



วิทยานิพนธ์

การปรับเสถียรมูลฝอยและใช้ประโยชน์มูลฝอยที่ปรับเสถียรแล้ว
ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยในระบบฝังกลบด้วยวิธีการเติมอากาศ

**STABILIZATION OF SOLID WASTES IN LANDFILL AND
UTILIZATION OF STABILIZED WASTE MATRIX FOR
LEACHATE TREATMENT BY IN-SITU AERATION METHOD**

นายสัญญา แต่งศรี

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2550



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับเสถียรมูลฝอยและใช้ประโยชน์มูลฝอยที่ปรับเสถียรแล้วในการบำบัดน้ำชะ
มูลฝอยในระบบฝังกลบด้วยวิธีการเติมอากาศ

Stabilization of Solid Wastes in Landfill and Utilization of Stabilized Waste Matrix for
Leachate Treatment by In-situ Aeration Method

นามผู้วิจัย นายสัญญา แต่งศรี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจียมไชยศรี, D.Eng.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วิไล เจียมไชยศรี, D.Tech.Sc.)

กรรมการ

(รองศาสตราจารย์เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(อาจารย์มงคล คำรงค์ศรี, Dr. Ing.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์วินัย อัจฉกหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับเสถียรมูลฝอยและใช้ประโยชน์มูลฝอยที่ปรับเสถียรแล้วในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย
ในระบบฝังกลบด้วยวิธีการเติมอากาศ

Stabilization of Solid Wastes in Landfill and Utilization of Stabilized Waste Matrix for
Leachate Treatment by In-situ Aeration Method

โดย

นายสัญญา แต่งศรี

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2550

สัญญา แต่งศรี 2550: การปรับเสถียรมูลฝอยและใช้ประโยชน์มูลฝอยที่ปรับเสถียรแล้ว
ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยในระบบฝังกลบด้วยวิธีการเติมอากาศ ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชา
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ปรชชานกรรมการที่ปรึกษา: รองศาสตราจารย์ชาติ เจียมไชยศรี,
D.Eng. 139 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปรับเสถียรมูลฝอยเก่าที่ผ่านการย่อยสลายนาน 3 ปี
ด้วยวิธีการเติมอากาศในแบบจำลองฝังกลบมูลฝอย การศึกษาแบ่งเป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงฤดูฝน
และช่วงฤดูแล้ง รวมระยะเวลาทั้งสิ้น 210 วัน โดยทำการศึกษาองค์ประกอบของมูลฝอย และ
ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่เปลี่ยนแปลง จากผลการทดลองพบว่า ปริมาณไนโตรเจนในมูลฝอย
จากแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยที่มีการเติมอากาศ มีค่าลดลงสูงที่สุดคิดเป็นร้อยละ 80 ตามการ
หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยรวมกับการเติมอากาศส่งผลให้น้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีลักษณะสมบัติ
ใกล้เคียงกับน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่เสถียรแล้วคือ บีโอดีต่ำกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร
ซีโอดีต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และทีเคเอ็นต่ำกว่า 180 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อนำชั้นมูลฝอยที่ผ่านการปรับเสถียรมาใช้บำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีค่าบีโอดี 2,000 -
4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 3,000 - 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และทีเคเอ็น 100 - 300 มิลลิกรัม
ต่อลิตร ในสภาวะการเติมอากาศที่อัตรา 8.5 และ 17.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าน้ำที่ผ่าน
การบำบัดมีค่าบีโอดีต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดีต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และทีเคเอ็น
ต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยประสิทธิภาพการบำบัดทั้งหมดสูงกว่าร้อยละ 90 ที่ภาวะ
บรรทุกทางชลศาสตร์ 20 ถึง 40 ลิตรต่อลูกบาศก์เมตรมูลฝอยต่อวัน

Sunya Tangsri 2007: Stabilization of Solid Wastes in Landfill and Utilization of Stabilized Waste Matrix for Leachate Treatment by In-situ Aeration Method. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Chart Chiemchaisri, D.Eng. 139 pages.

This study was conducted to examine the stabilization of old refuse (3 years old) in landfill lysimeters by in-situ aeration method. The experiment was conducted under 2 different conditions, i.e. wet and dry seasons, combining for 210 days. The changes in waste and leachate characteristics along the experimental period were studied. According to the experimental results, it was found that the lysimeters with aeration had total nitrogen in waste reduced by 80 %. Leachate recirculation with aeration could produce leachate with its characteristics close to those of matured leachate, i.e. BOD less than 30 mg/l, COD less than 300 mg/l and TKN less than 180 mg/l.

The stabilized waste matrix was then applied to the treatment of fresh leachate containing BOD of 2,000 - 4,000 mg/l, COD 3,000 - 5,000 mg/l, and TKN of 100 - 300 mg/l, under aerobic condition of 8.5 and 17.0 m³/h. It was found that the treated leachate had BOD less than 15 mg/l, COD less than 15 mg/l, and TKN less than 15 mg/l, accounted for removal efficiencies of more than 90 % at hydraulic loading rate of 20 - 40 l/m³ of solid wastes/d.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

/ /

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชาติ เจียมไชยศรี ประธานกรรมการที่ปรึกษาที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำ การวางแผนการวิจัย ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนการวิจัยเสร็จสมบูรณ์ รวมทั้งจัดหาแหล่งเงินทุนสนับสนุนการวิจัยในครั้งนี้ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิไล เจียมไชยศรี กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ญจิตร ศรีนพคุณ กรรมการที่ปรึกษาวิชาการอง ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำช่วยเหลือในการทำ การวิทยานิพนธ์ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุก ๆ ท่านที่ได้อบรมให้ความรู้แก่ผู้วิจัยจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้ง เจ้าหน้าทีภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้เป็นธุระช่วยเหลืออำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัย ทั้งการเรียน และการทำวิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะ คุณพัฒนธิดา รวิพรรณ ชูชัย ดวงพร และเพชร ไพสิน ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัย จนงานวิจัยสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณ พ่อ แม่ เป็นอย่างยิ่ง ที่ได้ช่วยเหลือเป็นกำลังใจสนับสนุนทั้งการเรียน และการดำเนินชีวิตแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สัญญา แต่งศรี
กุมภาพันธ์ 2550

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
ขอบเขตของงานวิจัย	4
การตรวจเอกสาร	5
การฟังกลมมุลฝอย	5
น้ำชะมูลฝอย	17
การกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำชะมูลฝอย	34
การประยุกต์ใช้มูลฝอยเป็นตัวกรองชีวภาพบำบัดน้ำชะมูลฝอย	41
อุปกรณ์และวิธีการ	44
อุปกรณ์	44
วิธีการ	46
ผลและวิจารณ์	56
สรุปและข้อเสนอแนะ	92
สรุป	92
ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	94
ภาคผนวก	103
ภาคผนวก ก ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ของการทดลองที่ 1	104
ภาคผนวก ข ผลการศึกษาค่าพารามิเตอร์ของการทดลองที่ 2	119

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	องค์ประกอบต่าง ๆ ที่พบในก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบมูลฝอย	7
2	ค่าความจุสนามของมูลฝอยที่ความหนาแน่นต่าง ๆ	9
3	ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับองค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบใหม่และเก่า	20
4	กระบวนการทางชีวภาพ เคมี และกายภาพสำหรับบำบัดน้ำชะมูลฝอย	25
5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD/TOC, BOD/COD, absolute COD และอายุของหลุมฝังกลบที่ทำให้การกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำชะมูลฝอยมีประสิทธิภาพ	32
6	การเปรียบเทียบวิธีการบำบัด	33
7	องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอายุ 3 ปี	46
8	พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์มูลฝอยและน้ำชะมูลฝอย	51
9	สถานะที่ใช้ในการเดินระบบ	53
10	วิธีการวิเคราะห์ในแต่ละพารามิเตอร์	54
11	ผลกระทบของการเติมอากาศต่อคุณสมบัติของมูลฝอย	60
12	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 1	70
13	ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังการบำบัดและประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาระบรรทุกทางศาสตร์ต่าง ๆ	84
ตารางผนวกที่		
ก 1	ค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น	105
ก 2	ค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น	106
ก 3	ค่าทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น	107
ก 4	ค่าแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น	108
ก 5	ค่าไนเตรตของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น	109
ก 6	ค่าฟอสฟอรัสของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น	110
ก 7	ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น	111

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก 8	ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอย	112
ก 9	ค่าความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอย	113
ก 10	ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอย	114
ก 11	ปริมาณน้ำชะมูลฝอย	115
ก 12	ปริมาณน้ำชะมูลฝอยสะสม	116
ก 13	ปริมาณ COD Leaching สะสม	117
ก 14	ปริมาณ TKN Leaching สะสม	118
ข 1	ปริมาณบีโอดีของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	120
ข 2	ปริมาณซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	121
ข 3	ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	122
ข 4	ปริมาณแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	123
ข 5	ปริมาณไนโตรคของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	124
ข 6	ปริมาณไนเตรคของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	125
ข 7	ปริมาณฟอสเฟตของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	126
ข 8	ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	127
ข 9	ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	128
ข 10	ปริมาณน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	129
ข 11	ปริมาณบีโอดีของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	130
ข 12	ปริมาณซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	131
ข 13	ปริมาณดีไอของน้ำชะมูลฝอยขาออก ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	132
ข 14	ปริมาณทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	133
ข 15	ปริมาณแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	134
ข 16	ปริมาณไนโตรคของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	135
ข 17	ปริมาณไนเตรคของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	136
ข 18	ค่าของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	137

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข 19	ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรทุกต่าง ๆ	138
ข 20	ปริมาณน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรทุกต่าง ๆ	139

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การฝึงคลบแบบกลบบนพื้นที่	6
2	การฝึงคลบแบบขุดร่อง	6
3	ระยะต่าง ๆ ในการเกิดก๊าซจากการฝึงคลบมูลฝอย	8
4	การเกิดขึ้นของน้ำชะมูลฝอย	18
5	ช่วงข้อมูลทั่วไปในการเกิดก๊าซและน้ำชะมูลฝอยของหลุมฝึงคลบ	21
6	ผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำต่อกิจกรรมในหลุมฝึงคลบ	24
7	การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	36
8	การเตรียมแบบจำลองมูลฝอยสำหรับการปรับเสถียรมูลฝอย	45
9	สภาวะการทดลองของแบบจำลองฝึงคลบมูลฝอยในการปรับเสถียร	48
10	แผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	50
11	รูปแบบการเดินระบบของการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอย	54
12	รูปแบบการเดินระบบของการศึกษาการบรรเทาทุกทางลดศาสตร์ที่เหมาะสม	55
13	การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอย	62
14	การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย	63
15	การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอย	63
16	การเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอย	65
17	การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรดของน้ำชะมูลฝอย	65
18	การเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสของน้ำชะมูลฝอย	67
19	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอย	67
20	การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอย	68
21	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอย	68
22	การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอย	69
23	การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	73
24	ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	73
25	การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	74

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
26	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ	74
27	การเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	76
28	การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	77
29	การเปลี่ยนแปลงค่าไนไตรต์ของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	79
30	การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรตของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	79
31	การเปลี่ยนแปลงค่าฟอสเฟตของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	80
32	การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	81
33	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ	81
34	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ออกมากับปริมาณที่เติม ที่สภาวะต่าง ๆ	82
35	ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่สภาวะต่าง ๆ	83
36	การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	86
37	ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางอินทรีย์กับความสามารถในการกำจัดบีโอดี	86
38	การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	87
39	ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางอินทรีย์กับความสามารถในการกำจัดซีโอดี	87
40	การเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	88
41	ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางอินทรีย์กับความสามารถ ในการกำจัดทีเคเอ็น	89
42	ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยขาออก ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ	90

การปรับเสถียรมูลฝอยและใช้ประโยชน์มูลฝอยที่ปรับเสถียรแล้วในการบำบัด น้ำชะมูลฝอยในระบบฝังกลบด้วยวิธีการเติมอากาศ

Stabilization of Solid Wastes in Landfill and Utilization of Stabilized Waste Matrix for Leachate Treatment by In-situ Aeration Method

คำนำ

การพัฒนาเมืองอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และสังคมที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เกิดปัญหามลพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ปัญหาการเพิ่มขึ้นของขยะมูลฝอย ซึ่งทวีความรุนแรงมากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะตามเมืองใหญ่มักประสบปัญหาเหล่านี้

วิธีการหนึ่งที่ได้รับคามนิยมนำมาใช้จัดการมูลฝอยคือ การฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) เนื่องจากมีความยืดหยุ่นสูงสามารถรองรับมูลฝอยชุมชนได้เกือบทุกประเภท ระบบไม่ซับซ้อนง่ายต่อการดำเนินการ และบำรุงรักษา (Tittlebaum, 1982) อีกทั้งยังใช้ในการปรับปรุงคุณภาพพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมได้อีกด้วย (Land Reclamation) แต่การฝังกลบก็มีข้อจำกัดคือ ต้องใช้พื้นที่เป็นจำนวนมาก และปฏิบัติการย่อยสลายมูลฝอยในหลุมฝังกลบเป็นการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก ซึ่งปฏิบัติการจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ โดยอัตราการย่อยสลายขึ้นอยู่กับลักษณะสมบัติของมูลฝอย ความชื้นในหลุมฝังกลบ ปริมาณสารอาหาร ปริมาณแบคทีเรีย ฯลฯ (Tchobanoglous *et al.*, 1993; Townsend *et al.*, 1996) จึงทำให้มีระยะเวลานานกว่าที่มูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบจะมีสภาพคงตัว ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถนำพื้นที่ฝังกลบไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ แต่จากปัญหาปริมาณมูลฝอยที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี การปล่อยให้ปฏิบัติการย่อยสลายต่าง ๆ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จะส่งผลให้พื้นที่ฝังกลบไม่สามารถรองรับปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มขึ้นได้ จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการย่อยสลายที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบ โดยมีการพัฒนาปรับปรุงให้การฝังกลบแบบดั้งเดิม (Conventional Landfill) เป็นมากกว่าสถานที่เก็บกักมูลฝอย เพื่อเร่งการเกิดปฏิบัติการย่อยสลายในหลุมฝังกลบ (Landfill Bioreactor Concept) โดยออกแบบให้เกิดการซึมผ่านของน้ำฝนลงสู่หลุมฝังกลบให้มากที่สุดเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับหลุมฝังกลบ และลดปริมาณของน้ำชะมูลฝอยที่ไหลผ่านให้ปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำผิวดินให้น้อย

ที่สุด รวมทั้งมีระบบรวบรวมน้ำชะมูลฝอยสำหรับหมุนเวียนกลับสู่หลุมฝังกลบ (Reinhart and Townsend, 1998) จะส่งผลให้หลุมฝังกลบมีสภาพที่เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอย เนื่องจากการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยช่วยเพิ่มค่าความชื้น สารอาหาร และเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความคุ้นเคยต่อสภาพแวดล้อม และทำให้เชื้อจุลินทรีย์มีการกระจายตัวอย่างทั่วถึง (Pohland, 1980; Lay *et al.*, 1998; Shearer *et al.*, 2001) รวมทั้งสามารถควบคุมค่าพีเอชให้อยู่ในช่วง 7 - 8 ซึ่งมีความเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา (Buivid *et al.*, 1981; Tittlebaum, 1982; Barlaz *et al.*, 1987) การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยนั้นนอกจากจะสามารถเร่งอัตราการย่อยสลายมูลฝอยแล้ว ยังสามารถบำบัดความสกปรกในน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในระบบโดยอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอย (Tittlebaum, 1982) ทำให้สามารถลดขนาดการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยลงได้

อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาคุณภาพของน้ำชะมูลฝอยพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยโดยทั่วไป ช่วยให้ความสกปรกต่าง ๆ โดยเฉพาะบีโอดี และซีโอดี ของน้ำชะมูลฝอยลดลงอย่างรวดเร็ว จนเข้าสู่สภาวะคงตัว (Maturation phase) แต่พบว่าความเข้มข้นของไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยมียังค่าสูง จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของมูลฝอยประกอบด้วยโปรตีนซึ่งเป็นสารประกอบไนโตรเจนประมาณร้อยละ 4 เมื่อเกิดการย่อยสลายจะอยู่ในรูปแอมโมเนีย (Madigen *et al.*, 1997; Barlaz *et al.*, 1990) และแอมโมเนียเป็นสารที่มีความเสถียรภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน จึงทำให้มีการสะสมอยู่ในน้ำชะมูลฝอย (Burton and Watson-Craik, 1998) เมื่อมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยทำให้แอมโมเนียไม่ถูกชะออกสู่ภายนอกแต่จะสะสมอยู่ในมูลฝอย แนวทางหนึ่งสำหรับการจัดการแอมโมเนีย คือ การนำน้ำชะมูลฝอยออกมาบำบัดภายนอก โดยใช้ระบบไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน หรือบำบัดด้วยระบบไนตริฟิเคชันภายนอกก่อนแล้ว ถ่ายกลับคืนหลุมฝังกลบเพื่อให้เกิดดีไนตริฟิเคชัน ซึ่งทั้งสองแบบนี้จะเปลี่ยนแอมโมเนีย เป็นไนเตรต และก๊าซไนโตรเจนตามลำดับ ซึ่งมีอันตรายน้อย (Onay and Pohland, 1998) แต่การบำบัดภายนอกนี้ค่อนข้างยุ่งยาก มีค่าใช้จ่ายสูง และยังสามารถทำให้เกิดการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้

หลังจากที่มูลฝอยในหลุมฝังกลบมีความเสถียรเพียงพอ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อได้ เช่น นำพีชมาปลูกไว้ด้านบนหลุม การขุดมูลฝอยขึ้นมาใช้เป็นปุ๋ย และการนำมาใช้เป็นวัสดุรองในถังกรองชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำชะมูลฝอยหรือน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์โครงสร้างขนาดใหญ่ได้ (Zhao, 2001) เนื่องจากในตัวมูลฝอยประกอบด้วยกลุ่มก้อนจุลินทรีย์ขนาดใหญ่ ซึ่งมีความสามารถในการย่อยสลายวัสดุอินทรีย์ที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลง เช่น ในน้ำชะมูลฝอยได้ดี นอกจากนี้เป็นที่รู้กันดีว่าน้ำชะมูลฝอยสามารถจัดการได้ด้วยการหมุนเวียนภายในหลุมฝังกลบ โดยมีรายงานการ

ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดน้ำชะมูลฝอย ด้วยการใช้มูลฝอยที่เสถียรมาเป็นตัวกรองชีวภาพ พบว่ามีประสิทธิภาพสูง สามารถกำจัดความสกปรกในน้ำชะมูลฝอยได้มากกว่าร้อยละ 90 อย่างไรก็ตามวิธีการนี้มีข้อจำกัดเกี่ยวกับการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดเพียงร้อยละ 20 - 30 เท่านั้น (Zhao *et al.*, 2002; Zhao and Shao, 2004)

ในการศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับเสถียรมูลฝอยในแบบจำลองมูลฝอย ที่ผ่านการย่อยสลายเป็นเวลา 3 ปี ด้วยการเติมอากาศลงไปร้อยละ 50 ของที่ความลึกชั้นมูลฝอย ภายในแบบจำลองที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการเติมอากาศต่อลักษณะสมบัติของมูลฝอยและน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ภายใต้สภาพแวดล้อมตามธรรมชาติ และทำการศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีความสกปรกสูงด้วยชั้นมูลฝอยซึ่งผ่านการปรับเสถียรแล้ว เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบของการเติมอากาศต่อลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่ออกมา ทั้งสองการศึกษานี้ข้อมูลที่ได้ จะนำมาเป็นพื้นฐานในการประยุกต์ระบบการฝังกลบในพื้นที่ฝังกลบของประเทศไทยต่อไป

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอิทธิพลของการเติมอากาศในแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยที่ผ่านการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมาแล้ว ต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของมูลฝอยและน้ำชะมูลฝอย
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการเติมอากาศในชั้นมูลฝอยที่ถูกปรับเสถียร

ขอบเขตของการศึกษา

1. ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการ (Lab-scale) โดยใช้แบบจำลองฝังกลบมูลฝอยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 เมตร ความสูง 2.7 เมตร จำนวน 4 ถัง ซึ่งติดตั้งระบบรวบรวมและหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย และระบบการเติมอากาศ เพื่อศึกษาลักษณะคุณสมบัติน้ำชะมูลฝอย
2. มูลฝอยที่ใช้ในการศึกษาเป็นมูลฝอยชุมชน (Municipal Solid Waste) จากโรงกำจัดมูลฝอยหนองแขมนำมาผสมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน (Sewage Sludge) จากโรงบำบัดน้ำเสียห้วยขวาง ในอัตราส่วน 4 ต่อ 1 ของน้ำหนักเปียก ที่ผ่านการย่อยสลายมาเป็นระยะเวลาประมาณ 3 ปี
3. น้ำชะมูลฝอยที่ใช้ในการศึกษาได้มาจากการหมักมูลฝอยตามองค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยที่ได้วิเคราะห์ไว้แล้ว เป็นเวลา 2 - 4 สัปดาห์
4. ประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอย โดยประเมินจากการลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย ได้แก่ บีโอดี ซีโอดี ดีโอ แอมโมเนีย ทีเคเอ็น ไนโตรเจน ไนเตรต ฟอสฟอรัส ปริมาณของแข็งแขวนลอย และพีเอช

การตรวจเอกสาร

การฝังกลบมูลฝอย

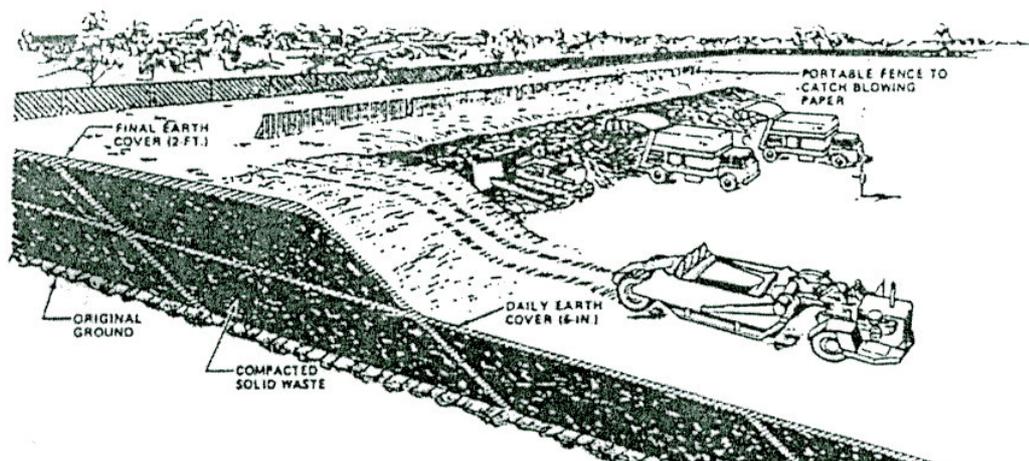
1. การฝังกลบมูลฝอยอย่างถูกต้องหลักสาขาภิบาล

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (2542) ได้ให้ความหมายของการกำจัดขยะมูลฝอยโดยการฝังกลบไว้ว่า เป็นการนำขยะมูลฝอยมาเทกองในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ ใช้เครื่องจักรกลเคลื่อนย้ายและบดอัดให้มูลฝอยยุบตัวลงแล้วใช้ดินกลบทับและบดอัดให้แน่นอีกครั้งเป็นชั้น ๆ รวมทั้งจัดเตรียมมาตรการป้องกันน้ำชะมูลฝอยไหลซึมลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน และการระบายก๊าซออกจากพื้นที่ฝังกลบ การป้องกันกลิ่นและแมลงรบกวน และการแพร่กระจายของเชื้อโรคสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบ ป้องกันเหตุรำคาญที่อาจส่งผลกระทบต่อชุมชนรอบข้าง

1.1 ประเภทของการฝังกลบ การดำเนินการฝังกลบในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกัน 2 วิธี (สำนักการศึกษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร, 2538) คือ

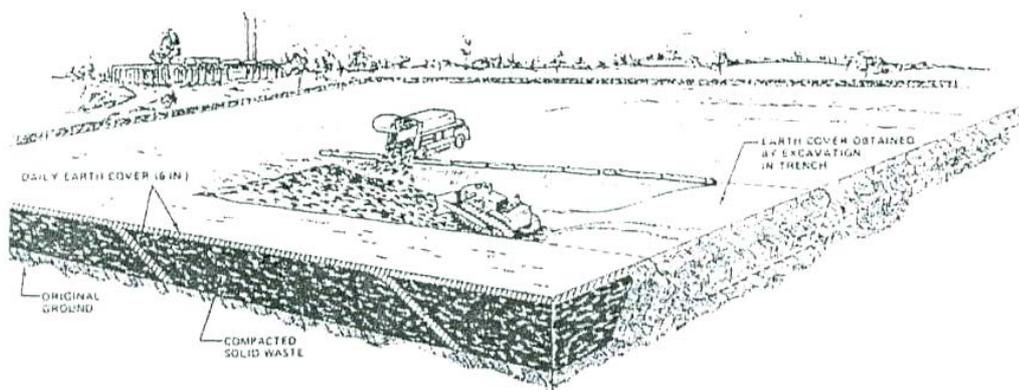
1.1.1 วิธีฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (Area Method) (ภาพที่ 1) เป็นวิธีการฝังกลบที่เริ่มจากระดับดินเดิมโดยไม่มีการขุดดิน ทำการบดอัดขยะมูลฝอยตามแนวราบก่อนแล้วจึงค่อยบดอัดเป็นชั้นถัดขึ้นไปจนถึงระดับที่กำหนดไว้ การฝังกลบโดยวิธีนี้จำเป็นต้องทำคันดินเพื่อทำหน้าที่เป็นผนังหรือขอบรับการบดอัดและฝังกลบไม่ให้ซึมออกด้านนอก ลักษณะของภูมิประเทศที่จำเป็นต้องใช้วิธีนี้คือ พื้นที่ราบลุ่มหรือที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่ต่ำกว่าระดับผิวดินเล็กน้อย (ไม่เกิน 1 เมตร) ทำให้ไม่สามารถขุดดินเพื่อกำจัดด้วยวิธีฝังกลบแบบขุดร่องได้ เพราะจะทำให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำเสียจากขยะมูลฝอยต่อน้ำใต้ดินได้

1.1.2 วิธีฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method) (ภาพที่ 2) เป็นวิธีการฝังกลบที่เริ่มจากระดับที่ต่ำกว่าระดับดินเดิมโดยทำการขุดดินลึกลงไปให้ได้ระดับตามที่กำหนด โดยทั่วไปความลึกของการขุดร่องจะถูกกำหนดด้วยระดับน้ำใต้ดิน อย่างน้อยระดับล่างสุดของหลุมฝังกลบจะต้องอยู่สูงกว่าระดับน้ำใต้ดินไม่น้อยกว่า 1 เมตร โดยยึดระดับน้ำในฤดูฝนเป็นเกณฑ์เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยต่อแหล่งน้ำใต้ดิน วิธีฝังกลบแบบขุดร่องนี้ ยังสามารถนำดินที่ขุดขึ้นมาใช้ในการฝังกลบขยะต่อไปได้



ภาพที่ 1 การฝังกลบแบบกลบบนพื้นที่ (Area Method)

ที่มา: สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร (2538)



ภาพที่ 2 การฝังกลบแบบขุดร่อง (Trench Method)

ที่มา: สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร (2538)

2. ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบมูลฝอย

ในหลุมฝังกลบขยะมูลฝอยนั้นจะเกิดปฏิกริยาการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิก (Anaerobic Decomposition) โดยแบคทีเรียกลุ่มแอนแอโรบิกจะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ในมูลฝอย ผลผลิตที่เกิดขึ้นก็คือ ก๊าซชีวภาพ องค์ประกอบหลักของก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นประกอบด้วย CH₄ (Methane) และ CO₂ (Carbon Dioxide) เป็นส่วนใหญ่ ก๊าซที่เกิดขึ้นในสถานที่ฝังกลบขยะมูลฝอยสามารถสรุปองค์ประกอบต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 1

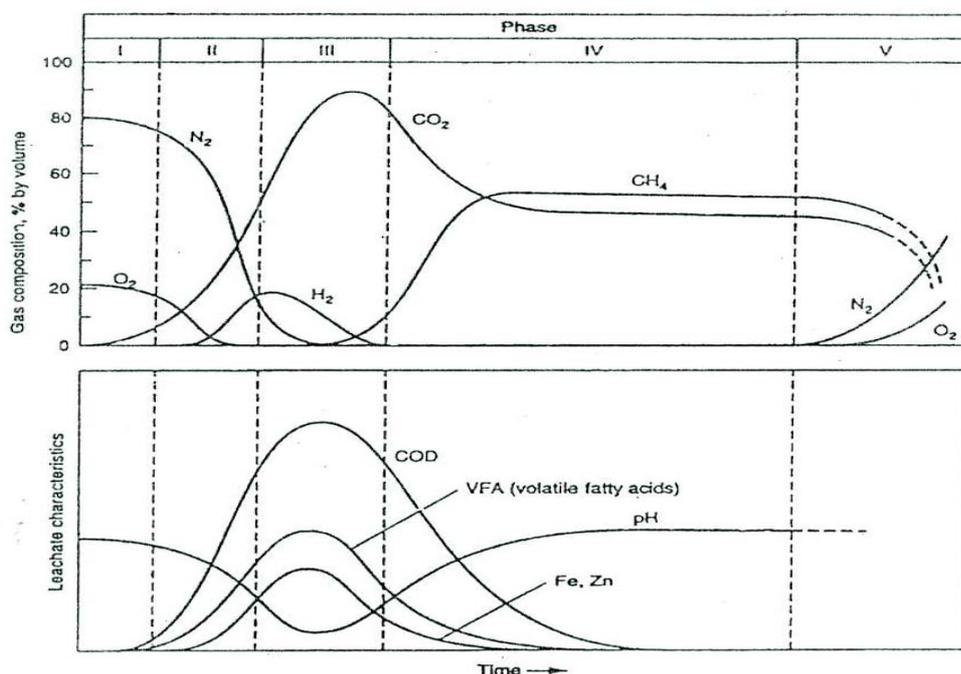
ตารางที่ 1 องค์ประกอบต่าง ๆ ที่พบในก๊าซชีวภาพจากการฝังกลบมูลฝอย

Component	% (dry volume basis)
Methane	45 – 60
Carbon Dioxide	40 – 60
Nitrogen	2 – 5
Oxygen	0.1 – 1.0
Sulfides, Disulfides, Mercaptants etc.	0 – 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)

การเกิดก๊าซจากการฝังกลบขยะมูลฝอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ระยะ (กรมควบคุมมลพิษ, 2542) ดังนี้ (ภาพที่ 3)

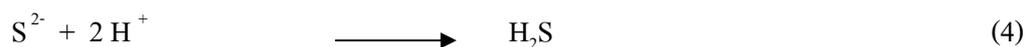
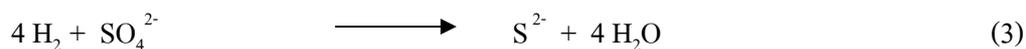
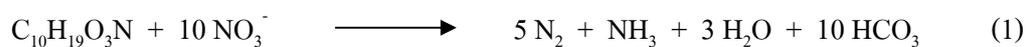
2.1 ระยะที่ 1 การปรับเริ่มต้น (Initial Adjustment) เป็นระยะที่ขยะมูลฝอยเกิดกระบวนการย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจน โดยออกซิเจนที่ได้มาจากอากาศที่อยู่ในช่องว่างของขยะมูลฝอย สำหรับจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่ย่อยสลายขยะมูลฝอยจะมาจากชั้นดินวัสดูดซับทับ จากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียที่นำมาทิ้งที่สถานที่ฝังกลบ หรือจากน้ำขยะมูลฝอยที่นำกลับมาใช้



ภาพที่ 3 ระยะต่าง ๆ ในการเกิดก๊าซจากการฝังกลบมูลฝอย

ที่มา: Tchobanoglous *et al.* (1993)

2.2 ระยะที่ 2 ระยะการเปลี่ยนแปลง (Transition Phase) เป็นระยะที่ออกซิเจนถูกใช้หมด ไนเตรตและซัลเฟตเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน และไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังสมการที่ (1) (2) (3) และ (4)



2.3 ระยะที่ 3 ระยะที่มีการเกิดกรด (Acid Phase) เป็นระยะที่เกิดกรดอินทรีย์มาก และมีปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนลดลง โดยขั้นแรกจะเกิดไฮโดรไลซิสของสารประกอบโมเลกุลใหญ่ เป็นพวกแป้ง ไขมัน โปรตีนและกรดนิวคลีอิก ซึ่งเป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กพอที่จุลินทรีย์ใช้เป็นแหล่ง

พลังงานและแหล่งคาร์บอนได้ ขั้นที่ 2 คือ Acidogenesis เป็นการสร้างกรดอะซิติก กรดฟูลิก และคาร์บอนไดออกไซด์ โดยจุลินทรีย์ที่อยู่ในกระบวนการขั้นนี้เรียกว่า Non-methanogenic ซึ่งจะเป็นพวก Facultative Bacteria และ Obligate Anaerobic Bacteria หรืออาจเรียกว่า Acid Former และจะทำให้ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยลดลงถึง 5 หรือต่ำกว่า เนื่องจากมีกรดอินทรีย์และความเข้มข้นของ CO₂ มากขึ้น ค่า BOD COD Conductivity สูงขึ้นในระยนี้ เนื่องจากการละลายของกรดอินทรีย์ สารอนินทรีย์ และโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอย ถ้าสถานที่ฝังกลบไม่เกิดน้ำชะมูลฝอย สารต่าง ๆ ที่เกิดในระยะที่ 3 นี้จะยังคงถูกดูดซับอยู่ในขยะมูลฝอยหรือเรียกว่า ค่าความจุสนาม (Field Capacity) คือ ความสามารถในการซึมน้ำไว้ได้ในขยะมูลฝอยโดยไม่ก่อให้เกิดน้ำชะมูลฝอย จากการรวบรวมข้อมูลของ Reinhart and Townsend (1998) ได้สรุปค่าความจุสนามที่ความหนาแน่นต่าง ๆ แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าความจุสนามของมูลฝอยที่ความหนาแน่นต่าง ๆ

Density (kg / m ³)	Field Capacity (% wet weight)
213 (shredded)	53
500 – 800	54
500 – 800	43 – 50 (dry weight)
690 – 950	53.9 (dry weight)
710	47
616 (shredded)	20 – 30
688	20 – 35
310	36.8
287	31 – 48
440	48
474	35

ที่มา: Reinhart and Townsend (1998)

2.4 ระยะเวลาที่ 4 ระยะเวลาที่มีการเกิดมีเทน (Methane Fermentation Phase) ในระยะนี้จุลินทรีย์กลุ่มที่ 2 หรือที่เรียกว่า Methanogens หรือ Methane Former เปลี่ยน CH_3COOH และ H_2 เป็น CH_4 และ CO_2 ดังสมการที่ 5 และ 6 ทำให้ค่าพีเอชในระยะนี้สูงขึ้นประมาณ 6.8 - 8 ค่า BOD COD Conductivity ของน้ำชะมูลฝอยจะลดลงเมื่อพีเอชมีค่าสูงขึ้น ทำให้สารอินทรีย์อยู่ในรูปสารละลายได้น้อยลงส่งผลให้ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะมูลฝอยลดลงด้วย และจากการทดลองของ Wolfson (1988) พบว่าเมื่อค่าอัตราส่วน BOD_5/COD ลดลงต่ำกว่า 0.1 นั้นเป็นสัญญาณอย่างหนึ่งที่แสดงว่าระบบเข้าสู่ Methanogenic Phase



2.5 ระยะเวลาที่ 5 ระยะเวลาคงตัว (Maturation Phase) เป็นระยะที่หลังจากสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้เปลี่ยนเป็น CH_4 และ CO_2 เรียบร้อยแล้วและอัตราการเกิดก๊าซเริ่มลดลง แต่จะพบว่าปริมาณของก๊าซในโตรเจนและออกซิเจนมีเพียงเล็กน้อยในระยะนี้ น้ำชะมูลฝอยในช่วงนี้จะมีพวกกรดอินทรีย์และกรดฟูลวิก ซึ่งยากต่อการเกิดกระบวนการทางชีวภาพต่อไป

3. วิธีการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอย

เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในหลุมฝังกลบนั้นเป็นปฏิกิริยาแบบแอนแอโรบิก ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาจะดำเนินไปอย่างช้า ๆ อีกทั้งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาดังได้กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงได้มีผู้ทำการศึกษาทดลองถึงวิธีการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายในหลุมฝังกลบเพื่อเร่งการเข้าสู่ Methane Phase รวมทั้งเพิ่มอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพให้ได้ก๊าซชีวภาพจำนวนมาก และมีระยะเวลาในการผลิตสั้นลงเพื่อให้หลุมฝังกลบมีความคงตัว (Stabilization) สามารถนำพื้นที่ไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ซึ่งวิธีการเร่งปฏิกิริยานั้นจะพัฒนามาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอย โดยทำการควบคุมปัจจัยเหล่านั้นให้มีความเหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยา วิธีการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยนั้นสรุปได้ดังนี้

3.1 การลดขนาดของมูลฝอย (Size Reduction)

การลดขนาดของมูลฝอยลงเป็นขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวให้กับมูลฝอยสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneity) ระหว่างมูลฝอย บัฟเฟอร์ สารอาหารที่เติมลงไป รวมทั้งเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย (Augenstein *et al.*, 1976) รวมทั้งสามารถเพิ่มความสามารถในการบดอัดให้มีความหนาแน่นได้มากกว่ามูลฝอยที่ไม่ได้ลดขนาดลง ซึ่งการเพิ่มความหนาแน่นของชั้นมูลฝอย นอกจากจะทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ สัมผัสผสมกันได้ดีแล้ว ยังทำให้มีการใช้พื้นที่ในการฝังกลบได้อย่างคุ้มค่า (Shearer *et al.*, 2001) จากการศึกษาของ Buivid *et al.* (1981) พบว่าการลดขนาดของมูลฝอยทำให้มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างสารตั้งต้นและเอนไซม์ต่าง ๆ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้อย่างรวดเร็ว เช่นเดียวกับการทดลองของ Ham and Bookter (1982) พบว่าการลดขนาดของมูลฝอยทำให้มีการผลิตก๊าซชีวภาพได้เร็วกว่ามูลฝอยที่ไม่ได้ลดขนาด

3.2 การเติมเชื้อ (Seeding)

เนื่องจากปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยเกิดขึ้นได้โดยอาศัยจุลินทรีย์หลายชนิดทำงานร่วมกันอย่างเป็นระบบ ในช่วงเริ่มแรกของการหมักจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตอย่างช้า ๆ เนื่องจากสภาวะต่าง ๆ ยังไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต ถ้าปล่อยให้กระบวนการต่าง ๆ เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ จะต้องใช้เวลานานกว่าที่ระบบจะมีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ดังนั้นการเติมเชื้อที่มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่าง ๆ ให้กับระบบจึงเป็นขั้นตอนเริ่มต้นที่สำคัญ ซึ่งจะพบว่าในการศึกษาที่ผ่านมา ผู้วิจัยจะทำการเติมเชื้อให้กับระบบเพื่อเริ่มปฏิกิริยาการย่อยสลายโดยแหล่งของเชื้อจุลินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่ กากตะกอนน้ำทิ้งชุมชน (Digested Sewage Sludge) ขยะเก่า (Old Refuse) หรือปุ๋ยหมัก (Compost) ซึ่งการเติมกากตะกอนน้ำทิ้ง ขยะเก่า หรือปุ๋ยหมักให้กับระบบ นอกจากจะเป็นการเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ให้กับระบบแล้ว ยังประกอบไปด้วยสารอาหารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมทั้งจะช่วยเพิ่มความชื้นให้กับระบบได้อีกด้วย (Augenstein *et al.*, 1976; Buivid *et al.*, 1981; Barlaz *et al.*, 1987) รวมทั้งได้มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพของเชื้อที่เติมจากแหล่งต่าง ๆ ดังการทดลองของ Buivid *et al.* (1981) พบว่าการเติมตะกอนน้ำทิ้งที่ผ่านการหมัก จะส่งผลให้ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซมีเทนมากกว่าการเติมตะกอนดิบ (Primary Sludge) ถึง 3 เท่า เนื่องจากตะกอนดิบจะมีปริมาณของ Methanogenic Bacteria น้อย แต่จะมีปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้เป็นจำนวนมาก เช่นเดียวกับ

การศึกษาของ Bae *et al.* (1998) พบว่าการเติมตะกอนน้ำทิ้งที่ขาดการควบคุมที่ดีในการเก็บขน เคลื่อนย้ายจนทำให้ตะกอนสัมผัสกับอากาศ ส่งผลให้เชื้อ Methanogenic Bacteria ซึ่งไม่สามารถ เจริญเติบโตได้ในสภาพที่มีอากาศ ขาดประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ นอกจากนี้ไม่ ส่งผลดีกับระบบแล้ว ยังก่อให้เกิดปัญหาที่ระบบได้อีกด้วย เนื่องจากการเพิ่มปริมาณ สารอินทรีย์จากกากตะกอนให้กับหลุมฝังกลบแทน

Craft and Blakey (1988) ศึกษาการหมักมูลฝอยชุมชนร่วมกับตะกอนน้ำทิ้ง (Sewage Sludge) ในอัตราส่วน 4.1 ต่อ 1 พบว่าสามารถลดระยะเวลาและเพิ่มอัตราการย่อยสลายมูลฝอย โดยมีอัตราการเกิดก๊าซ 0.28 - 0.45 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของของแข็งระเหยต่อวัน ในขณะที่การ หมักมูลฝอยชุมชนเพียงอย่างเดียวมีอัตราการเกิดก๊าซเพียง 0.05 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของของแข็ง ระเหยต่อวัน และในการศึกษาของ Demirekler and Anderson (1998) พบว่าการเติมกากตะกอนน้ำ ทิ้งร้อยละ 20 สามารถเพิ่มปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ ปริมาณสารอาหารให้กับระบบ ช่วยลดระยะเวลา ของช่วงการปรับเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ลงได้

3.3 การเติมบัฟเฟอร์ (Buffering)

การเติมบัฟเฟอร์ให้กับระบบมีส่วนช่วยให้ค่าพีเอชของระบบไม่ลดลงจนเป็นอันตราย ต่อ Methanogenic Bacteria จากช่วงของ Acid Phase ซึ่งมีกรดเกิดขึ้นมาก การเฝ้าระวังและติดตาม ตรวจสอบค่าความเป็นด่างและพีเอชจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งสารเคมีที่นิยมใช้เป็นบัฟเฟอร์ให้กับระบบ เช่น ปูนขาว (CaO) โซเดียมคาร์บอเนต (NaHCO₃) โซดาไฟ (NaOH) หรือ โซดาแอช (Na₂CO₃)

ในการทดลองของ Buivid *et al.* (1981) ได้เติม CaCO₃ เพื่อทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ใน การหมักมูลฝอยชุมชน พบว่าการรักษาระดับค่าพีเอชของมูลฝอยที่ 7 มีความสำคัญในการเพิ่มการผลิตก๊าซมีเทน Barlez *et al.* (1987) ได้ทำการทดลองโดยเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเพื่อ ปรับค่าพีเอชของมูลฝอย พบว่าสามารถเร่งการเกิดก๊าซมีเทนได้โดยก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นมีก๊าซมีเทน เป็นองค์ประกอบเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 10 วัน หลังจากเติมสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ในขณะที่ก่อนหน้านี้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจะไม่มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเลย และในการ ทดลองของอุบลวรรณ (2543) ได้ใช้ NaHCO₃ เพื่อปรับค่าพีเอช ไม่ให้ลดลงจนเป็นอันตรายต่อการ ทำงานของจุลินทรีย์ เนื่องจากมูลฝอยที่ทำการศึกษาเป็นมูลฝอยที่สามารถย่อยสลายได้ง่าย ทำให้มี ปริมาณกรดเกิดขึ้นมากในช่วงของ Acid Phase

3.4 การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมกับการปรับค่าพีเอช (Leachate Recirculation with Neutralization)

จากปัจจัยต่าง ๆ ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ Shearer *et al.* (2001) พบว่าค่าความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด จากการศึกษาตัวอย่างมูลฝอยที่นำมาจากพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ซึ่งจะพบว่าได้มีผู้วิจัยเป็นจำนวนมากที่ทำการศึกษาดังกล่าวถึงผลของค่าความชื้นต่อการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังเช่นการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยส่งผลให้ระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มขึ้น เนื่องจากการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยช่วยเพิ่มค่าความชื้นให้กับระบบ (Rover and Farquhar, 1973; Buivid *et al.*, 1981; Kinman *et al.*, 1987; Pohland and Al-Yousfi, 1994) นอกจากนี้ภายในน้ำชะมูลฝอยยังประกอบไปด้วยจุลินทรีย์หลายชนิดที่มีความคุ้นเคยต่อสภาพแวดล้อมเป็นอย่างดี จึงมีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดี รวมทั้งสารอาหารต่าง ๆ ที่มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ (Tittlebaum, 1982) และยังสามารถปรับสภาวะต่าง ๆ ให้เหมาะสมต่อการเกิดปฏิกิริยาร่วมกับการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย เช่น การปรับค่าพีเอชให้มีค่าประมาณ 7 เนื่องจากเป็นค่าที่มีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ (อุบลวรรณ, 2543; Stegmann and Ehrig, 1989; Townsend *et al.*, 1996) และการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยทำให้เกิดการกระจายตัวของ ความชื้น สารอาหาร เชื้อจุลินทรีย์และบัฟเฟอร์ต่าง ๆ อย่างทั่วถึง ส่งเสริมให้เกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ง่าย

Lay *et al.* (1998) ได้กล่าวไว้ว่าผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยจะช่วยกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของคาร์บอนจากขั้นตอน Hydrolysis/Fermentation ไปเป็น Hydrogen/Acetate เพื่อเป็นสารตั้งต้นให้กับ Methanogenic Bacteria ในการผลิตก๊าซมีเทนต่อไป

ในการศึกษาของ Bae *et al.* (1998) พบว่าการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยนั้น ส่งผลให้ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น มีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบถึงร้อยละ 45 เมื่อเวลาผ่านไป 180 วัน ในขณะที่ถังที่ไม่มี การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยมีก๊าซมีเทนเป็นองค์ประกอบเพียงร้อยละ 25

อุบลวรรณ (2543) ทำการศึกษาการเร่งการย่อยสลายมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ง่ายได้แก่ เศษอาหาร เศษผัก เศษผลไม้ และเศษกระดาษ ด้วยระบบหมักแบบไร้ออกซิเจน โดยทำการลดขนาดมูลฝอย และผสมร่วมกับกากตะกอนน้ำทิ้ง โดยกำหนดความถี่ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

ที่แตกต่างกันคือ ถังที่ 1 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 15 ครั้งต่อเดือน ปริมาณ 2.2 ลิตรต่อครั้ง ถังที่ 2 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 8 ครั้งต่อเดือน ปริมาณ 4.0 ลิตรต่อครั้ง ถังที่ 3 หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 4 ครั้งต่อเดือน ปริมาณ 8.1 ลิตรต่อครั้ง จากการทดลองเป็นระยะเวลา 245 วัน พบว่าการย่อยสลายมูลฝอยที่ย่อยสลายได้ง่าย ทำให้มีการสะสมกรดที่สร้างโดยแบคทีเรีย ส่งผลให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว จึงต้องทำการควบคุมค่าพีเอชโดยการเติม NaHCO_3 และพบว่าถังหมักที่มีความถี่ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 15 และ 8 ครั้งต่อเดือน มีปริมาณการผลิตก๊าซมีเทนมากกว่าถังหมักที่มีความถี่ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 4 ครั้งต่อเดือน เนื่องจากมูลฝอยมีค่าความชื้นสูงที่สุด และสามารถเข้าสู่ Methane Phase ได้เร็วที่สุด

O'Keefe and Chynoweth (2000) ทำการศึกษาผลกระทบของการย่อยสลายมูลฝอยชุมชนแบบ two-phase ต่ออัตราการเพิ่มขึ้นของการเสื่อมสลาย และเสถียรของระบบ โดยการสร้างแบบจำลองมูลฝอย (Leachbed) ขนาด 14 ลิตร ที่มีระบบเติมอากาศทางด้านล่าง กับถังปฏิกรณ์ใช้ออกซิเจนแบบ Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) ขนาด 5 ลิตร โดยมีรูปแบบการศึกษาทั้งหมด 3 แบบ ดังนี้ แบบที่ 1 การบำบัดแบบ Two-phase โดยไม่มีการเติมอากาศ หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยระหว่างแบบจำลองมูลฝอยกับถัง UASB แบบที่ 2 การบำบัดแบบ Combined-phase ซึ่งจะหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายในแบบจำลองมูลฝอยอย่างเดียว และแบบที่ 3 การบำบัดแบบ Two-phase โดยมีการเติมอากาศบริเวณด้านล่างแบบจำลองมูลฝอย และหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยระหว่างแบบจำลองมูลฝอยกับถัง UASB ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายในทำให้ค่าพีเอชของแบบจำลองมูลฝอยมีค่าเพิ่มขึ้น และการบำบัดแบบ Two-phase ดีกว่า การบำบัดแบบ Combined-phase ทั้งการสร้างมีเทนที่เพิ่มขึ้น และการลดลงของของแข็งระเหย ส่วนการเติมอากาศในแบบจำลองมูลฝอยมีผลทำให้ของแข็งระเหยลดลงดีขึ้น แต่การสร้างมีเทนแยลง การเติมอากาศวันละ 6 ครั้ง ครั้งละ 1 ชั่วโมง และครั้งละ 15 นาที พบว่ามากเกินไป ทำให้เกิดสภาวะการย่อยสลายแบบแอนโรบิกที่สมบูรณ์ทำให้อัตราการสร้างมีเทนต่ำ ส่วนการเติมอากาศครั้งละ 1 ชั่วโมง ทุก ๆ 3 วัน และ ครั้งละ 6 ชั่วโมง ทุก ๆ 4 วัน ไม่เพียงพอที่จะยับยั้งการสร้างมีเทนในแบบจำลองมูลฝอยได้ จึงกล่าวได้ว่าการสร้างสมดุลระหว่างการสร้างมีเทนกับการสร้างเสถียรด้วยการเติมอากาศเป็นเรื่องยาก

Shearer *et al.* (2001) ได้ศึกษาผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อการเร่งปฏิกริยาการย่อยสลายมูลฝอยในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยจริง โดยทำการเก็บตัวอย่างมูลฝอยจากสถานที่ฝังกลบมูลฝอย เพื่อวิเคราะห์ค่าความชื้น ความสามารถในการผลิตมีเทน (Biochemical Methane Potential,

BMP) พบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยทำให้มูลฝอยมีค่าความหนาแน่นมากกว่ามูลฝอยที่ไม่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยถึงร้อยละ 54.7 (ความหนาแน่นของมูลฝอยแห้ง) และมีค่า BMP มากกว่าถึงร้อยละ 42.1 และพบว่าค่าความชื้นเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ จากผลของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่สามารถเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยชุมชนในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย

สาลินี (2546) ทำการศึกษาผลของวิธีควบคุมความชื้นต่อการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายมูลฝอยชุมชน โดยสร้างแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.9 เมตร สูง 2.7 เมตร จำนวน 4 ถัง ทำการบรรจุมูลฝอยชุมชนที่ลดขนาด และผสมร่วมกับกากตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยกำหนดให้ ถังที่ 1 เป็นการทดลองควบคุม ถังที่ 2 มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ถังที่ 3 มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ร่วมกับการเก็บกักน้ำชะมูลฝอยในแบบจำลองที่ระดับ 50 % ของความสูงชั้นมูลฝอย และถังที่ 4 มีการเก็บกักน้ำชะมูลฝอยในแบบจำลองที่ระดับ 50 % ของความสูงชั้นมูลฝอย โดยชั้นมูลฝอยมีความสูงรวม 2 เมตร การศึกษาแบ่ง เป็น 2 ช่วงเวลา คือ ช่วงฤดูฝน ทำการเติมน้ำฝนทุกวันในปริมาณคงที่เฉลี่ยเท่ากับ 70 % ของปริมาณน้ำฝนที่ตกลงในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอยของจังหวัดนครปฐม เป็นระยะเวลา 147 วัน ต่อเนื่องด้วยช่วงฤดูร้อน เป็นระยะเวลา 172 วัน จากผลการทดลองพบว่า การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ร่วมกับการเก็บกักน้ำชะมูลฝอยที่ระดับ 50 % ของความสูงชั้นมูลฝอย ส่งผลให้มูลฝอยมีค่าความชื้นสูงสุดตลอดระยะเวลาการทดลอง สามารถเร่งอัตราการย่อยสลายมูลฝอยให้เข้าสู่ Methane Phase ได้เร็วที่สุด โดยน้ำชะมูลฝอยมีค่าความสกปรกตกลงเร็วที่สุด (BOD น้อยกว่า 1800 มิลลิกรัมต่อลิตร COD น้อยกว่า 7000 มิลลิกรัมต่อลิตร VFA น้อยกว่า 1000 มิลลิกรัมของ CH_3COOH ต่อลิตร) รวมทั้งก๊าซชีวภาพมีสัดส่วนของก๊าซมีเทนร้อยละ 45 - 60 เมื่อเวลาผ่านไป 190 วัน นอกจากนี้การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย และการเก็บกักน้ำชะมูลฝอย ยังช่วยเก็บกักสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยให้อยู่ภายในพื้นที่ฝังกลบไว้ได้ทั้งหมด ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงผลกระทบจากการระบายน้ำชะมูลฝอยออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกได้

ทวิศักดิ์ (2547) ศึกษาปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย ภายใต้สภาวะการผันแปรของปริมาณน้ำฝนในเขตมรสุม โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของมูลฝอย สัดส่วนของก๊าซมีเทน และประเมินสมดุลของน้ำในถังปฏิกิริยาฝังกลบมูลฝอย ซึ่งมีการควบคุมในลักษณะต่าง ๆ เช่นเดียวกับการศึกษาของสาลินี (2546) ผลการทดลองที่ได้พบว่าปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในถังปฏิกิริยามีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำฝน โดยมีสัดส่วนอยู่ในช่วงร้อยละ

20 - 60 ของปริมาณน้ำฝน เมื่อพิจารณาการลดค่าความสกปรกของน้ำชะมูลฝอยพบว่า ถึงที่มีการหมุนเวียนร่วมกับการเก็บกักน้ำชะมูลฝอยมีปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำชะมูลฝอยต่ำที่สุด มีสัดส่วนของก๊าซมีเทนสูงที่สุดอยู่ในช่วงร้อยละ 15 - 40 และมีการชะละลายของปริมาณสารอินทรีย์จากถึงปฏิกิริยาต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาการย่อยสลายสารอินทรีย์ในมูลฝอย พบว่า ถึงปฏิกิริยาที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยมีการย่อยสลายของมูลฝอยสูงที่สุด จากการประเมินสมดุลของน้ำโดยใช้โปรแกรม HELP เปรียบเทียบกับผลจากการวัดปริมาณน้ำชะมูลฝอยมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างการทดลอง โดยมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น ผลการศึกษาสรุปได้ว่า ปริมาณน้ำฝนและการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยมีอิทธิพลต่อปริมาณและลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยและการเกิดก๊าซชีวภาพ การย่อยสลายมูลฝอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยนั้นนอกจากจะช่วยเพิ่มอัตราการย่อยสลายมูลฝอยแล้ว ยังให้ประโยชน์ในเรื่องของการจัดการน้ำชะมูลฝอย (Leckie *et al.*, 1979; Reinhart and Al-Yousfi, 1996) โดยสามารถลดปริมาตรของหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยผ่านหน้าดิน (Robinson and Maris, 1982; Reinhart, 1996) ประโยชน์ของการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยที่ชัดเจนที่สุด ก็คือ การจัดการน้ำชะมูลฝอยโดยสามารถควบคุมค่าความสกปรกต่าง ๆ ให้อยู่ภายในพื้นที่ฝังกลบมูลฝอย จะเห็นว่าน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น โดยเฉพาะในช่วงเวลาแรกของการฝังกลบจะมีค่าความสกปรกที่สูงมาก และค่าความสกปรกจะลดลงตามเวลา ค่าความสกปรกที่เปลี่ยนแปลงจึงทำให้เป็นปัญหาในการออกแบบระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีประสิทธิภาพ แต่การนำน้ำชะมูลฝอยมาหมุนเวียนกลับสู่หลุมฝังกลบ สามารถลดค่าความสกปรกต่าง ๆ ในน้ำชะมูลฝอยลงได้ โดยอาศัยแบคทีเรียต่าง ๆ ที่อยู่ในน้ำชะมูลฝอย และในชั้นมูลฝอยเองทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำชะมูลฝอย หลุมฝังกลบมูลฝอยจึงทำหน้าที่เสมือนระบบบำบัดน้ำชะมูลฝอยภายในตัวเอง (In-situ treatment) (Pohland, 1980)

น้ำชะมูลฝอย

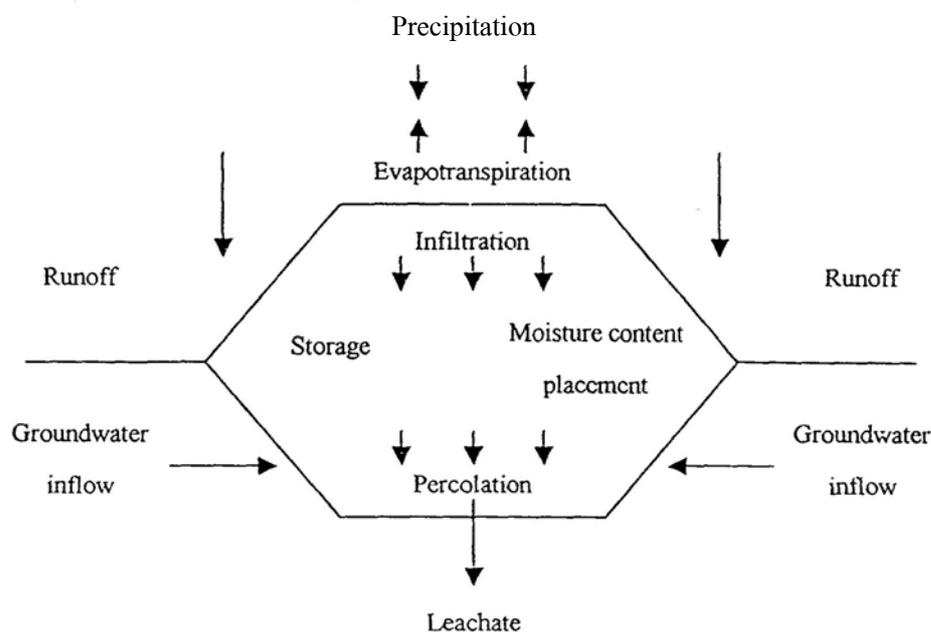
1. คำนิยาม

น้ำชะมูลฝอยหรือของเหลวที่ชะออกจากมูลฝอย เป็นน้ำเสียที่มีสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งองค์ประกอบและความเข้มข้นของสารปนเปื้อนจะขึ้นกับชนิดของขยะที่สะสมไว้และอายุของหลุมฝังกลบ น้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบสุขาภิบาล ประกอบด้วยสารที่ก่อให้เกิดมลพิษปริมาณมาก นั่นคือ สารอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษกับน้ำใต้ดินและผิวดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2542; Chian and DeWalle, 1976; Trebouet *et al.*, 2001)

2. การเกิดขึ้นของน้ำชะมูลฝอย

ส่วนใหญ่ น้ำชะมูลฝอยของหลุมฝังกลบจะเกี่ยวข้องกับการระบายน้ำที่ผิวดิน ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมาและปริมาณความชื้นของมูลฝอยซึ่งไหลผ่านมูลฝอยและดึงความสกปรกออกมา ดังแสดงในภาพที่ 4 (Tchobanoglous, 1993)

เริ่มแรกน้ำฝนที่ตกลงมาจะไหลล้นอยู่ที่ผิวดิน และบางส่วนจะกักตัวอยู่ภายในชั้นดิน จนกระทั่งมีค่าเท่ากับความจุสนามของดิน จากนั้นของเหลวจะไหลซึมผ่านชั้นมูลฝอยและสะสมอยู่จนกระทั่งมีค่าเท่ากับความจุสนามของชั้นนี้ สุดท้ายมันจะไหลซึมและสะสมอยู่ด้านล่างของหลุมฝังกลบ โดยจะเรียกว่า น้ำชะมูลฝอย (Dass *et al.*, 1977) นอกจากนี้ของเหลวดังกล่าวหรือน้ำชะมูลฝอยอาจมาจากของเหลวที่เข้าสู่หลุมฝังกลบจากแหล่งอื่น ๆ ได้ เช่น น้ำใต้ดิน และน้ำที่ดันขึ้นจากใต้ดิน รวมถึงของเหลวที่เกิดขึ้นจากการย่อยสลายของขยะ (Tchobanoglous, 1993)



ภาพที่ 4 การเกิดขึ้นของน้ำชะมูลฝอย

ที่มา: Tchobanoglous (1993)

ปัจจัยพื้นฐานที่มีอิทธิพลกับการเกิดขึ้นของน้ำชะมูลฝอย คือ ลักษณะสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ ลักษณะทางธรณีวิทยาของภูมิภาค ลักษณะของดินและลักษณะทางธรณีวิทยาของน้ำของพื้นที่ และการปกคลุมของต้นไม้ รวมถึงชนิดของวัตถุของเสียในหลุมฝังกลบ ปริมาณของน้ำชะมูลฝอยเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนเดียวกับการเพิ่มของปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านของเสีย ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณของฝนที่ตก การระเหยของน้ำ และการสูญเสียของเหลวในรูปแบบอื่น ๆ ถ้าการซึมผ่านของน้ำที่ไหลผ่านชั้นดินปกคลุมด้านบน ช่วงชั้นและด้านล่างเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นสูงขึ้น ดังนั้นการควบคุมปริมาณน้ำที่จะเข้าสู่หลุมฝังกลบมูลฝอยให้ลดลงจึงเป็นสิ่งสำคัญมากสำหรับการลดมลพิษที่จะเกิดขึ้น ที่ปฏิบัติกันโดยทั่วไป คือ ควบคุมน้ำเข้าโดยใช้ตัวคลุมที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ หรือปลูกพืชที่เหมาะสมบนพื้นดินที่คลุมขยะ ถึงแม้ว่าการลดน้ำเข้าจะเป็นสิ่งที่ดี แต่มันก็ทำให้อัตราการย่อยสลายของเสียลดลงด้วย (Lema *et al.*, 1988)

3. ลักษณะของน้ำชะมูลฝอย

น้ำชะมูลฝอยเป็นน้ำเสียที่มีค่าความสกปรกสูงประกอบด้วย บีโอดี ซีโอดี และโลหะหนัก (Keenan *et al.*, 1984) ปัจจัยที่มีอิทธิพลกับลักษณะของน้ำชะมูลฝอย คือ องค์ประกอบของมูลฝอย ปัจจัยที่มีผลกับการเจริญเติบโตทางจุลชีวะวิทยา และรูปแบบกับการจัดการหลุมฝังกลบ ซึ่งองค์ประกอบของมูลฝอย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณสมบัติของสสารอินทรีย์มีผลกับการเน่าเปื่อยของมูลฝอยและลักษณะของน้ำชะมูลฝอย (Andreottola and Cannas, 1992) ปัจจัยที่มีผลกับการเจริญเติบโตทางจุลชีวะวิทยา เช่น อุณหภูมิ ค่าพีเอช ความเป็นด่าง ค่ารีดอกซ์โพเทนเชียล ความชื้นและออกซิเจน มีผลกระทบกับกระบวนการทางชีววิทยาและเคมีภายในหลุมฝังกลบ ซึ่งสัมพันธ์กับลักษณะของน้ำชะมูลฝอย สุดท้ายรูปแบบและการจัดการหลุมฝังกลบ ตัวอย่างเช่น การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย การเติมเชื้อ การเติมบัพเฟอร์ การหมักทำปุ๋ย การบดอัด ดินคลุมช่วงกลางและความสูงของแต่ละชั้น เป็นต้น มีผลกระทบทั้งทางบวกและทางลบต่อลักษณะของน้ำชะมูลฝอย (Christensen *et al.*, 1992) อย่างไรก็ตาม ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยสามารถเปลี่ยนแปลงได้ โดยการเจือจางจากน้ำใต้ดินหรือน้ำที่ใต้ชั้นหิน และการกรองผ่านดิน (Ho *et al.*, 1974)

องค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอยสามารถผันแปรได้ในช่วงกว้าง ๆ ขึ้นกับอายุของหลุมฝังกลบ ดังแสดงในตารางที่ 3 คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอยจากของเสียชุมชนสามารถเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเน่าเปื่อยเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยกระบวนการย่อยสลาย (ภาพที่ 5) ประกอบด้วย 3 ช่วง คือ ช่วงการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน ช่วงการเกิดกรด และช่วงการเกิดก๊าซมีเทน (Andreottola and Cannas, 1992; Christensen *et al.*, 1992; Knox, 1985; Tchobanoglous, 1993)

1. ช่วงการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Phase)

ช่วงนี้เป็นช่วงที่ของเสียถูกย่อยสลายโดยใช้ออกซิเจนจากบริเวณช่องว่างของมัน ช่วงนี้เป็นช่วงสั้น ๆ เพราะออกซิเจนที่มีอยู่มีปริมาณน้อย

ตารางที่ 3 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับองค์ประกอบของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบใหม่และเก่า

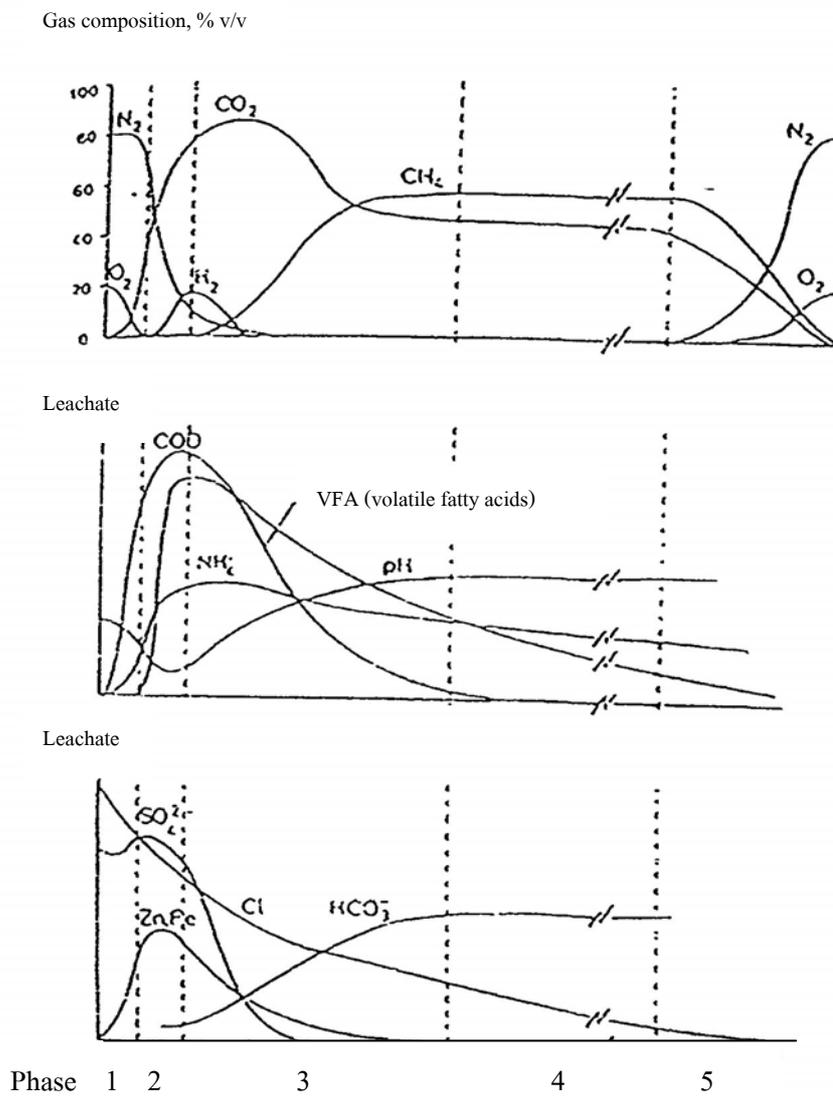
Constituent	Value, mg/L ^a		
	New landfill (less than 2 years)		Mature landfill (greater than 10 years)
	Range ^b	Typical ^c	
BOD ₅	2,000 – 30,000	10,000	100 – 200
TOC	1,500 – 20,000	6,000	80 – 160
COD	3,000 – 60,000	18,000	100 – 500
Total suspended solids	200 – 2,000	500	100 – 400
Organic nitrogen	10 – 800	200	80 – 120
Ammonia nitrogen	10 – 800	200	20 – 40
Nitrate	5 – 40	25	5 – 10
Total phosphorus	5 – 100	30	5 – 10
Ortho phosphorus	4 – 80	20	4 – 8
Alkalinity as CaCO ₃	1,000 – 10,000	3,000	200 – 1,000
pH	4.5 – 7.5	6	6.5 – 7.5
Total hardness as CaCO ₃	300 – 10,000	3,500	200 – 500
Calcium	200 – 3,000	1,000	100 – 400
Magnesium	50 – 1,500	250	50 – 200
Potassium	20 – 1,000	300	50 – 400
Sodium	200 – 2,500	500	100 – 200
Chloride	200 – 3,000	500	100 – 400
Sulfate	50 – 1,000	300	20 – 50
Total iron	51 – 1,200	60	20 – 200

^a Expect pH, which has no units.

^b Representative range of values. Higher maximum values have been report in the literature for some of the constituents.

^c Typical values for new landfills will vary with the metabolic state of landfill.

ที่มา : Tchobanoglous *et.al.* (1993)



ภาพที่ 5 ช่วงข้อมูลทั่วไปในการเกิดก๊าซและน้ำชะมูลฝอยของหลุมฝังกลบ
ที่มา: Christensen and Kjeldsen (1989)

2. ช่วงการเกิดกรด (Acidogenic Phase)

จุลชีพกลุ่มใช้ออกซิเจนและกึ่งใช้ออกซิเจนย่อยสลายเซลล์โกลไปเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ และซับซ้อนน้อยลง เช่น กรดไขมัน (Fatty Acids) จุลชีพเหล่านี้มีระบุไว้ในบทความทางวิศวกรรมศาสตร์บ่อยครั้งซึ่งจะเรียกว่า แอซิโดเจน (Acidogens) หรือ แอซิดฟอร์มเมอร์ (Acid Formers)

3. ช่วงการเกิดก๊าซมีเทน (Methanogenic Phase)

สารประกอบอินทรีย์ที่ประกอบด้วย อะซิเตต และก๊าซไฮโดรเจนจะเปลี่ยนแปลงไปเป็นก๊าซหลุมฝังกลบ (ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซมีเทน) โดยจุลชีพที่มีการระบุไว้ในบทความว่ามีทาโนเจน (Methanogens) หรือ มีเทนฟอร์มเมอร์ (Methane Formers) ช่วงนี้มีระยะเวลายาวนานเท่าไรขึ้นกับสภาพอากาศ การฝังกลบ และปัจจัยอื่น ๆ ที่กล่าวก่อนหน้านี้

น้ำชะมูลฝอยในช่วงการเกิดกรดที่มีสัดส่วนระหว่างบีโอดีต่อซีโอดีมากกว่า 0.4 แต่จะมีค่าพีเอช ความเข้มข้นของมีเทนและอัตราการผลิตก๊าซจะต่ำ (Ehrig, 1989) ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าพีเอชและความเข้มข้นของมีเทนจะเพิ่มมากขึ้น ส่วนสัดส่วนระหว่างบีโอดีต่อซีโอดีจะลดลงอย่างรวดเร็วต่ำกว่า 0.1 นั้นแสดงถึงการเข้าสู่ช่วงการเกิดก๊าซมีเทน การลดลงที่เกิดขึ้นนี้แสดงถึงการเกิดออกซิไดซ์อินทรีย์คาร์บอนมากขึ้น เนื่องจากอินทรีย์คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานสำหรับการเจริญเติบโตของจุลชีพ สารอินทรีย์เหล่านี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายของจุลชีพและจะเพิ่มขึ้นเมื่ออายุของหลุมฝังกลบเพิ่มขึ้น น้ำชะมูลฝอยที่ได้จะนำไปบำบัดด้วยวิธีทางชีวภาพต่อไป (Chian and DeWalle, 1976) สำหรับสารประกอบอื่น ๆ เช่น ไนโตรเจน แอมโมเนีย ฟอสฟอรัส และคลอรีน ความเข้มข้นของพวกมันเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในช่วงการเกิดกรดและช่วงการเกิดก๊าซมีเทน ไม่เหมือนกับน้ำเสียชุมชน น้ำชะมูลฝอยจะมีไนโตรเจนสูง แต่ฟอสฟอรัสต่ำ ไนเตรตและไนไตรต์จะถูกใช้อย่างรวดเร็วในการย่อยสลายทางชีวภาพ ด้วยเหตุนี้ไนโตรเจนที่มีอยู่มากโดยส่วนใหญ่ คือ แอมโมเนียไนโตรเจน อย่างไรก็ตามในน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบอายุน้อย พบว่ามีอินทรีย์ไนโตรเจนปริมาณมาก (Knox, 1985) แอมโมเนียเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายโปรตีน โปรตีโอไลซิส (Proteolysis) ก่อให้เกิดการดีแอมมิเนชันซึ่งได้แอมโมเนียออกมา

แอมโมเนียถูกเปลี่ยนไปเป็นสารประกอบอื่น ๆ ในสถานะแอนแอโรบิกแทบไม่ได้ ดังนั้นจึงพบความเข้มข้นของแอมโมเนียในน้ำชะมูลฝอย (Fletcher and Ashbee, 1994)

4. การบำบัดน้ำชะมูลฝอย

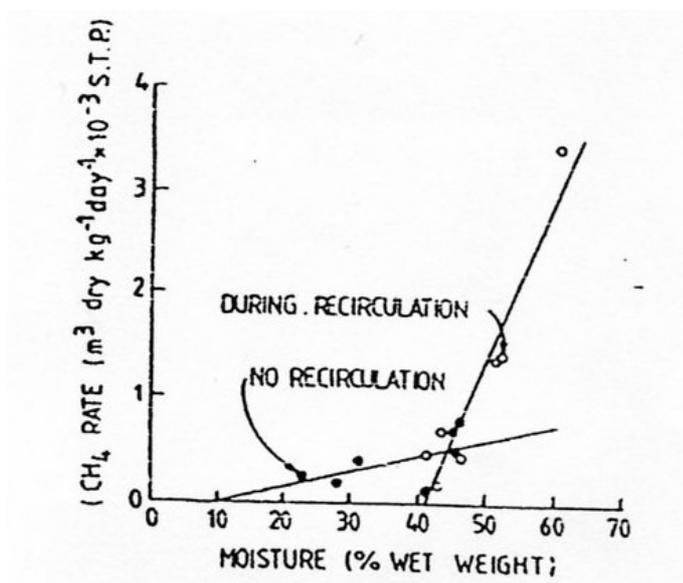
4.1 การหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย (Leachate Recirculation)

เทคนิคที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในหลุมฝังกลบส่วนใหญ่ คือการนำน้ำชะมูลฝอยกลับขึ้นมาหมุนเวียนภายในหลุม วิธีนี้เป็นทางเลือกหนึ่งที่เคยค่าใช้จ่ายน้อยและลดเวลาที่ต้องการสำหรับปิดหลุมเมื่อขยะเสถียร และลดปริมาณน้ำชะมูลฝอยสุดท้ายที่ต้องทิ้ง เนื่องจากสูญเสียไปกับการระเหยเพิ่มขึ้น เทคนิคนี้ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของความจุของน้ำในหลุม และกระตุ้นการย่อยสลายทางชีวภาพของวัตถุอินทรีย์ เมื่อความจุของน้ำในหลุมอยู่ที่ร้อยละ 50 ถึง 70 น้ำชะมูลฝอยที่นำมาหมุนเวียนจะช่วยเพิ่มกิจกรรมทางชีวภาพและยังลดความเข้มข้นของสารมลพิษลง รวมถึงเป็นการเพิ่มแร่ธาตุกับขยะ (Tittlebaum, 1982) ความเป็นจริงที่เกิดขึ้นในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ตัวหลุมจะทำหน้าที่เป็นตัวกรองแบบแอนแอโรบิกปรับปรุงประสิทธิภาพจนกลายเป็นถึงผลิตก๊าซชีวภาพขนาดใหญ่หม่หีมา (Ham, 1983) ในภาพที่ 6 แสดงผลการเพิ่มขึ้นของอัตราการย่อยสลายแต่วิธีนี้จำเป็นที่จะต้องควบคุมค่าพีเอชให้เหมาะสมสำหรับกิจกรรมของจุลชีพแบบแอนแอโรบิก และน้ำทิ้งสุดท้ายยังไม่เหมาะสำหรับการปล่อยทิ้งโดยตรงสู่น้ำผิวดิน ถ้ายังไม่เจือจางมากพอ

นอกจากนี้การนำน้ำชะมูลฝอยกลับขึ้นมาหมุนเวียนภายในหลุม น้ำชะมูลฝอยสามารถผ่านออกไปสู่สระไร้อากาศ (Anaerobic Lagoon) ปริมาณน้ำที่จะหมุนเวียนคำนวณจากความต้องการความชื้นของหมุนเวียนว่าเหมาะสมกับสถานะการย่อยสลาย โดยมีการยืนยันว่าทฤษฎีนี้สามารถลดบีโอดีได้ร้อยละ 95 (Viet *et al.*, 1983)

4.2 กระบวนการบำบัดน้ำชะมูลฝอย (Leachate Treatment Process)

น้ำชะมูลฝอยสามารถบำบัดได้ด้วยกระบวนการทางกายภาพ เคมี และชีวภาพ รวมถึงการรวมบำบัดต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งแต่ละทฤษฎีมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน



ภาพที่ 6 ผลกระทบของการหมุนเวียนน้ำต่อกิจกรรมในหลุมฝังกลบ
ที่มา: Ham (1983)

จุดประสงค์ของการบำบัดแบบชีวภาพ คือ การลดอินทรีย์สาร (บีโอดี) โดยจุลินทรีย์ ส่วนของกระบวนการทางกายภาพและเคมี คือ การลดของแข็งแขวนลอย โลหะหนัก สารอินทรีย์ที่ ยากต่อการเปลี่ยนแปลงและฟอสฟอรัส ข้อดีของทฤษฎีทางเคมี/กายภาพโดยทั่วไป ได้แก่ เริ่มต้น ดำเนินการได้ทันที ระบบอัตโนมัติควบคุมได้ง่าย ไม่มีปฏิกิริยาตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ และส่วนใหญ่วัสดุและเครื่องจักรที่ต้องการไม่ค่อยซับซ้อน อย่างไรก็ตามข้อดีเหล่านี้มี น้ำหนักน้อยกว่าข้อเสีย คือปริมาณสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมาจากการเติมสารเร่งตะกอน (Flocculants) ราคา ของเครื่องจักรและสารเคมี รวมถึงต้นทุนการเดินระบบที่สูงเป็นผลทำให้ทฤษฎีทางเคมี/กายภาพ โดยทั่วไปจะนำมาใช้เพียงเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยในขั้นตอนแรกหรือสุดท้าย เพื่อเสริมเทคนิคการ ย่อยสลายทางชีวภาพ กรณีนี้มีประโยชน์โดยเฉพาะในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมเก่า และ สำหรับการกำจัดมลพิษที่มีลักษณะพิเศษที่ก่อให้เกิดปัญหา ณ พื้นที่ที่มีลักษณะเฉพาะ (Lema *et al.*, 1988) แต่ทฤษฎีทางชีวภาพมีปฏิกิริยาตอบสนองต่อความเข้มข้นของน้ำเสีย โลหะหนัก ความเค็ม และการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช รวมถึงข้อเสียทั้งสมรรถนะการบำบัดสารอินทรีย์ที่ยากต่อการย่อย สลายในระดับที่ต่ำ และความต้องการพื้นที่สูง ตารางที่ 4 แสดงทฤษฎีต่าง ๆ และการดำเนินการใช้ สำหรับการบำบัดน้ำชะมูลฝอย

ตารางที่ 4 กระบวนการทางชีวภาพ เคมี และกายภาพสำหรับบำบัดน้ำชะมูลฝอย

Treatment Process	Application	Comments
1. Biological process		
Activated sludge	Removal of organics	Defoming additives may be necessary, separated clarifier needed
Sequencing batch reactors	Removal of organics	Similar to activated sludge, but no separate clarifier needed
Aerated stabilization basins	Removal of organics	Require large land area
Fixed film processes (trickling filter, rotating biological contractors)	Removal of organics	Commonly used on industrial effluents similar to leachates, but untreated on actual landfill leachates
Anaerobic lagoons and contractors	Removal of organics	Lower power requirements and sludge production than aerobic systems; requires heating; greater potential for process instability; slower than anaerobic system
Nitrification/denitrification	Removal of organics	Nitrification/denitrification can be accomplished simultaneously with the removal of organics
2. Chemical process		
Neutralization	pH control	Of limited applicability to most leachates
Precipitation	Removal of metals and some anions	Produces a sludge, possibly requiring disposal as a hazardous waste
Oxidation	Removal of organics; detoxification of some inorganic species	Works best on dilute waste streams; use of chlorinated hydrocarbons
Wet air oxidation	Removal of organics	Costly; works well on refractory organics

ตารางที่ 4 (ต่อ)

Treatment Process	Application	Comments
3. Physical process		
Sedimentation / floatation	Removal of suspended Matter	Of limited applicability alone; may be used in conjunction with other treatment process
Filtration	Removal of suspended matter	Useful only as a polishing step
Air stripping	Removal of ammonia or volatile organics	May require air pollution control equipment
Stream stripping	Removal of volatile organics	High energy costs; condensate stream require further treatment
Adsorption	Removal of organics	Prevent technology; variable costs depending on leachate
Ion exchange	Removal of dissolved Organics	Useful only as a polishing step
Ultrafiltration , Reverse osmosis	Removal of bacteria and high molecular weight organics	Subject to fouling; of limited applicability to leachates and costly; extensive pretreatment necessary
Evaporation	Where leachate discharge is not permissible	Resulting sludge may be hazardous; can be costly expect in arid regions

ที่มา: Tchobanoglous *et al.* (1993)

4.2.1 การบำบัดทางกายภาพ (Physical Treatment)

ทฤษฎีทางกายภาพเป็นการดูดซับลงบนถ่านกัมมันต์ รีเวอร์สออสโมซิส การแลกเปลี่ยนไอออน การทำให้ระเหยเป็นไอและอื่นๆ

(1) การดูดซับบนถ่านกัมมันต์ (Adsorption onto Activated Carbon)

การดูดซับมลพิษลงบนถ่านกัมมันต์ในรูปแบบคอลัมน์หรือในรูปแบบผงสามารถลดระดับอินทรีย์สารลงได้ ทฤษฎีนี้ปัจจุบันถูกนำมาใช้เพียงเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบเก่าหรือการบำบัดขั้นที่สามของน้ำทิ้งจากการบำบัดทางชีวภาพ ซึ่งกรณีสุดท้ายนั้นค่าซีโอดีสุดท้ายสามารถลดลงได้ร้อยละ 85 แต่การที่ต้องรีเจนเนอเรทคาร์บอนยังคงเป็นข้อเสียที่สำคัญ (Lema *et al.*, 1988)

McLellan and Rock (1988) ได้ศึกษาการใช้ถ่านพีทกำจัดโลหะจากน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบ สรุปได้ว่าการกรองผ่านถ่านพีทสามารถใช้ได้เพียงเป็นกระบวนการบำบัดขั้นแรกที่จะลดความเข้มข้นของโลหะก่อนการบำบัดขั้นต่อไป แต่สิ่งที่สำคัญมากคือการกำจัดถ่านพีทที่หมดสภาพแล้ว เพราะน้ำที่ซึมผ่านสามารถชะล้างไอออนกลับสู่น้ำชะมูลฝอยได้

Ho *et al.* (1974) ได้ศึกษาการใช้ถ่านกัมมันต์ในการเดินระบบแบบครั้งพบว่ามีความสมรรถนะที่สูงในการกำจัดสีและกลิ่น และลดซีโอดีได้ร้อยละ 34 เมื่อใช้คาร์บอน 16,000 มิลลิกรัมคาร์บอนต่อลิตร แต่การศึกษาที่ใช้ถ่านกัมมันต์แบบคอลัมน์ลดซีโอดีได้ร้อยละ 59 และเหล็กได้ 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตรของถ่านกัมมันต์

(2) รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis)

เทคนิคอีกวิธีหนึ่งที่น่ามาใช้สำหรับการบำบัดขั้นที่สามของน้ำชะมูลฝอยคือ รีเวอร์สออสโมซิส ซึ่งมีประสิทธิภาพที่สูงในการกำจัดเกลืออนินทรีย์และสารมลพิษต่าง ๆ โดยการผ่านน้ำชะมูลฝอยเข้าสู่แผ่นกรอง (ส่วนใหญ่ทำจากเซลลูโลสอะซิเตต) ซึ่งจะดักไอออนและวัตถุอินทรีย์ออก พารามิเตอร์ที่สำคัญมากในการเดินระบบคือ ชนิดของแผ่นกรอง ค่าพีเอช และความดัน (Chian and DeWalle, 1977) และการป้องกันแผ่นกรองอุดตัน โดยสสารคอลลอยด์เป็นสิ่งที่

จำเป็นก่อนที่จะนำไปใช้บำบัด โดยการเติมปูนขาวจนพีเอชถึง 12 ตามด้วยการปรับพีเอชให้อยู่ที่ 3 ถึง 6 ด้วยกรดซัลฟิวริกได้ตะกอน CaSO_4 รวมถึงป้องกันการไฮโดรไลซิสแผ่นกรองเซลลูโลสอะซีเตท

Chian and DeWalle (1976) ศึกษาการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการใช้วิธีรีเวอร์สออสโมซิส ค่าซีไอคี่น้ำเข้าเท่ากับ 53,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสามารถลดได้ร้อยละ 59 - 89 ค่าสมรรถนะจะเพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชของน้ำชะมูลฝอยสูงขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อทดลองกับน้ำชะมูลฝอยเกิดการอุดตันขึ้นอย่างรุนแรง จึงจำเป็นที่จะต้องบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยวิธีการชีวภาพก่อนกระบวนการกรองด้วยแผ่นกรอง

(3) การไล่ก๊าซแอมโมเนีย (NH_3 Stripping)

ทฤษฎีนี้ คือ การฟุ้งฟองอากาศผ่านน้ำชะมูลฝอยเพื่อที่จะลดความเข้มข้นของแอมโมเนียด้วยการพาผ่านจากสถานะของเหลว (น้ำชะมูลฝอย) สู่อากาศ (อากาศ)

4.2.2 การบำบัดทางเคมี (Chemical Treatment)

การบำบัดด้วยวิธีนี้ประกอบด้วยทฤษฎีหลายอย่าง เช่น การตกตะกอนทางเคมีและการออกซิเดชัน

(1) การตกตะกอนทางเคมี (Chemical Precipitation)

สำหรับการตกตะกอนสารมลพิษโดยทั่วไปมักใช้ปูนขาว อย่างไรก็ตาม ไรต์ดี อะลูมินา FeCl_3 และ FeSO_4 ยังมีการนำมาใช้ในการปรับปรุงสี ของแข็งแขวนลอย แอมโมเนียม และไอออนบวกพวกโลหะหนักสามารถกำจัดได้ดี แต่การลดซีไอคี่มากที่สุดร้อยละ 40 และเกิดตะกอนปริมาณมาก เนื่องจากปฏิกิริยาของสารที่เติมลงไป (Lema *et al.*, 1988)

Ho *et al.* (1974) พบว่าสารส้ม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดค่าซีไอคี่ 9,100 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ร้อยละ 53 และเปลี่ยนสีน้ำจากสีน้ำตาลเป็นสีเหลือง ซึ่งให้เห็นว่าประสิทธิภาพของการตกตะกอนขึ้นกับลักษณะของน้ำชะมูลฝอยและการเดินระบบ

Chang (1988) ใช้สารส้ม 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และควบคุมค่าพีเอชที่ 5.5 ผลของประสิทธิภาพการกำจัด คือ สีร้อยละ 92 ค่าซีโอดีร้อยละ 72 แคลเมียมร้อยละ 80 และโครเมียมร้อยละ 87

Vanfleet *et al.* (1974) สรุปว่าการใช้สารส้ม 2,700 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถลดค่าซีโอดี 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ร้อยละ 31 โดยการเติมสารเร่งการตกตะกอน $FeCl_3$ ลงไปบางส่วน

(2) การออกซิเดชันทางเคมี (Chemical Oxidation)

การออกซิเดชันทางเคมีด้วย Cl_2 , $Ca(ClO)_2$, $KMnO_4$ หรือ O_3 ผลที่ได้จะดีกว่าการตกตะกอน ดังเช่นสีปรากฏ แต่การลดซีโอดียังไม่ค่อยดี (น้อยกว่าร้อยละ 48) นอกจากนั้น การใช้สารออกซิเดชันที่เป็นพวกลอเรนยังก่อให้เกิดสารอินทรีย์ฮาโลเจนที่อันตรายอย่างมาก (Gould and Ramsey, 1983)

4.2.3 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological Treatment)

กระบวนการทางชีวภาพจำแนกได้เป็นการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic) หรือการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic) หรือแบบใดแบบหนึ่ง หรือไม่ก็กระบวนการทางชีวภาพที่เติมออกซิเจนเข้ากับตรงช่วงกลาง

(1) การบำบัดด้วยการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Treatment)

David (1981) บำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการใช้การตกตะกอนเร่ง (Activated Sludge) การเดินระบบมีค่า SRTs ที่ 9 ถึง 25 วัน และอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 97 - 98 นอกจากนี้ยังสามารถลดค่าบีโอดีได้ร้อยละ 99.5 - 99.9

Robinson and Maris (1985) รายงานว่าการเดินระบบตะกอนเร่งที่ค่า SRTs 5 วัน สามารถลดค่าซีโอดีได้ร้อยละ 92 และค่าบีโอดีได้ร้อยละ 99 รวมถึงประสิทธิภาพจะลดลงที่ค่า SRT ต่ำ

(2) การบำบัดด้วยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Treatment)

Mendez *et al.* (1989) ประเมินค่าประโยชน์ของการบำบัดด้วยการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนกับน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยเก่า 2 แห่ง ที่มีระยะเวลาแตกต่างกันมาเดินระบบ มันสามารถลดซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยจากหลุมที่อายุน้อยได้ร้อยละ 65 โดยเฉลี่ย ด้วยการใส่ตัวกรองแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีค่า HRTs น้อยกว่า 2 วัน ในทางตรงกันข้ามระบบนี้ไม่เหมาะสมสำหรับการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมเก่า

นอกจากการบำบัดเหล่านี้ น้ำชะมูลฝอยสามารถบำบัดด้วยการรวมการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจนเข้าด้วยกัน เพื่อสมรรถนะที่สูงขึ้นและค่าการเดินระบบที่ต่ำลง (Cook and Foree, 1974)

4.2.4 การบำบัดด้วยระบบรวม (Combined Treatment)

Cook and Foree (1974) บำบัดน้ำชะมูลฝอยที่บำบัดด้วยการตกตะกอนด้วยปูนขาวก่อนมาดูดซับด้วยคาร์บอน สามารถกำจัดซีโอดีร้อยละ 81 อย่างไรก็ตามการลดซีโอดีอินทรีย์คาร์บอน และซีโอดีที่อยู่ในน้ำชะมูลฝอยจากกระบวนการตกตะกอนเร่ง โดยการเพิ่มการบำบัดด้วยถ่านกัมมันต์ต่อเข้าไป

Lebel *et al.* (1989) บำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการใช้การบำบัดแบบไบโอฟิลิกส์ด้วยการเติมถ่านกัมมันต์แบบผง (Powdered Activated Carbon, PAC) เข้าไปในระบบตะกอนเร่งช่วยให้การกำจัดซีโอดีและกลิ่นดีขึ้นมาก เพิ่มความคงทนของของแข็งและเพิ่มความทนทานของระบบเกี่ยวกับสารพิษที่อาจมีในน้ำชะมูลฝอยที่เข้ามา

Imai *et al.* (1993) ประยุกต์ใช้ “Microorganism-Attached Activated Carbon Fluidized Bed (MAACFB)” ระบบจุลินทรีย์ร่วมกับถ่านกัมมันต์แบบลอยตัว บำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบจริงที่มีสารอินทรีย์ที่สลายตัวยากและแอมโมเนียในโตรเจนเข้มข้นสูงพบว่า MAACFB มีประสิทธิภาพในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบ กระบวนการนี้ลดสาร

อินทรีย์ที่สลายตัวยากได้ประมาณร้อยละ 60 ดังนั้นสรุปได้ว่าจุลินทรีย์ที่ติดอยู่กับถ่านกัมมันต์ อาจจะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่สลายตัวยาก และส่วนที่ดูดซับน่าจะกลับมาเหมือนเดิมด้วยการย่อยสลายอย่างต่อเนื่อง และทฤษฎีนี้ยังลดไนโตรเจนได้ประมาณร้อยละ 70

ปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการเลือกวิธีบำบัดน้ำชะมูลฝอย และอายุของหลุมฝังกลบ (Syed and Walter, 1994) น้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากหลุมที่มีอายุน้อย (ช่วง 5 ปีแรกของช่วงหลุมฝังกลบ) ประกอบด้วยอินทรีย์สารที่มีมวลโมเลกุลต่ำส่วนใหญ่เป็นพวกไขมันอิสระซึ่งสามารถถูกย่อยสลายได้อย่างง่ายดายด้วยวิธีทางชีวภาพ (Ehrig, 1983; Chian and DeWalle, 1976) น้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบที่มีอายุปานกลาง (5 ถึง 10 ปี) ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ที่มีมวลโมเลกุลสูง เช่น กรดฮิวมิกและกรดฟูลวิก กรดทั้งสองนี้เป็นสารที่ค่อนข้างเฉื่อยต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ ดังนั้นน้ำชะมูลฝอยนี้จึงเหมาะสมกับวิธีทางกายภาพ/เคมี น้ำชะมูลฝอยจากหลุมเก่า (มากกว่า 10 ปี) ประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายไม่ได้ที่เหลือจากการย่อยของจุลินทรีย์ และในโตรเจนกับเหล็กความเข้มข้นสูง สิ่งที่จะทำได้ คือ การบำบัดด้วยวิธีทางกายภาพ/เคมี ร่วมกับการบำบัดทางชีวภาพ (Keenan *et al.*, 1984) ดังแสดงในตารางที่ 5 นอกจากนี้ปัจจัยทั้งสองที่กล่าวมาแล้ว ปัจจัยอื่นที่ต้องทราบคือ ปริมาณน้ำฝน การไหลของน้ำชะมูลฝอย ความสามารถในการหาพื้นที่ว่าง เป็นต้น ดังแสดงในตารางที่ 6

นอกจากนี้การเลือกวิธีการบำบัดและกำจัดน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ต้องคำนึงถึงต้นทุนด้านการจัดการน้ำชะมูลฝอย และระบบที่จะนำมาใช้นั้นต้องทนต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบในน้ำชะมูลฝอยได้ วิธีการหนึ่งที่ปัจจุบันได้รับความนิยม คือ การใช้หลุมฝังกลบที่มีอยู่ ปรับปรุงให้สามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยภายในตัวเองได้ (In-situ Treatment) อาศัยหลักการกรองชีวภาพ (Biofiltration) (Zhu and Zhao, 1996)

ตารางที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า COD/TOC, BOD/COD, absolute COD และอายุของหลุมฝังกลบที่ทำให้การกำจัดสารอินทรีย์จากน้ำชะมูลฝอยมีประสิทธิภาพ

Characteristics		Range		
Age of landfill (yr)	young (<5)	medium (5-10)	old (>10)	
COD/TOC	>2.8	2.0-2.8	<2.0	
BOD/COD	>0.5	0.1-0.5	<0.1	
COD (mg/L)	>10.000	500-10.000	<500	
Treatment method		Efficiency		
Biological treatment	Good	Fair	Poor	
Chemical precipitation : lime	Poor	Fair	Poor	
Chemical oxidation : $\text{Ca}(\text{ClO})_2$	Poor	Fair	Fair	
Chemical oxidation : O_3	Poor	Fair	Fair	
Reverse osmosis	Fair	Good	Good	
Activated carbon	Poor	Fair	Good	
Ion exchange resins	Poor	Fair	Fair	

ที่มา : Chian and DeWalle (1976)

ตารางที่ 6 ตารางเปรียบเทียบวิธีการบำบัด

		With domestic wastewater	Recycling	Lagooning	Aerobic	Anaerobic	Chem/Phys
Average	H	0	+	+	+	+	0
temperature	M	0	0	+	0	+	0
	L	0	0	-	-	-	0
	H	0	-	-	0	0	0
Rainfall	M	0	-	-	0	0	0
	L	0	+	+	0	0	0
	H	-	0	0	0	-	-
Leachate flow	M	-	0	0	0	0	0
	L	+	+	+	0	0	0
	H	-	+	0	-	+	-
Leachate concentration	M	0	0	+	0	+	-
	L	+	0	+	+	0	+
	O	+	0	-	-	-	+
Landfill age	Y	-	+	+	+	+	0
	H	0	0	+	+	0	0
Space availability	M	0	0	0	0	+	+
	L	+	0	-	-	+	+

H: high; M: medium; L: Low

O: old; Y: young

+: favorable; O: indifferent; -: unfavorable

ที่มา: Lema *et al.* (1988)

การกำจัดไนโตรเจนออกจากริ่ช้ะมูลฝอย

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชน้ำ และสาหร่ายตัวหนึ่ง การเจริญเติบโตที่เกิดขึ้นนี้ส่วนมากถูกกระตุ้นด้วยไนโตรเจน และสารอาหารต่าง ๆ ที่กระจายอยู่ในแหล่งน้ำ ซึ่งรับน้ำทิ้งที่ยังไม่ผ่านการบำบัดหรือยังบำบัดไม่ดีพอ

สิ่งมีชีวิตที่สังเคราะห์อาหารเองได้เปลี่ยนแอมโมเนียม ไปเป็นไนไตรต์ กับไนเตรต โดยกระบวนการใช้ออกซิเจน รวมถึงการขับออกมาในรูปแอมโมเนียไนโตรเจน การออกซิเดชันที่เกิดขึ้นภายหลังทำให้เกิดการลดลงของระดับออกซิเจนที่ละลายอยู่ในแม่น้ำ และอ่าวลงอย่างรุนแรง ในน้ำทิ้งที่มีแอมโมเนียมความเข้มข้นสูงเป็นองค์ประกอบจะถูกย่อยด้วยพวกไนตริฟายอิงแบคทีเรียเป็นไนเตรต แต่แอมโมเนียมและไนเตรตเป็นสารอาหารไนโตรเจนที่แทนกันได้สำหรับสาหร่าย ดังนั้นน้ำทิ้งที่ถูกย่อยแล้วนั้นยังคงก่อให้เกิดการเจริญเติบโตของสาหร่ายที่ผิดปกติ (Algal Blooms)

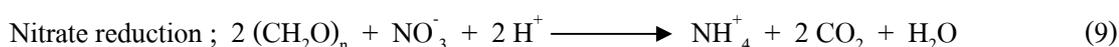
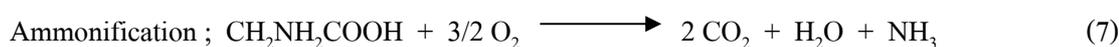
ดังนั้นเป็นสิ่งที่จะต้องพิจารณาในการกำจัดไนโตรเจนออกก่อนที่จะปล่อยน้ำเสียที่ถูกบำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำ (ป้องกันการเกิดปัญหาพืชน้ำเจริญผิดปกติ “Eutrophication”) หรือสำหรับน้ำใต้ดินที่นำกลับมาใช้ซ้ำ หรือการนำไปใช้ในรูปแบบอื่น ๆ

1. พื้นฐานของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีทางชีวภาพ

ความต้องการในการกำจัดไนโตรเจนก่อนจะปล่อยน้ำเสียที่บำบัดแล้วลงสู่แหล่งน้ำที่ไวต่อการเปลี่ยนแปลง (ป้องกันพืชน้ำเจริญผิดปกติ) หรือสำหรับน้ำใต้ดินที่นำกลับมาใช้ซ้ำ หรือการใช้ในรูปแบบอื่น ๆ (Metcalf and Eddy, 2003) ไนโตรเจนสามารถถูกกำจัดด้วยวิธีการหลายวิธี วิธีหนึ่งที่ใช้ในทั่วไป คือ การบำบัดทางชีวภาพ เนื่องจากต้นทุนในการเดินระบบต่ำ มีความยืดหยุ่นสูง และสมรรถนะที่สูง กระบวนการกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีทางชีวภาพเกิดขึ้นจากการเปลี่ยนแปลงรูปแบบต่าง ๆ ของสารประกอบไนโตรเจนในวงจรไนโตรเจน ดังแสดงในภาพที่ 7 (เกรียงศักดิ์, 2543; LaGrega *et al.*, 1994; Metcalf and Eddy, 2003; Sanpanawat, 2000)

1.1 การสร้างแอมโมเนีย (Ammonification or Mineralisation)

จุลินทรีย์ใช้เอนไซม์เพื่อเปลี่ยนรูปแบบอินทรีย์ในโตรเจนให้อยู่ในรูปแอมโมเนียมไอออน หรือก๊าซแอมโมเนีย จุลินทรีย์ส่วนมากที่พบ เช่น *Bacillus sp.*, *Proteus sp.*, *Pseudomonas sp.* เป็นต้น แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำงานได้ทั้งสภาพมีและไม่มีออกซิเจน นอกจากนี้แอมโมเนียยังได้จากแหล่งอื่น ๆ เช่น การระเบิดของภูเขาไฟ ขบวนการไนเตรดรีดักชัน โดยจุลินทรีย์กลุ่มรีดิวส์ซิงค์แบคทีเรีย แบคทีเรียกลุ่มนี้ทำงานได้ในสภาวะไม่มีออกซิเจน (Facultative anaerobe) และต้องมีสารอินทรีย์มากพอปฏิกิริยาจึงจะเกิดได้ ปฏิกิริยาการสร้างแอมโมเนียแสดงดังสมการที่ (7) (8) และ (9) (พิสมัย, 2543)



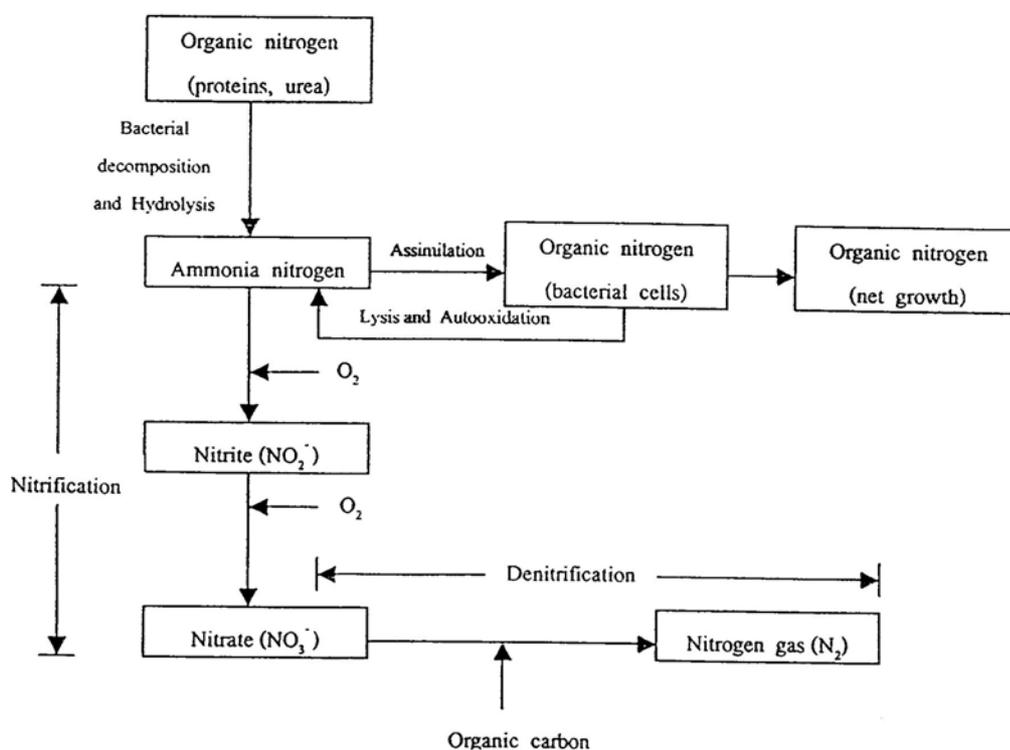
1.2 การย่อยและการดูดซับ (Assimilation)

จุลินทรีย์ใช้แอมโมเนียในโตรเจนเล็กน้อยในอัตราส่วน BOD:N เท่ากับ 100:5 เป็นสารอาหารเพื่อใช้ในการกำจัดสารอินทรีย์และสังเคราะห์เซลล์

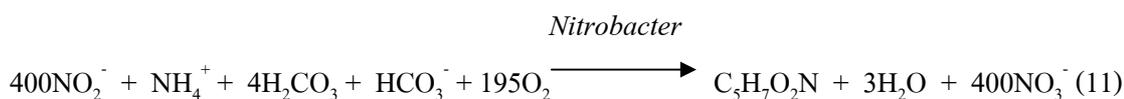
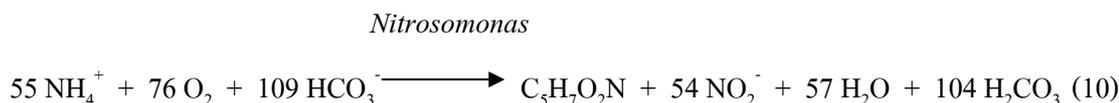
1.3 การเกิดไนตริฟิเคชัน (Nitrification)

การเกิดไนตริฟิเคชันด้วยวิธีทางชีวภาพ เป็นขั้นตอนในการกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการสร้างไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน ถ้าการเกิดดีไนตริฟิเคชันสมบูรณ์ การเกิดไนตริฟิเคชันก็สมบูรณ์ด้วย (Mechalas *et al.*, 1970) แอมโมเนียในโตรเจนจะถูกเปลี่ยนรูปด้วยแบคทีเรียกลุ่มที่สามารถสังเคราะห์อาหารได้เองที่เรียกกันว่า ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย (Nitrifying bacteria) เป็นไนไตรต์ในโตรเจน ($\text{NO}_2\text{-N}$) และกลายเป็นไนเตรตในโตรเจน ($\text{NO}_3\text{-N}$) ภายใต้สภาวะที่ความเข้มข้นของอินทรีย์สารต่ำและระดับ DO ปานกลางถึงสูง (Ua-kritdathikarn, 1988) การออกซิเดชันแอมโมเนียเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ตระกูล *Nitrosomonas* และ *Nitrosococcus* การ

ออกซิเดชันไนไตรต์เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ตระกูล *Nitrobacter* และ *Nitrosocystis* โดยทั่วไปการกล่าวจึงจุลินทรีย์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนแอมโมเนีย ไปเป็นไนไตรต์คือ *Nitrosomonas* และเปลี่ยนไนไตรต์ ไปเป็นไนเตรตคือ *Nitrobacter* อย่างไรก็ตามจุลินทรีย์ในตระกูลอื่น ๆ ก็อาจเข้ามาเกี่ยวพันด้วย (Parameshwaran, 1997) ปฏิกริยาสำหรับสังเคราะห์ไนไตรต์และไนเตรตและการออกซิเดชัน แสดงดังสมการ (10) และ (11)

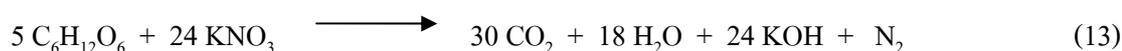


ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ
ที่มา: Metcalf and Eddy (2003)



1.4 การเกิดดีไนตริฟิเคชัน(Denitrification)

การเกิดดีไนตริฟิเคชันด้วยวิธีทางชีวภาพเป็นขั้นตอนที่สองของกระบวนการ โดยจะเป็นรูปไนเตรตในโตรเจนสู่ผลิตภัณฑ์ในรูปก๊าซได้แก่ ก๊าซไนโตรเจน ไนตรัสและไนตริกออกไซด์ โดยแบคทีเรียกลุ่มเฟอเมนเตอร์เฮตเทอโรโทรฟิคภายใต้สภาวะแอนอกซิก โดยมีแหล่งคาร์บอนต่ำ ดังสมการ (12) และ (13) (พิสมัย, 2543) และยังมีแบคทีเรียกลุ่มออโตโทรฟิคที่เปลี่ยนไนเตรตโดยใช้แหล่งพลังงานจากสารอนินทรีย์ ปฏิกริยารีดักชันไนเตรตแสดงโดยสมการ (9) ตระกูลของจุลินทรีย์ที่สำคัญคือ *Achromobacter*, *Aerobacter*, *Alcaligenes*, *Bacillus*, *Flavobacterium*, *Lactobacillus*, *Micrococcus*, *Proteus*, *Pseudomonas* และ *Spirillum* ซึ่งมีรายงานว่ามียู่มากมายในสิ่งปฏิกูล (Parameshwaran, 1997)



2. ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน

2.1 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดไนตริฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดไนตริฟิเคชัน มีดังนี้ (Parameshwaran, 1997; Thapa, 1998)

1. อุณหภูมิ

อัตราการสร้างไนโตรเจนนั้นปฏิกริยาตอบสนองต่ออุณหภูมิมากกว่าอัตราการกำจัดสารอินทรีย์ อุณหภูมิที่เหมาะสมที่รายงานโดยปกติอยู่ในช่วง 28 - 36 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงกว้าง ๆ อยู่ที่ประมาณ 4 - 50 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาการตอบสนองต่ออุณหภูมิของการสร้างไนเตรตนั้นจะลดลงเมื่อ SRT เพิ่มขึ้น

2. ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชมีบทบาทที่สำคัญในกิจกรรมของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิง นักวิจัยส่วนใหญ่พบว่าช่วง 7.5 - 8.5 มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการเกิดไนตริฟิเคชัน นักวิจัยบางคนเสนอช่วงพีเอชต่ำกว่าเล็กน้อย ดังนั้นจุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิงจะชอบสภาพแวดล้อมที่มีสภาพต่าง อ่อน ๆ แต่ถ้าค่าพีเอชต่ำกว่า 6.0 การปฏิริยาไนตริฟิเคชันจะถูกยับยั้ง

3. เวลาที่กักตะกอน (SRT)

SRT มีผลโดยตรงต่อกิจกรรมไนตริฟิเคชัน จุลินทรีย์กลุ่มไนตริฟายอิงมีอัตราการเจริญที่ช้าอย่างมาก ถ้า SRT ยาวนานขึ้น ไนตริฟิเคชันโดยทั่วไปต้องการ SRT 8 ถึง 12 วัน ภายในสภาวะปกติ (อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส DO มากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปริมาณเซลล์และอัตราการเจริญเติบโตที่ต่ำเกิดจากระยะเวลาที่มากขึ้น แต่ถ้าปัจจัย เช่น อุณหภูมิต่ำ สภาวะพีเอชไม่เหมาะสม หรือมีสารพิษที่ยับยั้งการเจริญเติบโตของไนตริฟายอิงแบคทีเรีย การเพิ่ม SRT จะเป็นสิ่งสำคัญที่จะรักษาปฏิริยาไนตริฟิเคชันไว้ ในความเป็นจริงที่อุณหภูมิ 6 องศาเซลเซียส ปฏิริยาไนตริฟิเคชันไม่สามารถเกิดขึ้นได้ขณะที่ SRT อยู่ที่ 24 ชั่วโมง

4. ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

DO เป็นสิ่งสำคัญที่สุดสำหรับการเจริญของทั้ง *Nitrosomonas* และ *Nitrobacter* การปฏิริยาไนตริฟิเคชันจะเกิดขึ้นที่ DO มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของ DO ที่เหมาะสมกับการสร้างไนเตรตก็ยังไม่ได้ระบุได้อย่างชัดเจน เมื่อเวลาในการสร้างเซลล์สูงขึ้น ปฏิริยาไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นที่ความเข้มข้นของ DO 0.5 - 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

5. การรับภาระสารอินทรีย์ (Organic loading)

ปฏิริยาไนตริฟิเคชันจะดำเนินการไปอย่างรวดเร็ว เมื่อปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่ำ อินทรีย์คาร์บอนเป็นตัวควบคุมการเปลี่ยนแปลงประชากรของแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟิก การเพิ่มขึ้นของอินทรีย์คาร์บอนมีผลให้สมดุลของจุลินทรีย์กลุ่มเฮเทอโรโทรฟิกกับออโตโทรฟิก (ไนตริฟายอิงแบคทีเรีย) ในระบบไม่เอื้อประโยชน์กัน

6. สารประกอบที่ยับยั้งปฏิกิริยา

วัตถุดิบทรีย์บางตัว เช่น สารประกอบซัลเฟอร์ สารประกอบแอนนิลีน ฟีนอลและไซยาไนด์ มีผลกระทบในการยับยั้งที่รุนแรง ไทโอยูเรียและไฮดราซีนจะยับยั้งการออกซิเดชันแอมโมเนียเป็นไนเตรต ไทโอยูเรียอย่างน้อย 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ก็เพียงพอสำหรับการยับยั้งปฏิกิริยา โลหะหลายตัวเมื่อความเข้มข้นสูง ๆ ก็สามารถยับยั้งปฏิกิริยาได้

2.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชัน

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชันมีดังนี้ (Parameshwaran, 1997; Thapa, 1998)

1. แหล่งพลังงาน (สารตั้งต้น)

การใช้แหล่งพลังงานมีผลกระทบต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน เมทานอลให้ผลในอัตราที่สูงเพราะมันสามารถย่อยสลายได้ง่าย และแบคทีเรียกลุ่มนี้เป็นกลุ่มพิเศษที่ใช้เมทานอล วัตถุดิบทรีย์ในน้ำเสียดิบมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาที่ต่ำ ด้วยเหตุที่แหล่งพลังงานที่เกิดขึ้นภายในให้ผลในการกำจัดที่ต่ำอย่างมาก อัตราเกิดถูกจำกัดจากกระบวนการไฮโดรไลซิสที่เกิดขึ้น

2. ออกซิเจนละลายน้ำ (DO)

อิทธิพลของออกซิเจนต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชันที่สำคัญ คือ ออกซิเจนจะแข่งขันกับไนเตรตเพื่อเป็นตัวให้อิเล็กตรอน และออกซิเจนจะยับยั้งการสังเคราะห์เอนไซม์ที่จะเร่งการผันการเกิดดีไนตริฟิเคชัน

อย่างไรก็ตามที่เห็นได้ชัด การเกิดดีไนตริฟิเคชันและการเกิดดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นพร้อมกันได้ ในภาคตะกอนที่ได้ปั่นกวอนอย่างดี ที่ความเข้มข้นของค่าดีไอค่า ผลกระทบของออกซิเจนในการเป็นตัวยับยั้งการเกิดดีไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นเมื่อสภาวะพีเอชสูง ในขณะที่ค่าพีเอชต่ำ (5.5 - 6.0) ออกซิเจนจะไม่มีผลกระทบต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชัน

3. ค่าพีเอช (pH)

กระบวนการเกิดดีไนตริฟิเคชัน อยู่ภายใต้การควบคุมของพีเอชเช่นเดียวกับกระบวนการทางชีวภาพอื่น ๆ จากการอ้างอิงที่หาได้พบว่าช่วงพีเอชที่เหมาะสม 7 - 9

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิก็ยังเป็นปัจจัยควบคุมที่สำคัญตัวหนึ่ง ที่อุณหภูมิต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชัน จะลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่สามารถเกิดขึ้นได้ในช่วง 0 - 5 องศาเซลเซียส ความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบของอุณหภูมิ และออกซิเจนต่อการเกิดดีไนตริฟิเคชัน คือ เมื่ออุณหภูมิสูงความสามารถในการละลายของออกซิเจนจะน้อยลง ในทางกลับกันอัตราการเกิดกระบวนการทางชีวภาพจะเพิ่มขึ้น

การประยุกต์ใช้มูลฝอยเป็นตัวกรองชีวภาพบำบัดน้ำชะมูลฝอย

ตัวกรองชีวภาพเป็นกระบวนการบำบัดที่อาศัยสิ่งมีชีวิตที่เจริญเติบโตบนตัวติดอยู่กับที่ ซึ่งรู้จักกันในชื่อกระบวนการแผ่นฟิล์มคงที่ (fixed-film process) ทำหน้าที่เปลี่ยนวัตถุดิบอินทรีย์หรือสารอาหารต่าง ๆ ที่ถูกยึดติดเป็นวัตถุเฉื่อยต่อปฏิกิริยา วัตถุดิบอินทรีย์และสารอาหารถูกกำจัดออกจากน้ำเสียที่ไหลผ่านสิ่งมีชีวิตที่เติบโตบนตัวติดอยู่กับที่ ซึ่งรู้จักกันว่าฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) (Metcalf and Eddy, 2003) สำหรับสมรรถนะของกระบวนการไบโอฟิล์มสามารถเพิ่มขึ้นด้วยการนำน้ำที่กลับมาใช้ที่ด้านขาเข้าของถังปฏิกิริยา (เกรียงศักดิ์, 2543)

ในงานวิจัยนี้ใช้มูลฝอยที่ผ่านการปรับเสถียรแล้วมาใช้เป็นตัวกรองชีวภาพ ซึ่งก็มีหลายงานวิจัยที่ใช้มูลฝอยเป็นตัวกรองชีวภาพเพื่อบำบัดน้ำชะมูลฝอย และน้ำเสียต่าง ๆ ทั้งที่เกิดขึ้นภายในและภายนอกหลุมฝังกลบ ดังเช่น

Onay and Pohland (1998) ทำการศึกษาเพื่อทดสอบศักยภาพในการกำจัดไนโตรเจนที่อยู่ในหลุมฝังกลบ ด้วยการสร้างโซนไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน ภายในหลุม เพื่อให้ไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยเปลี่ยนรูปจากแอมโมเนีย เป็นไนเตรต และก๊าซไนโตรเจน การศึกษานี้ทำการสร้างแบบจำลองมูลฝอยโดยการสร้างถังปฏิกิริยาชีวภาพ 3 ถัง โดยภายในแต่ละถังบรรจุปุ๋ยหมักแทนมูลฝอยเก่า ซึ่งมีคาร์บอนน้อยกว่า แต่มีไนโตรเจนมากกว่า แล้วเริ่มต้นด้วยการสร้างสภาวะ และเติมสารอาหารที่เหมาะสมกับการเพิ่มจำนวนจุลินทรีย์ในแต่ละถัง โดยถังไนตริฟิเคชันจะเติมแอมโมเนีย และอากาศลงไป ส่วนในถังดีไนตริฟิเคชันเติมไนเตรตลงไป จากนั้นนำทั้ง 3 ถังมาต่อกัน โดยให้ถังดีไนตริฟิเคชันอยู่ด้านบน ลงมาเป็นถังแอนแอโรบิก ถ่างสุดเป็นถังไนตริฟิเคชัน ทำการหมุนเวียนน้ำผ่านทั้ง 3 ถัง ซึ่งระยะเวลาทั้งหมดที่น้ำไหลผ่านทั้ง 3 ถัง คือ 30 - 45 นาที ทำให้การสัมผัสระหว่างน้ำชะมูลฝอยกับจุลินทรีย์ไม่ดี จึงต้องหมุนเวียนน้ำทั้งหมด 14 รอบ ผลที่ได้พบว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนรูปไนโตรเจนต่อรอบอยู่ในช่วงร้อยละ 30 - 52 สำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน และร้อยละ 16 - 25 สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เมื่อสิ้นสุดการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยทั้ง 14 รอบแล้วพบว่า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดลดลงจาก 0.8454 กรัม เหลือ 0.1173 กรัม

Zhao *et al.* (2002) ทำการศึกษาประสิทธิภาพของถังกรองชีวภาพมูลฝอยเก่า ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีความสกปรกสูง เริ่มจากการหาอายุของมูลฝอย (2 4 6 8 และ 9 ปี จากหลุมฝังกลบของนครเชียงใหม่) ที่เหมาะสมกับการบำบัด โดยนำมูลฝอยช่วงอายุต่าง ๆ แยกพลาสติก แก้ว และหิน ออก ที่เหลือนำมาร้อนด้วยตะแกรงให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 15 มิลลิเมตร จากการทดลองพบว่า มูลฝอยที่มีอายุ 8 - 10 ปี มีความเสถียรพอที่จะนำมาใช้งาน แล้วไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม จากกลิ่น และน้ำชะมูลฝอย จากนั้นนำกากมูลฝอยเก่าดังกล่าว 400 กิโลกรัม มาเป็นตัวกรองชีวภาพในถังทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 80 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร นำน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบใหม่ ทำการฉีดพ่นบริเวณด้านบนของถัง ด้วยอัตราการไหล 1.25 ลิตรต่อนาที่ โดยมีค่าความสกปรกขาเข้าดังนี้ ซีโอดี 3,000 - 7,000 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 540 - 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนียไนโตรเจน 500 - 800 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลที่ได้ความเข้มข้นน้ำขาออกลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังนี้ ซีโอดี 100 - 350 มิลลิกรัมต่อลิตร บีโอดี 10 - 200 มิลลิกรัมต่อลิตร และแอมโมเนียไนโตรเจน 10 - 25 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการบำบัดทั้งหมดประมาณร้อยละ 90 - 99 สีของน้ำที่ออกมาเป็นสีเทาใส กลิ่นไม่เหม็น ขณะที่น้ำขาเข้าเป็นสีน้ำตาล และมีกลิ่นที่รุนแรง โดยค่าการระบรทุกทางจุลชีวศาสตร์ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 80 - 200 ลิตรต่อลบ.ม.ของมูลฝอยต่อวัน อย่างไรก็ตามการลดลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต่ำมากประมาณร้อยละ 20 - 30 สำหรับอายุการใช้งานพบว่า สามารถใช้งานได้อย่างน้อย 4 ปี (ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด) โดยประสิทธิภาพยังคงเดิม และไม่มีผลกระทบข้างเคียงเกิดขึ้น

Price *et al.* (2003) ศึกษาสมรรถนะของการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันภายในหลุมฝังกลบมูลฝอย โดยการสร้างแบบจำลองถึงปฏิกิริยาชีวภาพ ตัวกลางภายในบรรจุมูลฝอยที่ผ่านการย่อยสลายแล้ว ผสมกับมูลฝอยสด นำแบบจำลองที่ได้ศึกษาสมรรถนะในการกำจัดไนเตรต โดยการเติมน้ำตัวอย่างสังเคราะห์ที่มีไนเตรตไนโตรเจน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปในแบบจำลอง แล้วทำการตรวจวัดไนเตรตไนโตรเจนที่เหลืออยู่ พบว่าในช่วง 29 วันแรก ไนเตรตจะถูกกำจัดหมดภายใน 48 ชั่วโมงหลังการเติมลงไป แต่หลังจากนั้นอัตราการกำจัดไนเตรตจะเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยต้องใช้เวลาในการกำจัดไนเตรตทั้งหมด 5 - 15 วัน เป็นเพราะสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ ซึ่งเป็นตัวให้อิเล็กตรอนอยู่ในระดับต่ำ จึงมีการแก้ปัญหาด้วยการเติมอะซิเตตลงไป แต่การแก้ปัญหาที่ง่ายกว่าคือการเปลี่ยนมูลฝอยบริเวณด้านบนประมาณร้อยละ 5 แล้วนำมูลฝอยสดเติมลงไปแทน อัตราการกำจัดไนเตรตจะเพิ่มขึ้น โดยสามารถกำจัดไนเตรตได้หมดภายใน 24 ชั่วโมง หรืออาจใช้น้ำชะมูลฝอยหรือน้ำเสียที่มีค่าบีโอดีหรือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ปริมาณสูง ๆ

เติมลงไปให้มีแหล่งคาร์บอนเพียงพอที่จะขับเคลื่อนปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันต่อไปได้ นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมไนเตรตลงไป ทำให้การสร้างมีเทนถูกยับยั้ง แต่สามารถฟื้นตัวกลับได้ เมื่อหยุดการเติมไนเตรต และปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันที่เกิดขึ้น ทำให้ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเพิ่มขึ้น อยู่ในช่วง 7 - 8

Zhao and Shao (2004) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ถังกรองชีวภาพมูลฝอยเก่า สำหรับบำบัดน้ำเสียปศุสัตว์ โดยนำมูลฝอยเก่าอายุ 10 ปี จากหลุมฝังกลบของนครเชียงใหม่ ที่ร่อนให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 15 มิลลิเมตร ทั้งหมด 200 กิโลกรัม มาใช้เป็นวัสดุตัวกรองชีวภาพในถังทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 40 เซนติเมตร สูง 150 เซนติเมตร นำน้ำเสียปศุสัตว์ที่ผ่านการบำบัดขั้นต้น (ตกตะกอนขั้นแรก-การย่อยแบบแอนแอโรบิก-ตกตะกอนขั้นสอง) เข้าระบบ 50 ลิตรต่อวัน (ที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ 250 ลิตรต่อลบ.ม.มูลฝอยต่อวัน) ระยะเวลาการทดลองประมาณ 200 วัน มีความเข้มข้นเริ่มต้นของ COD_{Cr} , BOD_5 , NH_3-N และฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ที่ 250 - 900 102 - 459 280 - 340 และ 22 - 47 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ด้วยการฉีดพ่นเข้าไปทางด้านบน ด้วยอัตราการไหลเข้า 0.3 ลิตรต่อนาที่ แบบไม่ต่อเนื่อง โดยความเข้มข้นขาออกของ COD_{Cr} , BOD_5 , NH_3-N และฟอสฟอรัสทั้งหมด อยู่ในช่วง 30 - 200 4.06 - 56.9 10 - 25 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ แต่ถ้าความเข้มข้นของมลพิษเริ่มต้นสูงขึ้น ความเข้มข้นขาออกก็จะสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้เมื่อคิดค่าการลดลงของไนโตรเจนทั้งหมดพบว่า ค่ามากอยู่ที่ประมาณร้อยละ 10 - 30 เพราะแอมโมเนียส่วนใหญ่เปลี่ยนไปเป็นไนเตรตเท่านั้น ไม่สามารถเปลี่ยนไปเป็นก๊าซไนโตรเจนได้ เนื่องจากความสามารถในการดีไนตริฟิเคชันของระบบต่ำ ส่วนสีของน้ำขาออกพบว่าใส แตกต่างจากสีของน้ำขาเข้าที่เป็นสีน้ำตาล

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ถังจำลองฝังกลบมูลฝอยทำจากเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.90 เมตร ความสูง 2.7 เมตร จำนวน 4 ถัง ด้านล่างของถัง จะเจาะช่องสำหรับระบายน้ำชะมูลฝอยออก โดยติดตั้งวาล์วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร พร้อมทั้งบรรจุกรวดจนมีความหนา 20 เซนติเมตร เพื่อป้องกันการอุดตันของช่องระบายน้ำชะมูลฝอย ถัดขึ้นไปคือชั้นมูลฝอยสูง 1.5 เมตร (จากเริ่มต้น 2.0 เมตร) ความหนาแน่นประมาณ 600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ติดตั้งท่อพีวีซีสำหรับเติมอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ความยาว ประมาณ 1.8 เมตร จำนวน 2 เส้น โดยติดตั้งเป็นรูปตัวยูคว่ำ จากด้านบนจนถึงกึ่งกลางของชั้นมูลฝอย ซึ่งทำการเจาะรูขนาด 1 เซนติเมตร โดยรอบท่อ ทุกระยะ 2 เซนติเมตร และบรรจุกรวดโดยรอบ เพื่อป้องกันการอุดตันของมูลฝอย จากนั้นติดตั้งท่อหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย โดยใช้ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.87 เซนติเมตร เจาะรูขนาด 0.5 เซนติเมตร ทุกระยะ 2 เซนติเมตร วางอยู่ในชั้นกรวด ซึ่งมีความหนาประมาณ 10 เซนติเมตร (สาลีณี, 2546) สุดท้ายปิดทับด้วยชั้นดินร่วนผสมกับทรายในอัตราส่วน 1 ต่อ 2 ให้มีความหนาประมาณ 60 เซนติเมตร แสดงดังภาพที่ 8

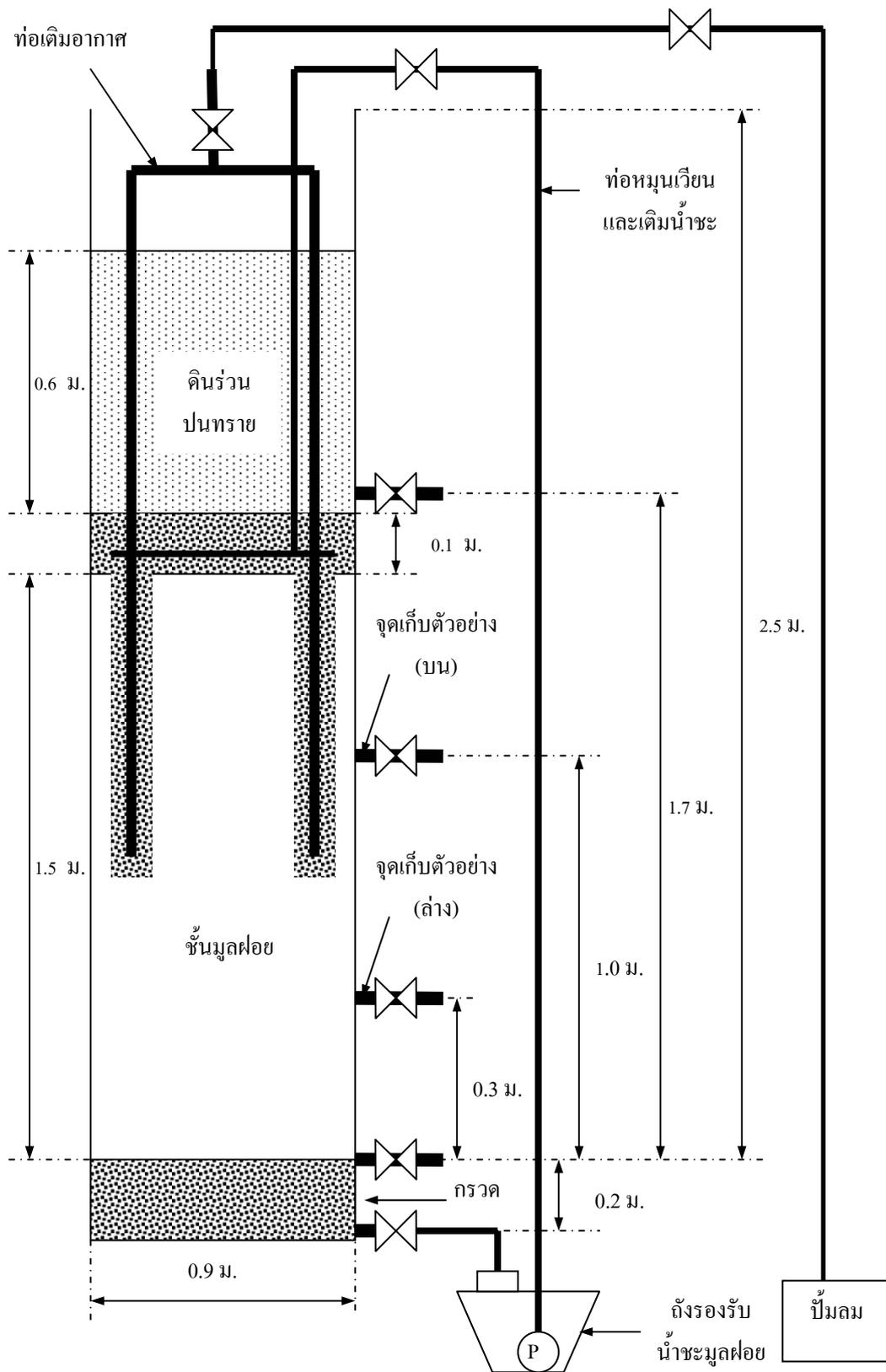
2. เครื่องวัดความเร็วลม รุ่น AIRFLOW-PUM100 Micromanometer

3. ปัมป์สูบน้ำแบบ Submersible ขนาด 0.5 แรงม้า เพื่อใช้ในการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย

4. ปัมป์ลม ขนาด 1 แรงม้า ยี่ห้อ Puma สำหรับเติมอากาศในแบบจำลองฝังกลบมูลฝอย

5. ปัมป์สูบน้ำ รุ่น 323E/D Pump 400 rpm EU ยี่ห้อ Watson - Marlow Bredel Pump สำหรับเติมน้ำชะมูลฝอยเข้าแบบจำลองฝังกลบมูลฝอย

6. เครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะสมบัติของมูลฝอยและน้ำชะมูลฝอย ได้แก่ Spectrophotometer รุ่น U-2800 ยี่ห้อ Hitachi, เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง รุ่น 240A ยี่ห้อ Precisa, pH meter รุ่น 215 ยี่ห้อ Denver Instrument, Conductivity meter รุ่น 160 ยี่ห้อ Orion, Hot Air Oven ยี่ห้อ Binder และ เตาเผา รุ่น Control 201 ยี่ห้อ Carbolite



ภาพที่ 8 การเตรียมแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยสำหรับการปรับเสถียรมูลฝอย

วิธีการ

1. การศึกษาผลของการเติมอากาศต่อการปรับเสถียรมูลฝอย

1.1 องค์ประกอบของมูลฝอยที่ใช้ในการทดลอง

มูลฝอยที่ใช้ในการทดลองถูกฝังกลบมาแล้วเป็นเวลา 3 ปี เริ่มต้นประกอบด้วยมูลฝอยชุมชนจากโรงงานกำจัดมูลฝอยหนองแขม ลดขนาดจนเหลือประมาณ 2 - 3 นิ้ว และกากตะกอนน้ำทิ้งชุมชนจากถังหมักไร้อากาศจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนห้วยขวาง ทำการผสมมูลฝอยทั้งสองชนิดในอัตราส่วนมูลฝอยชุมชน 4 ส่วน ต่อกากตะกอน 1 ส่วน โดยน้ำหนักเปียก องค์ประกอบของมูลฝอยในแบบจำลองฝังกลบในช่วงเริ่มต้นและหลังการย่อยสลายเป็นเวลา 3 ปี แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยอายุ 3 ปี

องค์ประกอบทางกายภาพ	ร้อยละของน้ำหนักเปียก				
	เริ่มต้น*	ถึงที่ 1**	ถึงที่ 2**	ถึงที่ 3**	ถึงที่ 4**
เศษอาหาร	41.38	0.00	0.00	0.00	0.00
พลาสติก	22.33	46.41	46.64	44.92	38.53
กระดาษ	14.78	0.00	1.53	0.07	2.16
เศษผ้า	6.86	0.10	0.07	2.00	3.70
เศษไม้ ใบหญ้า	4.83	0.99	2.94	1.00	7.28
โลหะ	0.76	0.15	0.00	0.00	0.00
โฟมและยาง	0.96	0.01	0.20	3.69	0.00
กระดูกและเปลือกหอย	1.11	0.00	0.00	0.00	1.18
เศษแก้ว	2.06	0.02	0.00	0.62	0.22
องค์ประกอบอื่น ๆ	4.93	52.32	48.63	47.70	46.93
รวม	100	100	100	100	100

หมายเหตุ: * เก็บตัวอย่างมูลฝอยวิเคราะห์ก่อนบรรจุลงแบบจำลองฝังกลบมูลฝอย (สาลินี, 2546)

** เก็บตัวอย่างมูลฝอยด้วยการสุ่มออกมามีวิเคราะห์ (วันที่ 5 พฤษภาคม พ.ศ. 2548)

1.2 การดำเนินการทดลอง

1.2.1 ทำการศึกษาทดลองในแบบจำลองฝึงคลบมูลฝอย โดยกำหนดรูปแบบการทดลองดังนี้ (ภาพที่ 9)

ถังที่ 1 : ไม่มีการหมุนเวียน หรือการเติมอากาศ เป็นการทดลองควบคุม

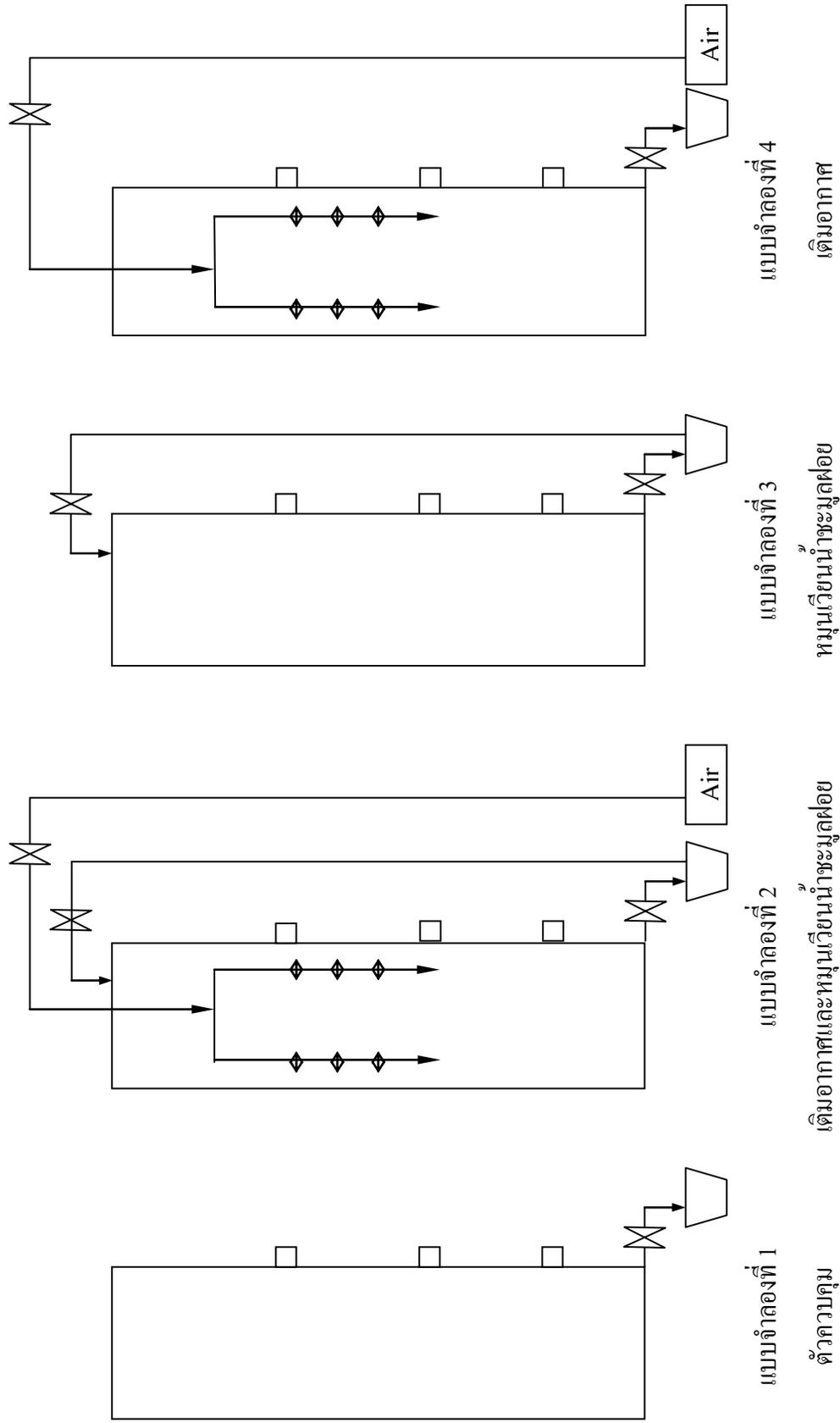
ถังที่ 2 : มีการเติมอากาศบริเวณด้านบน (ประมาณร้อยละ 50) ของชั้นมูลฝอย ร่วมกับการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์

ถังที่ 3 : หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์

ถังที่ 4 : มีการเติมอากาศบริเวณด้านบน (ประมาณร้อยละ 50) ของชั้นมูลฝอย

1.2.2 ในการศึกษาจำลองช่วงเวลาทั้งฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยมีการเติมน้ำฝนที่ทำการรวบรวมไว้ในฤดูฝนตั้งแต่ช่วงเดือนสิงหาคม ถึงกันยายน เข้าสู่แบบจำลองฝึงคลบมูลฝอยทางด้านบนในช่วงฤดูฝน โดยเติมน้ำฝนทุกวันในมีปริมาณเท่ากับร้อยละ 70 ของปริมาณฝนเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจริงในเขตจังหวัดปทุมธานี ปี พ.ศ. 2545 (ทวีศักดิ์, 2547) คิดเป็นปริมาณน้ำฝนที่เติม 8.69 ลิตรต่อวัน (13.66 มิลลิเมตรต่อวัน) รวมระยะเวลาการทดลองช่วงฤดูฝนเท่ากับ 100 วัน จากนั้นทำการศึกษาดทดลองในช่วงฤดูแล้งโดยหยุดทำการเติมน้ำฝนลงในแบบจำลอง ต่อเนื่องจากฤดูฝนเป็นระยะเวลา 110 วัน ระยะเวลาการศึกษาทั้งสิ้น 210 วัน

1.2.3 ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติทั้งทางกายภาพ และทางเคมีของมูลฝอย ปริมาณ และลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาการทดลอง



ภาพที่ 9 สภาวะการทดลองของแบบจำลองฟังก์ชันการปรับเสถียร

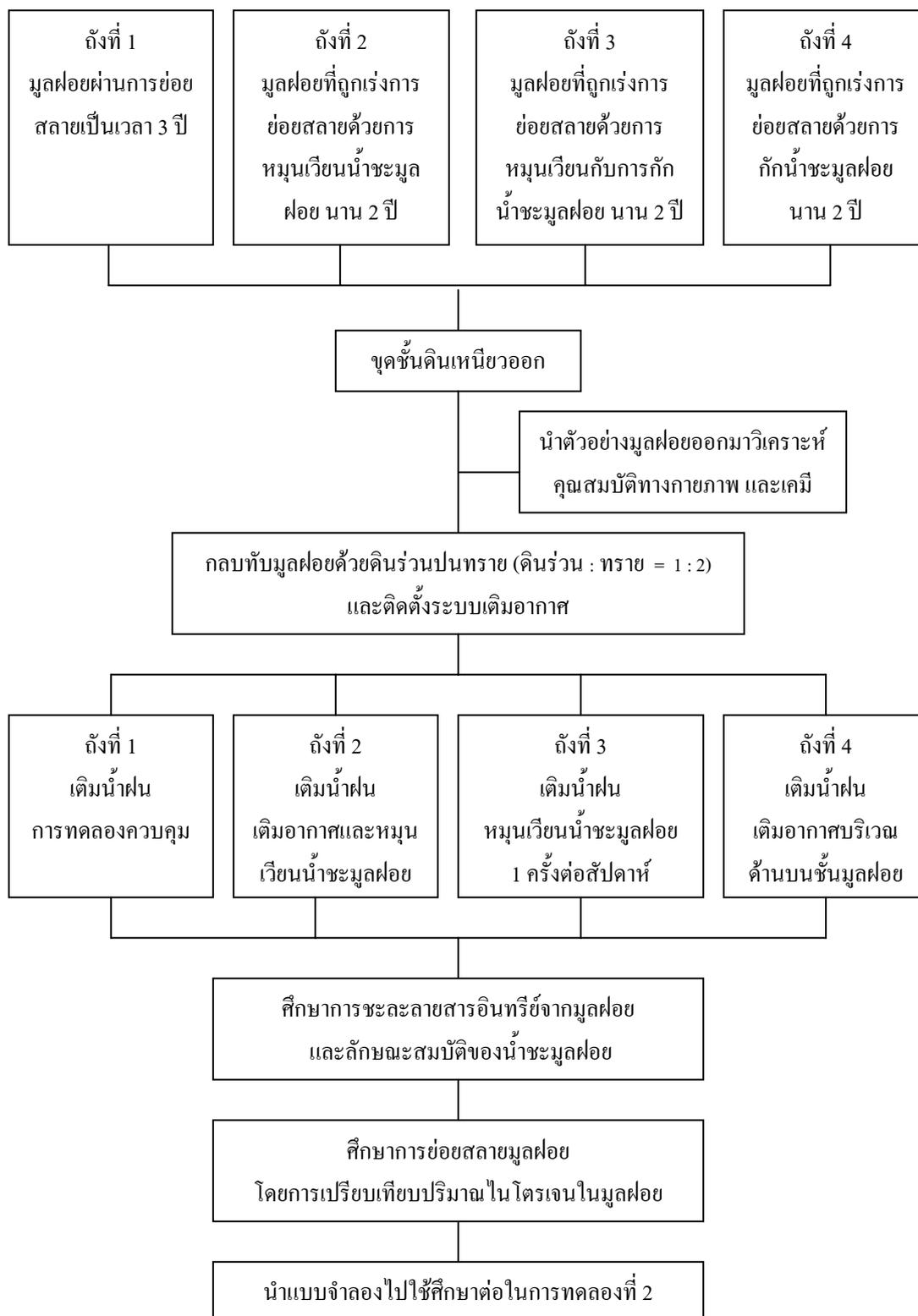
1.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

1.3.1 ตัวอย่างมูลฝอยจะทำการเก็บก่อน และหลังการทดลอง โดยพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความชื้น (Moisture Content) ปริมาณเถ้า (Ash Content) ปริมาณของแข็งรวม (Total Solid ; TS) ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solid ; VS) องค์กรประกอบของไนโตรเจนในมูลฝอย (TN) และความชื้นของมูลฝอยด้วยวิธีการวิเคราะห์ตามงานวิจัยของสาลินี (2546)

1.3.2 ตัวอย่างน้ำชะมูลฝอย ทำการเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำชะมูลฝอย ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยพารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity ; EC) ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) บีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ทีเคเอ็น (Total Kjeldahl Nitrogen) แอมโมเนีย ไนไตรต ไนเตรต ปริมาณฟอสฟอรัส และปริมาณของแข็งแขวนลอย โดยทำการเก็บตัวอย่าง 1 ครั้งต่อสัปดาห์

โดยวิธีวิเคราะห์น้ำชะมูลฝอยอ้างอิงจาก Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th (APHA *et al.*, 1998)

ดำเนินการทดลองตามแผนผังขั้นตอนการทดลอง ดังภาพที่ 10 และวิธีการวิเคราะห์ในแต่ละพารามิเตอร์ แสดงดังตารางที่ 8



ภาพที่ 10 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

ตารางที่ 8 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์มูลฝอยและน้ำชะมูลฝอย

ตัวอย่าง	พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่
น้ำชะมูลฝอย	pH	pH Meter	
	Conductivity	Conductivity Meter	
	Alkalinity	Titration Method (2320 B)	
	SS	Gravimetric Method (2540 D)	
	BOD	Azide modification Method (5210 B)	
	COD	Closed Reflux Method (5220 C)	1 ครั้งต่อสัปดาห์
	TKN	Macro-Kjeldahl Method (4500-N _{org} B)	
	NH ₄ ⁺ -N	Distillation Method (4500-NH ₃ E)	
	NO ₂ ⁻ -N	Colorimetric Method (4500-NO ₂ ⁻ B)	
	NO ₃ ⁻ -N	Brucine Method (4500-NO ₃ ⁻ B)	
PO ₄ ³⁻	Ascorbic Acid Method (4500-P E)		
มูลฝอย	องค์ประกอบ	Gravimetric Method	
	ความชื้น	Oven Drying Method at 103 °C	ก่อนและหลัง
	ของแข็งรวม	คำนวณจากความชื้น	การทดลอง
	ของแข็งระเหย	Muffle Furnace at 550 °C	ในช่วงฤดูฝน
	เถ้า	คำนวณจาก Volatile Solid	และฤดูแล้ง
N	Macro-Kjeldahl Method		

2. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยใช้ชั้นมูลฝอยที่ผ่านการปรับเสถียรในสภาวะเติมอากาศ

2.1 การเตรียมแบบจำลองฝังกลบมูลฝอย

แบบจำลองฝังกลบมูลฝอยที่ใช้สำหรับการทดลองนี้ สามารถใช้ต่อเนื่องจากการทดลองแรกได้ทันที เพียงเปลี่ยนระบบหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยมาเป็นระบบสำหรับเติมน้ำชะมูลฝอย โดยการเปลี่ยนปั๊มสูบน้ำจาก Submersible Pump มาใช้ปั๊มซึ่งสามารถปรับอัตราการไหลได้ (ดังภาพที่ 11) โดยในการทดลองนี้ตั้งอัตราการไหลเข้าของน้ำชะมูลฝอยไว้ที่ 0.75 ลิตรต่อนาที โดยกำหนดระยะเวลาต่อรอบไว้ที่ 12 นาที 40 วินาที ช่วงห่างแต่ละรอบ 30 - 45 นาที ซึ่งค่าเหล่านี้ได้มาจากงานวิจัยของ Zhao *et al.* (2002)

2.2 การเตรียมน้ำชะมูลฝอย (Leachate)

น้ำชะมูลฝอย (Leachate) ที่นำมาใช้สำหรับการทดลองนี้ได้จากการสังเคราะห์ขึ้นจากการหมักมูลฝอย โดยองค์ประกอบและอัตราส่วนของมูลฝอยที่นำมาหมักใช้สัดส่วนตามที่ได้มีการวิเคราะห์ไว้ตามตารางที่ 8 ระยะเวลาการหมักประมาณ 2 - 4 สัปดาห์ แล้วนำน้ำชะมูลฝอยสดที่หมักได้ซึ่งมีความเข้มข้นของซีไอดีตั้งแต่ 5,000 - 30,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเจือจางเพื่อให้ได้ค่าซีไอดีอยู่ในช่วง 3,500 - 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตลอดการทดลอง)

2.3 การดำเนินการทดลอง

ทำการศึกษาในแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยทั้งหมด 4 ถัง เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการสร้างสภาวะแอโรบิกบริเวณด้านบน และแอนแอโรบิกทางด้านล่างของแบบจำลองฝังกลบมูลฝอย ซึ่งมีปริมาตรของมูลฝอยโดยเฉลี่ย 0.95 ลบ.ม. (ความสูงมูลฝอยประมาณ 1.5 เมตร) โดยการเติมและเก็บรวบรวมน้ำชะมูลฝอยทุกวัน แล้วทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่ สภาวะที่เหมาะสมต่อการเดินระบบ และภาระทางชลศาสตร์ (Hydraulic Loading Rate) ซึ่งตารางที่ 9 แสดงรูปแบบการเดินระบบที่ใช้ในการศึกษานี้

ตารางที่ 9 สภาวะที่ใช้ในการเดินระบบ

สภาวะในการเดินระบบ	สภาวะที่ 1	สภาวะที่ 2	สภาวะที่ 3	สภาวะที่ 4
1) การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอย (ภาพที่ 11)				
- แบบจำลองที่ใช้ศึกษา, ถังที่	1	2	3	4
- สภาพของมูลฝอย	อ้างอิง*	เสถียร**	เสถียร**	เสถียร**
- ภาระบรรจุทุก (HLR), L/m ³ of waste .d	20	20	20	20
- อัตราการเติมอากาศ, m ³ /h	0	8.5	0	17.0
- ระยะเวลาที่ศึกษา, days	18	36	36	27
2) การศึกษาภาระบรรจุทุกทางชลศาสตร์ที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำชะมูลฝอย (ภาพที่ 12)				
- ภาระบรรจุทุก (HLR), L/m ³ of waste .d	10	20	40	60
- อัตราการเติมอากาศ, m ³ /h	17.0	17.0	17.0	17.0
- ระยะเวลาที่ศึกษา, days	18	18	18	18

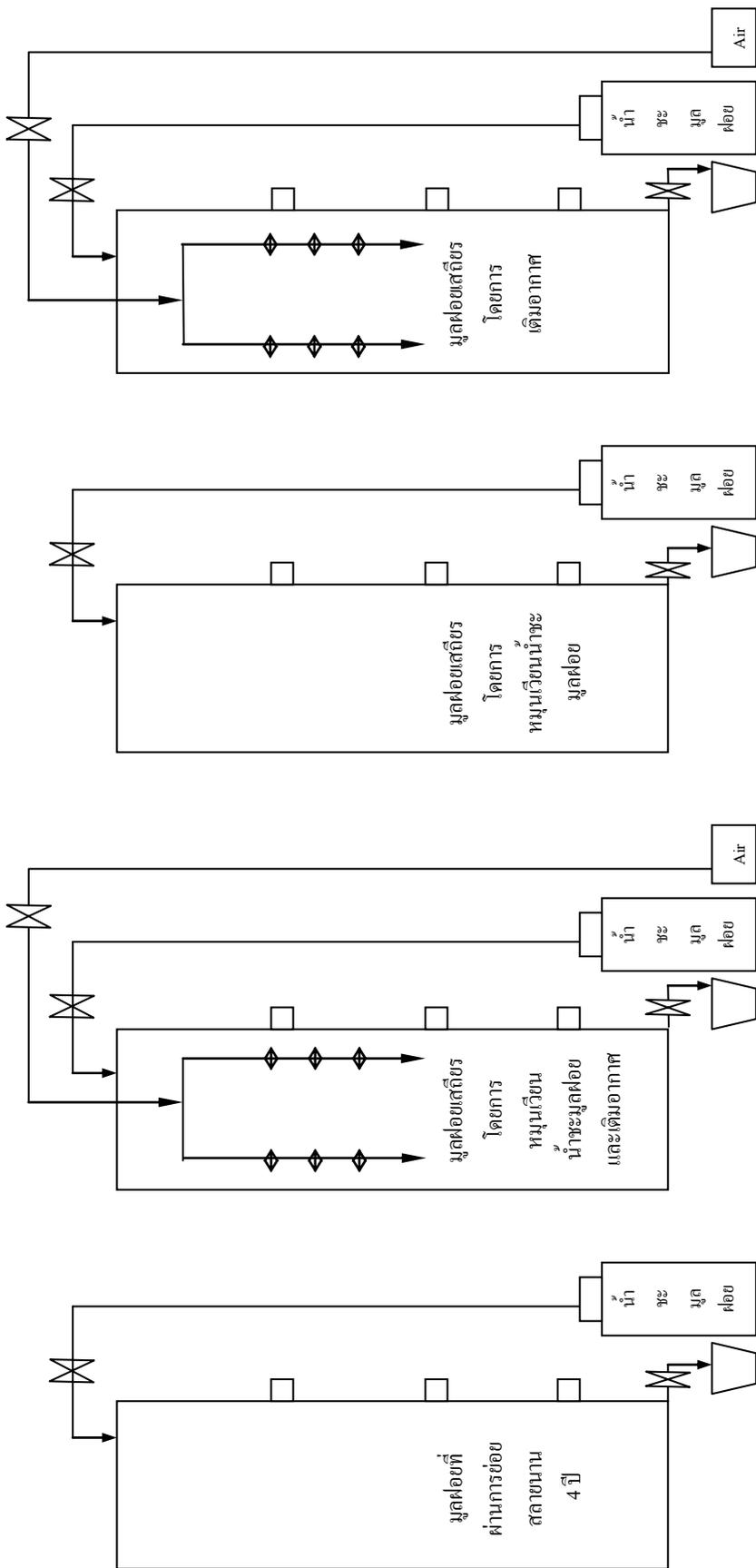
หมายเหตุ: * อ้างอิง หมายถึง มูลฝอยที่ผ่านการย่อยสลายตามธรรมชาติเป็นเวลา 4 ปี

** เสถียร หมายถึง มูลฝอยที่ผ่านการเร่งการย่อยสลายจนเสถียรจากการทดลองที่ 1

2.4 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

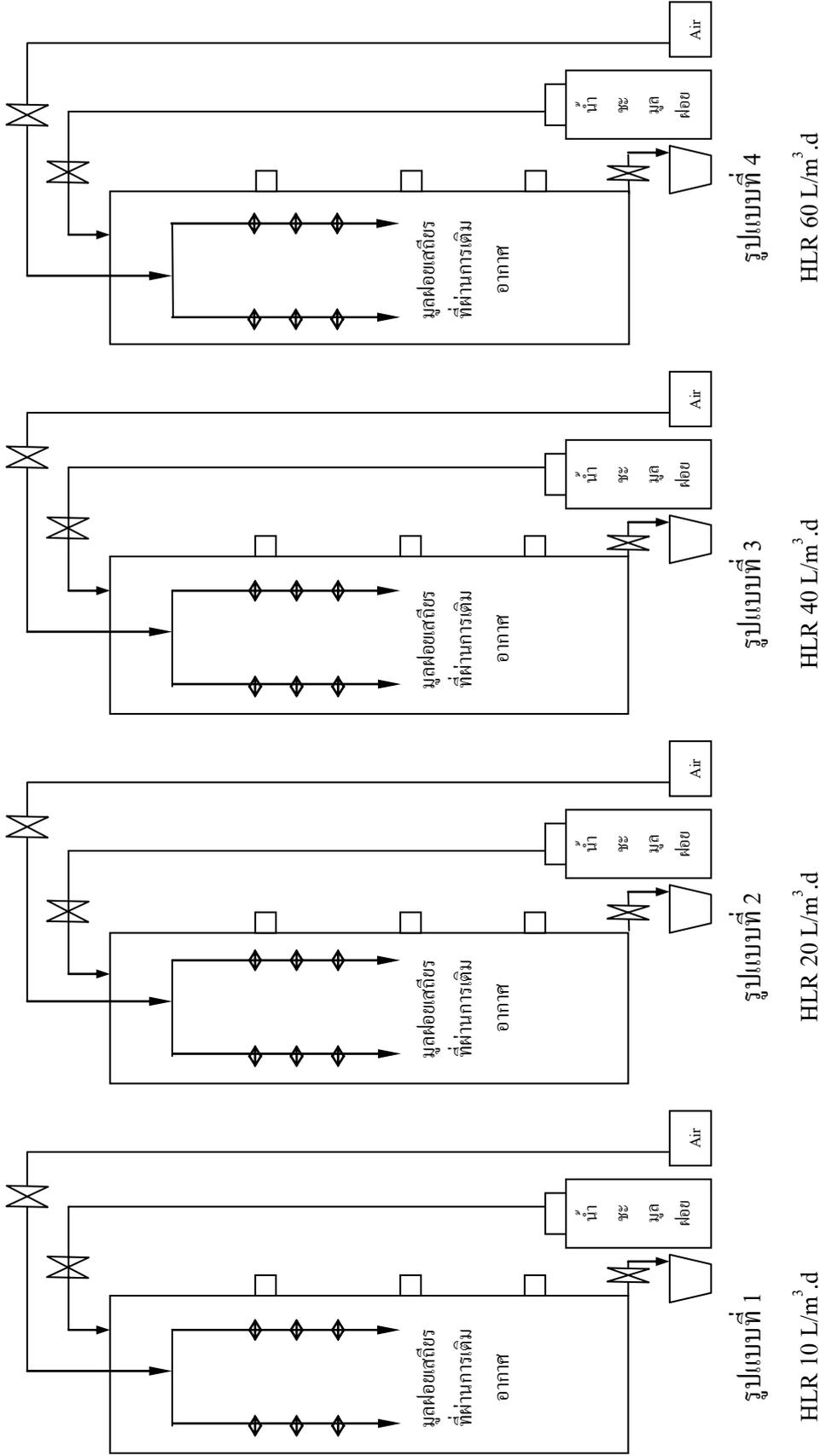
สมรรถนะ และประสิทธิภาพของระบบดูจากคุณภาพของน้ำออก ที่สภาวะต่าง ๆ พารามิเตอร์สำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเข้าและออกจากระบบบำบัด ได้แก่ บีโอดี ซีโอดี ดีไอที เอนเอ็น แอม โมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรต ฟอสเฟต ฟิเอช ปริมาณของแข็งแขวนลอย และสี

โดยวิธีวิเคราะห์ตัวอย่างอ้างอิงจาก Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 20th (APHA *et al.*, 1998) ตารางที่ 10 แสดงวิธีการวิเคราะห์ในแต่ละพารามิเตอร์



แบบจำลองที่ 1 การทดลองควบคุม
 แบบจำลองที่ 2 มวลฟลอยด์และเติมอากาศ 8.5 m³/h
 แบบจำลองที่ 3 มวลฟลอยด์
 แบบจำลองที่ 4 มวลฟลอยด์และเติมอากาศ 17 m³/h

ภาพที่ 11 รูปแบบการเดินระบบของการศึกษาสถานะที่เหมาะสมต่อการบำบัดน้ำชะมวลฟลอย



ภาพที่ 12 รูปแบบการเดินระบบของการศึกษาการบริบททางสถาปัตย์ที่เหมาะสม

ตารางที่ 10 วิธีวิเคราะห์ในแต่ละพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่
pH	pH meter	
SS	Gravimetric Method (2540 D)	
DO	Azide modification Method (5210 B)	
BOD	Azide modification Method (5210 B)	เก็บตัวอย่างทุกวันช่วง 9 วัน แรก จากนั้นเก็บทุก ๆ 2 วัน
COD	Closed Reflux Method (5220 C)	
TKN	Macro-Kjeldahl Method (4500-N _{org} B)	
NH ₃ -N	Distillation Method (4500-NH ₃ E)	
NO ₂ ⁻ -N	Colorimetric Method (4500-NO ₂ ⁻ B)	
NO ₃ ⁻ -N	Brucine Method (4500-NO ₃ ⁻ B)	
PO ₄ ³⁻	Ascorbic Acid Method (4500-P E)	

3. สถานที่ทำการทดลอง

การศึกษาทดลองและการตรวจวิเคราะห์ตัวอย่าง ดำเนินการ ณ ห้องปฏิบัติการของ
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขต
บางเขน

4. ระยะเวลาทำการทดลอง

ระยะเวลาทำการทดลองที่ 1 เริ่มตั้งแต่ เดือนเมษายน พ.ศ. 2548 ถึง เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ.
2549 และการทดลองที่ 2 เริ่มตั้งแต่ เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2549 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ. 2549

ผลและวิจารณ์

การศึกษานี้แบ่งออกเป็น 2 การทดลอง คือ การศึกษาผลของการเติมอากาศต่อการปรับเสถียรมูลฝอยชุมชน กับการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการเติมอากาศในมูลฝอยชุมชนที่ผ่านการปรับเสถียรแล้ว ซึ่งผลการทดลองที่ได้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. การศึกษาผลของการเติมอากาศต่อการปรับเสถียรมูลฝอย

การศึกษานี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงแรกของการทดลองกำหนดให้เป็นการศึกษาในช่วงฤดูฝน ซึ่งมีการเติมน้ำฝนในปริมาณ 8.69 ลิตรต่อวัน ทุกวัน (เทียบเท่ากับปริมาณน้ำฝน 13.66 มิลลิเมตรต่อวัน) เป็นเวลา 100 วัน ต่อเนื่องด้วยการทดลองในช่วงฤดูแล้ง ซึ่งไม่มีการเติมน้ำฝนเป็นระยะเวลา 110 วัน รวมระยะเวลาการศึกษาทั้งสิ้น 210 วัน โดยมีผลการทดลองดังนี้

1.1 ผลของการเติมอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของมูลฝอย

การเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของมูลฝอย แสดงดังตารางที่ 11 โดยค่าต่าง ๆ ที่ได้มาจากการเก็บตัวอย่างบริเวณส่วนบน และส่วนล่างของชั้นมูลฝอย แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความชื้น ของแข็งรวม ของแข็งระเหย ได้ และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ในช่วงเริ่มต้นการทดลอง ช่วงสิ้นสุดฤดูฝน (ในวันที่ 100 ของการเดินระบบ) และช่วงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในฤดูฝน และฤดูแล้ง ในถังที่ 1 ซึ่งเป็นถังอ้างอิง การย่อยสลายเป็นไปตามธรรมชาติพบว่า มีความชื้นบริเวณส่วนบน และส่วนล่างของถังเท่ากับ ร้อยละ 46.81 และ 56.23 เมื่อสิ้นสุดฤดูฝน และเมื่อสิ้นสุดฤดูแล้ง ค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 45.47 และ 52.94 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าลดลง เป็นเพราะหยุดการเติมน้ำฝน แต่ค่าที่ลดลงนั้นไม่มากนัก ซึ่งก็สอดคล้องกับปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ออกมาจากถังที่ 1 ที่มีปริมาณน้อยมาก (40.42 ลิตร ตลอดช่วงฤดูแล้ง) ส่วนในถังที่ 4 ซึ่งมีการเติมอากาศเข้าไปบริเวณด้านบนพบว่า เมื่อสิ้นสุดฤดูฝน ค่าความชื้นบริเวณส่วนบน และส่วนล่างของถัง เท่ากับ ร้อยละ 38.58 และ 52.45 ในขณะที่เมื่อสิ้นสุดฤดูแล้ง ค่าความชื้นจะลดลงอยู่ที่ร้อยละ 36.33 และ 32.41 ตามลำดับ สำหรับถังที่มีการหมุนเวียน

น้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ พบว่า ค่าความชื้นของฤดูฝน และฤดูแล้งใกล้เคียงกัน โดยในถึงที่ 3 มีค่าความชื้นส่วนบน และส่วนล่าง เท่ากับ ร้อยละ 74.41 และ 51.9 เมื่อสิ้นสุดฤดูฝน และร้อยละ 75.50 กับ 43.52 เมื่อสิ้นสุดฤดูแล้ง เช่นเดียวกับในถึงที่ 2 ที่มีการเติมอากาศบริเวณด้านบน ร่วมกับการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ซึ่งมีค่าความชื้นส่วนบน และส่วนล่าง เท่ากับ ร้อยละ 55.44 และ 43.85 เมื่อสิ้นสุดฤดูฝน และร้อยละ 52.52 กับ 61.55 เมื่อสิ้นสุดฤดูแล้ง นอกจากนี้จากการ สังเกตเฉพาะค่าความชื้นบริเวณส่วนบนของแต่ละถึงจะพบว่า ถึงที่มีการเติมอากาศจะมีค่าความชื้น ต่ำกว่าถึงที่ไม่เติมอากาศ เป็นเพราะอากาศที่เติมเข้าไปบริเวณด้านบนของชั้นมูลฝอย เข้าไปแทนที่ น้ำภายในช่องว่างของมูลฝอย ทำให้ความชื้นบริเวณส่วนบนของมูลฝอยต่ำลง

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งพบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณของแข็ง ระบายในมูลฝอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของแข็งระเหยแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่อยู่ใน มูลฝอย ซึ่งตามหลักการเมื่ออายุของมูลฝอยเพิ่มขึ้นปริมาณของแข็งระเหยหรือสารอินทรีย์ก็ควรจะ ลดลง แต่จากการวิเคราะห์องค์ประกอบของตัวอย่างเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็ง ระเหยมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นพลาสติกซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้ แต่มี ค่าของแข็งระเหยสูง (VS) เมื่อองค์ประกอบอื่นที่ย่อยสลายได้ถูกย่อยสลายไปเหลือแต่พลาสติก ค่าของแข็งระเหยจึงสูงขึ้น

ส่วนการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดพบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณ ไนโตรเจนในมูลฝอยของถึง 4 ถึง ลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะในถึงที่ 4 ซึ่งมีการเติมอากาศ ลงไป ปริมาณไนโตรเจนที่ลดลงประมาณร้อยละ 80 ในขณะที่ถึงที่ 2 ที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูล ฝอยร่วมกับการเติมอากาศ ปริมาณไนโตรเจนที่ลดลงอยู่ที่ร้อยละ 66.23 และ 74.78 ซึ่งน้อยกว่า ถึงที่ 4 เนื่องจากถึงที่ 4 น้ำชะมูลฝอยที่ออกมามีการระบายทิ้งทั้งหมด ในขณะที่ถึงที่ 2 มีการ หมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยภายในด้วย ทำให้ไนโตรเจนบางส่วนถูกสะสมอยู่ภายใน ส่วนในถึงที่ 1 และ 3 ซึ่งไม่มีการเติมอากาศ แต่พบว่าปริมาณไนโตรเจนที่ลดลงอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะบริเวณด้านบน น่าจะเกิดจากอากาศจากภายนอกไหลเข้ามาภายในถึงได้ง่าย เนื่องจาก ด้านบนปกคลุมด้วยชั้นดินร่วนปนทราย (ดินร่วน 1 ส่วน ทราย 3 ส่วน) ซึ่งมีความสามารถถ่ายเท อากาศได้ดี นอกจากนี้จากการที่ปริมาณไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดฤดูฝนลดลงอย่างมากแสดงว่าตัวแปร ที่สำคัญอีกตัวหนึ่งคือ น้ำฝน ซึ่งเป็นตัวเพิ่มความชื้นให้กับมูลฝอยและยังเพิ่มออกซิเจนให้กับมูล ฝอยด้วยอีกทางหนึ่ง

การเติมอากาศทำให้อินทรีย์ไนโตรเจนเปลี่ยนรูปเป็นแอมโมเนียด้วยการใช้ผ่านกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน ซึ่งเกิดได้ง่ายกว่าการย่อยสลายภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก (Mineralization) และถ้ามีออกซิเจนมากพอ แอมโมเนียก็จะเปลี่ยนรูปเป็นไนเตรตได้ เมื่อไนเตรตไหลไปอยู่ด้านล่างซึ่งอยู่ภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก ไนเตรตก็จะเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจนต่อไปได้ (Onay and Pohland, 1998) และน้ำฝนที่เติมลงไปจะชะแอมโมเนียไปส่วนล่างของมูลฝอย และไหลออกสู่ภายนอกถัง ทำให้บริเวณส่วนบนของมูลฝอยมีปริมาณไนโตรเจนลดลงมากกว่าด้านล่าง ซึ่งถ้าเป็นเช่นนั้นการลดลงของไนโตรเจนในถังที่ 1 ก็น่าจะสูงกว่าถังที่ 3 ซึ่งต้องหมุนเวียนน้ำกลับ นั่นก็เพราะปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ไหลออกจากถังที่ 1 มีปริมาณน้อย โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้ง ทำให้แอมโมเนียไนโตรเจนถูกสะสมอยู่บริเวณด้านล่าง และตัวแอมโมเนียนี้จะมีความเสถียรภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก (Burton and Watson-Craik, 1998)

ตารางที่ 11 ผลกระทบของการเติมอากาศต่อลักษณะสมบัติของมูลฝอย

สมบัติของมูลฝอย	ถังที่ 1		ถังที่ 2		ถังที่ 3		ถังที่ 4	
	บน	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง	บน	ล่าง
ความสูงชั้นมูลฝอย (m)								
- เริ่มการทดลอง	1.52		1.49		1.55		1.48	
- สิ้นสุดการทดลอง	1.50		1.46		1.51		1.45	
ความชื้น (%)								
- เริ่มการทดลอง	79.81	74.38	62.43	64.05	72.45	66.35	75.36	76.35
- สิ้นสุดฤดูฝน	46.81	56.23	55.44	43.85	74.41	51.19	38.58	52.45
- สิ้นสุดการทดลอง	45.47	52.94	52.52	61.55	75.50	43.52	36.33	32.41
ของแข็งรวม (%)								
- เริ่มการทดลอง	53.19	43.77	37.57	56.15	25.59	48.81	61.42	47.55
- สิ้นสุดการทดลอง	47.06	54.53	47.48	3.45	24.50	56.48	63.67	67.59
ของแข็งระเหย (% dry)								
- เริ่มการทดลอง	56.01	58.73	44.56	57.32	48.64	62.71	47.99	56.23
- สิ้นสุดการทดลอง	66.54	63.81	78.62	72.79	79.31	80.11	77.64	69.12
เถ้า (% dry)								
- เริ่มการทดลอง	43.99	41.27	55.44	42.68	51.36	37.29	52.01	43.77
- สิ้นสุดการทดลอง	33.46	36.19	21.38	27.21	20.69	19.89	22.36	30.88
ไนโตรเจนทั้งหมด (mg N /g dry)								
- เริ่มการทดลอง	19.71	16.21	26.86	18.40	16.87	13.24	28.24	21.49
- สิ้นสุดฤดูฝน	12.44	11.20	9.48	4.35	5.99	4.70	7.00	10.60
- สิ้นสุดการทดลอง	8.92	11.63	9.07	4.64	5.56	6.70	5.40	4.32
- ร้อยละที่ลดลง	54.74	28.25	66.23	74.78	67.04	49.40	80.88	79.90

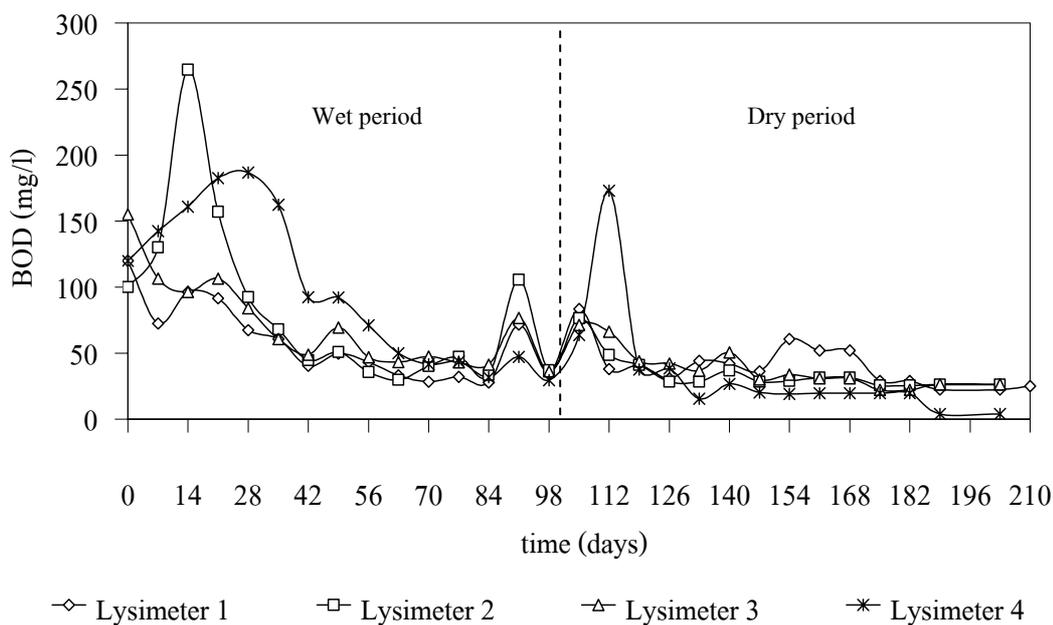
1.2 ผลของการเติมอากาศต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอย

1.2.1 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดี และซีโอดี ในน้ำชะมูลฝอย

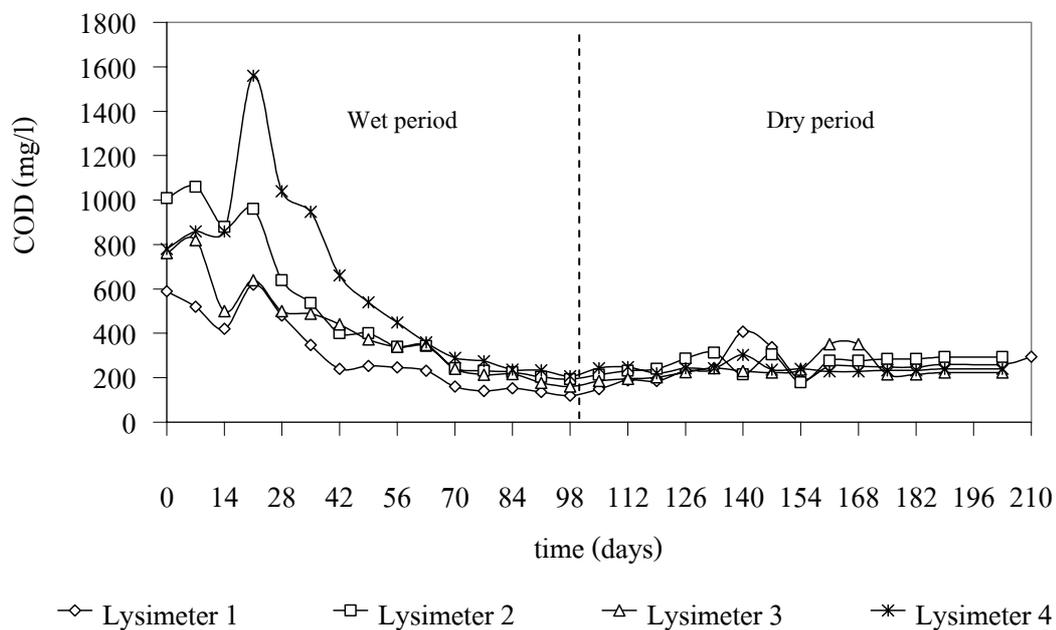
การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของถัง 4 ดังแสดงดังภาพที่ 13 โดยการเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีในช่วงฤดูฝนที่มีการเติมน้ำฝนวันละ 8.69 ลิตร เป็นเวลา 100 วัน จะสังเกตเห็นว่าค่าบีโอดีของถังที่ 1 เป็นถังอ้างอิง ภายในมีการย่อยสลายตามธรรมชาติ มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง เช่นเดียวกับ ถังที่ 3 ซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมด้วย ในขณะที่ถังที่มีการเติมอากาศบริเวณด้านบน ดังถังที่ 4 พบว่า ค่าบีโอดีในน้ำชะมูลฝอยค่อย ๆ สูงขึ้นในช่วงเดือนแรก และค่อย ๆ ลดลงจนใกล้เคียงกับถังอื่น ๆ ประมาณวันที่ 56 ของการทดลอง ส่วนในถังที่ 2 ซึ่งมีการเติมอากาศร่วมกับการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย พบว่า ปริมาณบีโอดีในน้ำชะมูลฝอยเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 สัปดาห์แรก และลดลงจนใกล้เคียงกับถังที่ไม่มีการเติมอากาศ (ถังที่ 1 และ 3) อย่างรวดเร็วใน 2 สัปดาห์ต่อมา ในช่วงฤดูแล้ง หลังจากหยุดเติมน้ำฝนพบว่า ค่าบีโอดีของทุกถังเพิ่มขึ้นทันที ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้คล้ายกับการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดี ที่เคเอ็น แอมโมเนีย และค่าความเป็นค่า แต่หลังจากนั้นค่าบีโอดีก็ลดลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง โดยพบว่า ค่าบีโอดีถังที่ 1 2 และ 3 ใกล้เคียงกันอยู่ที่ 25.00 26.02 และ 26.44 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ถังที่ 4 มีค่าบีโอดีค่ามากอยู่ที่ 3.84 มิลลิกรัมต่อลิตร

การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของถัง 4 ดังแสดงดังภาพที่ 14 พบว่ามีลักษณะเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดี โดยในช่วงฤดูฝนค่าซีโอดีในถังที่ 1 ถังอ้างอิง และถังที่ 3 ที่มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนถังที่ 4 ซึ่งมีการเติมอากาศบริเวณด้านบน ค่าซีโอดีสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนแรก และลดลงอย่างรวดเร็วจนใกล้เคียงกับถังอื่นในช่วงเดือนที่สองของการทดลอง ส่วนในถังที่ 2 นอกจากการเติมอากาศบริเวณด้านบนแล้วมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ พบว่า ค่าซีโอดีมีแนวโน้มลดลงทันทีหลังเดินระบบ และจากการสังเกตเห็นว่า ค่าซีโอดีของถังที่ 1 ลดลงมากมาอยู่ที่ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อสิ้นสุดฤดูฝน แต่เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง พบว่า ค่าซีโอดีของถังที่ 1 เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องและเริ่มคงที่ ในช่วงสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งลักษณะดังกล่าวเหมือนสิ่งที่เกิดขึ้นกับถังที่ 2 3 และ 4 นอกจากนี้เมื่อคิดค่า BOD/COD จะพบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลองทุกถังมีค่า BOD/COD ต่ำกว่า 0.1 นั้นแสดงว่า ปริมาณสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้มีน้อยมาก ปฏิกริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์แทบไม่สามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งพบว่าในถังที่มีการเติมอากาศ ถังที่ 4 สัดส่วน BOD/COD ต่ำกว่า 0.1

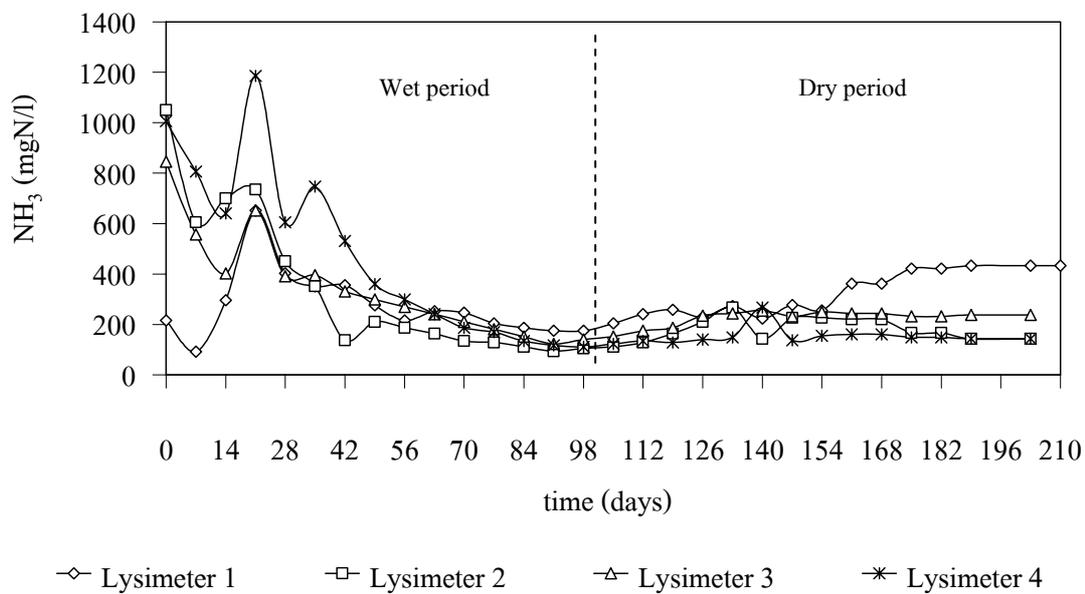
ตั้งแต่ช่วงวันที่ 133 ตามด้วยถังที่ 3 ซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย และถังที่ 2 ที่มีการเติมอากาศร่วมกับการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ในช่วงวันที่ 161 และ 175 ของการทดลอง ตามลำดับ ส่วนในถังที่ 1 สัดส่วน BOD/COD ลดลงต่ำกว่า 0.1 เมื่อเกือบสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งจะเห็นว่าถังที่มีการเติมอากาศ สัดส่วน BOD/COD จะลดลงเร็วที่สุด เป็นเพราะเมทาบอลิซึมออกซิเดชันโดยจุลินทรีย์กลุ่มใช้ออกซิเจนมีอัตราสูง (O'Keefe and Chynoweth, 2000)



ภาพที่ 13 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอย



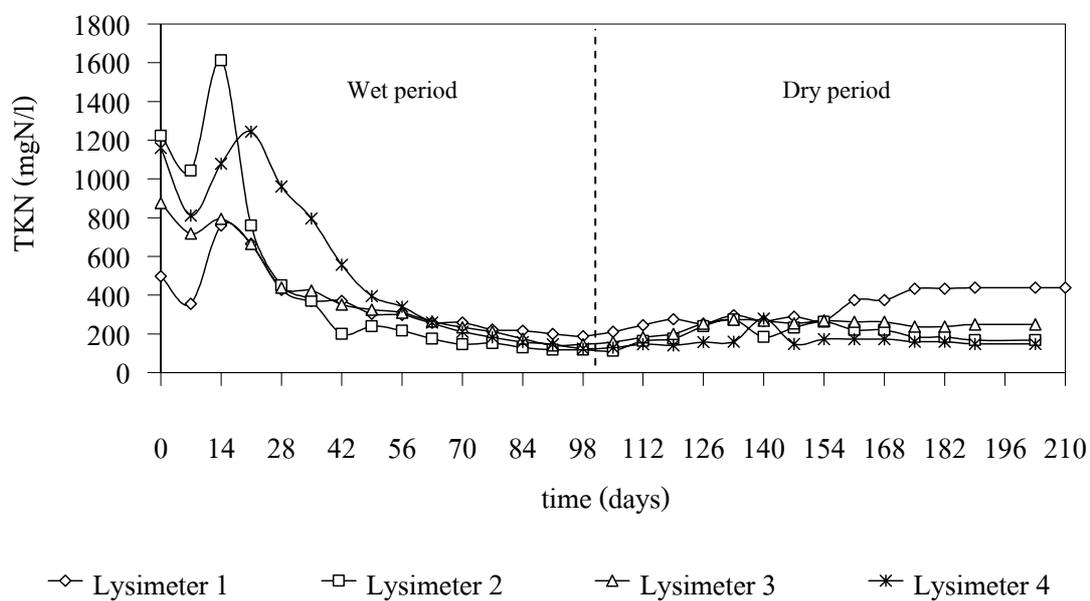
ภาพที่ 14 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย



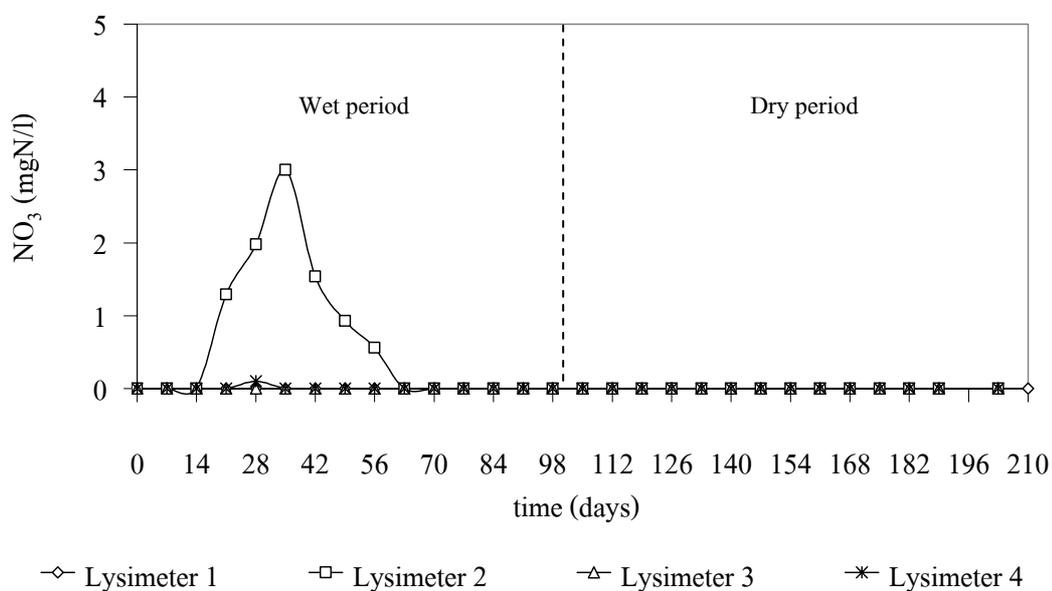
ภาพที่ 15 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอย

1.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอย

การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียและทีเคเอ็น แสดงดังภาพที่ 15 และ 16 ตามลำดับ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ช่วง คือ ในช่วงฤดูฝน และฤดูแล้ง ในช่วงแรกของฤดูฝนพบว่า ความเข้มข้นของทีเคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยของทั้ง 4 ถัง เพิ่มขึ้นมาก แต่เมื่อถึงฤดูค่าแอมโมเนียกลับพบว่ามิต่ำน้อยมาก จนเข้าสัปดาห์ที่ 3 ปริมาณแอมโมเนียจึงมีค่าใกล้เคียงกับค่าทีเคเอ็น นั้นแสดงว่าน้ำฝนที่ตกลงไปทำให้เกิดการชะละลายของสารอินทรีย์ไนโตรเจนจากมูลฝอย หลังจากสัปดาห์ที่ 3 ค่าทีเคเอ็นและแอมโมเนียของทั้ง 4 ถังเริ่มลดลงเรื่อย ๆ ในกรณีของถังที่ 1 ถึงอ่างอิง และถังที่ 3 ซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 1 ครั้งต่อสัปดาห์ การลดลงที่เกิดขึ้นมาจากแอมโมเนียที่อยู่ในถังถูกชะออกมากับน้ำชะมูลฝอย ไม่ได้เกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลาย เนื่องจากแอมโมเนียมีความเสถียรภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน (Burton and Watson-Craik, 1998) ส่วนกรณีของถังที่ 4 ที่มีการเติมอากาศบริเวณด้านบนมูลฝอย และถังที่ 2 ที่เติมอากาศร่วมกับการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ปฏิกิริยาการย่อยสลายในส่วนที่มีการเติมอากาศด้านบน แอมโมเนียจะเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์ และไนเตรต ปริมาณไนเตรตจะมากขึ้น ดังภาพที่ 17 ปริมาณไนเตรตสามารถตรวจวัดได้ในถังที่ 2 ตั้งแต่ช่วงวันที่ 21 ถึง วันที่ 56 ในขณะที่ถังที่ 4 พบเพียงช่วงวันที่ 28 ของการทดลอง สาเหตุน่าจะมาจากปริมาณอากาศที่ตกลงไป ไม่เพียงพอที่จะเปลี่ยนแอมโมเนียให้ไปอยู่ในรูปไนเตรตได้ เพราะการออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนเตรตต้องใช้ออกซิเจน 4.6 กิโลกรัมต่อแอมโมเนีย 1 กิโลกรัม ซึ่งการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยก็ช่วยทำให้แอมโมเนียสามารถสัมผัสกับอากาศได้มากขึ้น สามารถเปลี่ยนเป็นไนเตรตได้มากขึ้น (ดังภาพที่ 17 ของถังที่ 2) อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทดลองหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยเพียง 1 ครั้งต่อสัปดาห์ ด้วยอัตราการไหลเข้า 20 ลิตรต่อนาที ซึ่งเร็วมาก จนอาจทำให้การสัมผัสระหว่างน้ำชะมูลฝอยกับอากาศไม่ดีพอ ซึ่งจากการศึกษาของอุบลวรรณ (2543) พบว่าการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 15 ครั้งต่อเดือน ทำให้ปฏิกิริยาภายในหลุมฝังกลบเกิดขึ้นได้ดีกว่าการหมุนเวียนน้ำชะ 4 ครั้งต่อเดือน หรืออาจเกิดจากระยะเวลาในการตรวจวัด ซึ่งทำเพียงสัปดาห์ละครั้ง ซึ่งจากงานวิจัยของ Price *et al.* (2003) พบว่า ไนเตรตสามารถถูกทำลายหมดภายใน 24 - 48 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะไร้อากาศ (แอนน็อกซิก) ซึ่งก็คือบริเวณด้านล่างของชั้นมูลฝอยที่อากาศไม่สามารถลงไปถึง



ภาพที่ 16 การเปลี่ยนแปลงค่าที่เคเอ็นของน้ำชะมูลฝอย



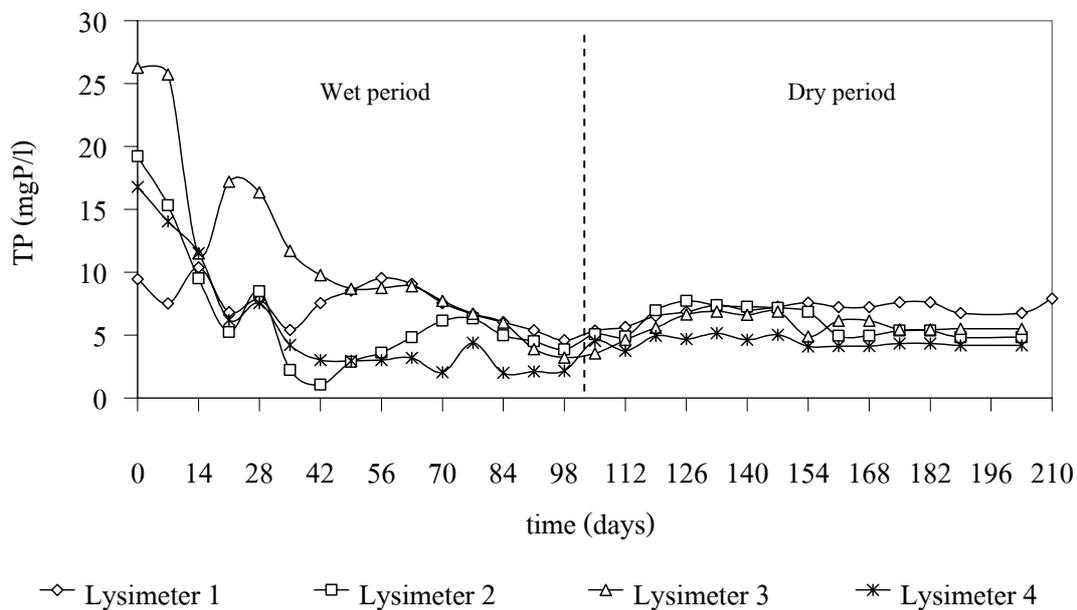
ภาพที่ 17 การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรตของน้ำชะมูลฝอย

หลังจากสิ้นสุดฤดูฝนพบว่า ค่าแอมโมเนียและทีเคเอ็น ของทั้ง 4 ถังเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามสำหรับถังที่ 2 และ 4 ซึ่งมีการเติมอากาศพบว่า ค่าทีเคเอ็นและแอมโมเนียเริ่มลดลงอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ช่วงกลางฤดูแล้งจนถึงสิ้นสุดการทดลอง แต่จะเห็นว่าถังที่ 2 ซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยร่วมด้วยพบว่า ค่าแอมโมเนียและทีเคเอ็นมีการลดลงช้ากว่า เป็นเพราะสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียบางส่วนถูกสะสมอยู่ในถัง ไม่ถูกชะออกไปภายนอกหมดเหมือนถังที่ 4 นอกจากนี้จะเห็นว่าในถังที่ 1 ที่เป็นถังอ้างอิงมีค่าทีเคเอ็นและแอมโมเนียสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดการทดลอง เป็นเพราะไม่มีการเติมน้ำฝนลงไปชะแอมโมเนียที่เกิดจากการย่อยสลายภายในถัง และปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ออกมาก็น้อยมาก ทำให้แอมโมเนียส่วนมากสะสมอยู่ในถัง ในกรณีของถังที่ 3 พบว่าทีเคเอ็นและแอมโมเนียค่อนข้างคงที่ ตั้งแต่ช่วงวันที่ 126 จนถึงสิ้นสุดการทดลอง นั่นอาจเป็นเพราะการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยช่วยเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลาย หรือปริมาณไนโตรเจนในมูลฝอยของถังที่ 3 น้อยกว่าถังอื่น ๆ (ดังตารางที่ 11) เนื่องจากถังที่ 3 ผ่านการเร่งปฏิกิริยาด้วยการกักเก็บน้ำชะมูลฝอย และหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยมาเป็นเวลา 2 ปี (สาลินี, 2546; ทวีศักดิ์, 2547)

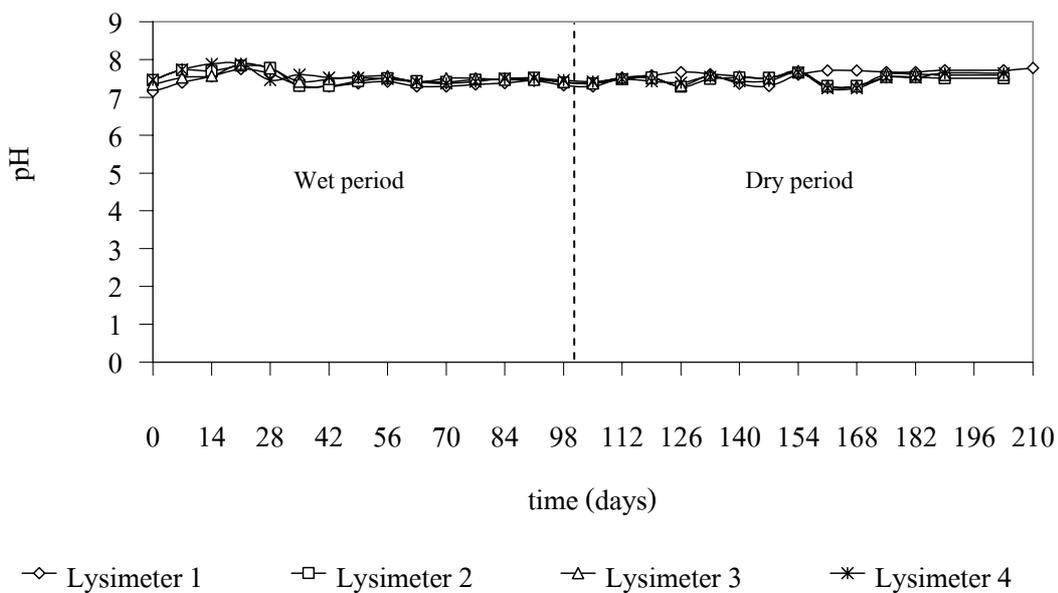
1.2.3 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์อื่น ๆ

การเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของน้ำชะมูลฝอย แสดงดังภาพที่ 18 พบว่า ในช่วงฤดูฝนค่าฟอสฟอรัสของทั้ง 4 ถัง ลดลงอย่างต่อเนื่อง เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งค่าฟอสฟอรัสของทั้ง 4 ถังเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และเกือบคงที่เมื่อใกล้สิ้นสุดการทดลอง โดยค่าฟอสฟอรัสของถังที่ 1 มีค่าใกล้เคียงกับเมื่อเริ่มต้น ขณะที่อีก 3 ถังที่เหลือลดลงจากเดิมมาก

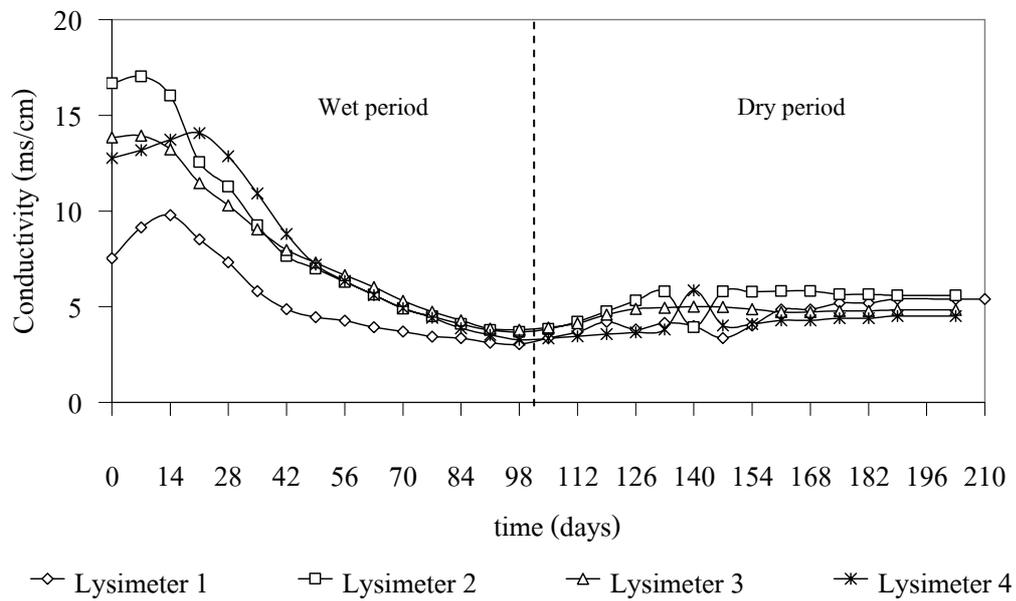
การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยดังภาพที่ 19 พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของทั้ง 4 ถัง มีลักษณะแบบเดียวกัน โดยจะแกว่งตัวอยู่ในช่วง 7.2 - 7.9 นั้น แสดงให้เห็นว่าปฏิกิริยาภายในแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยเข้าสู่สภาวะคงตัว (Maturation Phase) ซึ่งก็ต่อเนื่องจากงานวิจัยของทวีศักดิ์ (2547) ที่พบว่า ค่าพีเอชของทั้ง 4 ถัง มีค่าเพิ่มขึ้นและคงที่ในช่วง 7.0 - 7.5 เมื่อใกล้สิ้นสุดการทดลอง นอกจากนี้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นก็ลดลง ปริมาณก๊าซมีเทนที่ตรวจวัดได้เพียงร้อยละ 13 - 17 เท่านั้น ส่วนการเปลี่ยนแปลงของค่าการนำไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 20 พบว่าค่าการนำไฟฟ้าของทุกถังลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงสิ้นสุดฤดูฝน เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้ง ค่าการนำไฟฟ้าของทุกถังก็เริ่มคงที่จนถึงสิ้นสุดการทดลองโดยอยู่ในช่วง 4 - 6 มิลลิซิเมนต่อเซนติเมตร



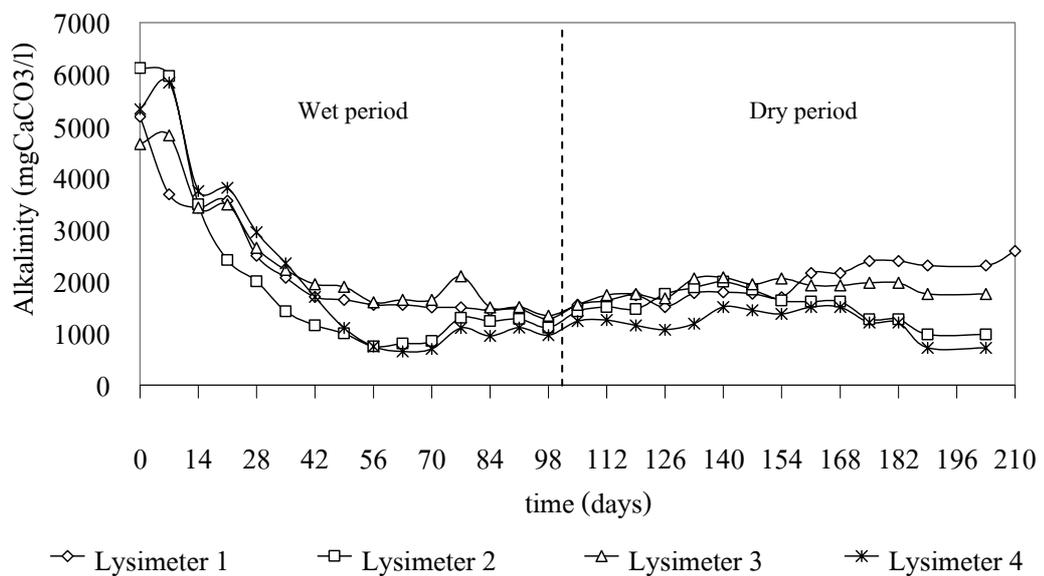
ภาพที่ 18 การเปลี่ยนแปลงค่าฟอสฟอรัสของน้ำชะมูลฝอย



ภาพที่ 19 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอย



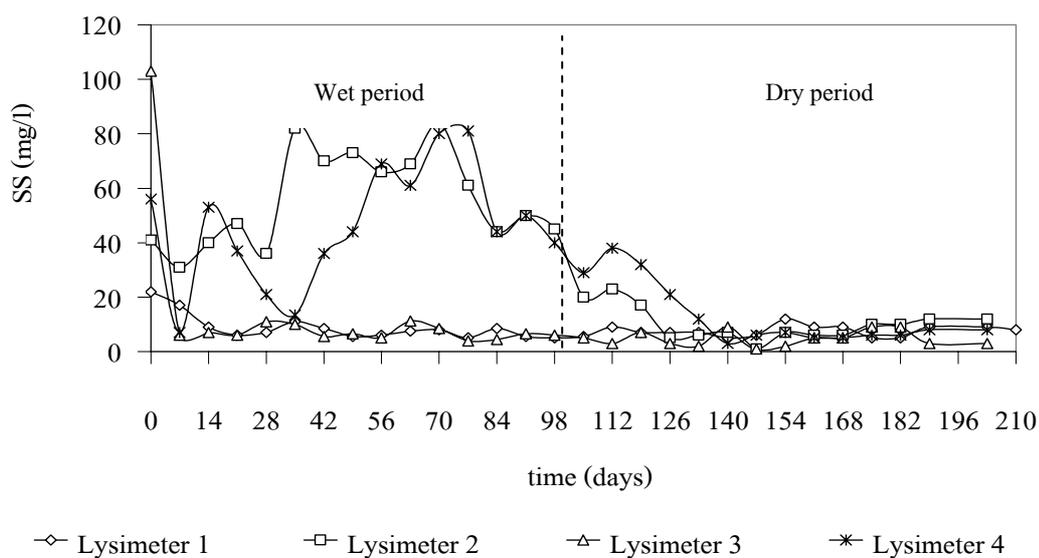
ภาพที่ 20 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของน้ำชะมูลฝอย



ภาพที่ 21 การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างของน้ำชะมูลฝอย

การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นต่างของน้ำชะมูลฝอยแสดงดังภาพที่ 21 พบว่าค่าความเป็นต่างของทั้ง 4 ถึงลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 42 วันแรกของการเดินระบบในช่วงฤดูฝน จากนั้นก็ค่อนข้างคงที่ เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งค่าความเป็นต่างของทุกถังเริ่มสูงขึ้น และเริ่มมีแนวโน้มลดลงโดยเฉพาะในถังที่มีการเติมอากาศบริเวณด้านบน (ดังภาพ ถังที่ 2 และ 4) ส่วนถังที่ 1 เมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งค่าความเป็นต่างเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง โดยเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าความเป็นต่างของถังที่ 1 2 3 และ 4 อยู่ที่ 2,586.4 975.2 1,759.6 และ 720.8 มิลลิกรัมของ CaCO_3 ต่อลิตร จะเห็นว่าถังที่ 2 และ 4 ซึ่งมีการเติมอากาศลงไปมีค่าความเป็นต่างต่ำกว่าถังที่ไม่มีการเติมอากาศ เนื่องจากความเป็นต่างจะถูกใช้ไปในการไนตริไฟเคชั่น ดังสมการที่ (10) และ (11)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำชะมูลฝอยจากภาพที่ 22 พบว่าในช่วงฤดูฝนที่มีการเติมน้ำฝน 8.69 ลิตรต่อวัน ในถังที่ 2 และ 4 ที่มีการเติมอากาศบริเวณด้านบน ค่าของแข็งแขวนลอยมีค่าสูงกว่าของถังที่ไม่มีการเติมอากาศซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนักตลอดการทดลอง และเมื่อเข้าสู่ฤดูแล้งพบว่า ค่าของแข็งแขวนลอยของถังซึ่งมีการเติมอากาศลดลงอย่างรวดเร็วจนใกล้เคียงกับถังที่ไม่มีการเติมอากาศ จึงกล่าวได้ว่าการเติมอากาศลงไปในมูลฝอยทำให้สภาพมูลฝอยเกิดความปั่นป่วนขึ้น และเมื่อมีน้ำไหลผ่านลงมาก็จะชะอนุภาคต่าง ๆ ลงสู่ด้านล่าง แต่เมื่อไม่มีน้ำไหลลงมา ค่าของแข็งแขวนลอยก็ลดลงอย่างชัดเจน



ภาพที่ 22 การเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอย

ตารางที่ 12 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่ 1

สมบัติของ น้ำชะมูลฝอย	ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4	หลุมฝังกลบ คงตัว*
BOD (mg/l)	25.00	26.02	26.44	3.84	100 - 200
COD (mg/l)	296.93	293.33	223.33	239.99	100 - 500
TKN (mg/l)	439.26	166.21	249.31	148.40	-
NH ₃ -N (mg/l)	433.33	142.46	237.44	142.46	20 - 40
SS (mg/l)	8.00	12.00	3.00	8.00	100 - 400
Total P (mg/l)	7.90	4.83	5.49	4.18	5 - 10
pH	7.78	7.50	7.59	7.64	6.5 - 7.5
Alkalinity (mg/l)	2,586.40	975.2	1,759.6	720.8	200 - 1,000
น้ำชะมูลฝอยสะสม (l)	671.00	661.99	608.87	703.64	-
COD Leaching สะสม (g)	177.63	268.61	209.18	337.50	-
TKN Leaching สะสม (g)	219.24	197.69	193.02	264.04	-

หมายเหตุ: * หลุมฝังกลบมูลฝอยที่มีอายุมากกว่า 10 ปี (Tchobanoglous *et.al.*, 1993)

ตารางที่ 12 แสดงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยและผลของการชะละลายสารอินทรีย์จากมูลฝอยเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น ในถังที่ 4 ซึ่งมีการเติมอากาศ มีค่ามากที่สุด คือ 703.64 ลิตร รองลงมาคือ ถังที่ 1 ถังอ้างอิง มีปริมาณน้ำชะมูลฝอยสะสม 671.0 ลิตร ส่วนในถังที่ 2 และ 3 ซึ่งมีการหมุนเวียนน้ำ พบว่า ปริมาณน้ำชะมูลฝอยมีค่าต่ำกว่าอยู่ที่ 661.99 และ 608.87 ลิตร ตามลำดับ จากผลที่ได้ การเติมอากาศไม่ได้ทำให้ปริมาณน้ำชะมูลฝอยลดลงแต่กลับเป็นการเพิ่มปริมาณน้ำชะมูลฝอย ซึ่งก็สอดคล้องกับปริมาณซีโอดี และทีเคเอ็น ชะละลายสะสม ที่ออกจากถัง พบว่า ถังที่ 4 มีปริมาณซีโอดี และทีเคเอ็นที่ถูกชะละลายสะสมออกมามากที่สุด ซึ่งก็สอดคล้องกับค่าปริมาณไนโตรเจนของมูลฝอย (ตั้งที่กลางไว้ข้างต้น) ที่ถังที่ 4 ซึ่งมีการเติมอากาศมีปริมาณไนโตรเจนลดลงมากที่สุด (ประมาณร้อยละ 80)

จากการเปลี่ยนแปลงลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดพบว่า เมื่อสิ้นสุดการทดลององค์ประกอบต่าง ๆ ของน้ำชะมูลฝอยที่ออกมาจากถังที่ 2 3 และ 4 มีลักษณะ

ใกล้เคียงกับน้ำชะมูลฝอยที่ออกมาจากหลุมฝังกลบที่มีสภาพคงตัว ผ่านการย่อยสลายมานานกว่า 10 ปี (Tchobanoglous *et al.*, 1993) ได้แก่ ค่าบีโอดี ซีโอดี ปริมาณของแข็งแขวนลอย ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด พีเอช และความกระด้าง ส่วนค่าแอมโมเนียไนโตรเจนพบว่าทุกถังมีค่าสูงกว่า จากผลการศึกษาก็จะเห็นว่าลักษณะสมบัติมูลฝอย และน้ำชะมูลฝอย ของถังที่ 3 พบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกับถังที่ 2 และ 4 มาก เนื่องจากถังที่ 3 ซึ่งในการทดลองนี้ควบคุมให้มีการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย ค่าความสกปรกในน้ำชะมูลฝอยเริ่มต้นมีค่าต่ำที่สุดมีสาเหตุจากก่อนหน้านี้ ถังนี้มีการเร่งปฏิกิริยาการย่อยสลายด้วยการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยและกักเก็บน้ำชะมูลฝอย ซึ่งผลการทดลองพบว่า มีประสิทธิภาพสูงมาก สามารถลดค่าความสกปรกต่าง ๆ ในน้ำชะมูลฝอยได้ดีที่สุด

จากลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า มีค่าต่ำมาก โดยเฉพาะเมื่อเทียบกับลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจากแบบจำลองฝังกลบมูลฝอย ในช่วงปีที่ 1 (สาลินี, 2546) ที่มีค่าบีโอดี ซีโอดี และทีเคเอ็น สูงกว่า 45,000 60,000 และ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เป็นต้น ดังนั้นมูลฝอยภายในของถัง 3 ถัง จึงถือว่ามีความเสถียรในระดับหนึ่ง ส่วนถังที่ 1 แม้ว่าค่าบีโอดี และซีโอดี ในน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำ และใกล้เคียงกับถังอื่น ๆ แต่เมื่อสังเกตปริมาณไนโตรเจน (แอมโมเนียและทีเคเอ็น) ในน้ำชะมูลฝอย พบว่า มีค่าสูงกว่า 400 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งถือว่ามีความเสถียรไม่เพียงพอที่จะนำมาใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยสดได้ เพราะนอกจากจะไม่สามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้แล้ว ยังอาจส่งผลเสียต่อการบำบัดด้วย (Zhao *et al.*, 2002) ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะนำแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยทั้ง 4 ถัง ไปใช้ในการทดลองที่ 2 ต่อไป โดยจะใช้มูลฝอยเป็นชั้นกรองชีวภาพ (Biofilter) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีสารอินทรีย์สูงจากระบบฝังกลบมูลฝอยใหม่ ต่อไป

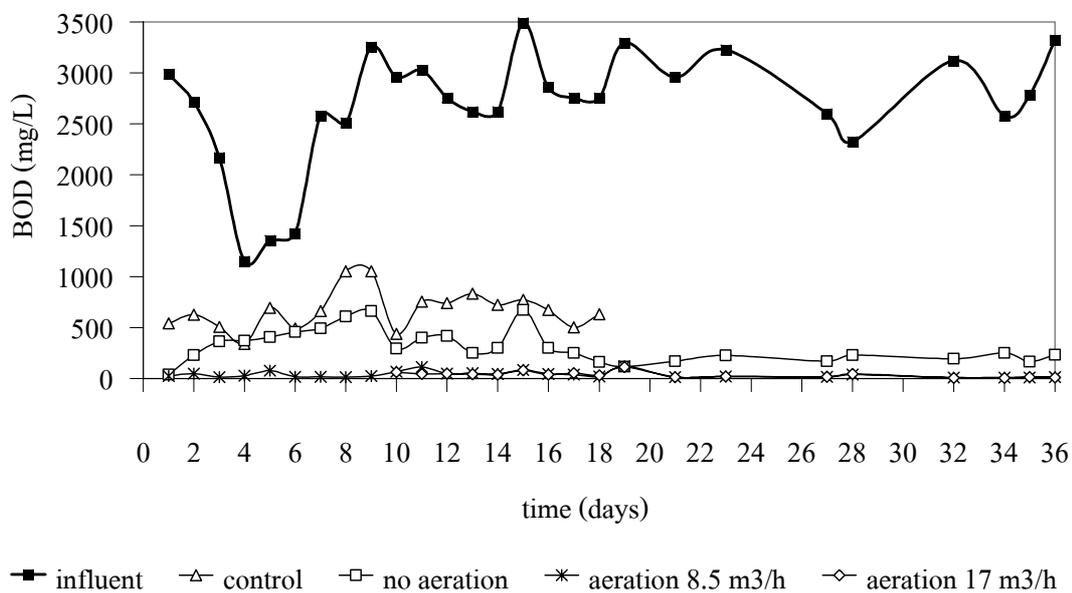
2. การศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยโดยมูลฝอยที่ผ่านการปรับเสถียรแล้ว

2.1 การศึกษาผลกระทบของการเติมอากาศต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยในแบบจำลองฝังกลบมูลฝอย

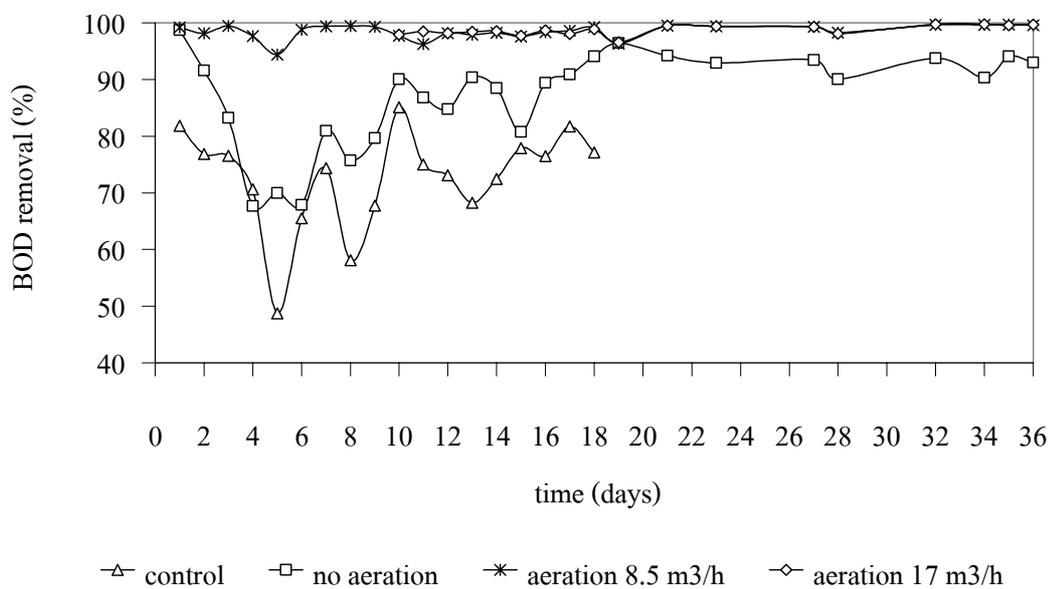
ในการทดลองนี้จะศึกษาการใช้ชั้นมูลฝอยที่ผ่านการปรับเสถียรจากการทดลองที่ 1 มาใช้ในการบำบัดน้ำชะมูลฝอยที่มีความสกปรกสูงโดยเปรียบเทียบสถานะที่มีการเติมอากาศกับสถานะไม่มีการเติมอากาศ ซึ่งในการทดลองนี้ใช้น้ำตัวอย่างที่สังเคราะห์ขึ้นจากการหมักมูลฝอยที่มีองค์ประกอบแสดงดังตารางที่ 7 โดยก่อนนำมาใช้ในการศึกษามีการปรับค่าซีไอดีให้อยู่ในช่วง 3,000 - 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นำตัวอย่างน้ำที่เจือจางแล้วนั้นมาเติมในแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยในอัตรา 19 ลิตรต่อวัน (20 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน) ด้วยอัตราการไหลเข้า 0.75 ลิตรต่อนาที ซึ่งสถานะที่ใช้ในการทดลองของแต่ละถังแสดงดังภาพที่ 11 ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยเข้าและออกจากถัง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 การเปลี่ยนแปลงค่าบีไอดี และซีไอดีในน้ำชะมูลฝอย

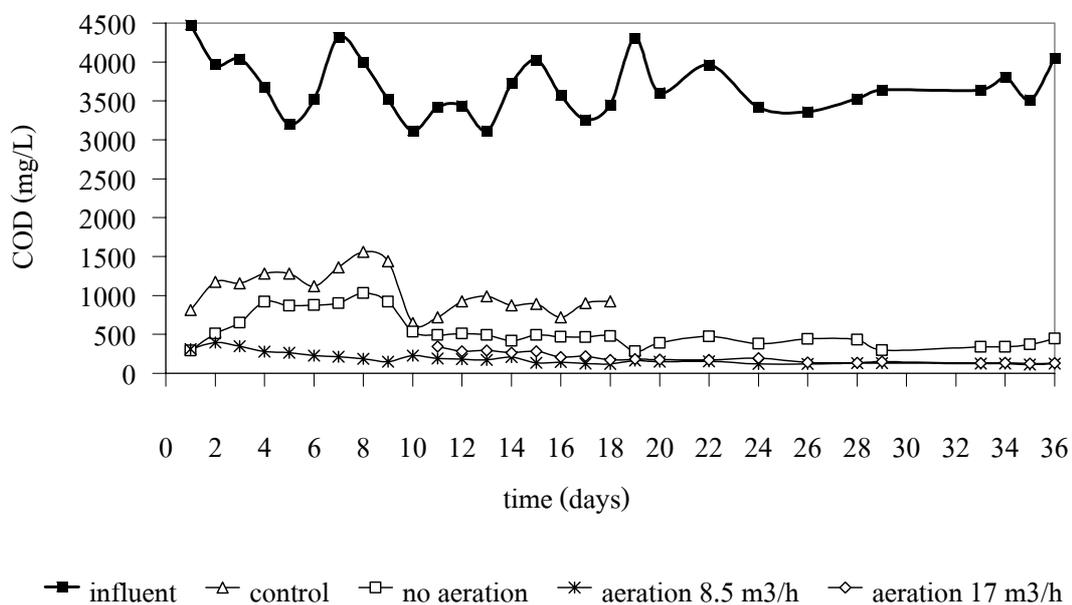
การเปลี่ยนแปลงค่าบีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดแสดงดังภาพที่ 23 และ 24 ปริมาณบีไอดีในน้ำชะมูลฝอยขาเข้าส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 2,000 - 3,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณบีไอดีในน้ำชะมูลฝอยขาออกของถังที่มีตัวกลางเป็นมูลฝอยไม่ผ่านการปรับเสถียร พบว่า ค่าบีไอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าค่อนข้างสูงอยู่ในช่วง 300 - 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 50 - 85 ในขณะที่ถังที่มีตัวกลางเป็นมูลฝอยปรับเสถียรแล้วค่าบีไอดีที่ได้ต่ำกว่าอยู่ในช่วง 150 - 700 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อเดินระบบไปเรื่อย ๆ ค่าบีไอดีก็เริ่มลดลงไปอยู่ในช่วง 115 - 250 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดอยู่ในช่วงร้อยละ 90 - 97 สำหรับถังที่มีการเติมอากาศในชั้นมูลฝอยปรับเสถียร ค่าบีไอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ทันทีตั้งแต่เริ่มเดินระบบ ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าร้อยละ 97 และเมื่อเดินระบบไปเรื่อย ๆ ค่าบีไอดีลดลงต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดสูงกว่าร้อยละ 99



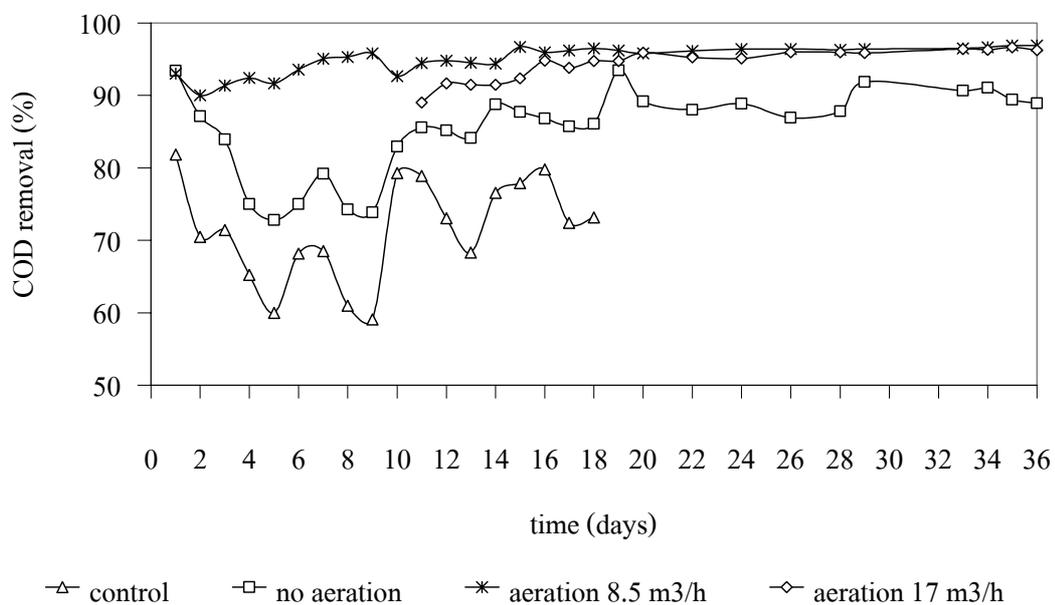
ภาพที่ 23 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ



ภาพที่ 24 ประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ



ภาพที่ 25 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ



ภาพที่ 26 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

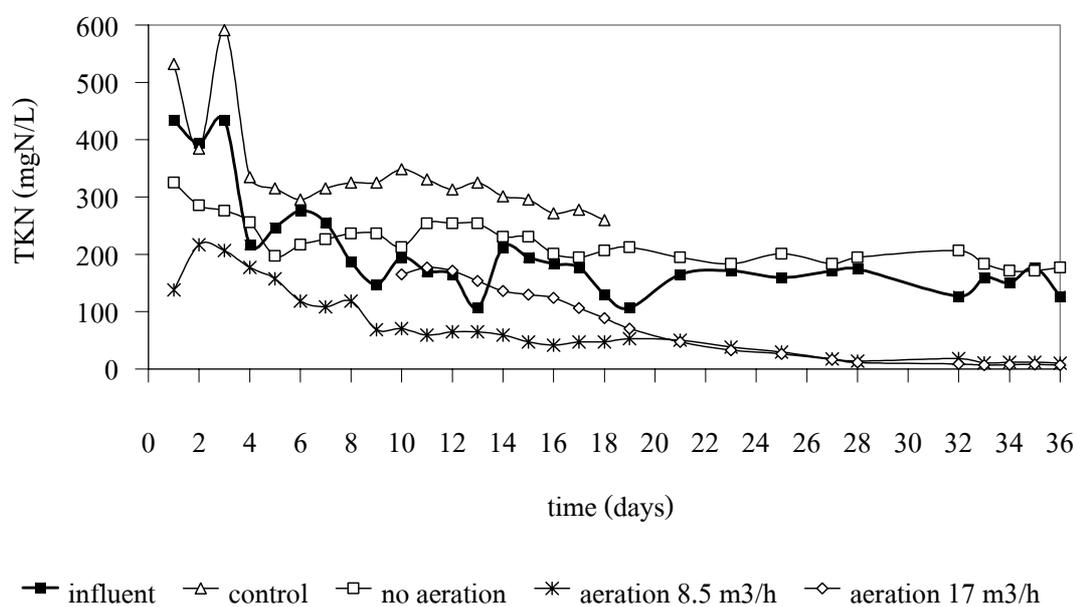
การเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดแสดงดังภาพที่ 25 และ 26 ปริมาณซีไอดีในน้ำชะมูลฝอยขาเข้ากำหนดให้อยู่ในช่วง 3,000 - 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร ในช่วงแรกของการเดินระบบพบว่า ค่าซีไอดีขาออกของทุกถังมีค่าค่อนข้างสูง แต่เมื่อเดินระบบต่อไปเรื่อย ๆ ค่าซีไอดีขาออกก็เริ่มลดลงจนเริ่มคงที่ โดยในถังที่มีตัวกลางเป็นมูลฝอยไม่ปรับเสถียรค่าซีไอดีที่ได้อยู่ในช่วง 700 - 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดประมาณร้อยละ 70 - 80 แต่ถ้าใช้ตัวกลางเป็นมูลฝอยปรับเสถียรค่าซีไอดีขาออกจะมีค่าต่ำลงอยู่ในช่วง 300 - 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดประมาณร้อยละ 85 - 92 และเมื่อมีการเติมอากาศลงไปในพื้นที่ปรับเสถียร ประสิทธิภาพการกำจัดจะสูงกว่าร้อยละ 90 ทั้งนี้ตั้งแต่เริ่มเดินระบบและเมื่อเดินระบบต่อไปเรื่อย ๆ ประสิทธิภาพการกำจัดจะสูงขึ้นอยู่ที่ร้อยละ 96 - 97 โดยมีค่าซีไอดีขาออกต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากรายงานการวิจัยของ Zhao *et al.* (2002) พบว่า การบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการใช้ถังกรองชีวภาพโดยมีมูลฝอยเป็นตัวกลาง น้ำชะมูลฝอยขาเข้าควรมีสัดส่วน BOD/COD มากกว่า 0.1 ซึ่งในการทดลองนี้ค่า BOD/COD อยู่ในช่วง 0.3 - 0.95 โดยเมื่อผ่านการบำบัด BOD/COD จะลดลงต่ำกว่า 0.1 นั้นแสดงว่าสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่เป็นสารอินทรีย์ที่มีทนต่อการย่อยสลายทางชีวภาพ นอกจากนี้ในงานวิจัยดังกล่าวให้เหตุผลของปริมาณสารอินทรีย์ที่สูงในช่วงแรกของการเดินระบบว่า เกิดจากสารอินทรีย์ที่สามารถละลายน้ำได้ และมีขนาดอนุภาคเล็กในชั้นมูลฝอย ถูกชะและหลุดออกมากับน้ำชะมูลฝอย ทำให้ช่วงสัปดาห์แรก การชะละลายจะลดลงในสัปดาห์ที่ 2 และ 3

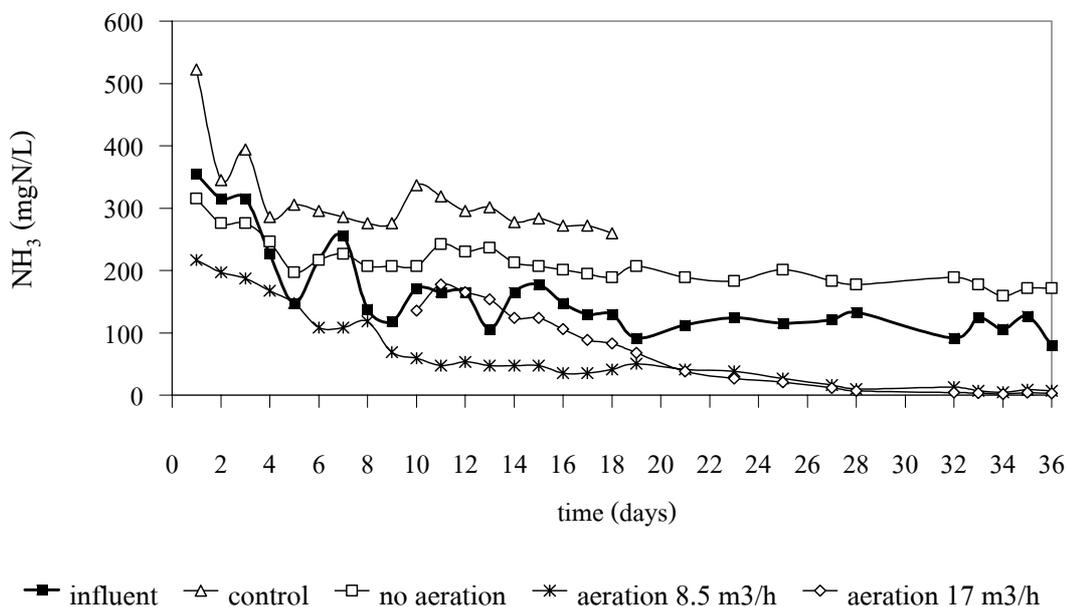
2.1.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอย

การเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นแสดงดังภาพที่ 27 ปริมาณทีเคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยขาเข้าในช่วงแรกค่อนข้างผันผวนมีค่าตั้งแต่ 150 - 450 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร อย่างไรก็ตามในช่วงต่อมาก็เริ่มนิ่งมีค่าประมาณ 100 - 200 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร การเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยขาออกของถัง 4 ถัง มีค่าแน่นอน พบว่ามีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องตามความเข้มข้นของทีเคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยขาเข้า โดยค่าทีเคเอ็นในน้ำขาออกของถังที่มีตัวกลางเป็นมูลฝอยไม่ปรับเสถียร พบว่า ก่อนหยุดเดินระบบค่าทีเคเอ็นอยู่ในช่วง 260 - 350 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าทีเคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยขาเข้า เช่นเดียวกับค่าทีเคเอ็นในน้ำขาออกของถังที่มีมูลฝอยปรับเสถียรเป็นตัวกลาง มีค่าประมาณ 170 - 220 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร

ซึ่งสูงกว่าค่าที่เคเอ็นขาเข้าเล็กน้อย อย่างไรก็ตามในถังที่มีการเติมอากาศในตัวกลางมูลฝอย พบว่าค่าที่เคเอ็นในน้ำขาออกมีค่าต่ำมากประมาณ 10 - 20 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร สำหรับการเติมอากาศด้วยอัตรา 8.5 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง และปริมาณ 7 - 9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร สำหรับการเติมอากาศด้วยอัตรา 17.0 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 85 - 93 และ 93 - 96 ตามลำดับ



ภาพที่ 27 การเปลี่ยนแปลงค่าที่เคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ



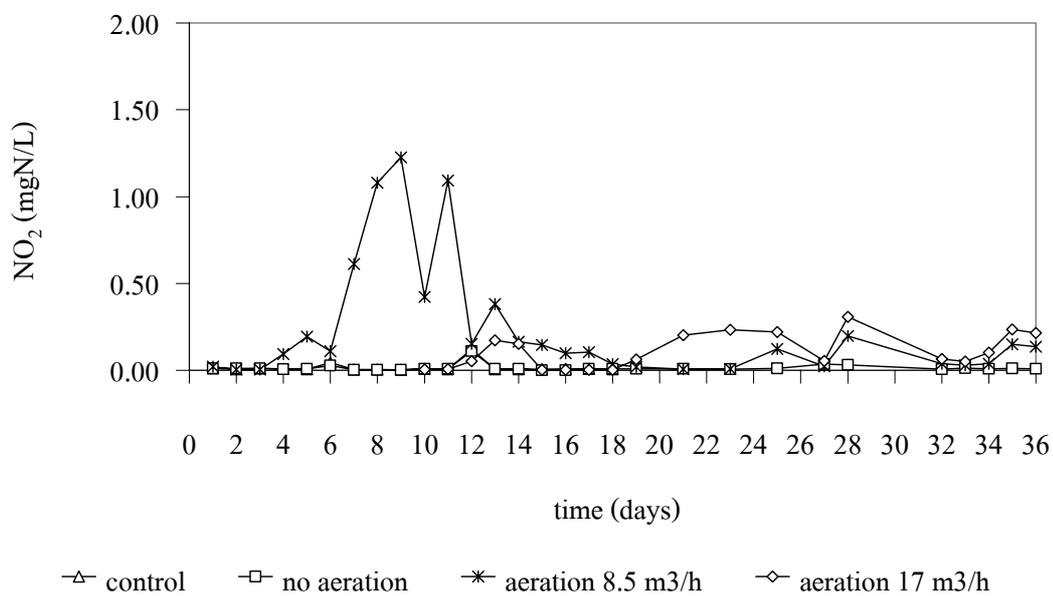
ภาพที่ 28 การเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ

ภาพที่ 28 แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณแอมโมเนีย พบว่า มีลักษณะเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของทีเคเอ็น โดยค่าแอมโมเนียในน้ำที่ผ่านการบำบัดจากถังที่มีมูลฝอยไม่ปรับเสถียรเป็นตัวกลางมีค่าประมาณ 260 - 300 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ในถังที่มีมูลฝอยปรับเสถียรเป็นตัวกลาง มีค่าแอมโมเนียขาออกประมาณ 170 - 200 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งค่าของทั้งสองถังสูงกว่าแอมโมเนียในน้ำชะมูลฝอยขาเข้าที่อยู่ในช่วง 100 - 180 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ส่วนในถังที่มีการเติมอากาศในตัวกลางมูลฝอย มีค่าแอมโมเนียขาออกอยู่ในช่วง 5 - 15 และ 2 - 7 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 85 - 95 และ 95 - 98 สำหรับการเติมอากาศด้วยอัตรา 8.5 และ 17 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง ตามลำดับ

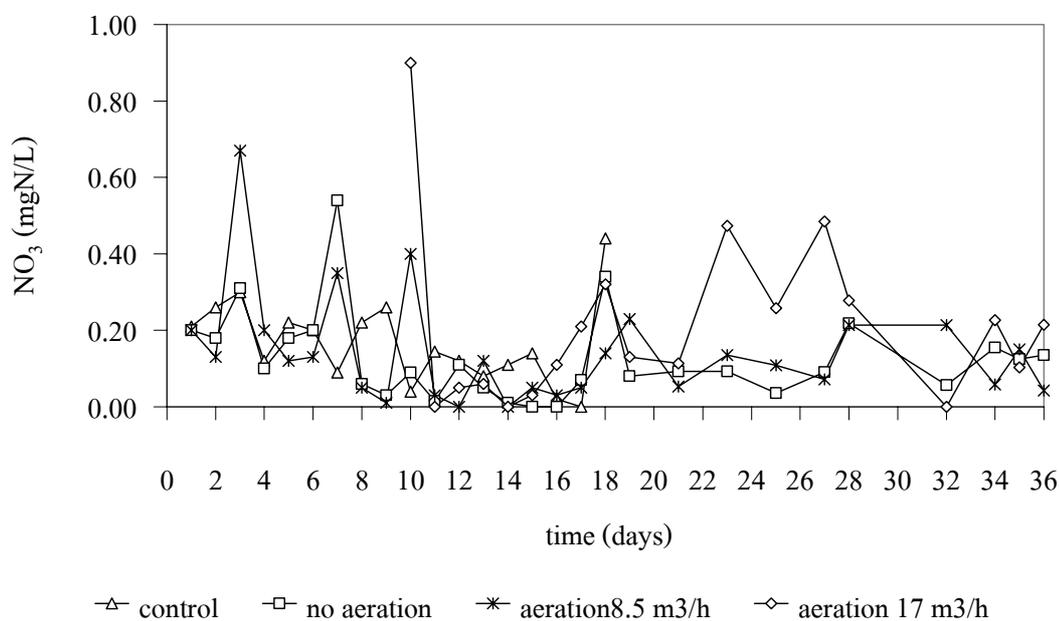
จากผลของการเปลี่ยนแปลงปริมาณทีเคเอ็นและแอมโมเนียในช่วงแรกของการเดินระบบ พบว่า ในน้ำขาออกของทุกถังมีค่าสูง หรือใกล้เคียงกับในน้ำชะมูลฝอยขาเข้า แสดงให้เห็นว่าในมูลฝอยมีสารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียอยู่ เมื่อมีการเติมน้ำชะมูลฝอยลงไป สารอินทรีย์ไนโตรเจนและแอมโมเนียก็จะถูกชะออกมา ทำให้ความเข้มข้นของทีเคเอ็นและแอมโมเนียเริ่มต้นมีค่าสูง (Onay and Pohland, 1998) เมื่อเดินระบบต่อไปเรื่อย ๆ พบว่า ในถังที่มีการเติมอากาศลงไป ความเข้มข้นของทีเคเอ็นและแอมโมเนียลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจาก

แอมโมเนียในน้ำชะมูลฝอยเปลี่ยนไปเป็นไนไตรต์ และไนเตรต ด้วยกระบวนการไนตริฟิเคชัน เช่นเดียวกับการทดลองของ Zhao *et al.*, (2002) ซึ่งพบว่าสามารถกำจัดแอมโมเนียได้มากกว่าร้อยละ 90 ด้วยการฉีดพ่นน้ำชะมูลฝอยผ่านอากาศบริเวณผิวด้านบนของชั้นมูลฝอยเก่า ในขณะที่ถึงที่ไม่มีการเติมอากาศมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เป็นเพราะแอมโมเนียมีความเสถียรภายใต้สภาวะแอนแอโรบิก (Burton and Watson-Craik, 1998)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรต์และไนเตรตแสดงดังภาพที่ 29 และ 30 พบว่าปริมาณไนไตรต์และไนเตรตของทั้ง 4 ถังมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยในถังที่มีการเติมอากาศลงไปในมูลฝอยจะมีปริมาณไนไตรต์และไนเตรตมากกว่าถังที่ไม่มีการเติมอากาศเล็กน้อย และจากผลการทดลองพบว่า ปริมาณไนไตรต์และไนเตรตส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่า 1.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ทำให้เมื่อคิดค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดสามารถตัดค่าไนไตรต์และไนเตรตทิ้งได้ คิดเฉพาะค่าที่เคเอ็นอย่างเดียวนั้น จึงกล่าวได้ว่าการเติมอากาศลงไปชั้นมูลฝอยเพื่อสร้างสภาวะไนตริฟิเคชันบริเวณด้านบน สามารถกำจัดไนโตรเจนทิ้งได้มากกว่าร้อยละ 90 ในขณะที่การทดลองของ Zhao *et al.* (2002) สามารถกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดได้เพียงร้อยละ 20 - 30 โดยไนโตรเจนส่วนมากจะคงอยู่ในรูปไนไตรต์และไนเตรต แสดงถึงกระบวนการดีไนตริฟิเคชันที่ล้มเหลว ปริมาณไนไตรต์และไนเตรตที่มีอยู่น้อยนี้อาจเกิดจากการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันขึ้นบริเวณด้านล่างของชั้นมูลฝอยซึ่งไม่มีการเติมอากาศลงไป ทำให้ไนไตรต์และไนเตรตที่เกิดขึ้นบริเวณส่วนบนของชั้นมูลฝอยถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซไนโตรเจน ดังเช่นในการศึกษาของ Price *et al.* (2003) ที่พบว่า การเติมมูลฝอยสด หรือน้ำที่มีสาร อินทรีย์คาร์บอนที่สามารถย่อยสลายได้ปริมาณสูง ๆ (น้ำชะมูลฝอย) สามารถกำจัดไนเตรตเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ได้ทั้งหมดภายใน 24 ชั่วโมง และจากการศึกษาของ Onay and Pohland (1998) พบว่าสามารถกำจัดไนเตรตที่เกิดขึ้น 920 - 1,400 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ได้ประมาณร้อยละ 91 - 93 โดยการสร้างระบบบำบัดรวมกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน-แอนแอโรบิก-ไนตริฟิเคชัน ขึ้นภายในชั้นมูลฝอย และเมื่อคิดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด พบว่า สามารถลดไนโตรเจนจาก 0.8454 กรัม เหลือ 0.1173 กรัม ด้วยการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอย 14 รอบ



ภาพที่ 29 การเปลี่ยนแปลงค่าไนไตรต์ของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ

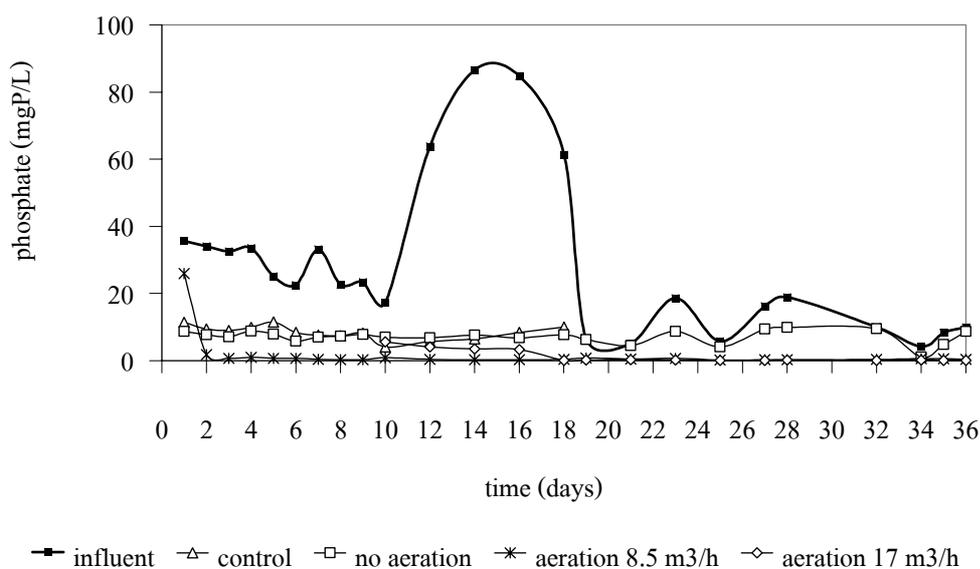


ภาพที่ 30 การเปลี่ยนแปลงค่าไนเตรตของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ

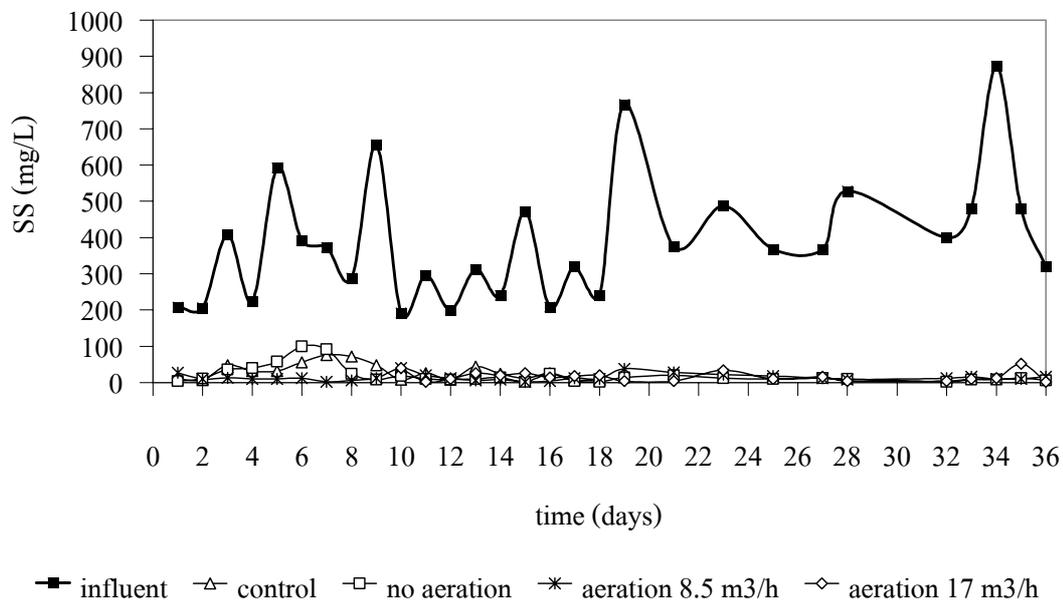
2.1.3 การเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์อื่น ๆ ในน้ำชะมูลฝอย

การเปลี่ยนแปลงค่าฟอสเฟตในน้ำชะมูลฝอย แสดงดังภาพที่ 31 ปริมาณฟอสเฟตในน้ำชะมูลฝอยขาเข้าค่อนข้างกว้างตัวอยู่ในช่วงตั้งแต่ 5 - 90 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร ส่วนปริมาณฟอสเฟตในน้ำขาออกพบว่า มีค่าต่ำกว่า 12 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร โดยเฉพาะเมื่อมีการเติมอากาศลงไปในมูลฝอย ปริมาณฟอสเฟตที่วิเคราะห์ได้น้อยกว่า 1.0 มิลลิกรัมฟอสฟอรัสต่อลิตร การลดลงของปริมาณฟอสเฟตอาจมีสาเหตุจากการที่เกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมในมูลฝอยจับตัวกับฟอสเฟตในน้ำชะมูลฝอย เกิดเป็นตะกอนขึ้น อย่างไรก็ตามเกลือแคลเซียมและแมกนีเซียมในมูลฝอยก็มีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นประสิทธิภาพการกำจัดฟอสเฟตน่าจะแปรตามอายุของถังกรองชีวภาพ (Zhao and Shao, 2004)

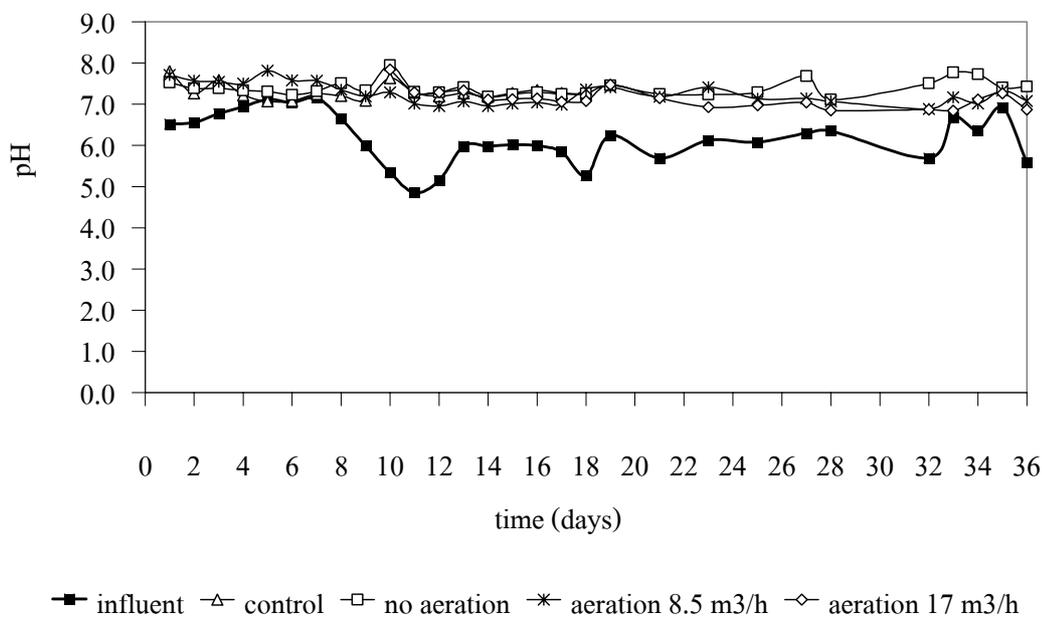
ภาพที่ 32 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของแอมโมเนียในน้ำชะมูลฝอย โดยปริมาณของแอมโมเนียขาเข้ามีค่าประมาณ 200 - 900 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อผ่านชั้นมูลฝอยซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกรองชีวภาพ ปริมาณของแอมโมเนียลดลงต่ำกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร การเติมอากาศลงในชั้นมูลฝอยทำให้เกิดความปั่นป่วนขึ้น ปริมาณของแอมโมเนียขาออกอาจสูงได้ถึง 100 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตามความปั่นป่วนที่เกิดขึ้นก็เฉพาะช่วงเริ่มต้นเดินระบบเท่านั้น



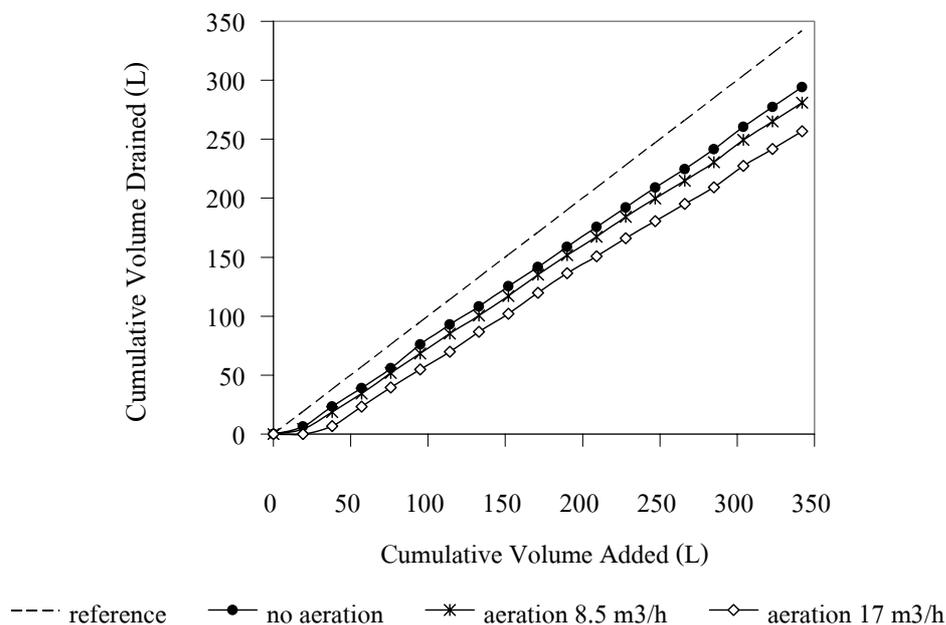
ภาพที่ 31 การเปลี่ยนแปลงค่าฟอสเฟตของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ



ภาพที่ 32 การเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลัง ที่สภาวะต่าง ๆ



ภาพที่ 33 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด ที่สภาวะต่าง ๆ

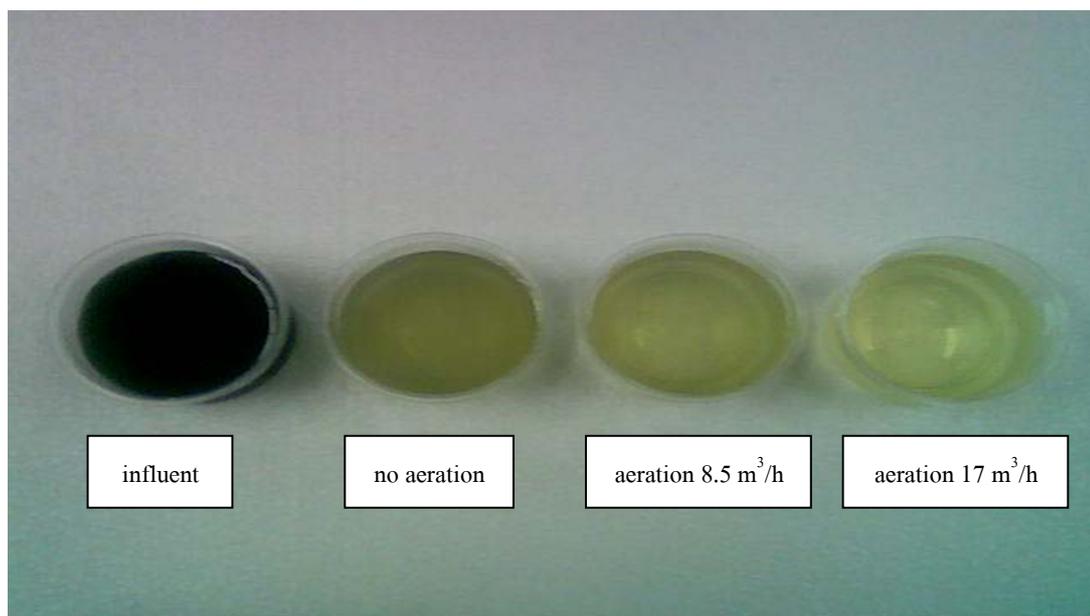


ภาพที่ 34 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ออกมา กับ ปริมาณที่เติม ที่สภาวะต่าง ๆ

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำชะมูลฝอยแสดงดังภาพที่ 33 ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยเข้าส่วนมากอยู่ในช่วง 5.5 – 6.5 แต่เมื่อผ่านชั้นมูลฝอยออกมาค่าพีเอชจะสูงขึ้น มากกว่า 7.0 เนื่องจากในชั้นมูลฝอยมีสภาพความเป็นด่างสูง ทำให้น้ำชะมูลฝอยที่ผ่านเข้ามาระดับความเป็นกรดจึงลดลง (O’Keefe and Chynoweth, 2000)

นอกจากนี้ ในการทดลองนี้ ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำชะมูลฝอยออก ดังภาพที่ 34 ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เติมลงไป ในชั้นมูลฝอย เมื่อไหลออกมาพบว่า มีปริมาณลดลง โดยแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำของทั้ง 3 ถัง ที่ตรวจวัดซึ่งมีตัวกลางเป็นมูลฝอยที่ปรับสภาพแล้ว มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามถังที่เติมอากาศลงไป ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ออกมาน้อยกว่าถังที่ไม่เติมอากาศ สังกเหตุได้จากช่วงระยะห่างจากเส้นอ้างอิงที่เพิ่มขึ้น

ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยที่ออกมาของทั้ง 3 ถัง แสดงดังภาพที่ 35 พบว่ามีสีเหลืองอ่อน ใส และไม่มึนกลื่นเหนียว โดยเฉพาะน้ำชะมูลฝอยที่ออกมาจากถังที่มีการเติมอากาศจะมีลักษณะที่ใส และมีกลิ่นที่เบาบางกว่า ในขณะที่น้ำชะมูลฝอยเข้ามีสีดำ ขุ่น และมีกลิ่นเหม็นที่รุนแรง



ภาพที่ 35 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยขาออก ที่สภาวะต่าง ๆ

จากผลของการศึกษาข้างต้น จะเห็นว่า แบบจำลองฝังกลบมูลฝอยที่ผ่านการปรับเสถียร (ถังที่ 2 3 และ 4) มีสมรรถนะสูงในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย สามารถลดค่าความสกปรกในน้ำชะมูลฝอยได้มากกว่าร้อยละ 90 ยกเว้นปริมาณไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยที่ได้จากแบบจำลองไม่เติมอากาศ ซึ่งพบว่านอกจากจะไม่สามารถลดปริมาณไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยได้แล้ว ยังเพิ่มไนโตรเจนซึ่งเกิดจากชะละลายจากมูลฝอย ทำให้ปริมาณไนโตรเจนในน้ำขาออกมีค่าสูงขึ้น

กลไกที่เกิดขึ้นภายในชั้นมูลฝอยซึ่งมีหน้าที่เป็นตัวกรองชีวภาพนั้น อาศัยกลไกการย่อยสลายทางชีวภาพซึ่งมีอิทธิพลอย่างมากในระบบถังกรอง โดยจากการศึกษาของ Zhao *et al.* (2002) พบว่าจำนวนจุลินทรีย์ในมูลฝอยที่ใช้เป็นตัวกรองมีอยู่มากกว่า 10^7 (MPN) ต่อกรัมมูลฝอยแห้ง มากกว่าในดินซึ่งมีจำนวนจุลินทรีย์ $10^4 - 10^5$ (MPN) ต่อกรัมแห้ง อย่างไรก็ตามระบบต้องอาศัยกลไกการดูดซึม (Absorption) ร่วมด้วย โดยสมดุลระหว่างการดูดซึมกับการย่อยสลายทางชีวภาพจะถูกสร้างขึ้น เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะการทำงานที่เหมาะสม ทำให้สามารถใช้งานตัวกรองชีวภาพนี้สำหรับการบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้เป็นระยะเวลานาน ดังเช่นในงานวิจัยของ Zhao *et al.* (2002) ที่สามารถบำบัดน้ำชะมูลฝอยได้ถึง 14,447 ลิตร (ที่ซีโอดีความเข้มข้น 3,000 – 6,500 มิลลิกรัมต่อลิตร) ในระยะเวลาเกือบ 2 ปี โดยประสิทธิภาพยังคงเดิมและยังสามารถใช้งานต่อไปได้อีก ความสามารถและสมรรถนะยังคงเดิม การอุดตันในถังไม่เกิดขึ้น

2.2 การศึกษาผลกระทบของภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยด้วยการเติมอากาศ

ในการทดลองนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่เปลี่ยนไปต่อประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยในระบบเติมอากาศ โดยภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ ที่ใช้ในการศึกษา คือ 10 20 40 และ 60 ลิตรต่อลบ.ม.มูลฝอยต่อวัน (ปริมาณน้ำชะมูลฝอย 9.5 19 38 และ 57 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ) อัตราการไหลเข้าของน้ำชะมูลฝอย 0.75 ลิตรต่อนาที รอบละ 12 นาที 40 วินาที (9.5 ลิตร) มีช่วงพัก 30–45 นาทีต่อรอบ และอัตราการเติมอากาศ 17.0 ลบ.ม.ต่อชั่วโมง ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยก่อนและหลังบำบัด และประสิทธิภาพการบำบัดที่ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ต่าง ๆ

สมบัติของ น้ำชะมูลฝอย	ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ (ลิตร/ลบ.ม.มูลฝอย/วัน)				
	เข้า	10	20	40	60
pH	5.0 - 7.0	7.0 - 8.0	6.8 - 7.2	7.0 - 7.5	7.2 - 7.7
BOD (mg O ₂ /l)	2,000 - 4,000	50 - 80	< 15	30 - 70	> 500
BOD Removal (%)	-	97 - 98	> 99	97 - 98	< 90
COD (mg O ₂ /l)	3,000 - 4,500	100 - 110	120 - 140	60 - 90	> 700
COD Removal (%)	-	97 - 98	96 - 97	97 - 99	< 85
NH ₃ -N (mg N/l)	100 - 250	16 - 30	< 5	10 - 12	> 30
NH ₃ Removal (%)	-	80 - 90	96 - 98	90 - 95	< 70
TKN (mg N/l)	100 - 300	20 - 30	7 - 9	13 - 15	> 50
TKN Removal (%)	-	83 - 90	93 - 96	92 - 96	< 80
NO ₂ ⁻ (mg N/l)	-	< 0.04	< 0.3	< 0.1	< 0.02
NO ₃ ⁻ (mg N/l)	-	0.1 - 0.3	0.1 - 0.5	0.1 - 0.5	< 0.1
SS (mg/l)	200 - 1,200	10 - 40	2 - 50	5 - 25	20 - 60
Volume Removal (%)	-	77.49±20	78.85±20	74.25±20	75.83±20

2.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีโอดีและซีโอดี ในน้ำชะมูลฝอย

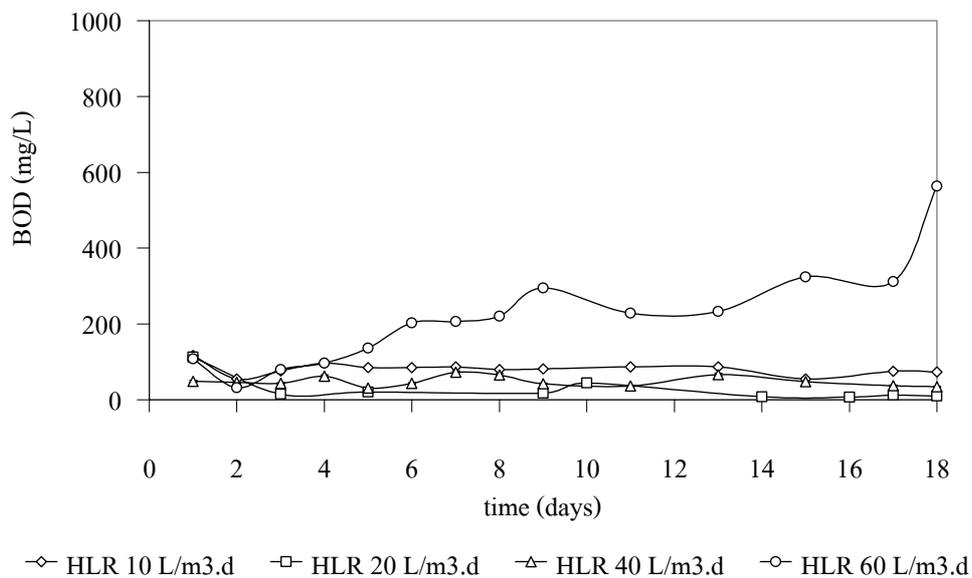
การเปลี่ยนแปลงปริมาณบีโอดีในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด แสดงดังภาพที่ 36 โดยปริมาณบีโอดีในน้ำชะมูลฝอยขาเข้าอยู่ในช่วง 2,000 - 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า เมื่อภาระบรทุกทางชลศาสตร์เพิ่มขึ้น ปริมาณบีโอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัดจะเพิ่มสูงขึ้น โดยที่ภาระบรทุก 20 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน มีปริมาณบีโอดีในน้ำที่ผ่านการบำบัดต่ำที่สุด คือ มีค่าต่ำกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่าร้อยละ 99 ที่ภาระบรทุก 40 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน ปริมาณบีโอดีขาออกอยู่ที่ 30 - 70 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 97 - 98 และที่ภาระบรทุก 60 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน มีปริมาณบีโอดีขาออกสูงเกินกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าร้อยละ 90

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณซีโอดีในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด แสดงดังภาพที่ 38 โดยปริมาณซีโอดีในน้ำชะมูลฝอยขาเข้าอยู่ในช่วง 3,000 - 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ที่ภาระบรทุก 40 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน มีค่าซีโอดีขาออกต่ำที่สุดอยู่ในช่วง 60 - 90 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 97 - 99 แต่ถ้าเพิ่มภาระบรทุกเป็น 60 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน ค่าซีโอดีขาออกจะสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเช่นเดียวกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณบีโอดี โดยพบว่ามีค่าซีโอดีสูงเกินกว่า 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าร้อยละ 85 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao *et al.* (2002) ซึ่งทำการศึกษาผลกระทบของภาระบรทุกทางชลศาสตร์ พบว่า เมื่อภาระบรทุกสูงขึ้นจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดความสกปรกต่ำลง โดยที่ภาระบรทุก 7.5 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีสูงสุดที่ร้อยละ 98 ขณะที่ถ้าภาระบรทุก 200 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน ประสิทธิภาพการกำจัดจะอยู่ที่ร้อยละ 90

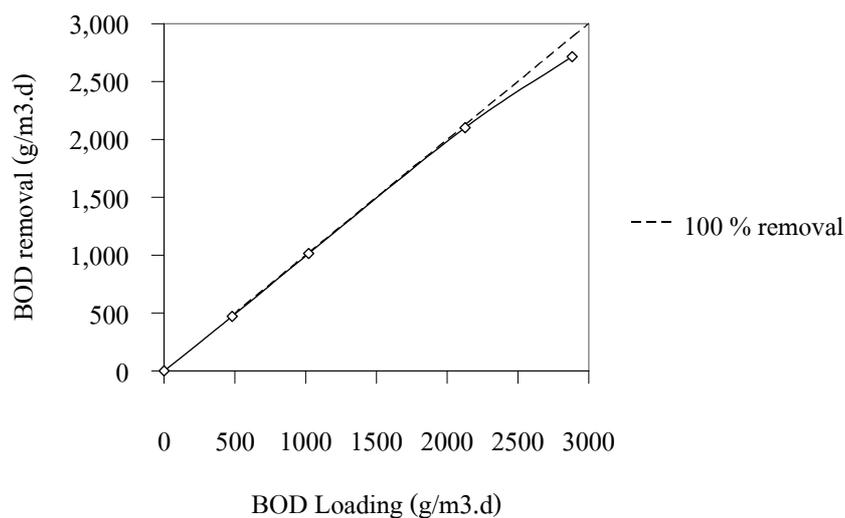
ภาพที่ 37 และ 39 แสดงความสามารถในการกำจัดบีโอดีและซีโอดี ตามลำดับ พบว่า ถึงแม้ประสิทธิภาพการกำจัดที่ภาระบรทุกทางชลศาสตร์ 60 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน จะต่ำกว่าร้อยละ 90 แต่ความสามารถในการกำจัดบีโอดีและซีโอดียังมีค่าสูงขึ้นต่อเนื่อง อย่างไรก็ตาม ความสามารถในการกำจัดบีโอดีและซีโอดีก็มีแนวโน้มลดลง ดังสังเกตจากลักษณะของเส้นกราฟที่มีแนวโน้มห่างออกจากเส้นอ้างอิงเมื่อภาระบรทุกทางอินทรีย์เพิ่มขึ้น

เมื่อดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ พบว่า ที่ภาระบรทุกทางชลศาสตร์ 10 และ 20 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน จะสามารถตรวจพบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำ

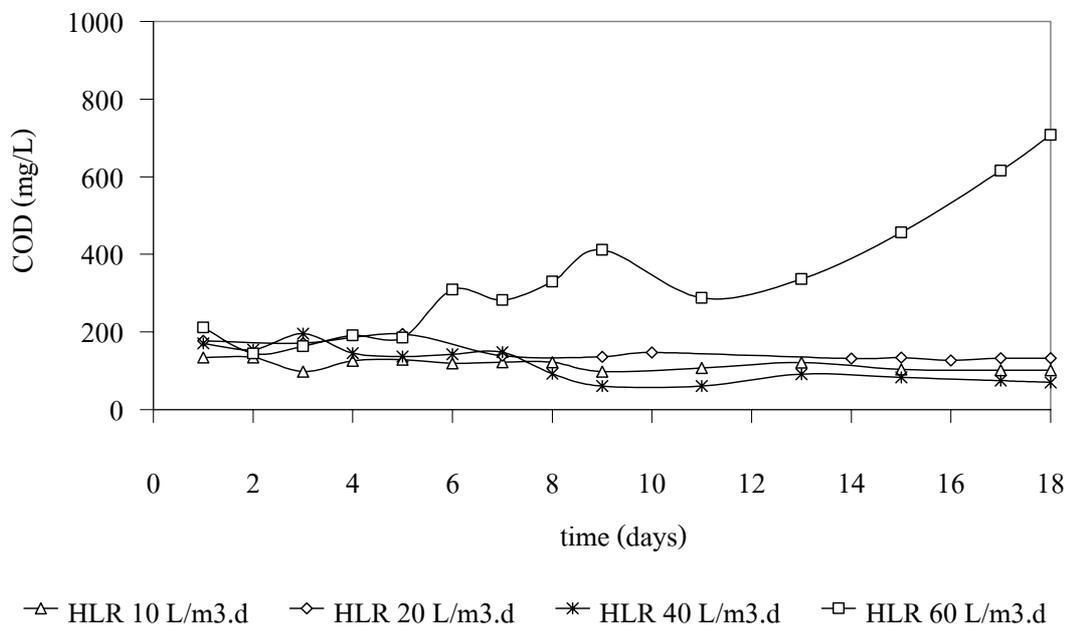
ชะมูลฝอยขาออกได้ โดยมีค่าตั้งแต่ 0.1 - 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ที่ภาระบรรทุก 40 และ 60 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน แทบไม่สามารถตรวจพบปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในน้ำขาออกได้



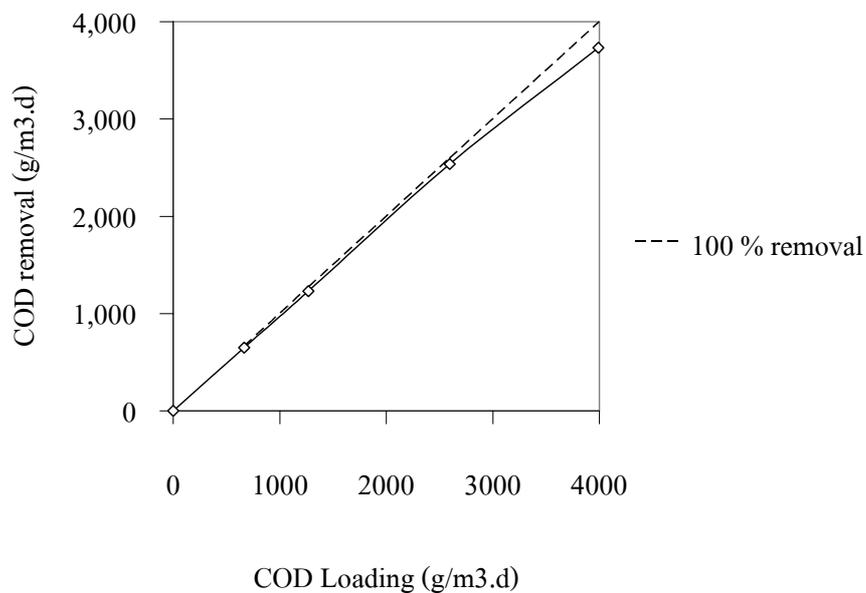
ภาพที่ 36 การเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ



ภาพที่ 37 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางอินทรีย์กับความสามารถในการกำจัดบีโอดี



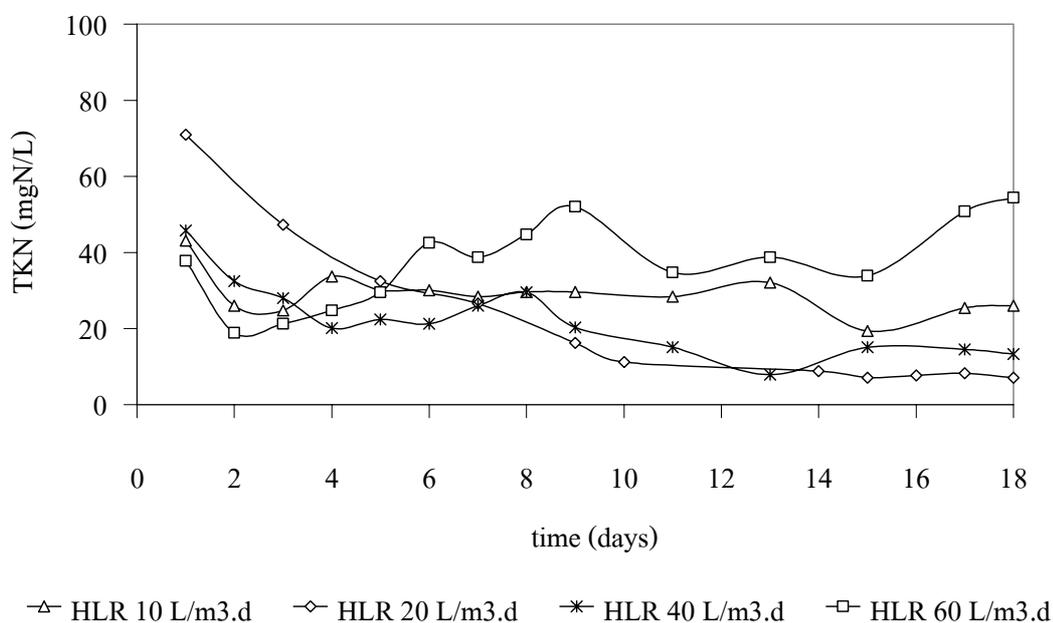
ภาพที่ 38 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่ภาระบรทุกต่าง ๆ



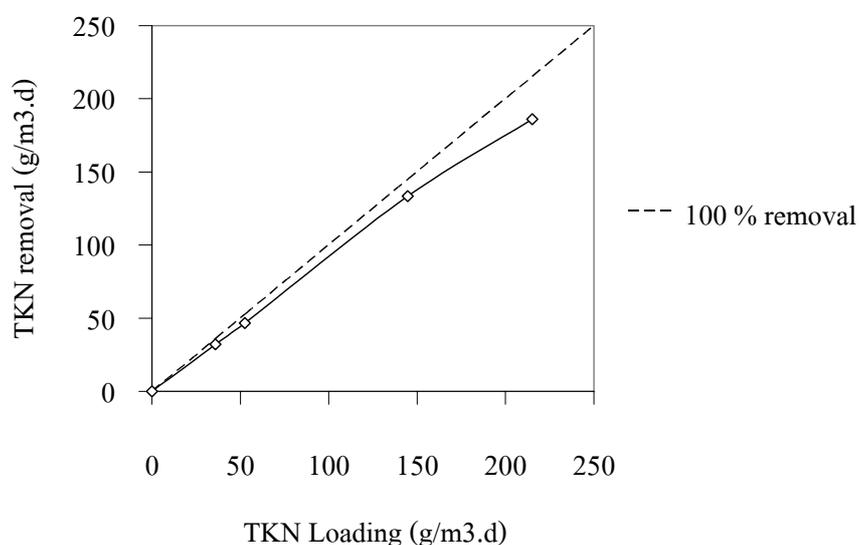
ภาพที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรทุกทางอินทรีย์กับความสามารถในการกำจัดซีโอดี

2.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอย

การเปลี่ยนแปลงค่าที่เคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด แสดงดังภาพที่ 40 โดยปริมาณที่เคเอ็นในน้ำชะมูลฝอยขาเข้าอยู่ในช่วง 100 - 300 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร เมื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงค่าที่เคเอ็นในน้ำที่ผ่านการบำบัดที่ภาระบรทุกทางชลศาสตร์ต่าง ๆ พบว่าเมื่อภาระบรทุกเพิ่มขึ้น ปริมาณที่เคเอ็นขาออกก็เพิ่มขึ้น โดยที่ภาระบรทุก 20 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน มีค่าที่เคเอ็นขาออก 7 - 9 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดประมาณร้อยละ 93 - 96 ที่ภาระบรทุก 40 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน ค่าที่เคเอ็นขาออกอยู่ที่ 13 -15 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร มีประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 92 - 96 และที่ภาระบรทุก 60 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน ค่าที่เคเอ็นในน้ำขาออกมีแนวโน้มสูงขึ้นมากกว่า 50 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าร้อยละ 80 โดยการเปลี่ยนแปลงปริมาณแอมโมเนียก็มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับของทีเคเอ็น โดยเมื่อภาระบรทุกทางชลศาสตร์เพิ่มขึ้น ปริมาณแอมโมเนียในน้ำขาออกก็เพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดก็จะลดลงเช่นเดียวกัน



ภาพที่ 40 การเปลี่ยนแปลงค่าที่เคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัด ที่ภาระบรทุกต่าง ๆ

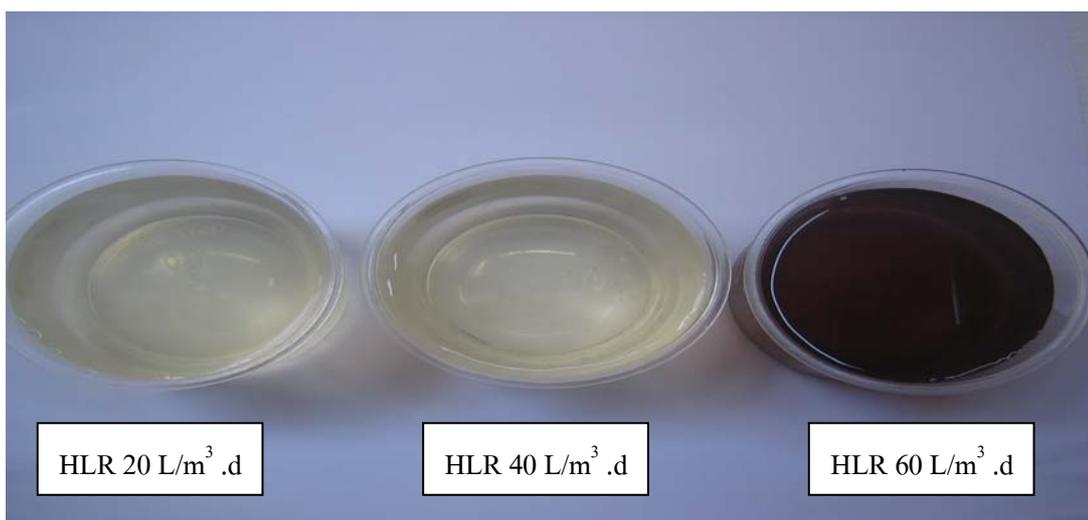


ภาพที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางอินทรีย์กับความสามารถในการกำจัดที่เคเอ็น

ภาพที่ 41 แสดงความสามารถในการกำจัดไนโตรเจน พบว่า เมื่อภาระบรรทุกทางอินทรีย์เพิ่มสูงขึ้น ปริมาณไนโตรเจนที่กำจัดได้มีค่าสูงขึ้นตาม แต่ความสามารถในการกำจัดที่เคเอ็นมีแนวโน้มลดลง เช่นเดียวกับความสามารถในการกำจัดบีโอดีและซีโอดีที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งถึงแม้ว่าปริมาณสารอินทรีย์ที่กำจัดได้จะมีค่าสูงขึ้นตามภาระบรรทุกที่เพิ่มขึ้น แต่ในความเป็นจริง พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญต่อการนำมาใช้เดินระบบ คือ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในน้ำที่ผ่านการบำบัด ซึ่งควรมีค่าใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง เพราะทำให้สามารถปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมได้ โดยไม่ต้องผ่านระบบบำบัดอื่น ๆ อีก

สำหรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนไตรต์และไนเตรต พบว่า การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นไม่มีผลต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด เนื่องจากปริมาณไนไตรต์และไนเตรต มีค่าต่ำกว่า 0.4 และ 1.0 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ

ส่วนการเปลี่ยนแปลงของปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) ในน้ำชะมูลฝอย พบว่า ปริมาณของแข็งแขวนลอยขาเข้ามีค่าแปรปรวนอยู่ในช่วง 200 - 1,200 มิลลิกรัมต่อลิตร อย่างไรก็ตาม ปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำชะมูลฝอยขาออกค่อนข้างนิ่ง ซึ่งค่าที่ได้จะต่ำกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร ของทุกภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ ส่วนสีของน้ำชะมูลฝอยขาออกพบว่า มีสีเหลืองอ่อน แต่เมื่อภาระบรรทุกมากขึ้น สีของน้ำขาออกก็จะมีสีคล้ำขึ้นและมีกลิ่นเหม็น โดยเฉพาะที่ภาระบรรทุก 60 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน ดังภาพที่ 42 อย่างไรก็ตามเมื่อทิ้งไว้สักครู่ สีและกลิ่นของน้ำก็จะจางลงไป แสดงว่าสีคล้ำของน้ำขาออกที่เกิดขึ้นมาจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) เพราะเมื่อทิ้งไว้ ออกซิเจนจากอากาศภายนอกจะเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนซัลไฟด์ ทำให้สีคล้ำของน้ำจางลง โดยไม่มีตะกอนเกิดขึ้น สำหรับการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในน้ำชะมูลฝอยขาออกพบว่า ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่า 7.0



ภาพที่ 42 ลักษณะของน้ำชะมูลฝอยขาออก ที่ภาระบรรทุกต่าง ๆ

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ออกมา พบว่า ปริมาณน้ำชะมูลฝอยที่ไหลออกมามีปริมาณลดลงจากเดิมเฉลี่ยประมาณร้อยละ 25

ในการศึกษาผลกระทบของภาวะบรรทุทางชลศาสตร์ต่อประสิทธิภาพการบำบัด ที่ภาวะบรรทุ 60 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน โดยใช้แบบจำลองฝังกลบมูลฝอยที่ 4 พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำลงอย่างต่อเนื่องจนสิ้นสุดการทดลอง นั้นเป็นเพราะความไม่สมดุลระหว่างการดูดซึมกับการย่อยสลายทางชีวภาพ อย่างไรก็ตามหลังจากหยุดเดินระบบ 10 วัน เมื่อนำมาใช้งานต่อที่ภาวะบรรทุ 40 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดกลับมาดีดังเดิม เช่นเดียวกับการทดลองกับแบบจำลองที่ 2 ที่พบว่า การเดินระบบที่ภาวะบรรทุ 10 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน ประสิทธิภาพการบำบัดกลับแย่กว่าการเดินระบบที่ภาวะบรรทุ 20 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน เนื่องจากการทดสอบการเดินระบบที่ความเข้มข้นขาเข้าในระดับสูง จึงทำการหยุดเดินระบบเป็นเวลา 18 วัน และทำการเดินระบบต่อที่ภาวะบรรทุ 20 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน ผลที่ได้ประสิทธิภาพการบำบัดเหมือนเดิมกับที่เคยทดลองมา และที่สำคัญ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกลับเพิ่มขึ้น ค่าซีโอดีขาออกอยู่ในช่วง 60 - 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และยังมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งทั้งหมดนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhao *et al.* (2002) ที่ทำการศึกษาที่ภาวะบรรทุ 200 ลิตรต่อลบ.ม.ต่อวัน และที่อัตราการไหลเข้า 2 ลิตรต่อนาที ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดที่ได้มีค่าต่ำมาก แต่หลังจากหยุดเดินระบบ 1 - 2 สัปดาห์ ประสิทธิภาพการบำบัดก็สามารถฟื้นคืนดังเดิมนอกจากนี้ในรายงานการวิจัยของ Guo (2002) และ Wu (2002) ซึ่งทำการบำบัดน้ำชะมูลฝอยจากหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชนโดยใช้ถังกรองชีวภาพที่มีตัวกลางเป็นมูลฝอยที่เสถียรภาพ ได้อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องอย่างน้อย 4 ปี ในระดับ Lab-scale และ 2 ปี ในระดับ Pilot-scale ตามลำดับ (เป็นเวลาที่ใช้ในการทดลอง) โดยไม่ก่อให้เกิดผลกระทบใด ๆ ต่อสิ่งแวดล้อม

จึงกล่าวได้ว่า ถังกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกรองมูลฝอยปรับสภาพนี้ สามารถนำมาใช้งานได้ อย่างมีประสิทธิภาพและต่อเนื่องกันเป็นเวลานาน (อย่างน้อยก็เท่ากับเวลาที่มีการทดลอง) ภายใต้สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม มีความสมดุลกันระหว่างอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ กับการดูดซึมของชั้นมูลฝอย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากการศึกษาการปรับเสถียรมูลฝอยเก่าที่ผ่านการฝังกลบเป็นระยะเวลา 3 ปี โดยวิธีการเติมอากาศ และการใช้ประโยชน์มูลฝอยที่ผ่านการปรับเสถียรแล้วในการบำบัดน้ำชะมูลฝอย สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. การปรับเสถียรมูลฝอยด้วยการเติมอากาศลงไปแบบจำลองฝังกลบมูลฝอยเป็นระยะเวลา 210 วัน พบว่า สามารถลดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในมูลฝอยได้ร้อยละ 80 ส่วนลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นมีลักษณะใกล้เคียงกับของน้ำชะมูลฝอยในหลุมฝังกลบที่มีความเสถียรหรือมีสภาวะคงตัว โดยมีปริมาณบีโอดีต่ำกว่า 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดีต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมต่อลิตร และทีเคเอ็นต่ำกว่า 180 มิลลิกรัมต่อลิตร

2. การประยุกต์ใช้ชั้นมูลฝอยที่ผ่านการปรับเสถียรแล้วเป็นถังกรองชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำชะมูลฝอยซึ่งมีค่าบีโอดี 2,000 - 4,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 3,000 - 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร และทีเคเอ็น 100 - 300 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานะที่มีการเติมอากาศด้วยอัตรา 8.5 และ 17.0 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เพื่อลดผลกระทบของปริมาณไนโตรเจนที่ชะละลายจากมูลฝอยที่ยังไม่เสถียรอย่างเพียงพอ โดยน้ำชะมูลฝอยที่ผ่านการบำบัดมีค่าบีโอดีต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดีต่ำกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร และทีเคเอ็นต่ำกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าร้อยละ 90 ภายใต้สภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม คือที่อัตราการระบายรทุกทางชลศาสตร์ 20 ถึง 40 ลิตรต่อลูกบาศก์ของมูลฝอยต่อวัน

ข้อเสนอแนะ

1. การปรับเสถียรมูลฝอยด้วยการเติมอากาศน่าจะสามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่านี้ถ้านำไปใช้ปรับเสถียรมูลฝอยในหลุมฝังกลบที่มีอายุน้อย ๆ ซึ่งมีความสกปรกในน้ำมูลฝอยที่เกิดขึ้นอยู่ในระดับสูง

2. วิธีการเติมอากาศอาจใช้ท่อเติมอากาศขนาดใหญ่ติดตั้งในชั้นมูลฝอย ซึ่งอากาศจากภายนอกสามารถไหลเวียนเข้าสู่ชั้นมูลฝอยได้โดยตรง ลดค่าใช้จ่ายจากเครื่องเติมอากาศ หรืออาจใช้การหมุนเวียนหรือเติมน้ำชะมูลฝอยโดยการฉีดพ่นน้ำชะมูลฝอยให้ผ่านอากาศบริเวณด้านบนชั้นมูลฝอย แต่ต้องควบคุมผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เช่น การไหลปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมภายนอก การรบกวนของกลิ่นและแมลง เป็นต้น

3. ในการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำชะมูลฝอยสดด้วยมูลฝอยที่ปรับเสถียรแล้ว ด้วยการควบคุมค่าความเข้มข้นของซีโอดีขาเข้าไว้ที่ 3,000 - 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยสารอินทรีย์ส่วนใหญ่ตัวอย่างน้ำชะมูลฝอยสามารถย่อยสลายได้ง่าย (BOD/COD มากกว่า 0.3) และปริมาณไนโตรเจนในน้ำชะมูลฝอยที่ใช้ก็มีค่าต่ำกว่า 300 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ซึ่งก่อนนำไปประยุกต์ใช้ในงานจริงก็ควรศึกษาลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยหรือน้ำเสีย ว่ามีลักษณะใกล้เคียงกันหรือไม่ และมีการทำ Pilot test ก่อนนำไปใช้งาน

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. 2542. **เกณฑ์มาตรฐาน และแนวทางการจัดการขยะมูลฝอยชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรมส่งเสริมคุณภาพ สิ่งแวดล้อม, กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม.**

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2543. **วิศวกรรมกรรมการกำจัดน้ำเสีย เล่ม 4. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ**

ทวีศักดิ์ ดันตินันท์การุญ. 2547. **อิทธิพลของสภาวะฝนและการหมุนเวียนน้ำชะมูลฝอยต่อปริมาณ และลักษณะสมบัติของน้ำชะมูลฝอยในถังปฏิกริยาฝั้กลบมูลฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย. 2543. **นิเวศวิทยา. คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.**

มันสิน ตันฑุลเวศม์. 2542. **เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.**

สาลินี สิทธิโชคธรรม. 2546. **ผลของวิธีการควบคุมความชื้นต่อการเร่งอัตราการย่อยสลายมูลฝอยชุมชนในแบบจำลองฝั้กลบมูลฝอย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

สำนักรักษาความสะอาด กรุงเทพมหานคร. 2538. **การฝั้กลบขยะมูลฝอยอย่างถูกหลักสุขภาพิบาล. สำนักรักษาความสะอาด, กรุงเทพฯ.**

อุบลวรรณ นนทพันธุ์. 2543. **การเร่งปฏิกริยาการย่อยสลายมูลฝอยเศษอาหารในกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.**

- Andreottola, G. and P. Cannas. 1992. Chemical and biological characteristics of landfill leachate, pp. 65-88. In T.H. Christensen, R. Cossu and R. Stegman, eds. **Landfilling of Waste : Leachate**. Elsevier Science Publ. Lts., Essex.
- APHA, AWWA and WEF. 1998. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th edition.
- Augenstein, D.C., D.L. Wise, R.L. Wentworth and C.L. Cooney. 1976. Fuel gas recovery from controlled landfilling of municipal waste landfills. **Resource Recovery Conserv.** 2 : 103-117.
- Bae, J.H., K.W. Cho, S.J. Lee, B.S. Bum and B.H. Yoon. 1998. Effect of leachate recycle and anaerobic digester sludge recycle on the methane production from solid waste. **Wat. Sci. Tech.** 38 : 159-168.
- Barlaz, M.A., M.W. Milke and R.K. Ham. 1987. Gas production parameters in sanitary landfill simulators. **Waste Manage. Res.** 5 : 27-39.
- _____, R.K. Ham and D.M. Schaefer. 1990. Methane production from municipal refuse: a review of enhancement techniques and microbial dynamics. **CRC Critical Review in Environmental Control.** 19 (6) : 557-584.
- Buivid, M.G., D.L. Wise. M.J. Blanchet, E.C. Remedios, B.M. Jenkins, W.F. Boyd and J.G. Pacey. 1981. Fuel gas enhancement by controlled landfilling of municipal solid waste. **Resources Conserv.** 6 : 3-20.
- Burton, S.A.Q. and I.A. Watson-Craik. 1998. Ammonia and nitrogen fluxes in landfill sites: applicability to sustainable landfilling. **Waste Manage. Res.** 16 (1) : 41-53.

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.

_____ and _____. 1977. Characterization of soluble organic matter in leachate. **Environmental Science and Technology**. 11 (2) : 158-162.

Christensen, T.H. and P. Kjeldsen. 1989. Basic chemical processes in landfills, pp. 29-49. In T.H. Christensen, R. Cossu and R. Stegman, eds. **Sanitary Landfilling : process, Technology and Environmental Impact**. Academic press Ltd., London.

_____, _____ and R. Stegman. 1992. Effects of landfill management procedures on landfill stabilization and leachate and gas quality, pp. 119-138. In T.H. Christensen, R. Cossu and R. Stegman, eds. **Landfilling of Waste : Leachate**. Elsevier Science Publ. Ltd., Essex.

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

Craft, D.G. and N.C. Blakey. 1988. Co-disposal of sewage and domestic waste in landfills. **ISWA Proc**. 1 : 161-168.

Dass, P., G.R. Tamke and C.M. Stoffel. 1977. Leachate production and sanitary landfill sites. **J. of Env. Eng. Div. ASCE**. 103 : 981-988.

David, W.G. 1981. **Biological-chemical Treatment of Landfill Leachate**. Master thesis, British Columbia Univ., Canada.

- Demirekler, E. and G.K. Anderson. 1998. Effect of sewage sludge addition on the start up of the anaerobic digestion of OFMSW. **Envi. Tech.** 19 : 837-843.
- Ehrig, H.J. 1983. Quality and quantity of sanitary landfill leachate. **Waste Management and Research.** 1 : 53-68.
- _____. 1989. Leachate quality, pp. 213-229. In T.H. Christensen, R. Cossu and R. Stegman, eds. **Sanitary Landfilling : Process, Technology and Environmental Impact.** Academic Press Ltd., London.
- Fletcher, I.J. and E.Ashbee. 1994. Ammonia stripping for landfill leachate treatment : a review, pp. 109-117. In N.J. Horan, P. Lowe and E.I. Slentiford, eds. **Nutrient Removal from Wastewaters.** Technomic Publishing Co., Inc., Lancaster, Pa.
- Gould, J.P. and R.E. Ramsey. 1993. Formation of volatili haloorganic compounds in the chlorination of municipal landfill leachates, pp. 525-539. In R.A. Jolley, ed. **Water Chlorination: Environmental Impact and Health Effect.** Ann Arbor Science, Michigan.
- Ham, R.K. 1983. Gas production modelling, pp. 203-213. In R.L. Wentworth, ed. **Proceedings of the 3 th International Symposium on Anaerobic Digastion.** Boston, Dynatech, Cambridge, U.S.A.
- _____, and T.J. Bookter. 1982. Decomposition of solid waste in test lysimeter. **J. Envi. Eng. Div. ASCE.** 108 : 1147-1170.
- Ho, S., W.C. Boyle and R.K. Ham. 1974. Chemical treatment of leachate from sanitary landfills. **JWPCF.** 46 : 1776-1791.

Guo, Y. 2002. **Treatment of municipal sewage by the aged refuse biofiltration reactor.**

Ph.D. thesis, Tongji University, Shanghai, China.

Imai, A., N. Iwami, K. Matsushige, Y. Inamori and R. Sudo. 1993. Removal of refractory organics and nitrogen from landfill leachate by microorganism-attached activated carbon fluidized bed process. **Wat. Res.** 27 (1) : 143-145.

Keenan, J.D., R.L. Stienen and A.A. Fungaroli. 1984. Landfill leachate treatment. **JWPCF.** 56 (1) : 27-33.

Kinman, R.K., D.L. Nutini, J.J. Walsh, W.G. Vogt, J. Stamm and J. Rickabaugh. 1987. Gas enhancement techniques in landfill simulators. **Waste Manage. Res.** 5 : 13-25.

Knox, K. 1985. Leachate production, control and treatment, pp. 98-145. In **Hazardous Waste Management Handbook.** Bulter Workth and Co.(Publishers) Ltd., Great Britain.

LaGrega, M.D., P.L. Buckingham and J.C. Evans. 1994. **Hazardous Waste Management.** McGraw-Hill, Inc.

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.

Lebel, A., R. Meeden and A. Bryan. 1989. Biophysical facility for hazardous waste landfill leachates. **Wat. Sci. Tech.** 21 (12) : 1655-1656.

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.
- _____, _____ and _____. 1988. Characteristics of landfill leachates and alternative for their treatments : a review. **Water, Air and Soil Pollution**. 40 (2) : 223-250. Cited D.S. McLellan and C.A. Rock. 1988. **Water, Air and Soil Pollution** (in press).
- Madigan, M.T., J.M. Martinko and J. Parker. 1997. **Brock biology of microorganisms**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Mechalas, B.J., P.M. Allen and W.W. Matyskiela. 1970. **A Study of Nitrification and Denitrification**. A division of Aerojet General Corporation, El Monte, California.
- 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 and Eddy, Inc. 2003. **Wastewater Engineering : Treatment and Reuse**. 4 th ed. McGraw-Hill Inc., New York.
- O'Keefe, D.M. and D.P. Chynoweth. 2000. Influence of phase separation, leachate recycle and aeration on treatment of municipal solid waste in simulated landfill cells. **Bioresource Technology**. 72 : 55-66.
- Onay, T.T. and F.G. Pohland. 1998. In situ nitrogen management in controlled bioreactor landfills. **Wat. Res.** 32 (5) : 1383-1392.

- Parameshwaran, K. 1997. **Membrane as Air Diffuser and Solid/liquid Separator in a Bioreactor for Domestic Wastewater treatment**. Master thesis, AIT, Bangkok, Thailand.
- Pohland, F.G. 1980. Leachate recycle as landfill management option. **J. Envi. Eng. Div. ASCE**. 106 : 1057-1069.
- _____ and B. Al-Yousfi. 1994. Design and operation of landfills for optimum stabilization and biogas production. **Wat. Sci. Tech.** 30 (12) : 117-124.
- Price, G.A., M.A. Barlaz and G.R. Hater. 2003. Nitrogen management in bioreactor landfills. **Waste Manage. Res.** 23 : 675-688.
- Reinhart, D.R. 1996. Full-scale experiences with leachate recirculating landfills : case studies. **Waste Manage. Res.** 14 : 347-365.
- _____ and A.B. Al-Yousfi. 1996. The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics. **Waste Manage. Res.** 14 : 337-346.
- _____ and T.G. Townsend. 1998. **Landfill Bioreactor Design and Operation**. Lewis Puboishers, New York.
- Robinson, H.D. and P.J. Maris. 1982. Generation and treatment of leachate from domestic waste in landfills. **J. WPCF.** 81 : 465-478.
- _____ and _____. 1985. Leaschate from domestic waste : generation, composition, and treatment. In **Water Research Center. Technical Report TR 108**.
- Rover, F.A. and G.J. Farquhar. 1973. Infiltration and landfill behavior. **J. Envi. Eng. Div. ASCE**. 99 : 671-690.

- Sanpanawat, W. 2000. **A Downflow Biofilter using Sea Shells as Filter Media**. Master thesis, Chulalongkorn University, Bangkok.
- 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. pp. 185-189. **The 6th Annual Landfill Symposium**. The Solid Waste Association of North America, San Diego, California.
- Stegmann, R. and H.J. Ehrig. 1989. Enhancement of gas production in sanitary landfill sites- experiences in West Germany. pp. 425-434. **In Resource Recov. Solid Waste**. n.p.
- Syed, R.O. and C. Walter. 1994. Sanitary landfill leachate. **Pennsylvania, Technomic Publishing**. pp. 35-39.
- Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993. **Integrated Solid Waste Management**. McGraw-Hill International Press., Singapore.
- Thapa, P.B. 1998. **Partially Aerated Biofilter (PAB) for Simultaneous Removal of SS, COD, and Nitrogen Using Immobilized Bacteria**. Master thesis, AIT, Bangkok, Thailand.
- Tittlebaum, M.E. 1982. Organic carbon content stabilization through landfill leachate recirculation. **J. WPCF**. 54 : 428-433.
- Townsend, T.G., W.L. Miller, H.J. Lee and J.F.K. Earle. 1996. Acceleration of landfill stabilization using leachate recycle. **J. Envi. Eng. Div. ASCE**. 122 : 263-268.
- Trebouet, D., J.D. Schlumpf, P. Jaouen and F. Quemeneur. 2001. Stabilized landfill leachate treatment by combined physicochemical-nanofiltration process. **Wat. Res.** 35 (12) : 2935-2942.

- Ua-kritdathikarn, S. 1998. **Treatment of Percolate from Constructed Wetlands by Attached-growth Waste Stabilization Pond System.** Master thesis, AIT, Bangkok, Thailand.
- Vanfleet, S.R., J.F. Judkins and F.J. Moiz. 1974. Discussion aerobic biostabilization of sanitary landfill leachate. **JWPCF.** 46 (11) : 2611-2612.
- Veit, M.A., W. Zulauf and K. Struermer. 1983. Extraction and utilization of landfill gas in Brazil. pp. 227-250. In R.L. Wentworth, ed. **Proceedings of the 3 th International Symposium on Anaerobic Digestion.** Boston, Dynatech, Cambridge, U.S.A.
- Wolffson, C. 1988. Laboratory scale test for anaerobic degradation of municipal solid waste. **ISWA Proc.** 2 : 159-165.
- Wu, J. 2002. **Pilot test on the treatment of leachate using the aged refuse based bioreactor.** Master thesis, Tongji University, Shanghai, China.
- Zhao, Y. 2001. Guidelines for landfill operation. **Beijing : Chemical Industry Press.** 80-180.
- _____, H. Li, J. Wu and G. Gu. 2002. Treatment of leachate by aged refuse based biofilter. **J. Envi. Eng. Div. ASCE.** 128 (7) : 662-668.
- _____ and F. Shao. 2004. Use of an aged refuse biofilter for the treatment of feedlot wastewater. **Environmental Engineering Science.** 21 (3) : 349-360.
- Zhu, Q. and Y. Zhao. 1996. Stabilization process of refuse in laboratory lysimeters. **J. Tongji Univ.** : 596-600.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการศึกษาของการทดลองที่ 1

ตารางผนวกที่ ก 1 ค่าบีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
		ถึงที่ 1	ถึงที่ 2	ถึงที่ 3	ถึงที่ 4
25-ก.ค.-48	0	120.00	100.00	155.00	120.00
1-ส.ค.-48	7	72.50	130.00	106.50	142.50
8-ส.ค.-48	14	96.30	264.50	96.30	161.00
15-ส.ค.-48	21	91.50	157.00	106.50	182.50
22-ส.ค.-48	28	67.30	92.50	84.00	186.90
29-ส.ค.-48	35	60.70	68.00	60.70	162.50
5-ก.ย.-48	42	40.40	44.70	49.00	92.40
12-ก.ย.-48	49	49.80	50.90	69.30	92.10
19-ก.ย.-48	56	43.30	35.60	46.80	71.04
26-ก.ย.-48	63	33.10	29.70	43.20	50.00
3-ต.ค.-48	70	28.41	40.28	47.49	41.55
10-ต.ค.-48	77	32.10	47.30	43.00	43.50
17-ต.ค.-48	84	27.85	33.34	41.36	31.65
24-ต.ค.-48	91	71.74	105.50	76.80	47.26
31-ต.ค.-48	98	35.45	37.14	36.29	29.54
7-พ.ย.-48	105	83.32	76.44	71.24	63.84
14-พ.ย.-48	112	37.96	48.72	66.36	173.04
21-พ.ย.-48	119	41.14	41.14	43.71	37.71
28-พ.ย.-48	126	30.87	28.30	42.01	38.58
5-ธ.ค.-48	133	44.14	28.28	36.85	15.43
12-ธ.ค.-48	140	42.06	36.85	50.56	26.57
19-ธ.ค.-48	147	36.28	28.28	30.00	20.14
26-ธ.ค.-48	154	60.56	29.00	33.69	19.19
2-ม.ค.-49	161	52.03	31.56	30.92	19.62
9-ม.ค.-49	168	52.03	31.56	30.92	19.62
16-ม.ค.-49	175	29.00	25.60	22.18	19.62
23-ม.ค.-49	182	29.00	25.60	22.18	19.62
30-ม.ค.-49	189	22.60	22.60	26.02	3.84
6-ก.พ.-49	196	22.60	26.02	26.44	3.84
20-ก.พ.-49	210	25.00	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ ก 2 ค่าซีโอดีของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	COD (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	590.24	1009.12	761.60	780.64
1-ค.ค.-48	7	520.00	1060.00	820.00	860.00
8-ค.ค.-48	14	420.00	880.00	500.00	860.00
15-ค.ค.-48	21	620.00	960.00	640.00	1560.00
22-ค.ค.-48	28	480.00	640.00	500.00	1040.00
29-ค.ค.-48	35	348.00	536.00	488.00	948.00
5-ก.ย.-48	42	240.00	400.00	440.00	660.00
12-ก.ย.-48	49	253.30	400.00	373.30	540.00
19-ก.ย.-48	56	246.70	340.00	340.00	448.00
26-ก.ย.-48	63	231.20	343.20	347.20	359.20
3-ต.ค.-48	70	159.94	243.71	239.90	289.41
10-ต.ค.-48	77	140.90	232.30	213.20	274.20
17-ต.ค.-48	84	152.32	224.67	217.03	236.10
24-ต.ค.-48	91	135.36	203.04	176.72	233.12
31-ต.ค.-48	98	120.00	193.30	160.00	206.70
7-พ.ย.-48	105	148.72	212.94	185.90	243.36
14-พ.ย.-48	112	188.00	232.00	196.00	248.00
21-พ.ย.-48	119	185.86	240.06	201.34	220.70
28-พ.ย.-48	126	232.41	285.75	224.79	243.84
5-ธ.ค.-48	133	243.61	312.70	243.61	243.61
12-ธ.ค.-48	140	407.16	215.76	229.68	302.76
19-ธ.ค.-48	147	337.14	305.14	222.85	236.57
26-ธ.ค.-48	154	192.03	178.31	236.61	240.04
2-ม.ค.-49	161	251.06	276.90	351.48	228.90
9-ม.ค.-49	168	251.06	276.90	351.48	228.90
16-ม.ค.-49	175	248.40	284.40	216.00	234.00
23-ม.ค.-49	182	248.40	284.40	216.00	234.00
30-ม.ค.-49	189	259.99	293.33	223.33	239.99
6-ก.พ.-49	196	259.99	293.33	223.33	239.99
20-ก.พ.-49	210	294.93	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ 3 ค่าที่เคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	TKN (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	497.84	1223.26	874.78	1159.26
1-ค.ค.-48	7	355.60	1043.10	718.30	810.80
8-ค.ค.-48	14	758.61	1612.05	794.17	1078.65
15-ค.ค.-48	21	663.80	758.60	663.80	1244.60
22-ค.ค.-48	28	426.70	450.40	438.60	960.10
29-ค.ค.-48	35	370.60	370.60	424.27	794.90
5-ก.ย.-48	42	370.60	199.94	351.12	555.94
12-ก.ย.-48	49	304.30	239.90	324.80	395.00
19-ก.ย.-48	56	298.45	216.52	310.16	339.42
26-ก.ย.-48	63	257.50	175.60	263.30	257.50
3-ต.ค.-48	70	257.50	146.30	234.10	210.70
10-ต.ค.-48	77	222.40	152.15	210.67	181.41
17-ต.ค.-48	84	216.52	128.74	175.56	158.00
24-ต.ค.-48	91	198.97	117.04	140.49	146.30
31-ต.ค.-48	98	187.26	117.04	146.30	122.89
7-พ.ย.-48	105	210.67	111.19	158.00	128.74
14-พ.ย.-48	112	245.78	163.86	181.41	146.30
21-พ.ย.-48	119	275.04	175.56	198.97	140.45
28-พ.ย.-48	126	251.64	239.93	251.64	158.00
5-ธ.ค.-48	133	296.80	273.06	273.06	160.27
12-ธ.ค.-48	140	265.30	184.02	267.12	278.99
19-ธ.ค.-48	147	289.04	231.50	255.25	148.40
26-ธ.ค.-48	154	267.12	261.18	267.12	172.14
2-ม.ค.-49	161	373.97	219.63	261.18	172.14
9-ม.ค.-49	168	373.97	219.63	261.18	172.14
16-ม.ค.-49	175	433.33	184.02	237.44	160.27
23-ม.ค.-49	182	433.33	184.02	237.44	160.27
30-ม.ค.-49	189	439.26	166.21	249.31	148.40
6-ก.พ.-49	196	439.26	166.21	249.31	148.40
20-ก.พ.-49	210	439.26	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ ก 4 ค่าแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	NH3 (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	215.80	1050.20	845.20	1006.24
1-ค.ค.-48	7	92.50	604.52	557.10	806.00
8-ค.ค.-48	14	296.30	699.35	403.01	640.10
15-ค.ค.-48	21	651.90	734.90	651.90	1185.30
22-ค.ค.-48	28	403.00	450.40	391.20	604.50
29-ค.ค.-48	35	351.10	351.10	395.01	746.10
5-ก.ย.-48	42	356.00	136.50	331.61	531.56
12-ก.ย.-48	49	275.00	210.70	298.50	359.90
19-ก.ย.-48	56	216.52	187.26	269.19	298.45
26-ก.ย.-48	63	251.60	163.90	239.90	239.90
3-ต.ค.-48	70	246.52	134.60	210.70	187.30
10-ต.ค.-48	77	204.82	128.74	181.41	169.71
17-ต.ค.-48	84	187.26	111.19	152.15	134.60
24-ต.ค.-48	91	175.56	93.63	122.89	117.04
31-ต.ค.-48	98	175.56	105.34	140.45	111.19
7-พ.ย.-48	105	204.82	111.19	152.15	122.89
14-พ.ย.-48	112	239.93	128.74	175.56	134.60
21-พ.ย.-48	119	257.49	163.86	187.26	128.74
28-พ.ย.-48	126	228.23	210.67	234.08	140.45
5-ธ.ค.-48	133	273.06	267.12	243.38	148.40
12-ธ.ค.-48	140	223.74	142.46	255.25	267.12
19-ธ.ค.-48	147	277.17	225.57	231.50	136.53
26-ธ.ค.-48	154	255.25	225.57	249.31	154.34
2-ม.ค.-49	161	362.10	219.63	243.38	160.27
9-ม.ค.-49	168	362.10	219.63	243.38	160.27
16-ม.ค.-49	175	421.46	166.21	231.50	148.40
23-ม.ค.-49	182	421.46	166.21	231.50	148.40
30-ม.ค.-49	189	433.33	142.46	237.44	142.46
6-ก.พ.-49	196	433.33	142.46	237.44	142.46
20-ก.พ.-49	210	433.33	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ 5 ค่าไนเตรตของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ไนเตรต (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1-ส.ค.-48	7	0.00	0.00	0.00	0.00
8-ส.ค.-48	14	0.00	0.00	0.00	0.00
15-ส.ค.-48	21	0.00	1.29	0.00	0.00
22-ส.ค.-48	28	0.00	1.98	0.00	0.10
29-ส.ค.-48	35	0.00	3.00	0.00	0.00
5-ก.ย.-48	42	0.00	1.54	0.00	0.00
12-ก.ย.-48	49	0.00	0.93	0.00	0.00
19-ก.ย.-48	56	0.00	0.56	0.00	0.00
26-ก.ย.-48	63	0.00	0.00	0.00	0.00
3-ต.ค.-48	70	0.00	0.00	0.00	0.00
10-ต.ค.-48	77	0.00	0.00	0.00	0.00
17-ต.ค.-48	84	0.00	0.00	0.00	0.00
24-ต.ค.-48	91	0.00	0.00	0.00	0.00
31-ต.ค.-48	98	0.00	0.00	0.00	0.00
7-พ.ย.-48	105	0.00	0.00	0.00	0.00
14-พ.ย.-48	112	0.00	0.00	0.00	0.00
21-พ.ย.-48	119	0.00	0.00	0.00	0.00
28-พ.ย.-48	126	0.00	0.00	0.00	0.00
5-ธ.ค.-48	133	0.00	0.00	0.00	0.00
12-ธ.ค.-48	140	0.00	0.00	0.00	0.00
19-ธ.ค.-48	147	0.00	0.00	0.00	0.00
26-ธ.ค.-48	154	0.00	0.00	0.00	0.00
2-ม.ค.-49	161	0.00	0.00	0.00	0.00
9-ม.ค.-49	168	0.00	0.00	0.00	0.00
16-ม.ค.-49	175	0.00	0.00	0.00	0.00
23-ม.ค.-49	182	0.00	0.00	0.00	0.00
30-ม.ค.-49	189	0.00	0.00	0.00	0.00
6-ก.พ.-49	196	0.00	0.00	0.00	0.00
20-ก.พ.-49	210	0.00	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ 6 ค่าฟอสฟอรัสของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมของฟอสฟอรัสต่อลิตร)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	9.45	19.21	26.25	16.78
1-ส.ค.-48	7	7.52	15.31	25.74	14.04
8-ส.ค.-48	14	10.37	9.49	11.50	11.53
15-ส.ค.-48	21	6.82	5.23	17.19	6.20
22-ส.ค.-48	28	7.81	8.49	16.34	7.54
29-ส.ค.-48	35	5.40	2.22	11.71	4.20
5-ก.ย.-48	42	7.55	1.05	9.76	3.01
12-ก.ย.-48	49	8.54	2.87	8.69	2.94
19-ก.ย.-48	56	9.53	3.61	8.76	3.01
26-ก.ย.-48	63	9.07	4.81	8.89	3.20
3-ต.ค.-48	70	7.54	6.14	7.71	2.05
10-ต.ค.-48	77	6.64	6.33	6.69	4.38
17-ต.ค.-48	84	6.02	4.97	5.99	1.99
24-ต.ค.-48	91	5.37	4.49	3.89	2.10
31-ต.ค.-48	98	4.60	3.86	3.22	2.16
7-พ.ย.-48	105	5.35	5.06	3.54	4.52
14-พ.ย.-48	112	5.63	4.88	4.61	3.75
21-พ.ย.-48	119	6.52	6.97	5.60	4.95
28-พ.ย.-48	126	6.83	7.71	6.65	4.67
5-ธ.ค.-48	133	7.41	7.35	6.87	5.15
12-ธ.ค.-48	140	6.98	7.24	6.62	4.61
19-ธ.ค.-48	147	7.24	7.18	6.87	5.03
26-ธ.ค.-48	154	7.57	6.84	4.87	4.09
2-ม.ค.-49	161	7.23	4.94	6.13	4.12
9-ม.ค.-49	168	7.23	4.94	6.13	4.12
16-ม.ค.-49	175	7.59	5.36	5.45	4.33
23-ม.ค.-49	182	7.59	5.36	5.45	4.33
30-ม.ค.-49	189	6.75	4.83	5.49	4.18
6-ก.พ.-49	196	6.75	4.83	5.49	4.18
20-ก.พ.-49	210	7.90	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ ก 7 ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้น

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ค่าพีเอช			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	7.15	7.45	7.34	7.46
1-ค.ค.-48	7	7.39	7.72	7.52	7.74
8-ค.ค.-48	14	7.55	7.70	7.57	7.88
15-ค.ค.-48	21	7.75	7.83	7.88	7.88
22-ค.ค.-48	28	7.63	7.78	7.77	7.45
29-ค.ค.-48	35	7.31	7.30	7.42	7.60
5-ก.ย.-48	42	7.29	7.30	7.48	7.52
12-ก.ย.-48	49	7.37	7.43	7.54	7.51
19-ก.ย.-48	56	7.42	7.50	7.56	7.48
26-ก.ย.-48	63	7.29	7.43	7.40	7.41
3-ต.ค.-48	70	7.29	7.41	7.50	7.37
10-ต.ค.-48	77	7.34	7.46	7.50	7.42
17-ต.ค.-48	84	7.38	7.48	7.46	7.50
24-ต.ค.-48	91	7.44	7.51	7.46	7.51
31-ต.ค.-48	98	7.32	7.39	7.41	7.45
7-พ.ย.-48	105	7.29	7.37	7.37	7.42
14-พ.ย.-48	112	7.51	7.47	7.52	7.48
21-พ.ย.-48	119	7.58	7.52	7.51	7.43
28-พ.ย.-48	126	7.67	7.28	7.31	7.39
5-ธ.ค.-48	133	7.61	7.48	7.59	7.54
12-ธ.ค.-48	140	7.36	7.52	7.55	7.43
19-ธ.ค.-48	147	7.30	7.51	7.50	7.44
26-ธ.ค.-48	154	7.60	7.65	7.70	7.66
2-ม.ค.-49	161	7.71	7.30	7.29	7.24
9-ม.ค.-49	168	7.71	7.30	7.29	7.24
16-ม.ค.-49	175	7.67	7.53	7.61	7.52
23-ม.ค.-49	182	7.67	7.53	7.61	7.52
30-ม.ค.-49	189	7.72	7.50	7.59	7.64
6-ก.พ.-49	196	7.72	7.50	7.59	7.64
20-ก.พ.-49	210	7.78	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ 8 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity, EC) ของน้ำชะมูลฝอย

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	EC (มิลลิซีเมนต่อเซ็นติเมตร)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	7.54	16.68	13.84	12.76
1-ส.ค.-48	7	9.15	17.04	13.93	13.19
8-ส.ค.-48	14	9.78	16.03	13.22	13.73
15-ส.ค.-48	21	8.51	12.56	11.46	14.07
22-ส.ค.-48	28	7.33	11.27	10.30	12.87
29-ส.ค.-48	35	5.82	9.26	9.05	10.92
5-ก.ย.-48	42	4.88	7.64	7.97	8.81
12-ก.ย.-48	49	4.46	6.99	7.31	7.19
19-ก.ย.-48	56	4.26	6.28	6.64	6.35
26-ก.ย.-48	63	3.93	5.62	6.02	5.61
3-ต.ค.-48	70	3.70	4.90	5.30	4.92
10-ต.ค.-48	77	3.44	4.49	4.74	4.41
17-ต.ค.-48	84	3.37	4.09	4.28	3.87
24-ต.ค.-48	91	3.11	3.77	3.86	3.54
31-ต.ค.-48	98	3.05	3.69	3.80	3.26
7-พ.ย.-48	105	3.37	3.84	3.91	3.35
14-พ.ย.-48	112	3.69	4.21	4.13	3.45
21-พ.ย.-48	119	4.22	4.75	4.58	3.56
28-พ.ย.-48	126	3.82	5.32	4.89	3.66
5-ธ.ค.-48	133	4.15	5.80	4.95	3.82
12-ธ.ค.-48	140	3.98	3.93	5.00	5.85
19-ธ.ค.-48	147	3.37	5.79	4.99	4.03
26-ธ.ค.-48	154	4.03	5.78	4.87	4.09
2-ม.ค.-49	161	4.86	5.81	4.73	4.29
9-ม.ค.-49	168	4.86	5.81	4.73	4.29
16-ม.ค.-49	175	5.19	5.65	4.77	4.4
23-ม.ค.-49	182	5.19	5.65	4.77	4.40
30-ม.ค.-49	189	5.40	5.59	4.83	4.52
6-ก.พ.-49	196	5.40	5.59	4.83	4.52
20-ก.พ.-49	210	5.41	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ 9 ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity) ของน้ำชะมูลฝอย

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ค่าความเป็นด่าง (มิลลิกรัมของ CaCO ₃ ต่อลิตร)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	5185.80	6117.20	4656.70	5334.00
1-ส.ค.-48	7	3683.00	5969.00	4826.00	5842.00
8-ส.ค.-48	14	3429.00	3492.50	3429.00	3746.50
15-ส.ค.-48	21	3556.00	2413.00	3492.50	3810.00
22-ส.ค.-48	28	2500.00	2000.00	2650.00	2950.00
29-ส.ค.-48	35	2075.00	1425.00	2225.00	2350.00
5-ก.ย.-48	42	1700.00	1150.00	1950.00	1700.00
12-ก.ย.-48	49	1650.00	1000.00	1900.00	1100.00
19-ก.ย.-48	56	1550.00	750.00	1600.00	750.00
26-ก.ย.-48	63	1550.00	800.00	1650.00	650.00
3-ต.ค.-48	70	1500.00	850.00	1650.00	700.00
10-ต.ค.-48	77	1500.00	1300.00	2100.00	1100.00
17-ต.ค.-48	84	1442.10	1233.10	1500.00	950.00
24-ต.ค.-48	91	1463.00	1274.90	1504.80	1107.70
31-ต.ค.-48	98	1274.90	1107.70	1337.60	961.40
7-พ.ย.-48	105	1546.60	1421.20	1546.60	1233.10
14-พ.ย.-48	112	1630.20	1504.80	1734.70	1254.00
21-พ.ย.-48	119	1734.70	1463.00	1755.60	1149.50
28-พ.ย.-48	126	1504.80	1755.60	1672.00	1065.90
5-ธ.ค.-48	133	1780.80	1886.80	2056.40	1187.20
12-ธ.ค.-48	140	1795.00	1992.80	2077.60	1505.20
19-ธ.ค.-48	147	1766.00	1844.40	1950.40	1441.60
26-ธ.ค.-48	154	1696.00	1632.40	2056.40	1378.00
2-ม.ค.-49	161	2162.40	1611.20	1929.20	1505.20
9-ม.ค.-49	168	2162.40	1611.20	1929.20	1505.20
16-ม.ค.-49	175	2395.60	1272.00	1971.60	1208.40
23-ม.ค.-49	182	2395.60	1272.00	1971.60	1208.40
30-ม.ค.-49	189	2310.80	975.20	1759.60	720.80
6-ก.พ.-49	196	2310.80	975.20	1759.60	720.80
20-ก.พ.-49	210	2586.40	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ ก 10 ค่าปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอย

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)			
		ถึงที่ 1	ถึงที่ 2	ถึงที่ 3	ถึงที่ 4
25-ก.ค.-48	0	22.00	41.00	103.00	56.00
1-ส.ค.-48	7	17.00	31.00	6.00	7.00
8-ส.ค.-48	14	9.00	40.00	7.00	53.00
15-ส.ค.-48	21	6.00	47.00	6.00	37.00
22-ส.ค.-48	28	7.00	36.00	11.00	21.00
29-ส.ค.-48	35	11.00	82.00	10.00	13.50
5-ก.ย.-48	42	8.50	70.00	5.50	36.00
12-ก.ย.-48	49	5.50	73.00	6.50	44.00
19-ก.ย.-48	56	6.00	66.00	5.00	69.00
26-ก.ย.-48	63	7.50	69.00	11.20	61.00
3-ต.ค.-48	70	8.00	84.00	8.50	80.00
10-ต.ค.-48	77	5.00	61.00	4.00	81.00
17-ต.ค.-48	84	8.50	44.00	4.50	44.00
24-ต.ค.-48	91	5.50	50.00	6.50	50.00
31-ต.ค.-48	98	5.00	45.00	6.00	40.00
7-พ.ย.-48	105	5.50	20.00	5.00	29.00
14-พ.ย.-48	112	9.00	23.00	3.00	38.00
21-พ.ย.-48	119	7.00	17.00	7.00	32.00
28-พ.ย.-48	126	7.00	5.00	3.00	21.00
5-ธ.ค.-48	133	7.00	6.00	2.00	12.00
12-ธ.ค.-48	140	5.00	7.00	9.00	3.00
19-ธ.ค.-48	147	6.00	1.00	1.00	6.00
26-ธ.ค.-48	154	12.00	7.00	2.00	7.00
2-ม.ค.-49	161	9.00	6.00	5.00	5.00
9-ม.ค.-49	168	9.00	6.00	5.00	5.00
16-ม.ค.-49	175	5.00	10.00	9.00	6.00
23-ม.ค.-49	182	5.00	10.00	9.00	6.00
30-ม.ค.-49	189	9.00	12.00	3.00	8.00
6-ก.พ.-49	196	9.00	12.00	3.00	8.00
20-ก.พ.-49	210	8.00	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ ก 11 ปริมาณน้ำชะมูลฝอย

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณน้ำฝน สะสม (ลิตร)	ปริมาณน้ำชะมูลฝอย (ลิตร)			
			ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-ค.ค.-48	7	60.83	16.50	24.50	27.00	14.00
8-ค.ค.-48	14	121.66	28.50	41.50	39.00	7.25
15-ค.ค.-48	21	182.49	42.80	65.00	64.40	31.00
22-ค.ค.-48	28	243.32	47.35	76.00	61.25	35.00
29-ค.ค.-48	35	304.15	48.40	72.00	69.20	38.40
5-ก.ย.-48	42	364.98	42.90	72.66	63.15	54.43
12-ก.ย.-48	49	425.81	43.20	70.65	71.44	56.62
19-ก.ย.-48	56	486.64	50.10	78.55	68.30	52.58
26-ก.ย.-48	63	547.47	41.47	68.00	69.70	48.60
3-ต.ค.-48	70	608.30	44.00	74.20	60.18	53.06
10-ต.ค.-48	77	669.13	57.40	69.00	67.00	50.00
17-ต.ค.-48	84	729.96	50.00	65.52	67.60	47.62
24-ต.ค.-48	91	790.79	50.56	69.20	71.90	45.12
31-ต.ค.-48	98	851.62	39.58	58.36	59.50	39.92
7-พ.ย.-48	105	869.00	27.82	40.00	44.00	34.16
14-พ.ย.-48	112	869.00	12.64	34.44	33.80	20.12
21-พ.ย.-48	119	869.00	3.20	29.44	24.45	10.08
28-พ.ย.-48	126	869.00	3.37	20.68	25.00	9.37
5-ธ.ค.-48	133	869.00	4.68	22.96	20.00	7.92
12-ธ.ค.-48	140	869.00	1.25	22.00	19.50	5.60
19-ธ.ค.-48	147	869.00	1.50	16.21	16.00	4.00
26-ธ.ค.-48	154	869.00	2.50	18.42	16.30	4.05
2-ม.ค.-49	161	869.00	2.54	15.25	13.60	6.85
9-ม.ค.-49	168	869.00	2.54	15.25	13.60	6.85
16-ม.ค.-49	175	869.00	1.50	15.75	15.80	5.92
23-ม.ค.-49	182	869.00	1.50	15.75	15.80	5.92
30-ม.ค.-49	189	869.00	0.80	15.35	15.70	4.60
6-ก.พ.-49	196	869.00	0.80	15.35	15.70	4.60
20-ก.พ.-49	210	869.00	1.60	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ ก 12 ปริมาณน้ำชะมูลฝอยสะสม

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณน้ำฝน สะสม (ลิตร)	ปริมาณน้ำชะมูลฝอยสะสม (ลิตร)			
			ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1-ส.ค.-48	7	60.83	16.50	4.50	7.00	14.00
8-ส.ค.-48	14	121.66	45.00	26.00	26.00	21.25
15-ส.ค.-48	21	182.49	87.80	71.00	70.40	52.25
22-ส.ค.-48	28	243.32	135.15	127.00	111.65	87.25
29-ส.ค.-48	35	304.15	183.55	179.00	160.85	125.65
5-ก.ย.-48	42	364.98	226.45	231.66	204.00	180.08
12-ก.ย.-48	49	425.81	269.65	282.31	255.44	236.70
19-ก.ย.-48	56	486.64	319.75	340.86	303.74	289.28
26-ก.ย.-48	63	547.47	361.22	388.86	353.44	337.88
3-ต.ค.-48	70	608.30	405.22	443.06	393.62	390.94
10-ต.ค.-48	77	669.13	462.62	492.06	440.62	440.94
17-ต.ค.-48	84	729.96	512.62	537.58	488.22	488.56
24-ต.ค.-48	91	790.79	563.18	586.78	540.12	533.68
31-ต.ค.-48	98	851.62	602.76	625.14	579.62	573.60
7-พ.ย.-48	105	869.00	630.58	645.14	603.62	607.76
14-พ.ย.-48	112	869.00	643.22	659.58	617.42	627.88
21-พ.ย.-48	119	869.00	646.42	669.02	621.87	637.96
28-พ.ย.-48	126	869.00	649.79	669.70	626.87	647.33
5-ธ.ค.-48	133	869.00	654.47	672.66	626.87	655.25
12-ธ.ค.-48	140	869.00	655.72	674.66	626.37	660.85
19-ธ.ค.-48	147	869.00	657.22	670.87	622.37	664.85
26-ธ.ค.-48	154	869.00	659.72	669.29	618.67	668.90
2-ม.ค.-49	161	869.00	662.26	664.54	612.27	675.75
9-ม.ค.-49	168	869.00	664.80	659.79	605.87	682.60
16-ม.ค.-49	175	869.00	666.30	655.54	601.67	688.52
23-ม.ค.-49	182	869.00	667.80	651.29	597.47	694.44
30-ม.ค.-49	189	869.00	668.60	646.64	593.17	699.04
6-ก.พ.-49	196	869.00	669.40	661.99	608.87	703.64
20-ก.พ.-49	210	869.00	671.00	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ ก 13 ปริมาณ COD Leaching สะสม

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	COD Leaching สะสม (g)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1-ค.ค.-48	7	8.58	25.97	22.14	12.04
8-ค.ค.-48	14	20.55	23.69	15.24	18.28
15-ค.ค.-48	21	47.09	66.89	43.66	66.64
22-ค.ค.-48	28	69.82	102.73	64.28	103.04
29-ค.ค.-48	35	86.66	130.60	88.29	139.44
5-ก.ช.-48	42	96.96	151.67	107.28	175.36
12-ก.ช.-48	49	107.90	171.93	126.48	205.93
19-ก.ช.-48	56	120.26	191.83	142.90	229.49
26-ก.ช.-48	63	129.85	208.31	160.16	246.95
3-ค.ค.-48	70	136.89	221.52	169.80	262.31
10-ค.ค.-48	77	144.98	232.90	179.82	276.02
17-ค.ค.-48	84	152.60	243.13	190.15	287.26
24-ค.ค.-48	91	159.45	253.11	199.32	297.78
31-ค.ค.-48	98	164.20	260.53	205.64	306.03
7-พ.ช.-48	105	168.34	264.79	210.10	314.34
14-พ.ช.-48	112	170.71	268.14	212.81	319.33
21-พ.ช.-48	119	171.31	270.41	213.70	321.56
28-พ.ช.-48	126	172.09	270.60	214.83	323.84
5-ธ.ค.-48	133	173.23	271.52	214.83	325.77
12-ธ.ค.-48	140	173.74	271.96	214.71	327.47
19-ธ.ค.-48	147	174.25	270.80	213.82	328.41
26-ธ.ค.-48	154	174.73	270.52	212.94	329.39
2-ม.ค.-49	161	176.00	267.89	208.44	332.52
9-ม.ค.-49	168	176.00	267.89	208.44	332.52
16-ม.ค.-49	175	176.75	265.47	206.63	335.29
23-ม.ค.-49	182	176.75	265.47	206.63	335.29
30-ม.ค.-49	189	177.16	268.61	209.18	337.5
6-ก.พ.-49	196	177.16	268.61	209.18	337.50
20-ก.พ.-49	210	177.63	ND	ND	ND

ตารางผนวกที่ ก 14 ปริมาณ TKN Leaching สะสม

วันที่	ระยะเวลา (วัน)	TKN Leaching สะสม (g)			
		ถังที่ 1	ถังที่ 2	ถังที่ 3	ถังที่ 4
25-ก.ค.-48	0	0.00	0.00	0.00	0.00
1-ค.ค.-48	7	5.87	25.56	15.04	11.28
8-ค.ค.-48	14	27.49	39.35	20.12	19.10
15-ค.ค.-48	21	55.90	73.49	49.59	57.68
22-ค.ค.-48	28	76.10	98.71	67.68	91.28
29-ค.ค.-48	35	94.04	117.98	88.56	121.80
5-ก.ย.-48	42	109.94	128.51	103.71	152.06
12-ก.ย.-48	49	123.09	140.66	120.41	174.42
19-ก.ย.-48	56	138.04	153.34	135.40	192.27
26-ก.ย.-48	63	148.72	161.77	148.48	204.78
3-ต.ค.-48	70	160.05	169.70	157.89	215.96
10-ต.ค.-48	77	172.82	177.15	167.79	225.03
17-ต.ค.-48	84	183.65	183.01	176.15	232.55
24-ต.ค.-48	91	193.71	188.77	183.44	239.15
31-ต.ค.-48	98	201.12	193.26	189.22	244.06
7-พ.ย.-48	105	206.98	195.49	193.01	248.46
14-พ.ย.-48	112	210.09	197.85	195.51	251.40
21-พ.ย.-48	119	210.97	199.51	196.40	252.82
28-พ.ย.-48	126	211.82	199.67	197.66	254.30
5-ธ.ค.-48	133	213.20	200.48	197.66	255.57
12-ธ.ค.-48	140	213.54	200.85	197.52	257.13
19-ธ.ค.-48	147	213.97	199.97	196.50	257.72
26-ธ.ค.-48	154	214.64	199.56	195.51	258.42
2-ม.ค.-49	161	216.54	197.47	192.17	260.78
9-ม.ค.-49	168	216.54	197.47	192.17	260.78
16-ม.ค.-49	175	217.84	195.91	190.17	262.68
23-ม.ค.-49	182	217.84	195.91	190.17	262.68
30-ม.ค.-49	189	218.54	197.69	193.02	264.04
6-ก.พ.-49	196	218.54	197.69	193.02	264.04
20-ก.พ.-49	210	219.24	ND	ND	ND

ภาคผนวก ข
ผลการศึกษาของการทดลองที่ 2

ตารางผนวกที่ ข 1 ปริมาณบีโอดีของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	เข้า mg/L	มูลฝอย		มูลฝอยปรับสภาพ					
		ไม่ปรับสภาพ		เดิมอากาศ					
		mg/L	%	8.5 m ³ /h		17 m ³ /h			
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	
1	2984.96	542.72	81.82	38.16	98.72	25.44	99.15	-	-
2	2713.60	627.50	76.88	229.00	91.56	50.90	98.12	-	-
3	2170.90	508.80	76.56	364.60	83.21	12.70	99.41	-	-
4	1153.28	339.20	70.59	373.12	67.65	27.56	97.61	-	-
5	1356.80	695.36	48.75	407.04	70.00	76.32	94.38	-	-
6	1424.64	491.84	65.48	457.92	67.86	16.92	98.81	-	-
7	2577.92	661.44	74.34	491.84	80.92	16.92	99.34	-	-
8	2510.08	1051.52	58.11	610.56	75.68	14.84	99.41	-	-
9	3256.32	1051.52	67.71	661.44	79.69	23.32	99.28	-	-
10	2956.80	441.00	85.09	294.00	90.06	67.20	97.73	63.00	97.87
11	3024.00	756.00	75.00	399.00	86.81	113.40	96.25	46.20	98.47
12	2755.20	742.00	73.07	420.00	84.76	50.40	98.17	50.40	98.17
13	2620.80	832.00	68.25	252.00	90.38	54.60	97.92	42.00	98.40
14	2620.80	722.40	72.44	302.40	88.46	46.20	98.24	37.80	98.56
15	3494.40	772.80	77.88	672.00	80.77	84.00	97.60	79.80	97.72
16	2857.60	672.00	76.48	302.40	89.42	47.20	98.35	38.80	98.64
17	2755.20	504.00	81.71	252.00	90.85	37.80	98.63	54.60	98.02
18	2755.20	630.00	77.13	163.80	94.05	21.80	99.21	31.90	98.84
19	3292.80	-	-	117.60	96.43	120.96	96.33	112.56	96.58
21	2956.80	-	-	171.36	94.20	15.12	99.49	15.12	99.49
23	3225.60	-	-	228.48	92.92	20.16	99.38	20.16	99.38
27	2600.00	-	-	170.50	93.44	17.60	99.32	17.60	99.32
28	2326.40	-	-	231.52	90.05	39.52	98.30	44.59	98.08
32	3120.64	-	-	195.04	93.75	11.02	99.65	7.63	99.76
34	2577.92	-	-	250.16	90.30	9.33	99.64	6.78	99.74
35	2781.44	-	-	165.36	94.05	9.33	99.66	12.72	99.54
36	3324.16	-	-	233.20	92.98	14.42	99.57	10.18	99.69

ตารางผนวกที่ ข 2 ปริมาณซีโอดีของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	เข้า mg/L	มูลฝอย		มูลฝอยปรับสภาพ					
		ไม่ปรับสภาพ		เติมอากาศ					
		mg/L	%	8.5 m ³ /h		17 m ³ /h			
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	
1	4475.20	813.70	81.82	294.80	93.41	312.80	93.01	-	-
2	3970.00	1172.90	70.46	511.30	87.12	397.00	90.00	-	-
3	4042.10	1154.90	71.43	649.70	83.93	348.90	91.37	-	-
4	3680.00	1280.00	65.22	920.00	75.00	280.00	92.39	-	-
5	3200.00	1280.00	60.00	870.00	72.81	266.70	91.67	-	-
6	3520.00	1120.00	68.18	880.00	75.00	227.00	93.55	-	-
7	4320.00	1360.00	68.52	900.00	79.17	213.30	95.06	-	-
8	4000.00	1560.00	61.00	1030.00	74.25	186.70	95.33	-	-
9	3520.00	1440.00	59.09	920.00	73.86	146.70	95.83	-	-
11	3116.00	646.00	79.27	532.00	82.93	228.00	92.68	342.00	89.02
12	3420.00	722.00	78.89	494.00	85.56	190.00	94.44	285.00	91.67
13	3439.00	926.00	73.07	510.00	85.17	179.00	94.79	293.00	91.48
14	3116.00	988.00	68.29	494.00	84.15	171.00	94.51	266.00	91.46
15	3724.00	874.00	76.53	418.00	88.78	209.00	94.39	285.00	92.35
16	4028.00	890.80	77.88	494.00	87.74	133.00	96.70	209.00	94.81
17	3572.00	722.00	79.79	471.20	86.81	144.40	95.96	220.40	93.83
18	3259.20	900.00	72.39	465.60	85.71	124.20	96.19	170.70	94.76
19	3450.00	926.00	73.16	480.00	86.09	120.00	96.52	180.00	94.78
20	4306.00	-	-	282.40	93.44	162.40	96.23	176.50	95.90
22	3609.12	-	-	391.28	89.16	150.67	95.83	171.70	95.24
24	3965.21	-	-	474.58	88.03	153.04	96.14	194.78	95.09
26	3416.96	-	-	379.66	88.89	122.03	96.43	138.31	95.95
28	3360.00	-	-	440.00	86.90	120.00	96.43	136.00	95.95
29	3530.63	-	-	429.78	87.83	130.91	96.29	146.78	95.84
33	3638.74	-	-	296.78	91.84	131.61	96.38	131.61	96.38
35	3801.60	-	-	339.20	91.08	126.72	96.67	126.72	96.67
36	3515.40	-	-	371.70	89.43	109.62	96.88	132.30	96.24
37	4044.60	-	-	447.30	88.94	124.74	96.92	132.30	96.73

ตารางผนวกที่ ข 3 ปริมาณที่เคเอ็นของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	เข้า mg/L	มูลฝอย		มูลฝอยปรับสภาพ					
		ไม่ปรับสภาพ		เติมอากาศ					
		mg/L	%	8.5 m3/h		17 m3/h			
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	
1	433.40	531.90	-22.73	325.10	24.99	137.90	68.18	-	-
2	394.00	384.20	2.49	285.70	27.49	216.70	45.00	-	-
3	433.40	591.00	-36.36	275.80	36.36	206.90	52.26	-	-
4	216.70	334.90	-54.55	256.10	-18.18	177.30	18.18	-	-
5	246.30	315.20	-27.97	197.00	20.02	157.60	36.01	-	-
6	275.80	295.50	-7.14	216.70	21.43	118.20	57.14	-	-
7	256.10	315.20	-23.08	226.55	11.54	108.35	57.69	-	-
8	187.15	325.05	-73.68	236.40	-26.32	118.20	36.84	-	-
9	147.75	325.05	-120.00	236.40	-60.00	68.95	53.33	-	-
10	194.53	348.57	-79.19	212.69	-9.34	70.90	63.55	165.42	14.96
11	170.90	330.85	-93.59	254.04	-48.65	59.08	65.43	177.24	-3.71
12	165.42	313.12	-89.29	254.04	-53.57	64.99	60.71	171.33	-3.57
13	106.34	324.94	-205.57	254.04	-138.89	64.99	38.88	153.60	-44.44
14	212.67	301.31	-41.68	230.41	-8.34	59.08	72.22	135.88	36.11
15	194.96	295.40	-51.52	230.41	-18.18	47.26	75.76	129.98	33.33
16	183.15	271.77	-48.39	200.87	-9.68	41.36	77.42	124.07	32.26
17	177.24	277.68	-56.67	194.96	-10.00	47.26	73.34	106.34	40.00
18	129.98	259.95	-99.99	206.78	-59.09	47.26	63.64	88.62	31.82
19	106.34	-	-	212.69	-100.01	53.17	50.00	70.90	33.33
21	165.42	-	-	194.96	-17.86	50.22	69.64	47.26	71.43
23	171.33	-	-	183.15	-6.90	38.40	77.59	32.49	81.04
25	159.52	-	-	200.87	-25.92	29.54	81.48	26.59	83.33
27	171.33	-	-	183.15	-6.90	17.72	89.66	16.25	90.52
28	174.29	-	-	194.96	-11.86	13.59	92.20	11.23	93.56
32	127.02	-	-	206.78	-62.79	18.31	85.58	8.86	93.02
34	150.65	-	-	171.33	-13.73	11.82	92.15	7.68	94.90
35	177.24	-	-	171.33	3.33	11.82	93.33	8.27	95.33
36	127.02	-	-	177.24	-39.54	10.04	92.10	7.09	94.42

ตารางผนวกที่ ข 4 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	เข้า mg/L	มูลฝอย		มูลฝอยปรับสภาพ					
		ไม่ปรับสภาพ		เติมอากาศ					
		mg/L	%	8.5 m ³ /h		17 m ³ /h			
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	
1	354.60	522.10	-47.24	315.20	11.11	216.70	38.89	-	-
2	315.20	344.80	-9.39	275.80	12.50	197.00	37.50	-	-
3	315.20	394.00	-25.00	275.80	12.50	187.20	40.61	-	-
4	226.55	285.65	-26.09	246.25	-8.70	167.45	26.09	-	-
5	147.75	305.35	-106.67	197.00	-33.33	147.75	0.00	-	-
6	216.70	295.50	-36.36	216.70	0.00	108.35	50.00	-	-
7	256.10	285.65	-11.54	226.55	11.54	108.35	57.69	-	-
8	137.90	275.80	-100.00	206.85	-50.00	118.20	14.29	-	-
9	118.20	275.80	-133.33	206.85	-75.00	68.95	41.67	-	-
10	170.90	336.76	-97.05	206.78	-20.99	59.08	65.43	135.88	20.49
11	164.99	319.03	-93.36	242.23	-46.81	47.26	71.36	177.24	-7.42
12	164.99	295.40	-79.04	230.41	-39.65	53.17	67.77	165.42	-0.26
13	106.34	301.31	-183.35	236.32	-122.23	47.26	55.56	153.61	-44.45
14	165.42	277.68	-67.86	212.67	-28.56	47.26	71.43	124.07	25.00
15	177.24	283.53	-59.97	206.78	-16.67	47.26	73.34	124.07	30.00
16	147.70	271.77	-84.00	200.87	-36.00	35.45	76.00	106.34	28.00
17	129.98	271.77	-109.09	194.96	-49.99	35.45	72.73	88.62	31.82
18	129.98	259.95	-99.99	189.06	-45.45	41.36	68.18	82.71	36.37
19	91.57	-	-	206.78	-125.82	50.22	45.16	67.94	25.81
21	112.25	-	-	189.06	-68.43	41.36	63.15	38.40	65.79
23	124.07	-	-	183.15	-47.62	38.40	69.05	26.59	78.57
25	115.21	-	-	200.87	-74.35	26.59	76.92	20.68	82.05
27	121.11	-	-	183.15	-51.23	16.25	86.58	11.82	90.24
28	132.93	-	-	177.24	-33.33	10.04	92.45	7.09	94.67
32	91.57	-	-	189.06	-106.46	13.00	85.80	4.14	95.48
34	106.34	-	-	159.52	-50.01	4.73	95.55	1.77	98.34
35	127.02	-	-	171.33	-34.88	8.86	93.02	4.14	96.74
36	79.76	-	-	171.33	-114.81	7.09	91.11	2.95	96.30

ตารางผนวกที่ ข 5 ปริมาณไนโตรเจนของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)			
	มูลฝอย ไม่ปรับสภาพ	มูลฝอยปรับสภาพ		
		เติมอากาศ		
		8.5 m ³ /h	17 m ³ /h	
1	0.011	0.010	0.020	-
2	0.007	0.010	0.004	-
3	0.011	0.011	0.004	-
4	0.008	0.007	0.094	-
5	0.007	0.008	0.194	-
6	0.044	0.028	0.111	-
7	0.005	0.003	0.612	-
8	0.005	0.003	1.080	-
9	0.003	0.003	1.226	-
10	0.008	0.009	0.422	0.004
11	0.007	0.008	1.092	0.006
12	0.120	0.110	0.152	0.053
13	0.006	0.009	0.381	0.172
14	0.007	0.008	0.165	0.151
15	0.007	0.000	0.145	0.003
16	0.008	0.000	0.097	0.003
17	0.008	0.008	0.105	0.003
18	0.007	0.008	0.036	0.002
19	-	0.008	0.019	0.062
21	-	0.009	0.006	0.201
23	-	0.007	0.009	0.233
25	-	0.010	0.123	0.221
27	-	0.036	0.022	0.054
28	-	0.031	0.198	0.308
32	-	0.007	0.038	0.065
34	-	0.007	0.037	0.103
35	-	0.010	0.150	0.236
36	-	0.009	0.135	0.215

ตารางผนวกที่ ข 6 ปริมาณไนเตรตของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ไนเตรต (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)			
	มูลฝอย ไม่ปรับสภาพ	มูลฝอยปรับสภาพ		
		เติมอากาศ		
		8.5 m ³ /h	17 m ³ /h	
1	0.21	0.20	0.20	-
2	0.26	0.18	0.13	-
3	0.30	0.31	0.67	-
4	0.12	0.10	0.20	-
5	0.22	0.18	0.12	-
6	0.20	0.20	0.13	-
7	0.09	0.54	0.35	-
8	0.22	0.06	0.05	-
9	0.26	0.03	0.01	-
10	0.04	0.09	0.40	0.90
11	0.15	0.02	0.03	0.00
12	0.12	0.11	0.00	0.05
13	0.08	0.05	0.12	0.06
14	0.11	0.01	0.00	0.00
15	0.14	0.00	0.05	0.03
16	0.02	0.00	0.03	0.11
17	0.00	0.07	0.05	0.21
18	0.44	0.34	0.14	0.32
19	-	0.08	0.23	0.13
21	-	0.09	0.05	0.11
23	-	0.09	0.14	0.47
25	-	0.04	0.11	0.26
27	-	0.09	0.07	0.49
28	-	0.22	0.21	0.28
32	-	0.06	0.21	0.00
34	-	0.16	0.06	0.23
35	-	0.13	0.15	0.10
36	-	0.14	0.04	0.22

ตารางผนวกที่ ๗ ปริมาณฟอสเฟตของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	เข้า mg/L	มูลฝอย			มูลฝอยปรับสภาพ					
		ไม่ปรับสภาพ			เติมอากาศ					
		mg/L	%		8.5 m ³ /h		17 m ³ /h			
		mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	
1	35.66	11.47	67.84	8.71	75.57	25.96	27.20	-	-	
2	34.03	9.43	72.29	7.71	77.34	1.82	94.65	-	-	
3	32.58	9.05	72.22	7.08	78.27	0.72	97.79	-	-	
4	33.57	9.92	70.45	8.79	73.82	0.96	97.14	-	-	
5	25.16	11.48	54.37	7.88	68.68	0.75	97.02	-	-	
6	22.55	8.43	62.62	5.80	74.28	0.71	96.85	-	-	
7	33.20	7.62	77.05	6.97	79.01	0.44	98.67	-	-	
8	22.66	7.37	67.48	7.31	67.74	0.33	98.54	-	-	
9	23.49	8.21	65.05	7.82	66.71	0.28	98.81	-	-	
10	17.24	4.15	75.93	6.97	59.57	0.91	94.72	5.62	67.40	
12	63.84	5.69	91.09	6.80	89.35	0.37	99.42	4.07	93.62	
14	86.56	6.56	92.42	7.60	91.22	0.28	99.68	3.55	95.90	
16	84.72	8.38	90.11	6.79	91.99	0.26	99.69	3.33	96.07	
18	61.28	10.02	83.65	7.68	87.47	0.39	99.36	0.15	99.76	
19	6.58	-	-	6.36	3.34	0.83	87.34	0.21	96.87	
21	5.11	-	-	4.46	12.77	0.53	89.61	0.27	94.76	
23	18.61	-	-	8.77	52.91	0.68	96.34	0.23	98.79	
25	5.84	-	-	4.15	28.91	0.22	96.22	0.07	98.80	
27	16.21	-	-	9.42	41.90	0.31	98.10	0.10	99.41	
28	18.90	-	-	9.96	47.30	0.33	98.25	0.20	98.96	
32	10.04	-	-	9.50	5.42	0.37	96.33	0.15	98.56	
34	4.25	-	-	1.06	75.03	0.56	86.93	0.16	96.33	
35	8.35	-	-	4.86	41.83	0.59	92.91	0.12	98.55	
36	9.96	-	-	8.67	12.93	0.43	95.73	0.13	98.69	

ตารางผนวกที่ ข 8 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	เข้า mg/L	มูลฝอย		มูลฝอยปรับสภาพ					
		ไม่ปรับสภาพ		เติมอากาศ					
		mg/L	%	8.5 m ³ /h		17 m ³ /h			
	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	mg/L	%	
1	208.00	10.00	95.19	4.00	98.08	27.00	87.02	-	-
2	206.00	7.00	96.60	11.00	94.66	10.00	95.15	-	-
3	408.00	48.00	88.24	36.00	91.18	13.00	96.81	-	-
4	224.00	32.00	85.71	40.00	82.14	10.00	95.54	-	-
5	592.00	32.00	94.59	58.00	90.20	10.00	98.31	-	-
6	392.00	56.00	85.71	100.00	74.49	12.00	96.94	-	-
7	373.30	76.00	79.64	92.00	75.35	2.00	99.46	-	-
8	288.00	72.00	75.00	24.00	91.67	6.00	97.92	-	-
9	656.00	48.00	92.68	8.00	98.78	12.00	98.17	-	-
10	192.00	8.00	95.83	18.00	90.63	40.00	79.17	40.00	79.17
11	296.00	26.00	91.22	10.00	96.62	20.00	93.24	2.00	99.32
12	200.00	8.00	96.00	8.00	96.00	12.00	94.00	10.00	95.00
13	312.00	44.00	85.90	10.00	96.79	6.00	98.08	26.00	91.67
14	240.00	24.00	90.00	14.00	94.17	8.00	96.67	20.00	91.67
15	472.00	12.00	97.46	2.00	99.58	2.00	99.58	26.00	94.49
16	208.00	26.00	87.50	24.00	88.46	4.00	98.08	14.00	93.27
17	320.00	8.00	97.50	4.00	98.75	12.00	96.25	18.00	94.38
18	240.00	6.00	97.50	2.00	99.17	10.00	95.83	20.00	91.67
19	768.00	-	-	14.00	98.18	38.00	95.05	4.00	99.48
21	376.00	-	-	20.00	94.68	28.00	92.55	4.00	98.94
23	488.00	-	-	12.00	97.54	22.00	95.49	34.00	93.03
25	368.00	-	-	10.00	97.28	18.00	95.11	10.00	97.28
27	368.00	-	-	12.00	96.74	12.00	96.74	16.00	95.65
28	528.00	-	-	10.00	98.11	8.00	98.48	4.00	99.24
32	400.00	-	-	2.00	99.50	12.00	97.00	4.00	99.00
34	872.00	-	-	8.00	99.08	10.00	98.85	12.00	98.62
35	480.00	-	-	12.00	97.50	10.00	97.92	52.00	89.17
36	320.00	-	-	6.00	98.13	16.00	95.00	2.00	99.38

ตารางผนวกที่ ข 9 ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ค่าพีเอช				
	เข้า	มูลฝอย ไม่ปรับสภาพ		มูลฝอยปรับสภาพ	
				เติมอากาศ	
				8.5 m ³ /h	17 m ³ /h
1	6.52	7.80	7.53	7.71	-
2	6.55	7.26	7.39	7.57	-
3	6.77	7.59	7.39	7.54	-
4	6.94	7.22	7.33	7.50	-
5	7.11	7.07	7.31	7.82	-
6	7.04	7.08	7.23	7.58	-
7	7.15	7.25	7.32	7.57	-
8	6.64	7.20	7.51	7.35	-
9	5.99	7.09	7.33	7.19	-
10	5.34	7.63	7.95	7.29	7.84
11	4.85	7.28	7.30	7.02	7.29
12	5.15	7.19	7.29	6.96	7.29
13	5.98	7.26	7.41	7.07	7.33
14	5.98	7.18	7.18	6.96	7.11
15	6.02	7.27	7.24	7.02	7.12
16	5.99	7.34	7.29	7.04	7.14
17	5.84	7.27	7.25	6.99	7.06
18	5.26	7.25	7.26	7.36	7.08
19	6.25	-	7.46	7.41	7.47
21	5.69	-	7.25	7.18	7.15
23	6.12	-	7.24	7.41	6.93
25	6.08	-	7.29	7.13	6.97
27	6.30	-	7.68	7.14	7.04
28	6.35	-	7.11	7.07	6.85
32	5.69	-	7.51	6.89	6.87
34	6.37	-	7.73	7.02	7.11
35	6.92	-	7.40	7.33	7.26
36	5.59	-	7.43	7.08	6.87

ตารางผนวกที่ ข 10 ปริมาณน้ำชะมูลฝอย ที่สภาวะต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณน้ำชะมูลฝอย (ลิตร)			
	เช้า	ไม่เต็มอากาศ	เต็มอากาศ	
			8.5 m ³ /h	17 m ³ /h
1	19.00	ND	4.40	0.09
2	19.00	ND	14.40	6.50
3	19.00	ND	15.40	16.80
4	19.00	ND	17.70	16.25
5	19.00	ND	16.45	15.20
6	19.00	ND	17.00	15.00
7	19.00	ND	15.30	17.00
8	19.00	ND	16.50	15.20
9	19.00	ND	18.00	17.90
10	19.00	16.50	16.50	16.50
12	19.00	15.50	16.50	15.50
14	19.00	20.00	19.50	19.00
16	19.00	15.50	16.50	16.00
18	19.00	16.50	16.50	14.00
24	19.00	16.50	17.00	15.50
25	19.00	15.50	15.00	14.75
26	19.00	19.00	19.00	18.00
27	19.00	17.00	16.00	15.00

หมายเหตุ: ND (Non Detected) หมายถึง ไม่ได้ทำการตรวจวัด ณ ขณะนั้น ๆ

ตารางผนวกที่ ข11 ปริมาณบีโอดีของน้ำขะมุดผอย ที่การะบรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	บีโอดี (มิลลิกรัมของก๊าซออกซิเจนต่อลิตร)															
	10 L/m ³ .d				20 L/m ³ .d				40 L/m ³ .d				60 L/m ³ .d			
	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	
1	2795.52	116.48	95.83	3292.80	112.56	96.58	2620.48	48.85	98.14	2795.52	108.16	96.13	2795.52	31.62	98.87	
2	2795.52	54.91	98.04	ND	ND	ND	2758.40	45.97	98.33	2795.52	31.62	98.87	2795.52	31.62	98.87	
3	2795.52	76.54	97.26	2956.80	15.12	99.49	3034.24	43.10	98.58	2795.52	79.87	97.14	2795.52	79.87	97.14	
4	3194.88	96.51	96.98	ND	ND	ND	3792.80	62.10	98.36	3194.88	96.51	96.98	3194.88	96.51	96.98	
5	2728.96	84.86	96.89	3225.60	20.16	99.38	3516.96	31.03	99.12	2728.96	136.45	95.00	2728.96	136.45	95.00	
6	2928.64	84.86	97.10	ND	ND	ND	3379.04	43.10	98.72	2928.64	203.01	93.07	2928.64	203.01	93.07	
7	3061.76	86.54	97.17	ND	ND	ND	3654.88	72.41	98.02	3061.76	206.34	93.26	3061.76	206.34	93.26	
8	2595.84	79.87	96.92	ND	ND	ND	3654.88	65.51	98.21	2595.84	220.48	91.51	2595.84	220.48	91.51	
9	2595.84	81.54	96.86	2600.00	17.60	99.32	3616.72	42.39	98.83	2595.84	295.36	88.62	2595.84	295.36	88.62	
11	2795.52	86.53	96.90	ND	ND	ND	2906.40	36.33	98.75	2795.52	228.80	91.82	2795.52	228.80	91.82	
13	2529.28	86.53	96.58	ND	ND	ND	3070.80	66.53	97.83	2529.28	232.96	90.79	2529.28	232.96	90.79	
14	ND	ND	ND	3120.64	7.63	99.76	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
15	2661.36	54.58	97.95	ND	ND	ND	2047.20	47.77	97.67	2661.36	324.14	87.82	2661.36	324.14	87.82	
16	ND	ND	ND	2577.92	6.78	99.74	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
17	2934.32	75.06	97.44	2781.44	12.72	99.54	2729.60	37.53	98.63	2934.32	311.35	89.39	2934.32	311.35	89.39	
18	2934.22	73.36	97.50	3324.16	10.18	99.69	2729.60	34.12	98.75	2934.22	562.98	80.81	2934.22	562.98	80.81	

ตารางผนวกที่ ๗12 ปริมาณซีโอดีของน้ำประมุดผดยออก ที่ภาวะบรรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ซีโอดี (มิลลิกรัมของกำซออกซิเจนต่อลิตร)															
	10 L/m3.d				20 L/m3.d				40 L/m3.d				60 L/m3.d			
	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	
1	4329.52	134.40	96.90	4306.00	176.50	95.90	3061.40	170.10	94.44	4329.52	211.20	95.12	4329.52	211.20	95.12	
2	4224.00	134.40	96.82	ND	ND	ND	3484.00	154.84	95.56	4224.00	144.00	96.59	4224.00	144.00	96.59	
3	4380.40	97.86	97.77	3609.12	171.70	95.24	3892.90	195.28	94.98	4380.40	163.10	96.28	4380.40	163.10	96.28	
4	4194.00	125.82	97.00	ND	ND	ND	3809.60	144.90	96.20	4194.00	191.06	95.44	4194.00	191.06	95.44	
5	4657.45	128.32	97.24	3965.21	194.78	95.09	3961.88	137.14	96.54	4657.45	185.35	96.02	4657.45	185.35	96.02	
6	3706.95	118.81	96.79	ND	ND	ND	4050.00	142.50	96.48	3706.95	308.91	91.67	3706.95	308.91	91.67	
7	3764.80	122.36	96.75	3416.96	138.31	95.95	3750.00	147.70	96.06	3764.80	282.36	92.50	3764.80	282.36	92.50	
8	3576.60	122.36	96.58	ND	ND	ND	4061.75	92.01	97.73	3576.60	329.42	90.79	3576.60	329.42	90.79	
9	3075.60	97.86	96.82	3360.00	136.00	95.95	3806.00	60.55	98.41	3075.60	411.63	86.62	3075.60	411.63	86.62	
10	ND	ND	ND	3530.63	146.78	95.84	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
11	3075.60	107.18	96.52	ND	ND	ND	3806.00	60.55	98.41	3075.60	287.37	90.66	3075.60	287.37	90.66	
13	4037.40	121.12	97.00	ND	ND	ND	3806.00	91.04	97.61	4037.40	336.45	91.67	4037.40	336.45	91.67	
15	4037.40	103.18	97.44	3638.74	134.40	96.31	3641.44	82.76	97.73	4037.40	456.08	88.70	4037.40	456.08	88.70	
16	ND	ND	ND	3801.60	126.72	96.67	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
17	3692.40	101.54	97.25	3515.40	132.30	96.24	3972.48	74.48	98.13	3692.40	615.40	83.33	3692.40	615.40	83.33	
18	3692.40	101.54	97.25	4044.60	132.30	96.73	4020.45	69.74	98.27	3692.40	707.71	80.83	3692.40	707.71	80.83	

ตารางผนวกที่ ข 13 ผลการศึกษาปริมาณดีไอของน้ำชะมูลฝอยขาออก ที่ภาระบรรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ดีไอ (มิลลิกรัมของออกซิเจนต่อลิตร)			
	10 L/m3.d	20 L/m3.d	40 L/m3.d	60 L/m3.d
1	1.00	1.40	0.26	0.50
2	ND	ND	0.60	ND
3	1.00	1.27	ND	0.08
4	ND	ND	0.77	ND
5	0.58	0.26	ND	0.08
6	ND	ND	1.02	ND
7	0.33	0.60	ND	0.17
8	0.83	ND	0.00	0.00
9	0.00	0.77	0.00	0.00
10	ND	ND	ND	ND
11	1.25	1.02	0.00	0.00
12	ND	ND	ND	ND
13	0.25	0.00	0.00	0.00
14	ND	ND	ND	ND
15	1.25	0.17	0.00	0.00
16	ND	ND	ND	ND
17	1.33	0.09	0.00	0.50
18	0.92	0.26	0.00	0.00

หมายเหตุ: ND (Non Detected) หมายถึง ไม่ได้ทำการตรวจวัด ณ ขณะนั้น ๆ

ตารางผนวกที่ ข 14 ปริมาณที่เคเอ็นของน้ำชะมูลฝอยที่การะบรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ที่เคเอ็น (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)														
	10 L/m ³ .d				20 L/m ³ .d				40 L/m ³ .d				60 L/m ³ .d		
	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%
1	174.29	43.14	75.25	106.34	70.90	33.33	197.92	45.79	76.86	174.29	37.82	78.30	174.29	37.82	78.30
2	174.29	26.00	85.08	ND	ND	ND	171.33	32.49	81.04	174.29	18.91	89.15	174.29	18.91	89.15
3	183.15	24.82	86.45	165.42	47.26	71.43	141.79	28.06	80.21	183.15	21.28	88.38	183.15	21.28	88.38
4	206.78	33.69	83.71	ND	ND	ND	156.56	20.09	87.17	206.78	24.82	88.00	206.78	24.82	88.00
5	254.04	30.14	88.14	171.33	32.49	81.04	277.68	22.45	91.92	254.04	29.55	88.37	254.04	29.55	88.37
6	271.77	30.14	88.91	ND	ND	ND	277.68	21.27	92.34	271.77	42.55	84.34	271.77	42.55	84.34
7	241.92	28.44	88.24	159.52	26.59	83.33	271.77	26.00	90.43	241.92	38.72	83.99	241.92	38.72	83.99
8	205.63	29.65	85.58	ND	ND	ND	265.86	29.54	88.89	205.63	44.77	78.23	205.63	44.77	78.23
9	211.68	29.65	85.99	171.33	16.25	90.52	199.58	20.28	89.84	211.68	52.03	75.42	211.68	52.03	75.42
10	ND	ND	ND	174.29	11.23	93.56	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	181.44	28.44	84.33	ND	ND	ND	196.56	15.12	92.31	181.44	34.78	80.83	181.44	34.78	80.83
13	199.58	32.07	83.93	ND	ND	ND	205.63	7.86	96.18	199.58	38.72	80.60	199.58	38.72	80.60
15	205.63	19.36	90.59	159.52	7.09	95.56	205.63	15.13	92.64	205.63	33.88	83.52	205.63	33.88	83.52
16	ND	ND	ND	150.65	7.68	94.90	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
17	201.60	25.41	87.40	177.24	8.27	95.33	196.56	14.52	92.61	201.60	50.82	74.79	201.60	50.82	74.79
18	223.78	26.02	88.37	127.02	7.09	94.42	196.56	13.31	93.23	223.78	54.45	75.67	223.78	54.45	75.67

ตารางผนวกที่ ข 15 ปริมาณแอมโมเนียของน้ำชะมูลฝอย ที่การะบรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	แอมโมเนีย (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)															
	10 L/m ³ .d				20 L/m ³ .d				40 L/m ³ .d				60 L/m ³ .d			
	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	
1	118.16	40.78	65.49	91.57	67.94	25.81	147.70	36.93	75.00	118.16	33.10	71.99	118.16	33.10	71.99	
2	121.11	21.28	82.43	ND	ND	ND	118.16	31.02	73.75	121.11	15.37	87.31	121.11	15.37	87.31	
3	135.88	20.69	84.77	112.25	38.40	65.79	91.57	23.63	74.19	135.88	16.55	87.82	135.88	16.55	87.82	
4	162.47	28.96	82.18	ND	ND	ND	82.71	16.54	80.00	162.47	18.91	88.36	162.47	18.91	88.36	
5	192.01	27.78	85.53	124.07	26.59	78.57	254.04	18.91	92.56	192.01	22.46	88.30	192.01	22.46	88.30	
6	209.73	27.19	87.04	ND	ND	ND	254.04	18.31	92.79	209.73	35.46	83.09	209.73	35.46	83.09	
7	175.39	25.41	85.51	115.21	20.68	82.05	197.92	21.27	89.25	175.39	33.88	80.68	175.39	33.88	80.68	
8	157.25	25.41	83.84	ND	ND	ND	183.15	26.00	85.80	157.25	38.72	75.38	157.25	38.72	75.38	
9	163.30	24.81	84.81	121.11	11.82	90.24	133.06	16.65	87.49	163.30	48.40	70.36	163.30	48.40	70.36	
10	ND	ND	ND	132.93	7.09	94.67	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
11	127.01	24.81	80.47	ND	ND	ND	133.06	10.89	91.82	127.01	27.22	78.57	127.01	27.22	78.57	
13	145.15	29.04	79.99	ND	ND	ND	136.08	7.26	94.66	145.15	35.09	75.83	145.15	35.09	75.83	
15	145.15	16.94	88.33	124.07	3.54	97.15	117.94	12.10	89.74	145.15	30.25	79.16	145.15	30.25	79.16	
16	ND	ND	ND	106.34	1.77	98.34	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
17	141.12	21.78	84.57	127.02	4.14	96.74	108.86	12.10	88.88	141.12	43.56	69.13	141.12	43.56	69.13	
18	151.20	21.78	85.60	79.76	2.95	96.30	108.86	10.89	90.00	151.20	50.22	66.79	151.20	50.22	66.79	

ตารางผนวกที่ ข 16 ปริมาณไนโตรเจนของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ไนโตรเจน (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)			
	10 L/m3.d	20 L/m3.d	40 L/m3.d	60 L/m3.d
1	0.003	0.062	0.023	0.002
2	0.044	ND	0.005	0.032
3	0.008	0.201	0.004	0.014
4	0.005	ND	0.058	0.010
5	0.003	0.233	0.010	0.003
6	0.002	ND	0.009	0.002
7	0.003	0.221	0.009	0.002
8	0.026	ND	0.071	0.004
9	0.002	0.054	0.266	0.014
10	ND	0.308	ND	ND
11	0.002	ND	0.139	0.000
13	0.001	ND	0.090	0.000
14	ND	0.065	ND	ND
15	0.011	0.050	0.037	0.002
16	ND	0.103	ND	ND
17	0.002	0.236	0.014	0.002
18	0.004	0.215	0.006	0.002

หมายเหตุ: ND (Non Detected) หมายถึง ไม่ได้ทำการตรวจวัด ณ ขณะนั้น ๆ

ตารางผนวกที่ ข 17 ปริมาณไนเตรตของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ไนเตรต (มิลลิกรัมของไนโตรเจนต่อลิตร)			
	10 L/m ³ .d	20 L/m ³ .d	40 L/m ³ .d	60 L/m ³ .d
1	0.10	0.13	0.37	0.09
2	0.14	ND	0.35	0.12
3	0.10	0.11	0.05	0.15
4	0.16	ND	0.20	0.22
5	0.17	0.47	0.29	0.09
6	0.12	ND	0.20	0.13
7	0.33	0.26	0.14	0.10
8	0.26	ND	0.28	0.04
9	0.19	0.49	0.79	0.10
10	ND	0.28	ND	ND
11	0.12	ND	0.66	0.04
13	0.20	ND	0.23	0.02
14	ND	0.00	ND	ND
15	0.12	ND	0.32	0.09
16	ND	0.23	ND	ND
17	0.12	0.10	0.06	0.00
18	0.18	0.22	0.12	0.00

หมายเหตุ: ND (Non Detected) หมายถึง ไม่ได้ทำการตรวจวัด ณ ขณะนั้น ๆ

ตารางผนวกที่ ข18 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำระเหยที่การะบรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ของแข็งแขวนลอย (มิลลิกรัมต่อลิตร)															
	10 L/m ³ .d				20 L/m ³ .d				40 L/m ³ .d				60 L/m ³ .d			
	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	เข้า	ออก	%	
1	864.00	12.00	98.61	768.00	4.00	99.48	312.00	64.00	79.49	864.00	24.00	97.22	864.00	24.00	97.22	
2	848.00	22.00	97.41	ND	ND	ND	384.00	24.00	93.75	848.00	10.00	98.82	848.00	10.00	98.82	
3	968.00	12.00	98.76	376.00	4.00	98.94	488.00	22.00	95.49	968.00	26.00	97.31	968.00	26.00	97.31	
4	1112.00	24.00	97.84	ND	ND	ND	552.00	10.00	98.19	1112.00	28.00	97.48	1112.00	28.00	97.48	
5	1136.00	36.00	96.83	488.00	34.00	93.03	400.00	34.00	91.50	1136.00	44.00	96.13	1136.00	44.00	96.13	
6	856.00	30.00	96.50	ND	ND	ND	296.00	24.00	91.89	856.00	34.00	96.03	856.00	34.00	96.03	
7	808.00	10.00	98.76	368.00	10.00	97.28	248.00	26.00	89.52	808.00	26.00	96.78	808.00	26.00	96.78	
8	608.00	32.00	94.74	ND	ND	ND	280.00	10.00	96.43	608.00	30.00	95.07	608.00	30.00	95.07	
9	616.00	14.00	97.73	368.00	16.00	95.65	400.00	6.00	98.50	616.00	14.00	97.73	616.00	14.00	97.73	
10	ND	ND	ND	528.00	4.00	99.24	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
11	488.00	22.00	95.49	ND	ND	ND	448.00	6.00	98.66	488.00	42.00	91.39	488.00	42.00	91.39	
13	560.00	8.00	98.57	ND	ND	ND	568.00	8.00	98.59	560.00	28.00	95.00	560.00	28.00	95.00	
15	600.00	20.00	96.67	480.00	10.00	97.92	840.00	24.00	97.14	600.00	16.00	97.33	600.00	16.00	97.33	
16	ND	ND	ND	872.00	12.00	98.62	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	
17	560.00	24.00	95.71	480.00	52.00	89.17	936.00	14.00	98.50	560.00	56.00	90.00	560.00	56.00	90.00	
18	504.00	42.00	91.67	320.00	2.00	99.38	1136.00	20.00	98.24	504.00	30.00	94.05	504.00	30.00	94.05	

ตารางผนวกที่ ข 19 ค่าพีเอชของน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	พีเอช							
	10 L/m3.d		20 L/m3.d		40 L/m3.d		60 L/m3.d	
	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก	เข้า	ออก
1	5.06	7.05	6.25	7.47	6.33	7.64	5.06	7.11
2	5.49	8.25	ND	ND	6.00	7.46	5.49	7.2
3	5.08	7.42	5.69	7.15	5.79	7.66	5.08	7.26
4	5.71	7.05	ND	ND	5.81	7.57	5.71	7.66
5	5.68	7.09	6.12	6.93	6.26	7.23	5.68	7.23
6	6.45	6.96	ND	ND	6.26	7.41	6.45	7.43
7	6.16	7.02	6.08	6.97	6.43	7.13	6.16	7.16
8	6.18	7.22	ND	ND	6.28	7.2	6.18	7.58
9	6.34	7.88	6.30	7.04	5.86	7.23	6.34	7.5
10	ND	ND	6.35	6.85	ND	ND	ND	ND
11	6.16	7.07	ND	ND	6.21	7.09	6.16	7.23
13	5.75	7.31	ND	ND	6.35	7.38	5.75	7.49
14	ND	ND	5.69	6.87	ND	ND	ND	ND
15	6.04	7.13	6.68	6.84	6.24	7.28	6.04	7.13
16	ND	ND	6.37	7.11	ND	ND	ND	ND
17	6.21	7.38	6.92	7.26	5.98	7.06	6.21	7.46
18	6.02	7.92	5.59	6.87	5.99	7.26	6.02	7.65

หมายเหตุ: ND (Non Detected) หมายถึง ไม่ได้ทำการตรวจวัด ณ ขณะนั้น ๆ

ตารางผนวกที่ ข 20 ผลการศึกษาปริมาณน้ำชะมูลฝอย ที่ภาระบรรทุก (HL) ต่าง ๆ

ระยะเวลา (วัน)	ปริมาณน้ำชะมูลฝอย (ลิตร)							
	10 L/m3.d (9.5L)		20 L/m3.d (19L)		40 L/m3.d (38L)		60 L/m3.d (57L)	
		%		%		%		%
1	5.00	52.63	16.50	86.84	17.00	44.74	42.00	73.68
2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
3	7.50	78.95	15.50	81.58	ND	ND	46.00	80.70
4	ND	ND	ND	ND	29.50	77.63	ND	ND
5	8.50	89.47	19.00	100.00	ND	ND	46.50	81.58
6	ND	ND	ND	ND	31.00	81.58	ND	ND
7	5.00	52.63	16.00	84.21	ND	ND	46.00	80.70
8	8.50	89.47	ND	ND	32.00	84.21	52.50	92.11
9	ND	ND	14.00	73.68	ND	ND	ND	ND
10	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
11	7.00	73.68	ND	ND	ND	ND	40.00	70.18
12	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
13	ND	ND	ND	ND	24.00	63.16	ND	ND
14	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
15	6.25	65.79	15.50	81.58	29.50	77.63	40.00	70.18
16	ND	ND	14.75	77.63	ND	ND	ND	ND
17	7.50	78.95	18.00	94.74	ND	ND	34.00	59.65
18	11.00	115.79	15.00	78.95	34.50	90.79	42.00	73.68

หมายเหตุ: ND (Non Detected) หมายถึง ไม่ได้ทำการตรวจวัด ณ ขณะนั้น ๆ