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายในรูปของของแข็งได้

เอกสารอ้างอิง

- กรมการปกครอง. 2560. จำนวนราษฎรทั่วราชอาณาจักร ตามหลักฐานการทะเบียนราษฎร ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2559. สำนักทะเบียนกลาง กรมการปกครอง.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2557. หลักเกณฑ์และเอกสารวิชาการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะมูลฝอยและของเสียอันตราย. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมควบคุมมลพิษ. 2560. การจัดการมูลฝอยชุมชน. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_garbage.html (สืบค้นเมื่อ 25 กันยายน 2560).
- กรมควบคุมมลพิษ. 2560. รายงานสถานการณ์ขยะมูลฝอยชุมชนของประเทศไทย ปี พ.ศ.2559. ส่วนมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล, สำนักจัดการกากของเสียและสารอันตราย กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2554. โครงการศึกษาศักยภาพขยะจากหลุมฝังกลบเก่าและแนวทางการใช้ประโยชน์พลังงานขยะ. กระทรวงพลังงาน.
- พระราชบัญญัติ การสาธารณสุข (ฉบับที่ 2). 2550. ราชกิจจานุเบกษาฉบับกฤษฎีกา. 114 (ตอนที่ 28 ก), 1-5.
- วิวัฒนา สุนทรเลิศวิช. 2547. ผลของการรดน้ำขยะมูลฝอยต่อมีเทนออกซิเดชันและการผลิตเอ็กซ์ตร้าเซลล์ูลาร์โพลีแซคคาไรด์ในดินกลบทับชั้นสุดท้ายของหลุมฝังกลบมูลฝอยจำลอง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุบัณฑิต นิมรัตน์. 2548. จุลชีววิทยาของน้ำเสีย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- สุกัญญา อติชะ. 2551. ศึกษาการผลิตกรดอินทรีย์ระเหยจากอินทรีย์สารความเข้มข้นสูงของขยะเศษอาหารในระบบถังหมักแบบสองขั้นตอน. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- สุพินดา ชูระเจน. 2544. การเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักเศษผักและผลไม้ไร้อากาศแบบแห้งที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม คณะพลังงานและวัสดุ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 16. 2559. รายงานผลการติดตามและประเมินสมรรถนะระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและระบบกำจัดขยะมูลฝอยชุมชน. สำนักปลัดกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.
- อุดมผล พิชนไพบูลย์, และ โรสนา กาซอ. 2552. เทคนิควิเคราะห์น้ำ น้ำเสียและมูลฝอย. สงขลา: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- อุบลวรรณ นนทพันธุ์. 2543. การเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยเศษอาหารในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Ahmed, F.N., and Lan, C.Q. 2012. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: A review. *Desalination*. 287 : 41–54.
- Andalib, M., Hafez, H., Elbeshbishy, E., Nakhla, G., and Zhu, J. 2012. Treatment of thin stillage in a high-rate anaerobic fluidized bed bioreactor (AFBR). *Bioresource Technology*. 121 : 411–418.
- APHA, AWWA, and WPCF. 2012. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington, DC.

- Bilgili, M.S., Demir, A., and Ozkaya B. 2007. Influence of Leachate recirculation on aerobic and anaerobic decomposition of solid wastes. *Journal of Hazardous Materials*. 143 : 177–183.
- Cossu, R., Morello, L., Raga, R., and Cerminara, G. 2016. Biogas production enhancement using semi-aerobic pre-aeration in a hybrid bioreactor landfill. *Waste Management*. 55 : 83–92.
- Datta, S., and Eastes, L. 2017. Biodegradation in Municipal Solid Waste landfills. Geoenvironmental Engineering : The International Information Center for Geotechnical Engineers. [http://www.geoengineer.org / education / web – based - classprojects / geoenvironmental - engineering / biodegradation-in-municipal-solid-waste-landfills?start=5](http://www.geoengineer.org/education/web-based-classprojects/geoenvironmental-engineering/biodegradation-in-municipal-solid-waste-landfills?start=5) (accessed Retrieved August 6, 2017).
- Erses, A.S., Onay, T.T., & Yenigun. O. 2008. Comparison of aerobic and anaerobic degradation of municipal solid waste in bioreactor landfills. *Bioresour. Technol.* 99 : 5418–5426.
- Hao, Y.-J., Wu, W.-X., Wu, S.-W., Sun, H., and Chen, Y.-X. 2008. Municipal solid waste decomposition under oversaturated condition in comparison with leachate recirculation. *Process Biochemistry*. 43 : 108–112.
- He, R., Wei, X.-M., Tian, B.-H., Su, Y., and Lu, Y.-L. 2015. Characterization of a joint recirculation of concentrated leachate and leachate to landfills with a microaerobic bioreactor for leachate treatment. *Waste Management*. 46 : 380–388
- Jun, D., Yongsheng, Z., Henry, R.K., and Mei, H. 2007. Impacts of aeration and active sludge addition on Leachate recirculation bioreactor. *Journal of Hazardous Materials*. 147 : 240–248.

- Ko, J.H., Yang, F., and Xu, Q. 2016. The impact of compaction and leachate recirculation on waste degradation in simulated landfills. *Bioresource Technology*. 211 : 72–79.
- Mahmud, K., Hossain, M.D., and Shams, S. 2012. Different treatment strategies for highly polluted landfill Leachate in developing countries. *Waste Management*. 32 : 2096–2105.
- Metcalf, and Eddy. 2004. *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. Editions 4. New York : McGraw-Hill.
- Olisa, E., Sapari N., Malakahmad, A., Ezechi, E.H., Riahi, A., Salihi, I.U., and Orji, K.U. 2016. Evaluation of leachate characteristics from different leachate ponds in a semi-aerobic landfill. *International Journal of Engineering Research in Africa*. 22 : 68-82.
- Rafizul, I.M., and Alamgir, M., 2012. Characterization and tropical seasonal variation of leachate: Results from landfill lysimeter studied. *Waste Management*. 32 : 2080-2095.
- Šan, I., and Onay, T.T. 2001. Impact of various leachate recirculation regimes on municipal solid waste degradation. *Journal of Hazardous Materials*. B87 : 259–271.
- Sandip, T.M., Kanchan, K.C., and Ashok, B.H. 2012. Enhancement of methane production and bio-stabilisation of municipal solid waste in anaerobic bioreactor landfill. *Bioresource Technology*. 110 : 10–17.
- Sang, N.N., Soda, S., Ishigaki, T., and Ike, M. 2012. Microorganisms in landfill bioreactors for accelerated stabilization of solid wastes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 114 : 243-250.

- Sponza, D.T., and Ağdağ, O.N. 2004. Impact of leachate recirculation and recirculation volume on stabilization of municipal solid wastes in simulated anaerobic bioreactors. *Process Biochemistry*. 39 : 2157–2165.
- Sun, Y., Wanga, Y.-N., Sun, X., Wu, H., and Zhang, H. 2013. Production characteristics of N₂O during stabilization of municipal solid waste in an intermittent aerated semi-aerobic bioreactor landfill. *Waste Management*. 33 : 2729–2736.
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., and Vigil, S. 1993. *Integrated solid waste management : engineering principles and management issues*. Editions 1993. New York : McGraw-Hill.
- Tittlebaum, M.E. 1982. Organic carbon content stabilization through landfill Leachate recirculation. *J. WPCF*. 54 : 428-433.
- UNEP. 2002. *A Directory of Environmentally Sound Technologies for the Integrated Management of Solid, Liquid and Hazardous Waste for Small Island Developing States (SIDS) in the Pacific Region*. The Hague: United Nations Environment Programme (UNEP).
- Wang K., Wu D.J., Chen J.X., Miao L., Peng Y.Z., and Wang S.Y. 2016. The influential factors of landfill leachate advanced nitrogen removal by SBR. *China Environmental Science*. 36 : 3287-3294.
- Wu, C., Shimaoka, T., Nakayama, H., Komiya, T., Chai, X., and Hao, Y. 2014. Influence of aeration modes on leachate characteristic of landfills that adopt the aerobic–anaerobic landfill method. *Waste Management*. 34 : 101–111.

Zhang, S., Long, Y., Fang, Y., Du, Y., Liu, W., and Shen, D. 2017. Effects of aeration and leachate recirculation on methyl mercaptan emissions from landfill. *Waste Management*.

ภาคผนวก ก วิธีวิเคราะห์

ความชื้น (อุดมผล พีชนิไพบูลย์ และ โรสนา กาซอ 2551)

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตู้อบ (Hot air oven)
2. ถ้วยอะลูมิเนียม
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก

วิธีดำเนินการ

1. ทำการสุ่มตัวอย่างประมาณ 50 กรัม ใส่ถ้วยอะลูมิเนียม แล้วชั่งน้ำหนัก
2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 75 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 4 วัน
3. นำไปใส่ตู้ดูดความชื้น เป็นเวลา 20 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก
4. คำนวณหาคความชื้น จากสูตร

$$\text{ความชื้น (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ}} \times 100$$

ปริมาณของแข็งระเหย (อุดมผล พีชนิไพบูลย์ และ โรสนา กาซอ 2551)

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตู้อบ (Hot air oven)
2. ถ้วยทนความร้อน
3. เครื่องชั่งน้ำหนัก

วิธีดำเนินการ

1. ทำการสุ่มตัวอย่างประมาณ 50 กรัม ใส่ถ้วยทนความร้อน แล้วชั่งน้ำหนัก
2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 – 4 วัน
3. นำไปใส่ตู้ดูดความชื้น เป็นเวลา 20 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก
4. นำไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
5. นำไปใส่ตู้ดูดความชื้น เป็นเวลา 20 นาที แล้วชั่งน้ำหนัก
6. คำนวณหาคความชื้น จากสูตร

$$\text{ของแข็งระเหย (ร้อยละ)} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา} - \text{น้ำหนักตัวอย่างหลังเผา})}{\text{น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา}} \times 100$$

อุณหภูมิตัว (Thermometer)

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องวัดอุณหภูมิ

วิธีดำเนินการ

1. ในช่วงที่บรรจุมูลฝอยลงถึงจําลองหลุมฝังกลบมูลฝอย
2. ใส่ probe วัดอุณหภูมิและความชื้นเข้าในในระบบ พร้อมกับมูลฝอย
3. อ่านค่าที่หน้าจอ และบันทึกผล

กรดอินทรีย์ระเหย (สุกัญญา อดิษะ 2551)

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. บิวเรตต์ขนาด 25 มิลลิลิตร
3. แท่งแม่เหล็กขนาด 1 นิ้ว
4. Hot plate stirrer
5. pH meter

สารเคมี

1. Sulfuric acid solution 0.1 N : ตวง 2.8 มิลลิลิตร conc.H₂SO₄ ปรับปริมาตรให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
2. Sodium hydroxide solution 0.1 N : NaOH 4 กรัม ทำให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

วิธีดำเนินการ

1. ตวงน้ำตัวอย่าง 25 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ 250 มิลลิลิตร
2. ใส่แท่งแม่เหล็กขนาด 1 นิ้ว ลงในขวดรูปชมพู่
3. น้ำขวดรูปชมพู่ไปให้ความร้อนบน Hot plate stirrer พร้อมทั้งเปิดแม่เหล็กให้ แท่งแม่เหล็กกวนผสมน้ำตัวอย่าง

4. ไทเทรตด้วย Sulfuric acid solution 0.1 N จนมีค่า pH เท่ากับ 3.0
5. ต้มให้เดือด จนเหลือปริมาณ 25 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
6. ไทเทรตด้วย Sodium hydroxide solution 0.1 N จนค่า pH เท่ากับ 4.0 จดปริมาตรเริ่มต้น
7. ไทเทรตต่อไป จนค่า pH เท่ากับ 7.0 จดปริมาตรยุติ
8. คำนวณหาค่ากรดอินทรีย์ระเหย จากสูตร

$$VFA \text{ (mg/L)} = \frac{[(F - R) \times 0.1 \times 50 \times 1,000]}{V}$$

โดยที่ R คือ ปริมาตรที่ใช้ NaOH ในการไทเทรตจน pH เท่ากับ 4.0
 F คือ ปริมาตรที่ใช้ NaOH ในการไทเทรตจน pH เท่ากับ 7.0
 V คือ ปริมาณตัวอย่าง

pH (อุดมผล พีชนิไพบูลย์ และ โรสนา กาซอ 2551)

วัสดุและอุปกรณ์

1. pH meter
2. ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีดำเนินการ

1. ตวงน้ำตัวอย่างประมาณ 50 – 100 มิลลิลิตร ใส่ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ใช้ probe ของ pH meter จุ่มลงในน้ำตัวอย่าง
3. อ่านค่าที่ได้จากหน้าจอ บันทึกข้อมูล

การนำไฟฟ้า (อุดมผล พีชนิไพบูลย์ และ โรสนา กาซอ 2551)

วัสดุและอุปกรณ์

1. Conductivity meter
2. ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีดำเนินการ

1. ตวงน้ำตัวอย่างประมาณ 50 – 100 มิลลิลิตร ใส่ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ใช้ probe ของ Conductivity meter จุ่มลงในน้ำตัวอย่าง
3. อ่านค่าที่ได้จากหน้าจอ บันทึกข้อมูล

การยวบตัวของมูลฝอย

วัสดุและอุปกรณ์

1. ตลับเมตร ยาว 100 เมตร

วิธีดำเนินการ

1. เมื่อเดินระบบการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย / ไม่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย
2. ใช้ตลับเมตรวัดการยวบตัวของมูลฝอย ตั้งแต่เหนือชั้นกรวด จนถึงชั้นดินปิดทับหน้ามูลฝอย
3. จดบันทึกค่าการยวบตัวของมูลฝอย

COD (อุคมผล พีชนิไฟบูลย์ และ โรสนา กาชอ 2551)

วัสดุและอุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 25 และ 50 มิลลิลิตร
2. หลอด COD ขนาด 10 มิลลิลิตร
3. เตาย่อยตัวอย่าง (Digestion block)
4. บิวเรตต์ขนาด 25 มิลลิลิตร

สารเคมี

1. Potassium dichromate solution 0.01667 M : $K_2Cr_2O_7$ 4.903 กรัม (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง) ละลายในน้ำกลั่น 500 มิลลิลิตร เติม 167 มิลลิลิตร conc. H_2SO_4 ชั่ง 33.3 กรัม $HgSO_4$ ละลาย ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2. Sulfuric acid solution : ผสม Ag_2SO_4 และ conc. H_2SO_4 ในสัดส่วน 5.5 กรัมของ Ag_2SO_4 ต่อ 1 กิโลกรัมของ conc. H_2SO_4 ตั้งทิ้งไว้ 2 – 3 วัน ก่อนนำมาใช้งาน
3. Ferriin indicator solution : ละลาย 1,10 O-phenantroline monohydrate 1.485 กรัม ในน้ำปราศจากไอออน และเติม FAS 1 M 8 มิลลิลิตร ก่อนปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร ละลายสารนี้ โดยใช้แฟกเตอร์ 5(1+4)
4. Ferrous ammonium sulfate hexahydrate solution (FAS) 0.1 M : ละลาย 39.2 กรัม $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ในน้ำกลั่น เติม 20 มิลลิลิตร conc. H_2SO_4 และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร

วิธีดำเนินการ

1. ปิเปตน้ำตัวอย่าง 2.5 มิลลิลิตร ลงในหลอด COD

2. เติม Potassium dichromate solution 0.01667 M 1.5 มิลลิลิตร
3. เติม Sulfuric acid solution 3.5 มิลลิลิตร ปิดฝาและเขย่าให้เข้ากัน
4. นำไปย่อยที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ใน Digestion block เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
5. เทสารละลายใส่ขวดรูปชมพู่ขนาด 25 มิลลิลิตร หยด Ferroin indicator solution 2 – 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน
6. ไทเทรตด้วย FAS ซึ่งจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียว เป็นสีแดงอิฐ
7. จดปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต
8. คำนวณหาค่า COD จากสูตร

$$\text{COD (mg/L)} = \frac{[(B - S) \times M \times 8,000]}{V}$$

โดยที่ B คือ ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับแบลنگก์
 S คือ ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง
 M คือ ความเข้มข้นของ FAS
 V คือ ปริมาณตัวอย่าง

FAS สามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศได้ จึงทำให้ความเข้มข้นของ FAS ลดลงเรื่อย ๆ จำเป็นจะต้องหาความเข้มข้นของ FAS การหาความเข้มข้นของ FAS ทำได้ดังนี้

1. ปิเปต Potassium dichromate solution 0.01667 M 5 มิลลิลิตร ลงขวดรูปชมพู่ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. เติมน้ำกลั่น 10 มิลลิลิตร ทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
3. หยด Ferroin indicator solution 2 – 3 หยด เขย่าให้เข้ากัน
4. ไทเทรตด้วย FAS ซึ่งจุดยุติ สารละลายจะเปลี่ยนจากสีเขียว เป็นสีแดงอิฐ
5. จดปริมาตรที่ใช้ในการไทเทรต
6. คำนวณหาคความเข้มข้นของ FAS ได้จากสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของ FAS (M)} = \frac{5}{F} \times 0.1$$

โดยที่ F คือ ปริมาณ FAS ที่ใช้

เจลตาท์ล - ไนโตรเจนทั้งหมด (อุดมผล พีชนิไพบูลย์ และ โรสนา กาชอ 2551)

วัสดุและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม
2. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

3. บิวเรตต์ขนาด 25 มิลลิลิตร
4. ปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
5. กระบอกตวงขนาด 100 มิลลิลิตร
6. ขวดปรับปริมาตรขนาด 100 และ 1,000 มิลลิลิตร
7. ขวด Kjeldahl flask
8. เตาย่อยตัวอย่าง (Digestion block)
9. เครื่องกลั่น (Nitrogen distillation apparatus)
10. เม็ดแก้ว

สารเคมี

1. Mercuric sulfate solution : HgO 8 กรัม ละลายใน 100 มิลลิลิตร 6 N H₂SO₄
2. Digestion reagent : ชั่ง K₂SO₄ 134 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 650 มิลลิลิตร เติม 200 มิลลิลิตร conc.H₂SO₄ และเติม 25 มิลลิลิตร Mercuric sulfate solution เจือจางจนได้ปริมาตร 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
3. Sodium hydroxide-sodium thiosulfate reagent : ชั่ง NaOH 500 กรัม และ Na₂S₂O₃·5H₂O 25 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 1 ลิตร
4. Borate buffer solution : ตวง NaOH 0.1 N 88 มิลลิลิตร เติม 0.025 M Na₂B₄O₇ 500 มิลลิลิตร (ชั่ง 9.5 กรัม Na₂B₄O₇ 10H₂O เติมน้ำกลั่นให้เป็น 1 ลิตร) ทำให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น
5. Sodium hydroxide solution 6 N : NaOH 240 กรัม ทำให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น
6. Mixed indicator solution : ชั่ง Methylene blue 100 มิลลิกรัม ละลายใน 50 มิลลิลิตร Ethyl alcohol 95% นำสารละลายทั้ง 2 มาผสมกัน
7. Indicating boric acid solution : ชั่ง H₃BO₃ 20 กรัม เติม 10 มิลลิลิตร Mixed indicator solution ทำให้เป็น 1 ลิตรด้วยน้ำกลั่น

วิธีดำเนินการ

1. นำน้ำตัวอย่าง 50 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Kjeldahl flask เติม 10 มิลลิลิตร Digestion reagent ใส่เม็ดแก้ว 3 – 4 เม็ด
2. Digest (ย่อยที่อุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส) จนเหลือตัวอย่างประมาณ 20 มิลลิลิตร และมีควันขาวเกิดขึ้น ย่อยต่ออีก 30 นาที ปิดเครื่อง ปล่องทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร และ 10 มิลลิลิตร Sodium hydroxide-sodium thiosulfate reagent
4. เติม 5 มิลลิลิตร Borate buffer solution และปรับ pH ด้วย 2 มิลลิลิตร NaOH 6 N (pH > 9.5) นำไปใส่เครื่องกลั่น
5. เติม 10 มิลลิลิตร Indicating boric acid solution ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปใส่เครื่องกลั่นพร้อมกับ Kjeldahl flask

6. สังเกตปริมาตรในขวดรูปชมพู่ ให้ได้ปริมาตรรวมอย่างน้อย 80 มิลลิลิตร จะเปลี่ยนจากสีม่วงเป็นสีเขียว วางให้เย็นแล้วนำมาไทเทรตด้วย H_2SO_4 0.02 N จนกระทั่งเป็นสีม่วง

$$TKN (mg/L) = \frac{(A - B) \times 0.28 \times 1000}{V}$$

- โดยที่
- A คือ ปริมาตรที่ใช้ H_2SO_4 ในการไทเทรตตัวอย่าง
 - B คือ ปริมาตรที่ใช้ H_2SO_4 ในการไทเทรตแบลนก์
 - V คือ ปริมาตรตัวอย่าง

ออกซิเจนละลาย (DO Meter)

วัสดุและอุปกรณ์

1. DO meter
2. ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร

วิธีดำเนินการ

1. ตวงน้ำตัวอย่างประมาณ 50 – 100 มิลลิลิตร ใส่ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ใช้ probe ของ DO meter จุ่มลงในน้ำตัวอย่าง
3. อ่านค่าที่ได้จากหน้าจอ บันทึกข้อมูล

วิธีการคำนวณอัตราการเติมอากาศ

$$\frac{\text{อัตราการเติมอากาศ}}{(L/d \cdot kg_{waste})} = \frac{\text{อัตราการเติมอากาศ}(L/d)}{\text{ความจุของถังจำลอง}(m^3) \times \text{ความหนาแน่นของมูลฝอย}(kg/m^3)}$$

การทดลองที่ 2.1 และ 2.2

- โดยที่
- ความจุของถังจำลองหลุมฝังกลบมูลฝอย $0.4 \times 0.4 \times 0.75 = 0.12$ ลูกบาศก์เมตร
 - ความหนาแน่นของการบรรจุมูลฝอย เท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

1.) อัตราการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.1

วิธีคำนวณ

อัตราการเติมอากาศ 0.8 ลิตรต่อนาที หรือ 1,152 ลิตรต่อวัน

$$\text{อัตราการเติมอากาศ} = \frac{1,152(L/d)}{0.12(m^3) \times 250(kg/m^3)}$$

$$\therefore \text{อัตราการหมุนเวียนน้ำชะ} = 38.4 (L/d \cdot kg_{waste})$$

2.) อัตราการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอย ของการทดลองที่ 2.2

วิธีคำนวณ

อัตราการเติมอากาศ 1.5 ลิตรต่อนาที หรือ 2,160 ลิตรต่อวัน

$$\text{อัตราการเติมอากาศ} = \frac{2,160(L/d)}{0.12(m^3) \times 250(kg/m^3)}$$

$$\therefore \text{อัตราการหมุนเวียนน้ำชะ} = 72 (L/d \cdot kg_{waste})$$

การทดลองที่ 2.1 และ 2.2

โดยที่ ความหนาแน่นของการบรรจุมูลฝอย เท่ากับ 250 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.) อัตราการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยตลอดเวลา

วิธีคำนวณ

อัตราการไหล 150 มิลลิลิตรต่อนาที หรือ 216 ลิตรต่อวัน

$$\text{อัตราการหมุนเวียน} = \frac{216(L/d)}{0.12(m^3) \times 250(kg/m^3)}$$

$$\therefore \text{อัตราการหมุนเวียน} = 7.2 (L/d \cdot kg_{waste})$$

ภาคผนวก ข
ข้อมูลดิบจากการทดลองที่ 1

เปรียบเทียบผลของความถี่ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถัง
จำลองหลุมฝังกลบ

เปรียบเทียบผลของความถี่ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ระหว่าง การหมุนเวียนน้ำ
ชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ และการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อเนื่องตลอดเวลา

ตารางภาคผนวกที่ ข-1 ความสูงของชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 1

ความสูงของชั้นมูลฝอย (เซนติเมตร) ของการทดลองที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์	ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตลอดเวลา
1	75	75
5	74	74
10	71	70
15	69	67
25	59	54
35	56	53
45	55	52
55	55	52
65	54	51
75	54	51
85	53	50

ตารางภาคผนวกที่ ข-2 VFA ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1

VFA ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัม CH_3COOH ต่อลิตร) ของการทดลองที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตลอดเวลา
5	3,052	2,796
12	1,450	2,064
19	1,275	1,120
26	1,175	1,438
33	925	745
40	875	706
47	850	519
54	725	377
61	674	381
68	525	325
75	475	286
82	375	225

ตารางภาคผนวกที่ ข-3 Conductivity ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1

Conductivity ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิซีเมนต์ต่อเซนติเมตร) ของการทดลองที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตลอดเวลา
5	16.85	16.79
12	17.31	17.77
19	14.04	14.37
26	11.44	12.05
33	13.10	11.98
40	10.97	9.92
47	10.82	10.41
54	10.84	10.13
61	10.45	8.31
68	10.12	7.47
75	8.68	5.44
82	7.90	5.27

ตารางภาคผนวกที่ ข-4 pH ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1

pH ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์	ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตลอดเวลา
5	5.72	5.71
12	6.4	6.21
19	6.21	5.52
26	6.59	5.64
33	6.21	6.42
40	6.34	7.46
47	7.31	7.35
54	7.31	7.22
61	7.56	7.37
68	7.5	7.4
75	7.6	7.62
82	7.44	7.58

ตารางภาคผนวกที่ ข-5 ความเป็นต่างในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1

ความเป็นต่างในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัม CaCO ₃ ต่อลิตร) ของการทดลองที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์	ถังที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตลอดเวลา
5	200	210
12	856	734
19	814	527
26	928	692
33	872	1,284
40	1,162	1,645
47	1,882	2,257
54	2,421	2,401
61	2,402	2,569
68	2,417	2,482
75	2,502	2,538
82	2,569	2,524

ตารางภาคผนวกที่ ข-6 TKN ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1

TKN ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ครั้งต่อสัปดาห์	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตลอดเวลา
5	55	74
12	253	272
19	225	164
26	147	102
33	122	75
40	122	213
47	258	217
54	174	196
61	168	185
68	159	167
75	135	134
82	108	101

ตารางภาคผนวกที่ ข-7 COD ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 1

COD ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ครั้งต่อสัปดาห์	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตลอดเวลา
5	38,041	42,318
12	72,286	81,851
19	54,737	58,349
26	48,264	44,234
33	56,316	54,824
40	58,947	59,947
47	58,947	65,142
54	52,316	56,526
61	47,747	43,824
68	38,105	30,657
75	32,167	19,705
82	24,631	12,681

ตารางภาคผนวกที่ ข-8 อุณหภูมิภายในชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 1

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของการทดลองที่ 1			
จำนวนวัน (วัน)	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูล ฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะ มูลฝอยตลอดเวลา	อุณหภูมิภายในห้อง ทดลอง (บรรยากาศ)
1	33.0	33.1	28.1
2	35.7	35.9	31.0
3	41.5	41.4	30.0
4	40.7	38.9	29.4
5	40.0	38.0	29.0
6	39.2	40.3	29.3
7	38.8	39.7	28.4
8	39.0	35.6	29.1
9	37.1	34.6	26.9
10	35.0	33.0	28.2
11	35.7	33.8	28.4
12	34.1	33.4	26.4
13	34.6	33.4	28.3
14	35.1	32.3	29.2
15	34.0	32.3	29.3
16	33.0	31.7	29.1
17	33.4	30.3	29.2
18	35.1	30.3	29.2
19	32.1	29.8	29.3
20	32.0	29.0	29.0
21	33.1	29.1	30.0
22	33.0	28.4	30.1
23	33.2	28.8	29.8
24	33.4	28.9	30.6
25	33.0	29.0	30.0
26	33.5	28.9	29.7
27	33.6	28.9	29.4
28	33.5	29.0	28.0
29	33.4	29.5	29.0
30	33.5	29.0	28.1

ตารางภาคผนวกที่ ข-8 อุณหภูมิภายในชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 1 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของการทดลองที่ 1			
จำนวนวัน (วัน)	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูล ฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะ มูลฝอยตลอดเวลา	อุณหภูมิภายในห้อง ทดลอง (บรรยากาศ)
31	33.5	28.9	28.2
32	33.6	28.4	27.9
33	33.5	27.4	26.8
34	33.5	27.5	27.0
35	32.0	27.1	27.0
36	32.5	27.3	26.8
37	32.4	27.1	27.3
38	32.8	27.4	26.9
39	32.7	27.3	27.0
40	33.0	27.5	26.5
41	32.9	27.4	28.0
42	32.7	27.5	28.2
43	32.4	27.8	27.3
44	31.9	27.7	28.6
45	31.7	27.5	28.0
46	31.6	27.4	28.0
47	31.3	27.9	29.0
48	31.4	27.0	28.1
49	31.2	27.3	28.2
50	31.5	27.2	27.9
51	30.9	27.2	28.1
52	30.6	27.6	31.0
53	30.7	27.5	30.0
54	30.4	27.2	29.4
55	30.0	27.3	29.0
56	29.7	27.2	29.3
57	29.3	27.0	30.0
58	28.6	27.2	29.1
59	27.9	27.2	26.9
60	27.8	27.3	31.0

ตารางภาคผนวกที่ ข-8 อุณหภูมิภายในชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 1 (ต่อ)

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส) ของการทดลองที่ 1			
จำนวนวัน (วัน)	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะมูล ฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์	ถึงที่หมุนเวียนน้ำชะ มูลฝอยตลอดเวลา	อุณหภูมิภายในห้อง ทดลอง (บรรยากาศ)
61	27.5	27.2	30.0
62	27.2	27.2	29.0
63	27.1	27.0	29.4
64	27.1	27.0	28.2
65	27.2	27.3	29.0
66	27.1	27.4	29.4
67	27.1	27.1	27.3
68	27.3	27.2	28.6
69	27.1	27.0	28.0
70	27.3	27.2	29.0
71	27.1	27.0	28.0
72	27.1	27.0	27.0
73	27.3	27.1	27.3
74	27.9	27.7	28.6
75	27.9	27.7	28.0
76	27.8	27.7	28.0
77	28.8	28.6	29.0
78	29.3	29.1	30.0
79	28.8	27.6	29.0
80	28.3	28.0	29.4
81	28.4	28.0	28.2
82	28.3	28.5	29.0
83	29.2	28.8	29.5
84	29.4	28.8	28.6
85	30.1	29.2	27.9

ภาคผนวก ค
ข้อมูลดิบจากการทดลองที่ 2.1

เปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ เมื่อค่า COD ต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร

การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ เมื่อค่า COD ต่ำกว่า 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และการไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมუნเวียนตลอดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ ค-1 COD ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.1

COD ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.1		
จำนวนวัน (วัน)	ถังเติมอากาศ	ถังไม่เติมอากาศ
1	7,246	6,868
2	7,518	7,462
3	7,883	7,809
4	7,261	6,879
5	6,758	6,502
6	6,137	6,024
7	5,746	5,500
8	5,185	5,206
9	4,759	4,881
10	4,437	4,498
11	3,951	4,273
12	3,811	3,936
13	3,530	3,711
14	3,249	3,036
15	2,912	2,986
16	2,869	2,758
17	2,607	2,586
18	2,645	2,441
19	2,587	2,332
20	2,433	2,251

ตารางภาคผนวกที่ ค-1 COD ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.1 (ต่อ)

COD ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.1		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ	ถึงไม่เต็มอากาศ
21	2,389	2,038
22	2,343	1,819
23	2,285	1,762
24	2,240	1,656
25	2,245	1,672
26	2,307	1,667
27	2,345	1,691
28	2,282	1,539
29	2,337	1,546
30	2,370	1,473
31	2,366	1,437
32	2,345	1,441
33	2,346	1,393
34	2,360	1,363
35	2,302	1,329
36	2,365	1,290
37	2,310	1,229
38	2,333	1,190
39	2,333	1,186
40	2,302	1,175
41	2,311	1,160
42	2,333	1,169

ตารางภาคผนวกที่ ค-2 ความสูงของชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 2.1

ความสูงของชั้นมูลฝอย (เซนติเมตร)ของการทดลองที่ 2.1		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ	ถึงไม่เต็มอากาศ
1	75	75
4	74	74
8	69	68
12	64	65
16	62	61
20	61	58
24	60	56
28	60	55
32	60	53
36	59	53
40	59	52

ตารางภาคผนวกที่ ค-3 DO ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.1

DO ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.1				
จำนวนวัน (วัน)	ถังเติมอากาศ		ถังไม่เติมอากาศ	
	ก่อนเข้าถังจำลอง	ออกจากถังจำลอง	ก่อนเข้าถังจำลอง	ออกจากถังจำลอง
1	0.26	0.25	0.34	0.27
2	0.31	0.32	0.29	0.36
3	0.35	0.34	0.31	0.41
4	0.30	0.28	0.39	0.39
5	0.26	0.16	0.43	0.42
6	0.28	0.19	0.37	0.28
7	0.35	0.32	0.40	0.35
8	0.38	0.36	0.31	0.36
9	0.33	0.34	0.40	0.32
10	0.36	0.37	0.39	0.33
11	0.28	0.25	0.32	0.34
12	0.36	0.31	0.35	0.33
13	0.35	0.32	0.35	0.39
14	0.29	0.28	0.37	0.27
15	0.31	0.29	0.44	0.33
16	0.31	0.30	0.40	0.39
17	0.33	0.29	0.41	0.30
18	0.39	0.34	0.49	0.41
19	0.36	0.24	0.45	0.36
20	1.05	1.03	0.44	0.37
21	1.14	1.12	0.36	0.38
22	1.20	1.15	0.39	0.37
23	1.26	1.21	0.39	0.43
24	1.38	1.35	0.46	0.46
25	1.40	1.32	0.55	0.51
26	1.50	1.47	0.49	0.41
27	1.56	1.53	0.41	0.43
28	1.63	1.59	0.44	0.41
29	1.65	1.59	0.44	0.41
30	1.69	1.62	0.46	0.43

ตารางภาคผนวกที่ ค-3 DO ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.1

DO ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.1				
จำนวนวัน (วัน)	ถังเติมอากาศ		ถังไม่เติมอากาศ	
	ก่อนเข้าถังจำลอง	ออกจากถังจำลอง	ก่อนเข้าถังจำลอง	ออกจากถังจำลอง
31	1.74	1.71	0.49	0.46
32	1.79	1.75	0.49	0.46
33	1.87	1.83	0.52	0.46
34	1.92	1.88	0.61	0.48
35	1.95	1.91	0.49	0.46
36	1.99	1.95	0.49	0.36
37	2.04	2.00	0.52	0.38
38	2.08	2.04	0.61	0.46
39	2.14	2.10	0.57	0.48
40	2.16	2.12	0.52	0.38
41	2.18	2.14	0.61	0.54
42	2.19	2.15	0.57	0.44

ภาคผนวก ง
ข้อมูลดิบจากการทดลองที่ 2.2

เปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน ตั้งแต่เริ่มต้น ต่อการยุบตัวของมูลฝอยภายในถังจำลองหลุมฝังกลบ

การเปรียบเทียบผลของการเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียน โดยเติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตั้งแต่เริ่มต้น และการไม่เติมอากาศลงในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนตลอดการทดลอง

ตารางภาคผนวกที่ ง-1 ความสูงของชั้นมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2

ความสูงของชั้นมูลฝอย (เซนติเมตร) ของการทดลองที่ 2.2		
จำนวนวัน (วัน)	ถังเติมอากาศ	ถังไม่เติมอากาศ
1	75	75
5	73	74
10	68	69
15	59	64
20	56	61
25	53	58
30	51	57
35	48	57
40	46	55
45	44	55
50	42	54
55	41	54
60	41	53

ตารางภาคผนวกที่ ง-2 DO ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2

DO ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.2		
จำนวนวัน (วัน)	ถังเติมอากาศ	ถังไม่เติมอากาศ
1	0.29	0.34
2	0.36	0.41
3	0.32	0.33
4	0.29	0.35
5	0.41	0.39
6	0.44	0.30
7	0.42	0.27
8	0.34	0.38
9	0.31	0.33
10	0.29	0.42
11	0.45	0.35
12	0.34	0.36
13	0.27	0.23
14	0.36	0.28
15	0.34	0.32
16	0.37	0.26
17	0.46	0.30
18	0.39	0.34
19	0.37	0.38
20	0.46	0.36
21	0.50	0.42
22	0.47	0.44
23	0.56	0.48
24	0.58	0.51
25	0.65	0.53
26	0.61	0.51
27	0.67	0.49
28	0.72	0.56
29	0.69	0.42
30	0.74	0.51

ตารางภาคผนวกที่ ง-2 DO ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2 (ต่อ)

DO ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.2		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ	ถึงไม่เต็มอากาศ
31	0.77	0.55
32	0.80	0.49
33	0.78	0.52
34	0.83	0.44
35	0.85	0.50
36	0.89	0.57
37	0.92	0.61
38	0.87	0.55
39	0.88	0.41
40	0.94	0.52
41	0.92	0.58
42	0.95	0.61
43	0.98	0.49
44	1.01	0.57
45	0.99	0.64
46	1.03	0.66
47	1.01	0.68
48	1.07	0.61
49	1.10	0.65
50	1.14	0.68
51	1.21	0.61
52	1.28	0.65
53	1.30	0.70
54	1.27	0.73
55	1.29	0.67
56	1.27	0.57
57	1.34	0.69
58	1.37	0.75
59	1.42	0.77
60	1.46	0.71

ตารางภาคผนวกที่ ง-3 COD ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2

COD ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.2		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ	ถึงไม่เต็มอากาศ
1	7,251	6,977
2	7,520	7,384
3	8,217	7,997
4	8,807	8,154
5	8,584	8,315
6	8,086	8,128
7	7,159	7,661
8	6,370	6,752
9	5,863	6,247
10	5,271	5,885
11	4,626	5,571
12	3,792	5,189
13	3,377	4,891
14	2,568	4,682
15	2,288	4,351
16	1,982	4,175
17	1,833	3,914
18	1,797	3,785
19	1,726	3,624
20	1,716	3,563
21	1,607	3,472
22	1,621	3,389
23	1,588	3,314
24	1,577	3,157
25	1,567	3,074
26	1,526	2,987
27	1,500	2,921
28	1,484	2,875
29	1,472	2,840
30	1,437	2,803

ตารางภาคผนวกที่ ง-3 COD ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2 (ต่อ)

COD ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.2		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ	ถึงไม่เต็มอากาศ
31	1,402	2,797
32	1,374	2,774
33	1,298	2,752
34	1,207	2,735
35	1,121	2,702
36	1,065	2,684
37	997	2,671
38	961	2,648
39	885	2,625
40	842	2,611
41	781	2,597
42	734	2,564
43	697	2,540
44	672	2,522
45	658	2,498
46	634	2,478
47	607	2,461
48	589	2,448
49	576	2,436
50	564	2,421
51	547	2,408
52	545	2,387
53	539	2,372
54	541	2,364
55	538	2,348
56	535	2,335
57	540	2,327
58	537	2,315
59	535	2,306
60	533	2,296

ตารางภาคผนวกที่ ง-4 COD ในน้ำชะมูลฝอยของถังที่ 1 ของการทดลองที่ 2.2

COD ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของถังที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ก่อนเข้าถังจำลอง	หลังออกจากถังจำลอง
1	7,216	7,066
2	7,665	7,520
3	8,341	8,217
4	8,422	8,807
5	8,400	8,584
6	7,736	8,086
7	7,066	7,159
8	6,365	6,370
9	5,558	5,863
10	4,506	5,271
11	3,655	4,626
12	2,898	3,792
13	2,141	3,377
14	1,817	2,568
15	1,634	2,288
16	1,760	1,982
17	1,775	1,833
18	1,820	1,797
19	1,780	1,726
20	1,656	1,716
21	1,678	1,607
22	1,616	1,621
23	1,534	1,588
24	1,559	1,577
25	1,567	1,567
26	1,582	1,526
27	1,462	1,500
28	1,387	1,484
29	1,316	1,472
30	1,333	1,437

ตารางภาคผนวกที่ ง-4 COD ในน้ำชะมูลฝอยของถังที่ 1 ของการทดลองที่ 2.2 (ต่อ)

COD ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของถังที่ 1		
จำนวนวัน (วัน)	ก่อนเข้าถังจำลอง	หลังออกจากถังจำลอง
31	1,284	1,402
32	1,308	1,374
33	1,174	1,298
34	1,126	1,207
35	1,076	1,121
36	1,039	1,065
37	928	997
38	875	961
39	883	885
40	754	842
41	686	781
42	644	734
43	620	697
44	583	672
45	570	658
46	577	634
47	576	607
48	570	589
49	562	576
50	556	564
51	553	547
52	550	545
53	547	539
54	545	541
55	542	538
56	540	535
57	538	540
58	541	537
59	538	535
60	536	533

ตารางภาคผนวกที่ ง-5 VFA ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2

VFA ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัม CH ₃ COOH ต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.2		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ	ถึงไม่เต็มอากาศ
1	2,360	1,850
3	2,430	1,975
5	2,340	2,243
7	1,885	2,165
9	1,740	1,894
11	1,460	1,775
13	1,340	1,624
15	1,280	1,517
17	1,160	1,385
19	1,080	1,304
21	959	1,287
23	938	1,199
25	846	1,144
27	785	1,044
29	721	975
31	733	968
33	694	981
35	621	939
37	545	883
39	557	882
41	465	846
43	378	808
45	307	835
47	245	805
49	217	765
51	165	716
53	134	741
55	110	713
57	92	675
59	80	667

ตารางภาคผนวกที่ ง-6 ความเป็นต่างในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2

ความเป็นต่างในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัม CaCO ₃ ต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.2		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ	ถึงไม่เต็มอากาศ
1	868	836
3	986	937
5	1,164	1,085
7	1,482	1,264
9	1,753	1,489
11	1,869	1,631
13	1,943	1,825
15	2,082	1,937
17	2,061	1,991
19	2,087	2,025
21	2,092	1,997
23	2,078	1,963
25	2,048	1,928
27	2,007	1,910
29	2,033	1,916
31	2,085	1,895
33	2,050	1,929
35	2,112	1,929
37	2,148	1,900
39	2,149	1,877
41	2,138	1,876
43	2,163	1,892
45	2,171	1,903
47	2,155	1,906
49	2,127	1,867
51	2,163	1,892
53	2,164	1,863
55	2,135	1,849
57	2,163	1,834
59	2,127	1,829

ตารางภาคผนวกที่ ง-7 TKN ในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2

TKN ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.2		
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ	ถึงไม่เต็มอากาศ
1	591	760
8	770	1,223
15	1,088	1,652
22	1,050	1,279
29	976	1,247
36	985	1,189
43	914	1,110
50	882	1,000
57	851	956

ตารางภาคผนวกที่ ง-8 ไนเตรตในน้ำชะมูลฝอยของการทดลองที่ 2.2

ไนเตรต ในน้ำชะมูลฝอย (มิลลิกรัมต่อลิตร) ของการทดลองที่ 2.2	
จำนวนวัน (วัน)	ถึงเต็มอากาศ
1	35.33
8	31.43
15	37.33
22	39.15
29	38.50
36	38.65
43	45.49
50	49.93
57	48.62

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นายพิสิษฐ์ ไตรธเนศ

รหัสประจำตัวนักศึกษา 5510120042

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)	มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์	2554

ทุนการศึกษา

- ทุนบัณฑิตศึกษาวิศวกรรมศาสตร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2555
- ทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินงบประมาณแผ่นดิน (โครงการตามแผนพัฒนาลุ่มน้ำทะเลสาบสงขลา ประจำปี 2555 – ขยายเวลาดำเนินการปี 2556)
- ทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อวิทยานิพนธ์ ประจำปีงบประมาณ 2556

การตีพิมพ์และเผยแพร่ผลงาน

บทความที่นำเสนอในที่ประชุมวิชาการ

- พิสิษฐ์ ไตรธเนศ และจรีรัตน์ สกุรัตน์. 2557. ผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายของมูลฝอยและการบำบัดน้ำชะมูลฝอย. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ครั้งที่ 13. ณ โรงแรม เดอะ ทวิน ทาวเวอร์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร. ระหว่างวันที่ 26 – 28 มีนาคม 2557.
- พิสิษฐ์ ไตรธเนศ และจรีรัตน์ สกุรัตน์. 2559. ผลกระทบของการเติมอากาศในน้ำชะมูลฝอยที่หมุนเวียนต่อสภาวะการย่อยสลายภายในหลุมฝังกลบ. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย. ปีที่ 30 ฉบับที่ 2 พฤษภาคม – สิงหาคม 2559.