



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยโดยถังปฏิกริยาชะมูลฝอย

Reduction of Methane Production Potential of Solid Wastes by Leach Bed Reactor

นามผู้วิจัย นายเอกชัย การุณสฤติชัยชัย

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์วิไล เจริญไชยศรี, D.Tech.Sc.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยโดยถังปฏิกริยาชะมูลฝอย

Reduction of Methane Production Potential of Solid Wastes by Leach Bed Reactor

โดย

นายเอกชัย การุณสถิตยชัย

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2554

สิงสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกชัย การณสถิตยชัย 2554 : การลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยโดย
ถึงปฏิริยาชะมูลฝอย ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)
สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
หลัก: รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng. 121 หน้า

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอย โดยถึงปฏิริยาชะ
มูลฝอยซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบบำบัดมูลฝอยอินทรีย์ที่ประกอบด้วยถึงปฏิริยาชะสารอินทรีย์
จากมูลฝอยโดยใช้น้ำ และระบบบำบัดน้ำเสีย เพื่อนำน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการบำบัดหมุนเวียน
กลับมาใช้ซ้ำ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้มูลฝอยเสถียรก่อนนำไปฝังกลบ การทดลองนี้ทำการศึกษาหา
ปริมาณน้ำชะที่เหมาะสมและระยะเวลาการสูบน้ำชะหมุนเวียน รวมทั้งศึกษาปัจจัยของการบำบัด
มูลฝอยด้วยอากาศระหว่างการชะละลายสารอินทรีย์จากมูลฝอย

ผลการศึกษาพบว่า การใช้ปริมาณน้ำชะล้าง 50 ลิตรต่อวัน (6.25 ลิตรต่อกิโลกรัมมูลฝอย
ต่อวัน) สามารถลดศักยภาพการเกิดมีเทนได้สูงสุดถึงร้อยละ 68 เมื่อเปรียบเทียบกับมูลฝอยที่ไม่ได้
ผ่านการบำบัด คิดเป็นมวลของสารอินทรีย์ในรูปของซีไอซีที่ชะละลายจากมูลฝอยในวันที่ 1 ถึง
วันที่ 5 พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 118.25 กรัมต่อวันต่อกิโลกรัมมูลฝอย ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์
เหลือในมูลฝอยลดลงจากร้อยละ 57.43 เป็นร้อยละ 46.21 รูปแบบการสูบน้ำชะที่
เหมาะสมคือ สูบ 4 ชั่วโมง หยุด 4 ชั่วโมง สลับกัน เนื่องจากเกิดปฏิริยาไฮโดรไลซิสได้ดี ส่วน
การเติมอากาศระหว่างการชะล้างมูลฝอยมีส่วนช่วยเร่งให้เกิดการย่อยสลายและชะละลายของ
สารอินทรีย์จากมูลฝอยได้ดีขึ้น จึงทำให้มูลฝอยที่ผ่านการบำบัดมีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน
ต่ำสุด

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Ekachai Karunsathichai 2011: Reduction of Methane Production Potential of Solid Wastes by Leach Bed Reactor. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chart Chiemchaisri, D.Eng. 121 pages.

The purpose of this research is to reduce methane potential of solid wastes by leach bed reactor. Water leaching is the first part of integrated organic waste treatment system which consists of waste leaching and leachate treatment and recycling unit. The objective of this waste treatment is to stabilize organic wastes prior to landfilling.

The experiment was conducted to determine optimum water leaching rate, re-circulation pumping pattern and effect of aeration on organic waste leaching. From the experimental results, it was found that an application of 50 l/d or 6.25 l/kg waste.d water leaching rate could reduce methane production potential up to 68% when compared to untreated wastes. Appropriate water re-circulation pattern was 4 hours pumping followed by 4 hours resting period which helped promoting hydrolysis reaction. An application of aeration during water leaching also accelerated waste stabilization and increased organic leaching from solid wastes and therefore yielding treated wastes with lowest methane production potential.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชชาติ เจียมไชยศรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักที่ให้คำปรึกษาในการทำวิจัยและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. วิไล เจียมไชยศรี ที่ให้คำปรึกษาและช่วยเหลือในการดำเนินการศึกษาวิจัย ตลอดจนตรวจและแก้ไขจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ภัชราภรณ์ สุวรรณวิทยา ประธานการสอบปากเปล่าชั้นสุดท้าย และรองศาสตราจารย์ ดร. สิริรินทร์เทพ เต้าประยูร ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ในการสอบปากเปล่าชั้นสุดท้ายและให้คำแนะนำและเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ คณาจารย์ ตลอดจนเจ้าหน้าที่ทุก ๆ ท่านที่ให้ความอนุเคราะห์เอกสารข้อมูล เครื่องมือทดสอบ และอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ในการทดลอง

ขอขอบคุณองค์กร Japan International Cooperation Agency (JICA) ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ๆ และเพื่อนๆ ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจตลอดมา

เอกชัย การุณสดีตย์ชัย

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ (1)
สารบัญตาราง (2)
สารบัญภาพ (6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	39
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	80
ภาคผนวก ก ภาพการศึกษา	81
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำชะมูลฝอย	90
ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์มูลฝอยและศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน	102
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	121

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบของก๊าซจากสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย	6
2	สัดส่วนของคาร์บอนที่เปลี่ยนเป็นก๊าซจากการหมักของแต่ละองค์ประกอบ	12
3	การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบมูลฝอยแต่ละกองหมักโดยกรรมวิธี MBT	18
4	องค์ประกอบของมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง	30
5	ลักษณะสมบัติของมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง	31
6	สภาวะการทดลองการชะล้างมูลฝอย	34
7	แสดงพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์	35
8	มวลซีโอดีที่ถูกชะสะสมและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในมูลฝอยของการทดลองที่ 1	41
9	แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในการทดลองที่	42
10	ลักษณะสมบัติของมูลฝอยในการทดลองที่ 1	45
11	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 1 การทดลองที่ 1	49
12	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 2 การทดลองที่ 1	49
13	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 3 การทดลองที่ 1	50
14	มวลซีโอดีที่ถูกชะสะสมและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดของในมูลฝอยการทดลองที่ 2	52
15	แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในการทดลองที่ 2	54
16	ลักษณะสมบัติของมูลฝอยในการทดลองที่ 2	57
17	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 1 การทดลองที่ 2	59
18	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 2 การทดลองที่ 2	60

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
19	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 3 การทดลองที่ 2	61
20	มวลซีโอดีที่ถูกชะสะสมและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในมูลฝอย ของการทดลองที่ 3	63
21	แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในการทดลองที่ 3	66
22	ลักษณะสมบัติของมูลฝอยในการทดลองที่ 3	68
23	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 1 การทดลองที่ 3	71
24	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 2 การทดลองที่ 3	71
25	คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 3 การทดลองที่ 3	72
ตารางผนวกที่		
ข1	ผลการทดลองน้ำชะล้างมูลฝอยในการทดลองที่ 1	91
ข2	ผลการทดลองน้ำชะล้างมูลฝอยในการทดลองที่ 2	92
ข3	ผลการทดลองน้ำชะล้างมูลฝอยในการทดลองที่ 3	93
ข4	มวลสารสะสมในรูปของบีโอดีในการทดลองที่ 1	94
ข5	มวลสารสะสมในรูปของซีโอดีในการทดลองที่ 1	95
ข6	มวลสารสะสมในรูปของบีโอดีในการทดลองที่ 2	96
ข7	มวลสารสะสมในรูปของซีโอดีในการทดลองที่ 2	97
ข8	มวลสารสะสมในรูปของบีโอดีในการทดลองที่ 3	98
ข9	มวลสารสะสมในรูปของซีโอดีในการทดลองที่ 3	99
ข10	แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 1	100
ข11	แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 2	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข12	แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 3	101
ค1	องค์ประกอบของมูลฝอยในการทดลองที่ 1	103
ค2	ร้อยละสมบัติมูลฝอยในการทดลองที่ 1	103
ค3	องค์ประกอบของมูลฝอยในการทดลองที่ 2	104
ค4	ร้อยละสมบัติมูลฝอยในการทดลองที่ 2	104
ค5	องค์ประกอบของมูลฝอยในการทดลองที่ 3	105
ค6	ร้อยละสมบัติมูลฝอยในการทดลองที่ 3	105
ค7	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้างในการทดลองที่ 1	106
ค8	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 30 ลิตรต่อวัน ในการทดลองที่ 1	107
ค9	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 40 ลิตรต่อวัน ในการทดลองที่ 1	108
ค10	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน ในการทดลองที่ 1	109
ค11	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้างในการทดลองที่ 2	110
ค12	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน โดยอัตราการสูบน้ำ 1 ชั่วโมงทำการสลับ 1 ชั่วโมงหยุดทำการ ในการทดลองที่ 2	111
ค13	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน โดยอัตราการสูบน้ำ 4 ชั่วโมงทำการสลับ 4 ชั่วโมงหยุดทำการ ในการทดลองที่ 2	112
ค14	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน โดยอัตราการสูบน้ำ 12 ชั่วโมงทำการสลับ 12 ชั่วโมงหยุดทำการ ในการทดลองที่ 2	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค15	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้าง ในการทดลองที่ 3	114
ค16	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้าง ไม่มีการเติมอากาศในการทดลองที่ 3	115
ค17	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้าง มีการเติมอากาศโดยใช้ท่อพีวีซี ในการทดลองที่ 3	116
ค18	ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้าง มีการเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศ ในการทดลองที่ 3	117
ค19	ข้อมูลการควบคุมมลสารในการทดลองที่ 1	118
ค20	ข้อมูลการควบคุมมลสารในการทดลองที่ 2	119
ค21	ข้อมูลการควบคุมมลสารในการทดลองที่ 3	120

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การฝังกลบมูลฝอยแบบพื้นที่ (Area Method)	5
2	การฝังกลบมูลฝอยแบบร่อง (Trench Method)	5
3	ระยะต่างๆ ในการเกิดก๊าซจากการฝังกลบมูลฝอย	8
4	แผนภาพขั้นตอนของการเกิดมีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์	10
5	รูปแบบการบำบัดมูลฝอยเชิงกลชีวภาพ	17
6	รูปแบบการฝังกลบมูลฝอยแบบ Semi – aerobic Method	19
7	รูปแบบการทำปุ๋ย compost	20
8	แบบจำลองการทดลอง Biochemical Methane Potential	23
9	ลักษณะถังปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลอง	27
10	ถังปฏิกริยาที่ไม่มีการเติมอากาศ	28
11	ถังปฏิกริยาที่มีการเติมอากาศโดยท่อ	28
12	ถังปฏิกริยาที่มีการเติมอากาศโดยปั๊ม	29
13	มูลฝอย ณ หลุมฝังกลบขยะไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี	30
14	การควบคุมมลสารคาร์บอนอินทรีย์ในการทดลอง	37
15	บีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 1	40
16	ซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 1	41
17	กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 1	42
18	พีเอชในการทดลองที่ 1	43
19	ความเป็นด่างรวมในการทดลองที่ 1	43
20	ปริมาณไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นในการทดลองที่ 1	44
21	แอมโมเนียในการทดลองที่ 1	45
22	การเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยในการทดลองที่ 1	47
23	การเกิดก๊าซมีเทนสะสมของมูลฝอยในการทดลองที่ 1	47
24	บีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 2	51
25	ซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 2	52
26	กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 2	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
27	ความเป็นต่างรวมในการทดลองที่ 2	55
28	พีเอชในการทดลองที่ 2	55
29	ปริมาณไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นในการทดลองที่ 2	56
30	แอมโมเนียในการทดลองที่ 2	56
31	การเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยในการทดลองที่ 2	58
32	การเกิดก๊าซมีเทนสะสมของมูลฝอยในการทดลองที่ 2	59
33	บีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 3	62
34	ซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 3	62
35	กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 3	64
36	ความเป็นต่างรวมในการทดลองที่ 3	65
37	พีเอชในการทดลองที่ 3	65
38	ปริมาณไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นในการทดลองที่ 3	67
39	แอมโมเนียในการทดลองที่ 3	67
40	การเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยในการทดลองที่ 3	69
41	การเกิดก๊าซมีเทนสะสมของมูลฝอยในการทดลองที่ 3	70
ภาพผนวกที่		
ก1	ลักษณะถังที่ใช้ในการทดลอง	82
ก2	ถังทดลองที่ติดตั้งการเติมอากาศโดยใช้ท่อพีวีซี	83
ก3	การคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอยในการทดลองที่ 1	84
ก4	การคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอยในการทดลองที่ 2	85
ก5	การคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอยในการทดลองที่ 3	86
ก6	การทดลองบีโอดี ซีโอดี กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	87
ก7	การทดลองทีเคเอ็น แอมโมเนีย-ไนโตรเจน	88
ก8	การศึกษาสมบัติของมูลฝอย ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน	89

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$^{\circ}\text{C}$	=	องศาเซลเซียส
d^{-1}	=	ต่อวัน
h^{-1}	=	ต่อชั่วโมง
pH	=	ค่าความเป็นกรด – ด่าง
m^3	=	ลูกบาศก์เมตร
m^{-2}	=	ต่อตารางเมตร
s^{-1}	=	ต่อวินาที
year^{-1}	=	ต่อปี
BMP	=	Biochemical Methane Potential
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
CH_4	=	Methane gas
CO_2	=	Carbon dioxide
COD	=	Chemical Oxygen Demand
g	=	gram
GC	=	Gas Chromatograph
l	=	liter
l/d	=	liter/day
MBT	=	Mechanical Biological Waste Treatment
MC	=	Moisture Content
mg/l	=	milligram per liter
ml	=	milliliter
NH_4^{+}N	=	Amonia Nitrogen
SPSS	=	Statistical Package for Social Science
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TOC	=	Total Organic Carbon
TS	=	Total Solids
VFA	=	Volatile Fatty Acid
VS	=	Volatile Solids

การลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยโดยถังปฏิกริยาชะมูลฝอย

Reduction of Methane Production Potential of Solid Wastes by Leach Bed Reactor

คำนำ

การเจริญเติบโตของประเทศไทยทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคมที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหามลพิษที่สำคัญประการหนึ่งคือ การเพิ่มขึ้นของมูลฝอย ในปัจจุบันมีการใช้วิธีกำจัดมูลฝอยโดยวิธีการฝังกลบ โดยที่มูลฝอยที่ฝังกลบเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากยิ่งขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น โดยก๊าซที่ปลดปล่อยจากหลุมฝังกลบเป็นผลิตภัณฑ์ธรรมชาติที่ได้จากการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งในการย่อยสลายจะได้ก๊าซมีเทนจำนวนมากแพร่สู่บรรยากาศ โดยก๊าซมีเทนมีศักยภาพในการทำให้เกิดสภาวะโลกร้อนเป็นจำนวน 23 เท่า ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่หลุมฝังกลบในประเทศไทยปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศประมาณ 0.28 ล้านตันต่อปี ในขณะที่ทั้งโลกมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบ 20-70 ล้านตันต่อปี (IPCC, 1997) ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีก๊าซมีเทนจำนวนมากจากหลุมฝังกลบออกสู่บรรยากาศ ด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีความพยายามลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทน การลดการเกิดก๊าซมีเทนสามารถดำเนินการได้หลายวิธี ได้แก่ การกำจัดมูลฝอยโดยระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบเชิงกลชีวภาพ (Mechanical Biological Waste Treatment ;MBT) ซึ่งเป็นกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุก่อนนำมูลฝอยไปฝังกลบ โดยอาศัยหลักการให้อากาศบริสุทธิ์เข้าไปในกองหมักมูลฝอยอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดการย่อยสลายในสภาวะที่มีอากาศ หลังจากการกำจัดทางชีวภาพ มูลฝอยที่เหลือจะมีเสถียรภาพ เมื่อนำไปฝังกลบจะมีการเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพต่ำทำให้ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง การฝังกลบมูลฝอยแบบ Semi – aerobic Method เป็นอีกวิธีการหนึ่งในการลดการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากหลุมฝังกลบ โดยที่ระบบรวบรวมน้ำชะมูลฝอยในระบบการฝังกลบแบบsemi-aerobic จะมีขนาดใหญ่กว่าระบบทั่วไป น้ำชะมูลฝอยจะถูกรวบรวมและระบายลงสู่ระบบบำบัดในเวลาอันสั้นเพื่อลดการสะสมของน้ำชะมูลฝอยซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งผลิตก๊าซมีเทน และการทำปุ๋ยหมัก(Compost) เป็นการลดการเกิดก๊าซมีเทนโดยให้มูลฝอยเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยมีการกลับกองมูลฝอยเพื่อเติมอากาศเป็นการย่อยสลายมูลฝอยที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ในสภาวะที่มีอากาศจึงทำให้ไม่เกิดก๊าซมีเทนในการย่อยสลาย นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการไฮโดรไลซิสต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ได้แก่การเพิ่มอัตรา

การชะล้างด้วยน้ำ การใช้เอนไซม์ช่วยในการย่อยสลาย Cirne et al. (2008) การบำบัดมูลฝอยขั้นต้น โดยใช้การนึ่งความร้อน (Hydrothermal treatment) หรือการใช้คลื่นรังสีอัลตราโซนิก (Ultrasonic radiation) เพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส เป็นต้น

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถังปฏิริยาชะมูลฝอยเพื่อชะละลายอินทรีย์สารในมูลฝอยให้มาอยู่ในน้ำ เพื่อลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยก่อนนำไปกำจัด โดยกระบวนการชะล้างมูลฝอยนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบบำบัดมูลฝอยอินทรีย์ที่ประกอบด้วยกระบวนการชะล้างสารอินทรีย์ออกจากมูลฝอยและนำน้ำเสียที่เกิดขึ้นไปบำบัดด้วยกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น ถังปฏิริกซ์เชื่อมกรองเมมเบรนและระบบกรองออสโมซิสผันกลับ และนำน้ำที่ผ่านการบำบัดกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการชะล้างใหม่ โดยสามารถนำแนวคิดการทดลองถังปฏิริยาชะมูลฝอยไปใช้ที่สถานีขนถ่ายมูลฝอยก่อนนำไปฝังกลบ ซึ่งจะทำให้มูลฝอยที่ผ่านกระบวนการมีเสถียรมากขึ้นก่อนการนำไปฝังกลบเพื่อลดการเกิดก๊าซมีเทนในหลุมฝังกลบที่มีปริมาณของก๊าซมีเทนไม่เพียงพอต่อการนำไปใช้เป็นพลังงาน

จากงานวิจัยของ Wang and Banks (2000) พบว่าการใช้น้ำชะล้างมูลฝอยในถังปฏิริยาไฮโดรไลซิสและปฏิริยาการเกิดกรด ช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในมูลฝอยลงได้มาก และสามารถทำให้มูลฝอยเสถียรได้ในเวลาสั้น จากการศึกษาวิจัยที่ผ่านมา Nguyen et al (2007) พบว่า มูลฝอยที่ผ่านการหมุนเวียนน้ำล้างในอัตรา 5 ลิตร/นาถิ โดยสูบน้ำชะล้างเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และหยุด 4 ชั่วโมงสลับกัน รวมทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 5 วันเพียงพอที่จะทำให้เกิดการชะของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Carbon) จนเหลือน้อยกว่าร้อยละ 4 และพบว่าการเติมอากาศในช่วงแรกจะช่วยทำให้อัตราการเกิดปฏิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และการเกิดกรด (Acidification) เพิ่มสูงขึ้น ในขณะที่สุพินดา (2001) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งและของแข็งระเหยในถังหมักที่ไม่มีกรหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าเท่ากับร้อยละ 56.98 และร้อยละ 55.86 ตามลำดับ ในขณะที่ถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าร้อยละ 69.18 และร้อยละ 67.80 ตามลำดับ การทดลองนี้มุ่งเน้นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการชะสารอินทรีย์จากมูลฝอย โดยหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมรวมทั้งรูปแบบการสูบน้ำชะล้างขยะมูลฝอยต่อการลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน

วัตถุประสงค์

1. ประเมินการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยสดและมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด โดยตั้งปฏิกิริยาขยะมูลฝอย
2. ศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะขยะมูลฝอยที่ได้จากกระบวนการชะล้างเพื่อเป็นตัวชี้วัดในการหาสภาวะที่เหมาะสมในการชะละลายสารอินทรีย์จากมูลฝอย
3. ศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำชะหมุนเวียน รูปแบบการสูบน้ำชะล้างขยะมูลฝอยรวมทั้งการเติมอากาศต่อการลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน

ขอบเขตงานวิจัย

1. การศึกษาใช้มูลฝอยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยไทรน้อย ตำบลคลองขวาง อำเภอไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี นำมาทำการทดลองภายใต้สภาวะแวดล้อมของประเทศไทย
2. กระบวนการชะล้างทำการชะล้างด้วยน้ำประปาและมีการเปลี่ยนน้ำทุก 24 ชั่วโมง โดยมีการติดตั้งปั้มน้ำอัตราการไหล 14 ลิตรต่อนาที มีการควบคุมเวลาการปั้มน้ำด้วยตัวควบคุมเวลาอัตโนมัติ

การตรวจเอกสาร

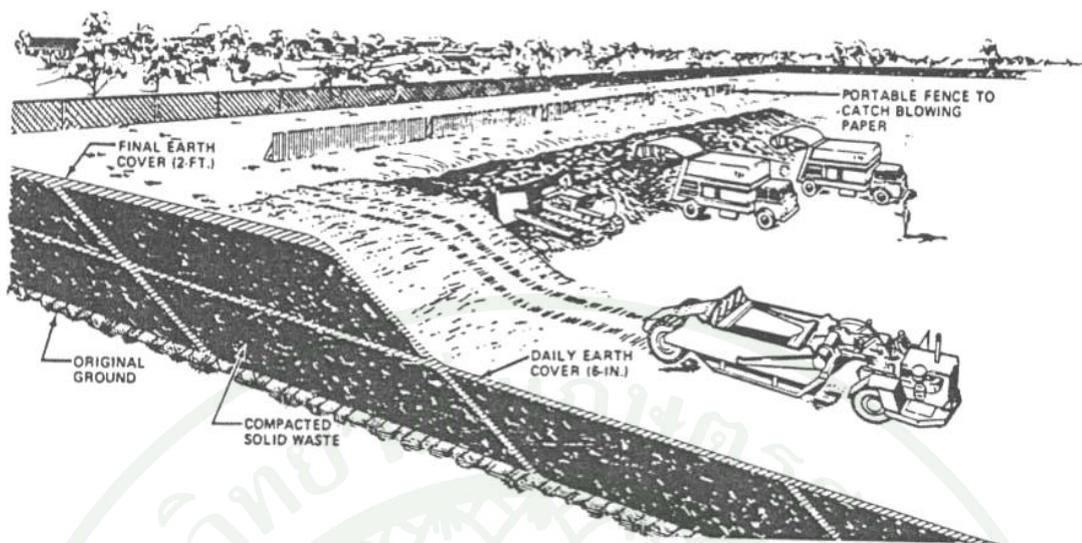
1. การกำจัดมูลฝอยโดยวิธีการฝังกลบอย่างถูกสุขอนามัย(Sanitary Landfill)

การกำจัดมูลฝอยโดยการฝังกลบเป็นการนำมูลฝอยมาเทกองในบริเวณพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ และใช้เครื่องจักรเกลี่ยและบดอัดให้มูลฝอยมีการยุบตัว จากนั้นใช้ดินกลบทับและบดอัดให้แน่นอีกครั้ง โดยทำการบดอัดมูลฝอยเป็นชั้นๆ นอกจากนี้ต้องมีการจัดเตรียมมาตรการป้องกันน้ำชะมูลฝอยไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน การระบายก๊าซชีวภาพออกจากบริเวณพื้นที่ฝังกลบ การป้องกันกลิ่นและแมลงรบกวน และการแพร่กระจายของเชื้อโรคสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบ เพื่อป้องกันเหตุรำคาญที่อาจส่งผลกระทบต่อชุมชนรอบข้าง (กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม, 2542)

วิธีการฝังกลบอย่างถูกหลักสุขอนามัย ทำได้หลายรูปแบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของพื้นที่โดยการดำเนินการในประเทศไทยแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

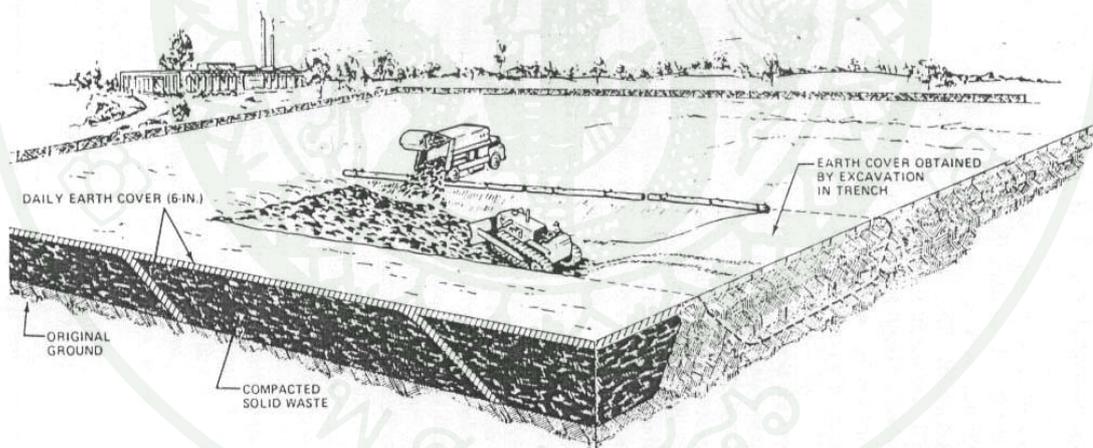
1.1 วิธีฝังกลบแบบพื้นที่ (Area Method) เป็นวิธีการฝังกลบที่เริ่มจากระดับดินเดิมไม่มีการขุดดิน วิธีการคือทิ้งมูลฝอยและเกลี่ยเป็นแนวยาวแล้วทำการบดอัดก้อนทิ้งมูลฝอยทับลงไปอีกเป็นชั้นๆจนถึงระดับที่กำหนดไว้ เมื่อมูลฝอยได้ถูกบดอัดพร้อมกับมีดินกลบเรียบร้อยแล้วเป็นชุด เรียกว่า เซล (Cell) วิธีการฝังกลบแบบพื้นที่เหมาะสำหรับลักษณะภูมิประเทศเป็นที่ราบลุ่มหรือมีระดับน้ำใต้ดินอยู่ในระดับต่ำกว่าผิวดินเพียงเล็กน้อยจึงไม่สามารถขุดร่องเพื่อทำการฝังกลบได้ดังภาพที่ 1

1.2 วิธีฝังกลบแบบร่อง (Trench Method) เป็นวิธีการฝังกลบที่พื้นที่ฝังกลบมีดินที่สามารถนำมาใช้ฝังกลบได้มากพอสมควร โดยเริ่มจากการใช้รถขุดขุดดินลึกลงไปให้ได้ระดับตามที่กำหนด ดินที่ขุดขึ้นมาจะกองไว้ด้านข้างโดยทั่วไปความลึกของการขุดร่องจะถูกกำหนดด้วยระดับน้ำใต้ดินอย่างน้อยระดับล่างสุดของหลุมฝังกลบจะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 1 เมตร โดยยึดระดับน้ำในฤดูฝนเป็นเกณฑ์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยต่อแหล่งน้ำใต้ดิน วิธีฝังกลบแบบขุดร่องนี้ ยังสามารถนำดินที่ขุดขึ้นมาใช้ในการฝังกลบขยะต่อไปได้ ภาพที่ 2



ภาพที่ 1 การฝังกลบมูลฝอยแบบพื้นที่ (Area Method)

ที่มา: Brunner and Keller (1972)



ภาพที่ 2 การฝังกลบมูลฝอยแบบร่อง (Trench Method)

ที่มา: Brunner and Keller (1972)

2. กระบวนการย่อยสลายมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจน

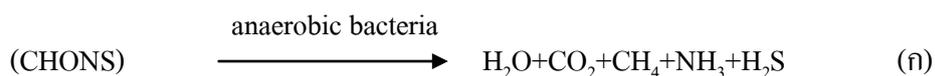
ในหลุมฝังกลบมูลฝอยนั้นจะเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) โดยแอนแอโรบิกแบคทีเรียจะผลิตก๊าซต่างๆ โดยเฉพาะมีเทน (Methane) จากการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Decomposition) โดยผลผลิตที่ได้คือก๊าซชีวภาพซึ่งประกอบไปด้วยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบของก๊าซจากสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอย

Component	% (dry volume basis)
Methane	45-60
Carbon dioxide	40-60
Nitrogen	2-5
Oxygen	1-1.0
Sulfides, Disulfides, Mercaptants etc.	1-1.0
Ammonia	0.1-1.0
Hydrogen	0-0.2
Carbon monoxide	0-0.2
Trace constituents	0.01-0.6

ที่มา: Tchobanoglous *et al.* (1993)

ปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยแบบไร้ออกซิเจนจะให้ผลิตภัณฑ์ขั้นสุดท้าย (Final Product) ดังสมการ (ก)



อินทรีย์สาร

2.1 ลักษณะทั่วไป

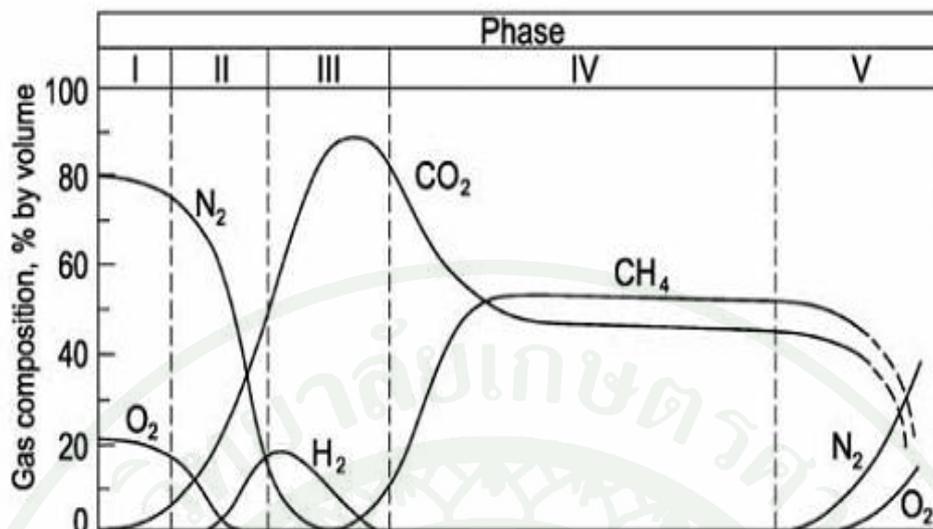
การย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจน เป็นกระบวนการที่เหมาะสมสำหรับใช้ในเขตที่มีอากาศร้อนอย่างประเทศไทย เนื่องจากปฏิกิริยาชีวเคมีแบบไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นได้ดีที่อุณหภูมิสูง ในกระบวนการการย่อยสลายสารอินทรีย์ในสภาวะไร้ออกซิเจนสารอินทรีย์ที่แบคทีเรียย่อยสลายได้ประมาณ ร้อยละ 80-90 จะถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซมีเทน โดยที่จุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจนแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ แบคทีเรียที่ผลิตกรด (Non-Methanogenic Bacteria) และ แบคทีเรียที่ผลิตมีเทน (Methanogenic Bacteria) ซึ่งแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มจะทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้การอยู่ร่วมกันระหว่างแบคทีเรียที่ผลิตกรด และแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนให้ประโยชน์ซึ่งกันและกัน แบคทีเรียที่ผลิตกรด ให้กรดอะซิติกและสารอินทรีย์อย่างง่ายให้เป็นอาหารของแบคทีเรียสร้างมีเทน ส่วนแบคทีเรียที่สร้างมีเทนช่วยทำลายก๊าซไฮโดรเจนให้กับแบคทีเรียที่ไม่สร้างมีเทน

2.2 อัตราการเกิดก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอย

อัตราการเกิดก๊าซจากหลุมฝังกลบมูลฝอยเปลี่ยนแปลงตามเวลาขึ้นอยู่กับสารอินทรีย์ในหลุมฝังกลบ ความชื้น การบดอัดมูลฝอย สารอาหาร กระบวนการเกิดก๊าซสามารถแบ่งช่วงเวลาได้ 5 ระยะ ดังนี้

ระยะที่ 1 ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) เป็นกระบวนการแตกสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนและอาจอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ เช่น โปรตีน ไขมัน และ คาร์โบไฮเดรต ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเซลล์โลส และส่วนประกอบต่างๆ ของเนื้อเยื่อพืช เช่น ลิกนิน ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกของกระบวนการย่อยสลายที่มีความสำคัญในกระบวนการไร้ออกซิเจน ทั้งนี้เพื่อเปลี่ยนขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสารให้แบคทีเรียสามารถนำสารอาหารผ่านผนังเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารและพลังงานได้ โดยแบคทีเรียจะขับเอนไซม์ออกมานอกเซลล์ เพื่อทำให้โมเลกุลใหญ่เหล่านี้แตกตัวออกเป็นโมเลกุลเล็กๆ เอนไซม์ที่แบคทีเรียขับออกมา ได้แก่ cellulolytic lipolytic proteolytic

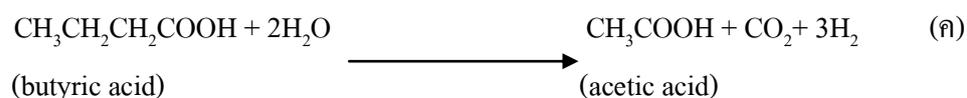
ระยะที่ 2 ระยะเปลี่ยนแปลง (Transition Phase) เป็นระยะที่ออกซิเจนถูกใช้หมด และเริ่มเกิดสภาพไร้ออกซิเจน ในเตรทและซัลเฟตจะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนและไฮโดรเจนซัลไฟด์

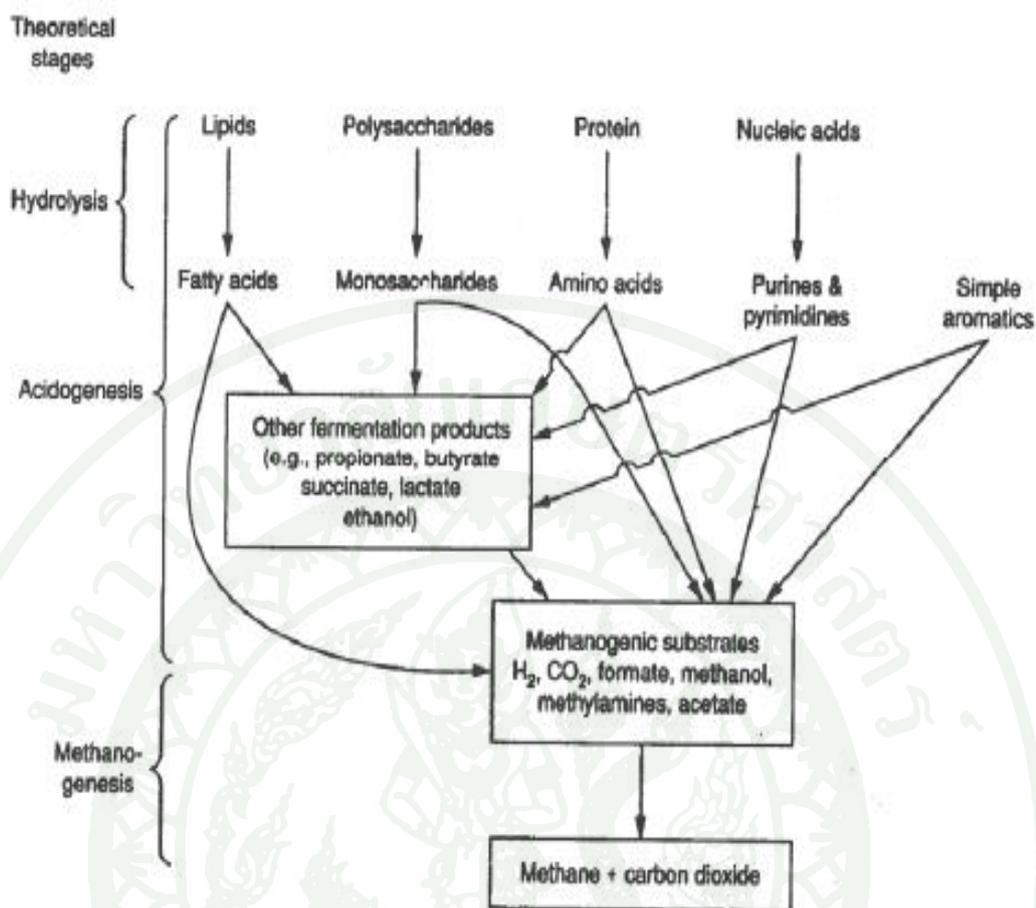


ภาพที่ 3 ระยะเวลาต่างๆ ในการเกิดก๊าซจากการฟังกลมมูลฝอย

ที่มา: Tchobanoglous *et al.* (1993)

ระยะที่ 3 การสร้างกรด (Acidogenesis) เป็นช่วงที่มีการเกิดกรดอินทรีย์ในปริมาณมาก สารอินทรีย์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กเหล่านี้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่เรียกว่า acidogenic bacteria โดยอาจจะเป็นพวก facultative หรือ anaerobic การย่อยสลายในขั้นตอนนี้พบว่าการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกมาอย่างรวดเร็วพร้อมกับกรดอินทรีย์และพลังงานความร้อน นอกจากนี้กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายรวมกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีผลทำให้ค่าพีเอชมีค่าต่ำลง กรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็นกรดอะซิติก (acetic acid) และกรดบิวไทริก (butyric acid) โดยแบคทีเรีย acidogenic bacteria จะทำหน้าที่เปลี่ยนกรดบิวไทริกและกรดโพรไพโอนิกเป็นกรดอะซิติก ดังสมการ (ข) และสมการ (ค)





ภาพที่ 4 แผนภาพขั้นตอนของการเกิดมีเทนและคาร์บอน ไดออกไซด์

ที่มา: Tchobanoglous *et al.* (1993)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายมูลฝอย

เนื่องจากในกระบวนการการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ประกอบด้วยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการสร้างกรด (Acidogenic Bacteria) และทำหน้าที่ในการสร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) ดังนั้น เพื่อที่จะควบคุมให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นจะต้องทำให้แบคทีเรียต่างๆ เหล่านี้อยู่ในสภาวะสมดุลกัน ซึ่งต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.1 พีเอช (pH)

แบคทีเรียพวก Methanogenic Bacteria เป็นแบคทีเรียที่ต้องการสภาวะแวดล้อมรวมทั้ง พีเอชที่อยู่ในช่วงระหว่าง 6.6 ถึง 7.6 เพื่อที่จะให้การผลิตก๊าซมีเทนเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นโดยทั่วไปการนำพารามิเตอร์ในการควบคุมระบบการหมักแบบไร้ออกซิเจนมาประยุกต์ใช้กับระบบฝังกลบมูลฝอยดังรายงาน McCarty (1964) พบว่าระบบจะทำงานได้ดีในช่วงพีเอชระหว่าง 6.6 ถึง 7.6 สำหรับค่าที่เหมาะสมประมาณ 7.0 ถึง 7.2 ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Klink and Ham (1982) ที่ทดลองในหลุมฝังกลบมูลฝอยพบว่าพีเอชที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 6.8 ถึง 7.5 สาเหตุที่ทำให้การผลิตก๊าซมีเทนลดลงที่พีเอชต่ำกว่า 6.2 เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะกลายเป็นพิษต่อ Methanogenic Bacteria

3.2 อุณหภูมิ (Temperature)

จุลินทรีย์แต่ละประเภทสามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิที่ต่างกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของจุลินทรีย์ โดย Tchobanoglous et al. (1993) ได้แบ่งประเภทของจุลินทรีย์ตามช่วงของอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต

ก. Psychrophilic Bacteria จะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิต่ำ อยู่ระหว่าง 10 – 30 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 15 องศาเซลเซียส

ข. Mesophilic Bacteria จะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิไม่สูงมากนัก โดยมีค่าระหว่าง 20 – 40 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 30-38 องศาเซลเซียส

ค. Thermophilic Bacteria จะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิสูง อยู่ระหว่าง 45-75 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 55-60 องศาเซลเซียส

3.3 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)

ค่าความเป็นด่างจะช่วยบอกถึงกำลังของบัฟเฟอร์ (Buffer Capacity) ในการป้องกันการลดต่ำลงของค่าพีเอชของระบบ เนื่องจากปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในช่วง Acid phase นั้นจะทำให้ค่าพีเอชของระบบลดลง จนอาจเป็นอันตรายต่อการทำงานของแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ในการ

สร้างก๊าซมีเทน (Methanogenic Bacteria) ได้ ซึ่งแบคทีเรียชนิดนี้จะไม่สามารถทำงานได้ที่พีเอชต่ำกว่า 6.2 เนื่องจากไฮโดรเจนไอออน (H^+) จะกลายเป็นพิษต่อ Methanogenic Bacteria

3.4 องค์ประกอบของมูลฝอย

องค์ประกอบของมูลฝอยสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามความสามารถในการย่อยได้แก่ มูลฝอยที่ย่อยสลายได้ง่าย (Rapidly biodegradable) และ มูลฝอยที่ย่อยสลายได้ยาก (Slowly biodegradable) ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ Ehrig (1987) ได้ทำการศึกษาถึงอัตราการเกิดก๊าซมีเทนโดยเปรียบเทียบระหว่างมูลฝอยแต่ละชนิด ได้แก่กระดาษหนังสือพิมพ์ นิตยสาร ก่อ่งที่ทำจากจี้เลื่อย ขนมปัง มันฝรั่ง แอปเปิ้ล ถั่ว พริกหยวกและหัวหอม โดยจะผสมร่วมกับมูลฝอยชุมชน พบว่า ก่อ่งที่ทำจากจี้เลื่อยให้ร้อยละของก๊าซมีเทนสูงสุด

ตารางที่ 2 สัดส่วนของคาร์บอนที่เปลี่ยนเป็นก๊าซจากการหมักของแต่ละองค์ประกอบ

ชนิดขององค์ประกอบหลักที่หมัก	ร้อยละของ CH_4	ร้อยละของ CO_2
กระดาษหนังสือพิมพ์	47.5	37.6
นิตยสาร	47.9	39.0
ก่อก่งที่ทำจากจี้เลื่อย	49.4	39.0
ขนมปัง	34.4	27.4
มันฝรั่ง	36.7	32.5
แอปเปิ้ล	28.1	21.9
ถั่ว	39.6	21.7
พริกหยวกและหัวหอม	40.9	32.3

3.5 ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่สำคัญในการย่อยสลายของขยะและการเกิดก๊าซมีเทน โดยที่ Leckie et. al. (1979) ได้ศึกษาถึงการควบคุมความชื้นในพื้นที่ฝังกลบขยะ ซึ่งพบว่า การเพิ่มความชื้น โดยการเพิ่มการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่พื้นที่ฝังกลบอย่างต่อเนื่อง จะเพิ่มอัตราการย่อยสลายในชั้นขยะได้เร็วขึ้น และขยะจะถูกเร่งเข้าสู่เสถียรภาพได้เร็วขึ้น Li and Zeiss (2001) พบว่าความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่มีผลต่อการผลิตก๊าซมีเทน ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียพวกสร้างมีเทนจะทำงานได้

ดีเมื่อมีความชื้นเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากสภาวะดังกล่าวจะช่วยให้อุณหภูมิของระบบเกิดการผสมผสานอย่างทั่วถึงทั้งสารอินทรีย์ สารอาหาร และเชื้อแบคทีเรีย ขณะที่ Lay *et al.* (1998) พบว่าความชื้นที่ 75% ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายอย่างรวดเร็วและผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนจากขั้นตอน Hydrolysis/Fermentation ไปเป็น Hydrogen/Acetate เพื่อเป็นสารตั้งต้นให้กับ Methanogenic Bacteria ในการผลิตก๊าซมีเทน ต่อไป Shearer *et al.* (2001) ได้ศึกษาผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยจริงพบว่าค่าความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ จากผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบ จากการศึกษาของ ปราโมทย์ (2539) พบว่า ความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดก๊าซมีเทน โดยเฉพาะที่ความชื้นมากกว่าร้อยละ 40 และมีอุณหภูมิระหว่าง 29-37 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชประมาณ 6.7-7.4 จะเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของ Methanogenic Bacteria

3.6 อาหารเสริม (Nutrient)

แบคทีเรียจำพวกที่ไม่ต้องการออกซิเจน (Anaerobic Bacteria) มีความต้องการสารอาหารจำพวกไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และสารอาหารอื่นๆ ที่ช่วยในการเจริญเติบโต ฉะนั้นการควบคุมภาวะให้เหมาะสม ก็คือการใส่อาหารเสริมลงไปให้เพียงพอแก่ความต้องการ

McCarty (1964) ได้คำนวณปริมาณของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสที่ต้องการโดยคิดจากค่าเฉลี่ยของสูตรเคมีของเซลล์ $C_5H_9O_3N$ ซึ่งจะต้องมีไนโตรเจนอยู่ประมาณร้อยละ 11 ของน้ำหนักเซลล์ที่เป็นของแข็งระเหย และต้องการฟอสฟอรัสประมาณ 1 ใน 5 ของน้ำหนักเซลล์ที่เป็นของแข็งระเหย

4. การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกและเทคโนโลยีการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก

ก๊าซเรือนกระจกคือก๊าซที่มีอยู่ในบรรยากาศที่ทำให้การสูญเสียความร้อนสู่ห้วงอวกาศลดลง ก๊าซเรือนกระจกที่มีอยู่ในบรรยากาศโลกตามธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) มีเทน (CH_4) และไนตรัสออกไซด์ (N_2O) มีคุณสมบัติดูดกลืนความร้อน ทำให้โลกอบอุ่น และเอื้อให้สิ่งมีชีวิตสามารถอาศัยอยู่ในโลกได้ แต่กิจกรรมต่างๆของมนุษย์ได้แก่การเผาไหม้พลังงานเชื้อเพลิงประเภทถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติ การขนส่ง การเผาไหม้มวล

ชีวภาพ การสูญเสียพื้นที่ป่าไม้ การฝังกลบมูลฝอย การทำนาข้าว การปศุสัตว์ เป็นต้น ทำให้ก๊าซเรือนกระจกถูกปลดปล่อยออกสู่บรรยากาศในปริมาณมาก บรรยากาศโลกดูดกลืนความร้อนไว้มากขึ้น เกิดภาวะเรือนกระจก หรือโลกร้อน นำมาสู่การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศทั่วโลก

4.1 ก๊าซมีเทน

มีเทนจากสถานที่กำจัดมูลฝอยเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร เศษพืช โดยแบคทีเรียภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Anaerobic) มีเทนเป็นก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ชนิดหนึ่งในบรรดาก๊าซเรือนกระจกอีกหลายชนิด เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน ไนตรัสออกไซด์ ไฮโดรฟลูออโรคาร์บอน เปอร์ฟลูออโรคาร์บอน ฮัลเฟอโรเฮกซาฟลูออไรด์ มีเทนมีศักยภาพในการทำให้เกิดภาวะโลกร้อนเป็น 23 เท่าของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ กล่าวคือ ด้วยปริมาณที่เท่ากันก๊าซมีเทนสามารถดูดกลืนรังสีอินฟราเรดได้ดีกว่าก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ การเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจกนั้น ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากขึ้นผลที่ตามมาคืออุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น

ปฏิกิริยาทางเคมีปฏิกิริยาเผาไหม้ ประกอบด้วยปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องหลายขั้นตอน กล่าวคือ มีเทนมีรากฐานเมทิล ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับออกซิเจนแล้วเกิดฟอร์มัลดีไฮด์ ซึ่งต่อมาฟอร์มัลดีไฮด์จะให้หมู่ฟอร์มิล และเกิดคาร์บอนมอนอกไซด์ เรียกปฏิกิริยานี้ว่า การแยกสลายโดยใช้ออกซิเจน (Oxidative Pyrolysis) ดังสมการ



ปฏิกิริยาการกระตุ้นไฮโดรเจน ความแข็งแรงของพันธะโคเวเลนต์ในมีเทนแข็งแรงที่สุดในสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ปฏิกิริยากับธาตุแฮโลเจน



4.2 ประโยชน์ของมีเทน

ก. มีเทนในฐานะที่เป็นเชื้อเพลิง

มีเทนเป็นเชื้อเพลิงที่เห็นได้ชัด คือ ในก๊าซธรรมชาติ มีเทนมีความสำคัญทางไฟฟ้าอย่างมาก โดยเป็นเชื้อเพลิงในกังหันลม หรือ หม้ออัดไอน้ำ เมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรคาร์บอนที่เป็นเชื้อเพลิงชนิดอื่นๆ มีเทนให้คาร์บอนไดออกไซด์น้อยกว่าต่อหนึ่งหน่วยของความร้อนที่ปล่อยออกมา แต่อย่างไรก็ตาม ความร้อนจากการเผาไหม้ของมีเทนมีค่าประมาณ 902 กิโลจูลต่อโมล ซึ่งต่ำกว่าไฮโดรคาร์บอนตัวอื่น แต่ถ้าเทียบอัตราส่วนระหว่างความร้อนที่ปล่อยออกมาต่อมวลอะตอม จะพบว่ามีเทนเป็นไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างที่ง่ายที่สุดที่สามารถผลิตความร้อนต่อกรัมออกมามากที่สุดและมากกว่าไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างซับซ้อน ในบางประเทศใช้ความร้อนจากการเผาไหม้มีเทนในการประกอบอาหาร ที่ระดับน้ำทะเลเราพบว่า มีเทน 1 ลูกบาศก์ฟุต สามารถให้พลังงานออกมาประมาณ 1000 บีทียู

ข. การใช้มีเทนในอุตสาหกรรม

มีเทนถูกนำมาใช้ในกระบวนการทางเคมี และบางทีอาจนำมาใช้ในกระบวนการขนส่งของเหลวในตู้เย็น หรือเป็นตัวเลือกในการผลิต ไฮโดรเจน เมทานอล กรดอะซิติก และ อะเซติก แอลดีไฮด์ เมื่อใช้มีเทนในการผลิตสารดังกล่าว มีเทนจะถูกเปลี่ยนเป็นแก๊สสังเคราะห์ และเป็นส่วนผสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์กับไฮโดรเจน โดยการกลายเป็นไอ ในกระบวนการนี้ มีเทนและไอจะทำปฏิกิริยากับนิกเกิลซึ่งเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 700-1000 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังใช้มีเทนในการผลิตก๊าซธรรมชาติและปิโตรเคมี เป็นสารตั้งต้นในการผลิตแอมโมเนียอีกด้วย



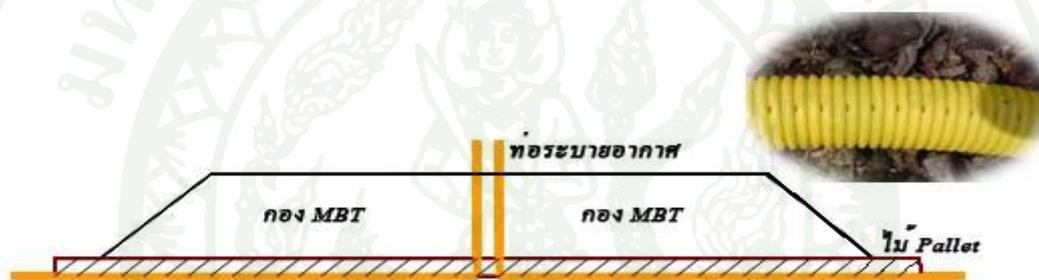
5. แนวทางการลดการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอย

การเจริญเติบโตของประเทศไทยทั้งทางด้านเศรษฐกิจและสังคมที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัญหามลพิษที่สำคัญประการหนึ่งคือ การเพิ่มขึ้นของมูลฝอยมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศไทยประมาณ 41,000 ตันต่อวัน ซึ่งเป็นขยะมูลฝอยจากกรุงเทพมหานคร ประมาณ 8,700 ตันต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศ พบว่า ในแต่ละปีเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.7 โดยในเขตกรุงเทพมหานคร เพิ่มขึ้นร้อยละ 17.5 ในเขตเทศบาล เพิ่มขึ้นร้อยละ 7.6 นอกเขตเทศบาลและสุขาภิบาล เพิ่มขึ้นร้อยละ 0.7 และร้อยละ 23 ของมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั่วประเทศเป็นมูลฝอยที่เกิดในกรุงเทพมหานคร โดยที่มูลฝอยที่ฝังกลบเป็นต้นเหตุที่ก่อให้เกิดก๊าซเรือนกระจก ซึ่งการเพิ่มขึ้นของก๊าซเรือนกระจก ส่งผลให้ชั้นบรรยากาศมีความสามารถในการกักเก็บรังสีความร้อนได้มากยิ่งขึ้น ผลที่ตามมาคือ อุณหภูมิเฉลี่ยของชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้น โดยมูลฝอยที่ฝังกลบจะการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ซึ่งในการย่อยสลายจะได้ก๊าซมีเทนจำนวนมากแพร่สู่บรรยากาศ โดยก๊าซมีเทนมีศักยภาพในการทำให้เกิดสถานะโลกร้อนเป็นจำนวน 23 เท่า ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ในขณะที่หลุมฝังกลบในประเทศไทยปล่อยก๊าซมีเทนออกสู่บรรยากาศประมาณ 0.28 ล้านตันต่อปี ในขณะที่ทั้งโลกมีปริมาณการปล่อยก๊าซมีเทน 20-70 ล้านตันต่อปี (IPCC, 1997) ซึ่งชี้ให้เห็นว่ามีก๊าซมีเทนจำนวนมากจากหลุมฝังกลบออกสู่บรรยากาศ จึงมีความพยายามที่จะลดอัตราการเกิดก๊าซมีเทนที่ปลดปล่อยสู่บรรยากาศให้ได้หลายวิธี ได้แก่

5.1 วิธีกำจัดมูลฝอยโดยระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบเชิงกลชีวภาพ (Mechanical Biological Waste Treatment; MBT)

Mechanical Biological Waste คือ กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุซึ่งเป็นอาหารของจุลินทรีย์ที่ปะปนมากับมูลฝอยก่อนนำมูลฝอยไปฝังกลบ โดยอาศัยหลักการให้อากาศบริสุทธิ์เข้าไปในกองหมักมูลฝอยอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้เกิดการย่อยสลายในสภาวะที่มีอากาศ หลังจากการกำจัดทางชีวภาพ มูลฝอยที่เหลือจะมีเสถียรภาพ เมื่อนำไปฝังกลบจะมีการเกิดปฏิกิริยาทางชีวภาพต่ำทำให้ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง อีกทั้ง สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายทาง อาทิ การทำวัสดุรองก้นทางชีวภาพเพื่อคลุมกองหมักใหม่ การนำเข้าเตาเผาเพื่อผลิตปูนซีเมนต์ การนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนในการผลิตกระแสไฟฟ้า เป็นต้น โดยกระบวนการเริ่มจากคัดแยกวัสดุที่มีขนาดใหญ่ วัสดุที่เป็นอันตรายและวัสดุที่สามารถนำกลับไปใช้ประโยชน์ได้ออกจากกองมูลฝอย จากนั้นมูลฝอยที่เหลือจะถูกโม่และผสมรวมเข้าด้วยกัน ในขั้นตอนนี้สามารถนำน้ำชะมูลฝอยที่เจือจางด้วยน้ำฝนจากบ่อฝังกลบเดิมมาผสมเพื่อเพิ่มความชื้นในมูลฝอยและนำมูลฝอยไป

ตั้งกองหมักชีวภาพโดยด้านล่างมีการทำฐานที่มีช่องว่างเพื่อการระบายอากาศ และมีการวางท่อเติมอากาศหรือติดตั้งเครื่องเติมอากาศเพื่อให้เกิดการย่อยสลายภายใต้สภาวะที่เหมาะสมโดยมีการใช้วัสดุธรรมชาติคลุมกองมูลฝอยเพื่อลดการเกิดกลิ่น อาทิเช่น กากมะพร้าว ในการหมักขยะประมาณ 7-9 เดือน ระหว่างนี้จะตรวจสอบความชื้นอย่างใกล้ชิด และวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น เมื่อครบกำหนดจะเหลือมูลฝอยน้อยมากจึงทำให้ลดพื้นที่ในการฝังกลบจึงช่วยยืดอายุการใช้งานของบ่อฝังกลบได้นานขึ้น อีกทั้งช่วยลดการเกิดน้ำชะมูลฝอยและการเกิดก๊าซมีเทน Bayard et.al. (2010) พบว่าการกำจัดมูลฝอยโดยระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบเชิงกลชีวภาพสามารถลดการเกิดก๊าซชีวภาพลงได้ร้อยละ 88.1 และสารอินทรีย์ (organic matter) ลดลงร้อยละ 57.7 ตัวอย่างพื้นที่นำร่องที่ใช้วิธีกำจัดมูลฝอยโดยระบบกำจัดขยะมูลฝอยแบบเชิงกลชีวภาพได้แก่ เทศบาลนครพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก



ภาพที่ 5 รูปแบบการบำบัดมูลฝอยเชิงกลชีวภาพ

ที่มา: บริษัทโซคซัยเอ็นไวรอนเมนทอล จำกัด (2553)

ชนารดี วิกาหะ (2010) ได้ศึกษาการบำบัดด้วยวิธีเชิงกล-ชีวภาพสำหรับชุมชนขนาดเล็ก พบว่าการเปลี่ยนแปลงความสูงของกองหมักมีการลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อผ่านการบำบัดในช่วงเดือนแรก หลังจากนั้นความสูงจะลดลงอย่างช้าๆ อุณหภูมิภายในกองหมักจะมีค่าสูงสุดที่สัปดาห์แรก และมีค่าเฉลี่ยคงที่เมื่อผ่านการหมักขยะเป็นระยะเวลา 4 เดือน โดยมีค่าอุณหภูมิระหว่าง 74 – 80 องศาเซลเซียส นอกจากนี้อุณหภูมิอากาศและปริมาณน้ำฝนที่ตกไม่มีอิทธิพลต่ออุณหภูมิของกองหมัก ค่าความหนาแน่นเริ่มต้นเฉลี่ยของกองหมักเท่ากับ 217.88 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและเมื่อเวลาผ่านไป 9 เดือนค่าความหนาแน่นเฉลี่ยเท่ากับ 320.54 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร องค์ประกอบของขยะในกองหมักแต่ละกองมีการเปลี่ยนแปลง โดยมูลฝอยอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร

ไม้และกระดาษ มีปริมาณลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 9 เดือน ดังตารางที่ 3 ในขณะที่ปริมาณ compost เพิ่มขึ้น ซึ่งอาจกล่าวได้ว่ามูลฝอยอินทรีย์ถูกย่อยสลายกลายเป็น compost

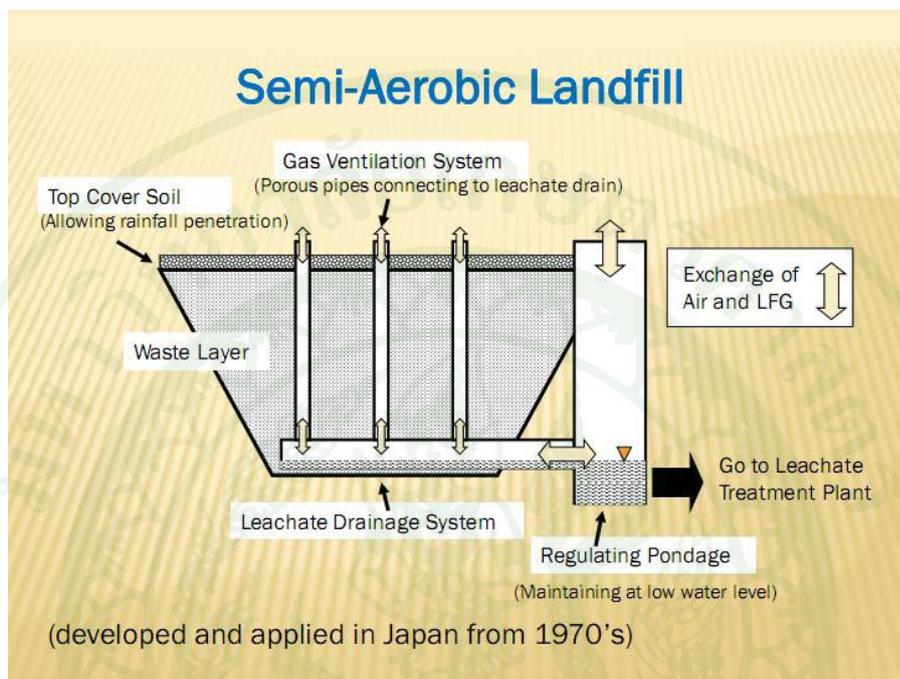
ตารางที่ 3 การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบขยะแต่ละกองหมักโดยกรรมวิธี MBT

องค์ประกอบ	กองหมัก MBT h=1.50 m		กองหมัก MBT h=2.00 m		กองหมัก MBT h=2.25 m		กองหมัก MBT h=2.50 m	
	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด	เริ่มต้น	สิ้นสุด
	เศษอาหาร	46.1	0.0	43.1	0.0	39.6	0.0	42.7
พลาสติก	25.4	54.8	26.6	52.9	27.1	51.6	24.9	52.9
ไม้	15.1	2.2	10.8	4.1	6.4	2.8	8.3	3.5
ยาง	0.7	1.0	1.1	0.0	1.5	1.5	2.4	1.1
แก้ว	0.3	0.0	0.2	0.6	0.5	0.7	0.8	2.1
ผ้า	2.1	0.7	3.3	0.5	4.1	2.1	4.6	1.2
กระดาษ	7.1	0.0	12.3	0.0	15.6	0.2	13.1	0.0
กระเบื้อง	1.2	0.2	0.2	0.0	0.6	3.6	0.3	1.3
โลหะ	0.2	1.2	0.4	0.1	0.4	1.0	0.3	0.8
โฟม	0.2	0.0	0.4	0.2	0.6	0.1	0.3	0.2
อื่นๆ	1.5	0.8	1.6	0.3	3.6	0.6	2.3	0.8
compost	0.0	39	0.0	41.2	0.0	35.7	0	36.1

5.2 การฝังกลบมูลฝอยแบบ Semi – aerobic Method

วิธีการ Semi-aerobic landfill หรือ Fukuoka method ได้ถูกพัฒนาขึ้นที่มหาวิทยาลัยฟูกูโอกะ (Fukuoka) วิธีการนี้เป็นระบบที่มีการวางแนวท่อเจาะรูเพื่อสะสมน้ำชะมูลฝอย และคลุมทับด้วยหินหยาบ ในบริเวณก้นหลุมฝังกลบมูลฝอย ในแนวนอนของหลุมฝังกลบจะประกอบด้วยท่อหลักที่มีท่อแยกย่อยวางอยู่แต่ละฝั่งด้วยระยะห่างที่เท่าๆกัน ปลายท่อหลักจะต่อเข้ากับบ่อรวบรวมน้ำชะมูลฝอยที่สร้างไว้นอกหลุมฝังกลบมูลฝอย ที่ปลายท่อบรรจบของท่อแยกย่อยกับท่อหลักจะถูกติดตั้งท่อ แนวตั้งเจาะรูเพื่อระบายก๊าซ เนื่องจากท่อที่ใช้รวบรวม ระบบรวบรวมน้ำชะมูลฝอยในระบบการฝังกลบแบบ semi-aerobic มีขนาดใหญ่กว่าระบบทั่วไป น้ำชะมูลฝอยจะถูก

รวบรวมและระบายลงสู่ระบบบำบัดในเวลาอันสั้น เพื่อลดการสะสมของน้ำชะมูลฝอยซึ่งเป็นตัวกระตุ้นการย่อยสลายสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนี้ระบบนี้ยังช่วยลดการซึมของน้ำชะขยะลงสู่ผิวดินอีกด้วย



ภาพที่ 6 รูปแบบการฝังกลบมูลฝอยแบบ Semi – aerobic Method

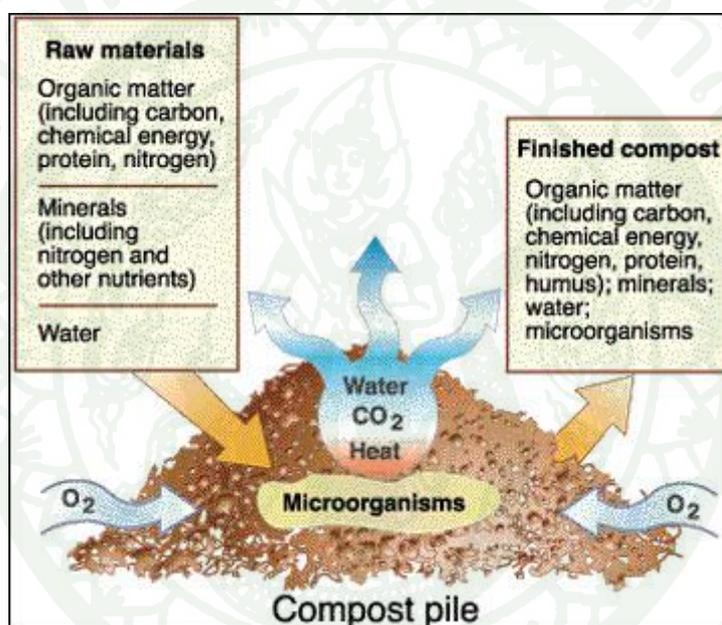
ที่มา: รายงานการฝึกอบรมและศึกษาดูงานของเจ้าหน้าที่กรุงเทพมหานคร (2552)

วิธีการฝังกลบแบบฟลูอิเดชั่นทำให้เกิดปริมาณน้ำชะขยะน้อยกว่า เกิดก๊าซก๊าซมีเทนและไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลง อีกทั้งเกิดกลิ่นเหม็นน้อยลงและการขบวนการย่อยสลายของมูลฝอยสามารถเกิดขึ้นโดยใช้เวลาไม่นาน จึงทำให้สภาพคงตัวของมูลฝอยเกิดเร็วขึ้น

5.3 การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ(Composting)

การทำปุ๋ยหมักเป็นการย่อยวัตถุดิบอินทรีย์ให้เป็นฮิวมัส (humus) ด้วยจุลินทรีย์ จุลินทรีย์หลักๆ ได้แก่ เชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย วัตถุดิบอินทรีย์ได้แก่ เศษอาหาร เศษหญ้า กระดาษ เป็นต้น กระบวนการหมักปุ๋ยสามารถทำได้ 2 แบบ คือ 1) แบบใช้อากาศ และ 2) แบบไม่ใช้อากาศ

การทำปุ๋ยหมักแบบใช้ออกซิเจน (aerobic compost) จะอาศัยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนช่วยในการย่อยวัตถุดิบ โดยจะต้องมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงาน ได้แก่มีการให้ออกซิเจนโดยมีออกซิเจนให้จุลินทรีย์ใช้เพียงพอ วัตถุดิบจะต้องมีอัตราส่วนของไนโตรเจน 1 ส่วนต่อคาร์บอน 30-70 ส่วน และมีความชื้นอยู่ประมาณ 40-60 เปอร์เซ็นต์ ผลผลิตที่ได้จากการทำปุ๋ยหมักแบบใช้ออกซิเจน คือ ไอน้ำคาร์บอนไดออกไซด์ และวัตถุดิบที่ย่อยสลายแล้วที่เรียกว่า ฮิวมัส (humus) ซึ่งช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินและเนื้อดิน ช่วยเพิ่มโพรงอากาศ ช่วยระบายน้ำและอากาศดีขึ้น อีกทั้งเพิ่มการอุ้มน้ำของดิน ลดการอัดตัวของดิน ช่วยให้ต้นไม้ต้านทานความแล้งดีขึ้น และเป็นอาหารให้จุลินทรีย์ที่ช่วยรักษาสภาพดินให้สมบูรณ์และสมดุล



ภาพที่ 7 รูปแบบการทำปุ๋ย compost

ที่มา : มหาวิทยาลัย Missouri (2010)

ปัจจัยที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิ : อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักมีผลโดยตรงกับกิจกรรมย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ ยิ่งอัตราการเผาผลาญอาหาร (metabolic rate) ของจุลินทรีย์มากขึ้น อุณหภูมิภายในระบบหมักปุ๋ยก็จะสูงขึ้นในทางกลับกันถ้าอัตราการเผาผลาญอาหารลดลง อุณหภูมิของระบบจะลดลง จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายวัตถุดิบและก่อให้เกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมักมี 2 ประเภท คือ 1. แบค

มีเรียกชนิดเมโซฟิลิก (mesophilic bacteria) ซึ่งจะมีชีวิตเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 10-45 องศาเซลเซียส และ 2. แบคทีเรียชนิดเทอร์โมฟิลิก (thermophilic bacteria) ซึ่งเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 45-70 องศาเซลเซียส อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจะเพิ่มขึ้นและควรปล่อยให้เย็นๆ จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงจุดสูงสุดและเริ่มลดลง จึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อให้ออกซิเจนสามารถเข้าถึงทั่วกองปุ๋ยหมัก อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจะกลับสูงขึ้นอีกครั้งทำเช่นนี้จนกว่าอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงแสดงว่าการทำปุ๋ยหมักเสร็จสิ้นสมบูรณ์

การเติมอากาศ (aeration) : ออกซิเจนเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับจุลินทรีย์เพื่อใช้ในการย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์ การย่อยสลายของอินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเป็นกระบวนการย่อยสลายที่ช้า และทำให้เกิดกลิ่นเหม็น ดังนั้นจึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเป็นระยะเพื่อให้จุลินทรีย์ได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ ซึ่งจะช่วยให้กระบวนการหมักปุ๋ยให้เร็วขึ้น กองปุ๋ยหมักที่ไม่ได้กลับจะใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า 3-4 เท่า การกลับกองปุ๋ยหมักจะทำให้อุณหภูมิสูงมากกว่าซึ่งจะช่วยทำลายเมล็ดวัชพืชและโรคพืชได้ กองปุ๋ยหมักเมื่อเริ่มต้นควรมีช่องว่างอากาศประมาณ 30-35 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้สภาวะการหมักที่ดีที่สุดเกิดขึ้นและควรรักษาระดับออกซิเจนให้เกิน 5 เปอร์เซ็นต์ทั้งกองปุ๋ยหมัก โดยทั่วไปปรับออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 6-16 เปอร์เซ็นต์และ 20 เปอร์เซ็นต์ รอบผิวกองปุ๋ยหมัก

ความชื้น (moisture) : ความชื้นที่เพียงพอมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กองปุ๋ยหมักควรมีความชื้นที่เหมาะสมที่ร้อยละ 45 ถ้ากองปุ๋ยหมักแห้งเกินไปการย่อยสลายจะไม่มีประสิทธิภาพเนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถขยายพันธุ์ได้

ขนาดวัตถุดิบอินทรีย์ (particle size) : ขนาดวัตถุดิบอินทรีย์ยิ่งเล็กลงจะทำให้กระบวนการย่อยสลายยิ่งเร็วขึ้น เนื่องจากพื้นที่ให้จุลินทรีย์เข้าย่อยสลายมากขึ้น บางครั้งวัตถุดิบมีความหนาแน่นมากหรือมีความชื้นมากเช่นเศษหญ้าที่ตัดจากสนาม ทำให้อากาศไม่สามารถผ่านเข้าไปในกองปุ๋ยหมักได้ จึงควรผสมด้วยวัสดุที่เบาแต่มีปริมาณมากเช่น ฟางข้าว ใบไม้แห้ง ทราย เพื่อให้อากาศไหลหมุนเวียนได้ดี ขนาดของวัตถุดิบอินทรีย์ที่เหมาะสมไม่ควรเกิน 2 นิ้ว แต่บางครั้งขนาดวัตถุดิบอินทรีย์ที่ใหญ่กว่านี้ก็จำเป็นต้องใช้เพื่อช่วยให้การระบายอากาศดีขึ้น

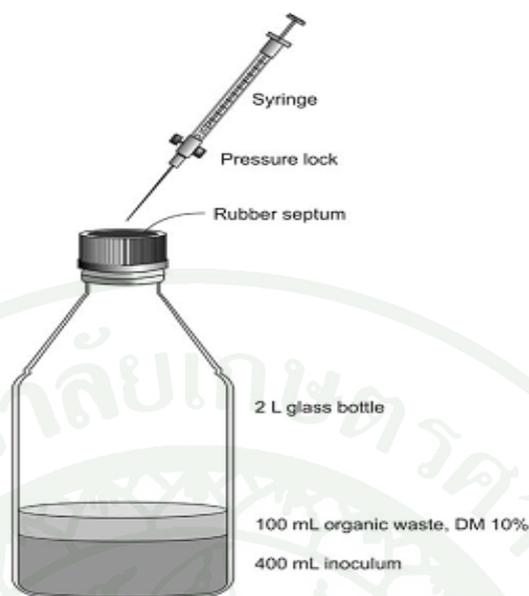
การกลับกอง (turning) : ในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ย จุลินทรีย์จะใช้ออกซิเจนในการเผาผลาญวัตถุดิบอินทรีย์ ขณะที่ออกซิเจนถูกใช้หมดกระบวนการหมักปุ๋ยจะช้าลงและอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักลดลงจึงควรกลับกองปุ๋ยหมักเพื่อให้อากาศหมุนเวียนในกองปุ๋ยหมักเป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กลับจุลินทรีย์และเป็นการกลับวัสดุที่อยู่ด้านนอกเข้าข้างในซึ่งช่วยในการย่อยสลายเร็ว

ขึ้น ระยะเวลาในการกลับกอง สังเกตได้จากเมื่ออุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักขึ้นสูงสุดและเริ่มลดลง แสดงว่าได้เวลาในการกลับกองเพื่อให้อากาศถ่ายเท

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (carbon to nitrogen ratio) : จุลินทรีย์ใช้คาร์บอนสำหรับพลังงานและไนโตรเจนสำหรับการสังเคราะห์โปรตีน จุลินทรีย์ต้องการใช้คาร์บอน 30 ส่วนต่อไนโตรเจน 1 ส่วน (C:N=30:1 โดยน้ำหนักแห้ง) ในการย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์ อัตราส่วนนี้จะช่วยในการควบคุมความเร็วในการย่อยจุลินทรีย์ ถ้ากองปุ๋ยหมักมีส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก (มีคาร์บอนมาก) การย่อยสลายจะช้า ถ้ากองปุ๋ยหมักมีส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำมาก (ไนโตรเจนสูง) จะเกิดการสูญเสียไนโตรเจนในรูปแบบของแอมโมเนียสู่บรรยากาศและจะเกิดกลิ่นเหม็น ปุ๋ยที่หมักเสร็จแล้วจะต้องมีค่า C:N ไม่เกิน 20:1 เพื่อป้องกันการดึงไนโตรเจนจากดินเมื่อนำปุ๋ยหมักไปใช้งาน

6. การวัดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน Biochemical Methane Potential Test (BMP) ของมูลฝอย

วิธีการ Biochemical Methane Potential เป็นวิธีการหาศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยโดยการทำการทดลองโดยใช้มูลฝอยที่มีสารที่เผาไหม้ได้ (VS) 10 กรัม ใส่ในภาชนะจากกระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก 400 มิลลิลิตร จากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม กรุงเทพมหานคร วางไว้ที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 วัน โดยทำการวัดก๊าซโดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph จากการศึกษาของ Hansen (2004) พบว่า ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยมีค่าเท่ากับ 495 ml CH₄/g VS ในทางทฤษฎีสำหรับมูลฝอยประเภท กระดาษ เป้ง และ กอโคส จะมีศักยภาพในการเกิดมีเทน เท่ากับ 63, 84 และ 94 % ตามลำดับ โดยให้ศักยภาพในการเกิดมีเทนอยู่ระหว่าง 200 -500 ml CH₄/g VS ทั้งนี้ศักยภาพในการเกิดมีเทนขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของมูลฝอยและภาคตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 8 แบบจำลองการทดลอง Biochemical Methane Potential

ที่มา: Hansen (2004)

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Nguyen *et al.* (2007) ได้ทำการศึกษากระบวนการชะมูลฝอยโดยแปรผันการเติมอากาศ พบว่ามูลฝอยที่ผ่านการหมวนเวียนน้ำล้างในอัตรา 5 ลิตร/นาที่ โดยสูบน้ำชะล้างเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และหยุด 4 ชั่วโมงสลับกัน รวมทั้งสิ้นเป็นระยะเวลา 5 วันเพียงพอที่จะทำให้เกิดการชะของสารอินทรีย์ละลายน้ำ (Dissolved Organic Carbon) จนเหลือน้อยกว่า 4% และพบว่า การเติมอากาศในช่วงแรกในอัตรา 1 ลิตรต่อนาที่ 2 ชั่วโมงทำการสลับกับ 4 ชั่วโมงหยุดทำการในระยะเวลา 5 วันจะช่วยให้ อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และการเกิดกรด (Acidification) เพิ่มขึ้น

Cirne *et al.* (2008) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการชะละลายของมูลฝอย โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง โดยถังทดลองที่ 1 ใช้การหมวนเวียนน้ำชะขยะ ถังทดลองที่ 2 มีการหมวนเวียนน้ำชะขยะและเพิ่มกระบวนการเติมอากาศ รวมทั้งการเติมเอนไซม์ Cellulolytic หลังจากการชะล้างมูลฝอยในสภาวะไร้อากาศ ถังทดลองที่ 3 ทำการทดลองเช่นเดียวกับถังทดลองที่ 2 และ

เพิ่มกระบวนการหมักเวียนน้ำชะขยะที่ผ่านกระบวนการหมักจากผลการทดลองพบว่าถึงทดลองที่ 3 มีประสิทธิภาพการชะละลายเพิ่มสูงขึ้น 34 % เมื่อใช้เอนไซม์ Cellulolytic โดยการชะละลายมีค่าเท่ากับ 0.48 กรัม(ซีโอดี)ต่อกรัมมูลฝอย(ของแข็งระเหย) (g COD/g VS_{added}) ในขณะที่ประสิทธิภาพการชะละลายโดยที่ไม่มีการเติมเอนไซม์มีค่าเท่ากับ 0.31กรัม(ซีโอดี)ต่อกรัมมูลฝอย(ของแข็งระเหย) (g COD/g VS_{added})

Wang and Banks (2000) ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับการเร่งปฏิกิริยา Hydrolysis และ acidification ของมูลฝอยชุมชนในถังหมักแบบแอนแอโรบิก โดยการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการย่อยสลายในสถานะ แอนแอโรบิก ของมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ในน้ำเสีย ผ่านการใช้ถังปฏิกรณ์แบบทางเดียว (Single Pass Reactor: SPR) ในชุดการทดลองที่หนึ่ง และใช้กระบวนการแอนแอโรบิกและแอโรบิกโดยใช้ Hydraulic Flush Reactor: HFR ในชุดการทดลองที่ 2 ภายหลังจากค่อยๆ เติมมูลฝอยลงไปในถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ชุดการทดลอง ครั้งละประมาณ 3-21 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน(ประมาณร้อยละ 10 ของพื้นที่ถัง) จนกระทั่งถึงปริมาณสูงสุด พบว่า ชุดการทดลองที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการสะสมตัวของ กรดไขมันระเหยง่ายในปริมาณสูงถึง 13,000 mg/l ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า เมื่อปริมาณมูลฝอยที่เติมลงไป SPR ถึงจุดสูงสุดแล้ว อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ก็จะหยุดชะงักลง ในขณะที่ในชุดการทดลองที่ 2 นั้น แม้จะเติมมูลฝอยลงไปในอัตราสูงสุดเทียบเท่ากับชุดการทดลองที่ 1 ก็ตาม แต่อัตราการย่อยสลายก็จะไม่หยุดชะงักลงแต่มีการปรับตัวลงเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่าการใช้น้ำชะล้างมูลฝอยในถังปฏิกริยาไฮโดรไลซิสและปฏิกิริยาการเกิดกรดช่วยลดปริมาณสารอินทรีย์ระเหยในมูลฝอยลงได้มาก และสามารถทำให้มูลฝอยเสถียรได้ในเวลาสั้น

Chen *et al.* (2008) ได้ทำการทดลองใช้อัลตราโซนิกมาช่วยในกระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และอะซิโดเจเนซิส (Acidogenesis) ในระบบ Rotation Drum โดยแบ่งออกเป็น 2 วิธี ได้แก่การใช้อัลตราโซนิกโดยตรง (Direct Ultrasonic Irradiation (DUSI)) และ การใช้อัลตราโซนิกที่ผ่านการปรับแต่ง (Modified Ultrasonic Treatment (MUST)) ซึ่งประกอบไปด้วยกระบวนการเจือจาง(Dilution) และกระบวนการกรองรังสี (Filtration) โดยที่อัลตราโซนิกจะเดินทางผ่านตัวกลางเช่น น้ำ โมเลกุลของน้ำจะเคลื่อนที่ในลักษณะเป็นคลื่นตามยาว กล่าวคือมีช่วงอัดและขยาย (compression/rarefaction) เป็นรอบ ในขณะที่โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่ออกจากกันในช่วงขยายตัว ถ้าโมเลกุลของน้ำห่างกันเกินระยะวิกฤตระหว่าง โมเลกุลจะทำให้เกิดโพรงช่องว่างขึ้น จากนั้นก๊าซที่ละลายน้ำจะเข้าแทนที่ในโพรงนั้น เกิดเป็นฟองก๊าซ (bubble) ขนาดเล็ก ต่อมาในช่วงอัด ฟองก๊าซจะถูกบีบอัด และช่วงขยาย ฟองก๊าซจะขยายตัว และมีก๊าซเข้าไปสะสมมากขึ้น ทำให้ฟองก๊าซขยายตัวขึ้นในแต่ละรอบ จนกระทั่งเกิดสภาวะไม่สมดุลทำให้เกิดการระเบิดจากภายใน (impression)

สันนิษฐานว่าขณะที่เกิดระเบิดอุณหภูมิภายในฟองก๊าซสูงถึง 2000-5000 เคลวิน และความดัน 1800-3000 atm (Mason and Peter, 2002) จากการทดลองพบว่า การใช้อัลตราโซนิกที่ผ่านการปรับแต่งทำให้ค่าพีเอชในน้ำเสียสังเคราะห์สูงขึ้นจาก 5.1 เป็น 5.5 และลดความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายจาก 11.0 เป็น 3.5 กรัมต่อลิตร การใช้อัลตราโซนิกที่ผ่านการปรับแต่งมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้อัลตราโซนิกโดยตรงที่ไม่มีการปรับแต่งเนื่องจากมีค่า Hydro-mechanical shear forces ดีกว่า อีกทั้งประสิทธิภาพการขจัดออกของกรดระเหยง่ายดีกว่า

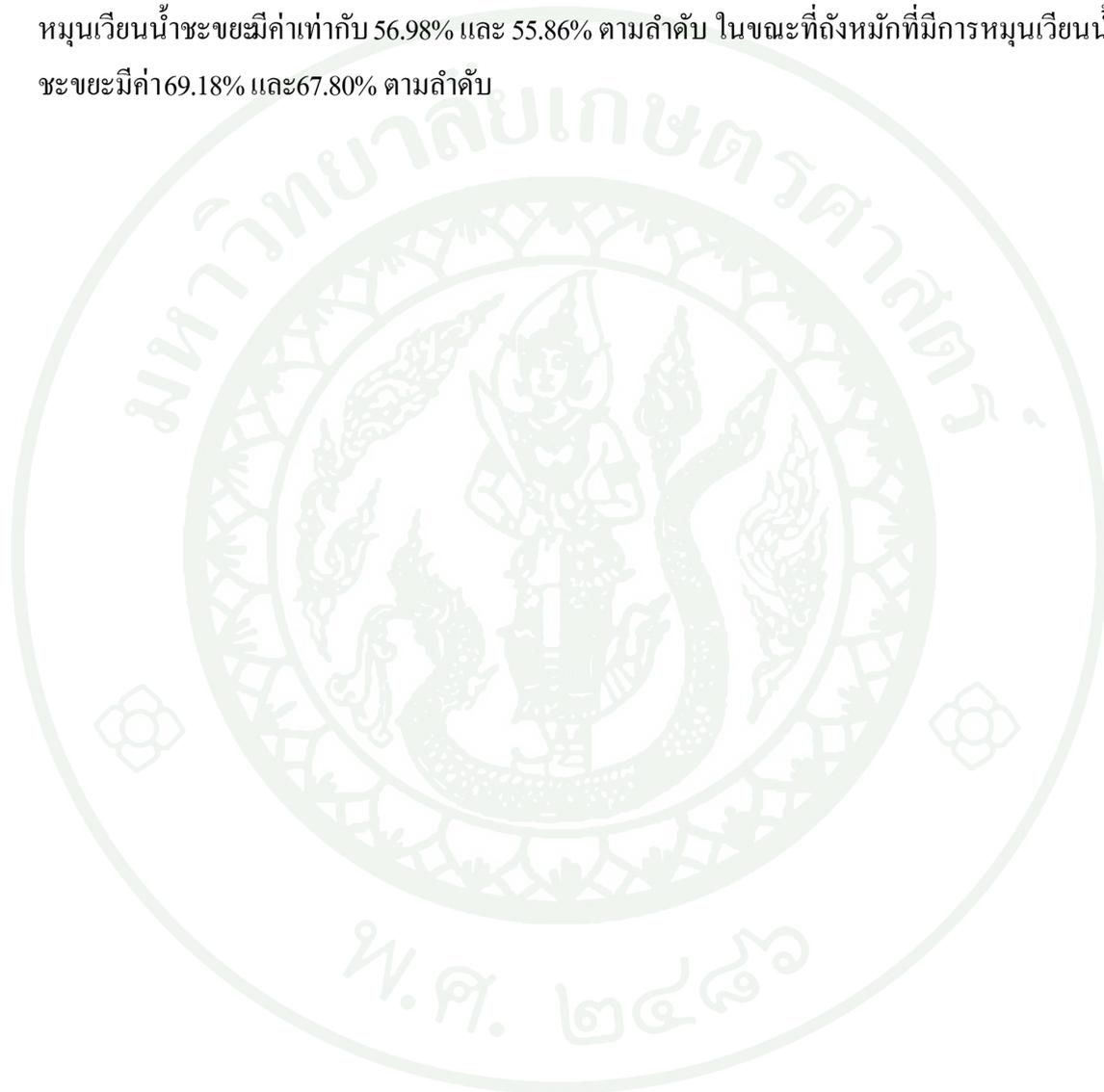
Gan *et al.* (2008) ได้ศึกษาการเพิ่มการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และการเกิดกรด (Acidification) โดยกระบวนการชะล้างภายในระบบ Rotation Drum Fermentation (RDF) โดยในการทดลองใช้ตัวเหลืองเป็นสับสเตรท เพื่อศึกษากระบวนการหมักให้เกิดกรดของการย่อยสลายมูลฝอยในสภาวะที่มีกรดระเหยง่ายที่ไม่มีไอออน (Unionized Volatile Acid; U-VA) ในความเข้มข้น 0, 5, 15, 25 กรัมต่อลิตร ภายใต้สภาวะ Mesophilic เป็นเวลา 20 วัน โดยประเมินผลกระทบของการชะล้างด้วยน้ำในกระบวนการเกิดกรด พบว่า การเกิดกรดระเหยง่าย (Volatile Acid; VA) ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายที่ไม่มีไอออน (U-VA) เกิน 5 กรัมต่อลิตร ทำให้อัตราส่วนการย่อยสลายของแข็งระเหยง่ายลดลงจาก 43.8% ไปเป็น 7.3% การทดลองสรุปได้ว่ากรดระเหยง่ายที่ไม่มีไอออน (U-VA) เป็นตัวขัดขวางที่สำคัญของกระบวนการหมักให้เกิดกรดอินทรีย์ในการย่อยสลายมูลฝอยอินทรีย์ และการกำจัดกรดระเหยง่าย (VA) โดยกระบวนการชะล้างช่วยให้เกิดกระบวนการเกิดกรดได้ดีขึ้น

Palumbo (1995) ได้ทำการศึกษาการวัดการแพร่ระบายของก๊าซในหลุมฝังกลบมูลฝอยที่มีการหมวนเวียนน้ำชะมูลฝอยในพื้นที่ Alachua County, Florida พบว่า อัตราการเกิดก๊าซมีเทนเป็น 2 เท่า เมื่อมีการหมวนเวียนน้ำชะมูลฝอย โดยเทียบกับที่ไม่มีการหมวนเวียนน้ำชะมูลฝอย คือ 0.0236 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมต่อปี และ 0.0096 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมต่อปี ตามลำดับ ทางด้าน Klinkand Ham (1982) ทำการหมักมูลฝอยโดยการป้อนขยะครั้งเดียว พบว่าอัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 25-50 จากถังที่มีการหมวนเวียนน้ำชะมูลฝอยเมื่อเปรียบเทียบกับถังที่ไม่มีการหมวนเวียน

Hansen (2004) ทำการหาศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยใช้วิธี Biochemical Methane Potential (BMP) พบว่า ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยมีค่าเท่ากับ 495 มิลลิลิตร (มีเทน) ต่อกรัมมูลฝอย (ml CH₄ /g VS) ในทางทฤษฎีสำหรับมูลฝอยประเภท กระดาษ แป้ง และ กลูโคส จะมีศักยภาพในการเกิดมีเทน เท่ากับ 63, 84 และ 94 % ตามลำดับ โดยให้ศักยภาพในการ

เกิดมีเทนอยู่ระหว่าง 200 -500 มิลลิลิตร(มีเทน)ต่อกรัมมูลฝอย (ml CH₄ /g VS) ทั้งนี้ศักยภาพในการเกิดมีเทนขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของมูลฝอยและภาคตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

สุพินดา(2001) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งและของแข็งระเหยในถังหมักที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่าเท่ากับ 56.98% และ 55.86% ตามลำดับ ในขณะที่ถังหมักที่มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะมีค่า69.18% และ67.80% ตามลำดับ



อุปกรณ์และวิธีการ

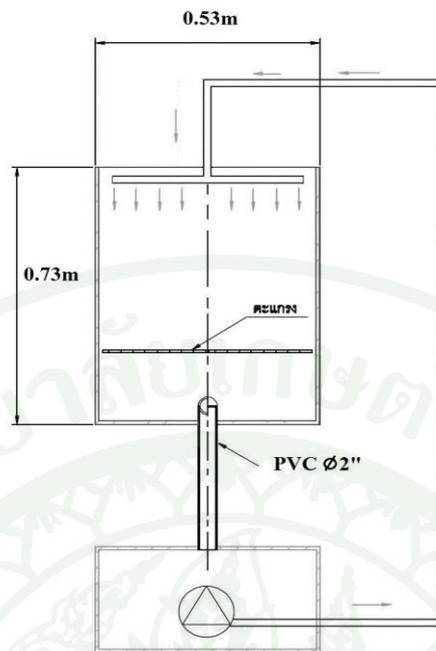
อุปกรณ์

1. การออกแบบถังปฏิกริยา

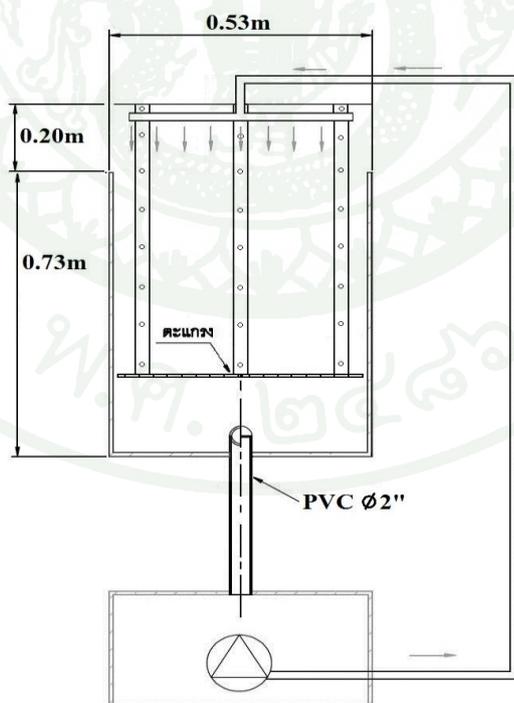
มูลฝอยที่ใช้ในการศึกษานี้ นำมาจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยไทรน้อยขององค์การบริหารส่วนจังหวัดนนทบุรี นำมาบรรจุในถังปฏิกริยารูปทรงกระบอก (ภาพที่ 9) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.53 เมตร สูง 0.73 เมตร จำนวน 3 ถัง แต่ละถังจะบรรจุมูลฝอยน้ำหนัก 8 กิโลกรัม (น้ำหนักเปียก) ถังปฏิกริยาติดตั้งเครื่องสูบน้ำชะมูลฝอยขนาด 14 ลิตรต่อนาที ควบคุมการทำงานโดยใช้เครื่องกำหนดเวลาอัตโนมัติ (Timer) ภายในฝาถังติดตั้งระบบกระจายน้ำขนาดรูกระจายน้ำ เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.6 เซนติเมตร ด้านล่างของถังปฏิกริยาต่อท่อระบายออก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5.08 เซนติเมตร (2 นิ้ว) ลงสู่กล่องพลาสติกปิดสนิทขนาด 90 ลิตร



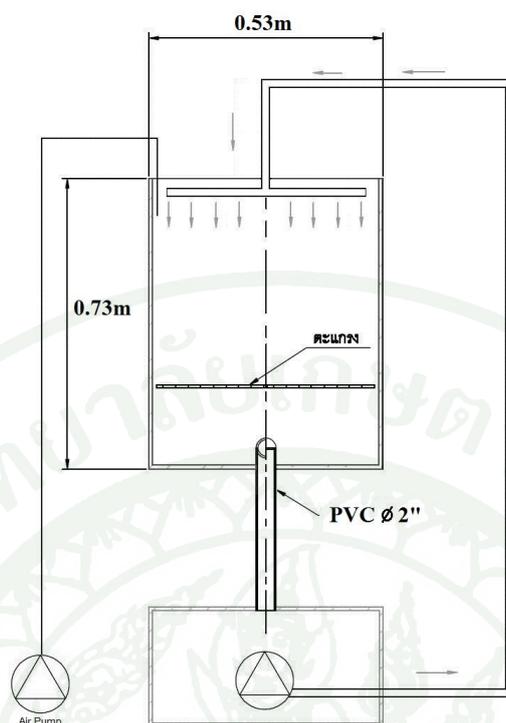
ภาพที่ 9 ลักษณะถังปฏิกริยาที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 10 ถังปฏิกิริยาที่ไม่มีการเติมอากาศ



ภาพที่ 11 ถังปฏิกิริยาที่มีการเติมอากาศโดยท่อ



ภาพที่ 12 ถังปฏิกรณ์ที่มีการเติมอากาศโดยปั๊ม

2. มูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

มูลฝอยที่นำมาใช้ในการทดลองที่ได้มาจากการทำการสุ่มตัวอย่างมูลฝอยชุมชนจำนวน 3 ครั้ง ณ หลุมฝังกลบขยะไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี ในวันที่ 22 กุมภาพันธ์ 2553 20 กันยายน 2553 และ 22 พฤศจิกายน 2553 ทำการแยกหองค์ประกอบของขยะชุมชน โดยวิธี Quartering โดยแยกประเภทเป็น 9 ประเภท ดังตารางที่ 4 โดยมีองค์ประกอบทางกายภาพดังนี้ เศษอาหาร 47-58% กระดาษ 8-11% พลาสติก 22-23% เศษผ้า 4-5% ไม้และใบไม้ 1-8% แก้ว 2-5% โลหะ 1-2% และ โฟม 1-2% มีความชื้นร้อยละ 38-41 ความหนาแน่นเท่ากับ 239-267 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร



ภาพที่ 13 มูลฝอย ณ หลุมฝังกลบขยะไทรน้อย จังหวัดนนทบุรี

ตารางที่ 4 องค์ประกอบของมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

องค์ประกอบของมูลฝอย	ร้อยละ			เฉลี่ย
	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3	
พลาสติก	23	22	23	22.67
กระดาษ	8	11	11	10.00
เศษอาหาร	58	47	49	51.33
เศษผ้า	5	4	5	4.67
แก้ว	2	5	5	4.00
โลหะ	2	1	2	1.67
โฟม	1	1	2	1.33
ไม้และใบไม้	1	8	3	4.00
อื่นๆ	-	1	-	1.00
รวม	100	100	100	100.00

ตารางที่ 5 ลักษณะสมบัติของมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

สมบัติของมูลฝอย	การทดลอง ที่ 1	การทดลอง ที่ 2	การทดลอง ที่ 3	ช่วง	เฉลี่ย
ค่าความหนาแน่น (kg/m^3)	257.11	267.37	238.88	239-267	254.45
ร้อยละความชื้น	37.92	41.15	39.42	38-41	39.50
ร้อยละของแข็งรวมทั้งหมด	62.08	58.85	60.58	59-62	60.50
ร้อยละปริมาณสารที่เผาไหม้ได้	39.52	51.64	50.43	40-51	47.20
ร้อยละของถ่าน	22.56	7.21	10.15	7-23	13.31
ร้อยละปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ทั้งหมด	57.43	51.68	58.42	52-58	55.84

3. อุปกรณ์การวิเคราะห์

- เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง รุ่น Metrohm 827
- ชุดวิเคราะห์ไนโตรเจน รุ่น Gerhardt KI 26
- เครื่องชั่งแบบละเอียด รุ่น Precisa 240A
- เครื่องแก้วและชุด Titration
 - ตู้อบ รุ่น Fisher Scientific A 008742
 - เตาความร้อน รุ่น Framo M 21/1
 - สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ BOD, COD, TKN, NH_4^+ -N, VFA, Alkalinity
 - กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกจากโรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม
 - เครื่องวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์รวม (TOC) ยี่ห้อ Shimadzu TOC-SSM-5000A
 - เครื่อง Gas Chromatography ยี่ห้อ Agilent 6890 ใช้ Thermal Conductivity Detector (TCD) ติดตั้ง CTR Column, Alltech โดยติดตั้งอุณหภูมิของ Injector, Detector และ Oven เท่ากับ 105, 150, 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กำหนดอัตราการไหลของก๊าซ He เท่ากับ 64 มิลลิลิตรต่อ นาที

วิธีการ

1. การศึกษาการทดลอง

1.1 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำชะล้างต่อการลดสารอินทรีย์และศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอย

การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพการเกิดก๊าซมีเทนด้วยการหมუნเวียนน้ำล้าง มูลฝอยระหว่างปฏิกิริยาที่มีการใช้น้ำในการล้างขยะในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำชะล้างต่อการลดสารอินทรีย์ในมูลฝอย โดยในการทดลองใช้สภาวะที่ไม่มี การเติมอากาศ และกำหนดอัตราการสูบน้ำชะล้างต่างๆกัน ได้แก่ 30 , 40 และ 50 ลิตรต่อวัน คิดเป็น 3.75, 5 และ 6.25 ลิตรต่อกิโลกรัมมูลฝอยต่อวัน ได้บรรจุมูลฝอยลงในถังจำนวน 3 ถังได้แก่

- ถังปฏิกิริยาที่ 1 เป็นถังที่บรรจุมูลฝอยที่มีน้ำหนัก 8 กิโลกรัม น้ำหนักเปียก และมีการหมუნเวียนน้ำ 30 ลิตรต่อวัน
- ถังปฏิกิริยาที่ 2 เป็นถังที่บรรจุมูลฝอยที่มีน้ำหนัก 8 กิโลกรัม น้ำหนักเปียก และมีการหมუნเวียนน้ำ 40 ลิตรต่อวัน
- ถังปฏิกิริยาที่ 3 เป็นถังที่บรรจุมูลฝอยที่มีน้ำหนัก 8 กิโลกรัม น้ำหนักเปียก และมีการหมუნเวียนน้ำ 50 ลิตรต่อวัน

โดยที่ถังทดลองทั้ง 3 จะมีค่าความหนาแน่นของมูลฝอย 257.11 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การเปิดปั๊มเพื่อให้เกิดการล้างขยะ 4 ชั่วโมงทำการ และ 4 ชั่วโมง หยุดทำการสลับไปเรื่อยๆ เป็นเวลา 5 วัน

1.2 การศึกษาช่วงเวลาการสูบน้ำชะล้างมูลฝอยต่อการลดสารอินทรีย์และศักยภาพ การเกิดก๊าซมีเทน

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำชะล้างต่อการ ลดสารอินทรีย์ในมูลฝอยที่ส่งผลให้เกิดการชะมวลสารอินทรีย์สูงสุดและเกิดก๊าซมีเทนต่ำสุด นำอัตราดังกล่าวมาใช้หา

ช่วงเวลาในการสูบน้ำที่เหมาะสม โดยในการทดลองที่ 2 ทำการทดลองในสภาวะที่ไม่มีการเติมอากาศ โดยใช้ปริมาณการสูบน้ำที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 ค่าความหนาแน่น ของมูลฝอยเท่ากับ 267.37 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร โดยแปรผันช่วงเวลาการสูบน้ำและหยุดสูบน้ำชะหมุนเวียน ดังนี้

- ถึงปฏิบัติการที่ 1 มีการสูบน้ำ 1 ชั่วโมงทำการสลับกับ 1 ชั่วโมงหยุดทำการ
- ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีการสูบน้ำ 4 ชั่วโมงทำการสลับกับ 4 ชั่วโมงหยุดทำการ
- ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีการสูบน้ำ 12 ชั่วโมงทำการสลับกับ 12 ชั่วโมงหยุดทำการ

1.3 การศึกษาอิทธิพลของการเติมอากาศระหว่างการชะล้างมูลฝอย

จากการศึกษาที่ 1 และ 2 ทำให้ได้ทราบปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการชะล้าง และรูปแบบการสูบน้ำหมุนเวียนน้ำชะที่เหมาะสม ดังนั้นในการทดลองที่ 3 จึงกำหนดอัตราการสูบน้ำและระยะเวลาเปิด-ปิดเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 และ 2 และแปรผันลักษณะการเติมอากาศ โดยที่ถึงปฏิบัติการที่ 1 จะเป็นถังควบคุม ไม่มีการเติมอากาศ ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีการติดตั้งท่อพีวีซีเจาะรูขนาด 1 เซนติเมตร โดยรอบเพื่อช่วยระบายอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ยาว 0.70 เมตร จำนวน 4 ท่อ และถึงปฏิบัติการที่ 3 ติดตั้งเครื่องเติมอากาศขนาด 1 ลิตรต่อนาที โดยมีการเติมอากาศตลอดการทดลอง ทั้ง 3 ถึงปฏิบัติการมี ค่าความหนาแน่นของมูลฝอยเท่ากับ 238.88 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตารางที่ 6 สรุปสภาวะการทดลองทั้งหมดที่ดำเนินการในการศึกษานี้

ตารางที่ 6 สภาวะการทดลองการชะล้างมูลฝอย

การทดลอง ที่	ถึงปฏิบัติการที่	อัตราการสูบน้ำ (ลิตรต่อวัน)	ระยะเวลาเปิด:	
			ปิดเครื่อง สูบน้ำ (ชั่วโมง: ชั่วโมง)	การเติมอากาศ
1	1	30		
	2	40	4:4	ไม่เติมอากาศ
	3	50		
2	1		1:1	
	2	50	4:4	ไม่เติมอากาศ
	3		12:12	
3	1			ไม่เติมอากาศ
	2	50	4:4	ใช้ท่อพีวีซีระบายอากาศ
	3			ใช้เครื่องเติมอากาศ

กำหนดระยะเวลาการทดลองเท่ากับ 5 วัน โดยเก็บตัวอย่างน้ำชะนำมาวิเคราะห์ทุกวัน มีพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ได้แก่ พีเอช, บีโอดี (BOD), ซีโอดี (COD), ไนโตรเจนในรูป TKN และ NH_3 กรดอินทรีย์ระเหย (VFA), ความเป็นด่าง (Alkalinity) และวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลฝอยก่อนและหลังการชะล้าง โดยมีพารามิเตอร์ในการวิเคราะห์ได้แก่ ความชื้น ของแข็งระเหย (Volatile Solids, VS) ถ้า คาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (Total Organic Carbon) และศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน Biochemical Methane Potential (BMP) ซึ่งวิเคราะห์ตามวิธีของ Hansen et al. (2004)

2. การวิเคราะห์ตัวอย่าง

2.1 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในน้ำชะมูลฝอย ซึ่งได้แก่ค่าบีโอดี ซีโอดี ทีเคเอ็น แอมโมเนีย กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ความเป็นด่างรวม ค่าพีเอช วิเคราะห์โดย Standard Method for the examination of water and waste water 20th edition (APHA, 1998)

ตารางที่ 7 แสดงพารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่
น้ำชะ มูลฝอย	pH	pH Meter	ทุกวัน
	BOD	Dilution Method (5210B)	ทุกวัน
	COD	Open Reflux Method (5220B)	ทุกวัน
	VFA	Distillation Method (5560C)	ทุกวัน
	Alkalinity	Titration Method (2320B)	ทุกวัน
	TKN	Macro-Kjeldahl Method (4500-NorgB)	ทุกวัน
	NH ₃ -N	Titrimetric Method (4500-NH ₃)	ทุกวัน
ก๊าซ	methane	Gas Chromatography (TCD Detector)	ทุก 3 วัน
		Portable Gas Analyzer	
มูลฝอย	อุณหภูมิ	Thermometer	ก่อนและ หลัง การ ทดลอง
	ความชื้น	Oven Drying Method at 103°C	
	ของแข็งรวม	คำนวณจากความชื้น	
	ของแข็งระเหย	Muffle furnace at 550°C	
	เถ้า	คำนวณจาก Volatile Solid	
	Carbon	Total Organic Carbon Analyzer	

2.2 วิธีการหาค่าศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอย Biochemical Methane Potential

วิธีการหาค่าศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยใช้วิธี Biochemical Methane Potential (BMP) โดยการใช้มูลฝอยที่มีสารที่เผาไหม้ได้ (VS) 10 กรัม ใส่ในภาชนะกวดจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก 400 มิลลิลิตร วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 50 วัน โดยทำการวัดก๊าซโดยใช้เครื่อง Gas Chromatograph โดยมีขั้นตอนดังนี้

2.2.1 เตรียมขวดที่ใช้ในการทดลอง โดยการใช้ขวดแก้วขนาด 2 ลิตร เจาะรูที่ฝาขวด จำนวน 3 รู โดย 2 รูไว้สำหรับใส่อากาศ และอีก 1 รู สำหรับใส่ rubber septum สำหรับการเก็บ ตัวอย่างก๊าซไปวิเคราะห์

2.2.2 การเตรียมกากตะกอน กากตะกอนตะกอนที่ใช้ในการทดลองเป็นกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก โรงบำบัดน้ำเสียหนองแขม บรรจุในแกลอนขนาด 20 ลิตร ปิดฝาให้สนิทเพื่อให้มีสภาพเป็นแอนแอโรบิก โดยเขย่าแกลอนก่อนทุกครั้งก่อนนำกากตะกอนไปใช้ทดลอง

2.2.3 การเตรียมตัวอย่างมูลฝอย เตรียมมูลฝอยสด และมูลฝอยที่ผ่านการ leaching ตัดมูลฝอยให้มีขนาดเล็ก 0.3-0.5 เซนติเมตร ใส่น้ำ 90 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน ใสลงในกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกที่ใส่ในขวดชุดทดลอง 400 มิลลิลิตร ปิดฝาขวดให้สนิท เขย่าตัวอย่างให้เข้ากัน แล้ว ใส่อากาศ โดยการฉีดก๊าซ ในโตรเจน ลงไป เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้กลายเป็นแอนแอโรบิก วางไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 50 วัน

2.2.4 การวัดก๊าซทำได้โดยใช้เข็มเก็บตัวอย่างก๊าซ (Gas Type Syringe) ขนาด 0.5 มิลลิลิตร ดูดก๊าซมา 0.3 มิลลิลิตร วัดก๊าซทุก 3 วัน ตลอดระยะเวลา 50 วัน วิเคราะห์โดยเครื่อง GC ยี่ห้อ Agilent 6890 ใช้ Thermal Conductivity Detector (TCD) ติดตั้ง CTR Column, Alltech โดยติดตั้งอุณหภูมิของ Injector Detector และ Oven เท่ากับ 105, 150, 40 องศาเซลเซียส ตามลำดับ กำหนดอัตราการไหลของก๊าซ He เท่ากับ 64 มิลลิลิตรต่อนาที

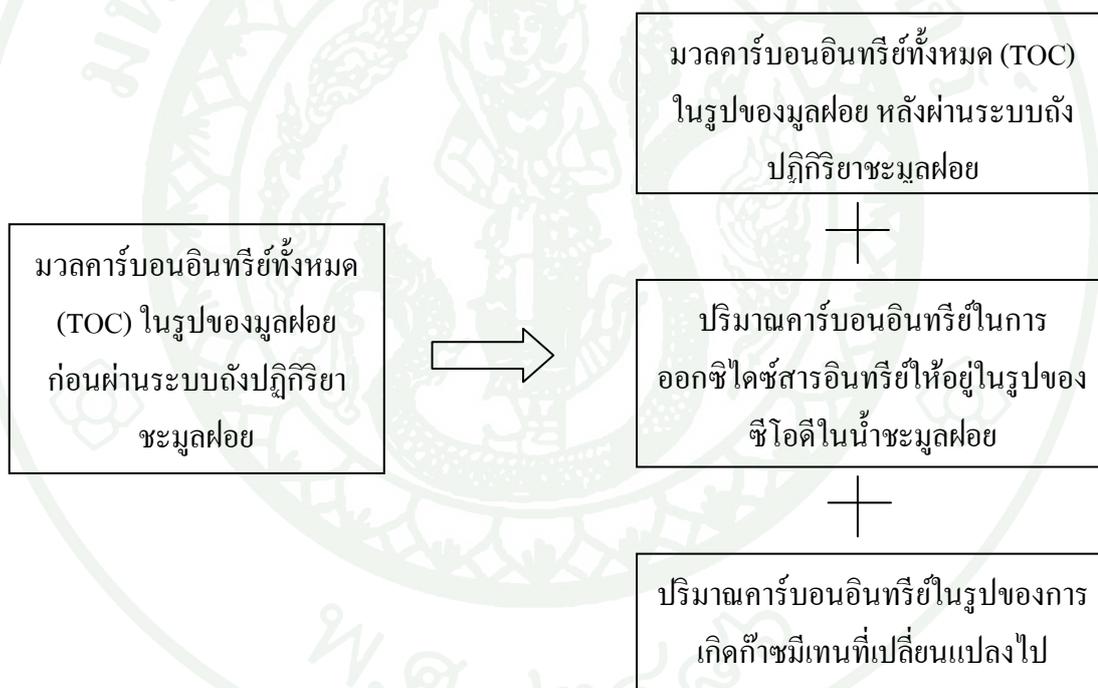
2.3 ตัวอย่างมูลฝอยจะทำการเก็บก่อนการทดลองและหลังจากสิ้นสุดการทดลองโดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความชื้น (Moisture content) ปริมาณของแข็งรวม (Total Solids; TS) ปริมาณเถ้า (Ash Content) ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solid; VS) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในมูลฝอย (Total Organic Carbon; TOC)

3. การวิเคราะห์คุณสมบัติของระบบ

การวิเคราะห์คุณสมบัติคาร์บอนอินทรีย์ในการทดลองจะเก็บตัวอย่างและนำมาวิเคราะห์ในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในมูลฝอย ค่าซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย และศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน (BMP) ของระบบถึงปฏิกิริยาชะมูลฝอย

การศึกษาคุณมวลสารของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในมูลฝอยวัด โดยใช้เครื่อง Total Organic Carbon Analyzer ก่อนและหลังกระบวนการชะผ่านถึงปฏิกิริยาชะมูลฝอย ส่วนค่าซีไอดีทำการวิเคราะห์หาค่าลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยในรูปของซีไอดีทุกวันรวมระยะเวลา 5 วัน รวมถึงปริมาณน้ำที่ใช้ในแต่ละถึงปฏิกิริยาชะมูลฝอย ส่วนการคำนวณศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน (BMP) ทำได้โดยนำค่าศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยก่อนการชะเป็นตัวตั้งและหักลบกับค่าศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยหลังผ่านระบบถึงปฏิกิริยาชะมูลฝอย เพื่อคำนวณหามวลสารที่สะสมในระบบและข้อมูลที่ได้นำมาคำนวณคุณมวลสาร ดังสมการ (ฉ)

$$\text{มวลสารเข้าระบบ} = \text{มวลสารที่ออกจากระบบ} + \text{มวลสารที่สะสมในระบบ} + \text{มวลสารที่หายไปจากระบบ} \quad (\text{ฉ})$$



ภาพที่ 14 การคุณมวลสารคาร์บอนอินทรีย์ในการทดลอง

โดยที่ในการคำนวณมวลคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของซีโอดีในน้ำชะมูลฝอยและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปของการเกิดก๊าซมีเทนที่เปลี่ยนแปลงไปจะคำนวณได้จาก

$$\text{มวลคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด} \quad (\text{TOC}) * \text{น้ำหนักที่ใส่ในถังปฏิกรณ์} / 100 = \text{กรัมคาร์บอนในรูปของมูลฝอย} \quad (\text{กญ})$$

$$\text{ผลรวมค่าซีโอดีที่ผ่านการชะในวัน} * \text{ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง} / \text{น้ำหนักมูลฝอย} = \text{กรัมคาร์บอนในรูปของน้ำชะมูลฝอย} \quad (\text{กข})$$

$$\text{ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยก่อนชะล้าง} - \text{ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยหลังชะล้าง} = \text{กรัมคาร์บอนในรูปของก๊าซ} \quad (\text{กค})$$

ผลและวิจารณ์

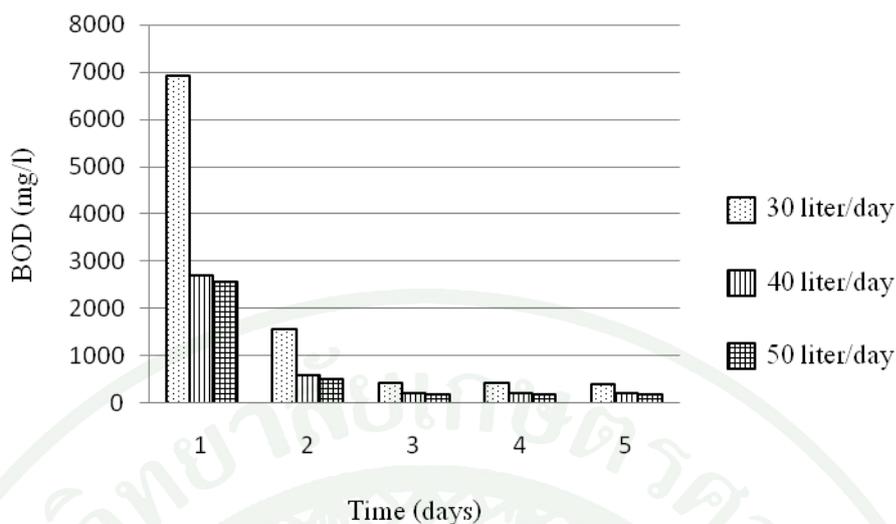
การศึกษาครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนโดยกระบวนการชะล้าง ซึ่งจะศึกษาถึงอิทธิพลของปริมาณน้ำที่ใช้ในการชะล้าง ช่วงเวลาการสูบและหยุดสูบน้ำในการปั้มน้ำ และอิทธิพลของการเติมอากาศต่อการเกิดก๊าซมีเทน โดยมีผลการทดลองดังนี้

1. อิทธิพลของปริมาณน้ำชะล้างต่อการลดสารอินทรีย์และศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอย

ในการทดลองที่ 1 มีการใช้น้ำในการล้างขยะในปริมาณที่แตกต่างกัน กำหนดอัตราการสูบน้ำชะต่างๆกัน ได้แก่ 30, 40 และ 50 ลิตรต่อวัน คิดเป็น 3.75, 5 และ 6.25 ลิตรต่อกิโลกรัมมูลฝอยต่อวัน ได้บรรจุมูลฝอยลงในถังจำนวน 3 ถังได้แก่ ถังปฏิบัติการที่ 1 มีการหมุนเวียนน้ำ 30 ลิตรต่อวัน ถังปฏิบัติการที่ 2 มีการหมุนเวียนน้ำ 40 ลิตรต่อวัน ถังปฏิบัติการที่ 3 หมุนเวียนน้ำ 50 ลิตรต่อวัน โดยมีการเปลี่ยนน้ำใหม่ทุก 24 ชั่วโมง

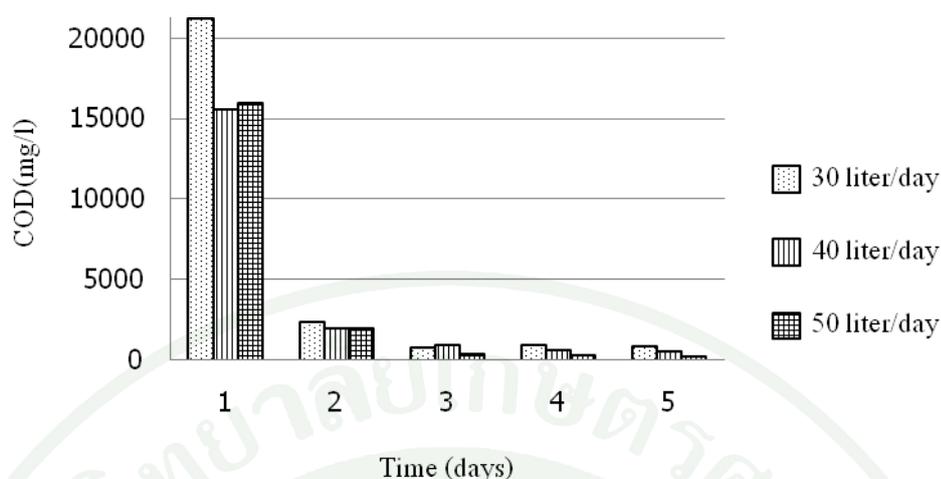
1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

ผลการเปลี่ยนแปลงในถังปฏิบัติการที่ 1 ในวันที่ 1 ถึง 3 ของการทดลองพบว่าปริมาณบีโอดีในน้ำชะขยะมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัด กล่าวคือจาก 6,907 เป็น 410 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงว่ามีการชะสารอินทรีย์ออกมาในน้ำเสียได้ดี ดังภาพที่ 15 ถึงปฏิบัติการที่ 2 และที่ 3 ให้ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกันคือ ค่าบีโอดีลดลงจาก 2,703 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 210 มิลลิกรัมต่อลิตร และจาก 2,553 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 175 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ



ภาพที่ 15 บีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 1

ในขณะที่ค่าซีโอดีก็จะให้ผลการทดลองในทำนองเดียวกัน ภาพที่ 16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของซีโอดีในน้ำชะล้างมูลฝอยตามระยะเวลาทดลอง ซึ่งพบว่า ปริมาณซีโอดีในน้ำชะขยะในถังปฏิบัติการที่ 1 มีแนวโน้มลดลงมากใน 3 วันแรก โดยลดลงจาก 21,200 มิลลิกรัมต่อลิตร เหลือ 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแสดงว่าเกิดปฏิบัติการย่อยและชะละลายของสารอินทรีย์จากรูปของแข็งลงมาในน้ำเสียได้ดี ในขณะที่ถังปฏิบัติการที่ 2 และที่ 3 ให้ผลการทดลองเป็นไปในทางเดียวกันคือ ค่าซีโอดีลดลงจาก 15,600 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 960 มิลลิกรัมต่อลิตร และจาก 16,000 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 400 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ส่วนการเปลี่ยนแปลงกรดอินทรีย์ระเหยมีแนวโน้มสอดคล้องกับค่าซีโอดี โดยพบว่าการใช้อัตราการสูบน้ำชะล้างมูลฝอยเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความเข้มข้นของซีโอดีและกรดอินทรีย์ระเหยในน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นลดลง และความเข้มข้นหลังการชะล้างมูลฝอยเป็นเวลา 5 วันลดต่ำลงมากกว่าร้อยละ 95.85 และ 87.62 ตามลำดับ เมื่อคิดเป็นมวลของสารอินทรีย์ที่ชะละลายจากมูลฝอยในวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 98.25, 98.60 และ 118.25 กรัมต่อวันต่อกิโลกรัมมูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จึงแสดงว่าการชะล้างช่วยให้เกิดปฏิบัติการไฮโดรไลซิสได้ดีขึ้น รวมทั้งการเกิดปฏิบัติการเกิดกรดการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดอินทรีย์ในการทดลองพบว่าจะมีปริมาณกรดอินทรีย์ในวันแรกในปริมาณที่สูงและในวันถัดไปมีปริมาณลดลงอย่างเห็นได้ชัด หลังการทดลองวันที่ 3 ค่ากรดอินทรีย์ เริ่มคงที่เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์และปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำล้างขยะเหลืออยู่น้อย แสดงให้เห็นว่ามีการย่อยสารอินทรีย์จากมูลฝอยให้เปลี่ยนไปเป็นสารอินทรีย์ในน้ำชะขยะของถังทดลองน้อย



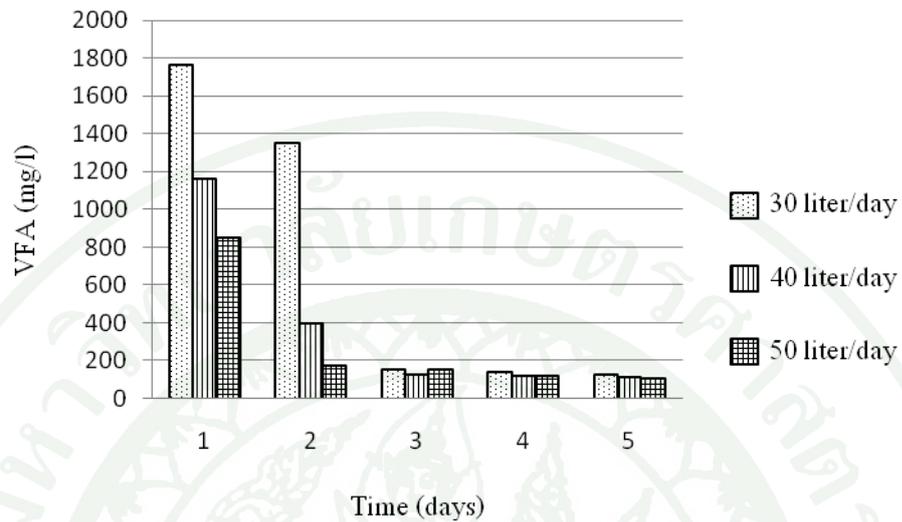
ภาพที่ 16 ซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 1

ตารางที่ 8 มวลซีโอดีที่ถูกชะสะสมและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในมูลฝอยการทดลองที่ 1

ถึง ปฏิภานที่	ปริมาณน้ำใน การชะล้าง (ลิตรต่อวัน)	มวล COD ที่ถูกชะ สะสมรวม 5 วัน (กรัม)	มวลซีโอดีที่ถูกชะ สะสมต่อน้ำหนักมูล ฝอยรวม 5 วัน (กรัม/กิโลกรัม)	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ที่เหลือใน มูลฝอย (ร้อยละ)
1	30	786	98.25	50.76
2	40	789	98.60	47.84
3	50	946	118.25	46.21

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ในระบบมีแนวโน้มสอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดีในน้ำล้างขยะ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสามารถเปลี่ยนสารอินทรีย์ในน้ำล้างขยะให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ได้ดี เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณกรดอินทรีย์ในแต่ละชนิดในถังทดลองพบว่าในวันแรกมีปริมาณกรดอะเซติกอยู่ที่ 1430.61 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีกรดบิวทีริกอยู่ที่ 11.08 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อเวลาผ่านไปในวันสุดท้ายพบว่าปริมาณกรดอะเซติกอยู่ที่ 8.43 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดโพรไพออนิกอยู่ที่ 32.71 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดบิวทีริกอยู่ที่ 19.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 9 จะเห็นว่าชนิดของกรดอินทรีย์ที่พบได้แก่ กรดอะเซติก กรดบิวทีริก และกรดโพรไพออนิก โดยที่สัดส่วนของกรดอะเซติกจะลดลงเมื่อผ่าน 5 วันทำการซึ่งทำให้จุลินทรีย์ใช้กรด

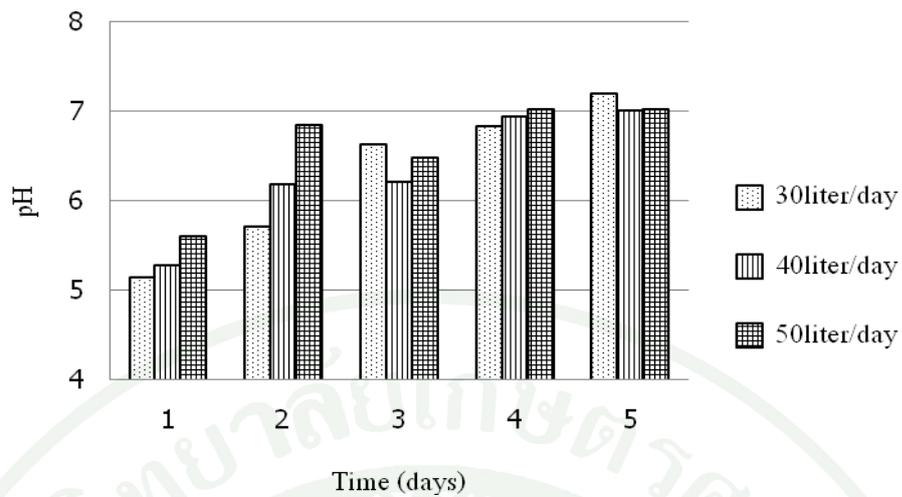
อะเซติกเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนได้ลดลง ส่วนค่าพีเอชในน้ำชะมูลฝอยจะมีค่าต่ำ (เป็นกรด) ในช่วงแรกและสูงขึ้นในวันถัดไป



ภาพที่ 17 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 1

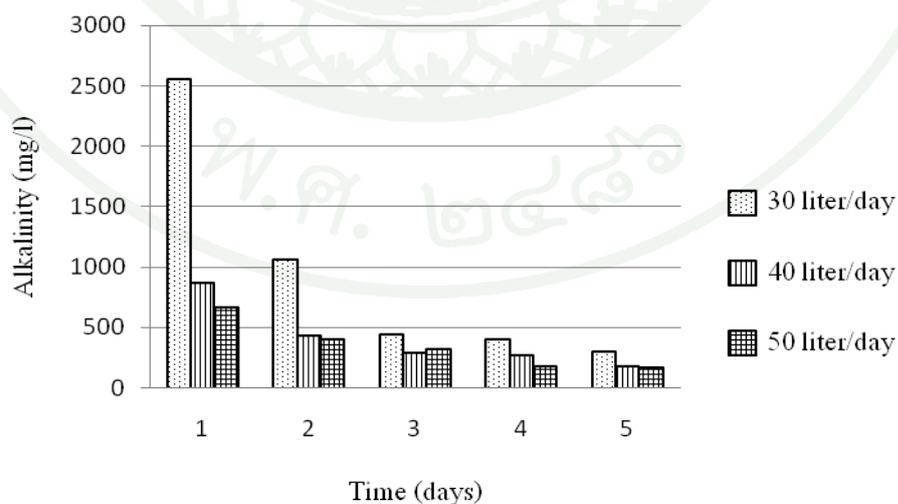
ตารางที่ 9 แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 1

ถึงปฏิบัติการ	วันที่	กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	ความเข้มข้น (mg/l)	ร้อยละ
1	1	acetic	1430.61	99.23
		butylic	11.08	0.77
		รวม	1441.69	100
1	5	acetic	8.43	13.85
		propionic	32.71	53.73
		butylic	19.74	32.42
		รวม	60.88	100



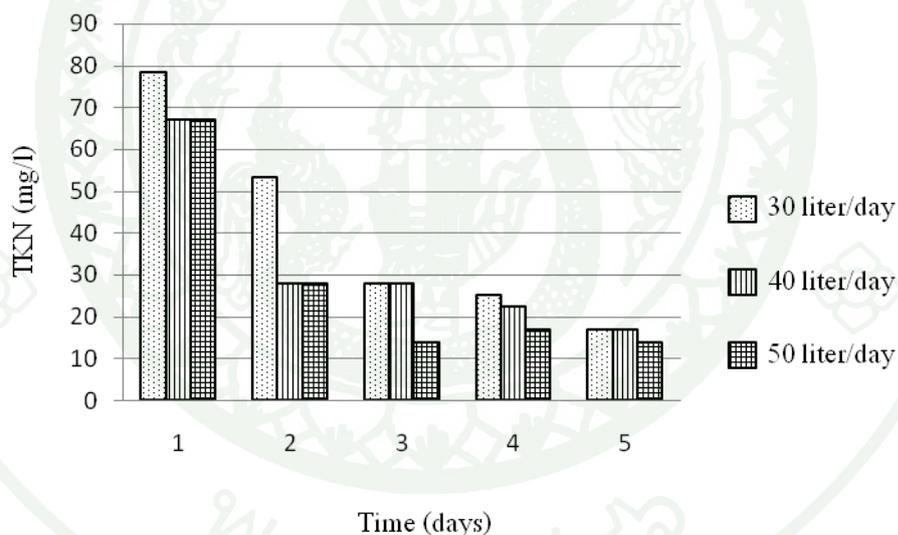
ภาพที่ 18 พีเอชในการทดลองที่ 1

ค่าความเป็นด่างเป็นพารามิเตอร์ที่บอกระดับปริมาณ Buffering Capacity ของระบบ ซึ่งจะเป็นการป้องกันการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของค่าความเป็นกรดต่าง ช่วงวันที่ 1-5 ของการทดลองของระบบ แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างรวมมีลักษณะเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของกรดอินทรีย์ คือมีการปรับตัวลดลง และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ในช่วงวันท้ายๆ ดังภาพที่ 19 โดยที่ค่าความเป็นด่างรวมของถังปฏิบัติการที่ 2 และ 3 จะมีค่าใกล้เคียงกันมากเช่นเดียวกับค่ากรดอินทรีย์

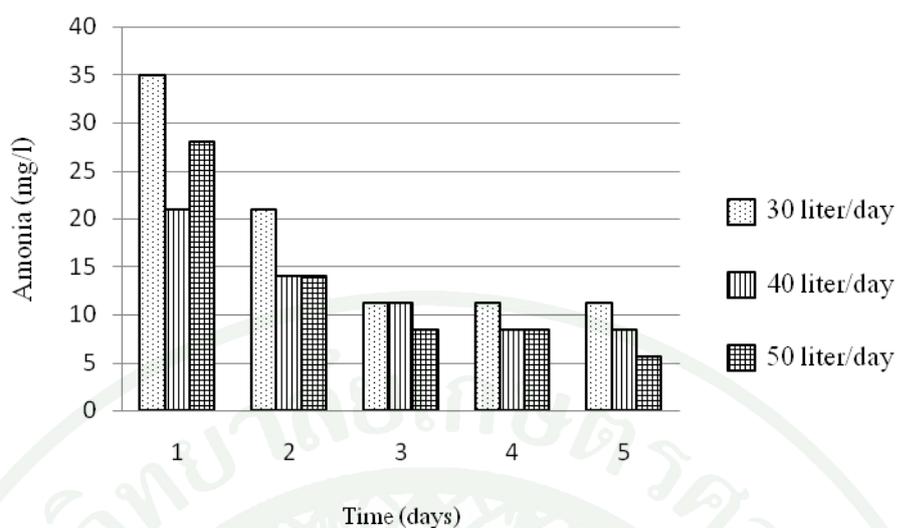


ภาพที่ 19 ความเป็นด่างรวมในการทดลองที่ 1

การศึกษาปริมาณ ทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอย พบว่าน้ำชะมูลฝอยของถังทดลองที่1 จะมีปริมาณทีเคเอ็นมากในช่วง 1-2 วันแรกและค่อยๆลดลงเช่นเดียวกับ บีโอดี และซีโอดี โดยมีปริมาณทีเคเอ็นในถังปฏิบัติการที่1 จะอยู่ในช่วง 78.40-16.80 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณทีเคเอ็นของถังปฏิบัติการที่2และ3จะมีปริมาณ ทีเคเอ็นไม่แตกต่างกันมากนักโดยจะมีแนวโน้มลดลงจากวันแรก โดยมีปริมาณ ทีเคเอ็นของถังปฏิบัติการ2และถังปฏิบัติการที่3อยู่ในช่วง 67.20-16.80 และ 67.20-14.00 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ดังภาพที่ 20 แสดงว่าน้ำชะล้างมูลฝอยทำให้เกิดการชะละลายของสารอินทรีย์ในโตรเจนจากมูลฝอย หลังจากวันแรก ค่าทีเคเอ็นของทั้ง 3 ถังเริ่มลดลงเรื่อยๆ ส่วนปริมาณของแอมโมเนีย พบว่าให้ผลการทดลองไปในทางเดียวกันกับค่าทีเคเอ็น กล่าวคือมีปริมาณชะออกมาสูงในวันแรกและลดลงในวันถัดไปโดยที่ในถังปฏิบัติการที่ 1 มีค่าลดลงจากในวันแรก 35 มิลลิกรัมต่อลิตรไปเป็น 11.20 มิลลิกรัมต่อลิตรในวันสุดท้าย ถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าลดลงจาก 21 มิลลิกรัมต่อลิตรไปเป็น 8.40 มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิบัติการที่ 3 ลดลงจาก 28 มิลลิกรัมต่อลิตรไปเป็น 5.60 มิลลิกรัมต่อลิตร



ภาพที่ 20 ปริมาณไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นในการทดลองที่ 1



ภาพที่ 21 แอมโมเนียในการทดลองที่ 1

1.2 ลักษณะองค์ประกอบของมูลฝอยหลังผ่านกระบวนการชะล้างมูลฝอย

เมื่อสิ้นสุดการทดลองได้มีการนำขยะจากถังปฏิบัติการทั้ง 3 ถังไปตรวจวัดค่าลักษณะสมบัติของมูลฝอยในทั้ง 3 ถัง มีค่าดังตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ลักษณะสมบัติของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ของแข็ง (ร้อยละ)	สารที่เผาไหม้ (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	TOC (ร้อยละ)
มูลฝอยก่อนล้าง	37.92	62.08	39.52	22.56	57.43
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 1	36.90	63.10	55.84	7.26	50.76
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 2	40.30	59.70	55.19	4.51	47.84
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 3	43.16	56.84	53.31	3.53	46.21

หมายเหตุ: ร้อยละน้ำหนักเปียก

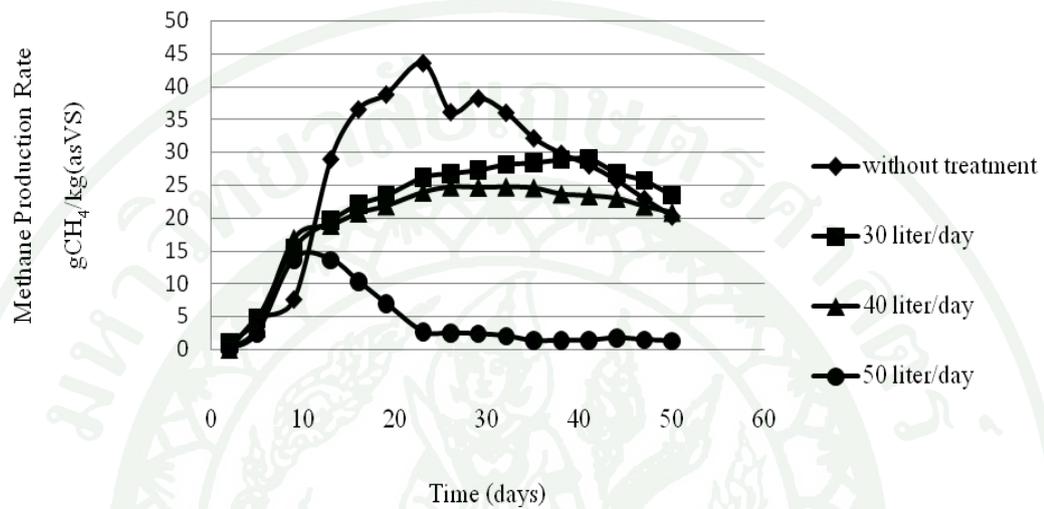
จากการศึกษาลักษณะสมบัติของมูลฝอยพบว่า การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีแนวโน้มลดลง โดยเมื่อผ่านกระบวนการชะล้าง สารอินทรีย์บางส่วน ได้ถูกชะออกไปกับน้ำชะ จึงทำให้ปริมาณของแข็งหรือสารอินทรีย์ลดลง ในขณะที่ค่าความชื้นของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างมีค่ามากกว่ามูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้าง ยกเว้นมูลฝอยที่ใช้ น้ำในการชะล้างที่ 30 ลิตรต่อวัน มีค่าความชื้นต่ำกว่ามูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้าง ทั้งนี้ เนื่องจากในช่วงการทดลอง ได้ทำการทดลองในฤดูร้อน จึงทำให้ถึงทดลองที่ตั้งอยู่มีการระเหยของน้ำออกไป จากการศึกษ ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) พบว่า มูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ต่ำกว่ามูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้าง โดยมูลฝอยที่ผ่านการชะล้างด้วยน้ำ 30 ลิตรต่อวันมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดลดลงไปร้อยละ 11.61 เมื่อเทียบกับมูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านการชะ ส่วนมูลฝอยที่ผ่านการชะ 40 ลิตรต่อวันมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดลดลงไปร้อยละ 16.70 และมูลฝอยที่ผ่านการชะ 50 ลิตรต่อวันมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดลดลงไปร้อยละ 19.54 จะเห็นว่ามูลฝอยในถังทดลองที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดต่ำสุด ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณคาร์บอนบางส่วน ได้ถูกชะละลายไปอยู่ในรูปของน้ำชะมูลฝอย จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการใช้น้ำชะล้างในปริมาณที่สูงขึ้นจะทำให้มวลสารอินทรีย์ในรูปของซีโอไซด์ถูกชะละลายออกมามากกว่าการใช้น้ำชะล้างในปริมาณน้อย จึงทำให้มูลฝอยในรูปของคาร์บอนอินทรีย์มีค่าลดลง

1.3 ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน

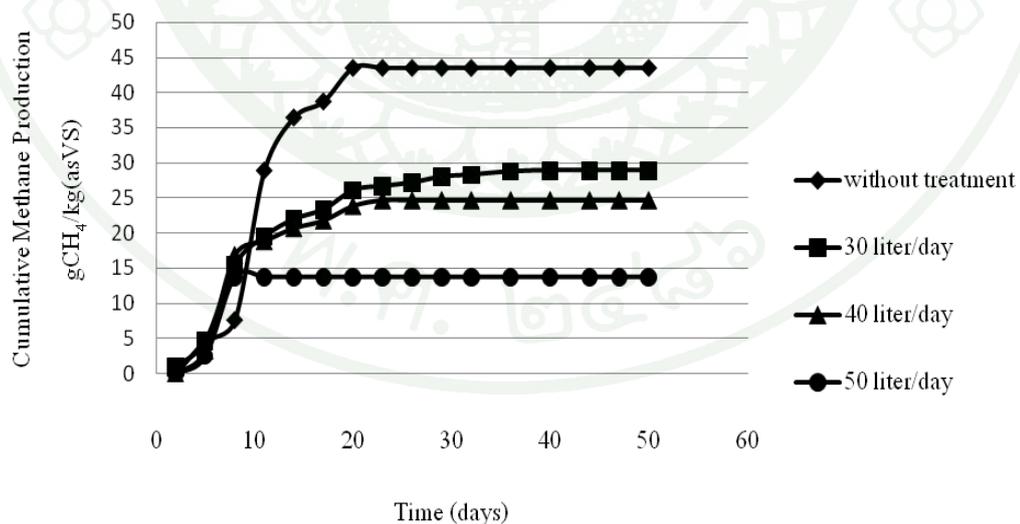
เมื่อนำมูลฝอยมาวิเคราะห์หาอัตราการเกิดก๊าซมีเทนพบว่า มูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านการชะล้างมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดคือ 43.58 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม ($\text{gCH}_4/\text{kg}(\text{asVS})$) ในขณะที่มูลฝอยที่ผ่านการชะด้วยน้ำ 30 ลิตรต่อวันมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสมเท่ากับ 28.92 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม ส่วนมูลฝอยที่ผ่านการชะด้วยน้ำ 40 ลิตรต่อวันมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสม 24.67 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม และมูลฝอยที่ผ่านการชะด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวันมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสม 13.75 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม เมื่อคิดเป็นร้อยละที่ลดลงจากมูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านการชะล้างมีค่าเท่ากับ ร้อยละ 33.62 ในถังปฏิบัติการที่ 1 ร้อยละ 43.39 ในถังปฏิบัติการที่ 2 และร้อยละ 68.46 ในถังปฏิบัติการที่ 3

มูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 3 ที่ใช้น้ำชะปริมาณ 50 ลิตรต่อวัน มีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่ำสุดดังภาพที่ 23 เนื่องจากในถังทดลองที่ 3 มีการชะละลายของมวลสารอินทรีย์สูงที่สุดคือ 118.25 กรัมต่อกิโลกรัมมูลฝอย อันเนื่องมาจากการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ดี จึงทำให้เหลือมวลสาร

อินทรีย์ในมูลฝอย(TOC) ต่ำที่สุด จึงเป็นเหตุทำให้มีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่ำสุด ในขณะที่ถึงปฏิกิริยาที่ 1 ที่มีการใช้น้ำชะล้างในปริมาณต่ำ (30ลิตรต่อวัน) จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในมูลฝอยที่ชะออกจากการชะล้างมีปริมาณไม่สูงมากจึงทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนสูงกว่ามูลฝอยที่ผ่านการชะด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน



ภาพที่ 22 การเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยในการทดลองที่ 1



ภาพที่ 23 การเกิดก๊าซมีเทนสะสมของมูลฝอยในการทดลองที่ 1

1.4 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังผ่านถึงปฏิบัติการชะมูลฝอย

ในการทดลองที่ 1 ได้มีการทดลองศึกษาปริมาณน้ำที่ใช้ในระบบต่อการลดการเกิดก๊าซมีเทน โดยในถังปฏิบัติการที่ 1 ที่ใช้น้ำในการทดลอง 30 ลิตรต่อวันต่อมูลฝอย 8 กิโลกรัม จะมีกลไกการเกิดปฏิบัติการ โดยการคำนวณมวลคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC) ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปของการเกิดก๊าซมีเทนที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งคำนวณได้ดังตัวอย่างการคำนวณของถังปฏิบัติการที่ 1 การทดลองที่ 1 และตารางในภาคผนวก ค.ที่ 19 ถึงตารางภาคผนวก ค.ที่ 21

ก. มูลฝอยก่อนการชะล้าง

-มวลคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)*น้ำหนักที่ใส่ในถังปฏิบัติการ/100 = กรัมคาร์บอน
ในรูปของมูลฝอย

$$\text{จะได้ } 57.43 * 8000 / 100 = 4594.40 \text{ กรัมคาร์บอน}$$

ข. มูลฝอยหลังการชะล้าง

-มวลคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด (TOC)*น้ำหนักที่ใส่ในถังปฏิบัติการ/100 = กรัมคาร์บอน

$$\text{จะได้ } 50.76 * 8000 / 100 = 4060.80 \text{ กรัมคาร์บอน}$$

-ผลรวมของค่าซีโอดีที่ผ่านการชะในวัน*ปริมาณน้ำที่ใช้ในการทดลอง/น้ำหนัก
มูลฝอย = กรัมคาร์บอนในรูปของน้ำชะมูลฝอย

$$\text{จะได้ } [(21.2 * 30) + (2.4 * 30) + (0.8 * 30) + (0.92 * 30) + (0.88 * 30)] / 8 = 98.2 \text{ กรัมคาร์บอน}$$

-ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยก่อนชะล้าง-ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของ
มูลฝอยหลังชะล้าง = กรัมคาร์บอนในรูปของก๊าซ

$$\text{จะได้ } 43.58 - 28.92 = 14.65 \text{ กรัมคาร์บอน}$$

ตารางที่ 11 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะล้างในถังปฏิกริยาที่ 1 การทดลองที่ 1

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4594.40	100
	มูลฝอย	4060.80	88.39
หลังชะล้าง	น้ำชะมูลฝอย	98.25	2.14
	ก๊าซ	14.65	0.32
	รวม	4173.70	90.84

จากตารางที่ 11 จะพบว่า เมื่อมูลฝอยผ่านกระบวนการชะล้างในถังปฏิกริยา จะทำให้คาร์บอนอินทรีย์บางส่วนถูกชะในรูปแบบของ ซีโอดี ในน้ำชะมูลฝอย ซึ่งเมื่อคิดเป็นกรัมของคาร์บอนที่ถูกชะออกไป คิดเป็น 98.25 กรัม และปริมาณคาร์บอนในรูปแบบของการเกิดก๊าซมีเทนเป็น 14.65 กรัมของปริมาณคาร์บอน

ในขณะที่ผลการทดลองในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ซึ่งใช้น้ำในปริมาณ 40 และ 50 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ ได้ผลการคุณมวลสารในการทำงานเหมือนกัน กล่าวคือ ในถังปฏิกริยาที่ 2 จะมีการชะมวลสารออกมาในรูปแบบของน้ำชะมูลฝอย เท่ากับ 98.60 กรัมคาร์บอน และการใช้ย่อยสลายสารอินทรีย์ไปอยู่ในรูปของก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ 18.91 กรัมคาร์บอน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะล้างในถังปฏิกริยาที่ 2 การทดลองที่ 1

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4594.40	100
	มูลฝอย	3827.20	83.30
หลังชะล้าง	น้ำชะมูลฝอย	98.60	2.15
	ก๊าซ	18.91	0.41
	รวม	3944.71	85.86

ส่วนการควบคุมสารของถังปฏิบัติการที่ 3 พบว่า มีค่าการชะออกมาในรูปของค่าซีไอดีในน้ำชะเท่ากับ 118.25 กรัมคาร์บอน และการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 29.83 กรัม เมื่อเทียบกับมูลฝอยก่อนการบำบัด ดังตารางที่ 13 จากการควบคุมสารทำให้เห็นได้ว่าการชะล้างได้นำพามวลสารบางส่วนออกจากมูลฝอยในรูปของน้ำชะมูลฝอย อีกทั้งการเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยในสภาวะไร้อากาศทำให้มวลสารอินทรีย์ในระบบลดลง

ตารางที่ 13 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิบัติการที่ 3 การทดลองที่ 1

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4594.40	100
	น้ำชะมูลฝอย	118.25	2.57
หลังชะล้าง	มูลฝอย	3696.80	80.46
	ก๊าซ	29.83	0.65
	รวม	3844.88	83.69

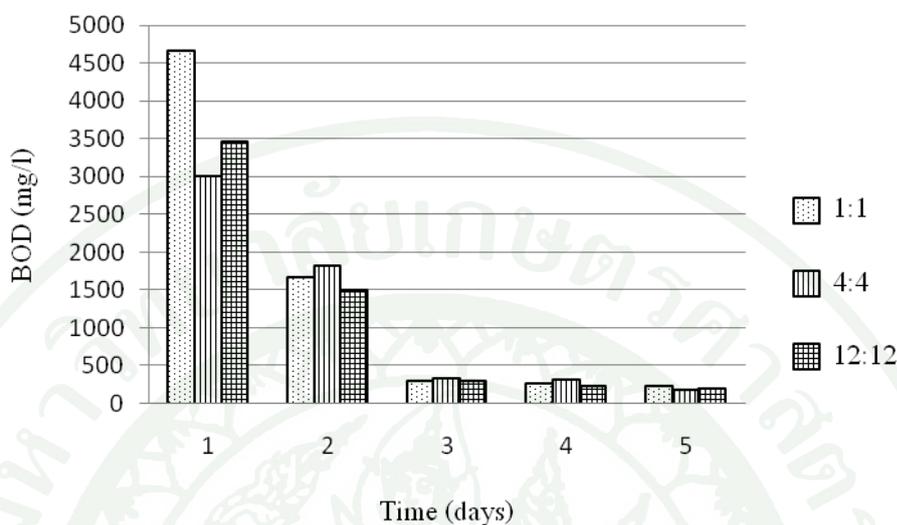
2 อิทธิพลของช่วงเวลาการ สูบน้ำชะล้าง มูลฝอยต่อการลด สารอินทรีย์และศักยภาพ การเกิดก๊าซมีเทน

จากการทดลองศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำชะล้างต่อการลดสารอินทรีย์พบว่า การใช้ น้ำในอัตรา 50 ลิตรต่อวัน ส่งผลให้เกิดการชะมวลสารอินทรีย์สูงสุดและเกิดก๊าซมีเทนต่ำสุดจึงนำอัตราดังกล่าวมาใช้หาช่วงเวลาในการสูบน้ำชะที่เหมาะสม

2.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

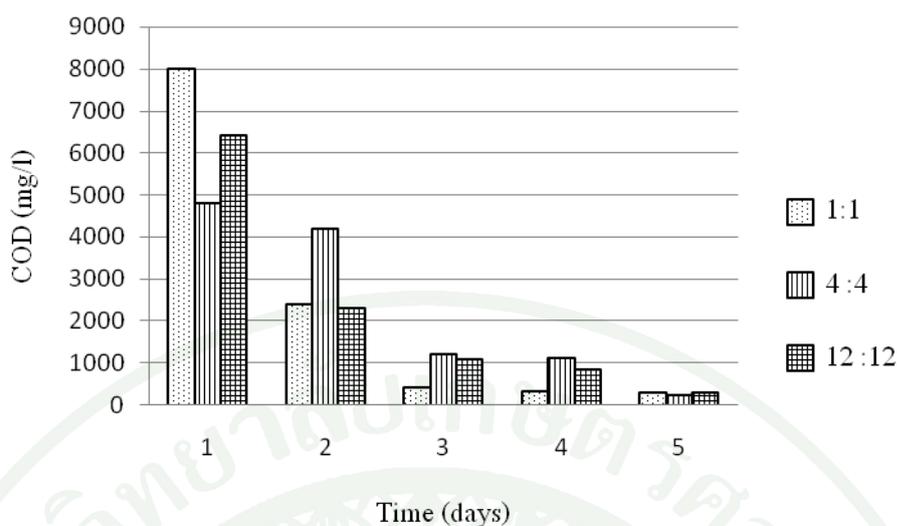
การศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย พบว่าค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 1 ที่ใช้อัตราการสูบน้ำ 1 ชั่วโมงทำการสลับ 1 ชั่วโมงหยุดทำการ มีปริมาณสูงสุดคือ 4,655 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ถังปฏิบัติการที่ 2 ที่ใช้อัตราการสูบน้ำ 4 ชั่วโมงทำการสลับ 4 ชั่วโมงหยุดทำการ มีค่าบีโอดีเท่ากับ 3,003 มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิบัติการที่ 3 ที่ใช้อัตราการสูบน้ำ 12 ชั่วโมงทำการสลับ 12 ชั่วโมงหยุดทำการ มีค่าบีโอดีเท่ากับ 3,453 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่า

ปริมาณบีโอดีจะสูงในช่วง 2 วันแรกและลดลงอย่างเห็นได้ชัดตั้งแต่วันที่ 3 เป็นต้นไป โดยมีปริมาณบีโอดีของวันสุดท้ายอยู่ที่ 227, 173 และ 187 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 บีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 2

การศึกษาปริมาณซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย พบว่าน้ำชะมูลฝอยของถังทดลองทั้ง 3 ถังจะมีปริมาณซีโอดี มากในช่วง แรกๆเช่นเดียวกับ บีโอดี และค่อยๆลดลง โดยมีปริมาณ ซีโอดี ของถังปฏิบัติการที่ 1 เท่ากับ 8,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าซีโอดีเท่ากับ 4,800 มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิบัติการที่ 3 มีค่าซีโอดีเท่ากับ 6,400 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อคิดมวลซีโอดีที่ถูกชะสะสมต่อน้ำหนักมูลฝอยรวม 5 วันพบว่าในถังปฏิบัติการที่ 2 มีมวลซีโอดีที่ชะออกมาสะสมสูงกว่าถังปฏิบัติการที่ 1 และถังปฏิบัติการที่ 3 กล่าวคือ มวลซีโอดีที่ถูกชะสะสมต่อน้ำหนักมูลฝอยรวม 5 วันของถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าเท่ากับ 72.25 กรัมต่อวันต่อกิโลกรัมขยะ ในขณะที่ถังปฏิบัติการที่ 1 และถังทดลองที่ 3 มีค่ามวลที่ถูกชะเท่ากับ 71.25 และ 68.25 กรัมต่อวันต่อกิโลกรัมขยะ ตามลำดับ แสดงว่าถังปฏิบัติการที่ 2 มีการชะละลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าถังทดลองอื่น ดังตารางที่ 14



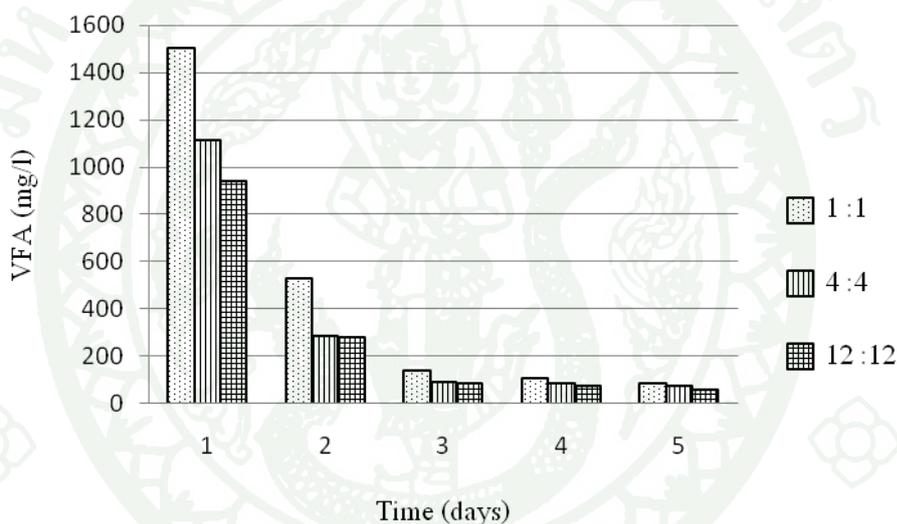
ภาพที่ 25 ซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 2

ตารางที่ 14 มวลซีโอดีที่ถูกชะสะสมและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในมูลฝอยการทดลองที่ 2

ถึง ปฏิกิริยา ที่	รูปแบบการ สูบน้ำ (ชั่วโมง)	มวล COD ที่ถูกชะ สะสมรวม 5 วัน (กรัม)	มวลซีโอดีที่ถูกชะ สะสมต่อน้ำหนักมูล ฝอยรวม 5 วัน (กรัม/กิโลกรัม)	ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ ที่เหลือใน มูลฝอย (ร้อยละ)
1	1:1	570	71.25	43.14
2	4:4	578	72.25	42.68
3	12:12	546	68.25	44.14

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายพบว่าในถึงปฏิกิริยาที่ 1 2 และ 3 จะมีปริมาณกรดอินทรีย์ใกล้เคียงกัน กล่าวคือในถึงปฏิกิริยาที่ 1 จะมีปริมาณกรดอินทรีย์ในน้ำชะในวันแรกเท่ากับ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีปริมาณเท่ากับ 1,100 มิลลิกรัมต่อลิตร ถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีปริมาณเท่ากับ 938 มิลลิกรัมต่อลิตร แนวโน้มของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะมีปริมาณสูงในวันแรกและค่อยๆลดลง ในวันที่ 5 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะมีปริมาณเท่ากับ 85, 75 และ 55 มิลลิกรัมต่อลิตรในถึงปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพ 26 เมื่อนำน้ำชะมูลฝอยไปทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง GC พบว่า ในถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีกรดอะซิติกในวันแรก 1,207.41

มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 100 และเมื่อผ่านไป 5 วันพบว่า มีปริมาณกรดอะซิติก 56.68 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีกรดโพรไพออนิก 16.88 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 77.02 และ 22.98 ตามลำดับ ส่วนถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีกรดอะซิติกในวันแรก 518.66 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดโพรไพออนิก 41.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 92.61 และ 7.39 ตามลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการชะล้างในวันที่ 5 พบว่ามีกรดอะซิติก 49.89 มิลลิกรัมต่อลิตร และกรดโพรไพออนิก 19.93 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 71.46 และ 28.54 ตามลำดับ ดังตารางที่ 15 จากผลการทดลองจะพบว่าในวันแรกของการชะล้างจะพบกรดอะซิติกในปริมาณสูงและเมื่อเวลาการชะล้างผ่านไป จะพบกรดอะซิติกในสัดส่วนที่ต่ำลง



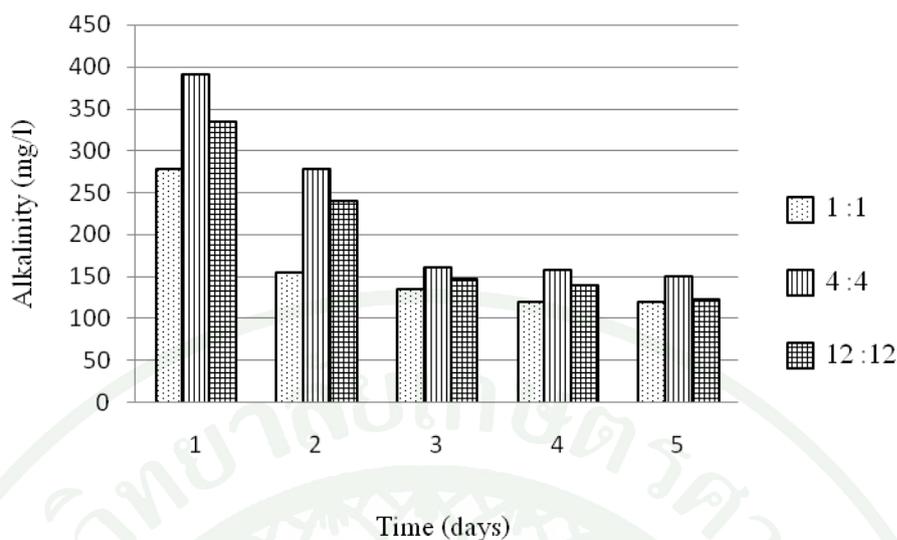
ภาพที่ 26 กรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 2

ตารางที่ 15 แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 2

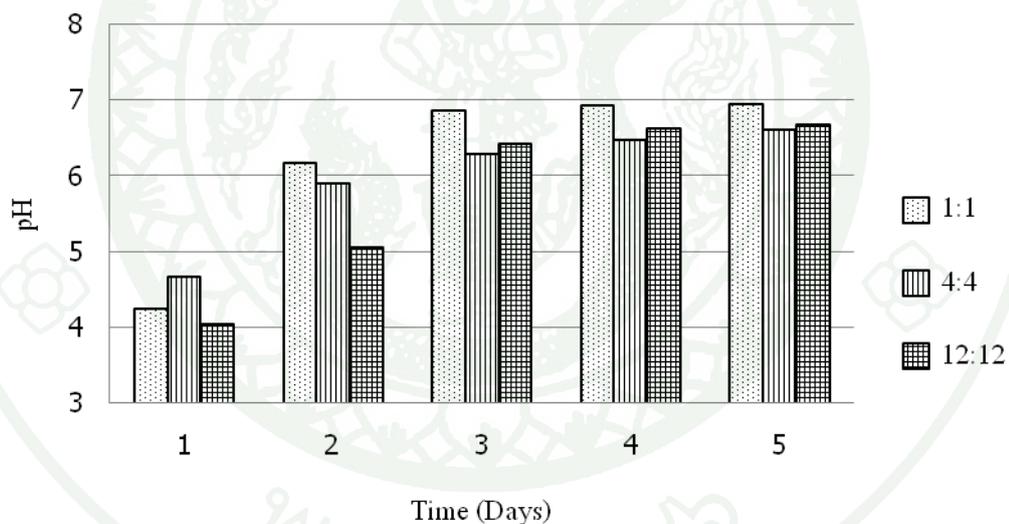
ถังปฏิบัติการ	วันที่	กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	ความเข้มข้น (mg/l)	ร้อยละ
1	1	acetic	1207.41	100
		รวม	1207.41	100
1	5	acetic	56.58	77.02
		propionic	16.88	22.98
		รวม	73.46	100
2	1	acetic	518.66	92.61
		propionic	41.38	7.39
		รวม	560.04	100
2	5	acetic	49.89	71.46
		propionic	19.93	28.54
		รวม	69.82	100

จากการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาการสูบและหยุดสูบน้ำพบว่า อัตราการสูบน้ำ 1 ชั่วโมง สลับกับหยุด 1 ชั่วโมงในถังทดลองที่ 1 ส่งผลให้การมีการสะสมสารอินทรีย์ใกล้เคียงกับการสูบ 4 ชั่วโมงทำการสลับ 4 ชั่วโมงหยุดทำการในถังทดลองที่ 2 แต่เมื่อนำมุลฝอยไปวิเคราะห์ลักษณะ สมบัติพบว่าถังปฏิบัติการที่ 2 มีปริมาณคาร์บอนเหลืออยู่ต่ำสุดแสดงว่าถังปฏิบัติการที่ 2 มีการชะละลายสารอินทรีย์ได้ดีและเป็นช่วงเวลาในการชะล้างที่เหมาะสม เนื่องจากรูปแบบการชะล้าง ดังกล่าวส่งผลให้มีความชื้นเพียงพอต่อการเร่งการเกิดไฮโดรไลซิสในขณะที่เดียวกันก็มีช่วงเวลาหยุด ให้มุลฝอยเกิดปฏิกิริยาย่อยสลาย

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างรวม ในช่วงวันที่ 1-5 ของการทดลอง มีแนวโน้มลดลง โดยที่ถังปฏิบัติการที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 278-120 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าอยู่ในช่วง 390-150 มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิบัติการที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 334-123 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างคงที่ในช่วงวันต่างๆ ดัง ภาพที่ 27 ในขณะที่ค่าพีเอชจะมีค่าต่ำสุดในวันแรกและมีค่าสูงขึ้นในวันถัดๆไป



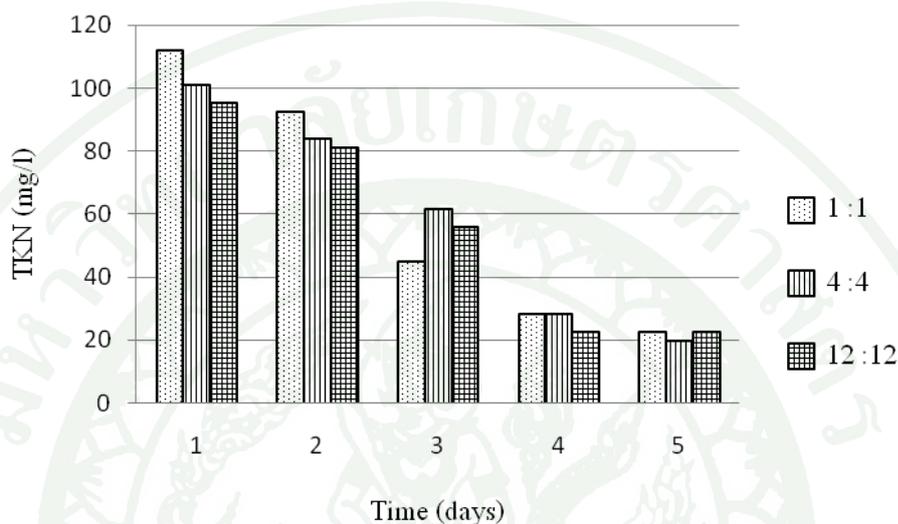
ภาพที่ 27 ความเป็นด่างรวมในการทดลองที่ 2



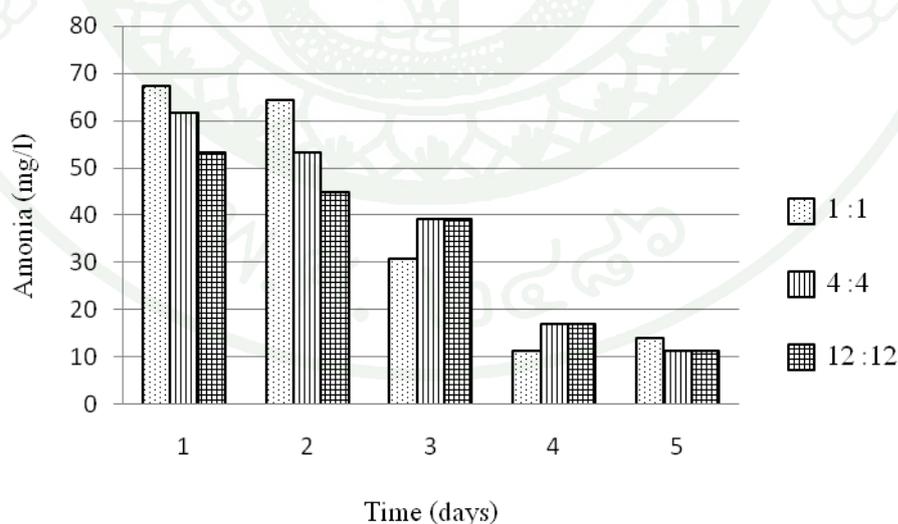
ภาพที่ 28 พีเอชในการทดลองที่ 2

การศึกษาปริมาณ ทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอย พบว่าน้ำชะมูลฝอยของถังปฏิบัติการทั้ง 3 ถัง จะมีปริมาณทีเคเอ็นสูงสุดในวันแรกและค่อยๆ ลดลงเช่นเดียวกับ บีโอดี และซีโอดี โดยมีปริมาณทีเคเอ็นของถังปฏิบัติการที่ 1 อยู่ในช่วง 112-22 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิบัติการที่ 2 อยู่ในช่วง 101-20 มิลลิกรัมต่อลิตร และถังปฏิบัติการที่ 3 อยู่ในช่วง 95-22 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนปริมาณแอมโมเนียของถังปฏิบัติการที่ 1 อยู่ในช่วง 67-14 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิบัติการที่ 2 อยู่ในช่วง 62-11 มิลลิกรัมต่อลิตร

และถึงปฏิกิริยาที่ 3 อยู่ในช่วง 53-11 มิลลิกรัมต่อลิตรจะสังเกตได้ว่าปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนีย มีการชะมวลสารออกมาก่อนข้างคงที่ในช่วงวันที่หลายๆเช่นเดียวกับ บี โอดี และซี โอดีแต่ปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากมีค่าการชะออกมาไม่สูงตั้งแต่วันที่แรกของการชะโดยจะมีแนวโน้มค่าการชะลดลง ดังภาพที่ 29 และภาพที่ 30



ภาพที่ 29 ปริมาณไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็น ในการทดลองที่ 2



ภาพที่ 30 ค่าแอมโมเนีย ในการทดลองที่ 2

2.2 ลักษณะองค์ประกอบของมูลฝอยหลังผ่านกระบวนการชะล้างมูลฝอย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของมูลฝอยผ่านกระบวนการชะล้างมูลฝอย พบว่าค่าความชื้นของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างมีค่ามากกว่ามูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้าง โดยที่มูลฝอยจากถังปฏิบัติการที่ 1 ซึ่งผ่านการชะด้วยอัตราการป้อนน้ำ 1 ชั่วโมงทำการสลับ 1 ชั่วโมงหยุดทำการ มีร้อยละความชื้นสูงสุด 56.48 ในขณะที่มูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 2 และ 3 มีค่าร้อยละความชื้นลดลงตามช่วงระยะเวลาการเปิดและปิดป้อนน้ำ กล่าวคือ ในถังปฏิบัติการที่ 2 ที่ผ่านการชะด้วยอัตราการป้อนน้ำ 4 ชั่วโมงทำการสลับ 4 ชั่วโมงหยุดทำการ มีร้อยละความชื้น 49.15 และถังปฏิบัติการที่ 3 ผ่านการชะด้วยอัตราการป้อนน้ำ 12 ชั่วโมงทำการสลับ 12 ชั่วโมงหยุดทำการมีร้อยละความชื้น 46.32 ในขณะที่มูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านการชะล้างมีค่าร้อยละความชื้น 41.15 ดังตารางที่ 16 ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งในมูลฝอย พบว่ามูลฝอยที่ผ่านการชะล้างจะมีปริมาณของแข็งลดลง ทั้งนี้ เนื่องจากสารอินทรีย์บางส่วนได้ถูกชะออกไปกับน้ำชะ เมื่อนำมูลฝอยมาศึกษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด(TOC) พบว่ามูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ต่ำกว่ามูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้าง โดยมูลฝอยที่ผ่านการชะล้างในถังปฏิบัติการที่ 1 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดลดลงร้อยละ 16.52 เมื่อเทียบกับมูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้าง ส่วนมูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 2 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดลดลงร้อยละ 17.41 และมูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ลดลงร้อยละ 14.59 จะเห็นว่ามูลฝอยในถังปฏิบัติการทั้ง 3 ถังมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดใกล้เคียงกัน

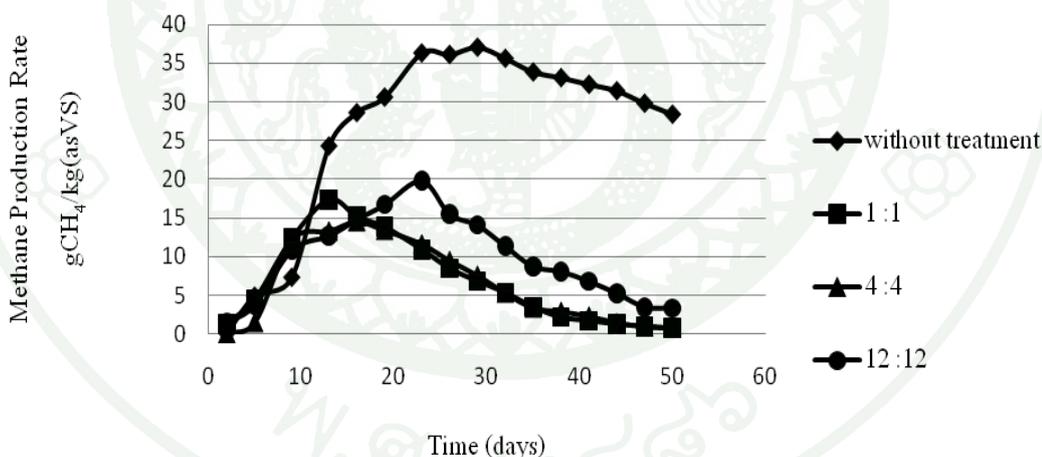
ตารางที่ 16 ลักษณะสมบัติของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วันในการทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ของแข็ง (ร้อยละ)	สารที่เผาไหม้ (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	TOC (ร้อยละ)
มูลฝอยก่อนล้าง	41.15	58.85	51.64	7.21	51.68
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 1	56.48	43.52	38.42	5.10	43.14
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 2	49.15	50.85	44.15	6.70	42.68
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 3	46.32	53.68	47.26	6.42	44.14

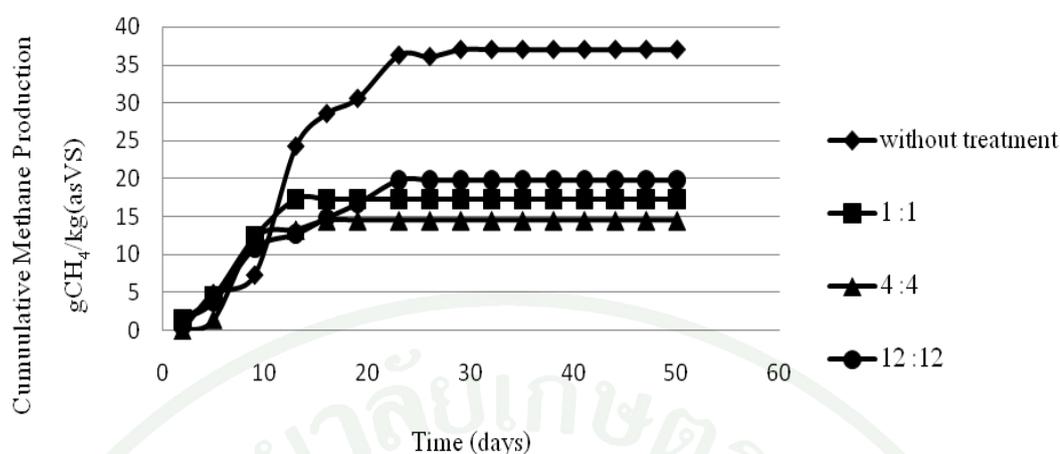
หมายเหตุ: ร้อยละน้ำหนักเปียก

2.3 ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน

เมื่อนำมูลฝอยมาวิเคราะห์หาศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน พบว่าทั้ง 3 ถึงปฏิกิริยามีปริมาณก๊าซมีเทนสะสมต่ำกว่า มูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการกล่าวคือมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้างมีการเกิดก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดที่ 37.02 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม ($\text{gCH}_4/\text{kg}(\text{asVS})$) ถึงปฏิกิริยาที่ 1 มีการเกิดก๊าซมีเทนสะสมที่ 17.36 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม ซึ่งมีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง ร้อยละ 53.10 ในขณะที่ถึงปฏิกิริยาที่ 2 มีการเกิดก๊าซมีเทนสะสมที่ 14.47 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม มีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง ร้อยละ 60.91 และถึงปฏิกิริยาที่ 3 มีการเกิดก๊าซมีเทนสะสมที่ 19.78 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม มีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง ร้อยละ 46.57 จากค่าดังกล่าวจะพบว่าสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในมูลฝอย กล่าวคือมูลฝอยที่ยังไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้างจะมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในมูลฝอย ร้อยละ 51.68 ในขณะที่มูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างแล้วจะมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในมูลฝอยเหลือร้อยละ 43.14, 42.68 และ 44.14 ในถึงปฏิกิริยาที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในถึงปฏิกิริยาที่ 2 เกิดก๊าซมีเทนสะสมต่ำสุด ดังภาพที่ 32 เนื่องจากมวลสารได้ถูกชะออกไปและมีมวลสารในรูปคาร์บอนอินทรีย์ต่ำที่สุด



ภาพที่ 31 การเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยในการทดลองที่ 2



ภาพที่ 32 การเกิดก๊าซมีเทนสะสมของมูลฝอยในการทดลองที่ 2

2.4 คุณสมบัติของมูลฝอยก่อนและหลังผ่านถังปฏิกรณ์หมักมูลฝอย

ในการทดลองที่ 2 ได้มีการทดลองรูปแบบของการสูบน้ำในสัดส่วนแตกต่างกันต่อการลดการเกิดก๊าซมีเทน โดยทั้ง 3 ถังปฏิกรณ์ใช้ปริมาณน้ำที่เท่ากันคือ 50 ลิตรต่อวันต่อมูลฝอย 8 กิโลกรัม มีการเปลี่ยนน้ำทุก 24 ชั่วโมง โดยพบว่าในถังปฏิกรณ์ที่ 1 ที่มีรูปแบบการสูบน้ำ 1 ชั่วโมงทำการสลับ 1 ชั่วโมงหยุดทำการ จะมีกลไกการเกิดปฏิกิริยา ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 คุณสมบัติของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วันในถังปฏิกรณ์ที่ 1 การทดลองที่ 2

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4134.4	100
	มูลฝอย	3451.2	83.48
หลังชะล้าง	น้ำชะมูลฝอย	71.25	1.72
	ก๊าซ	19.66	0.48
	รวม	3542.11	85.67

จากตารางที่ 17 จะพบว่า เมื่อมูลฝอยผ่านกระบวนการชะล้างในถังปฏิกริยา จะทำให้คาร์บอนอินทรีย์บางส่วนถูกชะในรูปแบบของ ซีไอดี ในน้ำชะมูลฝอย ซึ่งเมื่อคิดเป็นกรัมของคาร์บอนที่ลดลง คิดเป็น 71.25 กรัม และปริมาณคาร์บอนบางส่วนจะเกิดในรูปแบบของก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ โดยคิดเป็น 19.66 กรัมของปริมาณคาร์บอน

ในขณะที่ผลการทดลองในถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 ซึ่งมีรูปแบบการสูบน้ำที่ 4 ชั่วโมงทำการสลับ 4 ชั่วโมงหยุดทำการ และ 12 ชั่วโมงทำการสลับ 12 ชั่วโมงหยุดทำการ ตามลำดับ ได้ผลการคลุมวลสารในรูปแบบเดียวกัน กล่าวคือ ในถังปฏิกริยาที่ 2 จะมีการชะมวลสารออกมาในรูปแบบของค่าซีไอดีในน้ำชะมูลฝอย เท่ากับ 72.25 กรัมของคาร์บอน และมีเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ไปอยู่ในรูปของก๊าซมีเทน 22.55 กรัมของคาร์บอน ดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 คลุมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิกริยาที่ 2 การทดลองที่ 2

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4134.4	100
	มูลฝอย	3414.4	82.59
หลังชะล้าง	น้ำชะมูลฝอย	72.25	1.75
	ก๊าซ	22.55	0.55
	รวม	3509.2	84.88

ในส่วนของถังปฏิกริยาที่ 3 พบว่า มีค่าการชะของสารอินทรีย์ออกมาในรูปแบบของค่าซีไอดีในน้ำชะเท่ากับ 68.25 กรัมของคาร์บอน และการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 17.24 กรัมของคาร์บอน ดังตารางที่ 19 จากการคลุมวลสารทำให้เห็นได้ว่า ทั้ง 3 ถังปฏิกริยาจะมีการชะมวลสารออกมาใกล้เคียงกัน นอกจากนี้การชะล้างได้นำพามวลสารบางส่วนออกจากมูลฝอยในรูปแบบของน้ำชะมูลฝอย อีกทั้งการเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์จากมูลฝอยเป็นก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศ ทำให้มวลสารอินทรีย์ในระบบลดลง

ตารางที่ 19 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะล้างวันในถังปฏิกริยาที่ 3 การทดลองที่ 2

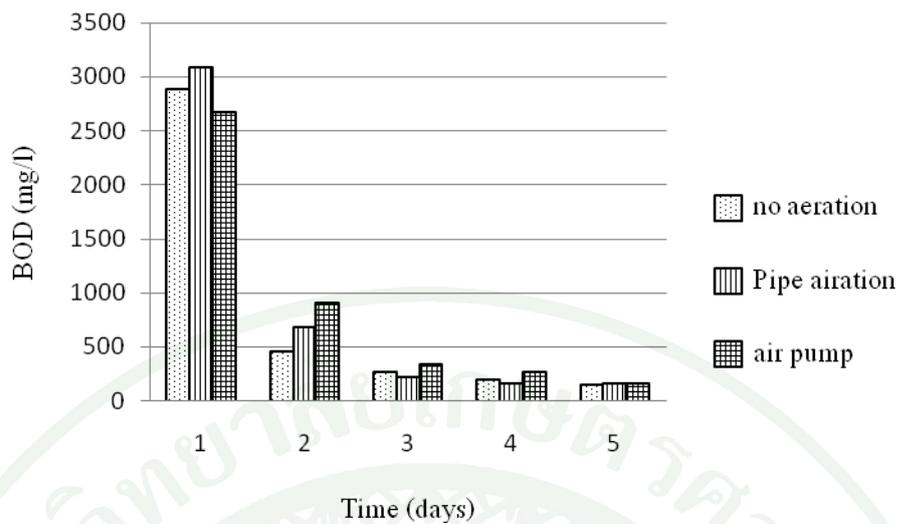
สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4134.4	100
	มูลฝอย	3531.2	85.41
หลังชะล้าง	น้ำชะมูลฝอย	68.25	1.65
	ก๊าซ	17.24	0.42
	รวม	3616.69	87.48

3. อิทธิพลของการเติมอากาศระหว่างการชะล้างมูลฝอย

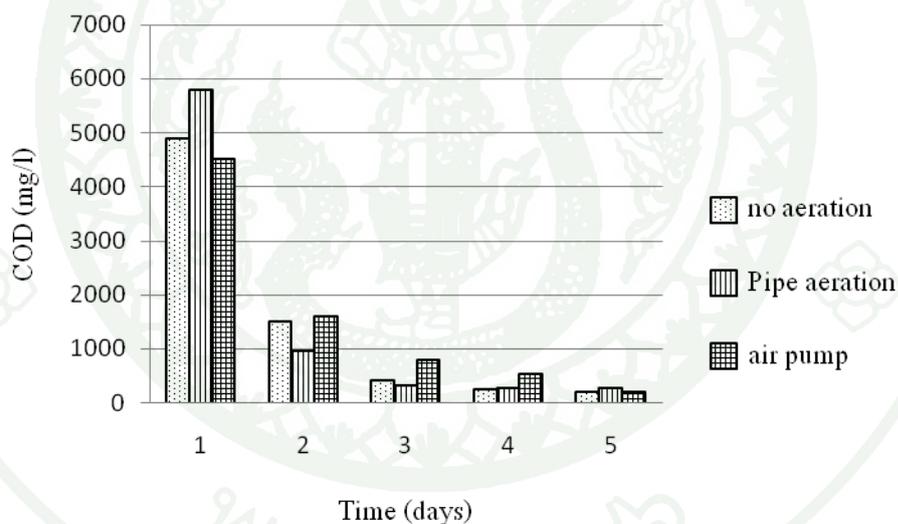
จากการทดลองที่ 1 และ 2 ทำให้ได้ทราบปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการชะล้างคือ 50 ลิตรต่อวัน หรือ การใช้ปริมาณน้ำชะล้าง 6.25 ลิตรต่อกิโลกรัมมูลฝอยต่อวัน สามารถลดศักยภาพการเกิดมีเทนได้สูงสุดถึงร้อยละ 68 เมื่อเปรียบเทียบกับมูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดและรูปแบบการสูบลมหมุนเวียนน้ำชะที่เหมาะสมคือสูบลม 4 ชั่วโมงทำการสลับกับหยุด 4 ชั่วโมง เนื่องจากรูปแบบการชะล้างดังกล่าวส่งผลให้มีความชื้นเพียงพอต่อการเร่งการเกิดไฮโดรไลซิสในขณะเดียวกันก็มีช่วงเวลาหยุดให้มูลฝอยเกิดปฏิกริยาย่อยสลาย ในการทดลองที่ 3 จึงกำหนดอัตราการสูบลมและระยะเวลาเปิด-ปิดเครื่องสูบน้ำที่เหมาะสมจากการทดลองที่ 1 และ 2 โดยแปรผันลักษณะการเติมอากาศ โดยถังปฏิกริยาที่ 1 ไม่มีการเติมอากาศ ถังปฏิกริยาที่ 2 มีการติดตั้งท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 นิ้ว ยาว 0.70 เมตร จำนวน 4 ท่อ เจาะรูขนาด 1 เซนติเมตร โดยรอบเพื่อช่วยระบายอากาศ และถังปฏิกริยาที่ 3 ติดตั้งเครื่องเติมอากาศขนาด 1 ลิตรต่อนาที โดยมีการเติมอากาศตลอดการทดลอง

3.1 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

ถังปฏิกริยาทั้ง 3 ถังในการทดลองที่ 3 ได้ค่าบีโอดีใกล้เคียงกัน โดยมีแนวโน้มค่าบีโอดีลดลงเมื่อเข้าสู่วันถัดไป ค่าบีโอดีในถังปฏิกริยาที่ 1 ในวันแรกมีค่า 2,880 มิลลิกรัมต่อลิตร ในวันถัดไปมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดจนเป็น 450 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งให้ผลการทดลองเช่นเดียวกับถังปฏิกริยาที่ 2 และ 3 กล่าวคือจากค่าบีโอดีในวันแรก 3,080 และ 2,667 มิลลิกรัมต่อลิตร ไปเป็น 676 และ 901 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 บีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 3



ภาพที่ 34 ซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ในการทดลองที่ 3

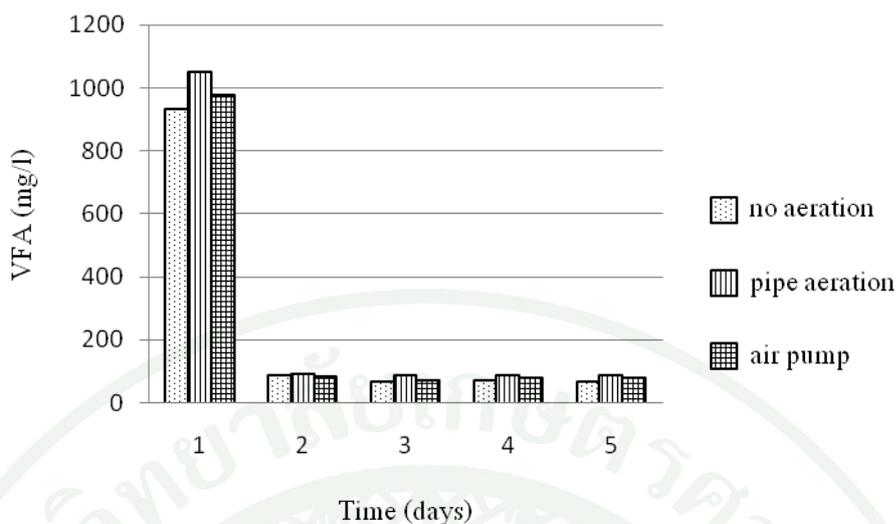
ในการทดลองที่ 3 พบว่า ปริมาณซีโอดีในน้ำชะขยะในถังทดลองทั้ง 3 ถัง มีแนวโน้มลดลงมากใน 3 วันแรก กล่าวคือจาก 4,880 มิลลิกรัมต่อลิตรไปเป็น 420 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิบัติการที่ 1 ที่ไม่มีการเติมอากาศ จาก 5,800 มิลลิกรัมต่อลิตรไปเป็น 310 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิบัติการที่ 2 ที่มีการเติมอากาศด้วยท่อพีวีซี และจาก 4,520 มิลลิกรัมต่อลิตรไปเป็น 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังปฏิบัติการที่ 3 ที่มีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศ ซึ่งแสดงว่าเกิดการย่อยและชะ

ละลายของสารอินทรีย์ในรูปของแข็งมาอยู่ในรูปน้ำเสียได้ดี เมื่อหามวลของสารอินทรีย์ในรูปซีไอดีที่ถูกชะละลายจากมูลฝอยในวันที่ 1 ถึงวันที่ 5 พบว่ามีปริมาณเท่ากับ 45.25, 47.63 และ 47.75 กรัมต่อวันต่อกิโลกรัมมูลฝอยในถังปฏิกริยาที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 20 ทั้งนี้จะพบว่ามวลของสารอินทรีย์ที่ถูกชะละลายจะมีค่าใกล้เคียงกันและปริมาณการชะมวลสารอินทรีย์นั้นสอดคล้องกับปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่เหลือในมูลฝอย กล่าวคือเมื่อมวลสารอินทรีย์ถูกชะออกมาอยู่ในรูปของน้ำปริมาณมากจะทำให้มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์เหลือในมูลฝอยลดลง

ตารางที่ 20 มวลซีไอดีที่ถูกชะสะสมและปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดในมูลฝอยการทดลองที่ 3

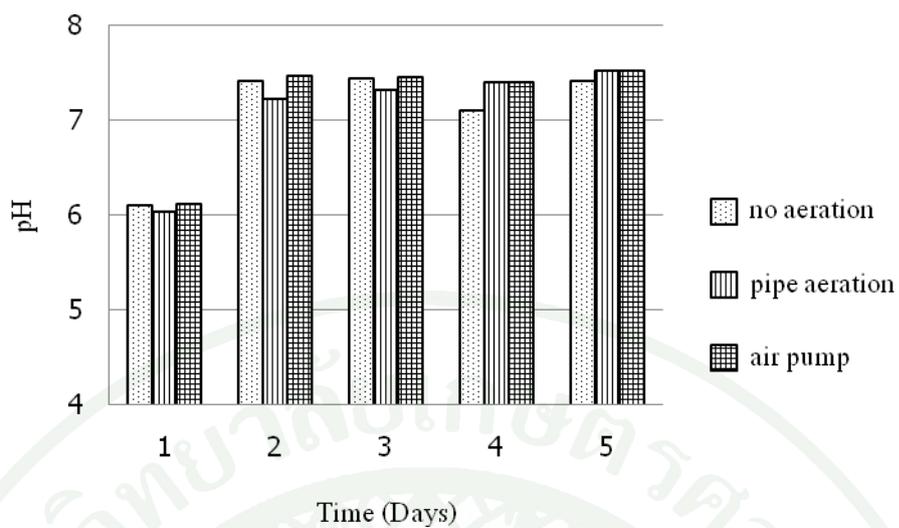
ถัง ปฏิกริยา ที่	การเติมอากาศ	มวลซีไอดีที่ ถูกชะสะสม รวม 5 วัน (กรัม)	มวลซีไอดีที่ถูกชะ สะสมต่อน้ำหนัก มูลฝอยรวม 5 วัน (กรัม/กิโลกรัม)	ปริมาณคาร์บอน อินทรีย์ที่เหลือใน มูลฝอย (ร้อยละ)
1	ไม่เติมอากาศ	362	45.25	52.15
2	ใช้ท่อระบายอากาศ	381	47.63	50.73
3	ใช้เครื่องเติมอากาศ	382	47.75	50.18

กรดอินทรีย์ระเหยง่ายของถังทดลองทั้ง 3 ถัง มีค่าไม่แตกต่างกัน กล่าวคือในถังปฏิกริยาที่ 1 จะมีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในช่วง 930 – 68 มิลลิกรัมต่อลิตร ถังปฏิกริยาที่ 2 มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในช่วง 1050 – 85 มิลลิกรัมต่อลิตร และในถังปฏิกริยาที่ 3 มีค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายอยู่ในช่วง 975 – 80 มิลลิกรัมต่อลิตรดังภาพที่ 35

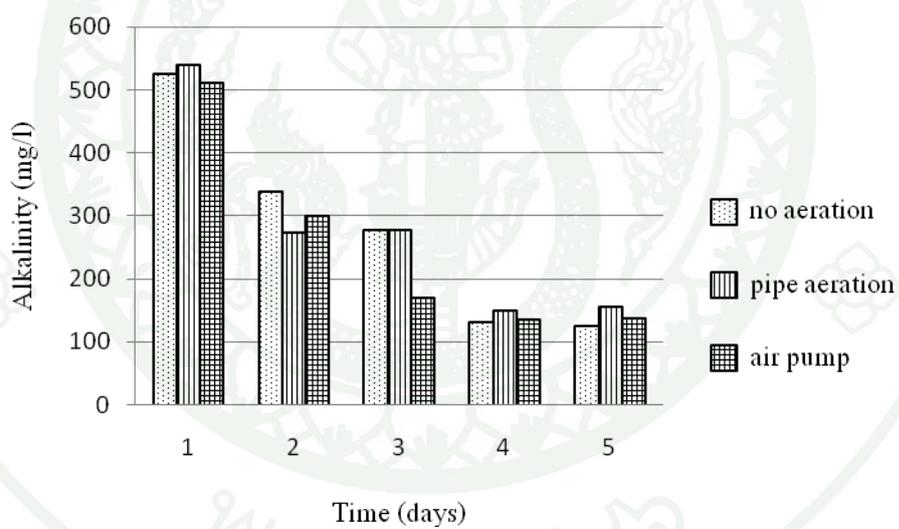


ภาพที่ 35 กรดอินทรีย์ระเหยง่ายในการทดลองที่ 3

เมื่อนำมาวิเคราะห์ชนิดของกรดอินทรีย์พบว่า ในวันที่ 1 ถึงปฏิบัติการที่ 1 มีกรดอะเซติก 119.43 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดโพรไพออนิก 15.57 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 88.47 และ 11.53 ตามลำดับ ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีกรดอะเซติก 150.76 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดโพรไพออนิก 14.24 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 91.37 และ 8.63 ตามลำดับ และถึงปฏิบัติการที่ 3 มีกรดอะเซติก 131.89 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดโพรไพออนิก 10.61 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 92.55 และ 7.45 ตามลำดับ เมื่อผ่านกระบวนการชะล้างไป 5 วัน พบว่าปริมาณกรดอินทรีย์ที่พบมีปริมาณ น้อยลงและลักษณะสัดส่วนของร้อยละของปริมาณกรดเปลี่ยนแปลงไป โดยที่ถึงปฏิบัติการที่ 1 มีกรดอะเซติก 10.99 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดโพรไพออนิก 11.51 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 48.84 และ 51.16 ตามลำดับ ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีกรดอะเซติก 10.07 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดโพรไพออนิก 9.93 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 50.35 และ 49.65 ตามลำดับ และถึงปฏิบัติการที่ 3 มีกรดอะเซติก 5.91 มิลลิกรัมต่อลิตร กรดโพรไพออนิก 6.59 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยคิดเป็นร้อยละ 47.28 และ 52.72 ตามลำดับ ดังตารางที่ 21 จากค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายพบว่าชนิดของกรดอินทรีย์ที่พบได้แก่ กรดอะเซติกและกรดโพรไพออนิกโดยที่สัดส่วนของกรดอะเซติกจะลดลงเมื่อผ่าน 5 วัน ทำการซึ่งทำให้จุลินทรีย์ใช้กรดอะเซติกเป็นสารตั้งต้นในการผลิตก๊าซมีเทนได้ลดลง และจากค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายจะสอดคล้องกับค่าความเป็นกรด-ด่างของการทดลอง กล่าวคือในวันที่ 1 จะมีค่าพีเอชต่ำที่สุดคืออยู่ในช่วง 6.04-6.12 และจะมีค่าพีเอชสูงขึ้นในวันถัดมา ดังแสดงในภาพ 36



ภาพที่ 36 พีเอชในการทดลองที่ 3

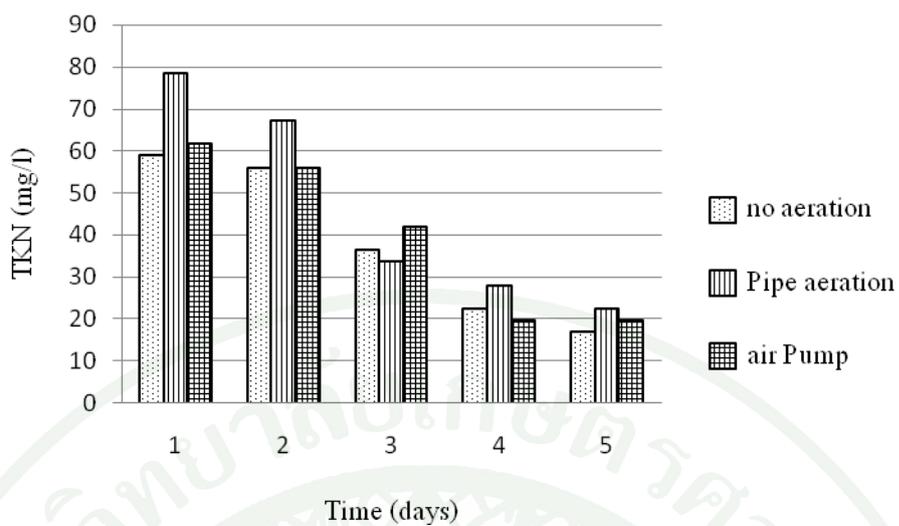


ภาพที่ 37 ความเป็นด่างรวมในการทดลองที่ 3

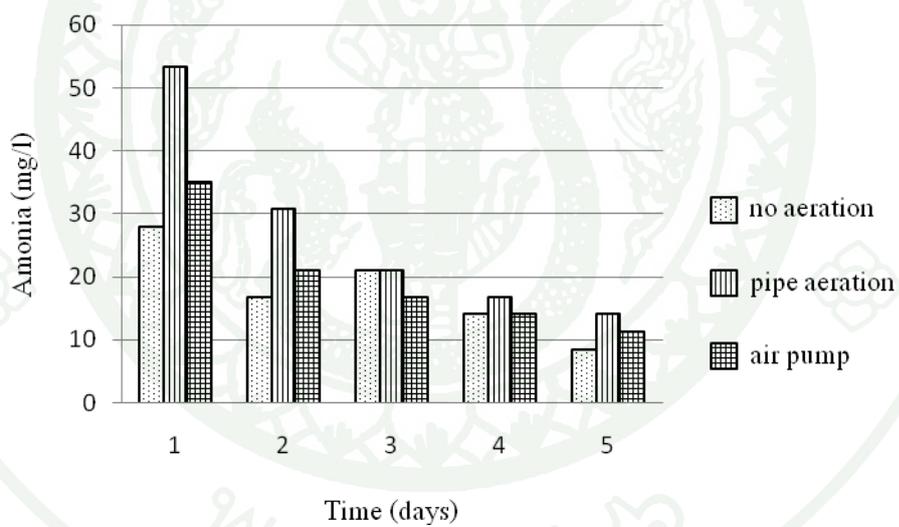
ตารางที่ 21 แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 3

ถังปฏิบัติการ	วันที่	กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	ปริมาณ (mg/l)	ร้อยละ
1	1	acetic	119.43	88.47
		propionic	15.57	11.53
		รวม	135	100
1	5	acetic	10.99	48.84
		propionic	11.51	51.16
		รวม	22.5	100
2	1	acetic	150.76	91.37
		propionic	14.24	8.63
		รวม	165	100
2	5	acetic	10.07	50.35
		propionic	9.93	49.65
		รวม	20	100
3	1	acetic	131.89	92.55
		propionic	10.61	7.45
		รวม	142.5	100
3	5	acetic	5.91	47.28
		propionic	6.59	52.72
		รวม	12.5	100

ในโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นและแอมโมเนียที่พบในวันแรกมีปริมาณสูงสุดและลดลงในวันถัดไป ซึ่งทั้งค่าไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นและแอมโมเนียในทั้ง 3 ถังปฏิบัติการมีค่าใกล้เคียงกันมาก โดยไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นและแอมโมเนียในถังปฏิบัติการที่ 1 มีค่าอยู่ในช่วง 59 - 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ถังปฏิบัติการที่ 2 มีค่าในช่วง 78 - 14 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนถังปฏิบัติการที่ 3 มีค่าอยู่ในช่วง 62 - 11 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ



ภาพที่ 38 ปริมาณไนโตรเจนในรูปของทีเคเอ็นในการทดลองที่ 3



ภาพที่ 39 ค่าแอมโมเนียในการทดลองที่ 3

3.2 ลักษณะองค์ประกอบของมูลฝอยหลังผ่านกระบวนการชะล้างมูลฝอย

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของมูลฝอยผ่านกระบวนการชะล้างมูลฝอย พบว่า มูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างมีค่าร้อยละความชื้นมากกว่ามูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้าง โดยที่มูลฝอยจากถังปฏิบัติการที่ 1 ซึ่งไม่มีการเติมอากาศ มีร้อยละความชื้น 46.39 มูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 2 ที่มีการเติมอากาศโดยการต่อท่อพีวีซี มีร้อยละความชื้น 43.30 และถังปฏิบัติการที่ 3 ที่เติมอากาศด้วยปั๊มมีร้อยละความชื้น 45.14 ในขณะที่มูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านการชะล้างมีค่าร้อยละความชื้น 39.42 ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งในมูลฝอย พบว่ามูลฝอยที่ผ่านการชะล้างจะมีปริมาณของแข็งลดลงจากร้อยละ 60.58 มาอยู่ในช่วง 53.61-56.70 เมื่อนำมูลฝอยมาศึกษาปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด พบว่ามูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างมีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ต่ำกว่ามูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้าง โดยมูลฝอยที่ผ่านการชะล้างในถังปฏิบัติการที่ 1 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดลดลงร้อยละ 10.73 เมื่อเทียบกับมูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้าง ส่วนมูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 2 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดลดลงร้อยละ 13.16 และมูลฝอยในถังปฏิบัติการที่ 3 มีปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ลดลงร้อยละ 14.10 ดังตารางที่ 22

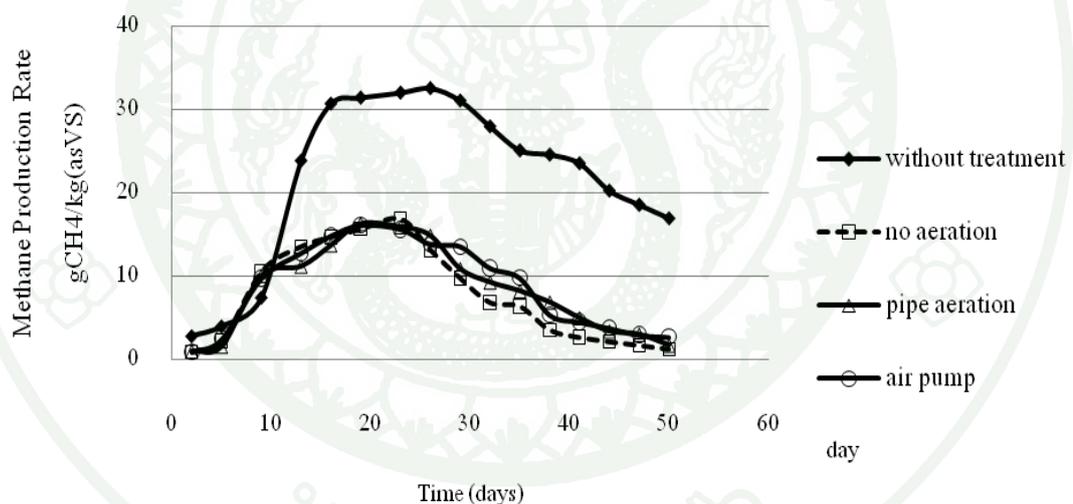
ตารางที่ 22 ลักษณะสมบัติของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วันในการทดลองที่ 3

พารามิเตอร์	ค่าความชื้น (ร้อยละ)	ของแข็ง (ร้อยละ)	สารที่เผาไหม้ (ร้อยละ)	เถ้า (ร้อยละ)	TOC (ร้อยละ)
มูลฝอยก่อนล้าง	39.42	60.58	50.43	10.15	58.42
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 1	46.39	53.61	45.69	7.92	52.15
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 2	43.30	56.70	48.46	8.24	50.73
มูลฝอย ถังปฏิบัติการที่ 3	45.14	54.86	47.30	7.56	50.18

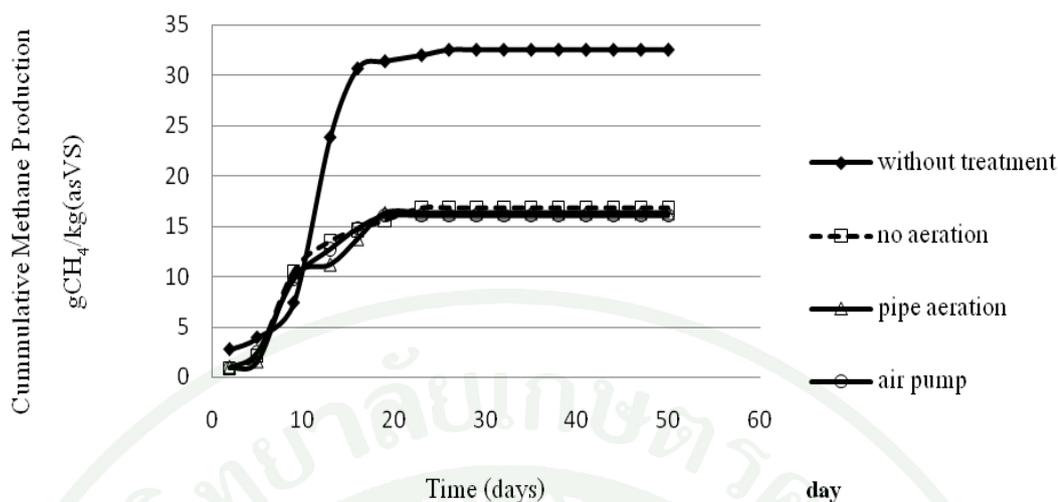
หมายเหตุ: ร้อยละน้ำหนักเปียก

3.3 ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน

เมื่อนำมูลฝอยไปวิเคราะห์การเกิดก๊าซมีเทนสะสมพบว่ามีความใกล้เคียงกัน โดยมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้างมีการเกิดก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดที่ 32.54 กรัมมีเทนต่อวันต่อกิโลกรัม ($\text{gCH}_4/\text{kg(asVS)}$) ถึงปฏิบัติการที่ 1 มีการเกิดก๊าซมีเทนสะสมที่ 16.78 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม มีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง ร้อยละ 48.42 เมื่อเทียบกับมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้าง ถึงปฏิบัติการที่ 2 มีการเกิดก๊าซมีเทนสะสมที่ 16.29 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม มีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง ร้อยละ 49.94 ถึงปฏิบัติการที่ 3 มีการเกิดก๊าซมีเทนสะสมที่ 16.05 กรัมมีเทนต่อกิโลกรัม มีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง ร้อยละ 50.67 โดยที่ในถึงปฏิบัติการที่ 3 ส่วนของการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศจะช่วยให้จุลินทรีย์ประเภทที่ใช้ออกซิเจนนำออกซิเจนไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่าการใช้ท่อระบายทั้งนี้ทั้ง 3 ยังมีปริมาณการเกิดการชะของมวลสารอินทรีย์ใกล้เคียงกันจึงเกิดปริมาณก๊าซมีเทนไม่แตกต่างกันมาก ดังแสดงในภาพที่ 41



ภาพที่ 40 การเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยในการทดลองที่ 3



ภาพที่ 41 การเกิดก๊าซมีเทนสะสมของมูลฝอยในการทดลองที่ 3

อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะสอดคล้องกับปริมาณมวลสารอินทรีย์ในมูลฝอยกล่าวคือเมื่อมวลสารอินทรีย์ถูกชะออกไปมาก อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะน้อยลงทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ได้ถูกน้ำชะล้างไปเป็นผลให้มูลฝอยมีเสถียรภาพจึงทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่ำลง

3.4 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังผ่านถังปฏิบัติการชะมูลฝอย

ในการทดลองที่ 3 ได้มีการทดลองรูปแบบของการเติมอากาศต่อการลดการเกิดก๊าซมีเทน โดยทั้ง 3 ถังปฏิบัติการใช้ปริมาณน้ำที่เท่ากันคือ 50 ลิตรต่อวันต่อมูลฝอย 8 กิโลกรัม โดยพบว่าในถังปฏิบัติการที่ 1 ที่ไม่มีการเติมอากาศ จะมีกลไกการเกิดปฏิบัติการ ดังตารางที่ 23 โดยพบว่าเมื่อมูลฝอยผ่านกระบวนการชะล้างในถังปฏิบัติการ จะทำให้คาร์บอนอินทรีย์บางส่วนถูกชะออกมาในน้ำชะมูลฝอย 45.25 กรัมของคาร์บอนและปริมาณคาร์บอนบางส่วนจะเกิดในรูปของก๊าซมีเทนในสภาวะไร้อากาศโดยคิดเป็น 15.76 กรัมของปริมาณคาร์บอนอินทรีย์

ตารางที่ 23 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิกริยาที่ 1 การทดลองที่ 3

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4673.6	100
	น้ำชะมูลฝอย	4172	89.27
หลังชะล้าง	น้ำชะมูลฝอย	45.25	0.97
	ก๊าซ	15.76	0.34
	รวม	4233.01	90.57

ในขณะที่ผลการทดลองในถังปฏิกริยาที่ 2 ที่มีการเติมอากาศโดยการใช้ท่อพีวีซีได้ผลการคุณมวลสารในรูปของค่าซีไอดีในน้ำชะมูลฝอยเท่ากับ 47.63 กรัมคาร์บอนและมีการใช้คาร์บอนอินทรีย์ไปอยู่ในรูปของก๊าซมีเทน 16.25 กรัมของปริมาณคาร์บอน ดังตารางที่ 24

ตารางที่ 24 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิกริยาที่ 2 การทดลองที่ 3

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4673.6	100
	น้ำชะมูลฝอย	4058.4	86.84
หลังชะล้าง	น้ำชะมูลฝอย	47.63	1.02
	ก๊าซ	16.25	0.35
	รวม	4122.28	88.2

ในส่วนของถังปฏิกริยาที่ 3 ที่มีการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศ พบว่า มีค่าการชะคาร์บอนออกมาในรูปของค่าซีไอดีในน้ำชะเท่ากับ 47.75 กรัมของปริมาณคาร์บอน และการเกิดก๊าซมีเทนเท่ากับ 16.49 กรัมคาร์บอน ดังตารางที่ 25 จากการคุณมวลสารจะเห็นได้ว่าการเติมอากาศมีส่วนช่วยให้การชะมวลสารออกมาในรูปของน้ำชะมูลฝอยเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้การเกิดก๊าซมีเทนจากมูลฝอยในสภาวะไร้อากาศทำให้มวลสารอินทรีย์ในระบบลดลง

ตารางที่ 25 คุณมวลสารของมูลฝอยก่อนและหลังการชะ 5 วัน ในถังปฏิริยาที่ 3 การทดลองที่ 3

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
ก่อนชะล้าง	มูลฝอย	4673.6	100
	น้ำชะมูลฝอย	4014.4	85.9
หลังชะล้าง	น้ำชะมูลฝอย	47.75	1.02
	ก๊าซ	16.49	0.35
	รวม	4078.64	87.27

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. กระบวนการชะล้างช่วยลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอย เนื่องจากมูลฝอยได้ถูกน้ำชะและเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์จากรูปของแข็งมาอยู่ในน้ำเสียได้ดี มูลฝอยที่ผ่านการชะล้างมีอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสมต่ำสุดเท่ากับ 1374.57 กรัมมีเทนต่อวันต่อกิโลกรัม โดยลดลงจากมูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัด ร้อยละ 68.46 ซึ่งจะสอดคล้องกับปริมาณมวลสารอินทรีย์ในมูลฝอยกล่าวคือเมื่อมวลสารอินทรีย์ถูกชะออกไปมาก อัตราการเกิดก๊าซมีเทนจะน้อยลงทั้งนี้เนื่องจากปริมาณสารอินทรีย์ได้ถูกน้ำชะล้างไปเป็นผลให้มูลฝอยมีเสถียรภาพจึงทำให้อัตราการเกิดก๊าซมีเทนต่ำลง

2. ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยจะแปรผันตามช่วงเวลา กล่าวคือในช่วง 1-2 วันแรกจะมีค่าความเข้มข้นในปริมาณสูงและลดลงอย่างรวดเร็วหลังจาก 3 วัน ระยะเวลาในการใช้น้ำชะล้างมูลฝอย 5 วัน ทำให้ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง

3. สาเหตุของการลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างได้แก่ทางด้านกายภาพ กล่าวคือกระบวนการชะล้างเป็นการปล่อยน้ำจากที่สูงลงสู่ที่ต่ำ จึงทำให้เกิดการพาสารอินทรีย์ไปอยู่ในรูปของน้ำทำให้มูลฝอยมีสารอินทรีย์ลดลงจึงเกิดมีเทนลดลง ทางด้านเคมีและชีวภาพได้แก่การชะล้างทำให้มูลฝอยมีความชื้นเพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลกับขั้นตอนไฮโดรไลซิสโดยการทดลองที่ 1 ที่ศึกษาปริมาณต่อการเกิดก๊าซมีเทน จะเห็นว่ามูลฝอยที่มีความชื้นมาก จะเกิดการไฮโดรไลซิสได้สูงขึ้นจึงทำให้เกิดกระบวนการชะและย่อยสลายได้ดี นอกจากนี้ในการชะล้างจะมีการเปลี่ยนน้ำใหม่ทุกวันทำให้จุลินทรีย์ในระบบมีการเปลี่ยนแปลงจึงทำให้สัดส่วนของกรดอะซิติกซึ่งเป็นตัวตั้งต้นในการเกิดก๊าซมีเทน มีปริมาณลดลงในวันที่ 5 จึงเป็นเหตุให้การเกิดก๊าซมีเทนลดลง

4. การลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนทำได้โดยการใช้ปริมาณน้ำชะล้างในอัตรา 50 ลิตรต่อวันต่อมูลฝอย 8 กิโลกรัม หรือ 6.25 ลิตรต่อกิโลกรัมต่อวัน โดยการใช้อัตราการสูบน้ำ 4 ชั่วโมงและหยุด 4 ชั่วโมงสลับกัน ร่วมกับการเติมอากาศ ซึ่งจะส่งผลให้มูลฝอยที่ผ่านการบำบัดมีศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนต่ำสุด

ข้อเสนอแนะ

1. ดังปฏิกิริยาชะมูลฝอยสามารถนำไปใช้ในสถานขนถ่ายมูลฝอยเพื่อให้มูลฝอยผ่านกระบวนการชะล้างในดังปฏิกิริยาก่อนการนำไปฝังกลบเพื่อให้มูลฝอยที่จะนำไปฝังกลบมีการเกิดก๊าซมีเทนที่ลดลง โดยสามารถนำไปใช้ในหลุมฝังกลบที่ไม่มีระบบรวบรวมก๊าซเพื่อใช้เป็นพลังงาน และหลุมฝังกลบที่มีอัตราการเกิดก๊าซมีเทน ไม่สูงพอที่จะนำไปใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิง
2. เสนอให้มีการปรับปริมาณน้ำที่ใช้ในการชะล้างให้มีปริมาณลดลงในวันที่ 3-5 ของการชะ หรือนำน้ำที่ใช้ในดังปฏิกิริยาในวันที่ 3-5 ของการทดลอง นำมาใช้ในการชะในวันแรกของการทดลองถัดไป
3. ในการศึกษาการลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนที่มีการใช้น้ำประปาในการชะล้าง อาจจะมีการศึกษาการใช้น้ำประปาร่วมกับน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากหลุมฝังกลบมูลฝอย เพื่อศึกษาปริมาณและสัดส่วนน้ำประปากับน้ำชะมูลฝอยที่เหมาะสมต่อการลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน
4. การลดขนาดของมูลฝอยให้มีขนาดเล็กน้อยกว่า 60 มิลลิเมตร น่าจะมีผลต่อลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากกระบวนการชะล้าง อีกทั้งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่จะเกิดขึ้นในการทดลองในการปรับเสถียรของมูลฝอยก่อนการนำไปฝังกลบ
5. การปรับเสถียรมูลฝอยด้วยการเติมวัสดุมวลเบาเช่น ฟางข้าว ใบไม้แห้ง ทราย เพื่อให้อากาศไหลหมุนเวียนได้ดี ในชั้นมูลฝอยหรือออกแบบดังปฏิกิริยาให้มีการเติมอากาศโดยธรรมชาติจากด้านข้างของดังปฏิกิริยาเพื่อให้อากาศจากภายนอกสามารถไหลเวียนเข้าสู่ชั้นมูลฝอยได้โดยตรง อาจทำให้ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลง อีกทั้งลดค่าใช้จ่ายจากเครื่องเติมอากาศ
6. ในการทดลองพบว่าที่ปริมาณการใช้น้ำชะล้าง 50 ลิตรต่อวันต่อมูลฝอย 8 กิโลกรัม ทำให้ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนลดลงต่ำสุดและควรจะทำการศึกษาทดลองเพิ่มปริมาณน้ำในการชะล้างเพื่อดูขอบเขตของปริมาณน้ำว่ามีจุดการชะสูงสุดที่เท่าไรในการลดศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ 2552. รายงานสถานการณ์มลพิษของประเทศไทย ปี2551 กระทรวง
ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 2542. เกณฑ์ มาตรฐาน และแนวทางการจัดการ
ขยะมูลฝอยชุมชน พิมพ์ครั้งที่ 3. กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงวิทยาศาสตร์
เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

ชนารดี วิกาหะ. 2553. การบำบัดขยะด้วยกรรมวิธีเชิงกล-ชีวภาพ สำหรับชุมชนขนาดเล็ก กรณีศึกษา
เทศบาลตำบลลานกระบือ ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยนเรศวร

ชนพล เกษมศรีธนาวัฒน์. 2551. การปลดปล่อยก๊าซมีเทนและสารอินทรีย์ระเหยจากมูลฝอยใหม่
และมูลฝอยเก่าในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาลและกองมูลฝอยกลางแจ้ง
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ปราโมทย์ น้อยท่าช้าง. 2539. ผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อลักษณะของน้ำชะมูลฝอยและ
องค์ประกอบของก๊าซจากการฝังกลบขยะแบบไร้ออกซิเจนและกึ่งออกซิเจนวิทยานิพนธ์
ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อมจุฬาลงกรณ์. 2540. รวบรวมทศวรรษงานวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงของโลกใน
ประเทศไทย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ. 210 น.

สัญญา แต่งศรี. 2550. การปรับเสถียรมูลฝอยและใช้ประโยชน์มูลฝอยที่ปรับเสถียรแล้วในการบำบัด
น้ำชะมูลฝอยในระบบฝังกลบด้วยวิธีการเติมอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สุพินดา ฐระเจน. 2544. การเพิ่มผลผลิตก๊าซมีเทนจากการหมักเศษผักและผลไม้ไร้อากาศแบบแห้งที่
มีการหมุนเวียนน้ำชะขยะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี

เสาวลักษณ์ นิลรัตน์พงษ์ศรี. 2552. การประเมินการปลดปล่อยก๊าซมีเทนจากสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยแบบเทกองกลางแจ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Adrie V., H. Bert 1999. **Effect of Temperature on Hydrolysis Rates of Selected Biowaste Components.** Bioresource Technology 69, 249-254.

APHA, AWWA and WEF. 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 20th edition.

Bayard, R., A. Morais, G. Ducom, F. Achour, M. Rouez and R. Gourdon. 2010. **Assessment of The Effectiveness of an Industrial Unit of Mechanical-Biological Treatment of Municipal Solid Waste.** Journal of hazardous material 175. 23-32.

Brunner, D. R. and D. J. Keller. 1972. **Sanitary Landfill Design and Operation.** U.S. Environmental Protection Agency, U.S.A.

Chang, T. N. 1988. **Color removal from on-Nooch Leachate by chemical Treatment.** Master thesis, AIT, Bangkok, Thailand.

Chian, E.S.K. and F.B.DeWalle. 1976. Sanitary landfill leachates and their treatment. J. of Env. Eng. Div. ASCE. 102 (2) , 411-431.

Cook, E.N. and E.G. Foree. 1974. Aerobic stabilzbzation of sanitary landfill leachate. JWPCF. 46 (2), 380-392.

Gould, J.P. and R.E. Ramsey. 1993. Formation of volatili haloorganic compounds in the chlorination of municipal landfill leachates . In R.A. Jolley, ed. **Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effect.** Ann Arbor Science, Michigan, 525-539.

- Cirne D.G., Agbor V.B. and Björnsson L. 2008. Enhanced solubilisation of the residual fraction of municipal solid waste. **Water Science and Technology**, 57(7), 995-1000.
- Ehrig, H.J. 1987. Anaerobic Degradation of Municipal Solid Waste Laboratory-scale Tests, In D.L. Wise(eds.). **Global Bioconversion**. CRC.Press, London, 121-152.
- Gray, N.F. 1989. **Biological of Wastewater Treatment**. Oxford University Press, New York. 232.
- Hansen, T.L., Schmidt, J.E., Angeladaki, I., Marca, E., Jansen, J.C. Mosbaek, H., Christensen, T.H. 2004. Method of determination of methane potentials of solid organic waste. **Waste Management**, 24, 393-400.
- Ho, S., W.C. Boyle and R.K. Ham. 1974. Chemical treatment of leachate from sanitary landfills. **JWPCF**, 46 : 1776-1791.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1997. **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**.
- Jing, G., C. Ling, and Baoming L. 2008. A Rotational Drum Fermentation System with Water Flushing for Enhancing Hydrolysis and Acidification of Solid Organic Wastes. **Bioresource Technology** 99, 2571-2577.
- Klink, R.E. and R.K. Ham. 1982. Effects of moisture movement on methane production in solid waste landfill samples. **Resources and Conservation** 8: 29-41
- Lay, J.J., Y.Y. Li and T. Noike. 1998. Developments of bacterial population and methanogenic activity in a laboratory scale landfill bioreactor. **Wat. Res.** 32 : 3673-3679.
- Leckie, J.O., J.G. Pacey and C. Halvadakis. 1979. Landfill management with moisture control. **J. Envi. Eng. Div. ASCE**. 105 : 337-355.

- Lema, J.M., R. Mendez and R. Blazquez. 1988. Characteristics of landfill leachates and alternative for their treatments : a review. *Water, Air and Soil Pollution*. 40 (2) : 223-250.
- Li, R.S. and C. Zeiss. 2001. In Moisture Content Measurement in MSW Landfill with TDR. *Envi. Eng. Sci.* 18(1): 53-66
- Ling C., Wei Z.J. and Yutaka K., 2007. Enhancement of Hydrolysis and Acidification of Solid Organic Waste by A Rotational Drum Fermenttion System with Methanogenic Leachate Recirculation. *Bioresource Technology* 93, 2194-2200p.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic waste treatment fundamentals-part one. *Chemistry and Microbiology. Public Works* 95: 107-112
- Mendez, R., J.M. Lema, R. Blazques and M. Pan. 1989. Characterization, digestibility and anaerobic treatment of leachate from old and young landfill. *Wat. Sci. Tech.* 21 (4) , 145-155.
- Metcalf & Eddy. 2003. **Wastewater Engineering Treatment and Reuse**. 4th edition., McGraw – Hill, Inc., Singapore. 1505-1533.
- Nguyen P.H.L., Kuruparan P. and Visvanathan C. 2007. Anerobic Digestion of Municipal Solid Waste as a Treatment Prior to Landfill. *Bioresource Technology* 98, 380– 387.
- Palumbo, D. 1995. **Temporal landfill gas production**. Master thesis. University of Central Florida, Orlando, Florida, U.S.A.
- Reynolds T.D., Richards P.A. 1995. **Unit Operation and Process in Environmental Engineering**. 2nd edition, PWS Publishing Co.

- Sanphoti N., S. Towprayoon and P. Chaiprasert 2006. The Effects of Leachate Recirculation with Supplemental Water Addition on Methane Production and Waste Decomposition in a Simulated Tropical Landfill. **Journal of Environmental Management** 81, 27-35 .
- Seiler, W. 1990. **The Greenhouse Effect, Climatic Change, and Ecosystems**, pp.158-203. In Journal of Air Pollution Control Association, Vol. 139.
- Shearer, B.D., J.T. Novak, C.D. Goldsmith, M. Buchanan and G.R. Hater. 2001. **Evaluation of biochemical and physical data to determine the impact of leachate recirculation**. The 6th Annual Landfill Symposium. The Solid Waste Association of North America, San Diego, California, 185-189.
- Trine L.H., S. E. Jens and A. Irini 2004. Method for Determination of Methane Potention of Solid Organic Waste. **Waste Management** 24. 393-400.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993. Intergrated Solid Waste Management, **Engineering Principal and Management Issue**. McGraw Hill, Inc., New York.
- Wang Z. and C. J. Banks. 2000. Accelerated hydrolysis and acidification of municipal solid waste (MSW) in a flushing anaerobic bio-reactor using treated leachate recirculation. **Waste Management and Research**, 18, 215-223.
- Wei Z.J., K. Yutaka and L. Baoming 2005. Improving Acidogenic Performance in Anaerobic Degradation of Solid Organic Waste using A Rotational Drum Fermentation System. **Bioresource Technology** 96, 1537-1543.
- Yavitt, J.B. 1992, **Methane, biogeochemical cycle**. In W.A. Nierenberg (ed). "Encyclopedia of Earth System Science" Vol. 3, Academic press, San Diego, 197 – 207.



ภาคผนวก





ก



ข



ค

ภาพผนวกที่ ก1 ลักษณะถังที่ใช้ในการทดลอง



ก



ข

ภาพผนวกที่ ก2 ถังทดลองที่ติดตั้งการเติมอากาศโดยใช้ท่อพีวีซี



ก



ข



ค

ภาพผนวกที่ ก3 การคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอยในการทดลองที่ 1



ก



จ



ค

ภาพผนวกที่ ก4 การคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอยในการทดลองที่ 2



ก



ข

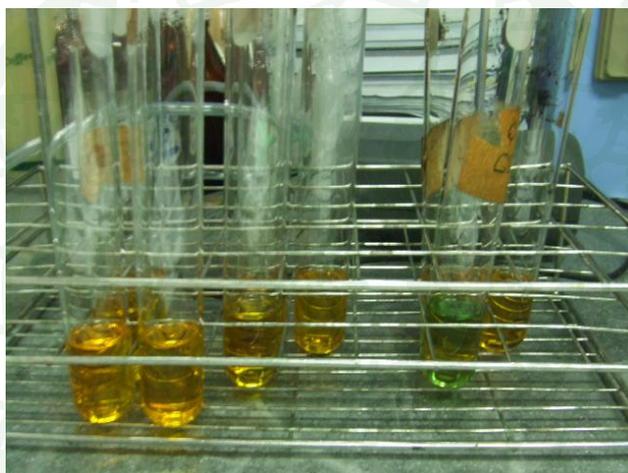


ค

ภาพผนวกที่ ๓ การคัดแยกองค์ประกอบมูลฝอยในการทดลองที่ 3



ก



ข



ค

ภาพผนวกที่ 6 การทดลองปิโอดี ซีโอดี กรดอินทรีย์ระเหยง่าย



ก



ข



ค

ภาพผนวกที่ ก7 การทดลองทีเคเอ็นและ แอม โมเนีย-ไนโตรเจน



ก



ข



ค

ภาพผนวกที่ ๘ การศึกษาสมบัติของมูลฝอย ศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน



ภาคผนวก ข
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลน้ำชะมูลฝอย

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการทดลองน้ำชะล้างมูลฝอยในการทดลองที่ 1

date/parameter	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	VFA(mg/l)	Alkalinity(mg/l)	NH ₄ ⁺ -N(mg/l)	TKN(mg/l)	pH	Temperature(°c)
1(30lit/day)	6907	21200	1763	2550	35.00	78.40	5.14	
1(40lit/day)	2703	15600	1163	863	21.00	67.20	5.28	30.50
1(50lit/day)	2553	16000	848	660	28.00	67.20	5.60	
2(30lit/day)	1539	2400	1350	1065	21.00	53.20	5.72	
2(40lit/day)	590	1960	398	435	14.00	28.00	6.19	31.20
2(50lit/day)	495	1960	170	398	14.00	28.00	6.85	
3(30lit/day)	410	800	155	443	11.20	28.00	6.63	
3(40lit/day)	210	960	125	285	11.20	28.00	6.21	25.60
3(50lit/day)	175	400	150	315	8.40	14.00	6.48	
4(30lit/day)	405	920	140	405	11.20	25.20	6.84	
4(40lit/day)	205	640	115	270	8.40	22.40	6.95	28.20
4(50lit/day)	170	320	120	175	8.40	16.80	7.02	
5(30lit/day)	387	880	125	300	11.20	16.80	7.20	
5(40lit/day)	200	560	110	175	8.40	16.80	7.01	26.40
5(50lit/day)	167	240	105	165	5.60	14.00	7.03	

ตารางผนวกที่ ข2 ผลการทดลองน้ำชะล้างมูลฝอยในการทดลองที่ 2

date/parameter	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	VFA(mg/l)	Alkalinity(mg/l)	NH ₄ ⁺ -N(mg/l)	TKN(mg/l)	pH	Temperature(°c)
1(1Hr)	4655	8000	1500	278	67.20	112.00	4.25	
1(4Hr)	3003	4800	1110	390	61.60	100.80	4.66	24.80
1(121Hr)	3453	6400	938	334	53.20	95.20	4.05	
2(1Hr)	1660	2400	529	155	64.40	92.40	6.18	
2(4Hr)	1820	4200	281	278	53.20	84.00	5.91	25.50
2(12Hr)	1502	2310	278	240	44.80	81.20	5.06	
3(1Hr)	293	400	140	135	30.80	44.80	6.86	
3(4Hr)	333	1200	88	160	39.20	61.60	6.30	26.70
3(12Hr)	293	1080	85	148	39.20	56.00	6.43	
4(1Hr)	253	320	105	120	11.20	28.00	6.93	
4(4Hr)	320	1120	85	158	16.80	28.00	6.48	24.60
4(12Hr)	227	850	75	140	16.80	22.40	6.63	
5(1Hr)	227	280	85	120	14.00	22.40	6.95	25.60
5(4Hr)	173	240	75	150	11.20	19.60	6.62	
5(12Hr)	187	280	55	123	11.20	22.40	6.68	

ตารางผนวกที่ ข3 ผลการทดลองน้ำชะล้างมูลฝอยในการทดลองที่ 3

date/parameter	BOD(mg/l)	COD(mg/l)	VFA(mg/l)	Alkalinity(mg/l)	NH ₄ ⁺ -N(mg/l)	TKN(mg/l)	pH	Temperature(°c)
1Std	2880	4880	930	525	28.00	58.80	6.10	
1Pipe	3080	5800	1050	540	53.20	78.40	6.04	24.80
1Pump	2667	4520	975	510	35.00	61.60	6.12	
2Std	450	1500	85	338	16.80	56.00	7.42	
2Pipe	676	950	93	274	30.80	67.20	7.23	25.50
2Pump	901	1600	83	300	21.00	56.00	7.47	
3Std	260	420	65	278	21.00	36.40	7.44	
3Pipe	213	310	85	278	21.00	33.60	7.33	26.70
3Pump	333	800	73	170	16.80	42.00	7.46	
4Std	200	240	73	130	14.00	22.40	7.11	
4Pipe	160	280	85	150	16.80	28.00	7.41	24.60
4Pump	260	520	80	135	14.00	19.60	7.40	
5Std	147	200	68	125	8.40	16.80	7.42	
5Pipe	160	280	85	155	14.00	22.40	7.53	25.60
5Pump	160	200	80	138	11.20	19.60	7.52	

ตารางผนวกที่ ๗4 มวลสารสะสมในรูปของบีโอดีในการทดลองที่ 1

date/parameter	BOD(mg/l)	QS ₀	QS _{0รวม30lit} mg/day	QS _{0รวม40lit} mg/day	QS _{0รวม50lit} mg/day
1(30lit/day)	6906.91	138138.20	193438.20	136769.50	160314.75
1(40lit/day)	2702.70	94594.50	QS _{0รวม30lit} g/day	QS _{0รวม40lit} g/day	QS _{0รวม50lit} g/day
1(50lit/day)	2552.55	114864.80	193.44	136.77	160.31
2(30lit/day)	1560.00	31200.00	QS _{0รวม30lit} g/day*kgขยะ	QS _{0รวม40lit} g/day*kgขยะ	QS _{0รวม50lit} g/day*kgขยะ
2(40lit/day)	590.00	20650.00	24.18	17.10	20.04
2(50lit/day)	495.00	22275.00			
3(30lit/day)	410.00	8200.00			
3(40lit/day)	210.00	7350.00			
3(50lit/day)	175.00	7875.00			
4(30lit/day)	405.00	8100.00			
4(40lit/day)	205.00	7175.00			
4(50lit/day)	170.00	7650.00			
5(30lit/day)	390.00	7800.00			
5(40lit/day)	200.00	7000.00			
5(50lit/day)	170.00	7650.00			

ตารางผนวกที่ ๗5 มวลสารสะสมในรูปของชีโอดีในการทดลองที่ 1

date/parameter	COD(mg/l)	QS ₀	QS _{รวม30lit} mg/day	QS _{รวม40lit} mg/day	QS _{รวม50lit} mg/day
1(30lit/day)	21200	636000	786000.00	788800.00	946000.00
1(40lit/day)	15600	624000	QS _{รวม30lit} g/day	QS _{รวม40lit} g/day	QS _{รวม50lit} g/day
1(50lit/day)	16000	800000	786.00	788.80	946.00
2(30lit/day)	2400	72000	QS _{รวม30lit} g/day*kgขยะ	QS _{รวม40lit} g/day*kgขยะ	QS _{รวม50lit} g/day*kgขยะ
2(40lit/day)	1960	78400	98.25	98.60	118.25
2(50lit/day)	1960	98000			
3(30lit/day)	800	24000			
3(40lit/day)	960	38400			
3(50lit/day)	400	20000			
4(30lit/day)	920	27600			
4(40lit/day)	640	25600			
4(50lit/day)	320	16000			
5(30lit/day)	880	26400			
5(40lit/day)	560	22400			
5(50lit/day)	240	12000			

ตารางผนวกที่ ๖6 มวลสารสะสมในรูปของบีโอดีในการทดลองที่ 2

date/parameter	BOD(mg/l)	QS ₀	QS _{0รวม1Hr} mg/day	QS _{0รวม4Hr} mg/day	QS _{0รวม12Hr} mg/day
1(1Hr)	4654.65	209459.25	318959.10	268358.85	268926.95
1(4Hr)	3003.00	142642.50	QS _{0รวม1Hr} g/day	QS _{0รวม4Hr} g/day	QS _{0รวม12Hr} g/day
1(12Hr)	3453.45	164038.88	318.96	268.36	268.93
2(1Hr)	1660.00	74700.00	QS _{0รวม 1Hr} g/day*kgขย๕	QS _{0รวม4Hr} g/day*kgขย๕	QS _{0รวม12Hr} g/day*kgขย๕
2(4Hr)	1820.00	86450.00	39.87	33.54	33.62
2(12Hr)	1501.50	71321.25			
3(1Hr)	293.33	13199.85			
3(4Hr)	333.33	15833.18			
3(12Hr)	293.33	13933.18			
4(1Hr)	253.33	11399.85			
4(4Hr)	320.00	15200.00			
4(12Hr)	226.67	10766.83			
5(1Hr)	226.67	10200.15			
5(4Hr)	173.33	8233.18			
5(12Hr)	186.67	8866.83			

ตารางผนวกที่ ๗7 มวลสารสะสมในรูปของซีโอดีในการทดลองที่ 2

date/parameter	COD(mg/l)	QS ₀	QS _{รวม1Hr} mg/day	QS _{รวม4Hr} mg/day	QS _{รวม12Hr} mg/day
1(1Hr)	8000.00	400000	570000	578000	546000
1(4Hr)	4800.00	240000	QS _{รวม1Hr} g/day	QS _{รวม4Hr} g/day	QS _{รวม12Hr} g/day
1(12Hr)	6400.00	320000	570.00	578.00	546.00
2(1Hr)	2400.00	120000	QS _{รวม 1Hr} g/day*kgขย๕	QS _{รวม4Hr} g/day*kgขย๕	QS _{รวม12Hr} g/day*kgขย๕
2(4Hr)	4200.00	210000	71.25	72.25	68.25
2(12Hr)	2310.00	115500			
3(1Hr)	400.00	20000			
3(4Hr)	1200.00	60000			
3(12Hr)	1080.00	54000			
4(1Hr)	320.00	16000			
4(4Hr)	1120.00	56000			
4(12Hr)	850.00	42500			
5(1Hr)	280.00	14000			
5(4Hr)	240.00	12000			
5(12Hr)	280.00	14000			

ตารางผนวกที่ ข8 มวลสารสะสมในรูปของบีโอดีในการทดลองที่ 3

date/parameter	BOD(mg/l)	QS ₀	QS _{รวมStd} mg/day	QS _{รวมPipe} mg/day	QS _{รวมpump} mg/day
1 Control	2880.00	144000.00	196856.00	214450.50	216045.00
1Pipe Aeration	3080.00	154000.00	QS _{รวมStd} g/day	QS _{0Pipe} g/day	QS _{รวมpump} g/day
1 Air Pump	2666.67	133333.50	196.86	214.45	216.05
2 Control	450.45	22522.50	QS _{รวมStd} g/day*kgขยะ	QS _{0Pipe} g/day*kgขยะ	QS _{รวมpump} g/day*kgขยะ
2Pipe Aeration	675.68	33784.00	24.61	26.81	27.01
2 Air Pump	900.90	45045.00			
3 Control	260.00	13000.00			
3Pipe Aeration	213.33	10666.50			
3 Air Pump	333.33	16666.50			
4 Control	200.00	10000.00			
4Pipe Aeration	160.00	8000.00			
4 Air Pump	260.00	13000.00			
5 Control	146.67	7333.50			
5Pipe Aeration	160.00	8000.00			
5 Air Pump	160.00	8000.00			

ตารางผนวกที่ ๗ มวลสารสะสมในรูปของชีโอดีในการทดลองที่ 3

date/parameter	COD(mg/l)	QS ₀	QS _{0รวมStd} mg/day	QS _{0รวมPipe} mg/day	QS _{0รวมpump} mg/day
1Control	4880.00	244000	362000.00	381000.00	382000.00
1Pipe Aeration	5800.00	290000	QS _{0รวมStd} g/day	QS _{0Pipe} g/day	QS _{0รวมpump} g/day
1Air Pump	4520.00	226000	362.00	381.00	382.00
2 Control	1500.00	75000	QS _{0รวมStd} g/day*kgฟยัะ	QS _{0Pipe} g/day*kgฟยัะ	QS _{0รวมpump} g/day*kgฟยัะ
2 Pipe Aeration	950.00	47500	45.25	47.63	47.75
2 Air Pump	1600.00	80000			
3 Control	420.00	21000			
3 Pipe Aeration	310.00	15500			
3 Air Pump	800.00	40000			
4 Control	240.00	12000			
4 Pipe Aeration	280.00	14000			
4 Air Pump	520.00	26000			
5 Control	200.00	10000			
5 Pipe Aeration	280.00	14000			
5 Air Pump	200.00	10000			

ตารางผนวกที่ ข10 แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 1

	30liter/day	mg/l	%
day1	acetic	1430.61	99.23
	butylic	11.08	0.77
	รวม	1441.69	100
	30liter	mg/l	%
day5	acetic	8.43	13.85
	propionic	32.71	53.73
	butylic	19.74	32.42
	รวม	60.88	100

ตารางผนวกที่ ข11 แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 2

	1 Hr	mg/l	%	12 Hr	mg/l	%
day1	acetic	1207.41	100	acetic	518.66	92.61
				propionic	41.38	7.39
				รวม	560.04	100
	1 Hr	mg/l	%	12 Hr	mg/l	%
day5	acetic	56.58	77.02151	acetic	49.89	71.46
	propionic	16.88	22.97849	propionic	19.93	28.54
	รวม	73.46	100	รวม	69.82	100

ตารางผนวกที่ ข12 แสดงชนิดและปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในการทดลองที่ 3

	Control	mg/l	%	Pipe Aeration	mg/l	%	Air Pump	mg/l	%
day1	acetic	119.43	88.47	acetic	150.76	91.37	acetic	131.89	92.55
	propionic	15.57	11.53	propionic	14.24	8.63	propionic	10.61	7.45
	รวม	135	100	รวม	165	100	รวม	142.5	100
	Std	mg/l	%						
day3	acetic	19.58	60.25						
	propionic	12.92	39.75						
	รวม	32.5	100						
	Std	mg/l	%	Pipe	mg/l	%	Pump	mg/l	%
day5	acetic	10.99	48.84	acetic	10.07	50.35	acetic	5.91	47.28
	propionic	11.51	51.16	propionic	9.93	49.65	propionic	6.59	52.72
	รวม	22.5	100	รวม	20	100	รวม	12.5	100



ภาคผนวก ค
ผลการวิเคราะห์มูลฝอยและศักยภาพการเกิดก๊าซมีเทน

ตารางผนวกที่ ค1 องค์ประกอบของมูลฝอยในการทดลองที่ 1

องค์ประกอบของมูลฝอย	น้ำหนักเปียก (kg)	ร้อยละ
พลาสติก	10.8	22.88
กระดาษ	3.8	8.05
เศษอาหาร	27.4	58.05
เศษผ้า	2.4	5.08
แก้ว	0.9	1.91
โลหะ	0.9	1.91
โฟม	0.5	1.06
ไม้และใบไม้	0.5	1.06
รวม	47.2	100

ตารางผนวกที่ ค2 ร้อยละสมบัติมูลฝอยในการทดลองที่ 1

พารามิเตอร์	ค่า ความชื้น	ของแข็ง	สารที่เผา ไหม้	เถ้า	TOC
มูลฝอยก่อนล้าง	37.92	62.08	39.52	22.56	57.43
มูลฝอยผ่านการชะ 30lit/d	36.9	63.1	55.84	7.26	50.76
มูลฝอยผ่านการชะ 40lit/d	40.3	59.7	55.19	4.51	47.84
มูลฝอยผ่านการชะ 50lit/d	43.16	56.84	53.31	3.53	46.21

ตารางผนวกที่ ค3 องค์ประกอบของมูลฝอยในการทดลองที่ 2

องค์ประกอบของมูลฝอย	น้ำหนักเปียก (kg)	ร้อยละ
พลาสติก	9	22.00
กระดาษ	4.4	10.76
เศษอาหาร	19.3	47.19
เศษผ้า	1.7	4.16
แก้ว	1.9	4.65
โลหะ	0.5	1.22
โฟม	0.6	1.47
ไม้และใบไม้	3.2	7.82
อื่นๆ	0.3	0.73
รวม	40.9	100

ตารางผนวกที่ ค4 ร้อยละสมบัติมูลฝอยในการทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	ค่า ความชื้น	ของแข็ง	สารที่เผา ไหม้	เถ้า	TOC
มูลฝอยก่อนล้าง	41.15	58.85	51.64	7.21	51.68
มูลฝอยผ่านการชะ 1Hr	56.48	43.52	38.42	5.10	43.14
มูลฝอยผ่านการชะ 4Hr	49.15	50.85	44.15	6.70	42.68
มูลฝอยผ่านการชะ 12Hr	46.32	53.68	47.26	6.42	44.14

ตารางผนวกที่ ค5 องค์ประกอบของมูลฝอยในการทดลองที่ 3

องค์ประกอบของมูลฝอย	น้ำหนักเปียก (kg)	เปอร์เซ็นต์ (%)
พลาสติก	8.8	23.28
กระดาษ	4.3	11.38
เศษอาหาร	18.4	48.68
เศษผ้า	1.8	4.76
แก้ว	1.8	4.76
โลหะ	0.6	1.59
โฟม	0.7	1.85
ไม้และใบไม้	1.3	3.44
อื่นๆ	0.1	0.26
รวม	37.8	100

ตารางผนวกที่ ค6 ร้อยละสมบัติมูลฝอยในการทดลองที่ 3

พารามิเตอร์	ค่า ความชื้น	ของแข็ง	สารที่เผา ไหม้	เถ้า	TOC
มูลฝอยก่อนล้าง	39.42	60.58	50.43	10.15	58.42
มูลฝอยผ่านการชะ Std	46.39	53.61	45.69	7.92	52.15
มูลฝอยผ่านการชะ Pipe	43.30	56.70	48.46	8.24	50.73
มูลฝอยผ่านการชะ Pump	45.14	54.86	47.30	7.56	50.18

ตารางผนวกที่ ๗ สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการชะล้างในการทดลองที่ 1

time (day)	%CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /day.kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /day.kg(asVS)
2	0	0	0	0
5	4.8359	4.714502	466.84	466.84
9	7.8615	7.664148	758.93	758.93
13	29.9811	29.22847	2894.30	2894.30
16	37.817	36.86766	3650.75	3650.75
19	40.1873	39.17845	3879.57	3879.57
23	45.1406	44.00741	4357.75	4357.75
26	37.4066	36.46756	3611.13	4357.75
29	39.5839	38.5902	3821.32	4357.75
32	37.3049	36.36841	3601.32	4357.75
35	33.2989	32.46298	3214.59	4357.75
38	30.8343	30.06025	2976.66	4357.75
41	29.0312	28.30241	2802.59	4357.75
44	26.6246	25.95623	2570.27	4357.75
47	23.7092	23.11401	2288.82	4357.75
50	20.9634	20.43714	2023.75	4357.75

ตารางผนวกที่ ค8 สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ30 ลิตรต่อวัน ใน การทดลองที่ 1

time (day)	%CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /day.kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /day.kg(asVS)
2	1.3228	1.289593	88.54	88.54
5	6.8706	6.698123	459.90	459.90
9	23.0189	22.44104	1540.83	1540.83
13	29.1582	28.42622	1951.77	1951.77
16	32.8152	31.99142	2196.56	2196.56
19	34.8676	33.9923	2333.95	2333.95
23	38.9718	37.99347	2608.67	2608.67
26	39.854	38.85352	2667.72	2667.72
29	40.6	39.58079	2717.66	2717.66
32	41.8687	40.81765	2802.58	2802.58
35	42.2718	41.21063	2829.56	2829.56
38	42.9764	41.89754	2876.73	2876.73
41	43.2115	42.12674	2892.47	2892.47
44	40.0041	38.99985	2677.77	2892.47
47	38.2319	37.27214	2559.14	2892.47
50	34.8982	34.02213	2335.99	2892.47

ตารางผนวกที่ ค9 สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 40 ลิตรต่อวัน ใน การทดลองที่ 1

time (day)	%CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /day.kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /day.kg(asVS)
2	0	0	0	0
5	4.6519	4.535121	324.50	324.50
9	24.1588	23.55233	1685.25	1685.25
13	27.0262	26.34775	1885.28	1885.28
16	29.6785	28.93346	2070.29	2070.29
19	31.2307	30.4467	2178.57	2178.57
23	34.2162	33.35725	2386.83	2386.83
26	35.3631	34.47536	2466.84	2466.84
29	35.2799	34.39425	2461.03	2466.84
32	35.3795	34.49135	2467.98	2466.84
35	35.1486	34.26624	2451.87	2466.84
38	33.8362	32.98679	2360.32	2466.84
41	33.4685	32.62832	2334.67	2466.84
44	32.8845	32.05898	2293.93	2466.84
47	31.1872	30.40429	2175.54	2466.84
50	29.833	29.08408	2081.07	2466.84

ตารางผนวกที่ 10 สัณยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน
ในการทดลองที่ 1

time (day)	%CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /day.kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /day.kg(asVS)
2	0	0	0	0
5	3.4704	3.383281	249.84	249.84
9	19.0934	18.61409	1374.57	1374.57
13	18.9476	18.47195	1364.07	1374.57
16	14.3068	13.94765	1029.97	1374.57
19	9.6693	9.426566	696.11	1374.57
23	3.756	3.661711	270.40	1374.57
26	3.4858	3.398294	250.95	1374.57
29	3.2846	3.202145	236.46	1374.57
32	2.8429	2.771533	204.67	1374.57
35	1.8293	1.783378	131.69	1374.57
38	1.9286	1.880185	138.84	1374.57
41	1.9363	1.887692	139.40	1374.57
44	2.4224	2.361589	174.39	1374.57
47	2.035	1.983914	146.50	1374.57
50	1.8003	1.755106	129.61	1374.57

ตารางผนวกที่ ค11 สัณยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้าง ในการทดลองที่ 2

time (day)	%CH ₄	gCH ₄	gCH ₄ /kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /kg(asVS)
2	0.1385	0.135023	10.11	10.11
5	6.7111	6.542627	489.93	489.93
9	10.0484	9.796149	733.56	733.56
13	33.2676	32.43246	2428.63	2428.63
16	39.1606	38.17753	2858.84	2858.84
19	41.9042	40.85225	3059.13	3059.13
23	49.6997	48.45206	3628.22	3628.22
26	49.4305	48.18962	3608.57	3608.57
29	50.7153	49.44216	3702.37	3702.37
32	48.7547	47.53078	3559.24	3702.37
35	46.3509	45.18733	3383.75	3702.37
38	45.3411	44.20288	3310.03	3702.37
41	44.149	43.0407	3223.01	3702.37
44	43.0228	41.94277	3140.79	3702.37
47	40.8197	39.79498	2979.96	3702.37
50	38.8762	37.90027	2838.08	3702.37

ตารางผนวกที่ ค12 สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน โดยอัตราการสูบน้ำ 1 ชั่วโมงทำการสลับ 1 ชั่วโมงหยุดทำการ ในการทดลองที่ 2

time (day)	%CH ₄	gCH ₄	gCH ₄ kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /day.kg(asVS)
2	1.4088	1.373434	142.78	142.78
5	4.4481	4.336437	450.81	450.81
9	12.2292	11.9222	1239.42	1239.42
13	17.133	16.7029	1736.42	1736.42
16	14.9603	14.58474	1516.21	1736.42
19	13.6592	13.31631	1384.35	1736.42
23	10.7853	10.51455	1093.08	1736.42
26	8.3738	8.163588	848.68	1736.42
29	6.7701	6.600146	686.14	1736.42
32	5.3151	5.181672	538.68	1736.42
35	3.4861	3.398586	353.31	1736.42
38	2.169	2.11455	219.83	1736.42
41	1.7304	1.686961	175.37	1736.42
44	1.302	1.269315	131.96	1736.42
47	1.0225	0.996832	103.63	1736.42
50	0.7832	0.763539	79.38	1736.42

ตารางผนวกที่ ค13 สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน โดยอัตราการสูบน้ำ 4 ชั่วโมงทำการสลับ 4 ชั่วโมงหยุดทำการ ในการทดลองที่ 2

time (day)	%CH ₄	gCH ₄	gCH ₄ kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /day.kg(asVS)
2	0	0	0	0
5	1.6248	1.584012	142.43	142.43
9	13.7942	13.44792	1209.19	1209.19
13	15.0872	14.70846	1322.53	1322.53
16	16.5114	16.0969	1447.37	1447.37
19	15.2214	14.83929	1334.29	1447.37
23	13.1846	12.85362	1155.75	1447.37
26	10.7419	10.47224	941.62	1447.37
29	8.5644	8.349403	750.75	1447.37
32	5.9561	5.806581	522.11	1447.37
35	3.7569	3.662588	329.33	1447.37
38	3.2184	3.137607	282.12	1447.37
41	2.5416	2.477797	222.79	1447.37
44	1.561	1.521813	136.84	1447.37
47	1.0054	0.980161	88.13	1447.37
50	0.7842	0.764514	68.74	1447.37

ตารางผนวกที่ ค14 สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้างด้วยน้ำ 50 ลิตรต่อวัน โดยอัตราการสูบน้ำ 12 ชั่วโมงทำการสลับ 12 ชั่วโมงหยุดทำการ ในการทดลองที่ 2

time (day)	%CH ₄	gCH ₄	gCH ₄ /kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /kg(asVS)
2	1.7612	1.716988	141.27	141.27
5	4.6446	4.528004	372.56	372.56
9	13.5045	13.16549	1083.25	1083.25
13	15.7818	15.38562	1265.92	1265.92
16	18.4228	17.96032	1477.77	1477.77
19	20.8172	20.29461	1669.83	1669.83
23	24.6615	24.04241	1978.20	1978.20
26	19.2651	18.78148	1545.33	1978.20
29	17.5124	17.07278	1404.74	1978.20
32	14.1064	13.75228	1131.53	1978.20
35	10.8475	10.57519	870.12	1978.20
38	10.0421	9.790007	805.52	1978.20
41	8.4512	8.239045	677.91	1978.20
44	6.5411	6.376895	524.69	1978.20
47	4.3245	4.21594	346.89	1978.20
50	4.1709	4.066195	334.57	1978.20

ตารางผนวกที่ ค15 สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ไม่ผ่านกระบวนการชะล้าง ในการทดลองที่ 3

time (day)	%CH ₄	gCH ₄	gCH ₄ /kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /kg(asVS)
2	3.5614	3.471996	272.30	272.30
5	5.0954	4.967487	389.59	389.59
9	9.6255	9.383865	735.96	735.96
13	31.1644	30.38206	2382.80	2382.80
16	40.1255	39.11821	3067.96	3067.96
19	41.0643	40.03344	3139.74	3139.74
23	41.854	40.80331	3200.12	3200.12
26	42.5592	41.49081	3254.04	3254.04
29	40.6143	39.59474	3105.33	3254.04
32	36.5517	35.63412	2794.71	3254.04
35	32.7812	31.95827	2506.42	3254.04
38	32.1145	31.30831	2455.44	3254.04
41	30.744	29.97222	2350.66	3254.04
44	26.4543	25.7902	2022.67	3254.04
47	24.2214	23.61336	1851.95	3254.04
50	22.1054	21.55048	1690.16	3254.04

ตารางผนวกที่ 16 สัมภาษณ์การเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้าง ไม่มีการเติมอากาศ ใน การทดลองที่ 3

time (day)	%CH ₄	gCH ₄	gCH ₄ /kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /kg(asVS)
2	1.1245	1.096271	94.44	94.44
5	2.6117	2.546137	219.33	219.33
9	12.5232	12.20882	1051.71	1051.71
13	16.0512	15.64826	1348.00	1348.00
16	17.4064	16.96944	1461.81	1461.81
19	18.5347	18.06941	1556.57	1556.57
23	19.9854	19.48369	1678.40	1678.40
26	15.5669	15.17612	1307.33	1678.40
29	11.5656	11.27526	971.29	1678.40
32	8.1024	7.899001	680.45	1678.40
35	7.5642	7.374311	635.25	1678.40
38	4.2141	4.108311	353.91	1678.40
41	3.1476	3.068584	264.34	1678.40
44	2.5457	2.481794	213.79	1678.40
47	2.0141	1.963539	169.15	1678.40
50	1.4788	1.441677	124.19	1678.40

ตารางผนวกที่ 17 สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้าง มีการเติมอากาศโดยใช้ท่อพีวีซี ในการทดลองที่ 3

time (day)	%CH ₄	gCH ₄	gCH ₄ /kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /kg(asVS)
2	1.2154	1.184889	97.38	97.38
5	1.9461	1.897246	155.93	155.93
9	12.5443	12.22939	1005.11	1005.11
13	13.9512	13.60097	1117.84	1117.84
16	17.1147	16.68506	1371.31	1371.31
19	20.3298	19.81945	1628.92	1628.92
23	19.8476	19.34935	1590.28	1628.92
26	18.5454	18.07984	1485.94	1628.92
29	13.5647	13.22418	1086.87	1628.92
32	11.5684	11.27799	926.91	1628.92
35	10.2547	9.99727	821.65	1628.92
38	8.5684	8.353302	686.54	1628.92
41	6.2104	6.054497	497.61	1628.92
44	4.215	4.109188	337.73	1628.92
47	3.7441	3.65011	299.99	1628.92
50	2.1254	2.072045	170.30	1628.92

ตารางผนวกที่ ค18 สักยภาพการเกิดก๊าซมีเทนของมูลฝอยที่ผ่านกระบวนการชะล้าง มีการเติมอากาศโดย เครื่องเติมอากาศ ในการทดลองที่ 3

time (day)	%CH ₄	gCH ₄	gCH ₄ kg(asVS)	Accumulation gCH ₄ /kg(asVS)
2	1.0541	1.027638	86.69	86.69
5	2.9478	2.8738	242.43	242.43
9	11.792	11.49598	969.81	969.81
13	15.46852	15.0802	1272.17	1272.17
16	17.9715	17.52035	1478.02	1478.02
19	19.5168	19.02686	1605.11	1605.11
23	18.9454	18.4698	1558.12	1605.11
26	16.742	16.32172	1376.91	1605.11
29	16.4214	16.00916	1350.54	1605.11
32	13.2784	12.94506	1092.05	1605.11
35	11.8421	11.54482	973.93	1605.11
38	6.4775	6.314892	532.73	1605.11
41	5.4241	5.287936	446.09	1605.11
44	4.5412	4.4272	373.48	1605.11
47	3.5547	3.465464	292.35	1605.11
50	3.2347	3.153497	266.03	1605.11

ตารางผนวกที่ ค19 ข้อมูลการควบคุมมลสารในการทดลองที่ 1

30lit/day			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	57.43	4594.40
	TOC (%)	50.76	4060.80
หลังชะล้าง	COD (g)	98.25	98.25
	BMP ก่อนการชะ(g)	43.58	14.65
	BMP หลังการชะ(g)	28.92	
40lit/day			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	57.43	4594.40
	TOC (%)	47.84	3827.20
หลังชะล้าง	COD (g)	98.6	98.60
	BMP ก่อนการชะ(g)	43.58	18.91
	BMP หลังการชะ(g)	24.67	
50lit/day			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	57.43	4594.40
	TOC (%)	46.21	3696.80
หลังชะล้าง	COD (g)	118.25	118.25
	BMP ก่อนการชะ(g)	43.58	29.83
	BMP หลังการชะ(g)	13.75	

ตารางผนวกที่ ค20 ข้อมูลการควบคุมมลสารในการทดลองที่ 2

1:1			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	51.68	4134.40
	TOC (%)	43.14	3451.20
หลังชะล้าง	COD (g)	71.25	71.25
	BMP ก่อนการชะ(g)	37.02	19.66
	BMP หลังการชะ(g)	17.36	
4:4			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	51.68	4134.40
	TOC (%)	42.68	3414.40
หลังชะล้าง	COD (g)	72.25	72.25
	BMP ก่อนการชะ(g)	37.02	22.55
	BMP หลังการชะ(g)	14.47	
12:12			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	51.68	4134.40
	TOC (%)	44.14	3531.20
หลังชะล้าง	COD (g)	68.25	68.25
	BMP ก่อนการชะ(g)	37.02	17.24
	BMP หลังการชะ(g)	19.78	

ตารางผนวกที่ ค21 ข้อมูลการควบคุมมลสารในการทดลองที่ 3

control			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	58.42	4673.60
	TOC (%)	52.15	4172.00
หลังชะล้าง	COD (g)	45.25	45.25
	BMP ก่อนการชะ(g)	32.54	15.76
	BMP หลังการชะ(g)	16.78	
pipe aeration			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	58.42	4673.60
	TOC (%)	50.73	4058.40
หลังชะล้าง	COD (g)	47.63	47.63
	BMP ก่อนการชะ(g)	32.54	16.25
	BMP หลังการชะ(g)	16.29	
air pump			
สภาวะการทดลอง	ข้อมูลจากการทดลอง		กรัมคาร์บอน
ก่อนชะล้าง	TOC (%)	58.42	4673.60
	TOC (%)	50.18	4014.40
หลังชะล้าง	COD (g)	47.75	47.75
	BMP ก่อนการชะ(g)	32.54	16.49
	BMP หลังการชะ(g)	16.05	

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นายเอกชัย การุณสถิตยชัย
เกิดวันที่	วันที่ 17 พฤษภาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-