

ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ



นางสาวเสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร

ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2551

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFICIENCY OF AMMONIA REMOVAL BY BIOFILTER



Miss Saowalak Punapa-amporn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ

โดย

นางสาวเสาวลักษณ์ ภูณาอำพร


สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

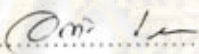
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

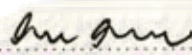
รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์

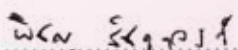
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศนิริวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)


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


..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุจิตต์ คุรุจิต)

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เสาวลักษณ์ ภูณภาอำพร : ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ (EFFICIENCY OF AMMONIA REMOVAL BY BIOFILTER) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
 หลัก: รศ. วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, 105 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม เพื่อหาอัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางผสม ปุ๋ยหมัก: เศษไม้: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์ จำนวน 4 ชุดการทดลอง ที่อัตราส่วนต่างกัน ได้แก่ 70:10:10:10, 60:20:10:10, 50:30:10:10 และ 40:40:10:10 การทดลองนี้ทำการแปรผันความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียในช่วง 5 - 200 ส่วนในล้านส่วน และ แปรผันเวลากักพักระบบที่ 30, 45 และ 60 วินาที โดยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการทดลองเป็นขนาดห้องปฏิบัติการ (Bench-Scale) ทำจากท่ออคริลิค มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.054 เมตร สูง 2 เมตร บรรจุตัวกรองสูง 1.50 เมตร มีจุดเก็บตัวอย่างอากาศ 6 จุด ที่ระดับ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 และ 1.50 เมตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดที่ความสูงต่างๆ ของเครื่องกรองชีวภาพ ทำการเดินระบบ 8 ชั่วโมงต่อวัน กำหนดอัตราไหลของอากาศแปรผันตั้งแต่ 2.95 – 5.90 ลิตรต่ออนาที

ผลการทดลองพบว่าตัวกลางผสมปุ๋ยหมัก 60% และ 50% เป็นอัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสม เนื่องจากให้ประสิทธิภาพสูงสุดขณะที่มีค่าความดันลดและการทรุดตัวต่ำ ในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน มีประสิทธิภาพการบำบัด 99 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลากักพักระบบ 45 วินาทีใช้ความสูงของตัวกลาง 0.75 เมตร เทียบเท่าเวลาสัมผัสตัวกลาง 22.5 วินาที ค่าความดันลดสูงสุดและการทรุดตัวของตัวกลางอัตราส่วน 70:10:10:10, 60:20:10:10, 50:30:10:10 และ 40:40:10:10 เท่ากับ 18, 11, 11, 9 มิลลิเมตรน้ำ และ 5, 7.5, 11, 24 เซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อใช้ระยะเวลาในการเดินระบบ 86 วัน

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิิต..... เสาวลักษณ์ ภูณภาอำพร
 สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา..... 2551.....

4970667021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : BIOFILTER / AMMONIA GAS / BIODEGRADATION

SAOWALAK PUNAPA-AMPORN: EFFICIENCY OF AMMONIA REMOVAL BY
BIOFILTER. ADVISOR: ASSOC. PROF. WONGPUN LIMPASENI, 105 pp.

The objective of this research was to study ammonia removal efficiency using composite media biofilter by comparing 4 different media compositions of compost: wood chips: manure: sludge at ratio of 70:10:10:10, 60:20:10:10, 50:30:10:10 and 40:40:10:10 by volume. The experiment varied ammonia concentration from 5 to 200 ppm and the empty bed residence time at 30, 45 and 60 seconds. The bench-scale biofilter was made of acrylic column with an internal diameter of 0.054 m, height 2 m and media depth of 1.50 m. The biofilter column had 6 sampling ports at 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 and 1.50 m for comparing the removal efficiency of various heights. The biofilters were run for 8 hours per day and varied flow rate at 2.95 - 5.90 liter per minute.

This result showed that the biofilters with compost content of 60% and 50% were most suitable due to higher efficiency while retaining low pressure loss and low bed compaction. The selected biofilters treating ammonia concentration of 200 ppm could achieve the removal efficiency of 99% with empty bed residence time of 45 seconds at media depth of 0.75 meter which is equivalent to media contact time of only 22.5 seconds. The biofilter having compost content of 70%, 60%, 50% and 40% had the maximum pressure drop of 18, 11, 11 and 9 mmH₂O and media compactions of 5, 7.5, 11 and 24 centimeters, respectively, after the system was in operation for 86 days

Department : Environmental Engineering .. Student's Signature *Saowalak Punapa-amporn*
Field of Study : Environmental Engineering .. Advisor's Signature *Wongpun Limpaseni*
Academic Year : 2008

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ ข้อแนะนำและข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนให้กำลังใจและสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์นี้ตลอดมา และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อรรถัย ชวาลภาฤทธิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุจิตต์ ครุจิต ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำอันเป็นแนวทางให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ และบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ อาจารย์ ดร.พรธรรวดี สุวัณมิกะ และครูอนันต์ วีระณรงค์ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำในเรื่องต่างๆ รวมทั้งอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนทุนการทำวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาช่วยวิเคราะห์ตัวอย่างในการวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ช่วยส่งเสริมสนับสนุนในด้านต่างๆ และเป็นกำลังใจให้กับผู้วิจัย จนทำให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สมบัติของก๊าชแอมโมเนีย.....	3
2.1.1 ลักษณะทั่วไป.....	3
2.1.2 ลักษณะความเป็นพิษ.....	4
2.2 เครื่องกรองชีวภาพ.....	5
2.3 กลไกของการกรองชีวภาพ.....	6
2.3.1 การเคลื่อนที่ของก๊าช.....	6
2.3.2 น้ำ.....	8
2.3.3 การดูดซึม.....	8
2.3.4 การดูดซับ.....	9
2.3.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ.....	11
2.3.6 พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น.....	13
2.4 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดก๊าชแอมโมเนีย.....	14

	หน้า
2.5 หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสม.....	15
2.5.1 ปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์.....	15
2.5.2 ปริมาณสารอินทรีย์.....	15
2.5.3 สารเติมแต่งทางเคมีและสารเจือปนปฏิกิริยา.....	15
2.5.4 ปริมาณน้ำ.....	16
2.5.5 ความเป็นกรด-ด่าง.....	16
2.5.6 ลักษณะการดูดซับและความพรุน.....	16
2.5.7 การยึดเกาะของแบคทีเรีย.....	16
2.5.8 สมบัติทางกลศาสตร์.....	17
2.5.9 ปัญหาเรื่องกลิ่นจากตัวกลางที่ใช้บรรจุ.....	17
2.5.10 ค่าใช้จ่ายของวัสดุตัวกลางและอายุการใช้งาน.....	17
2.5.11 การกำจัดตัวกลางที่หมดอายุการใช้งาน.....	17
2.6 ประเภทตัวกลางที่ถูกใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ.....	17
2.6.1 ตัวกลางวัสดุหมักและตัวกลางอินทรีย์.....	17
2.6.2 ตัวกลางดิน.....	18
2.6.3 ตัวกลางสังเคราะห์.....	18
2.7 พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบ.....	18
2.7.1 ความลึกของชั้นตัวกลางเครื่องกรองชีวภาพ.....	18
2.7.2 จุลินทรีย์.....	18
2.7.3 การป้อนอากาศ.....	19
2.7.4 การป้อนธาตุอาหารอินทรีย์.....	19
2.7.5 ปริมาณความชื้น.....	19
2.7.6 อุณหภูมิ.....	19
2.7.7 ความเป็นกรด-ด่างของเครื่องกรองชีวภาพ.....	20
2.7.8 ภาวะบรรจุ.....	20
2.7.9 เวลาพัก.....	20
2.7.10 ความดันลด.....	21
2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 แผนการทดลอง.....	26
3.2 ชุดเครื่องกรองชีวภาพ.....	27
3.3 วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3.3.1 วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางหลักในการทดลอง.....	29
3.3.2 วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุเสริมตัวกลาง.....	29
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	30
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล.....	31
3.6 ตัวชี้ประสิทธิภาพของระบบ.....	31
3.6.1 เวลาพัก.....	31
3.6.2 ภาวะบรรจุ.....	32
3.6.3 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ.....	32
3.6.4 ความสามารถในการกำจัดสารมลพิษ.....	32
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	33
4.1 สมบัติตัวกลาง.....	33
4.2 สภาวะการเดินระบบ.....	34
4.2.1 ความชื้นตัวกลาง.....	35
4.2.2 อุณหภูมิของตัวกลาง.....	36
4.2.3 ความเป็นกรด-ด่างของตัวกลาง.....	37
4.2.4 ความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลาง.....	38
4.3 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเดินระบบ.....	40
4.3.1 ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย.....	40
4.3.2 อัตราส่วนตัวกลาง.....	42
4.3.3 ความสูงตัวกลาง.....	42
4.3.4 เวลาสัมผัสตัวกลาง.....	45
4.4 ผลกระทบที่เกิดขึ้น.....	46
4.4.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร.....	46
4.4.2 ปริมาณจุลินทรีย์.....	46
4.4.3 ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตในน้ำชะตัวกลาง.....	47

	หน้า
4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา.....	48
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	49
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	51
รายการอ้างอิง.....	52
ภาคผนวก.....	55
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของวัสดุตัวกลาง.....	56
ภาคผนวก ข. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์.....	61
ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวกลาง.....	66
ภาคผนวก ง. ผลการศึกษาอัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัด ก๊าซแอมโมเนีย.....	70
ภาคผนวก จ. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณจุลินทรีย์	99
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	105



คุนยวิทยทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติของก๊าซแอมโมเนีย.....	3
2.2 ซีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้.....	4
2.3 ลักษณะความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนีย.....	4
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	24
3.1 อัตราส่วนผสมตัวกลางของแต่ละชุดการทดลอง.....	26
3.2 แผนการทดลอง.....	27
3.3 วิธีทดสอบลักษณะสมบัติของวัสดุตัวกลาง.....	30
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	30
3.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์.....	31
4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง.....	33
4.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของตัวกลางก่อนเดินระบบ.....	34
4.3 สรุปสภาวะการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ.....	39
4.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ.....	46
4.5 ปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนและหลังเดินระบบ.....	47
4.6 ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตในน้ำชะตัวกลาง.....	47
4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา.....	48
5.1 สรุปตัวแปรจากการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ.....	49
5.2 สรุปสภาวะการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ.....	50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 ระบบการกรองชีวภาพ.....	5
2.2 กลไกการทำงานภายในเครื่องกรองชีวภาพ.....	6
2.3 อัตราการถ่ายเท.....	7
2.4 ทฤษฎีฟิล์มสองชั้น.....	9
2.5 การดูดซับในเครื่องกรองชีวภาพ.....	10
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพและความเข้มข้นของมลพิษ...	12
2.7 กระบวนการ Ammonification และ Nitrification.....	14
3.1 แผนภาพเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย.....	28
3.2 เครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ.....	28
3.3 วัสดุตัวกลาง.....	29
4.1 ความขึ้นในช่วงระยะเวลาเดินระบบของตัวกลาง.....	35
4.2 คุณหมุมิในช่วงระยะเวลาเดินระบบของตัวกลาง.....	36
4.3 ความเป็นกรด-ด่างในช่วงระยะเวลาเดินระบบของตัวกลาง.....	37
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลาง.....	38
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปุ๋ยหมัก และความดันลดหลังจากเดินระบบ.....	39
4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนีย ของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 70%.....	40
4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนีย ของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 60%.....	41
4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนีย ของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 50%.....	41
4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนีย ของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 40%.....	42
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้น ก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm ของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 70%.....	43
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้น ก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm ของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 60%.....	43

ภาพที่	หน้า
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้น ก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm ของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 50%.....	44
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้น ก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm ของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 40%.....	44
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้น ก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm.....	45



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

μ	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของการเติบโตจำเพาะ
μ_{\max}	=	ค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด
C	=	ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำ
C_e	=	ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล
C_G	=	ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ
C_{in}	=	ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบ
C_s	=	มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ
C_{out}	=	ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ออกจากระบบ
EBRT	=	เวลาที่กักพัก (Empty Bed Residence Time)
H	=	ค่าคงที่ของ Henry
K_f	=	ค่าคงที่ของ Freundlich
K_h	=	ค่าคงที่ของ Henry
K_L	=	ค่าคงที่ของ Langmuir
k_{\max}	=	อัตราการย่อยสลายสูงสุด
K_S	=	Half – saturation constant
LPM	=	ลิตรต่อนาที (Liter Per Minute)
P	=	ความดันย่อยของก๊าซ
ppm	=	ส่วนในล้านส่วน (Part Per Million)
Q_{Air}	=	อัตราไหลของอากาศ
q	=	มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ
q_{\max}	=	มวลสูงสุดของสารมลพิษที่ถูกดูดซับได้
V_f	=	ปริมาตรทั้งหมดของตัวกรอง
X	=	ความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ก๊าซแอมโมเนียก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพของสิ่งมีชีวิต โดยก๊าซแอมโมเนียมีลักษณะเป็นก๊าซไม่มีสี มีกลิ่นฉุน ระคายเคืองมากและมีความเป็นพิษ ความเข้มข้นเริ่มต้นที่สามารถรับกลิ่นได้อยู่ที่ 5 ส่วนในล้านส่วน พบได้ในบริเวณฟาร์มเลี้ยงสัตว์ โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ที่ใช้แอมโมเนียในกระบวนการผลิต หรือเกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต เช่น ใช้ในการผลิตปุ๋ย ใช้เติมน้ำยาในการรักษาคุณภาพยาง เป็นสารทำความสะอาดในโรงงานผลิตน้ำแข็งและจากกระบวนการอบไอบยาสูบ เป็นต้น

สหรัฐอเมริกาได้กำหนดความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียที่ยอมรับให้มีได้อยู่ที่ 50 ส่วนในล้านส่วน สำหรับการทำงาน 8 ชั่วโมง (OSHA, 1995) เช่นเดียวกับประเทศไทยได้ระบุไว้ในประกาศตามพระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พ.ศ. 2541 โดยกำหนดความเข้มข้นแอมโมเนีย ไม่เกิน 50 ส่วนในล้านส่วน สำหรับการทำงาน 8 ชั่วโมง (กระทรวงแรงงาน, 2541)

เทคนิคที่ใช้ในการควบคุมมลพิษทางอากาศที่เป็นก๊าซและไอต่างๆ สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ Wet scrubbing condensers และ Carbon adsorption เป็นต้น (Davis, 2000) แต่การกรองชีวภาพมีข้อดี คือมีประสิทธิภาพการบำบัดสูง ในขณะที่ต้องการการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ (Ambio Biofiltration Ltd, 2009) ซึ่งสามารถเปรียบได้กับการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพซึ่งเป็นที่นิยมและใช้มาเป็นระยะเวลานาน แต่การบำบัดก๊าซยังมีผู้ให้ความสนใจที่จะใช้วิธีทางชีวภาพน้อย ผู้วิจัยจึงเห็นว่าควรมีการศึกษาด้านการบำบัดก๊าซโดยใช้วิธีทางชีวภาพขึ้น เนื่องจากเห็นข้อดีด้านค่าใช้จ่ายในการออกแบบและค่าใช้จ่ายช่วงเดินระบบต่ำกว่าวิธีทางเคมีและกายภาพ ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นไม่มีอันตรายจากสารเคมีที่ต้องนำไปบำบัดเช่นเดียวกับวิธีทางเคมี

จากการทบทวนเอกสารพบว่า ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียในสภาพแวดล้อมจริงนั้นมีความแตกต่างกันขึ้นกับประเภทและขนาดของกระบวนการผลิต เช่น ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียบริเวณฟาร์มเลี้ยงสัตว์ 100 ส่วนในล้านส่วน (ศรีวิโรจน์ฟาร์ม, 2551) บริเวณห้องป่นยาง 94.8 ส่วนในล้านส่วน (สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย, 2545) เป็นต้น ในการศึกษาครั้งนี้จึงเลือกใช้ค่าความเข้มข้น

ของแอมโมเนียอยู่ที่ 5 ถึง 200 ส่วนในล้านส่วน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ การกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อหาอัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสม รวมถึงศึกษา อิทธิพลความเข้มข้นของก๊าซ อัตราไหล่ก๊าซ เวลาพักในระบบ เวลาสัมผัสตัวกลาง และ พารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย
- 1.2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย
- 1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของก๊าซ เวลาพัก และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองชีวภาพ ด้วยแบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ (Bench Scale) จำนวน 4 ถึงปฏิบัติการ
- 1.3.2 เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนตัวกลางผสม ปุ๋ยหมัก เศษไม้ ปุ๋ยคอกและ ตะกอนจุลินทรีย์
- 1.3.3 เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย ตั้งแต่ 5 – 200 ส่วนในล้านส่วน
- 1.3.4 เปลี่ยนแปลงเวลาพักของก๊าซแอมโมเนีย ตั้งแต่ 30 – 60 วินาที

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมและปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย
- 1.4.2 เพื่อเป็นแนวทางออกแบบเครื่องกรองชีวภาพสำหรับใช้งานจริง
- 1.4.3 ทำให้ได้ใช้ประโยชน์จากวัสดุธรรมชาติมาทำเป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ


บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติของก๊าซแอมโมเนีย

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

แอมโมเนียเป็นสารประกอบที่อยู่ในรูปของ NH_3 โดยปกติจะพบในสถานะก๊าซ ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนรุนแรง เป็นสารอันตรายเมื่อสัมผัสผิวหนัง หรือสูดดมโดยตรง แต่ไม่เป็นสารพิษสะสม สมบัติของก๊าซแอมโมเนียสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติก๊าซแอมโมเนีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2552)

ชื่อเคมี IUPAC: Ammonia	
สูตรโครงสร้าง	
ชื่อเคมีทั่วไป	Ammonia
สูตรโมเลกุล	NH_3
น้ำหนักโมเลกุล	17.031g/mol
CAS number	7664-41-7
ความถ่วงจำเพาะ	0.6819 g/L
ความสามารถในการละลายน้ำ	89.9 g/100 ml at 0 °C.
จุดหลอมเหลว	-77.73 °C (195.42 K)
จุดเดือด	-33.34 °C (239.81 K)
จุดลุกติดไฟได้เอง	651 °C
ความเป็นกรด-ด่าง	11.6

2.1.2 ลักษณะความเป็นพิษ

ก๊าซแอมโมเนียเป็นสารอันตรายเมื่อสัมผัสผิวหนัง หรือสูดดมโดยตรง แต่ไม่เป็นสารพิษสะสม คนปกติจะเริ่มได้กลิ่นที่ความเข้มข้นในอากาศมากกว่า 5 ส่วนในล้านส่วน ชีตจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ (Exposure Limit) แสดงได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชีตจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ (Exposure Limit)

หน่วยงาน	ชีตจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ (ส่วนในล้านส่วน)	
	ระยะเวลาสัมผัส 15 นาที	การสัมผัสจากการทำงาน 8 ชั่วโมง
OSHA	35	50
NIOSH	35	25
ACGIH	35	25
พรบ.คุ้มครองแรงงาน, 2541	-	50

ลักษณะของความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนียจากการสัมผัสของมนุษย์ที่ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียระดับต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

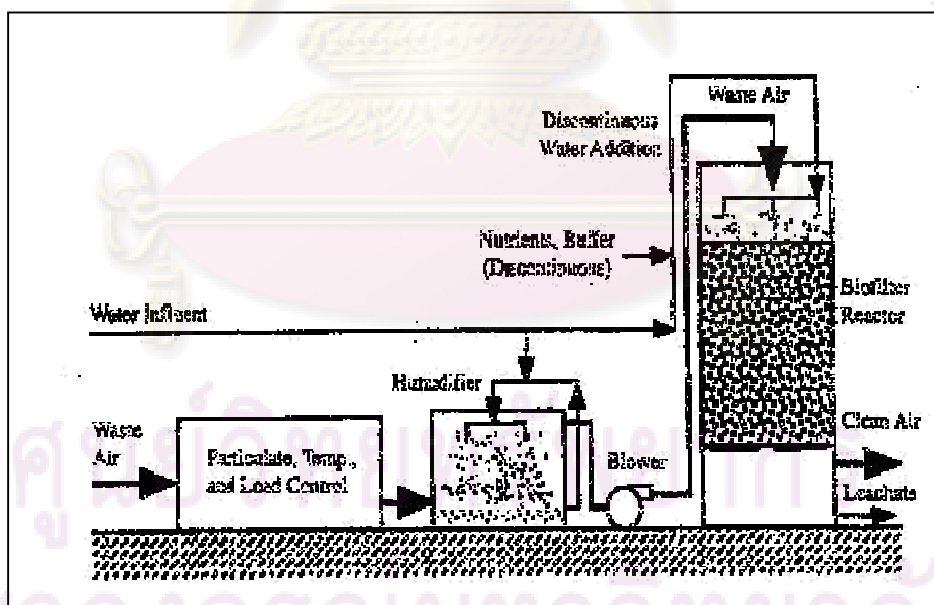
ตารางที่ 2.3 ลักษณะความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนีย (OSHA, 1995)

ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย (ppm)	อาการที่ปรากฏ
5	เริ่มได้กลิ่น
25	ได้กลิ่น สามารถทำงานได้ตลอดระยะเวลา 8 ชั่วโมง
35	ได้กลิ่น สามารถทำงานได้ระยะเวลาประมาณ 15 นาที
50-100	ระคายเคืองเล็กน้อย หลังสัมผัส 2 ชั่วโมง
400-700	ระคายเคืองปานกลางต่อตา จมูก และลำคอ หลังการสัมผัส 0.5 – 1 ชั่วโมง
1,000-2,000	ไออย่างรุนแรง ระคายเคืองอย่างรุนแรงต่อตา จมูก และลำคอ ถ้าสัมผัสถึง 30 นาที อาจเกิดการบาดเจ็บอย่างรุนแรง
3,000-4,000	ไออย่างรุนแรง ระคายเคืองอย่างรุนแรงต่อตา จมูก และลำคอ อาจตายได้
5,000-12,000	เกิดอาการหืดเกร็งของกล้ามเนื้อหัวใจ ขาดออกซิเจนอย่างรวดเร็ว ตายภายในไม่กี่นาที

2.2 เครื่องกรองชีวภาพ (Biofilter)

Devinny และคณะ (1999) กล่าวถึงการกรองชีวภาพ (Biofiltration) ว่าเป็นการใช้จุลชีพยึดเกาะบนตัวกลางที่มีความพรุน เพื่อย่อยสลายมลพิษในอากาศ จุลชีพจะเติบโตในฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บนผิวของตัวกลางหรือแขวนลอยในส่วนของน้ำรอบวัสดุตัวกลาง ตัวกลางควรเป็นสารที่เฉื่อย เช่น ปูนหมัก ถ่าน เป็นต้น มีพื้นที่ผิวมากพอต่อการเกาะติด และเพิ่มธาตุอาหารที่จำเป็น มลพิษในอากาศจะถูกดูดซับเข้าภายในฟิล์มชีวภาพและวัสดุตัวกลาง และถูกย่อยสลายทางชีวภาพต่อไป เครื่องกรองชีวภาพไม่มีหน่วยกรองโดยตรง แต่เป็นการใช้กลไกร่วมกัน ประกอบด้วย การดูดซึม (Absorption) การดูดซับ (Adsorption) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Degradation) และการคายสารออก (Desorption) ของสารมลพิษ โดยปกติเครื่องกรองชีวภาพมักจะมีการเติมน้ำสำหรับรักษาปริมาณความชื้น และเติมธาตุอาหารให้กับจุลชีพ

โดยทั่วไปสารมลพิษที่เข้าระบบเครื่องกรองชีวภาพอาจจะมีการปรับปรุงคุณภาพและสถานะให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่ระบบ ดังภาพที่ 2.1 เป็นระบบการกรองชีวภาพที่ประกอบไปด้วย การดักจับฝุ่น การปรับอุณหภูมิและการเพิ่มความชื้นให้กับสารมลพิษก่อนเข้าสู่ตัวกรองชีวภาพ



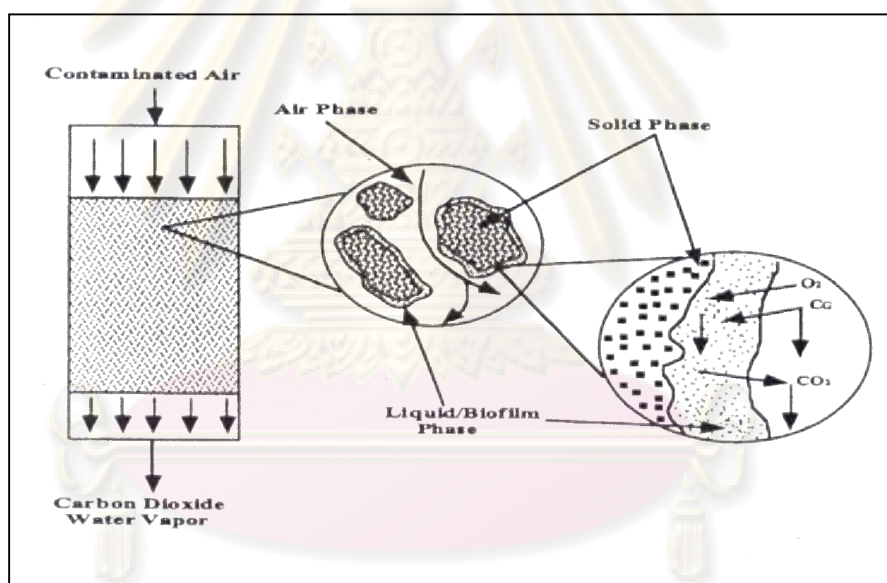
ภาพที่ 2.1 ระบบการกรองชีวภาพ

ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

เครื่องกรองชีวภาพที่มีประสิทธิภาพนั้น ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของตัวกรองที่เลือกใช้ ซึ่งประกอบด้วย ความพรุน ระดับการอุดตัน ความสามารถในการกักเก็บน้ำ และความสามารถในการอยู่อาศัยของกลุ่มจุลินทรีย์ พารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมประกอบด้วย การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ ความเป็นกรด-ด่าง ของตัวกลาง อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และธาตุอาหาร เป็นต้น

2.3 กลไกของการกรองชีวภาพ (Mechanisms of Biofiltration)

การทำงานภายในเครื่องกรองชีวภาพ ดังภาพที่ 2.2 จะเป็นการเคลื่อนที่ของสารมลพิษในสถานะก๊าซไปยังตัวกลางภายในเครื่องกรองชีวภาพ สารมลพิษจะถูกดูดซับโดยตัวกลางที่เป็นของแข็งและถูกดูดซึมโดยน้ำหรือฟิล์มชีวภาพ และจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่บริเวณฟิล์มชีวภาพจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายสารมลพิษและปล่อยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยสลายออกมา



ภาพที่ 2.2 กลไกการทำงานภายในเครื่องกรองชีวภาพ

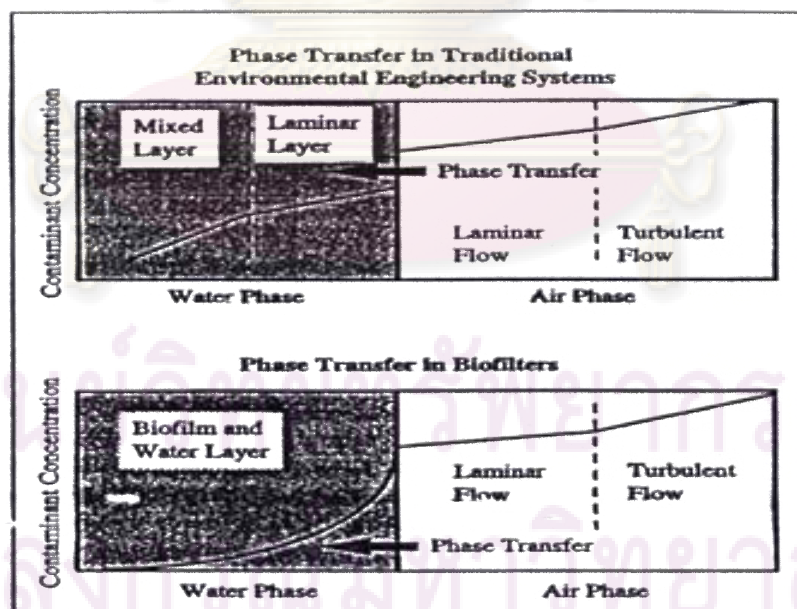
ที่มา : Devigny และคณะ (1999)

2.3.1 การเคลื่อนที่ของก๊าซ (Gas Transfer) ในการเคลื่อนที่ของสารมลพิษจากสถานะอากาศไปสู่สถานะน้ำ ที่สภาวะสมดุล สามารถอธิบายโดยใช้กฎของเฮนรี (Henry's Law) ดังนี้

$$C_G = HC_L \dots\dots\dots(2.1)$$

โดยที่	C_G	=	ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ (atm หรือ g/L_{air})
	C_L	=	ความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำ (mol/L_{water})
	H	=	ค่าคงที่ของ Henry's Law ($atm \cdot L_{water} / mol$ หรือ $g \cdot L^{-1}_{air} / g \cdot L^{-1}_{water}$)

การพิจารณาด้านเศรษฐศาสตร์ของเครื่องกรองชีวภาพ ถ้าอากาศไหลผ่านเครื่องกรองชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว การถ่ายเทความเข้มข้นของสารมลพิษสู่ตัวกลางก็มักจะเร็วด้วย อัตราการถ่ายเทจากอากาศไปสู่ น้ำ สามารถอธิบายได้ 4 ขั้นตอน ดังรูปที่ 2.3 เปรียบเทียบระหว่างการเคลื่อนที่ของก๊าซทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และการเคลื่อนที่ของก๊าซทางระบบเครื่องกรองชีวภาพ สารมลพิษจะเริ่มเคลื่อนที่จากความเข้มข้นสูงในสถานะก๊าซ ไปสู่ความเข้มข้นต่ำในสถานะน้ำ ที่อัตราการไหลของอากาศสูงจะเกิดการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) โดยอาศัยการพัดพา (Advection) และการแพร่ (Eddy Diffusion) และเมื่อเคลื่อนที่ไปสู่ช่วงเชื่อมต่อของอากาศและน้ำ จะเกิดการไหลแบบราบเรียบ (Laminar) จะเกิดกลไกเพียงกลไกเดียว คือ กลไกการแพร่ของโมเลกุล (Molecular Diffusion) เพราะว่าการแพร่ของโมเลกุลจะช้ากว่าการพา สำหรับการถ่ายเทมวลสารไปถึงจุลินทรีย์ ในกรณีของสารมลพิษที่ละลายน้ำได้ดีแต่อัตราการไหลของอากาศในเครื่องกรองชีวภาพจะรวดเร็วมาก ดังนั้นชั้นความราบเรียบจะถือว่าบางมากเพราะกระบวนการอื่นจะเกิดขึ้นช้า และการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มจุลินทรีย์จะถูกขัดขวางโดยเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดมากขึ้น



ภาพที่ 2.3 อัตราการถ่ายเท (Transfer Rates)

ที่มา : Devigny และคณะ (1999)

2.3.2 น้ำ (The water phase) ในระบบเครื่องกรองชีวภาพจะไม่เกิดการไหลแบบปั่นป่วน เพราะว่าน้ำที่อยู่ในระบบจะไม่เคลื่อนที่ เนื่องจากน้ำในระบบจะอยู่ในรูปของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ที่อิมมัลชันไปด้วยน้ำ ในบางครั้งอาจมีการเคลื่อนที่ของน้ำลงสู่ชั้นล่าง จากการควบแน่นของก๊าซ กลายเป็นหยดน้ำหรือเติมน้ำให้กับระบบมากเกินไป ดังนั้นในทางปฏิบัติ การเติมน้ำเพื่อรักษาความชื้นของตัวกลาง จึงควรเติมน้ำด้วยอัตราที่ต่ำและเติมซ้ำๆ เพื่อป้องกันการเกิดน้ำชะ (leachate) ที่จะทำให้ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์หลุดออกจากการเคลื่อนที่ของน้ำที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ ดังนั้นการแพร่จึงเป็นกลไกหลักในการถ่ายเทมวลไปสู่น้ำ การย่อยสลายทางชีวภาพและการดูดซับสารมลพิษในน้ำหรือในฟิล์มชีวภาพจะเกิดขึ้นที่ผิวของตัวกลางคล้ายกับการซึมสารมลพิษจะแพร่ไปยังตัวกลางและปล่อยผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพออกมา ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะมีความดันไอสูงจึงถ่ายเทไปสู่อากาศ

การแพร่ของสารมลพิษเข้าสู่ฟิล์มชีวภาพ โดยปกติแล้วจะช้ากว่าการแพร่ในอากาศเนื่องจากความต้านทานการถ่ายเทมวลของน้ำ โดยที่ส่วนด้านล่างของชั้นฟิล์มชีวภาพจะมีความเข้มข้นของสารมลพิษลดน้อยลงและอาจไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ น้ำเป็นสิ่งสำคัญโดยเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ และสารมลพิษจะแพร่สู่น้ำ และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์หรือดูดซับต่อไป

2.3.3 การดูดซึม (Absorption) การถ่ายเทมวลโดยการแพร่หรือการพา ซึ่งเกิดในสถานะเดียวกันหรือต่างสถานะ จะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยในแต่ละสถานะไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล ปกติระบบจะพยายามปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลในที่สุด โดยทั่วไปกลไกของการดูดซึมมีอยู่ 2 ส่วน คือ

1) ความสามารถในการละลาย (Solubility) ใช้การวัดที่สภาวะสมดุล โดยวัดปริมาณก๊าซและของเหลวในภาชนะปิด และตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จนปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซึมเข้าไปในของเหลวเท่ากับปริมาณสารละลายที่ได้ ณ จุดนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสารอีก และความเข้มข้นของก๊าซในส่วนที่เป็นก๊าซและของเหลวจะคงที่ คือ ระบบก๊าซและของเหลวเกิดสมดุลกัน

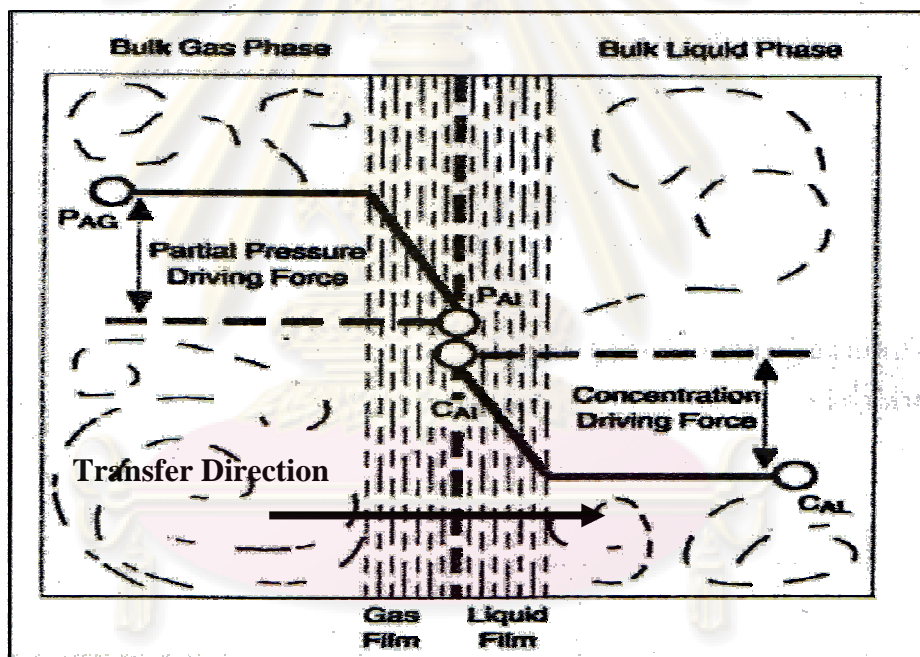
$$C = K_n P \dots\dots\dots(2.2)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำ (โมล/ลิตร)
 P = ความดันย่อยของก๊าซ (บรรยากาศ)
 K_n = ค่าคงที่ของเฮนรี่ (โมล/ลิตร-บรรยากาศ)

2) การถ่ายเทมวลก๊าซสู่ของเหลว จากหลักการถ่ายเทมวลของ Whitman ได้พัฒนาเป็นทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two – film theory) ดังภาพที่ 2.4 อธิบายการถ่ายเทมวลของก๊าซ-ของเหลวอย่างง่ายที่ใช้กว้างขวาง ประกอบด้วย 3 ชั้นคือ

- การถ่ายเทมวลจากสถานะก๊าซไปยังผิวสัมผัสของก๊าซและของเหลว
- การถ่ายเทข้ามผิวสัมผัสเข้าไปยังฟิล์มของเหลว
- การถ่ายเทจากฟิล์มของเหลวเข้าไปยังสถานะของเหลว

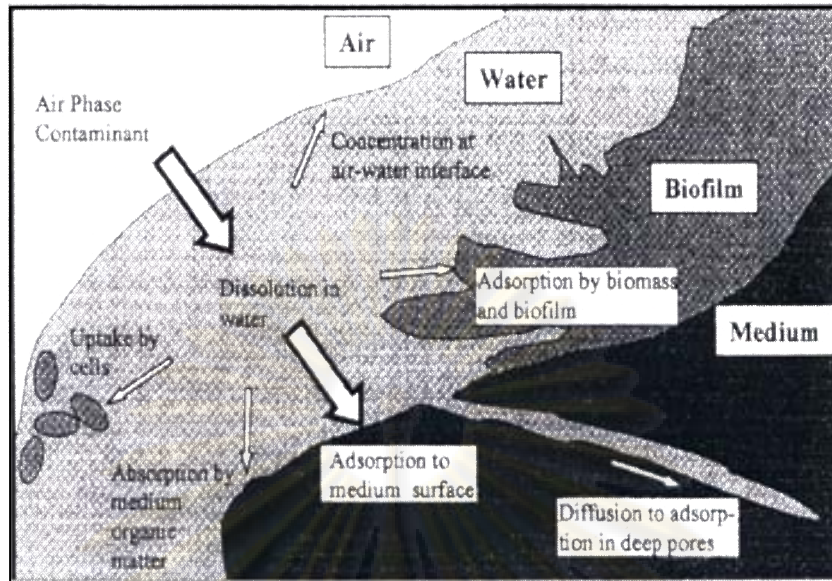
ทฤษฎีนี้อ้างสมมติฐาน คือ มีฟิล์มสองชั้นแต่ละข้างของผิวสัมผัส (ฟิล์มด้านก๊าซและฟิล์มด้านของเหลว) และอัตราการถ่ายเทมวลถูกควบคุมโดยอัตราการแพร่ผ่านฟิล์มของก๊าซและของเหลว รวมถึงความต้านทานของผิวสัมผัสสำหรับการถ่ายเทมวลน้อยมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานของฟิล์มก๊าซและของเหลว



ภาพที่ 2.4 ทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two – film theory)

ที่มา : McCabe และ Smith (1967)

2.3.4 การดูดซับ (Adsorption) การถ่ายเทสารมลพิษจากอากาศไปสู่ น้ำและของแข็งในเครื่องกรองชีวภาพเป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการบำบัด และบางครั้งถูกเรียกว่าเป็นการดูดซับ (adsorption) หรือ การละลายตัว (dissolution) ดังภาพที่ 2.5 โมเลกุลของสารมลพิษจะถูกละลายโดยง่ายในน้ำ แต่อาจจะถูกดูดซับบนผิวหน้าของตัวกลาง การย่อยสลายโดยเซลล์จุลินทรีย์ การดูดซับบนผิวหน้าและการดูดซึมของฟิล์มจุลินทรีย์ หรือการสะสมที่ผิวหน้าของน้ำ



ภาพที่ 2.5 การดูดซับในเครื่องกรองชีวภาพ (Adsorption in biofilter)
ที่มา : Devanny และคณะ (1999)

การดูดซับสารมลพิษของเครื่องกรองชีวภาพ อธิบายได้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ 2 ชนิด คือ

(1) Freundlich model ภายใต้สมมติฐานที่ว่า พื้นที่สำหรับการดูดซับมีไม่จำกัด และปริมาณสารมลพิษที่ถูกดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำ ดังสมการที่ 2.3

$$C_s = K_f C_e^{1/n} \dots\dots\dots(2.3)$$

- โดยที่ C_s = มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ (กรัม/กรัม)
- C_e = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล (กรัม/ลบ.ม.)
- K_f = ค่าคงที่ของ Freundlich
- n = ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง

(2) Langmuir model ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ถูกดูดซับจะสมดุลทางเคมีกับความเข้มข้นของสารมลพิษที่ละลายน้ำและการดูดซับมีพื้นที่จำกัด ดังสมการที่ 2.4

$$q = q_{\max} \frac{bC_e}{1 + bC_e} \dots\dots\dots(2.4)$$

- โดยที่ q =มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ (กรัม/กรัม)
- q_{\max} =มวลสูงสุดของสารมลพิษที่ถูกดูดซับได้ (ลบ.ม./กรัม)
- C_e =ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล (กรัม/ลบ.ม.)
- $b = \frac{1}{K_L}$ เมื่อ K_L = ค่าคงที่ของ Langmuir

โดยปกติเป้าหมายหลักในการออกแบบของการกรองทางชีวภาพ คือการย่อยสลายสารมลพิษทางชีวภาพ แต่การดูดซับในสารอินทรีย์ก็ยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา การดูดซับจะมีผลในช่วงเริ่มต้นของการทำงาน (Start – up) เป็นหลัก เนื่องจากการย่อยสลายทางชีวภาพ จุลินทรีย์ในระบบยังต้องมีการปรับตัวต่อสภาวะแวดล้อมในช่วงแรกของการเดินระบบ

2.3.5 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

(1) พิล์มชีวภาพ (Biofilm) คือ มวลของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนผิวของตัวกลาง และทำการย่อยสลายสารมลพิษให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายโดยกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ พิล์มชีวภาพจะเป็นฟิล์มบางๆ อยู่ระหว่างของแข็งและก๊าซ การกรองชีวภาพจะมีประสิทธิภาพดีเมื่อฟิล์มชีวภาพมีความหนา 1-5 มิลลิเมตร

(2) จลนศาสตร์ (Kinetic) คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณอัตราการย่อยสลายสารมลพิษทางชีวภาพและอัตราการเกิดของมวลชีวภาพ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพิจารณาค่าทางจลนศาสตร์ คือ Michalis – Menten equation ดังสมการที่ 2.5

$$\frac{dC_L}{dt} = \frac{k_{\max} C_L}{K_s + C_L} \dots\dots\dots(2.5)$$

- โดยที่ C_L = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ (โมล/ลิตร)
- k_{\max} = อัตราการย่อยสลายสูงสุด (โมล/ลิตร-วินาที)
- K_s = Half – saturation constant

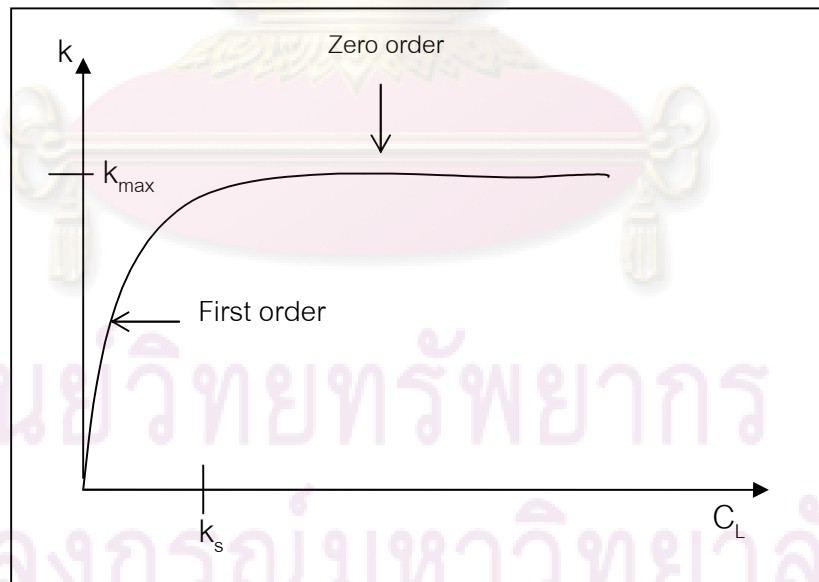
เมื่อความเข้มข้นของสารมลพิษ (C_L) มากกว่าค่าคงที่การอิ่มตัว (K_S) มากๆ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะเท่ากับ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพสูงสุด (k_{max}) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หมายถึงว่า อัตราการย่อยสลายไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษ

เมื่อสารมลพิษมีความเข้มข้นต่ำ ปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง โดยในการกรองชีวภาพบริเวณทางเข้าของก๊าซจะเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เนื่องจากมีความเข้มข้นสูง แต่เมื่อห่างออกไปจะเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งเมื่อมีความเข้มข้นต่ำ หมายถึงว่า อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความเข้มข้นของมลพิษ

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พิจารณาได้จากสมการที่ 2.6

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

- โดยที่ X = ความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ (มก./ล.)
- μ = ค่าสัมประสิทธิ์ของการเติบโตจำเพาะ (วินาที⁻¹)



ภาพที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพและความเข้มข้นของมลพิษ

ที่มา : Devigny และคณะ (1999)

การคำนวณหาค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะ ใช้ความสัมพันธ์ของ Monod ดังสมการที่ 2.7

$$\mu = \frac{\mu_{\max} C_L}{K_S + C_L} \dots\dots\dots(2.7)$$

โดยที่ C_L = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ
 μ_{\max} = ค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด

2.3.6 พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น (Heat generation) ปกติปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบอินทรีย์ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นขณะที่จุลินทรีย์ต้องการพลังงานในการดำรงชีวิต ซึ่งได้มาจากพลังงานทางเคมี ก่อให้เกิดพลังงานความร้อน สำหรับสารมลพิษบางชนิดปริมาณความร้อนมีความสำคัญมาก เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันสมบูรณ์ของเอทานอล 1 กรัมต่ออากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 20°C เป็น 38 °C

ในระบบสถานะไม่คงที่ (Non steady state) พลังงานความร้อนเกิดเนื่องจากการย่อยสลายทางชีวภาพจะช่วยให้เครื่องกรองชีวภาพมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวกลางและเครื่องกรองชีวภาพจะดูดซับพลังงานความร้อนไว้ซึ่งสามารถประมาณค่าได้จากความร้อนจำเพาะ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) อุณหภูมิของตัวกลางและถังปฏิกรณ์ จะไม่เปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิของระบบมีความแตกต่างกับอุณหภูมิภายนอกจะเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างสิ่งแวดล้อมกับถังปฏิกรณ์

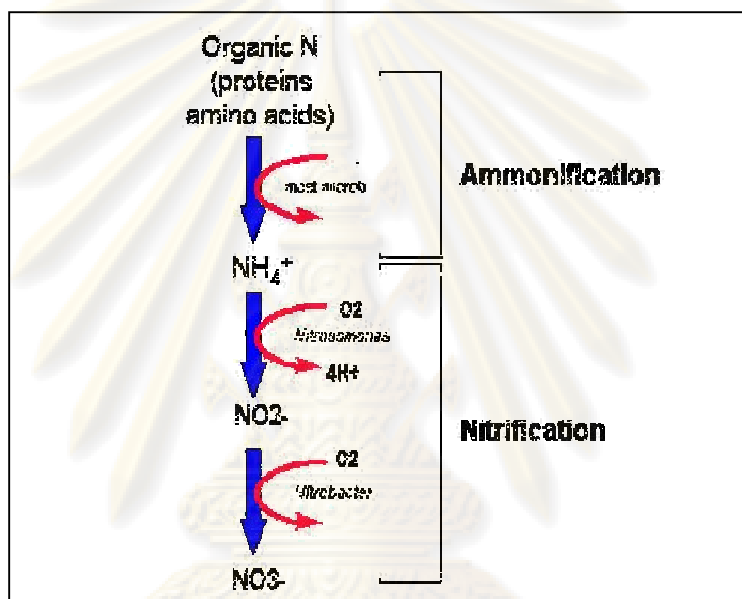
ในระดับห้องปฏิบัติการสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อน โดยทำการหุ้มฉนวนกันความร้อน สำหรับถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับภายนอกต่อปริมาตรต่ำ การถ่ายเทความร้อนสู่ผนังถังปฏิกรณ์ถือว่าน้อยมาก ความร้อนที่เกิดขึ้นมีผลให้ปริมาณน้ำในตัวกลางระเหยออก และอุณหภูมิของอากาศที่ออกจะสูงกว่าอากาศที่เข้า

ความร้อนของอากาศที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณปริมาณพลังงานที่ถูกใช้ไปในการทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ผลรวมของความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยกับความร้อนที่ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น คือปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถเปรียบเทียบกับความร้อนจากการเผาไหม้ของสารมลพิษที่บำบัด เพื่อคำนวณ

ปริมาณสารมลพิษที่ถูกย่อยสลายไป ดังนั้นสมดุลความร้อนสามารถคำนวณได้โดยไม่เกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดของมวลชีวภาพ

2.4 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

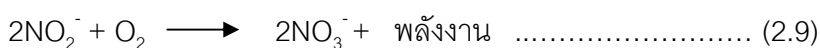
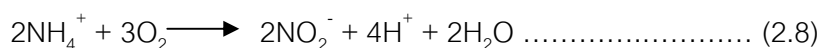
การกำจัดก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้นโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียที่มีความเป็นพิษสูงให้เป็นไนไตรท์และไนเตรท โดยอาศัยการทำหน้าที่ของ Autotrophic Bacteria 2 ชนิด ใน 2 ขั้นตอนย่อย ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 กระบวนการ Ammonification และ Nitrification

ที่มา : <http://soils.umn.edu/academics/classes/soil2125/doc/s9chap2.htm>

ขั้นตอนย่อยแรก แบคทีเรียกลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ ขั้นตอนย่อยที่สอง แบคทีเรียกลุ่ม Nitrite oxidizing bacteria (NOB) ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์เป็นไนเตรท ขณะที่แบคทีเรียออกซิไดซ์ทั้ง 2 ชนิดออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์ (NO₂⁻) และไนเตรท (NO₃⁻) ระบบจะอยู่ในสภาวะแอโรบิกและได้พลังงานออกมา แบคทีเรียจะใช้พลังงานนี้ไปดึงคาร์บอนไดออกไซด์ หรือ ไฮโดรเจนคาร์บอนเนตมาเป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) ต่อไป ได้สมการการย่อยสลายดังสมการที่ 2.8 และ 2.9



แบคทีเรียไนโตรไฟอิงที่ทำให้เกิดกระบวนการไนโตรฟิเคชัน ได้แก่ แบคทีเรียพวก Autotrophic ammonia oxidizing bacteria (AOB) เป็นแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์ เช่น *Nitrosomonas spp.* และ *Nitrosospira spp.* และ แบคทีเรียพวก Nitrite oxidizing bacteria (NOB) เป็นแบคทีเรียที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์ให้เป็นไนเตรท เช่น *Nitrobacter spp.* และ *Nitrospira spp.*

2.5 หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสม

Devanny และคณะ (1999) เสนอแนะหลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสมของเครื่องกรองชีวภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.5.1 ปริมาณธาตุอาหารอนินทรีย์ (Inorganic nutrient content)

ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการเติบโตของจุลินทรีย์ แต่พบข้อมูลค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับวัฏจักรการให้ธาตุอาหารและปริมาณธาตุอาหารที่ต้องการ โดยทั่วไปจะเติมธาตุอาหารโดยใช้การสเปรย์น้ำที่มีธาตุอาหารลงบนตัวกลาง เพียงช่วงเริ่มต้นของการเดินระบบ อย่างไรก็ตามในบางกรณีจะมีการเติมธาตุอาหารในระหว่างดำเนินงาน โดยทั่วไปสำหรับตัวกลางปุยหมัก การเติมสารอาหารในช่วงเริ่มต้นของไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม อยู่ที่ 0.4: 0.15: 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.5.2 ปริมาณสารอินทรีย์ (Organic content)

หลายกรณีที่เครื่องกรองชีวภาพจะมีการบำบัดมลพิษแบบไม่ต่อเนื่อง จากการเปลี่ยนตัวกลางหรือหยุดทำงานในช่วงสุดสัปดาห์ มวลชีวภาพและสารอินทรีย์ที่ดูซึมได้อื่นๆ จะเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในช่วงหยุดเดินระบบ ปกติตัวกลางวัสดุหมักจะมีปริมาณสารอินทรีย์มาก อาจไม่ต้องการเติมมวลสารอินทรีย์เข้าไปในระบบเมื่อหยุดเดินระบบ

2.5.3 สารเติมแต่งทางเคมีและสารเฉื่อยปฏิกิริยา (Chemical and inert additives)

สารเฉื่อยปฏิกิริยาจะถูกเติมลงไปเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะ เพื่อประโยชน์ในการป้องกันการกัดตัวของตัวกลางหลักและลดค่าความดันลดของระบบ สารเฉื่อยปฏิกิริยาที่นิยมใช้ได้แก่ เม็ดโพลีสไตรีน เศษไม้ เปลือกไม้ เศษแก้วกลม หินภูเขาไฟ เป็นต้น ส่วนสารเติมแต่งทางเคมีถูกเติมลงไปเพื่อรักษาระดับพีเอชให้เหมาะสม เช่น การเติมปูนขาวและเปลือกหอยเพื่อป้องกันสภาพที่เกิดกรดในตัวกลาง

2.5.4 ปริมาณน้ำ (Water content)

ตัวกลางควรมีความสามารถในการกักเก็บน้ำอยู่ภายในเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถอาศัยอยู่ได้ โดยทั่วไปตัวกลางที่มีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูง ได้แก่ตัวกลางอินทรีย์จะมีปริมาณน้ำประมาณ 40 – 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.5.5 ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เมื่อพิจารณาถึงการย่อยสลายทางชีวภาพแล้ว พีเอชที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6 ถึง 8 แม้ว่าในบางกรณีการบำบัดสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจะทำให้พีเอชลดต่ำประมาณ 2 – 4 แต่ประสิทธิภาพการกำจัดไม่ได้ลดลง

2.5.6 ลักษณะการดูดซับและความพรุน (Sorptions characteristics and porosity)

การดูดซับสารมลพิษไปยังวัสดุตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ ภายในรูพรุนฟิล์มชีวภาพ และการดูดซับทางกายภาพ ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้น ชนิดของสารมลพิษ และชนิดของวัสดุตัวกลาง วัสดุตัวกลางที่ใช้ควรมีสมบัติในการดูดซับสารมลพิษได้อย่างเพียงพอ และยังสามารถบำบัดสารมลพิษได้อย่างต่อเนื่อง ภายใต้การเปลี่ยนแปลงสถานะความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบ กระบวนการดูดซับสารมลพิษไปยังตัวกลางควรจะมีบทบาทสำคัญในการลดความเข้มข้นของสารมลพิษที่สูงให้เจือจางลง

ส่วนมากตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน ควรจะมีความพรุนหรือปริมาตรช่องว่างประมาณ 40 – 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้อากาศเคลื่อนที่ได้ดีและความดันลดยที่เกิดขึ้นน้อยลง การบรรจุตัวกลางควรให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสมากพอให้จุลินทรีย์อาศัยอยู่ได้และมีการถ่ายเทสารมลพิษได้ ส่วนใหญ่นิยมใช้ตัวกลางขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 – 5 เซนติเมตร

2.5.7 การยึดเกาะของแบคทีเรีย (Bacterial attachment)

วัสดุตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพควรมีสมบัติในการเป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ จากงานวิจัยพบว่าลักษณะตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ ควรมีผิวขรุขระ มีความพรุนและเก็บกักน้ำไว้ได้ เพื่อจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ ซึ่งพื้นผิวที่ขรุขระเป็นสมบัติสำคัญของตัวกลางควรมีเพื่อป้องกันจุลินทรีย์จากการเกิดแรงเฉือนทางชลศาสตร์ (Hydraulic shear) สำหรับตัวกลางที่เป็นวัสดุสังเคราะห์บางครั้งอาจมีการใช้สารเคมีทำการชะล้าง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเมือกจุลินทรีย์ (Slime growth) ที่เป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดการอุดตัน

2.5.8 สมบัติทางกลศาสตร์ (Mechanical properties)

ตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพควรใช้งานได้นาน ไม่เกิดการอุดตันและหดตัว ซึ่งตัวกำหนดความแข็งแรงของโครงสร้างตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ คือ ความหนาแน่นของวัสดุตัวกลาง กล่าวคือ ถ้าตัวกลางมีความหนาแน่นมาก จะมีโครงสร้างแข็งแรง ในทางกลับกันถ้าวัสดุตัวกลางมีความหนาแน่นน้อย จะมีโครงสร้างไม่แข็งแรง วัสดุตัวกลางที่แข็งแรงจะทำให้สร้างเครื่องกรองชีวภาพที่มีตัวกลางสูงได้ ทำให้ลดพื้นที่ในการก่อสร้างบริเวณพื้นที่จำกัดและมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลง โดยปกติวัสดุเสริมตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะมีความหนาแน่นประมาณ 300 – 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งถูกบดอัดได้ง่ายทำให้ถูกจำกัดความลึกของชั้นตัวกลางประมาณ 1 – 1.5 เมตร ขณะที่ตัวกลางพลาสติกอาจมีความลึกได้ถึง 5 เมตร

2.5.9 ปัญหาเรื่องกลิ่นจากตัวกลางที่ใช้บรรจุ (Odor of the packing)

วัสดุตัวกลางที่นำมาใช้ประกอบไปด้วยอินทรีย์วัตถุและมวลจุลินทรีย์ซึ่งอาจจะมีกลิ่น โดยปกติค่าของกลิ่นที่ออกมาจากระบบปริมาณ 20 – 100 Odor Unit (อัตราการเจือจางจนถึงระดับที่ไม่ได้กลิ่น หรือ Threshold Odor) ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้เครื่องกรองชีวภาพบำบัดมลพิษอากาศภายในอาคารที่ไม่มีการระบายอากาศออกสู่ภายนอก

2.5.10 ค่าใช้จ่ายของวัสดุตัวกลางและอายุการใช้งาน (Packing cost and lifetime)

วัสดุตัวกลางที่ใช้ควรใช้งานได้นาน 2 – 4 ปี ก่อนจะถึงเวลาจำกัดและราคาต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในด้านอื่นรวมถึงค่าใช้จ่ายในด้านการดำเนินงาน การเปลี่ยนตัวกลางใหม่เป็นสิ่งจำเป็นเมื่อประสิทธิภาพการกำจัดต่ำลงและความดันลดลงกว่าค่าที่ยอมรับได้

2.5.11 การกำจัดตัวกลางที่หมดอายุการใช้งาน (Packing disposal)

วัสดุตัวกลางที่ใช้แล้วไม่ควรเป็นขยะอันตรายและควรกำจัดได้โดยวิธีการที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย เช่น การนำไปถมที่เลี้ยงสัตว์ (Land farming) ของตัวกลางปุ๋ยหมัก

2.6 ประเภทตัวกลางที่ถูกใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ

2.6.1 ตัวกลางวัสดุหมัก และ ตัวกลางอินทรีย์ (Compost-based and organic media)

ตัวกลางวัสดุหมัก เช่น ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางที่นิยมใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ เนื่องจากเป็นวัสดุราคาถูกและยังมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่ในตัวและยังมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในปริมาณมาก นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี

และมีความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี แต่มีข้อเสียคือเป็นวัสดุที่สลายตัวได้ตามธรรมชาติทำให้ต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางใหม่อยู่เรื่อยๆ

2.6.2 ตัวกลางดิน (Soil media)

ดินนับเป็นตัวกลางแบบแรกที่ถูกนำมาใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ ดินที่มีความเหมาะสมที่สุดในระบบบำบัดกลิ่นหรือสารอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นดินที่อุดมสมบูรณ์ (Loam) ส่วนดินเหนียวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ

2.6.3 ตัวกลางสังเคราะห์ (Synthetic media)

ตัวกลางสังเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปทำจากวัสดุพวก พลาสติก โพลีโพรพีลีน โดยวัสดุตัวกลางชนิดนี้จะมีสมบัติที่โครงสร้างแข็งแรง อายุการใช้งานยาวนาน แต่มีข้อด้อยคือไม่มีสมบัติการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ดังนั้นตัวกลางประเภทนี้จึงต้องมีการเติมน้ำและธาตุอาหารให้ระบบอย่างสม่ำเสมอ เป็นผลให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของระบบค่อนข้างสูง

2.7 พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบ

2.7.1 ความลึกของชั้นตัวกลางเครื่องกรองชีวภาพ (Depth of biofilter bed)

ความลึกของชั้นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะมีความลึกอยู่ที่ 0.5 ถึง 2.5 เมตร ซึ่งปกติในการออกแบบจะกำหนดความลึกอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร เพื่อเป็นการป้องกันการอุดตันตัวของชั้นตัวกลาง

2.7.2 จุลินทรีย์ (Microbial)

ในเครื่องกรองชีวภาพ จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารมลพิษให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอันตราย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงาน และ มวลชีวภาพที่เกิดขึ้นใหม่ แบคทีเรียและราเป็นจุลินทรีย์หลักที่อยู่ในฟิล์มชีวภาพ ข้อดีของแบคทีเรียคือ สามารถใช้สารอาหารและเติบโตได้อย่างรวดเร็วในสภาวะที่เหมาะสม ส่วนราจะเติบโตช้าและมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ทำให้รามีอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยกว่าแบคทีเรียและรา ทนต่อสภาวะต่างๆ ได้ดี แต่ที่สำคัญ ราจะสร้างเส้นใยที่ซับซ้อนซึ่งจะขัดขวางการไหลของอากาศ และยังเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างตัวกลาง หากราเติบโตมากขึ้นจะทำให้ค่าความดันลดสูงขึ้น

โดยทั่วไปตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมักไม่จำเป็นต้องมีการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากภายในตัวกลางมีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามการเติมเชื้อจุลินทรีย์ก็ยังเป็นสิ่งสมควรปฏิบัติ เพราะจะทำให้ระยะเวลาในการเริ่มเดินระบบลดลง และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ ปกติแล้วหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ จะใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)

2.7.3 การป้อนอากาศ (Air supply)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ ปกติแล้วจะทำการป้อนอากาศให้กับเครื่องกรองชีวภาพในสัดส่วน อัตราไหลอากาศต่ออัตราไหล ก๊าซมลพิษเท่ากับ 100 ส่วน ต่อ 1 ส่วน ทั้งนี้เพื่อต้องการให้มีออกซิเจนเกิน (Excess oxygen) ในเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และยังเป็นการป้องกันการเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic process) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในเครื่องกรองชีวภาพ

2.7.4 การป้อนธาตุอาหารอนินทรีย์ (Inorganic nutrient supply)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ก็ยังมีอีกปัจจัยที่สำคัญก็คือ ธาตุอาหารอนินทรีย์ อาทิเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยทั่วไปสำหรับตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมัก การเติมธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นจะมีอัตราส่วน ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม อยู่ในช่วง 0.4: 0.15: 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.7.5 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

การเพิ่มปริมาณความชื้นให้กับระบบสามารถทำได้ 2 ทาง คือ การเพิ่มความชื้นแก่ก๊าซก่อนเข้าระบบ ปกติความชื้นของก๊าซควรมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มความชื้นโดยตรงที่บริเวณผิวหน้าของชั้นกรอง วิธีการนี้ควรระมัดระวังเรื่องขนาดของหยดน้ำ เพราะถ้าหยดน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป อาจจะทำให้เกิดการอุดตันของชั้นตัวกลาง ปกติขนาดของหยดน้ำที่ใช้ควรมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ภาวะบรรทุกน้ำสูงสุดจะอยู่ที่ 0.021 ลูกบาศก์เมตร ต่อตารางเมตร-ชั่วโมง

2.7.6 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการทำงานและเจริญเติบโตอยู่ที่ประมาณ 10 – 40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเป็นผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย ในทางกลับกันถ้า

อุณหภูมิต่ำเกินไปจะเป็นผลให้จุลินทรีย์ทำงานลดลง ดังนั้นในฤดูหนาวจึงจำเป็นต้องมีการทำความร้อนให้กับก๊าซที่เข้าระบบเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่วนในกรณีที่ก๊าซเข้าระบบมีอุณหภูมิสูงเกินไป ควรจะทำให้ก๊าซนั้นเย็นก่อนที่จะเข้าระบบ

2.7.7 ความเป็นกรด-ด่างของเครื่องกรองชีวภาพ (pH of Biofilter)

จุลินทรีย์แต่ละชนิดสามารถมีชีวิตอยู่ในช่วงพีเอชที่เหมาะสม และอาจเกิดการยับยั้งหรือตายหากสภาพกรด – ด่างอยู่นอกช่วงพีเอช โดยทั่วไปเครื่องกรองชีวภาพมักจะออกแบบให้มีค่าพีเอชใกล้เคียง 7 การควบคุมความเป็นกรด – ด่าง ภายในเครื่องกรองชีวภาพอาจทำได้โดยการเติมบัฟเฟอร์ เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต เป็นต้น

2.7.8 ภาระบรรทุก (Mass loading rate)

ภาระบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการหาขนาดของระบบ โดยภาระบรรทุกนี้สามารถใช้ในการหาพารามิเตอร์อื่นๆ ได้ คือ อัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นกรอง เวลาพักพักก๊าซ และอัตราการกำจัด อัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นกรอง ปกติอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 1.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อนาที

ภาระบรรทุกของสารมลพิษ (Contaminant load) คือ มวลของสารมลพิษที่ปล่อยเข้าเครื่องกรองชีวภาพต่อเวลาต่อปริมาตร เป็นปัจจัยที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อระบบกรองทางชีวภาพ ประสิทธิภาพการบำบัดจะดีขึ้นเมื่อภาระบรรทุกต่ำ ภาระบรรทุกของสารมลพิษอาจแบ่งได้ดังนี้ ภาระบรรทุกต่ำเมื่ออัตราการไหลอากาศต่ำ และภาระบรรทุกสูงเมื่ออัตราการไหลอากาศสูง ภายใต้สภาวะที่มีความเข้มข้นสูงจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้น เนื่องจากความเข้มข้นของสารมลพิษในฟิล์มชีวภาพสูงจะทำให้เกิดการย่อยสลายทางชีวภาพสูงขึ้น เมื่อค่าจลนศาสตร์ทางชีวภาพสูงกว่าปฏิกิริยาอันดับศูนย์ ในกรณีที่การแพร่เป็นปัจจัยจำกัด สารมลพิษในอากาศที่ความเข้มข้นมากกว่าจะเป็นตัวขับเคลื่อนให้มลพิษแพร่เข้าสู่ฟิล์มชีวภาพได้เร็วมากยิ่งขึ้น

2.7.9 เวลาพักพัก (Empty Bed Residence Time - EBRT)

เวลาพักพัก คือ เวลาที่ก๊าซใช้ในการสัมผัสกับวัสดุตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อทำให้เกิดการดูดซับ (Adsorption) และดูดซึม (Absorption) เวลาพักพักโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับชนิดก๊าซมลพิษและวัสดุตัวกลาง เช่น เวลาพักพักในการกำจัดก๊าซอินทรีย์ (Organic gas) วัสดุตัวกลางที่เป็นปุ๋ยและดินจะใช้เวลาพักพักอย่างต่ำสุดเท่ากับ 30 วินาที และ 1 นาที ตามลำดับ ส่วนเวลาพักพักของก๊าซอนินทรีย์ (Inorganic gas) จะใช้เวลานานขึ้นกว่านี้

2.7.10 ความดันลด (Pressure drop)

ความดันลดในเครื่องกรองชีวภาพจะขึ้นอยู่กับประเภทตัวกลาง ความพรุน ปริมาณน้ำ และการอุดตันของตัวกลาง เมื่อทำการเดินระบบเป็นเวลานาน จะทำให้ความพรุนของตัวกลางลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการอุดตันของชั้นตัวกรอง ดังนั้นการเปลี่ยนตัวกลางเมื่อครบอายุการใช้งาน จะเป็นการป้องกันการอุดตัน และการเกิดความดันลดสูงได้ การเกิดความดันลดสูงๆ นั้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการเพิ่มความดันอากาศเข้ามาในระบบ ปกติเครื่องกรองชีวภาพจะเกิดแรงดันลดประมาณ 1 - 3 นิ้วของน้ำ และใช้พลังงานในการขับเคลื่อนอากาศประมาณ 1.8 - 2.5 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อหนึ่งพันลูกบาศก์เมตร ความดันลดยังมีความสัมพันธ์กับภาระบรรทุกพื้นผิว (Surface loading) ในการกำจัดสารปนเปื้อนและประเภทของตัวกลาง

2.8 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมควบคุมมลพิษ (2544) ศึกษาโครงการวิจัยเทคโนโลยีการจัดการและควบคุมมลพิษในอากาศ (ระบบเครื่องกรองชีวภาพ) เพื่อกำจัดกลิ่นแอมโมเนียจากโรงงานปลาป่น โดยใช้ตัวกลางที่ประกอบด้วย กาบมะพร้าว ปุ๋ยคอก และตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย ในอัตราส่วน 75:20:5 โดยปริมาตรตามลำดับ ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัด 80 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาพักที่เหมาะสม 50-60 วินาที อัตราภาระบรรทุกที่เหมาะสมเท่ากับ 10 กรัมแอมโมเนียต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ความเข้มข้นแอมโมเนีย 40 ส่วนในล้านส่วน

เสริมศักดิ์ ทังมั่งมี (2546) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพ และชนิดของตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดโกลูอินระดับห้องปฏิบัติการ โดยความเข้มข้นโกลูอินอยู่ในช่วง 20 ถึง 200 ส่วนในล้านส่วน แปรผันเวลากักพักอยู่ในช่วง 23 ถึง 260 วินาที ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบ 160 วัน พบว่าตัวกลางซึ่งประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก: เศษไม้: ตะกอนจุลินทรีย์ ในอัตราส่วน 70:20:10 โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดโกลูอินสูงสุดเท่ากับ 97% และเวลากักพักน้อยที่สุดที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโกลูอินมากกว่า 90% ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 50 วินาที

เอกชัย เลิศผดุงวิทย์ (2547) ศึกษาการกำจัดไซลีนด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม โดยทำการทดลองหาอัตราส่วนของตัวกลางผสมที่เหมาะสมของดินผสมใบก้ามปูและปุ๋ยคอกต่อขยะพลาสติก จากนั้นใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองแรกในการศึกษาความสามารถสูงสุดในการกำจัดไซลีน โดยใช้ความเข้มข้นของไซลีนในช่วง 50 ถึง 2,000 ส่วนในล้านส่วน แปรผันเวลากักพักที่ 36, 60 และ 90 วินาที ระยะเวลาในการเดินระบบ 60 วัน พบว่า

อัตราส่วนผสมของดินผสมใบก้ามปูและปุ๋ยคอกต่อขยะพลาสติกที่อัตราส่วน 60:40 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดไซลีนเท่ากับ 96% และความสามารถในการกำจัดไซลีนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 70, 142 และ 194 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่เวลากักพัก 36, 60 และ 90 วินาที ตามลำดับ

จิรวัดณ์ กันพยนต์ (2548) ศึกษาการกำจัดไออะซิโตนโดยการกรองชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวกลางหลัก 4 ประเภท ได้แก่ ดินใบก้ามปู ดินสีดา ปุ๋ยหมัก และซังข้าว (เศษไม้จากการแปรรูปไม้) อัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย ตัวกลางหลัก : เศษไม้ : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน : ปุ๋ยคอก เท่ากับ 60:20:10:10 แปรผันอัตราไหลอากาศที่ 2.5, 3.0 และ 4.0 ลิตรต่ออนาที ใช้ความเข้มข้นไออะซิโตนในช่วง 200 ถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วน พบว่า ปุ๋ยหมัก มีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางในการกำจัดไออะซิโตน โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 92% ที่เวลากักพัก 68 วินาที

ณัฐพล รัตนมูขัย (2549) ศึกษาการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสมซึ่งทำการทดลอง 2 ขั้นตอน ได้แก่การศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้นและทิศทางไหลลง โดยความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 50 – 300 ส่วนในล้านส่วน พบว่า อัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก : กาบมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน เท่ากับ 60:20:10:10 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วน เวลากักพัก 45 วินาที ส่วนการทดลองที่สอง พบว่า เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง จะมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

Ergass และ Switzenbaum (1999) ศึกษาคุณสมบัติพิเศษเฉพาะของปุ๋ยหมักที่ใช้เป็นตัวกลางในระบบการกรองชีวภาพ 3 ชนิดประกอบด้วย ปุ๋ยหมักขยะสด ปุ๋ยหมักขยะสนามหญ้า และปุ๋ยหมักจากมูลม้าผสมฟางข้าว พบว่าในช่วงเริ่มต้นของระบบ ปุ๋ยหมักจากมูลม้าผสมฟางข้าว มีการทำงานของจุลินทรีย์สูงสุดและใช้เวลาในการปรับตัวของจุลินทรีย์ตั้งแต่ตัวกลางปุ๋ยหมักขยะจากสนามหญ้าที่ประกอบไปด้วย ใบไม้ ใบหญ้า เปลือกไม้ มีเสถียรภาพที่สุด

Delhomenie และคณะ (2002) ศึกษาผลกระทบของอนุภาคและปรากฏการณ์ดูดซับในตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก โดยการบำบัดโกลูอินโดยการกรองชีวภาพ พบว่า ขนาดของอนุภาคปุ๋ย

หมัก และพื้นที่ผิวจำเพาะเป็นปัจจัยหลักสำหรับกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ เมื่อลดขนาดอนุภาคซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะมีความสามารถในการกำจัดดังนี้ 180 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (5 มม., 590 ม.²/ม.³), 90 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (10 มม., 280 ม.²/ม.³) และ 45 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (20 มม., 120 ม.²/ม.³) ตามลำดับ

Sheridan และคณะ (2002) ศึกษาการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ใช้ตัวกลางเศษไม้ขนาดประมาณ 20 มิลลิเมตร ความลึกของชั้นตัวกลาง 0.5 เมตร โดยความชื้นที่ใช้อยู่ที่ 64±4% และ 69±4% อัตราการไหลในเครื่องกรองชีวภาพ 769 – 1,898 ลูกบาศก์เมตรอากาศต่อลูกบาศก์เมตรตัวกลางต่อชั่วโมง พบว่าที่ความชื้น 64±4% และ 69±4% มีประสิทธิภาพในการกำจัด 77 – 95% และ 54 – 93% ตามลำดับ ความชื้นเหมาะสมที่สุดอยู่ที่ 63% ความเป็นกรด-ด่างของน้ำชะ 6 – 8

Chen, Yin และ Wang (2005) ศึกษาการกำจัดแอมโมเนียโดยใช้ตัวกลางปุ๋ยหมักและสลัดจ์ ความเข้มข้นแอมโมเนียเข้าระบบอยู่ในช่วง 20 – 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ภาระบรรทุก 24.9 – 566 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับปุ๋ยหมัก และ 24.9 – 472 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน สำหรับสลัดจ์ ที่ระยะเวลาเดินระบบ 210 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของตัวกลาง ปุ๋ยหมักและสลัดจ์ 97 - 99% และ 95 – 99 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเมื่อความเข้มข้นแอมโมเนียเข้าระบบต่ำกว่า 110 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ภาระบรรทุก 288 และ 243 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ

Hong และ Park (2005) ศึกษาความสูงตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย ใช้ตัวกลางผสมปุ๋ยหมักและกากมะพร้าวอัตราส่วน 50:50 โดยปริมาตร ความเข้มข้นแอมโมเนีย 33 – 190 ส่วนในล้านส่วน ความสูงตัวกลาง 400 – 600 มิลลิเมตร พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ที่ 63 – 100% และประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุด 100% ที่ความสูงของชั้นตัวกลาง 500 มิลลิเมตร เวลาพัก 151 วินาที

Taghipour และคณะ (2007) ศึกษาตัวกลางผสมปุ๋ยคอก สลัดจ์และพลาสติกแข็ง ในการกำจัดแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ เริ่มเดินระบบที่ความเข้มข้นแอมโมเนีย 51 ส่วนในล้านส่วน ภาระบรรทุก 2.15 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เวลาพัก 60 วินาที พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่ 99% มีภาระบรรทุกสูงสุด 9.85 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ความเข้มข้นประมาณ 236 ส่วนในล้านส่วน ความดันลด 12 มิลลิเมตรน้ำ และเวลาพักน้อยสุด 30 วินาที ที่ภาระบรรทุกไม่เกิน 9.45 กรัมแอมโมเนียต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ทำวิจัย	ปีการศึกษา	สารมลพิษ	ชนิดตัวกลาง	อัตราส่วนผสม	ความเข้มข้นของสารมลพิษที่กำจัด (ส่วนในล้านส่วน)	เวลากักพัก (วินาที)	ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด	
เสริมศักดิ์ ทังมั่งมี	2546	โทลูอีน	ปุ๋ยหมัก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์	30:60:10	20 - 200	> 50	97%	
				50:40:10				
				70:20:10				
			เซรามิค : ตะกอนจุลินทรีย์	90:10				
เอกชัย เลิศผดุงวิทย์	2547	ไซลีน	ดินใบก้ามปู : ปุ๋ยคอก	80:20	50 -2000	90	96%	
				60:40				
				40:60				
				20:80				
จิรวัดมน์ กันพยนต์	2548	อะซิโตน	ปุ๋ยหมัก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก	60 : 20 : 10 : 10	200 - 1000	68	92%	
								ดินใบก้ามปู : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก
								ดินสีดำ : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก
								ขี้กบ : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

ผู้ทำวิจัย	ปีการศึกษา	สารมลพิษ	ชนิดตัวกลาง	อัตราส่วนผสม	ความเข้มข้นของสารมลพิษที่กำจัด (ส่วนในล้านส่วน)	เวลากักพัก (วินาที)	ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด
ณัฐพล รัตนมุขย์	2549	ไฮโดรเจนซัลไฟด์	ปุ๋ยหมัก : กาบมะพร้าว : ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก	60:20:10:10	50 - 300	45	100%
			ดินขุยไผ่ : กาบมะพร้าว : ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก				
			หินภูเขาไฟ : กาบมะพร้าว : ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก				
			ถ่านกัมมันต์ : กาบมะพร้าว : ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก				

*หมายเหตุ: ตัวอักษรหนา หมายถึง ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพ เวลาพักที่เหมาะสม อัตราการไหล และพารามิเตอร์ต่างๆ ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ 4 ชุดการทดลอง ทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิจัยนี้เลือกใช้ส่วนผสมของตัวกลาง ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุตัวกลางหลัก เศษไม้เป็นวัสดุเสริมตัวกลางเพื่อป้องกันการอุดตัน ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อเป็นแหล่งจุลินทรีย์ และเติมปุ๋ยคอกเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารแก่จุลินทรีย์ โดยแปรผันอัตราส่วนผสมตัวกลาง ปุ๋ยหมัก: เศษไม้: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์ จำนวน 4 ชุดการทดลอง รายละเอียดดังตารางที่ 3.1 ให้อัตราส่วนผสมปุ๋ยคอกและตะกอนจุลินทรีย์คงที่ที่ 10% โดยปริมาตร แปรผันอัตราส่วนผสมปุ๋ยหมักและเศษไม้ ได้แก่ ชุดปุ๋ยหมัก 70%, 60%, 50% และ 40%

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมตัวกลางของแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	% โดยปริมาตร			
	ปุ๋ยหมัก	เศษไม้	ปุ๋ยคอก	ตะกอนจุลินทรีย์
1	70	10	10	10
2	60	20	10	10
3	50	30	10	10
4	40	40	10	10

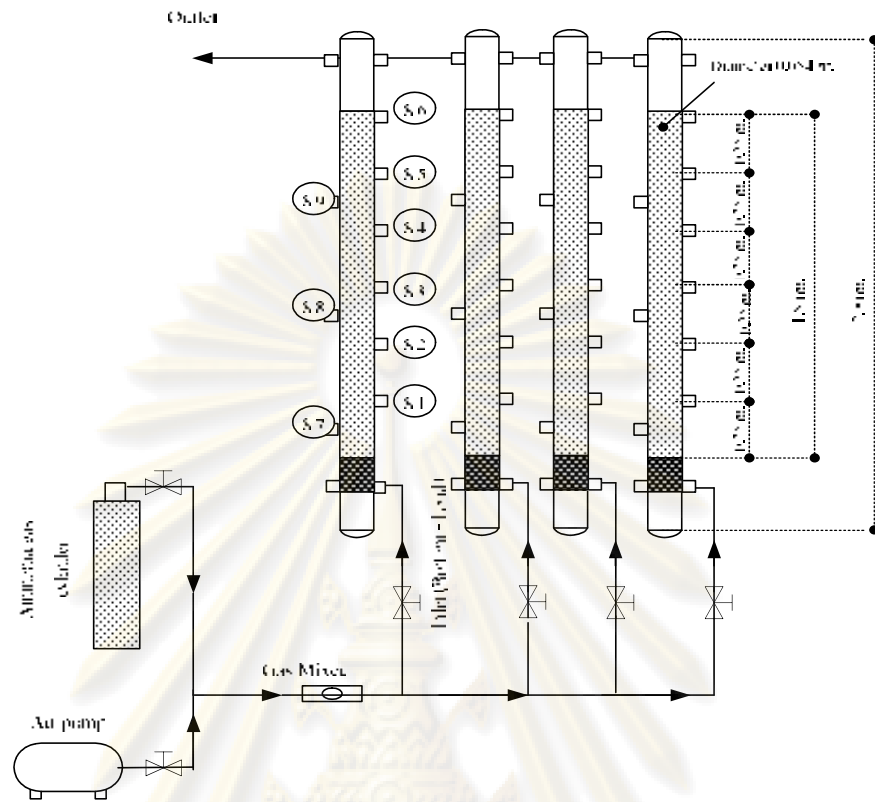
เวลาในการเดินระบบ ทำการเดินระบบ 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ ต่อแผนการทดลอง แปรผันความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ 5 ถึง 200 ส่วนในล้านส่วน กำหนดอัตราไหลของอากาศ 2.95 – 5.90 ลิตรต่อนาที และเวลาพักแปรผันตั้งแต่ 30 – 60 วินาที ตามแผนการทดลองดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง

ลำดับ	วันที่	เวลากักพัก (วินาที)	อัตราไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)
Start - up	1 – 20	90	1.97	5
1	21 – 25	60	2.95	5
	26 – 30	45	3.93	5
	31 – 35	30	5.90	5
2	36 – 40	60	2.95	10
	41 – 45	45	3.93	10
	46 – 50	30	5.90	10
3	51 – 55	60	2.95	50
	56 – 60	45	3.93	50
	61 – 65	30	5.90	50
4	66 – 70	60	2.95	100
	71 – 75	45	3.93	100
	76 – 80	30	5.90	100
5	81 -85	60	2.95	200
	86 – 90	45	3.93	200
	91 – 95	30	5.90	200

3.2 ชุดเครื่องกรองชีวภาพ

การวิจัยครั้งนี้ใช้เครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการในการทดลองดังรูปที่ 3.1 และ 3.2 ซึ่งทำจากท่ออลูมิเนียม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.054 เมตร สูง 2 เมตร บรรจุตัวกรองสูง 1.50 เมตร มีจุดเก็บตัวอย่างอากาศ 6 จุด ที่ระดับ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 และ 1.50 เมตร ส่วนจุดวัดพารามิเตอร์ทั่วไปอยู่ที่ระดับความสูง 0.1, 1.00 และ 1.45 เมตร การปล่อยอากาศเสียเข้าระบบจะทำการปล่อยเข้าด้านล่าง ซึ่งใช้กรวดขนาด 0.5 เซนติเมตร เป็นตัวรองรับตัวกลางและช่วยในการกระจายอากาศ และมีส่วนประกอบอื่นได้แก่ ชุดสร้างก๊าซแอมโมเนียและชุดเก็บน้ำชะ โดยชุดสร้างก๊าซแอมโมเนีย เตรียมจากการผสมก๊าซแอมโมเนียจากถังกับอากาศจากเครื่องปั๊มอากาศ โดยปรับความเข้มข้นของก๊าซด้วยการปรับอัตราไหลของก๊าซแอมโมเนียและอากาศ



ภาพที่ 3.1 แผนภาพเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 3.2 เครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ

3.3 วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางหลักในการทดลอง

ปุ๋ยหมัก เป็นวัสดุตัวกลางที่มีจุลินทรีย์หนาแน่น และหลากหลายตลอดจนมีสมบัติการกักเก็บน้ำที่ดี พีเอชที่เป็นกลาง มีปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสม

3.3.2 วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุเสริมตัวกลาง

1) ตะกอนจุลินทรีย์ ใช้เป็นแหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์ ในงานวิจัยนี้ใช้ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา กรุงเทพมหานคร โดยเป็นตะกอนที่ผ่านการรีดตะกอนขั้นสุดท้าย

2) ปุ๋ยคอก ใช้ปุ๋ยคอกที่ได้จากมูลโคเพื่อใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ หากมีการหยุดเดินระบบเนื่องจากวันหยุดสุดสัปดาห์หรือซ่อมแซมระบบ

3) เศษไม้ เป็นตัวเพิ่มความพรุนและป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกลางขนาดประมาณ 2 – 5 เซนติเมตร

วัสดุตัวกลางที่ใช้เป็นตัวกลางผสมของเครื่องกรองชีวภาพแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 วัสดุตัวกลาง

การทดสอบสมบัติทางการภาพและเคมีของตัวกลาง สามารถสรุปวิธีการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีทดสอบลักษณะสมบัติของวัสดุตัวกลาง

พารามิเตอร์	ช่วงเวลาในการทดสอบ	มาตรฐาน – วิธีทดสอบ
ความเป็นกรด – ต่าง	ก่อนการทดลอง	pH meter
ความพรุน	ก่อนการทดลอง	ASTM C 373 – 88
ความชื้น	ก่อนการทดลอง	JIS M 8812 – 1984
ความหนาแน่น	ก่อนการทดลอง	JIS 1474 – 1976
การกระจายขนาดอนุภาค	ก่อนการทดลอง	ASTM C136 – 92
ปริมาณไนโตรเจน	ก่อน – หลังการทดลอง	Kjeldahl method
ปริมาณฟอสฟอรัส	ก่อน – หลังการทดลอง	Bray II method
ปริมาณโพแทสเซียม	ก่อน – หลังการทดลอง	Atomic Absorption Spectrophotometer
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ก่อน – หลังการทดลอง	Walkley and black method
ปริมาณจุลินทรีย์	ก่อน – หลังการทดลอง	Dilution plate count

หมายเหตุ: มาตรฐาน-วิธีทดสอบแสดงในภาคผนวก ก.

3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ในการวิจัย แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

พารามิเตอร์	เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่นและพิสัยการวัด
ป้อนอากาศ	Air pump	Resun ap-30 / 60 ลิตรต่อนาที
ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย	Ammonia gas detector	GasBadge Pro / 0 – 100 ppm
อัตราไหลอากาศ	Flow meter	Dwyer / 1 -10 ลิตรต่อนาที
ความดันลดของตัวกลาง	Manometer	Dwyer / Series 477 – 3 Max. pressure 29 psi
อุณหภูมิ	Thermometer	Brannan / 10 – 100 °C
ความชื้นตัวกลาง	เครื่องวัดความชื้น และ	E.M. System soil test /
กรด-ด่างของตัวกลาง	พีเอชในดิน	Moisture 1 – 100%/ pH 3.5 - 8

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการวิจัยตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์

ตัวแปร	จุดเก็บตัวอย่าง	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่
1. Air flow rate	Inlet	Flow meter	ทุกวัน
2. Ammonia gas concentration	$S_1 - S_6$	Ammonia gas detector	ทุกวัน
3. Moisture content	$S_7 - S_9$	เครื่องวัดความชื้นในดิน	ทุก 2 วัน
4. Temperature	$S_7 - S_9$	Thermometer	ทุก 2 วัน
5. Pressure drop	$S_1 - S_6$	Manometer	ทุก 5 วัน
6. Compaction	ตัวกลาง	ตลับเมตร	ทุก 5 วัน
7. pH	$S_7 - S_9$	เครื่องวัดพีเอชในดิน	ทุก 5 วัน
8. Nitrate	น้ำชะตัวกลาง	Cadmium Reduction	หลังเดินระบบ
9. Ammonia	น้ำชะตัวกลาง	Colorimetric Method	หลังเดินระบบ

3.6 ตัวชี้ประสิทธิภาพของระบบ

3.6.1 เวลาที่กัก (Empty Bed Residence Time) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราไหลของอากาศ และขนาดเครื่องกรองชีวภาพ โดยได้มาจากปริมาตรทั้งหมดของตัวกลางต่ออัตราไหลของอากาศดังสมการที่ 3.1

$$EBRT = \frac{V_f}{Q_{Air}} \dots \dots \dots (3.1)$$

โดยที่ V_f = ปริมาตรทั้งหมดของตัวกรอง

Q_{Air} = อัตราไหลของอากาศ

3.6.2 ภาระบรรทุก (Mass Loading Rate) แสดงมวลของสารที่ต้องการกำจัด ที่ถูกนำเข้าสู่ระบบต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพดังสมการที่ 3.2

$$\text{Mass loading} = \frac{Q_{\text{Air}} \times C_{\text{in}}}{V_f} \dots\dots\dots (3.2)$$

โดยที่ C_{in} = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบ

3.6.3 ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ (Removal Efficiency) แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษที่เข้าระบบ ดังสมการที่ 3.3

$$\text{Removal efficiency} = \frac{(C_{\text{in}} - C_{\text{out}})}{C_{\text{in}}} \times 100 \dots\dots\dots (3.3)$$

โดยที่ C_{out} = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ออกจากระบบ

3.6.4 ความสามารถในการกำจัดสารมลพิษ (Elimination capacity) แสดงมวลของสารมลพิษที่ถูกกำจัดไปต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางต่อหน่วยเวลา ดังสมการที่ 3.4

$$\text{Elimination capacity} = \frac{(C_{\text{in}} - C_{\text{out}}) \times Q_{\text{Air}}}{V_f} \dots\dots\dots (3.4)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 สมบัติตัวกลาง

การวิจัยครั้งนี้ใช้วัสดุตัวกลางผสม 4 ชนิด ประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก เศษไม้ ปุ๋ยคอก และ ตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุตัวกลางหลักและวัสดุเสริมที่นำมาใช้งาน กับเครื่องกรองชีวภาพได้แก่ปุ๋ยหมักและเศษไม้ โดยมีผลการทดสอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง

พารามิเตอร์	ปุ๋ยหมัก	เศษไม้
ขนาดอนุภาค (มม.)	$d_{50} = 1.19$	20-50
ความหนาแน่นรวมความพรุน (กรัม/ลบ.ซม.)	0.62	0.08
ความพรุน (%)	57.71	83.22
ความชื้น (%)	26.06	3.5
ความเป็นกรด - ด่าง	6.9	-

จากผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_{50}) ของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (แสดงใน ภาคผนวก ก.) พบว่ามีขนาด 1.19 มิลลิเมตร Leson และ Winer (1999) แนะนำว่า ขนาดอนุภาค ของวัสดุที่เหมาะสมควรใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียความดันต่ำแสดงให้เห็น ว่าจำเป็นที่จะต้องใส่วัสดุเสริมซึ่งได้แก่เศษไม้ที่มีขนาดโดยเฉลี่ย 20-50 มิลลิเมตร เพื่อป้องกันการ อัดตัวของตัวกลาง เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นพบว่า เศษไม้มีความหนาแน่นต่ำ คือ 0.08 กรัม ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีความพรุนสูง 83.22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นผลดีกับระบบในการป้องกันการ รกคุดทับของตัวกลาง ทำให้ตัวกลางมีการกระจายตัวของอากาศได้ดี มลพิษสามารถสัมผัสผัดกับ ฟิล์มชีวภาพได้มากขึ้น เกิดการสูญเสียความดันน้อย และอายุการใช้งานของตัวกลางนานขึ้น แต่มี ข้อควรระวังคือ ถ้าตัวกลางผสมมีความพรุนมากเกินไป ตัวกลางอาจมีการหลุดตัวเร็วขึ้น

ความชื้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญเนื่องจากน้ำเป็นตัวดูดซับมลพิษและธาตุอาหาร สำหรับ จุลินทรีย์ในการดำรงชีวิต ความชื้นตัวกลางที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 40 -80 เปอร์เซ็นต์ (Devinsky และคณะ, 1999) ผลการวิเคราะห์ตัวกลางปุ๋ยหมักพบว่ามีความชื้นต่ำเท่ากับ 26.06 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นก่อนทำการเดินระบบจึงต้องทำการเติมน้ำแก่ตัวกลางให้มีความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

ความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ ค่าพีเอชปกติควรอยู่ในช่วง 6-8 (Devinny และคณะ, 1999) ถ้าพีเอชต่ำหรือสูงกว่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้น้อยลง ผลการทดลองพบว่า ตัวกลางปุ๋ยหมักมีพีเอช 6.9 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกลาง

การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของตัวกลางปุ๋ยหมัก ดังตารางที่ 4.2 ธาตุอาหารหลักที่จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม (N, P, K) ควรมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 0.4, 0.15 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Devinny และคณะ, 1999) พบว่า ปุ๋ยหมักมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ

ตารางที่ 4.2 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของตัวกลางก่อนเดินระบบ

ตัวกลาง	อินทรีย์วัตถุ (%)	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)
ปุ๋ยหมัก	3.95	1.07	2.47	1.27

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปจากการศึกษาสมบัติของตัวกลางพบว่า โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ แต่ต้องมีการปรับปรุงสมบัติตัวกลางด้านความชื้นโดยต้องทำการเติมน้ำเพื่อควบคุมระดับความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

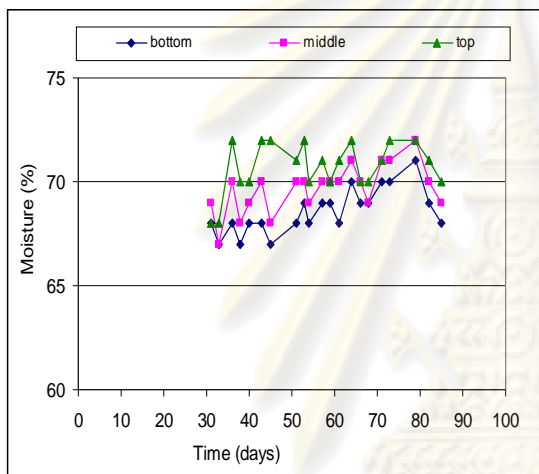
4.2 สภาวะการเดินระบบ

สภาวะการเดินระบบที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ความดันลด และการหลุดตัวของตัวกลาง ที่ต้องพิจารณาร่วมกันเพื่อให้เครื่องกรองชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

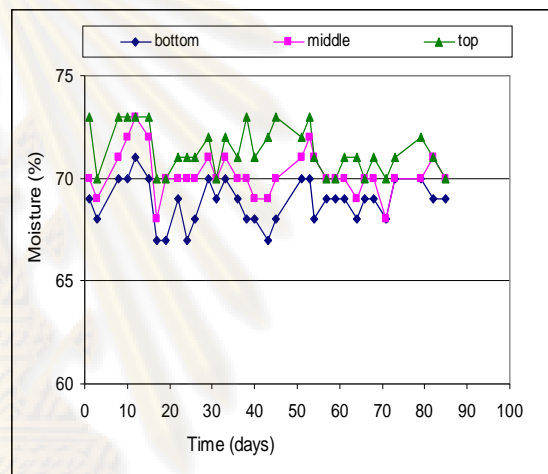
เนื่องจากงานวิจัยนี้ เติมน้ำปรับอัตราส่วนตัวกลางได้แก่ ชุดปุ๋ยหมัก 80%, 60%, 40% และ 20% หลังเดินระบบ 22 วัน พบว่า ชุดปุ๋ยหมัก 80% มีความดันลดสูงถึง 132 มิลลิเมตรน้ำ ซึ่งสูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ (ประมาณ 100 มิลลิเมตรน้ำ; Devinny และคณะ, 1999) จึงจำเป็นต้องมีการปรับอัตราส่วนตัวกลางใหม่ได้แก่ ชุดปุ๋ยหมัก 70%, 60%, 50% และ 40% โดยชุดปุ๋ยหมัก 70% และ 50% ได้เริ่มเดินระบบภายหลังจากชุดปุ๋ยหมัก 60% และ 40% เป็นเวลา 22 วัน

4.2.1 ความชื้นตัวกลาง

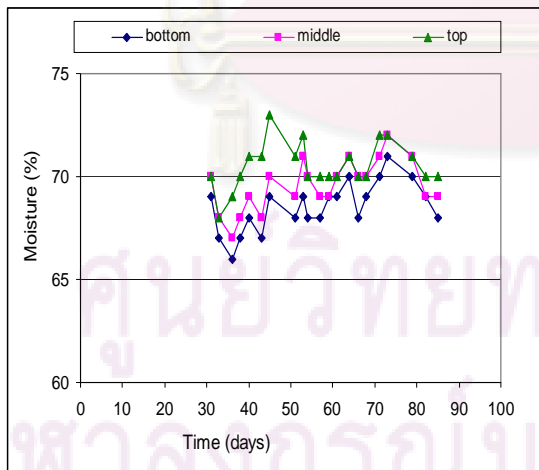
ความชื้นตัวกลางในช่วงระยะเวลาเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ ดังภาพที่ 4.1 จากการทดลองได้รักษาระดับความชื้นตัวกลางอยู่ที่ประมาณ 60 – 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขณะเดินระบบพบว่า เครื่องกรองชีวภาพชุดปุ๋ยหมัก 70%, 60% และ 50% สามารถควบคุมระดับความชื้นของตัวกลางให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ง่ายกว่าชุดปุ๋ยหมัก 40% เนื่องจากชุดปุ๋ยหมัก 40% มีส่วนผสมของปุ๋ยหมักน้อย ทำให้อุ้มน้ำได้น้อยกว่าชุดตัวกลางที่มีปริมาณปุ๋ยหมักมากกว่า ตัวกลางจึงแห้งเร็ว และทุกชุดการทดลองตัวกลางบริเวณด้านล่างจะมีความชื้นต่ำกว่าด้านบน เนื่องจากอากาศที่ไหลขึ้นจากด้านล่างจะพัดพาความชื้นออกไป .



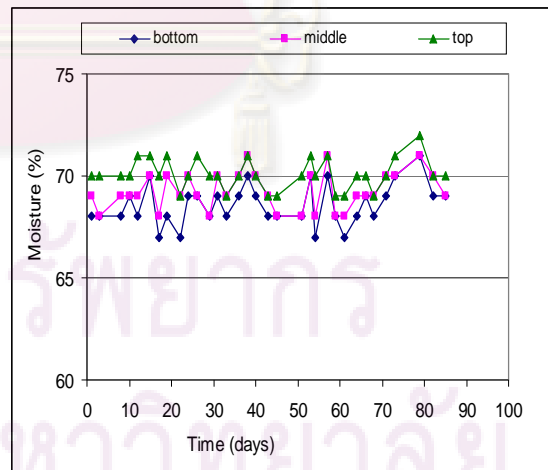
ก. ปุ๋ยหมัก 70%



ข. ปุ๋ยหมัก 60%



ค. ปุ๋ยหมัก 50%

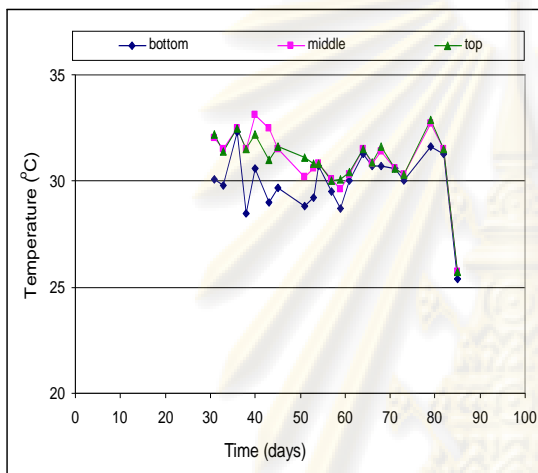


ง. ปุ๋ยหมัก 40%

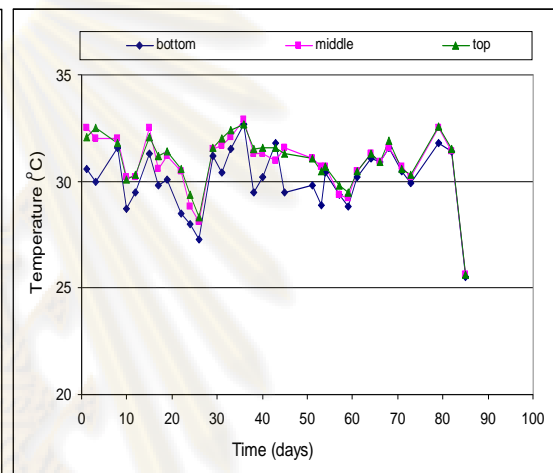
ภาพที่ 4.1 ความชื้นในช่วงระยะเวลาเดินระบบของตัวกลาง

4.2.2 อุณหภูมิของตัวกลาง

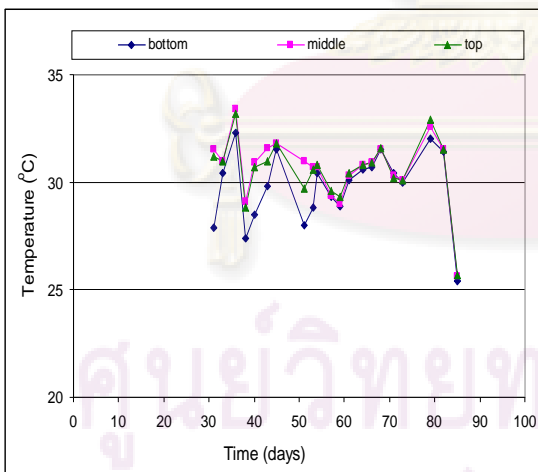
การวัดอุณหภูมิของชั้นตัวกลางที่จุดเก็บตัวอย่าง 3 ตำแหน่งได้แก่ ล่าง กลาง และบน ของเครื่องกรองชีวภาพ ตลอดระยะเวลาที่เดินระบบ ดังภาพที่ 4.2 พบว่าอุณหภูมิของตัวกลางบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ระดับ จะแปรผันตามอุณหภูมิห้องทดลอง (ห้องระบายนอกอากาศตามธรรมชาติ) อุณหภูมิห้องอยู่ระหว่าง 25.5-32.8 องศาเซลเซียส และจากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของตัวกลางอยู่ที่ 25.4-33.4 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อเครื่องกรองชีวภาพจะมีค่าอยู่ในช่วง 10 – 40 องศาเซลเซียส (Schnelle และ Brown, 2002)



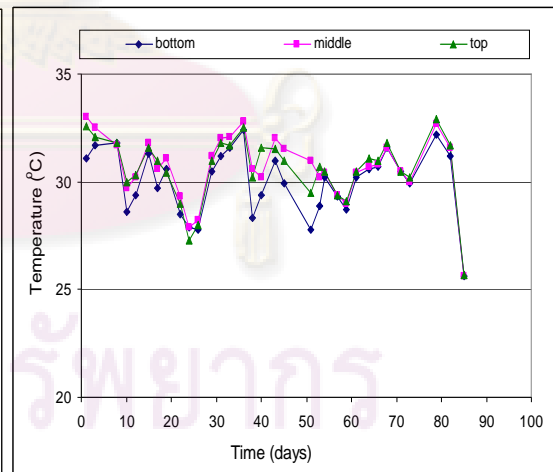
ก. ปุ๋ยหมัก 70%



ข. ปุ๋ยหมัก 60%



ค. ปุ๋ยหมัก 50%

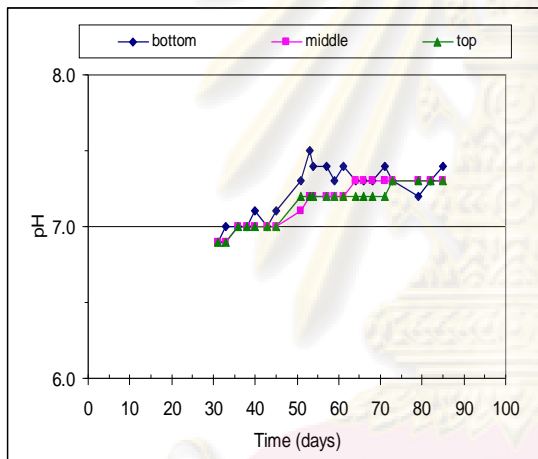


ง. ปุ๋ยหมัก 40%

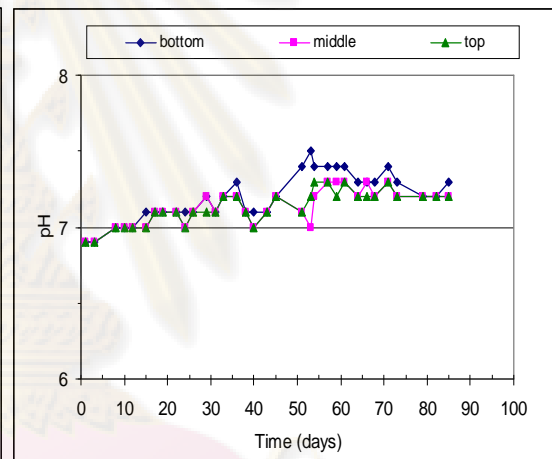
ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิ ในช่วงระยะเวลาเดินระบบของตัวกลาง

4.2.3 ความเป็นกรด - ต่าง ของตัวกลาง

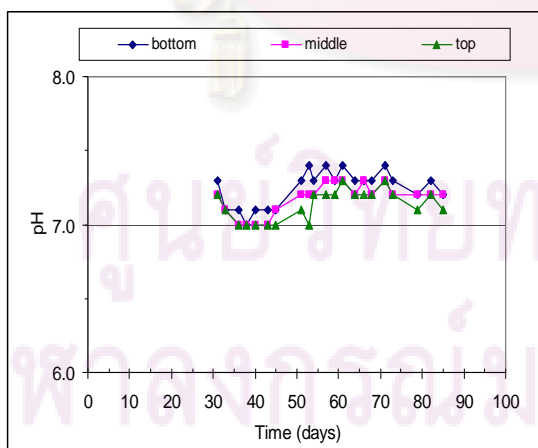
ค่าความเป็นกรด-ต่าง ของตัวกลางที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพจะมีค่าอยู่ในช่วง 6 - 8 (Devanny และคณะ, 1999) จากรูปที่ 4.3 แสดงค่าความเป็นกรด-ต่างของตัวกลางทั้ง 4 ชุดการทดลองในช่วงระยะเวลาเดินระบบ โดยทำการเก็บข้อมูลค่าความเป็นกรด-ต่างของตัวกลางบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ระดับ คือ ล่าง กลางและบนของเครื่องกรองชีวภาพ ผลการเก็บตัวอย่างพบว่าเมื่อเริ่มเดินระบบตัวกลางมีค่าความเป็นกรด-ต่างอยู่ที่ 6.9 และมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเดินระบบเป็น 7.5 และบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองชีวภาพที่เป็นบริเวณใกล้ทางเข้าของก๊าซตัวกลางจะมีค่าความเป็นกรด-ต่างสูงกว่าบริเวณอื่น ซึ่งเป็นผลมาจากความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียที่ป้อนเข้าระบบสูงขึ้น ซึ่งค่าความเป็นกรด-ต่างของตัวกลางอยู่ในช่วง 6.9 - 7.5 ทำให้ไม่ต้องปรับค่าความเป็นกรด-ต่างของตัวกลางตลอดการทดลอง



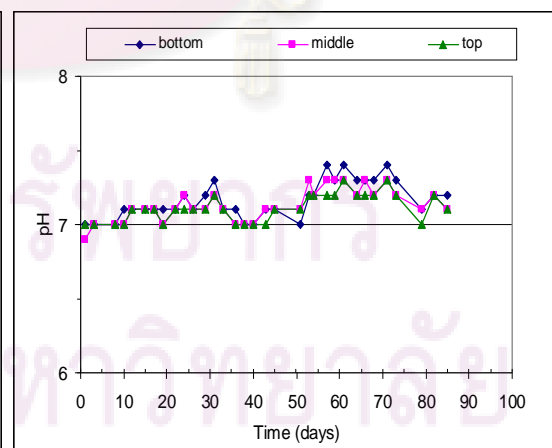
ก. ปล่อยหมัก 70%



ข. ปล่อยหมัก 60%



ค. ปล่อยหมัก 50%

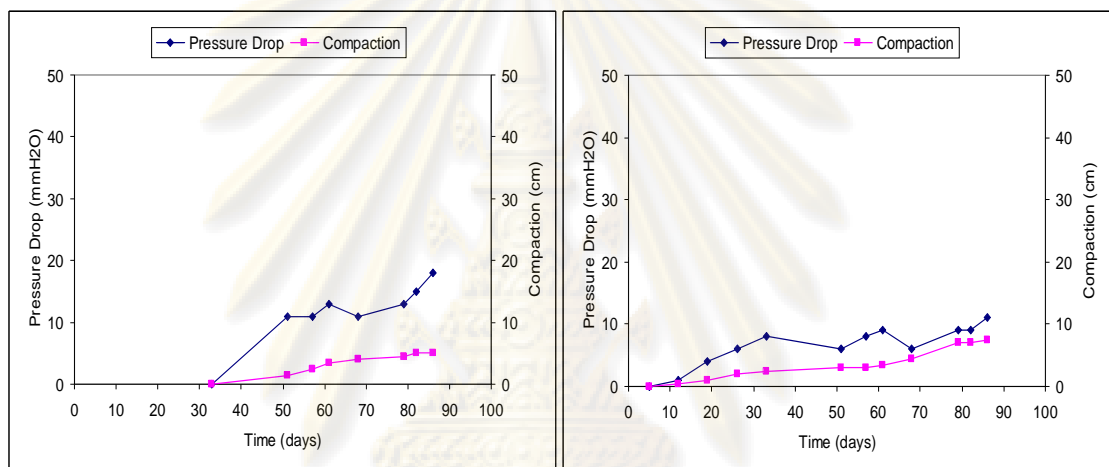


ง. ปล่อยหมัก 40%

ภาพที่ 4.3 ความเป็นกรด-ต่าง ในช่วงระยะเวลาเดินระบบของตัวกลาง

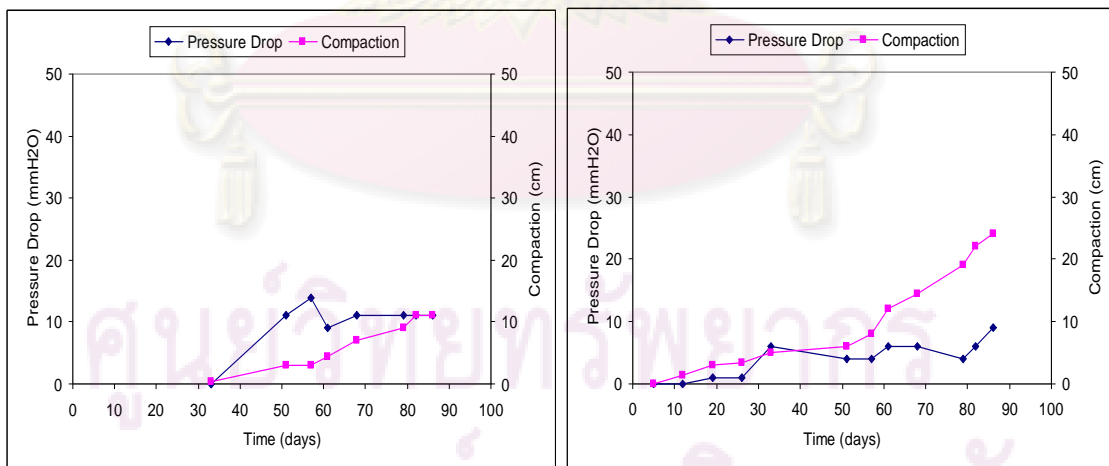
4.2.4 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลาง

ความดันลดเป็นพารามิเตอร์สำคัญในการชี้วัดการสูญเสียความดันอากาศที่เข้าสู่ระบบ โดยระบบที่มีค่าความดันลดสูงจะทำให้ปริมาณอากาศทำงานหนักขึ้นเพื่อรักษาอัตราไหลอากาศที่ต้องการบำบัดให้คงที่ ทำให้ต้องเสียค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องบีบดูดอากาศสูงขึ้น จึงจำเป็นต้องทำการปรับปรุงสมบัติตัวกลางเพื่อป้องกันการสูญเสียความดันอากาศ ดังภาพที่ 4.4 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่าความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มค่อนข้างคงที่ และในแต่ละชุดการทดลองเมื่อตัวกลางทรุดตัวมากขึ้นจะเป็นผลให้ความดันลดมีค่าสูงขึ้น



ก. ปู่หมัก 70%

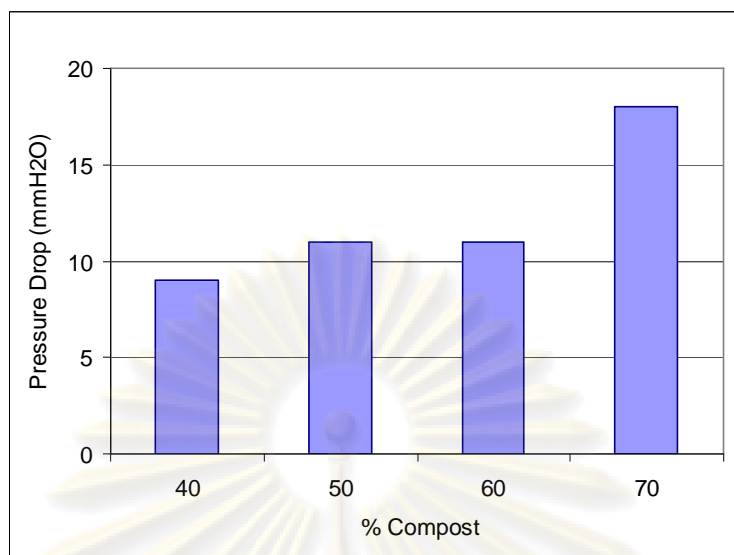
ข. ปู่หมัก 60%



ค. ปู่หมัก 50%

ง. ปู่หมัก 40%

ภาพที่ 4.4 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลาง



ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปุ๋ยหมัก และความดันลดหลังเดินระบบ

หลังจากการเดินระบบ 86 วัน พบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปุ๋ยหมักและความดันลด ดังภาพที่ 4.5 พบว่าตัวกลางปุ๋ยหมัก 70%, 60%, 50% และ 40% มีค่าความดันลดเท่ากับ 18, 11, 11, 9 มิลลิเมตรน้ำ ตามลำดับ ดังนั้นสัดส่วนปุ๋ยหมักที่มากเกินไปจะทำให้ระบบมีความดันลดสูง การเติมเศษไม้เพื่อเพิ่มช่องว่างให้กับตัวกลางจึงช่วยลดการอุดตันของตัวกลางได้ แต่ปัญหาที่พบ คือ ปริมาณเศษไม้ที่มากเกินไปจะทำให้เกิดการหลุดตัวของตัวกลางมาก

ตารางที่ 4.3 สรุปสภาวะการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ

พารามิเตอร์	ปุ๋ยหมัก 70%	ปุ๋ยหมัก 60%	ปุ๋ยหมัก 50%	ปุ๋ยหมัก 40%
ความดันลดสูงสุด (มม.น้ำ)	18	11	11	9
การหลุดตัวของตัวกลาง (ซม.)	5	7.5	11	24
ความชื้นของตัวกลาง (%)	66 - 73			
อุณหภูมิของตัวกลาง (องศาเซลเซียส)	25.4 - 33.4			
ความเป็นกรด-ด่างของตัวกลาง	6.9 - 7.5			

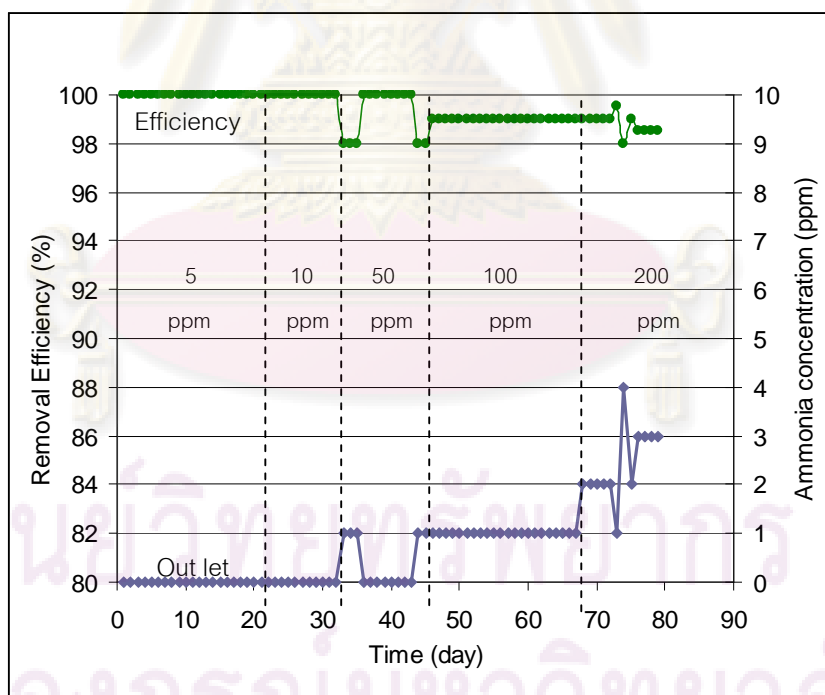
ตารางที่ 4.3 สรุปสภาวะการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ หลังจากเดินระบบ 86 วัน พบว่าตัวกลางที่เหมาะสมคือ ตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60% และ 50% เนื่องจาก มีความดันลดและการหลุดตัวต่ำ

4.3 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเดินระบบ

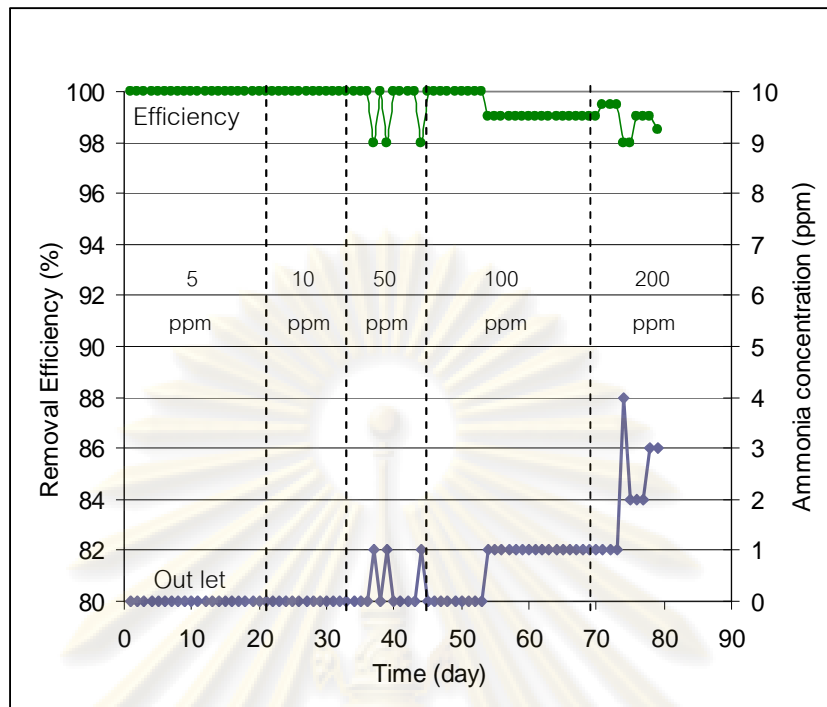
การวิจัยนี้กำหนดอัตราส่วนตัวกลาง ปุ๋ยหมัก: เศษไม้: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์ จำนวน 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ชุดปุ๋ยหมัก 70%, 60%, 50% และ 40% ทำการแปรผันความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียตั้งแต่ 5 - 200 ส่วนในล้านส่วน และอัตราการไหลอากาศที่ 2.95, 3.93 และ 5.90 ลิตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับระยะเวลาพัก 60, 45 และ 30 วินาที ตามลำดับ

4.3.1 ความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนีย

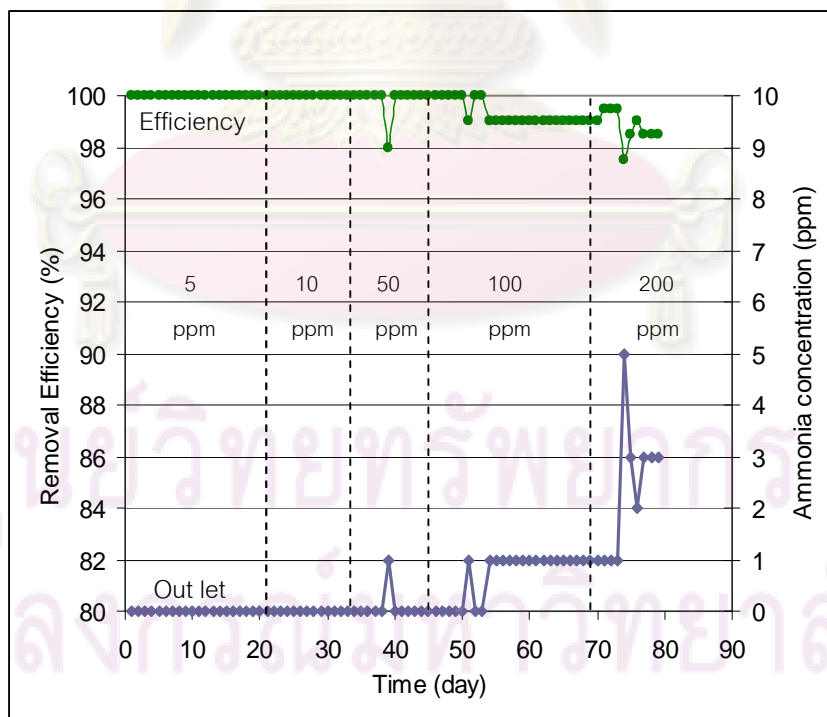
ภาพที่ 4.6 - 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนีย พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียจาก 5 เป็น 10 และ 50 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองทุกชุดมีค่าใกล้เคียง 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 100 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองทุกชุดเริ่มมี ค่าลดลง แต่ยังคงมากกว่า 97 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่าความเข้มข้นในช่วง 5 - 200 ส่วนในล้านส่วน ยังไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ



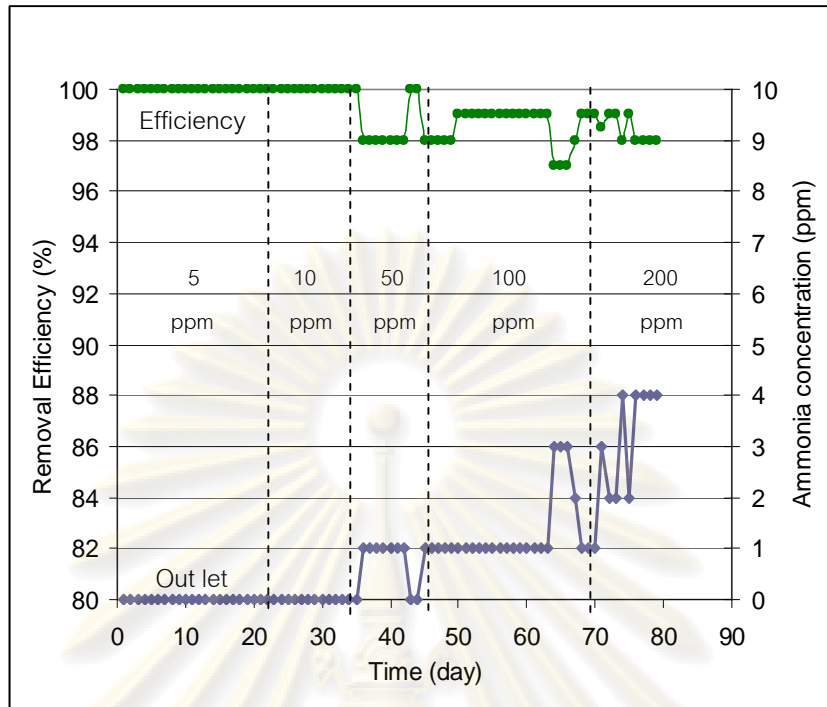
ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 70%



ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 60%



ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 50%



ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นทางออกของก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองชุดปุยหมัก 40%

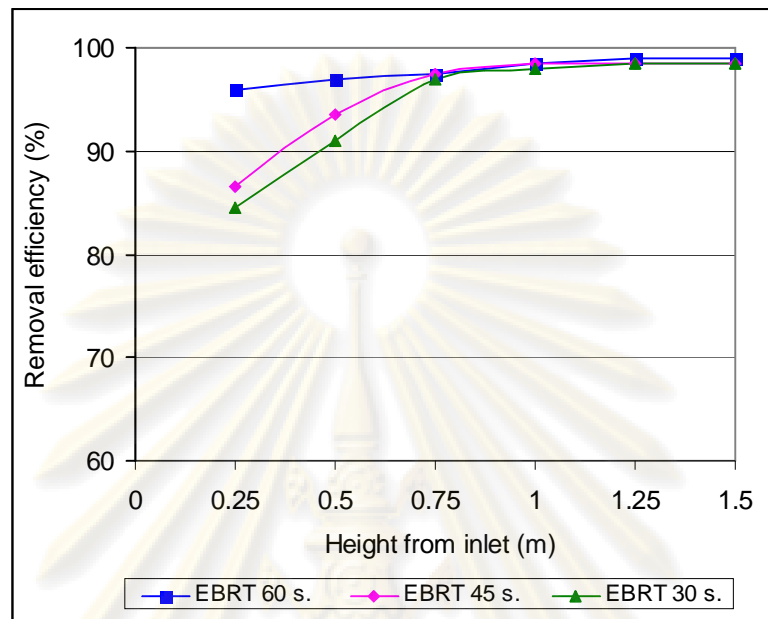
4.3.2 อัตราส่วนตัวกลาง

ภาพที่ 4.6 – 4.9 ประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นของก๊าซแอมโมเนียพบว่าที่อัตราส่วนตัวกลางต่างกัน เครื่องกรองทุกชุดมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 97% ดังนั้นการเลือกอัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสมจึงต้องพิจารณาควบคู่กับสภาวะในการเดินระบบ จึงสรุปได้ว่า ตัวกลางชุดปุยหมัก 60% และ 50% เป็นชุดตัวกลางที่เหมาะสม เนื่องจากมีความดันลดต่ำ (11 มิลลิเมตรน้ำ) และการทрудตัวต่ำ (7.5 และ 11 เซนติเมตร)

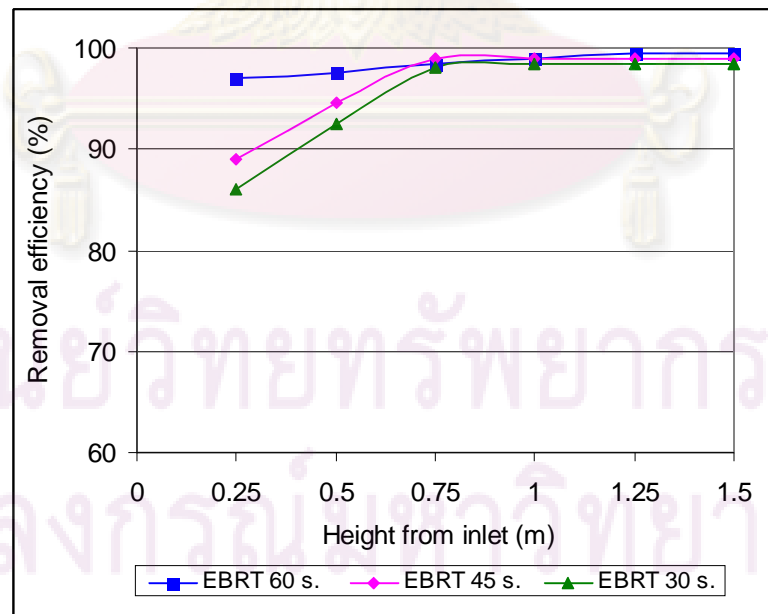
4.3.3 ความสูงตัวกลาง

ความสูงของชั้นตัวกลางเป็นอีกปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพ เนื่องจากเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ ทั้งยังมีผลต่อการเพิ่มการทрудตัวของตัวกลางและความดันลดภายในระบบ จากภาพที่ 4.10 – 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด เวลาพักพักและความสูงตัวกลาง ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 200 ส่วนในล้านส่วน เมื่อวัดความเข้มข้นที่ระดับความสูงต่างๆ ของตัวกลางทั้ง 4 ชุดการทดลอง พบว่า ที่เวลาพักพักตัวกลาง 60 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองทุกชุดมีค่ามากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่เวลาพักพัก 45 และ 30 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดเริ่มลดลง โดยเฉพาะที่ความสูงตัวกลางน้อย

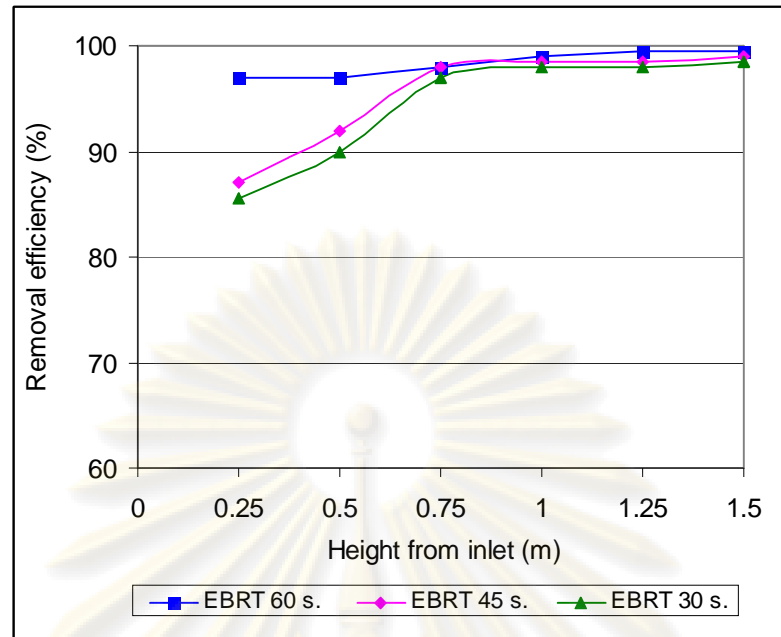
กว่า 1.00 เมตร และประสิทธิภาพเหลือร้อยละ 80 - 85 ที่ความสูงตัวกลาง 0.25 เมตร โดยที่เครื่องกรองชุดปุยหมัก 40 % มีประสิทธิภาพต่ำสุดคือ 80 เปอร์เซ็นต์



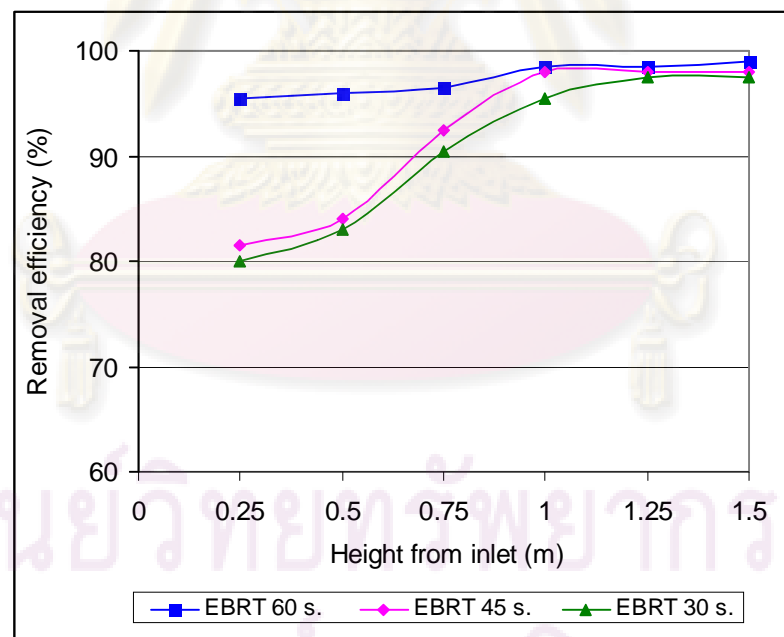
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm ของเครื่องกรองชุดปุยหมัก 70%



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm ของเครื่องกรองชุดปุยหมัก 60%



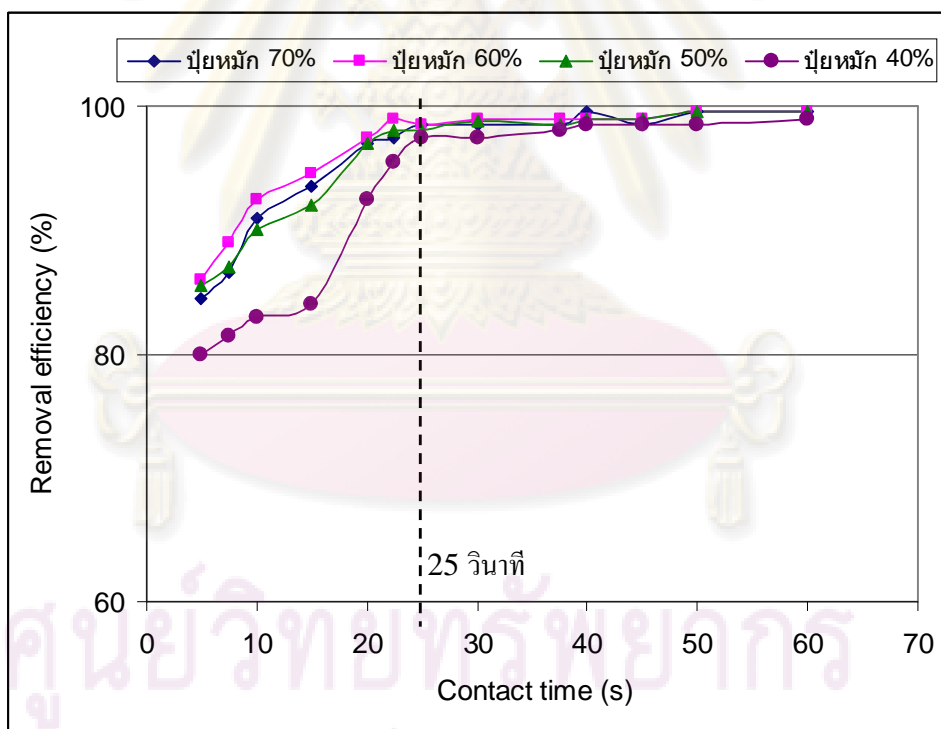
ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้น
ก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm ของเครื่องกรองชุดนี้หมัก 50%



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้น
ก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm ของเครื่องกรองชุดนี้หมัก 40%

4.3.4 เวลาสัมผัสตัวกลาง

เวลาสัมผัสตัวกลางคำนวณได้จากเวลากักพักที่แต่ละความสูงตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ (เปลี่ยนแปลงตามอัตราไหลก๊าซ) เพื่อใช้พิจารณาความสูงที่เหมาะสมของตัวกลางสำหรับคำนวณอัตราไหลก๊าซที่ต้องการในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพ จากภาพที่ 4.14 พบว่าที่เวลาสัมผัสเดียวกัน เครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 70%, 60% และ 50% มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน โดยเครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 60% มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดที่ 99 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เวลาสัมผัส 22.5 วินาที (เวลากักพักระบบ 45 วินาที และความสูงตัวกลาง 0.75 เมตร) แต่เครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 40% เวลาสัมผัสตัวกลางที่น้อยกว่า 25 วินาที จะมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่าเครื่องกรองชุดอื่น และที่เวลาสัมผัสตัวกลาง 25 วินาทีขึ้นไป เครื่องกรองชีวภาพทั้ง 4 ชุด มีประสิทธิภาพในการกำจัดใกล้เคียงกัน ดังนั้นหากจะใช้เครื่องกรองชุดปุ๋ยหมัก 40% จะต้องใช้เวลาสัมผัสมากกว่า 25 วินาที ทั้งนี้ในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพสามารถแปรเปลี่ยน และเลือกอัตราไหลก๊าซ (เวลากักพัก) และความสูงตัวกลางต่างกัน เพื่อให้ได้ค่าเวลาสัมผัสที่เพียงพอ



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสัมผัสตัวกลางและประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm

4.4 ผลกระทบที่เกิดขึ้น

4.4.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร

ปริมาณอินทรีย์วัตถุเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ติดตามประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ แต่ผลที่ได้จะบอกประสิทธิภาพโดยประมาณ ตารางที่ 4.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ ก่อนและหลังการเดินระบบของตัวกลาง พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุจะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากการเดินระบบจาก 3.95 เป็น 17.71 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ซึ่งแสดงว่ามีการเพิ่มจำนวนของมวลจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นใหม่ โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นสามารถบอกถึงปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ทั้งในรูปของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิตรวมถึงสิ่งมีชีวิตในตัวกลาง เช่น ไล้เดือนและหนอน ที่เกิดขึ้นหลังจากเดินระบบ

ตลอดช่วงการทดลองไม่ได้ทำการเติมธาตุอาหารอินทรีย์ให้แก่ระบบ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน: ฟอสฟอรัส: โปแทสเซียม ดังตารางที่ 4.4 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ พบว่าปริมาณธาตุอาหารลดลง โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจน มีค่าต่ำกว่าค่าเหมาะสมที่กำหนดไว้ที่ 0.4: 0.15: 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (Devinny และคณะ, 1999)

ตารางที่ 4.4 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ

การวิเคราะห์	อินทรีย์วัตถุ (%)	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โปแทสเซียม (%)
ก่อนเดินระบบ	3.95	1.07	2.47	1.27
หลังเดินระบบ	17.71	0.24	0.61	0.72
ค่าที่เหมาะสม *	-	0.4	0.15	0.15

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* ค่าที่เหมาะสม ที่มา: Devinny และคณะ, 1999

4.4.2 ปริมาณจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้อธิบายถึงสภาวะการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ โดยปริมาณจุลินทรีย์นี้เป็นค่าที่นับได้จากจุลินทรีย์ที่มีชีวิตซึ่งต่างจากค่าอินทรีย์วัตถุที่รวมถึงจุลินทรีย์ที่ไม่มีชีวิตและสิ่งมีชีวิตอื่น ค่าปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 10^7 ถึง 10^9 CFU/gram (Devinny และคณะ, 1999) จากผลการนับปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนและหลังเดินระบบดังตารางที่ 4.5 พบว่าก่อนเดินระบบตัวกลางทั้ง 4 ชุด มีปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสม

และเมื่อนับปริมาณจุลินทรีย์หลังเดินระบบเป็นระยะเวลา 86 วัน พบว่ามีค่าลดลง สาเหตุอาจเนื่องมาจากการขาดแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ ดังนั้นควรมีการเติมแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในระหว่างการเดินระบบ ซึ่งโดยปกติแล้วแหล่งอาหารที่สามารถเติมให้แก่ระบบได้แก่การเติมปุ๋ยคอกหรือใช้วิธีสปร์น้ำที่มีธาตุอาหารลงบนตัวกลางในช่วงหยุดพักระบบ ดังนั้นอาจต้องมีการศึกษาถึงระยะเวลาและสัดส่วนการเติมแหล่งอาหารแก่จุลินทรีย์ต่อไป

ตารางที่ 4.5 ปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนและหลังเดินระบบ

การวิเคราะห์	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/gram)			
	ปุ๋ยหมัก 70%	ปุ๋ยหมัก 60%	ปุ๋ยหมัก 50%	ปุ๋ยหมัก 40%
ก่อนเดินระบบ	4.8×10^7	4.4×10^7	9.4×10^7	4.5×10^7
หลังเดินระบบ	1.0×10^7	1.9×10^7	1.8×10^7	0.8×10^7

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.3 ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตในน้ำชะตัวกลาง

สารมลพิษที่ใช้คือก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งเป็นก๊าซที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดีเท่ากับ 89.9 กรัม/มิลลิลิตร ที่ 0 องศาเซลเซียส (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) โดยน้ำชะที่นำมาวิเคราะห์ได้จากปริมาณน้ำชะในช่วง 5 วันก่อนสิ้นสุดการเดินระบบ

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตในน้ำชะตัวกลาง

ชุดตัวกลาง	ปริมาณน้ำชะ (ml)	$\text{NH}_4^+\text{-N}$ (mgN/L)	$\text{NO}_3^-\text{-N}$ (mgN/L)
ปุ๋ยหมัก 70%	50	6.2	<0.1
ปุ๋ยหมัก 60%	75	5.6	0.8
ปุ๋ยหมัก 50%	70	2.9	0.3
ปุ๋ยหมัก 40%	75	9.9	6.5
มาตรฐานในแหล่งน้ำผิวดิน (ประเภทที่ 2, 3, 4)	-	0.5	5.0

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จากตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนีย (ในรูปแอมโมเนียมไอออน) และไนเตรต ในน้ำชะตัวกลาง พบว่าทุกชุดตัวกลางมีปริมาณแอมโมเนียสูง และตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 40% มีปริมาณไนเตรตสูงกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน (ประกาศคณะกรรมการ

สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8, 2537) ที่กำหนดปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตในน้ำไม่เกิน 0.5 และ 5 มิลลิกรัมไนโตรเจนต่อลิตร ตามลำดับ ดังนั้นจึงควรนำน้ำชะตัวกลางหมุนเวียนกลับมาใช้ เต็มให้แก่ตัวกลางเพื่อป้องกันปัญหาจากการระบายน้ำทิ้ง

การคำนวณปริมาณไนโตรเจนจากการป้อนก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบ ได้ปริมาณไนโตรเจนเข้าระบบประมาณ 324 มิลลิกรัมต่อถังปฏิกรณ์ ดังนั้นปริมาณไนโตรเจน (แอมโมเนียมไอออนและไนเตรต) ที่อยู่ในน้ำชะตัวกลาง เช่น ชุบน้ำหมัก 40% ที่มีค่าแอมโมเนียมไอออนและไนเตรตสูงกว่าชุดตัวกลางอื่น มีปริมาณไนโตรเจนในน้ำชะ 1.23 มิลลิกรัม ซึ่งถือว่าน้อยมาก จึงคาดว่าปริมาณไนโตรเจนจากก๊าซแอมโมเนียที่เหลือ ถูกใช้ไปในกลไกของการดูดซึม การดูดซับ และการย่อยสลายทางชีวภาพ ภายในตัวกรองชีวภาพ

4.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา

จากตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา พบว่าการวิจัยนี้ใช้ระยะเวลาสัมผัส 22.5 วินาที และความสูงของตัวกลาง 0.75 เมตร ซึ่งมีค่าน้อยกว่างานวิจัยที่ผ่านมาในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียให้มีประสิทธิภาพสูงสุด 99%

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา

ผู้ทำวิจัย	ตัวกรองชีวภาพ	ความเข้มข้นสูงสุด (สนล.)	เวลาสัมผัสน้อยสุด (วินาที)	ความสูงต่ำสุดของตัวกลาง (เมตร)	ประสิทธิภาพสูงสุด(%)
Hong และ Park (2005)	ปุ๋ยหมัก และ กาบมะพร้าว	190	151	0.50	100
Chen, Yin และ Wang (2005)	ปุ๋ยหมัก	158	-	1.00	99
Taghipour และ คณะ (2007)	ปุ๋ยคอก สลัดจ์ และพลาสติกแข็ง	236	60	1.20	99
เสาวลักษณ์ (2551)	ปุ๋ยหมัก เศษไม้ ปุ๋ยคอก และสลัดจ์	200	22.5	0.75	99

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อหาอัตราส่วนตัวกลางและสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมของตัวกลาง 4 ชุดการทดลอง ได้แก่ ตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 70%, 60%, 50% และ 40% แปรผันความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 5–200 ส่วนในล้านส่วน และแปรผันเวลากักพักระบบที่ 30, 45 และ 60 วินาที สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองชีวภาพทุกชุดการทดลอง มีค่าใกล้เคียงกันคือ 97 – 100 เปอร์เซ็นต์

2) อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ ได้แก่ ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย อัตราส่วนตัวกลาง ความสูงตัวกลาง เวลากักพักระบบและเวลาสัมผัสตัวกลาง จากการทดลองพบว่า ที่ทุกความเข้มข้นของทุกชุดการทดลอง มีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียใกล้เคียงกันคือเกือบร้อยเปอร์เซ็นต์ ความสูงตัวกลางควรมีค่ามากกว่า 1 เมตร หรือเวลาสัมผัสตัวกลางมากกว่า 25 วินาที แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปตัวแปรจากการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ

พารามิเตอร์	ปุ๋ยหมัก 70%	ปุ๋ยหมัก 60%	ปุ๋ยหมัก 50%	ปุ๋ยหมัก 40%
ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย (สนล.)	5 – 200			
เวลากักพัก (วินาที)	30 - 60			
ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	98 -100	98 - 100	97.5 - 100	97 – 100
ความสูงน้อยสุดของตัวกลาง * (เมตร)	1.00	0.75	0.75	1.00
เวลาสัมผัสตัวกลางน้อยสุด * (วินาที)	25	22.5	25	37.5

* ที่มีประสิทธิภาพมากกว่า 98% เวลากักพักระบบ 45 วินาทีและความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 200 ppm

3) อิทธิพลของสภาวะการเดินระบบ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ความดันลด และการหลุดตัวของตัวกลาง สามารถสรุปสภาวะการทำงานของระบบได้ดังตารางที่ 5.2 หลังจากเดินระบบตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 70%, 60%, 50% และ 40% มีค่าความดันลดเท่ากับ 18, 11, 11 และ 9 มิลลิเมตรของน้ำ และการหลุดตัวของตัวกลาง 5, 7.5, 11 และ 24 เซนติเมตร ตามลำดับ

ตารางที่ 5.2 สรุปสภาวะการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ

พารามิเตอร์	ปุ๋ยหมัก 70%	ปุ๋ยหมัก 60%	ปุ๋ยหมัก 50%	ปุ๋ยหมัก 40%
ความดันลดสูงสุด (มม.น้ำ)	18	11	11	9
การหลุดตัวของตัวกลาง (ซม.)	5	7.5	11	24
ความชื้นของตัวกลาง (%)	66 – 73			
อุณหภูมิของตัวกลาง (องศาเซลเซียส)	25.4 - 33.4			
ความเป็นกรด-ด่างของตัวกลาง	6.9 – 7.5			

4) เครื่องกรองชีวภาพที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย คือตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60% และ 50% เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียสูง ขณะที่มีความดันลดและการหลุดตัวต่ำ

5) ปริมาณปุ๋ยหมักที่สูงจะส่งผลให้ระบบมีความดันลดสูงขึ้น ทำให้เครื่องกรองชีวภาพมีอายุการใช้งานของตัวกลางต่ำ ซึ่งจากชุดตัวกลางที่เหมาะสมคือ ปุ๋ยหมัก 60% และ 50% การเพิ่มความดันลดของระบบค่อนข้างคงที่ และความดันลดสูงสุดอยู่ที่ 11 มิลลิเมตรน้ำ ที่ระยะเวลาเดินระบบ 86 วัน โดยค่าความดันลดสูงสุดที่ยอมรับได้อยู่ที่ 100 มิลลิเมตรน้ำ (Devanny และคณะ, 1999) จึงคาดว่าอายุการใช้งานของเครื่องกรองชีวภาพสองชุดนี้จะอยู่ที่ระยะเวลาประมาณ 2 ปี

6) เศษไม้ช่วยลดการอุดตันของตัวกลางได้ เนื่องจากช่วยให้มีการกระจายตัวของก๊าซไหลผ่านตัวกลางได้ดี แต่ถ้ามีปริมาณสัดส่วนมากเกินไปจะทำให้เกิดการหลุดตัวของตัวกลางมากขึ้น ซึ่งทำให้ความสูงของชั้นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่มีความเข้มข้นสูงขึ้นและความเป็นพิษของแอมโมเนียต่อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารมลพิษ
- 2) ศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้กับเครื่องกรองชีวภาพต่อไป
- 3) ศึกษาการเติมแหล่งอาหารแก่เครื่องกรองชีวภาพในขณะที่ทำการเดินระบบ เพื่อป้องกันการขาดแหล่งอาหารของจุลินทรีย์
- 4) เพิ่มการวัดปริมาณคาร์บอนของระบบ เนื่องจากการทดลองนี้สารมลพิษที่ใช้ไม่มีแหล่งคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ ดังนั้นสาเหตุที่จุลินทรีย์ลดลง อาจเป็นผลมาจากการขาดแหล่งคาร์บอนที่จุลินทรีย์จะนำไปใช้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กรมควบคุมมลพิษ. 2544. โครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการและควบคุมมลพิษในอากาศ (ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพ). กรุงเทพฯ: กรมควบคุมมลพิษ,
- กรมควบคุมมลพิษ. 2551. มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน [ออนไลน์]. มาตรฐานคุณภาพน้ำ, แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/reg_std_water.html [25 กุมภาพันธ์ 2552]
- กรมควบคุมมลพิษ. 2552. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ [ออนไลน์]. ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีภัณฑ์, แหล่งที่มา: <http://msds.pcd.go.th> [12 กุมภาพันธ์ 2552]
- กระทรวงแรงงาน. 2545. พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน. กรุงเทพฯ: กรมแรงงาน,
- จิรวัดณ์ กัณพยันต์. 2548. การบำบัดไออะซิโตนโดยการกรองทางชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐพล รัตนมุขย์. 2549. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ศรีวิโรจน์ฟาร์ม. 2551. ระบบบำบัดกลิ่นของศรีวิโรจน์ฟาร์ม. แหล่งที่มา: เอกสารถ่ายสำเนา.
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. 2545. ระดับความเข้มข้นของแอมโมเนียในโรงงานน้ำยางข้น. แหล่งที่มา: เอกสารถ่ายสำเนา.
- เสริมศักดิ์ ทั้งมั่งมี. 2546. ประสิทธิภาพการกำจัดไทลูอินโดยเครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เอกชัย เลิศผดุงวิทย์. 2547. การกำจัดไอน้ำมันด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาษาอังกฤษ

- Ambio Biofiltration Ltd. 2009. Cost of biofilter operation compared to alternatives[Online]. Available from: <http://www.ambio.ca/comparison.php> [2009, February 15]
- Chen, Y.X., Yin, J., and Wang, K.W. 2005. Long-term operation of biofilters for biological removal of ammonia. Journal of chemosphere. 58 : 1023–1030.
- Cooper, T.H. 2007. Soil Organisms & Nitrogen Cycle [Online]. University of Minnesota, Available from: <http://soils.umn.edu/academics/classes/soil2125/doc/s9.htm> [2007, August 22]
- Davis, W. T. 2000. Air pollution engineering manual. 2nd ed. A Wiley - Inter science publication,
- Delhomenie, M. C., Bibeau, L., Bredin, N., Ray, S., Broussau, S., Brzezinski, R., Kugelmass, J. L., and Heitz, M. 2002. Biofiltration of air contaminated with toluene on a compost – based bed. Advances in Environmental Research. 24 : 125–135.
- Devinny, S., Deshusses, A., and Webster, S. 1999. Biofiltration for air pollution control. New York: Lewis Publishers,
- Ergass, S.J., Switzenbaum, M.S., and Beatriz, C.G. 1999. Characterization of Compost Biofiltration Media. Journal of the Air & Waste Management Association. 49 : 784-793.
- Hong, J.H. and Park, K.J. 2005. Compost biofiltration of ammonia gas from bin composting. Journal of bioresource technology. 96 : 741-745.
- Leson, M. C., and Winer, A. M. 1999. Biofiltration an innovation air pollution control technology for VOC emission. Journal of the Air & Waste Management Association. 4 : 1045–1054.
- McCabe, W. and Smith, C. 1967. Unit operations of Chemical Engineering. New York: McGraw Hill,
- North Florida Koi Club. 2008. What is the Nitrogen cycle [Online]. Available from: <http://www.nfkci.info/nfkconline/What%20is%20the%20Nitrogen%20cycle.htm> [2009, January 14]

Occupational Safety & Health Administration (OSHA). 1995. The appropriate method for assessing ammonia peak exposure levels[Online]. Available from: <http://www.osha.gov> [2007, July 17]

Schnelle, K., and Brown, C. 2002. Air pollution control technology handbook. NewYork : CRC Press,

Sheridan, B., Curran, T., Dodd, V., and Colligan, J. 2002. Biofiltration of Odour and Ammonia from a Pig Unit-a pilot-scale Study. Journal of biosystems engineering. 82 : 441-453.

Taghipour, H., Shahmansoury, M.R., Bina, B., and Movahdian, H. 2007. Operational parameters in biofiltration of ammonia-contaminated air streams using compost-pieces of hard plastics filter media. Journal of chemical engineering. (April) : 1-7.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุตัวกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติตัวกลาง

1. การหาค่าความเป็นกรด-ด่างของตัวกลาง (pH meter)

- 1) นำสารละลาย 2 นอร์มัล โพแทสเซียมคลอไรด์ประมาณ 50 มิลลิลิตรใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 10 กรัม ผสมลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้
- 3) ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างแล้วทิ้งไว้ประมาณ 1 – 2 นาที
- 4) ใช้เครื่องวัดพีเอชอ่านค่า

2. การหาค่าความพรุนของตัวกลาง (ATSM C373-88)

- 1) ใส่ตัวอย่างลงในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับในกระบอกตวงคงที่ ถ้าระดับที่คงที่ไม่เท่ากับปริมาตรที่ต้องการให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกกระบอกตวงใหม่ จนกว่าจะได้ระดับที่คงที่ตรงกับปริมาตรที่ต้องการ
- 2) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงเป็น X_1
- 3) เติมน้ำลงในกระบอกตวงเพื่อให้น้ำเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในตัวกลาง โดยการกระแทกกันกระบอกตวง
- 4) เมื่อน้ำลงไปแทนที่ช่องว่างจนถึงปริมาตรที่ต้องการ นำไปชั่งน้ำหนักเป็น X_2
- 5) คำนวณหาค่าความพรุนดังสมการ

$$\text{Porosity (\%)} = \frac{(X_2 - X_1)}{\rho_{\text{Water}} / \text{volumn}}$$

3. การหาค่าความชื้นของวัสดุ (JIS M 8812 – 1984)

- 1) บดตัวอย่างให้ละเอียดกว่า 60 เมช 0.246 มิลลิเมตร ทิ้งไว้สัมผัสอากาศ 10 ชั่วโมง
- 2) อบขวดชั่งสารพร้อมฝา ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทิ้งจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 3) บันทึกน้ำหนักเป็น X_0
- 4) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ละเอียด 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักเป็น X_1

- 5) นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง)
- 6) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง รวมกับ น้ำหนักขวดและฝา เป็น X_2
- 7) คำนวณหาค่าความชื้นดังสมการ

$$M = \frac{(X_1 - X_2)}{(X_1 - X_0)} \times 100$$

4. การหาค่าความหนาแน่นของวัสดุ (JIS 1474 – 1976)

- 1) อบตัวอย่างให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- 2) ชั่งกระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร ละเอียด 2 ตำแหน่ง บันทึกเป็นน้ำหนัก X_0
- 3) ใส่ตัวอย่างในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่
- 4) ถ้าระดับที่คงที่ไม่เท่ากับ 10 มิลลิลิตร ให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวงแล้วกระแทกกันกระบอกตวงใหม่จนกว่าที่จะได้ระดับคงที่ที่ 10 มิลลิลิตร
- 5) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงเป็น X_1
- 6) คำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการ

$$BD \left[\frac{g}{cm^3} \right] = \frac{(X_1 - X_0)}{10}$$

5. การหาค่าการกระจายขนาดของวัสดุ (ATSM C 136 – 92)

- 1) ชั่งน้ำหนักตะแกรงคัดขนาด เบอร์ 3/4, 1/2, 3/8, 4, 8, 16, 50 และ 100
- 2) นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันเป็นชุดแล้วทำการร่อนเป็นเวลา 10 นาที
- 3) ชั่งน้ำหนักที่ค้างอยู่ในตะแกรงแต่ละขนาด
- 4) หาเปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
- 5) หาเปอร์เซ็นต์สะสมของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

6. การหาปริมาณไนโตรเจน (Kjeldahl method)

1) การย่อย

- 1.1) ชั่งตะกอน 1 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง ขนาด 100 มิลลิเมตร
- 1.2) ตักสารเร่งปฏิกิริยาผสมใส่ลงไปประมาณ 1 กรัม
- 1.3) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจำนวน 3 มิลลิลิตร ภายใต้ตู้ดูดควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวด แล้วเขย่าให้ผสมกับตะกอน
- 1.4) นำไปย่อยด้วยเตาย่อยตัวอย่างโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 380 องศาเซลเซียส จนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า และตะกอนมีสีขาว

2) การกลั่น

- 2.1) จัดเครื่องกลั่นให้พร้อมจะใช้งาน และเติมน้ำกลั่นลงไปในตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนตะกอนละลาย
- 2.2) นำหลอดใส่เข้าเครื่องกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร
- 2.3) ตวงสารละลายกรดบอริกที่ผสมอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร
- 2.4) กลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตร โดยเก็บก๊าซแอมโมเนียภายใต้ผิวของกรดบอริก พอได้ปริมาณที่ต้องการแล้วจึงหยุดกลั่น แล้วฉีดล้างปลายคอนเดนเซอร์ด้วยน้ำกลั่น

3) การไทเทรต

- 3.1) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ (ต้องทราบความเข้มข้นแน่นอน) ลงในบิวเรตและจัดบิวเรตให้พร้อมที่จะไทเทรต
- 3.2) นำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมีสีเขียวไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจนเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง จากนั้นคำนวณหา % T-N

7. การหาปริมาณฟอสฟอรัส (Bray II method)

- 1) ชั่งตะกอน 1 กรัม ใส่ในหลอดเหวียงพลาสติก
- 2) เติม H_2SO_4 เข้มข้น 20 – 30 มิลลิลิตร
- 3) เติม KNO_3 2 – 4 กรัม ต้มจนหมดควันสีแดง จากนั้นรอให้เย็น เติมน้ำ 150 มิลลิลิตร

- 4) เขย่าให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
- 5) วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer.

8. การหาปริมาณโพแทสเซียม (Atomic Absorption Spectrophotometer)

- 1) ชั่งตัวอย่าง 5 – 10 กรัม ใส่ถ้วยกระเบื้อง
- 2) นำตัวอย่างมาเผาจนกระทั่งน้ำหนักของกากตะกอนคงที่
- 3) นำตัวอย่างจากข้อ 2 มาถ่ายใส่บีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร
- 4) เติม HCl 10 มิลลิลิตรและน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที
- 5) ทำให้เย็น จากนั้นปรับน้ำจนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
- 6) แล้วนำไปตรวจวัดด้วย Atomic Absorption Spectrophotometer

9. การหาปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Walkley black method)

- 1) ชั่งตะกอน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) ใช้ปิเปตดูดโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมลงไปขวดแล้วแกว่งให้ผสมเข้ากับตะกอน ในขั้นนี้ให้ทำแบลนด์ (blank) โดยเติมโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตรลงในขวดที่ไม่มีตะกอนด้วย
- 3) นำไปเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ภายใต้ตู้ดูดควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวดและทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
- 4) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วหยดเฟอร์โรซีนดิเคเตอร์ลงไป 3 – 4 หยดแกว่งให้เข้ากัน
- 5) นำไปไทเทรตด้วย FAS จนกระทั่งถึงจุดยุติโดยสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกปริมาณ FAS ที่ใช้



ภาคผนวก ข.
เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (Material Safety Data Sheet)

1. การระบุชื่อเคมีภัณฑ์ (Chemical Identification)

ชื่อเคมี IUPAC	: Ammonia
ชื่อเคมีทั่วไป	: Ammonia ; Anhydrous
ชื่อพ้องอื่นๆ	: N-H; Ammonia, aqueous~Ammonia, solution; Ammonia
สูตรโมเลกุล	: NH ₃
CAS No.	: 7664-41-7
EC NO.	: 007-001-00-5
UN/ID NO.	: 1005
RTECS	: BO 0875000

2. การใช้ประโยชน์

ใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย เช่น ใช้ในการผลิตปุ๋ย ผลิตเส้นใยสังเคราะห์ สีย้อมผ้า ใช้เติมน้ำยาในการรักษาคุณภาพยาง เป็นสารทำความสะอาดในโรงงานผลิตน้ำแข็ง อุตสาหกรรมอาหาร และน้ำ เป็นต้น

3. ค่ามาตรฐาน/ความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

LC ₅₀	: 2000 มก./ม ³ / 4 ชั่วโมง (หนู)
IDLH	: 300 ppm
OSHA PEL-TWA	: 50 ppm
OSHA PEL- STEL	: 35 ppm
ACGIH TLV-TWA	: 25 ppm
ACGIH TLV-STEEL	: 35 ppm
พ.ร.บ.คุ้มครองแรงงาน 2541	: 50 ppm (TWA)

4. คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	: ก๊าซ
สี	: ไม่มีสี
กลิ่น	: ฉุน
น้ำหนักโมเลกุล	: 17.031

จุดเดือด(°C)	: -33.35
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง(°C)	: -77.7
ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1)	: 0.6819
ความดันไอ(มม.ปรอท)	: 5900 ที่ 20 °C
ความหนาแน่นไอ(อากาศ=1)	: 0.579
ความสามารถในการละลายน้ำ	: 1 กรัม/100 มล.
ความเป็นกรด-ด่าง(pH)	: 11.6
แฟคเตอร์แปลงหน่วย	: 1 ppm = 0.7 มก./ม ³

5. อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

สัมผัสทางหายใจ : การหายใจเข้าไปในปริมาณมากกว่า 25 ppm ทำให้ระคายเคืองจมูก และคอ ถ้าได้รับปริมาณมากจะหายใจติดขัด เจ็บหน้าอก หลุดลมบีบเกร็ง มีเสมหะและปอดบวม

สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสผิวหนังจะเป็นผื่นแดง บวม เป็นแผล อาจทำให้ผิวหนัง แสบไหม้ถ้าได้รับสารปริมาณมาก ๆ

กินหรือกลืนเข้าไป : จะทำให้แสบไหม้บริเวณปาก คอ หลอดอาหารและท้อง

สัมผัสดวงตา : จะทำให้เจ็บตา เป็นผื่นแดง ตาบวม ทำให้น้ำตาไหลทำลายตา

ความผิดปกติอื่น ๆ : เป็นสารก่อมะเร็งและทำลายไต ตับ ปอด ระบบประสาทส่วนกลาง และเป็นสารมีฤทธิ์กัดกร่อน

6. ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความเสถียร
- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : เกิดก๊าซไฮโดรเจนที่อุณหภูมิมากกว่า 840 °C
- อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : จะไม่เกิดขึ้น
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : ทอง เงิน ปรอท สารออกซิไดซ์ ฮาโลเจน
สารประกอบฮาโลจีเนต กรด ทองแดง
อลูมิเนียม คลอเรต สังกะสี

7. การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

จุดวาบไฟ	: ไม่ปรากฏ	ค่า UEL (%)	: 28
จุดลุกติดไฟได้เอง(°C)	: 651	สารดับไฟ	: CO ₂ ผงเคมีแห้ง สเปรย์น้ำ
ค่า LEL (%)	: 15		

วิธีการดับเพลิงรุนแรง ควรอพยพคนออกจากบริเวณเพลิงไหม้ อย่าเข้าไปบริเวณเพลิงไหม้ โดยปราศจากอุปกรณ์ป้องกันอันตราย หล่อเย็นภาชนะบรรจุ โดยใช้น้ำฉีดเป็นฝอย ใช้น้ำหยุดการแพร่ของไอ ย้ายภาชนะบรรจุออกถ้าสามารถทำได้

อันตรายจากการระเบิดและเพลิงไหม้ผิดปกติ จะเกิดก๊าซพิษที่ไวไฟและมีฤทธิ์กัดกร่อน สามารถระเบิดถ้าผสมกับอากาศและสารออกซิไดซ์ ไม่ควรเก็บภาชนะบรรจุไว้เกินอุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส

8. การเก็บรักษา/สถานที่เก็บ/เคลื่อนย้าย/ขนส่ง (Storage and Handling)

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด
- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ
- การเก็บรักษา เก็บให้ห่างจากความร้อน เปลวไฟและประกายไฟ เก็บให้ห่างจากสารออกซิไดซ์ ปิดวาล์วเมื่อไม่ใช้สารหรือภาชนะบรรจุว่างเปล่า
- ต้องมั่นใจว่าตรึงถังแก๊สไว้แน่นอย่างเหมาะสมขณะใช้ หรือเก็บ

9. การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)

- วิธีการปฏิบัติในกรณีเกิดการหกรั่วไหล ให้อพยพผู้คนออกจากบริเวณอันตรายทันที สวมอุปกรณ์ป้องกันการหายใจและชุดป้องกันสารเคมี ลดการกระจายของไอด้วยสเปรย์น้ำ ย้ายแหล่งจุดติดไฟออกให้หมด หยุดการรั่วไหลของสารถ้าทำได้
- การพิจารณาการกำจัด ปฏิบัติให้เป็นไปตามกฎระเบียบที่ทางราชการกำหนด

10. ข้อเสนอแนะการเลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันอันตรายส่วนบุคคล (PPD/PPE)

- ข้อเสนอแนะในการเลือกประเภทหน้ากากป้องกันระบบหายใจ
- สารที่ช่วงความเข้มข้นไม่เกิน 250 ppm ให้เลือกใช้อุปกรณ์ป้องกันระบบหายใจซึ่งใช้สารเคมีประเภทที่เหมาะสมเป็นตัวดูดซับในการกรอง (Cartridge) โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 10 ให้ใช้อุปกรณ์ส่งอากาศสำหรับการหายใจ (Supplied - air respirator) โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 10
 - สารที่ช่วงความเข้มข้นไม่เกิน 300 ppm ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจประเภทที่ใช้ การส่งอากาศสำหรับการหายใจ ซึ่งมีอัตราการไหลของอากาศแบบต่อเนื่อง โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 25 หรือให้ใช้อุปกรณ์ทำให้อากาศบริสุทธิ์ (Air - purifying respirator) โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 50 หรือให้ใช้อุปกรณ์ทำให้อากาศบริสุทธิ์ (Air - purifying respirator)

พร้อมอุปกรณ์ช่วยหายใจและหน้ากากแบบเต็มหน้า (gas mask) ซึ่งมี Canister ประเภทที่เหมาะสม โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 50 หรือให้ใช้อุปกรณ์ส่งอากาศสำหรับการหายใจ (Supplied - air respirator) พร้อมหน้ากากแบบเต็มหน้า โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 50

- ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉิน หรือการเข้าไปสัมผัสกับสารที่ไม่ทราบช่วงความเข้มข้น หรือการเข้าไปในบริเวณที่มีสภาวะอากาศที่เป็น IDLH : ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดที่มีถังอากาศในตัว (SCBA) พร้อมหน้ากากแบบเต็มหน้า ซึ่งมีการทำงานแบบความดันภายในเป็นบวก (pressure-demand / positive pressure mode) โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 10,000 หรือให้ใช้อุปกรณ์ส่งอากาศสำหรับการหายใจ (Supplied - air respirator) พร้อมหน้ากากแบบเต็มหน้า ซึ่งมีการทำงานแบบความดันภายในเป็นบวก (pressure-demand / positive pressure mode) หรือแบบที่ใช้การทำงานร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว และแบบความดันภายในเป็นบวก (combination with an auxiliary self contained positive-pressure breathing apparatus) โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 10,000

- ในกรณีการหลบหนีออกจากสถานการณ์ฉุกเฉิน ให้ใช้อุปกรณ์ทำให้อากาศบริสุทธิ์ (Air - purifying respirator) พร้อมอุปกรณ์ช่วยหายใจหน้ากากแบบเต็มหน้า (gas mask) ซึ่งมี Canister สำหรับป้องกันไอระเหยสารอินทรีย์ โดยแนะนำให้ใช้อุปกรณ์ที่มีค่า APF. = 50 หรือให้ใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับในกรณีการหลบหนีออกจากสถานการณ์ฉุกเฉิน พร้อมอุปกรณ์ช่วยหายใจชนิดมีถังอากาศในตัว (SCBA)

11. การปฐมพยาบาล (First Aid)

หายใจเข้าไป	ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายออกจากบริเวณที่ได้รับสาร ถ้าไม่หายใจให้ใช้เครื่องช่วยหายใจ ให้ออกซิเจนถ้าหายใจติดขัด รักษาร่างกายให้อบอุ่น นำส่งไปพบแพทย์
กลืนหรือกิน	ถ้ากลืนกินเข้าไป สารนี้เป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ ให้บ้วนปากด้วยน้ำแล้วให้ดื่มน้ำหรือนมอย่างน้อย 2 แก้ว อย่ากระตุ้นให้อาเจียน นำส่งไปพบแพทย์
สัมผัสถูกผิวหนัง	ถ้าสัมผัสถูกผิวหนัง ให้ฉีดล้างผิวหนังทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที พร้อมถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่ปนเปื้อนสารเคมีออก นำส่งไปพบแพทย์
สัมผัสถูกตา	ล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที ล้างโดยเปิดเปลือกตาล้างบน จนกว่าไม่มีสารเคมีหลงเหลืออยู่ นำส่งไปพบแพทย์



ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวกลาง

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของตัวกลาง

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบหาความพรุนของตัวกลาง

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบหาความชื้นของตัวกลาง

ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบขนาดคละตัวกลางปุยหมัก

ภาพที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงและขนาดอนุภาคของตัวกลางปุยหมัก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของตัวกลาง

วัสดุ	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ค่าเฉลี่ย (g/cm ³)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
	X ₀ (g)	X ₁ (g)	BD (g/cm ³)	X ₀ (g)	X ₁ (g)	BD (g/cm ³)	X ₀ (g)	X ₁ (g)	BD (g/cm ³)		
ปุ๋ยหมัก	31.8986	38.0458	0.61	31.8793	38.2402	0.64	31.9103	38.1053	0.62	0.62	0.01
ปุ๋ยคอก	31.9102	37.4437	0.55	32.4068	37.6295	0.52	31.8978	37.4631	0.56	0.54	0.02
ตะกอน จุลินทรีย์	31.9164	39.5174	0.76	31.8757	39.7136	0.78	31.9159	39.6837	0.78	0.77	0.01
เศษไม้	32.3250	33.0598	0.07	31.9107	32.5539	0.06	32.3253	33.2014	0.09	0.08	0.01

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบหาความพรุนของตัวกลาง

วัสดุ	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ค่าเฉลี่ย (%P)	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
	X ₁ (g)	X ₂ (g)	%P	X ₁ (g)	X ₂ (g)	%P	X ₁ (g)	X ₂ (g)	%P		
ปุ๋ยหมัก	38.0458	43.8464	58.01	36.4442	42.174	57.30	38.5203	44.3042	57.84	57.71	0.37
ปุ๋ยคอก	36.4437	43.5496	71.06	38.0475	45.2036	71.56	34.0467	41.3928	73.46	72.03	1.27
ตะกอน จุลินทรีย์	38.5174	40.5518	20.34	38.5201	40.6629	21.43	38.0438	40.3885	23.45	21.74	1.57
เศษไม้	34.6359	43.1146	84.79	34.6361	42.8524	82.16	36.444	44.7156	82.72	83.22	1.38

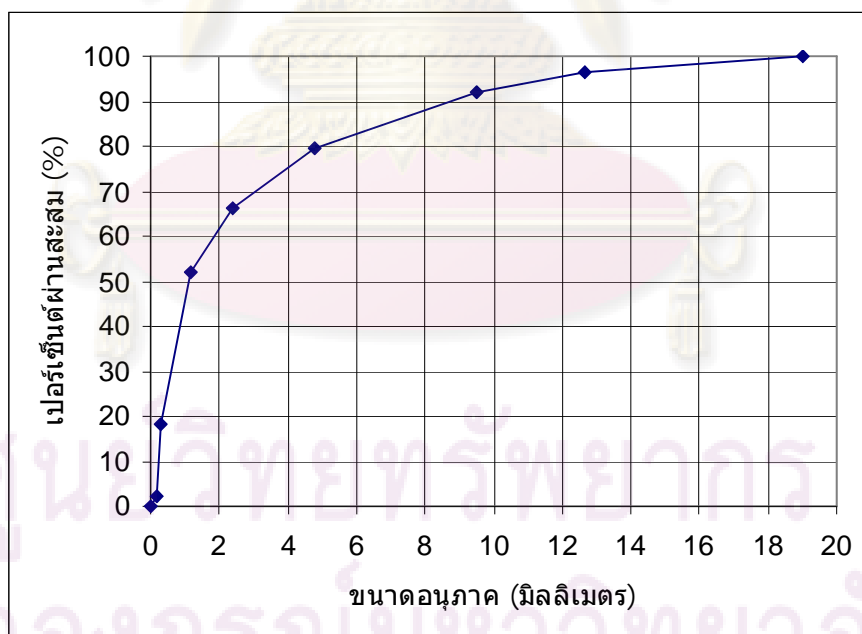
ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบหาความชื้นของตัวกลาง

วัสดุ	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2				ครั้งที่ 3				ค่าเฉลี่ย (%M)	ค่าเบี่ยงเบน มาตรฐาน
	X ₀ (g)	X ₁ (g)	X ₂ (g)	%M	X ₀ (g)	X ₁ (g)	X ₂ (g)	%M	X ₀ (g)	X ₁ (g)	X ₂ (g)	%M		
ปุ๋ยหมัก	80.3283	82.5548	81.9576	26.82	71.4421	73.7647	73.1515	26.40	79.5756	81.5892	81.0867	24.96	26.06	0.98
ปุ๋ยคอก	73.4075	77.6563	77.1496	11.93	74.5563	78.2420	77.8665	10.19	79.9286	84.3554	83.8265	11.95	11.35	1.01
ตะกอน จุลินทรีย์	76.5041	84.3826	77.4257	88.30	71.5997	78.1943	72.407	87.76	77.0002	82.7755	77.715	87.62	87.89	0.36
เศษไม้	83.5535	84.2315	84.2075	3.54	78.2824	78.9851	78.9603	3.53	72.9736	73.8434	73.8135	3.44	3.50	0.06


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบขนาดคละตัวกลางปุยหมัก

เบอร์ ตะแกรง	ขนาด ตะแกรง (มม.)	นน. ตะแกรง (กรัม)	นน. ค้าง ตะแกรง (กรัม)	นน. ดินที่ค้าง (กรัม)	นน. ดิน ค้างสะสม (กรัม)	% ค้าง	% ค้าง สะสม	% ผ่าน สะสม
3/4'	19.02	517.5	517.5	0	0	2887	0	100
1/2'	12.68	501.5	530.37	28.87	28.87	3.56	3.56	96.44
3/8'	9.51	516.23	541.86	25.63	46	4.49	8.05	91.95
4	4.76	484.11	554.78	70.67	116.67	12.37	20.42	79.58
8	2.38	535.65	611.83	76.18	192.85	13.33	33.75	66.25
16	1.19	365.19	446.63	81.44	274.29	14.25	48	52
50	0.297	333.83	526.01	192.18	466.47	33.63	81.63	18.37
100	0.149	422.82	614.31	191.49	557.96	16.01	97.64	2.36
PAN	-	361.31	374.79	13.48	571.44	2.36	100	0



ภาพที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านสะสมและขนาดอนุภาคของตัวกลางปุยหมัก



ภาคผนวก ง.

ผลการศึกษาอัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซแอมโมเนีย

ตารางที่ ง.1-4 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลาง

ตารางที่ ง.5-8 ความดันลดและการทрудตัวของตัวกลาง

ตารางที่ ง.9-12 ความชื้นของตัวกลางชุดบู๊หมัก

ตารางที่ ง.13-16 ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิของตัวกลาง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดน้ยมัก 70%

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
23	11/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
24	12/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
25	13/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
26	14/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
29	17/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
30	18/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
31	19/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
32	20/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
33	21/11/08	5.90	30	10	1	1	1	1	1	1	1	90	90	90	90	90	90	90
36	24/11/08	2.95	60	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
37	25/11/08	2.95	60	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
38	26/11/08	2.95	60	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
39	27/11/08	3.93	45	50	1	1	1	0	0	0	0	98	98	98	100	100	100	100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดบุ่ยหมัก 70% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
40	28/11/08	3.93	45	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
43	1/12/08	3.93	45	50	1	1	1	1	0	0	0	98	98	98	98	100	100	100
44	2/12/08	5.90	30	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98
45	3/12/08	5.90	30	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98
46	4/12/08	5.90	30	50	2	1	1	1	1	1	1	96	98	98	98	98	98	98
50	8/12/08	2.95	60	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
51	9/12/08	2.95	60	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
53	11/12/08	2.95	60	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
54	12/12/08	2.95	60	100	3	2	2	1	1	1	1	97	98	98	99	99	99	99
57	15/12/08	3.93	45	100	3	3	2	1	1	1	1	97	97	98	99	99	99	99
58	16/12/08	3.93	45	100	2	2	2	1	1	1	1	98	98	98	99	99	99	99
59	17/12/08	3.93	45	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
60	18/12/08	3.93	45	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
61	19/12/08	3.93	45	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 70% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
64	22/12/08	5.90	30	100	3	2	1	1	1	1	1	97	98	99	99	99	99	99
65	23/12/08	5.90	30	100	3	2	2	1	1	1	1	97	98	98	99	99	99	99
66	24/12/08	5.90	30	100	3	2	2	1	1	1	1	97	98	98	99	99	99	99
67	25/12/08	5.90	30	100	3	2	2	1	1	1	1	97	98	98	99	99	99	99
68	26/12/08	5.90	30	100	8	6	5	3	2	2	2	92	94	95	97	98	98	98
71	29/12/08	2.95	60	200	8	6	5	3	2	2	2	96	97	97.5	98.5	99	99	99
72	30/12/08	2.95	60	200	8	7	5	3	3	2	2	96	96.5	97.5	98.5	98.5	99	99
73	31/12/08	2.95	60	200	5	4	3	1	1	1	1	97.5	98	98.5	99.5	99.5	99.5	99.5
79	6/1/09	3.93	45	200	29	14	4	4	4	4	4	85.5	93	98	98	98	98	98
80	7/1/09	3.93	45	200	24	12	2	2	2	2	2	88	94	99	99	99	99	99
81	8/1/09	3.93	45	200	27	18	5	3	3	3	3	86.5	91	97.5	98.5	98.5	98.5	98.5
82	9/1/09	5.90	30	200	29	18	6	4	3	3	3	85.5	91	97	98	98.5	98.5	98.5
85	12/1/09	5.90	30	200	28	16	4	3	3	3	3	86	92	97	98	98.5	98.5	98.5
86	13/1/09	5.90	30	200	31	18	6	4	3	3	3	84.5	91	97	98	98.5	98.5	98.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดปฏิกิริยา 60%

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
1	20/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
2	21/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
3	22/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
5	24/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
8	27/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
9	28/10/08	2.95	60	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
10	29/10/08	2.95	60	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
11	30/10/08	2.95	60	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
12	31/10/08	2.95	60	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
15	3/11/08	3.93	45	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
16	4/11/08	3.93	45	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
17	5/11/08	3.93	45	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
18	6/11/08	5.90	30	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
19	7/11/08	5.90	30	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
22	10/11/08	5.90	30	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
23	11/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
24	12/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
25	13/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
26	14/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
29	17/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
30	18/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
31	19/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
32	20/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
33	21/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
36	24/11/08	2.95	60	50	1	1	1	1	0	0	0	98	98	98	98	100	100	100
37	25/11/08	2.95	60	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98
38	26/11/08	2.95	60	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
39	27/11/08	3.93	45	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดบุ่ยหมัก 60% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
40	28/11/08	3.93	45	50	1	1	1	0	0	0	0	98	98	98	100	100	100	100
43	1/12/08	3.93	45	50	1	1	1	1	0	0	0	98	98	98	98	100	100	100
44	2/12/08	5.90	30	50	2	1	1	1	1	1	1	96	98	98	98	98	98	98
45	3/12/08	5.90	30	50	1	1	1	1	0	0	0	98	98	98	98	100	100	100
46	4/12/08	5.90	30	50	1	1	1	1	1	0	0	98	98	98	98	98	100	100
50	8/12/08	2.95	60	100	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
51	9/12/08	2.95	60	100	1	0	0	0	0	0	0	99	100	100	100	100	100	100
53	11/12/08	2.95	60	100	1	1	1	0	0	0	0	99	99	99	100	100	100	100
54	12/12/08	2.95	60	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
57	15/12/08	3.93	45	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
58	16/12/08	3.93	45	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
59	17/12/08	3.93	45	100	2	1	1	1	1	1	1	98	99	99	99	99	99	99
60	18/12/08	3.93	45	100	2	1	1	1	1	1	1	98	99	99	99	99	99	99
61	19/12/08	3.93	45	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
64	22/12/08	5.90	30	100	2	1	1	1	1	1	1	98	99	99	99	99	99	99
65	23/12/08	5.90	30	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
66	24/12/08	5.90	30	100	2	2	2	1	1	1	1	98	98	98	99	99	99	99
67	25/12/08	5.90	30	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
68	26/12/08	5.90	30	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
71	29/12/08	2.95	60	200	8	5	5	2	2	1	1	96	97.5	97.5	99	99	99.5	99.5
72	30/12/08	2.95	60	200	7	6	4	2	1	1	1	96.5	97	98	99	99.5	99.5	99.5
73	31/12/08	2.95	60	200	5	4	3	2	1	1	1	97.5	98	98.5	99	99.5	99.5	99.5
79	6/1/09	3.93	45	200	24	14	4	4	4	4	4	88	93	98	98	98	98	98
80	7/1/09	3.93	45	200	25	13	3	3	2	2	2	87.5	93.5	98.5	98.5	99	99	99
81	8/1/09	3.93	45	200	22	17	2	2	2	2	2	89	91.5	99	99	99	99	99
82	9/1/09	5.90	30	200	25	18	4	2	2	2	2	87.5	91	98	99	99	99	99
85	12/1/09	5.90	30	200	26	15	4	3	3	3	3	87	92.5	98	98.5	98.5	98.5	98.5
86	13/1/09	5.90	30	200	28	15	4	3	3	3	3	86	92.5	98	98.5	98.5	98.5	98.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดน้ยมัก 50%

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
23	11/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
24	12/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
25	13/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
26	14/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
29	17/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
30	18/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
31	19/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
32	20/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
33	21/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
36	24/11/08	2.95	60	50	1	1	1	1	1	0	0	98	98	98	98	98	100	100
37	25/11/08	2.95	60	50	1	1	1	0	0	0	0	98	98	98	100	100	100	100
38	26/11/08	2.95	60	50	1	0	0	0	0	0	0	98	100	100	100	100	100	100
39	27/11/08	3.93	45	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพในการบำบัดดักกลางชุดปฏีหมัก 50% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
40	28/11/08	3.93	45	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
43	1/12/08	3.93	45	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
44	2/12/08	5.90	30	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
45	3/12/08	5.90	30	50	1	1	0	0	0	0	0	98	98	100	100	100	100	100
46	4/12/08	5.90	30	50	1	1	1	1	0	0	0	98	98	98	98	100	100	100
50	8/12/08	2.95	60	100	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
51	9/12/08	2.95	60	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
53	11/12/08	2.95	60	100	1	1	1	1	1	0	0	99	99	99	99	99	100	100
54	12/12/08	2.95	60	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
57	15/12/08	3.93	45	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
58	16/12/08	3.93	45	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
59	17/12/08	3.93	45	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
60	18/12/08	3.93	45	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99
61	19/12/08	3.93	45	100	1	1	1	1	1	1	1	99	99	99	99	99	99	99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดบ่อบำบัด 50% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
64	22/12/08	5.90	30	100	2	2	2	2	1	1	1	98	98	98	98	99	99	99
65	23/12/08	5.90	30	100	2	2	2	1	1	1	1	98	98	98	99	99	99	99
66	24/12/08	5.90	30	100	2	1	1	1	1	1	1	98	99	99	99	99	99	99
67	25/12/08	5.90	30	100	2	2	2	1	1	1	1	98	98	98	99	99	99	99
68	26/12/08	5.90	30	100	2	2	2	1	1	1	1	98	98	98	99	99	99	99
71	29/12/08	2.95	60	200	8	6	6	3	1	1	1	96	97	97	98.5	99.5	99.5	99.5
72	30/12/08	2.95	60	200	6	6	4	2	1	1	1	97	97	98	99	99.5	99.5	99.5
73	31/12/08	2.95	60	200	6	3	2	1	1	1	1	97	98.5	99	99.5	99.5	99.5	99.5
79	6/1/09	3.93	45	200	24	16	6	5	5	5	5	88	92	97	97.5	97.5	97.5	97.5
80	7/1/09	3.93	45	200	27	13	4	3	3	3	3	86.5	93.5	98	98.5	98.5	98.5	98.5
81	8/1/09	3.93	45	200	26	18	4	3	3	2	2	87	91	98	98.5	98.5	99	99
82	9/1/09	5.90	30	200	25	19	4	3	3	3	3	87.5	90.5	98	98.5	98.5	98.5	98.5
85	12/1/09	5.90	30	200	25	16	6	4	4	3	3	87.5	92	97	98	98	98.5	98.5
86	13/1/09	5.90	30	200	27	18	4	4	4	3	3	86.5	91	98	98	98	98.5	98.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพในการบำบัดดักกลางชุดป้อนหมัก 40%

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
1	20/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
2	21/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
3	22/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
5	24/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
8	27/10/08	1.97	90	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
9	28/10/08	2.95	60	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
10	29/10/08	2.95	60	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
11	30/10/08	2.95	60	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
12	31/10/08	2.95	60	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
15	3/11/08	3.93	45	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
16	4/11/08	3.93	45	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
17	5/11/08	3.93	45	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
18	6/11/08	5.90	30	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
19	7/11/08	5.90	30	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดปฏิกิริยา 40% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
22	10/11/08	5.90	30	5	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
23	11/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
24	12/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
25	13/11/08	2.95	60	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
26	14/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
29	17/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
30	18/11/08	3.93	45	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
31	19/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
32	20/11/08	5.90	30	10	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
33	21/11/08	5.90	30	10	1	1	0	0	0	0	0	90	90	100	100	100	100	100
36	24/11/08	2.95	60	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98
37	25/11/08	2.95	60	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98
38	26/11/08	2.95	60	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98
39	27/11/08	3.93	45	50	1	1	1	1	1	1	1	98	98	98	98	98	98	98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดบุ่ยหมัก 40% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
40	28/11/08	3.93	45	50	3	1	1	1	1	1	1	94	98	98	98	98	98	98
43	1/12/08	3.93	45	50	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100
44	2/12/08	5.90	30	50	3	2	1	1	1	0	0	94	96	98	98	98	100	100
45	3/12/08	5.90	30	50	2	2	1	1	1	1	1	96	96	98	98	98	98	98
46	4/12/08	5.90	30	50	2	2	1	1	1	1	1	96	96	98	98	98	98	98
50	8/12/08	2.95	60	100	2	1	1	1	1	1	1	98	99	99	99	99	99	99
51	9/12/08	2.95	60	100	2	1	1	1	1	1	1	98	99	99	99	99	99	99
53	11/12/08	2.95	60	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
54	12/12/08	2.95	60	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
57	15/12/08	3.93	45	100	2	2	2	1	1	1	1	98	98	98	99	99	99	99
58	16/12/08	3.93	45	100	2	2	1	1	1	1	1	98	98	99	99	99	99	99
59	17/12/08	3.93	45	100	3	2	2	1	1	1	1	97	98	98	99	99	99	99
60	18/12/08	3.93	45	100	3	3	2	1	1	1	1	97	97	98	99	99	99	99
61	19/12/08	3.93	45	100	3	3	2	1	1	1	1	97	97	98	99	99	99	99

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพในการบำบัดตัวกลางชุดปฏิกิริยา 40% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Flow rate (L/min)	EBRT (Sec.)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ outlet (ppm)							Removal Efficiency (%)						
					0.25	0.5	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.5	outlet
64	22/12/08	5.90	30	100	5	5	4	4	4	3	3	95	95	96	96	96	97	97
65	23/12/08	5.90	30	100	4	4	4	4	3	3	3	96	96	96	96	97	97	97
66	24/12/08	5.90	30	100	4	4	4	3	3	3	3	96	96	96	97	97	97	97
67	25/12/08	5.90	30	100	4	4	3	3	3	2	2	96	96	97	97	97	98	98
68	26/12/08	5.90	30	100	4	4	3	3	3	1	1	96	96	97	97	97	99	99
71	29/12/08	2.95	60	200	10	8	8	5	4	3	3	95	96	96	97.5	98	98.5	98.5
72	30/12/08	2.95	60	200	9	8	8	4	3	2	2	95.5	96	96	98	98.5	99	99
73	31/12/08	2.95	60	200	9	8	5	3	3	2	2	95.5	96	97.5	98.5	98.5	99	99
79	6/1/09	3.93	45	200	36	28	16	5	4	4	4	82	86	92	97.5	98	98	98
80	7/1/09	3.93	45	200	35	29	14	3	3	2	2	82.5	85.5	93	98.5	98.5	99	99
81	8/1/09	3.93	45	200	37	32	10	4	4	4	4	81.5	84	95	98	98	98	98
82	9/1/09	5.90	30	200	37	33	20	14	4	4	4	81.5	83.5	90	93	98	98	98
85	12/1/09	5.90	30	200	38	30	17	15	5	4	4	81	85	91.5	92.5	97.5	98	98
86	13/1/09	5.90	30	200	40	34	19	15	5	4	4	80	83	90.5	92.5	97.5	98	98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.5 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 70%

Day	D/M/Y	Pressure Drop (mm H ₂ O)						Compaction (cm)
		0.25 m	0.50 m	0.75 m	1.00 m	1.25 m	1.50 m	
33	21/11/08	0	0	0	0	0	0	0
40	28/11/08	8	11	16	18	31	31	1
51	9/12/08	1	4	4	9	11	11	1.5
57	15/12/08	4	4	9	9	11	11	2.5
61	19/12/08	4	9	11	11	13	13	3.5
68	26/12/08	3	4	6	8	9	11	4
79	6/1/09	4	6	9	11	13	13	4.5
82	9/1/09	6	9	13	13	15	15	5
86	13/1/09	4	11	14	16	18	18	5

ตารางที่ ง.6 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60%

Day	D/M/Y	Pressure Drop (mm H ₂ O)						Compaction (cm)
		0.25 m	0.50 m	0.75 m	1.00 m	1.25 m	1.50 m	
5	24/10/08	0	0	0	0	0	0	0
12	31/10/08	0	0	0	0	0	1	0.5
19	7/11/08	0	1	1	1	3	4	1
26	14/11/08	0	1	1	3	3	6	2
33	21/11/08	1	1	3	3	5	8	2.5
40	28/11/08	4	6	11	11	13	13	2.5
51	9/12/08	2	2	3	4	6	6	3
57	15/12/08	3	4	6	7	8	8	3
61	19/12/08	4	5	5	6	6	9	3.5
68	26/12/08	3	3	4	6	6	6	4.5
79	6/1/09	1	3	4	4	8	9	7
82	9/1/09	2	3	4	6	9	9	7
89	13/1/09	3	4	6	9	11	11	7.5

ตารางที่ ง.7 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 50%

Day	D/M/Y	Pressure Drop (mm H ₂ O)						Compaction (cm)
		0.25 m	0.50 m	0.75 m	1.00 m	1.25 m	1.50 m	
33	21/11/08	0	0	0	0	0	0	0.5
40	28/11/08	4	9	11	13	13	13	2
51	9/12/08	1	4	6	9	11	11	3
57	15/12/08	1	4	4	8	9	14	3
61	19/12/08	3	3	3	6	6	9	4.5
68	26/12/08	4	4	6	9	9	11	7
79	6/1/09	3	4	4	9	9	11	9
82	9/1/09	3	4	6	9	11	11	11
86	13/1/09	4	6	8	11	11	11	11

ตารางที่ ง.8 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 40%

Day	D/M/Y	Pressure Drop (mm H ₂ O)						Compaction (cm)
		0.25 m	0.50 m	0.75 m	1.00 m	1.25 m	1.50 m	
5	24/10/08	0	0	0	0	0	0	0
12	31/10/08	0	0	0	0	0	0	1.5
19	7/11/08	0	0	0	0	1	1	3
26	14/11/08	0	0	0	1	0	1	3.5
33	21/11/08	2	1	3	5	6	6	5
40	28/11/08	4	4	9	11	11	13	5.5
51	9/12/08	0	0	1	3	3	4	6
57	15/12/08	0	0	1	3	4	4	8
61	19/12/08	1	3	4	5	6	6	12
68	26/12/08	1	3	3	4	6	6	14.5
79	6/1/09	0	0	1	4	4	4	19
82	9/1/09	1	1	3	4	6	6	22
86	13/1/09	1	3	4	6	9	9	24

ตารางที่ 9.9 ความชื้นของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 70%

Day	D/M/Y	Moisture (%)				Water Demand (ml/d)
		Bottom	Middle	Top	Average	
31	19/11/08	68	69	68	68.25	200
33	21/11/08	67	67	68	67.50	150
36	24/11/08	68	70	72	70.50	150
38	26/11/08	67	68	70	68.75	100
40	28/11/08	68	69	70	69.25	100
43	1/12/08	68	70	72	70.50	150
45	3/12/08	67	68	72	69.75	100
51	8/12/08	68	70	71	70.00	75
53	11/12/08	69	70	72	70.75	200
54	12/12/08	68	69	70	69.25	0
57	15/12/08	69	70	71	70.25	150
59	17/12/08	69	70	70	69.75	100
61	19/12/08	68	70	71	70.00	75
64	22/12/08	70	71	72	71.25	100
66	24/12/08	69	70	70	69.75	100
68	26/12/08	69	69	70	69.5	75
71	29/12/08	70	71	71	70.75	100
73	31/12/08	70	71	72	71.25	100
79	6/1/09	71	72	72	71.75	150
82	9/1/09	69	70	71	70.25	125
85	12/1/09	68	69	70	69.25	125

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.10 ความชื้นของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60%

Day	D/M/Y	Moisture (%)				Water Demand (ml/d)
		Bottom	Middle	Top	Average	
1	20/10/08	69	70	73	70.67	250
3	22/10/08	68	69	70	69.00	200
8	27/10/08	70	71	73	71.33	150
10	29/10/08	70	72	73	71.67	150
12	31/10/08	71	73	73	72.33	150
15	3/11/08	70	72	73	71.67	250
17	5/11/08	67	68	70	68.33	100
19	7/11/08	67	70	70	69.00	100
22	10/11/08	69	70	71	70.00	150
24	12/11/08	67	70	71	69.33	125
26	14/11/08	68	70	71	69.67	150
29	17/11/08	70	71	72	71.00	200
31	19/11/08	69	70	70	69.67	100
33	21/11/08	70	71	72	71.00	250
36	24/11/08	69	70	71	70.00	200
38	26/11/08	68	70	73	70.33	200
40	28/11/08	68	69	71	69.33	100
43	1/12/08	67	69	72	69.33	125
45	3/12/08	68	70	73	70.33	125
51	8/12/08	70	71	72	71.00	50
53	11/12/08	70	72	73	71.67	200
54	12/12/08	68	71	71	70.00	0
57	15/12/08	69	70	70	69.67	150
59	17/12/08	69	70	70	69.67	125

ตารางที่ ง.10 ความชื้นของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Moisture (%)				Water Demand (ml/d)
		Bottom	Middle	Top	Average	
61	19/12/08	69	70	71	70.00	100
64	22/12/08	68	69	71	69.33	100
66	24/12/08	69	70	70	69.67	75
68	26/12/08	69	70	71	70.00	125
71	29/12/08	68	68	70	68.67	100
73	31/12/08	70	70	71	70.33	125
79	6/1/09	70	70	72	70.67	150
82	9/1/09	69	71	71	70.33	125
85	12/1/09	69	70	70	69.67	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.11 ความชื้นของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 50%

Day	D/M/Y	Moisture (%)				Water Demand (ml/d)
		Bottom	Middle	Top	Average	
31	19/11/08	69	70	70	69.67	200
33	21/11/08	67	68	68	67.67	150
36	24/11/08	66	67	69	67.33	150
38	26/11/08	67	68	70	68.33	200
40	28/11/08	68	69	71	69.33	150
43	1/12/08	67	68	71	68.67	125
45	3/12/08	69	70	73	70.67	150
51	8/12/08	68	69	71	69.33	50
53	11/12/08	69	71	72	70.67	200
54	12/12/08	68	70	70	69.33	0
57	15/12/08	68	69	70	69.00	125
59	17/12/08	69	69	70	69.33	100
61	19/12/08	69	70	70	69.67	75
64	22/12/08	70	71	71	70.67	100
66	24/12/08	68	70	70	69.33	100
68	26/12/08	69	70	70	69.67	125
71	29/12/08	70	71	72	71.00	125
73	31/12/08	71	72	72	71.67	150
79	6/1/09	70	71	71	70.67	125
82	9/1/09	69	69	70	69.33	100
85	12/1/09	68	69	70	69.00	100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.12 ความชื้นของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 40%

Day	D/M/Y	Moisture (%)				Water Demand (ml/d)
		Bottom	Middle	Top	Average	
1	20/10/08	68	69	70	69.00	250
3	22/10/08	68	68	70	68.67	200
8	27/10/08	68	69	70	69.00	200
10	29/10/08	69	69	70	69.33	150
12	31/10/08	68	69	71	69.33	150
15	3/11/08	70	70	71	70.33	250
17	5/11/08	67	68	70	68.33	150
19	7/11/08	68	70	71	69.67	175
22	10/11/08	67	69	69	68.33	150
24	12/11/08	69	70	70	69.67	225
26	14/11/08	69	69	71	69.67	200
29	17/11/08	68	68	70	68.67	200
31	19/11/08	69	70	70	69.67	175
33	21/11/08	68	69	69	68.67	125
36	24/11/08	69	70	70	69.67	150
38	26/11/08	70	71	71	70.67	200
40	28/11/08	69	70	70	69.67	150
43	1/12/08	68	69	69	68.67	175
45	3/12/08	68	68	69	68.33	100
51	8/12/08	68	68	70	68.67	100
53	11/12/08	70	70	71	70.33	200
54	12/12/08	67	68	70	68.33	0
57	15/12/08	70	71	71	70.67	125
59	17/12/08	68	68	69	68.33	100

ตารางที่ ง.12 ความชื้นของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 40% (ต่อ)

Day	D/M/Y	Moisture (%)				Water Demand (ml/d)
		Bottom	Middle	Top	Average	
61	19/12/08	67	68	69	68.00	75
64	22/12/08	68	69	70	69.00	150
66	24/12/08	69	69	70	69.33	125
68	26/12/08	68	69	69	68.67	100
71	29/12/08	69	70	70	69.67	150
73	31/12/08	70	70	71	70.33	150
79	6/1/09	71	71	72	71.33	125
82	9/1/09	69	70	70	69.67	100
85	12/1/09	69	69	70	69.33	100

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 70%

Day	D/M/Y	pH			Temperature (°C)			
		Bottom	Middle	Top	Ambient	Bottom	Middle	Top
31	19/11/08	6.9	6.9	6.9	30.1	30.1	32.0	32.2
33	21/11/08	7.0	6.9	6.9	29.0	29.8	31.5	31.4
36	24/11/08	7.0	7.0	7.0	32.5	32.3	32.5	32.5
38	26/11/08	7.0	7.0	7.0	28.3	28.5	31.5	31.5
40	28/11/08	7.1	7.0	7.0	30.2	30.6	33.1	32.2
43	1/12/08	7.0	7.0	7.0	28.8	29.0	32.5	31.0
45	3/12/08	7.1	7.0	7.0	29.5	29.7	31.5	31.6
51	9/12/08	7.3	7.1	7.2	28.2	28.8	30.2	31.1
53	11/12/08	7.5	7.2	7.2	28.8	29.2	30.6	30.8
54	12/12/08	7.4	7.3	7.3	30.3	30.7	30.8	30.8
57	15/12/08	7.4	7.3	7.2	29.3	29.5	30.1	30.0
59	17/12/08	7.3	7.3	7.2	28.6	28.7	29.6	30.1
61	19/12/08	7.4	7.3	7.3	29.8	30.0	30.3	30.4
64	22/12/08	7.3	7.2	7.2	30.4	31.3	31.5	31.5
66	24/12/08	7.3	7.3	7.2	30.5	30.7	30.8	30.9
68	26/12/08	7.3	7.2	7.2	31.2	30.7	31.4	31.6
71	29/12/08	7.4	7.3	7.3	30.1	30.6	30.6	30.6
73	31/12/08	7.3	7.2	7.2	29.7	30.0	30.3	30.3
79	6/1/09	7.2	7.2	7.2	32.8	31.6	32.7	32.9
82	9/1/09	7.3	7.3	7.2	31.5	31.3	31.5	31.5
85	12/1/09	7.4	7.3	7.3	25.5	25.4	25.7	25.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60%

Day	D/M/Y	pH			Temperature (°C)			
		Bottom	Middle	Top	Ambient	Bottom	Middle	Top
1	20/10/08	6.9	6.9	6.9	30.8	30.6	32.5	32.1
3	22/10/08	6.9	6.9	6.9	29.7	30.0	32.0	32.5
8	27/10/08	7.0	7.0	7.0	31.4	31.6	32.0	31.8
10	29/10/08	7.0	7.0	7.0	28.7	28.7	30.2	30.1
12	31/10/08	7.0	7.0	7.0	29.2	29.5	30.2	30.3
15	3/11/08	7.1	7.0	7.0	31.0	31.3	32.5	32.1
17	5/11/08	7.1	7.1	7.1	29.8	29.8	30.6	31.2
19	7/11/08	7.1	7.1	7.1	30.0	30.1	31.2	31.4
22	10/11/08	7.1	7.1	7.1	28.4	28.5	30.5	30.6
24	12/11/08	7.1	7.0	7.0	27.7	28.0	28.8	29.4
26	14/11/08	7.1	7.1	7.1	27.9	27.3	28.1	28.3
29	17/11/08	7.2	7.2	7.1	31.0	31.2	31.5	31.6
31	19/11/08	7.1	7.1	7.1	30.1	30.4	31.7	32.0
33	21/11/08	7.2	7.2	7.2	29.0	31.5	32.1	32.4
36	24/11/08	7.3	7.2	7.2	32.5	32.7	32.9	32.7
38	26/11/08	7.1	7.1	7.1	28.3	29.5	31.3	31.5
40	28/11/08	7.1	7.0	7.0	30.2	30.2	31.3	31.6
43	1/12/08	7.1	7.1	7.1	28.8	31.8	31.0	31.6
45	3/12/08	7.2	7.2	7.2	29.5	29.5	31.6	31.3
51	9/12/08	7.4	7.1	7.1	28.2	29.8	31.1	31.1
53	11/12/08	7.5	7.0	7.2	28.8	28.9	30.7	30.5
54	12/12/08	7.4	7.2	7.3	30.3	30.4	30.7	30.7
57	15/12/08	7.4	7.3	7.3	29.3	29.4	29.4	29.8
59	17/12/08	7.4	7.3	7.2	28.6	28.8	29.2	29.5

ตารางที่ ง.14 ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 60%(ต่อ)

Day	D/M/Y	pH			Temperature (°C)			
		Bottom	Middle	Top	Ambient	Bottom	Middle	Top
61	19/12/08	7.4	7.3	7.3	29.8	30.2	30.5	30.5
64	22/12/08	7.3	7.2	7.2	30.4	31.1	31.3	31.3
66	24/12/08	7.3	7.3	7.2	30.5	30.9	30.9	30.9
68	26/12/08	7.3	7.2	7.2	31.2	31.6	31.6	31.9
71	29/12/08	7.4	7.3	7.3	30.1	30.5	30.7	30.6
73	31/12/08	7.3	7.2	7.2	29.7	29.9	30.2	30.3
79	6/1/09	7.2	7.2	7.2	32.8	31.8	32.5	32.6
82	9/1/09	7.2	7.2	7.2	31.5	31.4	31.4	31.5
85	12/1/09	7.3	7.2	7.2	25.5	25.5	25.6	25.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.15 ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 50%

Day	D/M/Y	pH			Temperature (°C)			
		Bottom	Middle	Top	Ambient	Bottom	Middle	Top
31	19/11/08	7.3	7.2	7.2	30.1	27.9	31.5	31.2
33	21/11/08	7.1	7.1	7.1	29.0	30.4	31.0	31.0
36	24/11/08	7.1	7.0	7.0	32.5	32.3	33.4	33.2
38	26/11/08	7.0	7.0	7.0	28.3	27.4	29.1	28.8
40	28/11/08	7.1	7.0	7.0	30.2	28.5	30.9	30.7
43	1/12/08	7.1	7.0	7.0	28.8	29.8	31.6	31.0
45	3/12/08	7.1	7.1	7.0	29.5	31.5	31.8	31.8
51	9/12/08	7.3	7.2	7.1	28.2	28.0	31.0	29.7
53	11/12/08	7.4	7.2	7.0	28.8	28.8	30.7	30.6
54	12/12/08	7.3	7.2	7.2	30.3	30.4	30.7	30.8
57	15/12/08	7.4	7.3	7.2	29.3	29.3	29.4	29.6
59	17/12/08	7.3	7.3	7.2	28.6	28.9	29.0	29.3
61	19/12/08	7.4	7.3	7.3	29.8	30.1	30.3	30.4
64	22/12/08	7.3	7.2	7.2	30.4	30.6	30.8	30.8
66	24/12/08	7.3	7.3	7.2	30.5	30.7	30.9	30.9
68	26/12/08	7.3	7.2	7.2	31.2	31.5	31.5	31.6
71	29/12/08	7.4	7.3	7.3	30.1	30.4	30.3	30.2
73	31/12/08	7.3	7.2	7.2	29.7	30.0	30.1	30.1
79	6/1/09	7.2	7.2	7.1	32.8	32.0	32.6	32.9
82	9/1/09	7.3	7.2	7.2	31.5	31.4	31.5	31.5
85	12/1/09	7.2	7.2	7.1	25.5	25.4	25.6	25.7

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย


ตารางที่ ง.16 ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 40%

Day	D/M/Y	pH			Temperature (°C)			
		Bottom	Middle	Top	Ambient	Bottom	Middle	Top
1	20/10/08	7.0	6.9	7.0	30.8	31.1	33.0	32.6
3	22/10/08	7.0	7.0	7.0	29.7	31.7	32.5	32.1
8	27/10/08	7.0	7.0	7.0	31.4	31.8	31.7	31.8
10	29/10/08	7.1	7.0	7.0	28.7	28.6	29.7	30.0
12	31/10/08	7.1	7.1	7.1	29.2	29.4	30.2	30.3
15	3/11/08	7.1	7.1	7.1	31.0	31.3	31.8	31.6
17	5/11/08	7.1	7.1	7.1	29.8	29.7	30.6	31.0
19	7/11/08	7.1	7.0	7.0	30.0	30.6	31.1	30.4
22	10/11/08	7.1	7.1	7.1	28.4	28.5	29.3	29.0
24	12/11/08	7.2	7.2	7.1	27.7	27.9	27.9	27.3
26	14/11/08	7.1	7.1	7.1	27.9	27.8	28.2	28.0
29	17/11/08	7.2	7.1	7.1	31.0	30.5	31.2	31.0
31	19/11/08	7.3	7.2	7.2	30.1	31.2	32.0	31.8
33	21/11/08	7.1	7.1	7.1	29.0	31.6	32.1	31.7
36	24/11/08	7.1	7.0	7.0	32.5	32.4	32.8	32.5
38	26/11/08	7.0	7.0	7.0	28.3	28.3	30.6	30.2
40	28/11/08	7.0	7.0	7.0	30.2	29.4	30.2	31.6
43	1/12/08	7.1	7.1	7.0	28.8	31.0	32.0	31.5
45	3/12/08	7.1	7.1	7.1	29.5	29.9	31.5	31.0
51	9/12/08	7.0	7.1	7.1	28.2	27.8	31.0	29.5
53	11/12/08	7.2	7.3	7.2	28.8	28.9	30.2	30.7
54	12/12/08	7.2	7.2	7.2	30.3	30.2	30.4	30.5
57	15/12/08	7.4	7.3	7.2	29.3	29.3	29.4	29.4
59	17/12/08	7.3	7.3	7.2	28.6	28.7	29.0	29.1

ตารางที่ ง.16 ความเป็นกรด-ด่าง และอุณหภูมิ ของตัวกลางชุดปุ๋ยหมัก 40%(ต่อ)

Day	D/M/Y	pH			Temperature (°C)			
		Bottom	Middle	Top	Ambient	Bottom	Middle	Top
61	19/12/08	7.4	7.3	7.3	29.8	30.2	30.4	30.5
64	22/12/08	7.3	7.2	7.2	30.4	30.6	30.7	31.1
66	24/12/08	7.3	7.3	7.2	30.5	30.7	30.8	31.0
68	26/12/08	7.3	7.2	7.2	31.2	31.6	31.6	31.8
71	29/12/08	7.4	7.3	7.3	30.1	30.5	30.5	30.5
73	31/12/08	7.3	7.2	7.2	29.7	29.9	30.0	30.2
79	6/1/09	7.1	7.1	7.0	32.8	32.2	32.7	32.9
82	9/1/09	7.2	7.2	7.2	31.5	31.2	31.6	31.7
85	12/1/09	7.2	7.1	7.1	25.5	25.6	25.6	25.7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ.
ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณจุลินทรีย์

เอกสารที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อนเดินระบบ

เอกสารที่ จ.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังเดินระบบ

เอกสารที่ จ.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตจากน้ำชะตัวกลาง

เอกสารที่ จ.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ก่อนเดินระบบ

เอกสารที่ จ.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์หลังเดินระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๑.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อนเดินระบบ

รายงานเลขที่ F.5
Report No.

วันที่เสนอรายงาน 1/2/51
Date of report:

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ 10/1/51
Date of sample submitted:



โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม


ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
SOIL-FERTILIZER-ENVIRONMENT SCIENTIFIC DEVELOPMENT PROJECT.
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE, FACULTY OF AGRICULTURE, KASETSART UNIVERSITY
Tel. 0-2942-8104-5, 0-2561-4670 Fax: 0-2942-8106

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีจาภิรมย์ และคณะ
ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ.ดร.สุเทพ ทองแพ

ตัวอย่างของ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
Sample submitted by:

ตัวอย่างจาก ค่ายอ ชำเภอ
จังหวัด

แผ่นที่ 1
Sheet NO.

Lab Code	Original Code	pH	O.M. %	Total-N %	Total-P ₂ O ₅ %	Total- K ₂ O %	
F.5-1	ปุ๋ยหมัก	6.9	3.95	1.07	2.47	1.27	
 (นายสมชาย กวีจาภิรมย์) ผู้ปฏิบัติงานวิทยาศาสตร์ ชำนาญการ 8							

๑.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังเดินระบบ



โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

SOIL-FERTILIZER-ENVIRONMENT SCIENTIFIC DEVELOPMENT PROJECT.
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE, FACULTY OF AGRICULTURE, KASETSART UNIVERSITY
Tel. 0-2942-8104-5, 0-2561-4679 Fax: 0-2942-8106

แผ่นที่ 1
Sheet NO.

ตัวอย่างของ: คุณเสาวลักษณ์ ภูมิกษาพร

Sample submitted by:

ตัวอย่างจาก: ตำบล -
อำเภอ -
จังหวัด -

วันที่เสนอรายงาน: 24/2/52

Date of report:

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์: 5/2/52

Date of sample submitted:

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีทามิรมย์ และคณะ

ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ. ดร.สุเทพ ทองแพ

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ F.28

ชนิดตัวอย่าง: ปุ๋ยอินทรีย์

รายการวิเคราะห์

pH	6.7
O.M (%)	17.71
Total N (%)	0.24
Total P ₂ O ₅ (%)	0.61
Total K ₂ O (%)	0.72



(ผศ. ดร. สุเทพ ทองแพ)

หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ

ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๑.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรตจากน้ำชะตัวกลาง



โครงการพัฒนาวิชาการดิน-ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

SOIL-FERTILIZER-ENVIRONMENT SCIENTIFIC DEVELOPMENT PROJECT.
DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE, FACULTY OF AGRICULTURE, KASETSART UNIVERSITY
Tel. 0-2942-8104-5, 0-2561-4670 Fax: 0-2942-5106

แผ่นที่ 1
Sheet NO.

ตัวอย่างของ : คุณเสาวลักษณ์ ภูณภาอำพร

Sample submitted by :

ตัวอย่างจาก : ตำบล

อำเภอ

จังหวัด

วันที่เสนอรายงาน : 18/2/52

Date of report :

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 5/2/52

Date of sample submitted :

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีชาภิรมย์ และคณะ

ผู้ทำการตรวจสอบ และให้คำแนะนำ ผศ.ดร.สุเทพ ทองแพ

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ W.7

ชนิดตัวอย่าง : น้ำ

ตัวอย่าง	pH	NH ₄ ⁺ -N mg N L ⁻¹	NO ₃ ⁻ -N mg N L ⁻¹
S1	6.3	6.2	<0.1
S2	6.8	5.6	0.8
S3	7.1	2.9	0.3
S4	6.8	9.9	6.5



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ผศ. ดร.สุเทพ ทองแพ)

หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ

ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

๑.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ก่อนเดินระบบ



Department of Microbiology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Bangkok 10330, Thailand

Attention to:
Department of Environmental
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok 10330

Date: January 26, 2009
Subject: Total plate count
Date sample received: -
Sample description: Soil
Method: Spread plate method
Report: Showed on table

Sample	Total Plate Count (CFU/gram)
1	1.0×10^7
2	1.9×10^7
3	1.8×10^7
4	8.1×10^6

Note :

CFU = Colony Forming Unit

T. Singhaboonpong
(Thanit Singhaboonpong, B.Sc.)
Experimentalist

ศูนย์วิทยาศาสตร์สุขภาพ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๑.5 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์หลังเดินระบบ



Department of Microbiology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Bangkok 10330, Thailand

Attention to:
Department of Environmental
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok 10330

Date: January 26, 2009
Subject: Total plate count
Date sample received: -
Sample description: Soil
Method: Spread plate method
Report: Showed on table

Sample	Total Plate Count (CFU/gram)
1	1.0×10^7
2	1.9×10^7
3	1.8×10^7
4	8.1×10^6

Note :

CFU = Colony Forming Unit

ศูนย์วิทยาศาสตร์

 (Thanit Singhaboong, B.Sc.)
 Experimentalist

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร เกิดเมื่อวันที่ 11 สิงหาคม พ.ศ.2526 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2548 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย