

การกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศพร้อมกัน
โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพชนิดปุ๋ยหมัก

นางสาวฉานี วงศ์วุฒติ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

SIMULTANEOUS REMOVAL OF AMMONIA AND HYDROGEN SULFIDE IN AIR STREAM
USING A COMPOST-BASED BIOFILTER

Miss Chanee Wongwutthi

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ในอากาศพร้อมกันโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพชนิดบูยหมัก
โดย	นางสาวฉานนี่ วงศ์วุฒติ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ฐเวศ ศรีสถิตย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. อัจฉริยา สุริยะวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เบญจพร บุญชยาอนันต์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรรณวดี สุวัณณิกะ)

ฉานี วงศ์วุฒติ : การกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศพร้อมกันโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพชนิดปุ๋ยหมัก. (SIMULTANEOUS REMOVAL OF AMMONIA AND HYDROGEN SULFIDE IN AIR STREAM USING A COMPOST-BASED BIOFILTER) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, 159 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพที่มีปุ๋ยหมักเป็นวัสดุตัวกลางหลักผสมกับวัสดุตัวกลางเสริมและตะกอนจุลินทรีย์ในอัตราส่วน ปุ๋ยหมัก : ปุ๋ยคอก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ 60 : 20 : 10 : 10 โดยปริมาตรตามลำดับ แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ก๊าซแอมโมเนีย และก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยแปรผันความเข้มข้นก๊าซมลพิษทั้ง 3 การทดลองในช่วง 5 - 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพัก 60 วินาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความสูงตัวกลาง 0.8 เมตร ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียสูงสุด เท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ ที่ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร และประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร่วมกับก๊าซแอมโมเนีย เท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ ที่ความสูงตัวกลาง 0.8 เมตร เวลากักพักที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 ส่วนในล้านส่วน คือ 30 วินาที นอกจากนี้เมื่อแปรผันความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระบบในอัตราส่วน 100 : 100, 200 : 100 และ 100 : 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเท่ากับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียมีค่า 94 และ 98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ แต่ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียมากกว่าความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 2 เท่า ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือ 86 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียยังอยู่ในช่วง 97 - 98 เปอร์เซ็นต์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิติ.....
 สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2554

5270276021: MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORDS : AMMONIA / HYDROGEN SULFIDE / COMPOST / BIOFILTER

CHANEE WONGWUTTHI: SIMULTANEOUS REMOVAL OF AMMONIA AND
HYDROGEN SULFIDE IN AIR STREAM USING A COMPOST-BASED
BIOFILTER. ADVISOR: ASSOC. PROF. WONGPUN LIMPASENI, 159 pp.

The objective of this research was to study the removal efficiency of hydrogen sulfide and ammonia using a compost-based biofilter mixed with organic fertilizer : wood chip : biological sludge at ratio of 60 : 10 : 20 : 10 by volume. The experiment was divided into 3 sets which were (1) removal of hydrogen sulfide, (2) removal of ammonia and (3) simultaneous removal of ammonia and hydrogen sulfide. The gases concentrations were varied from 5 – 200 ppm using gas retention time 60 s. The results indicated that the maximum removal efficiency of hydrogen sulfide was 100 percent at bed height 0.8 m. The maximum removal efficiency of ammonia was 99 percent at bed height 0.4 m. And the maximum removal efficiency of hydrogen sulfide together with ammonia was 99 percent at bed height 0.8 m. The appropriate retention time for removing ammonia and hydrogen sulfide together was 30 s. Furthermore, when inlet concentrations of ammonia and hydrogen sulfide were varied at ratio of 100 : 100, 200 : 100 and 100 : 200 ppm, the results showed that when ammonia and hydrogen sulfide were at the same concentration, the removal efficiency of hydrogen sulfide and ammonia were 94 and 98 percent, respectively. However, at concentration ratio of ammonia 2 times higher than hydrogen sulfide and hydrogen sulfide 2 times higher than ammonia, the removal efficiency of hydrogen sulfide decreased to 86 and 80 percent, respectively, while removal efficiency of ammonia remained at 97 – 98 percent.

Department : ...Environmental Engineering Student's Signature

Field of Study : Environmental Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยพระคุณของรองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้สละเวลาให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะและถ่ายทอดวิชาความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอน ตลอดจนสนับสนุนทุนในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบพระคุณประธานการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ธเรศ ศรีสถิตย์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อาจารย์ ดร.เบญจพร บุญชยาอนันต์ อาจารย์ ดร.อัจฉริยา สุริยะวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พรวณวดี สุวัณณิกะ ที่ได้ให้เกียรติและสละเวลาเพื่อสอบวิทยานิพนธ์นี้ รวมถึงให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์และชี้แนะข้อผิดพลาดเพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยครั้งนี้ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พรวณวดี สุวัณณิกะ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือแนะนำในเรื่องต่างๆ รวมทั้งอนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่างและขอขอบพระคุณภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาช่วยวิเคราะห์ตัวอย่างในการวิจัย

ขอขอบคุณ "ทุน 90 ปี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย" กองทุนรัชดาภิเษกสมโภช ที่สนับสนุนทุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ แนะนำและให้ความรู้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และสมาชิกทุกคนในครอบครัวที่ช่วยสนับสนุน ส่งเสริม และเป็นกำลังใจที่ดีที่สุดแก่ผู้วิจัย จนทำให้การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้ประสบผลสำเร็จได้ตามที่ตั้งใจ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 สมบัติก๊าซแอมโมเนีย.....	4
2.1.1 ลักษณะทั่วไป.....	4
2.1.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมี.....	4
2.1.3 ลักษณะความเป็นพิษ.....	5
2.2 สมบัติก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	6
2.2.1 ลักษณะทั่วไป.....	6
2.2.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมี.....	6
2.1.3 ลักษณะความเป็นพิษ.....	6
2.3 การบำบัดทางชีวภาพ.....	8
2.4 เครื่องกรองชีวภาพ.....	10
2.5 กลไกการกรองชีวภาพ.....	11
2.5.1 การดูดซับ.....	11
2.5.2 การดูดซึม.....	12
2.5.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ.....	13
2.6 ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	15
2.7 ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	16

	หน้า
2.8 หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสม.....	16
2.8.1 ปริมาณธาตุอาหารอนินทรีย์.....	17
2.8.2 ปริมาณสารอินทรีย์.....	17
2.8.3 ลักษณะการดูดซับและความพรุน.....	17
2.8.4 การยึดเกาะของแบคทีเรีย.....	17
2.8.5 สมบัติทางกลศาสตร์.....	18
2.8.6 ค่าใช้จ่ายของวัสดุตัวกลางและการใช้งาน.....	18
2.8.7 การกำจัดตัวกลางที่หมดอายุการใช้งาน.....	18
2.9 ประเภทตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ.....	19
2.9.1 ตัวกลางดิน.....	19
2.9.2 ตัวกลางวัสดุหมัก.....	19
2.9.3 ตัวกลางสารอนินทรีย์.....	19
2.9.4 ตัวกลางสังเคราะห์.....	19
2.10 พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบเครื่องกรองชีวภาพ.....	21
2.10.1 ความลึกชั้นตัวกลาง.....	21
2.10.2 การเพาะเชื้อจุลินทรีย์.....	21
2.10.3 การป้อนอากาศ.....	22
2.10.4 การป้อนธาตุอาหารอนินทรีย์.....	22
2.10.5 ปริมาณความชื้น.....	22
2.10.6 อุณหภูมิ.....	23
2.10.7 ความเป็นกรดต่าง.....	23
2.10.8 ภาวะบรรทุก.....	23
2.10.9 ความดันลด.....	24
2.10.10 การบำบัดก๊าซก่อนเข้าระบบ.....	24
2.11 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	25
2.11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องกรองชีวภาพ.....	25
2.11.2 การบำบัดไฮระเหยสารประกอบอินทรีย์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ.....	25
2.11.3 การบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ.....	26
2.11.4 การบำบัดก๊าซแอมโมเนียด้วยเครื่องกรองชีวภาพ.....	27

	หน้า
2.11.5 การบำบัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วย เครื่องกรองชีวภาพ.....	28
2.11.6 การออกแบบเครื่องกรองชีวภาพสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลง ตัวกลาง.....	30
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	34
3.1 แผนการวิจัย.....	34
3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมี.....	35
3.2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดสอบสมบัติตัวกลาง.....	35
3.2.1.1 ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.2.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ.....	36
3.2.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการทดลองการกำจัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	37
3.2.2.1 เครื่องกรองชีวภาพ.....	38
3.2.2.2 ชุดการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	40
3.2.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการทดลองการกำจัดก๊าซ แอมโมเนีย.....	42
3.2.3.1 ชุดการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	43
3.2.4 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการทดลองการกำจัดก๊าซ แอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	45
3.2.4.1 ชุดการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	45
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	47
3.3.1 การทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลาง.....	47
3.3.2 การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	50
3.3.3 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	55
3.3.4 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์....	57
3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	59
3.4.1 เวลาที่กักเก็บ.....	59
3.4.2 ภาวะบรรจุทุก.....	60

	หน้า
3.4.3 ประสิทธิภาพการบำบัด.....	60
3.4.4 ความสามารถในการกำจัดสารมลพิษ.....	60
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย.....	61
4.1 การทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลางก่อนเริ่มการทดลอง.....	61
4.1.1 การกระจายขนาดอนุภาค.....	62
4.1.2 ความหนาแน่น.....	62
4.1.3 ความพรุน.....	63
4.1.4 ความชื้น.....	63
4.1.5 ความเป็นกรดต่าง.....	63
4.1.6 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ.....	63
4.1.7 ปริมาณธาตุอาหาร.....	64
4.1.8 สรุปสมบัติตัวกลาง.....	64
4.2 สภาวะการเดินระบบ.....	64
4.2.1 ความชื้นตัวกลาง.....	65
4.2.2 อุณหภูมิตัวกลาง.....	65
4.2.3 ความเป็นกรดต่างตัวกลาง.....	68
4.2.4 ความดันลดและการหลุดตัวตัวกลาง.....	69
4.3 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเดินระบบ.....	72
4.3.1 ความเข้มข้นก๊าซมลพิษ.....	72
4.3.2 ภาวะบรรจุทุกก๊าซมลพิษ.....	79
4.3.3 เวลาพัก.....	82
4.4 ผลกระทบที่เกิดขึ้น.....	86
4.4.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร.....	86
4.4.2 ปริมาณจุลินทรีย์.....	87
4.4.3 ปริมาณซัลเฟต.....	88
4.4.4 ปริมาณแอมโมเนียและไนเตรท.....	89
4.4.5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์.....	91
4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษจากทั้ง 3 การทดลอง.....	93
4.6 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัย.....	93

	หน้า
4.7 การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยที่ผ่านมา.....	95
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	98
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	98
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	101
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก. ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐานตัวกลาง.....	106
ภาคผนวก ข. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์.....	113
ภาคผนวก ค. ผลการทดสอบสมมติฐานตัวกลาง.....	123
ภาคผนวก ง. ผลการทดลองตัวแปรต่างๆ ของแต่ละการทดลอง.....	127
ภาคผนวก จ. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร.....	151
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	159

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติก๊าซแอมโมเนีย.....	4
2.2	ขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสแอมโมเนียได้ (Exposure Limit).....	5
2.3	ลักษณะความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนีย.....	5
2.4	สมบัติก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	6
2.5	ขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ (Exposure Limit).....	7
2.6	ลักษณะความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	7
2.7	ความสามารถในการย่อยสลายสารมลพิษต่างๆ ด้วยจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ.....	9
2.8	ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ (Bioreactors) สำหรับทำก๊าซเสียให้สะอาด.....	11
2.9	สรุปคุณสมบัติที่สำคัญของตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ.....	20
2.10	สภาวะการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพทั่วไป สำหรับบำบัดอากาศเสีย.....	25
2.11	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	31
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	37
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	42
3.3	วิธีทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลางที่เลือกใช้.....	47
3.4	การเก็บและการทดสอบสมบัติตัวกลาง.....	48
3.5	การเก็บและการทดสอบน้ำชะตัวกลาง.....	49
3.6	ความเข้มข้นของสารละลายไฮเดียมซัลไฟด์และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	52
3.7	ตัวแปรในการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	54
4.1	ลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง.....	62
4.2	ปริมาณธาตุอาหารตัวกลาง.....	64
4.3	ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ.....	87
4.4	ปริมาณจุลินทรีย์.....	88
4.5	ปริมาณซัลเฟอร์ในตัวกลางและซัลเฟตในน้ำชะตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ.....	89
4.6	ปริมาณแอมโมเนียในตัวกลางและในน้ำชะตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ....	90

ตารางที่		หน้า
4.7	ปริมาณไนเตรทในตัวอย่างและในน้ำชะตัวอย่างก่อนและหลังการเดินระบบ.....	91
4.8	สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยเพื่อใช้ในการออกแบบ.....	94
4.9	การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียกับงานวิจัยที่ผ่านมา.....	96
4.10	การเปรียบเทียบผลการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับงานวิจัยที่ผ่านมา.....	97
ข.1	การปฐมพยาบาลผู้ป่วยที่สัมผัสแอมโมเนีย.....	118
ข.2	การปฐมพยาบาลผู้ป่วยที่สัมผัสไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	122
ค.1	ผลการทดสอบความหนาแน่นของตัวอย่าง.....	124
ค.2	ผลการทดสอบความพรุนของตัวอย่าง.....	124
ค.3	ผลการทดสอบความชื้นของตัวอย่าง.....	125
ค.4	ผลการทดสอบขนาดคละตัวอย่างปุยหมัก.....	126
ง.1	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	128
ง.2	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	130
ง.3	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	132
ง.4	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการแปรผันอัตราส่วนก๊าซแอมโมเนียต่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	134
ง.5	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการแปรผันเวลากักพัก.....	135
ง.6	ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวอย่างจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	136
ง.7	ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวอย่างจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	138
ง.8	ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวอย่างจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	140
ง.9	อุณหภูมิและความเป็นกรดต่างของตัวอย่างจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	142

ตารางที่		หน้า
ง.10	คุณสมบัติและความเป็นกรดต่างของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	143
ง.11	คุณสมบัติและความเป็นกรดต่างของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	144
ง.12	ความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	145
ง.13	ความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	146
ง.14	ความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	147
ง.15	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	148
ง.16	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย.....	149
ง.17	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	150

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	กลไกการทำงานภายในเครื่องกรองชีวภาพ..... 10
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพและความเข้มข้นของมลพิษ... 14
2.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะกับความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ..... 15
3.1	แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย..... 34
3.2	วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง..... 36
3.3	เครื่องกรองชีวภาพ..... 39
3.4	ชุดทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 40
3.5	รูปชุดทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 41
3.6	ชุดทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย..... 43
3.7	รูปชุดทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย..... 44
3.8	ชุดทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 45
3.9	รูปชุดทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 46
3.10	เครื่องวัดอุณหภูมิตัวกลาง..... 49
3.11	เครื่องวัดความชื้นตัวกลาง..... 49
3.12	การสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 50
3.13	ปั๊มอากาศ..... 51
3.14	ปั๊มชนิดรีดสาย..... 51
3.15	เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 51
3.16	ผังการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 53
3.17	เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์..... 54
3.18	เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์..... 55
3.19	การสร้างก๊าซแอมโมเนีย..... 56
3.20	เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย..... 56
3.21	ผังการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย..... 57
3.22	ผังการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์..... 59

ภาพที่	หน้า	
4.1	ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าเครื่องกรองชีวภาพและความชื้นในตู้กลาง.....	66
4.2	อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิจากชั้นตู้กลางต่างๆ.....	67
4.3	ความเป็นกรดต่างที่ชั้นตู้กลางต่างๆ	70
4.4	ความดันลดที่ความสูงตู้กลาง 1.2 เมตร และการทรุดตัวของตู้กลาง.....	71
4.5	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	73
4.6	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ.....	74
4.7	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการทดลอง การกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	75
4.8	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการทดลอง การกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	76
4.9	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อัตราส่วนความ เข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า 100 : 100, 200 : 100 และ 100 : 200 ส่วนในล้านส่วน ที่ความสูงตู้กลาง 0.4 เมตร.....	78
4.10	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ความสูงตู้กลาง 0.4 เมตร.....	78
4.11	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ความสูงตู้กลาง 0.8 เมตร.....	79
4.12	อัตราการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ภาวะบรรทุกต่างๆ.....	80
4.13	อัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ภาวะบรรทุกต่างๆ.....	81
4.14	อัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ภาวะบรรทุกก๊าซ แอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่างๆ.....	82
4.15	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพัก 60 วินาที.....	83
4.16	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพัก 60 วินาที.....	84
4.17	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซ แอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน ที่ เวลากักพักและความสูงตู้กลางต่างๆ.....	85

ภาพที่	หน้า
4.18	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพักและความสูงตัวกลางต่างๆ..... 85
4.19	ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพักต่างๆ..... 86
4.20	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องทดลองและชั้นตัวกลางต่างๆ..... 92

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปีพุทธศักราช 2552 ปัญหามลพิษที่มีการร้องเรียนมายังกรมควบคุมมลพิษมากที่สุด คือ ปัญหาเรื่องกลิ่นเหม็น คิดเป็นร้อยละ 39.8 ของเรื่องร้องเรียนทั้งหมด (ควบคุมมลพิษ, 2552) โดยทั่วไปกลิ่นเหม็นที่พบมักมาจากก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซแอมโมเนีย เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นฉุนและทำให้เกิดการระคายเคือง ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นก๊าซพิษที่ไม่มีสีเช่นเดียวกับก๊าซแอมโมเนีย แต่มีกลิ่นเหม็นคล้ายกลิ่นไข่น้ำ และมีฤทธิ์กัดกร่อน ก๊าซพิษทั้งสองชนิดนี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของทั้งมนุษย์และสัตว์ โดยก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถพบพร้อมกันจากกระบวนการต่างๆ ในโรงงานแปรรูปอาหารทะเล โรงงานปลาป่น โรงงานกระดุกป่นและฟาร์มปศุสัตว์ เป็นต้น (โรงงานอุตสาหกรรม, 2547; Galera และคณะ, 2008)

การกำจัดก๊าซทั้งสองชนิดนี้สามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการทางกายภาพและเคมี เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ การดูดซึมด้วยน้ำและการเผาไหม้ แต่มีข้อเสียคือต้องใช้เงินลงทุนที่สูงและไม่เหมาะกับระบบที่มีความเข้มข้นก๊าซต่ำ

หลายปีที่ผ่านมาการบำบัดก๊าซมลพิษได้มุ่งความสนใจไปยังการบำบัดด้วยกระบวนการทางชีวภาพโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ (Biofilter) เพื่อกำจัดกลิ่นและไอระเหยของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งการกรองชีวภาพถือเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีสีเขียว (Green Technology) ที่ไม่ใช้สารเคมีและไม่ก่อให้เกิดมลพิษข้างเคียงต่อสิ่งแวดล้อม มีข้อดีเหนือกว่ากระบวนการบำบัดทางกายภาพและเคมีในด้านค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าการเดินระบบที่ต่ำกว่าแต่ให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงและเชื่อถือได้ (Auria และคณะ, 1998; Liang และคณะ, 2000) โดยกระบวนการทางชีวภาพนี้จะขึ้นอยู่กับความสามารถของจุลินทรีย์ในการเปลี่ยนสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่เป็นพิษให้มีความเป็นพิษลดลงและทำให้กลิ่นของสารประกอบนั้นลดลงเช่นกัน (Hort และคณะ, 2009) ตัวกลางที่นิยมใช้ในเครื่องกรองชีวภาพได้แก่ ปุ๋ยหมัก เนื่องจากเป็นวัสดุตัวกลางที่มีราคาถูก เป็นที่อาศัยของกลุ่มจุลินทรีย์ที่หลากหลายจึงทำให้สามารถบำบัดก๊าซมลพิษได้หลายชนิด นอกจากนี้ปุ๋ยหมักยังมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี (Pagans และคณะ, 2005)

ในการศึกษาการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ผ่านมา พบว่านิยมกำจัดเพียงก๊าซแอมโมเนีย หรือก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตัวใดตัวหนึ่ง (ณัฐพล รัตนมุขย์, 2549; เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551) แต่การศึกษาการบำบัดก๊าซมลพิษทั้งสองชนิดนี้ร่วมกันผ่านเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางในประเทศไทยยังมีอยู่น้อย

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเครื่องกรองชีวภาพมาใช้ในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พร้อมกัน โดยใช้ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางหลักของเครื่องกรองชีวภาพ ซึ่งจะศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซมลพิษนี้ที่ความเข้มข้นและระยะเวลาพักที่แตกต่างกัน รวมถึงศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพของตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพชนิดปุ๋ยหมักในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอากาศพร้อมกัน
2. เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซมลพิษและระยะเวลาพักที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพ
3. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านกายภาพ เคมีและชีวภาพของตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้องปฏิบัติการคุณภาพอากาศ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งมีขอบเขตในการวิจัยดังนี้

1. ก๊าซมลพิษที่ต้องการบำบัดได้แก่ ก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แปรผันความเข้มข้น 5 - 200 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร
2. ตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก เศษไม้และตะกอนจากการรีดตะกอนของโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน ผสมในอัตราส่วน 60 : 10 : 20 : 10 ตามลำดับ
3. ระยะเวลาพักพักก๊าซพิษแปรผันที่ 45 60 และ 75 วินาที
4. ระบบที่ใช้เป็นระบบป้อนอากาศเข้าจากทางด้านล่างของเครื่องกรองชีวภาพ (Up-flow)

operation)

5. พารามิเตอร์ของก๊าซที่ต้องการวัดได้แก่ ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

6. พารามิเตอร์ของตัวกลางที่ต้องการวัดได้แก่ อุณหภูมิ ความดันลด การหลุดตัว ความเป็นกรด่าง ความชื้น ปริมาณไนโตรเจน ปริมาณฟอสฟอรัส ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณแอมโมเนีย ปริมาณแอมโมเนียม ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรท ปริมาณซัลเฟอร์ ปริมาณซัลเฟต ปริมาณอินทรีย์วัตถุและปริมาณจุลินทรีย์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบสภาวะการเดินระบบและปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพชนิดบูยหมักในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2. เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อการใช้งานจริง

3. เป็นการนำประโยชน์จากวัสดุธรรมชาติเพื่อเป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติก๊าซแอมโมเนีย

2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ก๊าซแอมโมเนีย เป็นก๊าซที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นฉุนระคายเคือง

2.1.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

สมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซแอมโมเนียสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติก๊าซแอมโมเนีย

Characteristics/Properties	Information
CAS registry no.	7664-41-7
UN no.	1005
Formula	NH ₃
Molecular weight	17.031g/mol
Physical state	gas
Melting point	-77.7 °C
Boiling point	-33.35 °C
Vapor pressure at 20 °C	5900 mmHg
pH	11.6
Conversion factor	1 ppm = 0.70 mg/m ³

ที่มา: Occupational Safety and Health Administration (2003)

2.1.3 ลักษณะความเป็นพิษ

ก๊าซแอมโมเนียมีกลิ่นฉุนรุนแรง เป็นสารอันตรายเมื่อสัมผัส หรือสูดดมโดยตรง แต่ไม่เป็นพิษสะสม OSHA (2003) เสนอขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสก๊าซแอมโมเนียได้ตลอดการทำงาน 8 ชั่วโมง เท่ากับ 50 ส่วนในล้านส่วน แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสแอมโมเนียได้ (Exposure Limit)

หน่วยงาน	ขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ (ส่วนในล้านส่วน)	
	ระยะเวลาสัมผัส 15 นาที	การสัมผัสตลอดการทำงาน 8 ชั่วโมง
OSHA	-	50
ACGIH	35	25

ที่มา: Occupational Safety and Health Administration (2003)

ลักษณะของความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนียจากการสัมผัสของมนุษย์ที่ความเข้มข้น ก๊าซแอมโมเนียระดับต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะความเป็นพิษของก๊าซแอมโมเนีย

ความเข้มข้นก๊าซ แอมโมเนีย (สนล.)	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 ระคายเคืองรุนแรงต่อตา จมูกและลำคอ ถ้าสัมผัสถึง 30 นาที อาจเกิดการบาดเจ็บอย่างรุนแรง
3,000-4,000	ไออย่างรุนแรง ระคายเคืองอย่างรุนแรงต่อตา จมูก และลำคอ อาจตายได้
5,000-12,000	เกิดอาการหดรัดตัวของกล้ามเนื้อหัวใจ ขาดออกซิเจนอย่างรวดเร็วตาย ภายในไม่กี่นาที

ที่มา: Occupational Safety and Health Administration (2003)

2.2 สมบัติก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.2.1 ลักษณะโดยทั่วไป

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่ไม่มีสี มีกลิ่นคล้ายกลิ่นของไข่เน่าที่ความเข้มข้นต่ำ ส่วนที่ความเข้มข้นสูงๆ จะมีกลิ่นหวาน (Sweetish odor) (OSHA, 1995)

2.2.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

สมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สมบัติก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Characteristics/Properties	Information
CAS registry no.	7783-06-4
UN no.	1053
Formula	H ₂ S
Molecular weight	34.08 g/mol
Physical State	Gas
Melting point	-85.49 °C
Boiling point	-60.33 °C
Vapor pressure at 20 °C	20 mmHg
Conversion factor	1 ppm = 1.39 mg/m ³

ที่มา: United States Environmental Protection Agency (2004)

2.2.3 ลักษณะความเป็นพิษ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารพิษที่มีฤทธิ์รุนแรงและเป็นก๊าซที่ทำให้เกิดการระคายเคืองที่ตาและระบบทางเดินหายใจ โดยเมื่อหายใจเข้าไปจะทำให้ปวดบริเวณจมูกและลำคอ ในกรณีที่ได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นสูงๆ อาจทำให้เสียชีวิตโดยเฉียบพลัน (OSHA, 1995) โดยมีขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ (Exposure Limit)

หน่วยงาน	ขีดจำกัดที่ยอมรับให้สัมผัสได้ (ส่วนในล้านส่วน)	
	ระยะเวลาสัมผัส 15 นาที	การสัมผัสจากการทำงาน 8 ชั่วโมง
ACGIH	15	10

ที่มา: Occupational Safety and Health Administration (1995)

สำหรับ OSHA ได้กำหนดค่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ไม่ควรเกินระหว่างการสัมผัสขณะทำงาน (OSHA Ceiling) มีค่าเท่ากับ 20 ส่วนในล้านส่วน และความเข้มข้นสูงสุด (Peak) ที่รับได้ในระยะเวลาสัมผัส 10 นาที เท่ากับ 50 ส่วนในล้านส่วน ลักษณะของความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการสัมผัสของมนุษย์ที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ระดับต่างๆ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ลักษณะความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สนล.)	อาการที่ปรากฏ
0.13	เริ่มได้กลิ่น
10	เริ่มมีอาการระคายเคืองที่ตา
50-100	ระบบทางเดินหายใจเกิดอาการระคายเคืองเล็กน้อย หลังสัมผัส 1 ชั่วโมง
100-200	เกิดอาการระคายเคืองที่ตา ไส้ เยื่อเยื่อประสาทสัมผัสการรับกลิ่น หลังสัมผัสเป็นเวลา 2-15 นาที จะเจ็บปวดบริเวณตาลำคอ เมื่อสัมผัสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
200-300	เกิดอาการระคายเคืองที่ระบบทางเดินหายใจมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณลำคอ เมื่อสัมผัสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
500-700	หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ หลังสัมผัสก๊าซเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ระบบทางเดินหายใจหยุดการทำงาน หมดสติ และเสียชีวิต โดยเฉียบพลัน หลังสัมผัสก๊าซ
700-1000	เฉียบพลัน หลังสัมผัสก๊าซ

ที่มา: Occupational Safety and Health Administration (1995)

2.3 การบำบัดทางชีวภาพ (Biological treatment)

การบำบัดทางชีวภาพ เป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในการบำบัด โดยจุลินทรีย์จะช่วยในการเปลี่ยนอากาศเสียให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำและมวลชีวภาพ หลักการคือ ก๊าซเสียที่เข้ามาในระบบจะถูกดักจับโดยจุลินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้ก๊าซเสียนี้เป็นอาหารเพื่อทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเป็นพลังงานให้กับเซลล์

สารมลพิษที่บำบัดได้ทางชีวภาพนั้น จะต้องเป็นสารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งลักษณะทั่วไปของสารมลพิษที่สามารถใช้ในระบบนี้คือ น้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีโครงสร้างพันธะง่าย ๆ เนื่องจากถ้าสารมลพิษมีโครงสร้างพันธะที่ซับซ้อน จะทำให้ต้องใช้พลังงานมากในการย่อยสลาย ซึ่งพลังงานนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถหาเองได้ ดังนั้นจึงทำให้ไม่เกิดการย่อยสลายสารมลพิษขึ้น (Devanny และคณะ, 1999) ตัวอย่างสารมลพิษที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย ได้แก่ ฟีนอล โทลูอีน เอมีน อนิลีน แอมโมเนียและไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นต้น ดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ความสามารถในการย่อยสลายสารมลพิษต่างๆ ด้วยจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ

Contaminant	Biodegradability	Contaminant	Biodegradability
<i>Aliphatic hydrocarbons</i>		<i>Sulfur-containing^b carbon compounds</i>	
Methane	1	Carbon disulfide	2
Propane	?	Dimethyl sulfide	2
Butane	?	Dimethyl disulfide	2
Pentane	1	Methyl mercaptan	1
Isopentane	1	Thiocyanated	1
Hexane	2		
Cyclohexane	1	<i>Oxygenated carbon compounds</i>	
Acetylene	1	Alcohols	3
		Methanol	3
<i>Aromatic hydrocarbons</i>		Butanol	3
Benzene	2	2-Butanol	3
Phenol	3	1-Propanol	3
Toluene	3	2-Propanol	3
Xylene	2	Aldehydes	3
Styrene	3	Formaldehyde	3
Ethylbenzene	3	Acetaldehyde	3
		Carbonic acids (ester)	3
<i>Chlorinated hydrocarbons</i>		Butyric acid	3
Carbon tetrachloride	1	Vinyl acetate	2
Chloroform	1	Ethyl acetate	3
Dichloromethane	3	Buthyl acetate	3
Bromodichloromethane	?	Isobuthyl acetate	3
1,1,1-Trichloroethane	?	Ethers	1
1,1-Dichloroethane	?	Diethyl ether	1
Tetrachloroethane	1 ^a	Dioxane	1
Trichloroethane	1 ^a	Methy tert-butyl ether	1
1,2-Dichloroethane	?	Tetrahydrofuran	3
Vinyl chloride	1	Ketones	3
1,2-Dichlorobenzene	?	Acetone	3
Chlorotoluene	1	Methyl ethyl ketone	3
		Methyl isobutyl ketone	3
<i>Nitrogen-containing carbon compounds</i>		<i>Inorganic^b compounds</i>	
Amines	3	<u>Ammonia</u>	3
Aniline	3	<u>Hydrogen sulfide</u>	3
Nitriles	1	Nitrogen oxide	1
Acylonitrile	?		
Pyridine	1		

^a indicates that cometabolism of anaerobic treatment has been identified within a biofilter

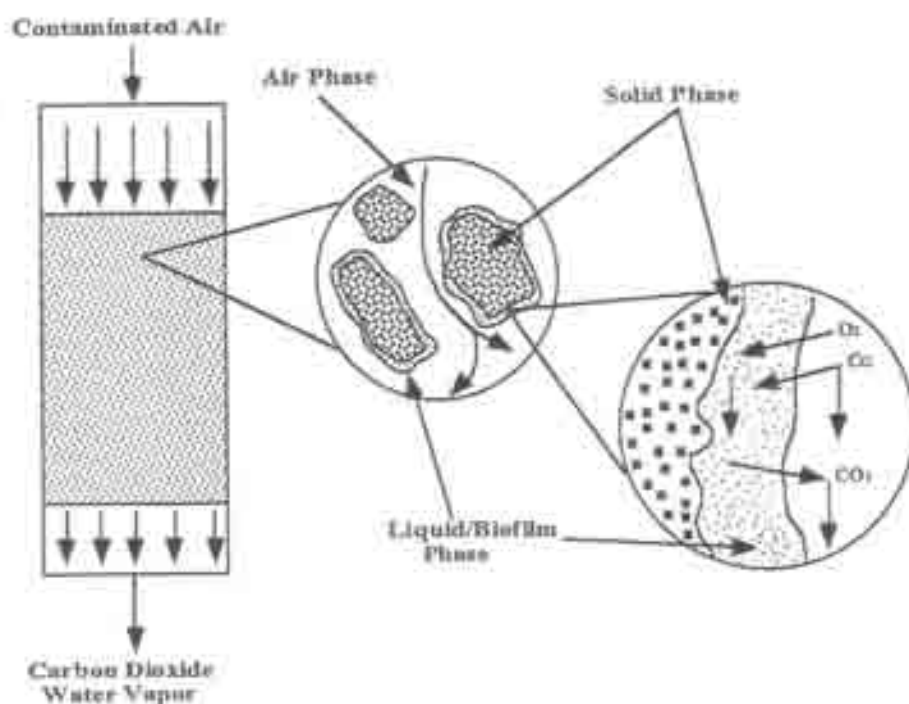
^b indicates that a change in filter bed pH may occur with treatment of these compounds. This change may negatively performance.

Note: 1 = some biodegradability; 2 = moderate biodegradability; 3 = good biodegradability; ? = unknown.

ที่มา: Devinny และคณะ (1999)

2.4 เครื่องกรองชีวภาพ (Biofilter)

Devinny และคณะ (1999) กล่าวถึงการกรองชีวภาพว่าเป็นกระบวนการใช้จุลินทรีย์ยึดเกาะบนตัวกลางที่มีความพรุน เพื่อทำการย่อยสลายมลพิษที่มีอยู่ในอากาศ โดยที่จุลินทรีย์เติบโตภายในฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บนผิวของตัวกลางหรือแขวนลอยภายในน้ำบริเวณรอบๆ วัสดุตัวกลาง มลพิษในอากาศจะถูกดูดซับเข้าสู่ภายในฟิล์มชีวภาพและวัสดุตัวกลาง โดยมลพิษจะถูกย่อยสลายทางชีวภาพต่อไป ภายในเครื่องกรองชีวภาพจะมีกลไกร่วมกันซึ่งประกอบด้วย การดูดซึม (Absorption) การดูดซับ (Adsorption) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Degradation) และการคายสารออก (Desorption) ของก๊าซมลพิษ และอาจจะต้องมีการเติมน้ำเพื่อรักษาปริมาณความชื้น ตลอดจนการเติมธาตุอาหารให้กับจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 กลไกการทำงานภายในเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา: Devinny และคณะ (1999)

เครื่องกรองชีวภาพที่มีประสิทธิภาพนั้น ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของตัวกรองที่ใช้ซึ่งประกอบด้วย ความพรุน ระดับการอัดตัว ความสามารถการกักเก็บน้ำ และความสามารถในการ

อยู่อาศัยของกลุ่มจุลินทรีย์ พารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมประกอบด้วย การเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์ ความ เป็นกรดต่างของตัวกรอง อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และธาตุอาหาร เป็นต้น (ตารางที่ 2.8)

ตารางที่ 2.8 ชนิดของเครื่องปฏิกรณ์ชีวภาพ (Bioreactors) สำหรับทำก๊าซเสียให้สะอาด

Reactor type	Microorganisms	Water phase
Biofilter	Fixed	Stationary
Biotrickling filter	Fixed	Flowing
Bioscrubber	Suspended	Flowing

ที่มา: Devanny และคณะ (1999)

2.5 กลไกการกรองชีวภาพ (Mechanisms of biofiltration)

2.5.1 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ เป็นการถ่ายเทมวลสารมลพิษจากอากาศไปสู่น้ำและของแข็งในเครื่องกรอง ชีวภาพเป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการกำจัดมลพิษ ทั้งนี้การดูดซับภายในเครื่องกรองชีวภาพ อธิบาย ได้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ 2 ชนิดคือ

1. การดูดซับบนตัวกลาง อธิบายตาม Freundlich Model

โดย Freundlich Model มีสมมติฐานว่า พื้นที่สำหรับการดูดซับมีไม่จำกัดและ ปริมาณสารมลพิษที่ถูกดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำ

$$\text{สมการ} \quad C_s = k_f C_e^{1/n} \quad (2.1)$$

โดยที่ C_s = มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ (กรัม/กรัม)

C_e = ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะ สมดุล (กรัม/ลบ.ม.)

n = ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง

k_f = ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับของ Freundlich

2. การดูดซับบนตัวกลาง อธิบายตาม Langmuir Model

โดย Langmuir Model มีสมมติฐานว่า ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ถูกดูดซับจะสมดุลทางเคมีกับความเข้มข้นของสารมลพิษที่ละลายน้ำและการดูดซับมีพื้นที่จำกัด ถ้าความเข้มข้นในน้ำ (C_e) มีค่าน้อย การดูดซับ (C_s) ก็จะไม่เกิดขึ้น และเมื่อความเข้มข้นในน้ำมีค่ามากก็จะมีค่าการดูดซับมาก ซึ่งในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องกรองชีวภาพนั้น ควรพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) ของตัวกลางที่ใช้เพื่อการออกแบบและเลือกใช้ชนิดของวัสดุตัวกลางที่เหมาะสม

$$\text{สมการ} \quad q = q_{\max} \frac{bC_e}{1+bC_e} \quad (2.2)$$

โดยที่ q	=	มวลของสารมลพิษที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ (กรัม/กรัม)
q_{\max}	=	ค่าสัมประสิทธิ์อิ่มตัว (ลบ.ม.)
C_e	=	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล (กรัม/ลบ.ม.)
b	=	$\frac{1}{K_L}$ เมื่อ K_L = ค่าคงที่ของ Langmuir

2.5.2 การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึม คือ การถ่ายเทมวลโดยการแพร่หรือการพา ซึ่งเกิดในสภาวะเดียวกันหรือต่างสภาวะ จะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยในแต่ละสภาวะไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล ปกติระบบจะพยายามปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลในที่สุด โดยทั่วไปกลไกการดูดซึมมีอยู่ 2 ส่วน คือ

1. ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความสามารถในการละลายนั้นใช้การวัดที่สภาวะสมดุล โดยวัดปริมาตรก๊าซและของเหลวในภาชนะปิด และตั้งทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง จนปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซึมเข้าไปในของเหลวเท่ากับปริมาณสารละลายที่ได้ ณ จุดนี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสารอีก และความเข้มข้นของก๊าซในส่วนที่เป็นก๊าซ และในของเหลวจะคงที่คือ ระบบก๊าซ-ของเหลวเกิดสมดุล

กฎของเฮนรี (Henry's law) สามารถใช้ทำนายความสามารถในการละลาย เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายถูกทำให้เจือจางลงมาก (McCabe และ Smith, 1967) ดังสมการที่

$$C = K_h P \quad (2.3)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำ (โมล/ลิตร)
 P = ความดันย่อยของก๊าซ (บรรยากาศ)
 K_h = ค่าคงที่ของเฮนรี (โมล/ลิตร-บรรยากาศ)

2. การถ่ายเทมวลของก๊าซสู่ของเหลว

หลักการถ่ายเทมวลได้พัฒนาเป็นทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two-film theory) อธิบายการถ่ายเทมวลของก๊าซ-ของเหลวอย่างง่ายที่ใช้กว้างขวาง ประกอบด้วย 3 ชั้นคือ

1. การถ่ายเทมวลจากสถานะก๊าซไปยังผิวสัมผัสของก๊าซ-ของเหลว
2. การถ่ายเทข้ามผิวสัมผัสเข้าไปยังฟิล์มของเหลว
3. การถ่ายเทจากฟิล์มของเหลวเข้าไปยังสถานะของเหลว

ทฤษฎีนี้อ้างสมมติฐานดังนี้คือ

มีฟิล์มแต่ละข้างของผิวสัมผัส (ฟิล์มด้านก๊าซและฟิล์มด้านของเหลว) อัตราการถ่ายเทมวลถูกควบคุมโดยอัตราการแพร่ผ่านฟิล์มของก๊าซและของเหลว รวมถึงความต้านทานของผิวสัมผัสสำหรับการถ่ายเทมวลน้อยมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานของฟิล์มก๊าซและของเหลว

2.5.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation)

ในเครื่องกรองชีวภาพ จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตบนผิวของตัวกลางและสร้างชั้นฟิล์ม (Biofilm) และทำการย่อยสลายสารมลพิษให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอันตราย โดยกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ฟิล์มจุลินทรีย์จะเป็นฟิล์มบางๆ อยู่ระหว่างของแข็งและก๊าซ ซึ่งการกรองทางชีวภาพจะมีประสิทธิภาพดีเมื่อชั้นฟิล์มชีวภาพมีความหนา 1 - 5 มิลลิเมตร

จลนศาสตร์ (Kinetic) คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณอัตราการย่อยสลายสารมลพิษทางชีวภาพและอัตราการเกิดของมวลชีวภาพ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพิจารณาค่าทางจลนศาสตร์คือ Michaelis-Menten equation เป็นดังสมการ 2.4

$$\frac{dC_L}{dt} = \frac{k_{max} C_L}{K_S + C_L} \quad (2.4)$$

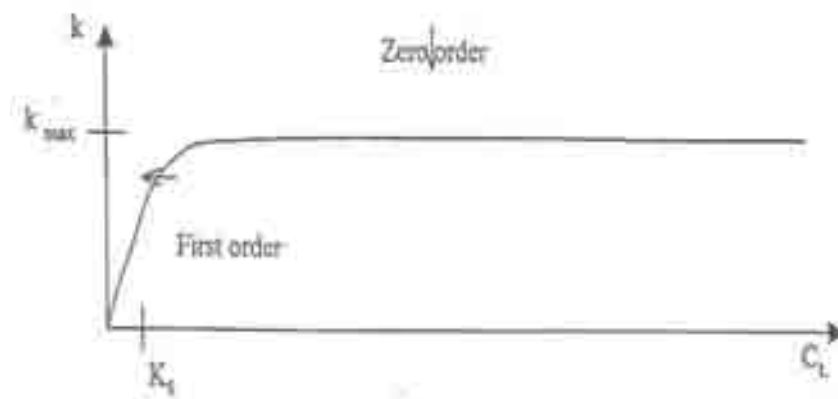
โดยที่ C_L = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ (โมล/ลิตร)

$$k_{\max} = \text{อัตราการย่อยสลายสูงสุด (โมล/ลิตร-วินาที)}$$

$$K_s = \text{Half-saturation constant (โมล/ลิตร)}$$

เมื่อความเข้มข้นของสารมลพิษ (C_L) มากกว่าค่าคงที่การอิ่มตัว (K_s) มากๆ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะเท่ากับอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพสูงสุด (k_{\max}) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ หมายความว่าอัตราการย่อยสลายไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษ แต่เมื่อสารมลพิษมีความเข้มข้นต่ำปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง

สำหรับการกรองชีวภาพจะพบว่าบริเวณทางเข้าของก๊าซจะเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เนื่องจากก๊าซมลพิษเข้าจะมีความเข้มข้นสูง แต่เมื่อก๊าซมลพิษได้รับการบำบัดทำให้มีความเข้มข้นลดต่ำลง ดังนั้นบริเวณที่ห่างจากทางเข้าออกไปจะกลายเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง



ภาพที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพและความเข้มข้นของมลพิษ
ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พิจารณาได้จากสมการที่ 2.5

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad (2.5)$$

โดยที่ x = ความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ (มก./ล.)

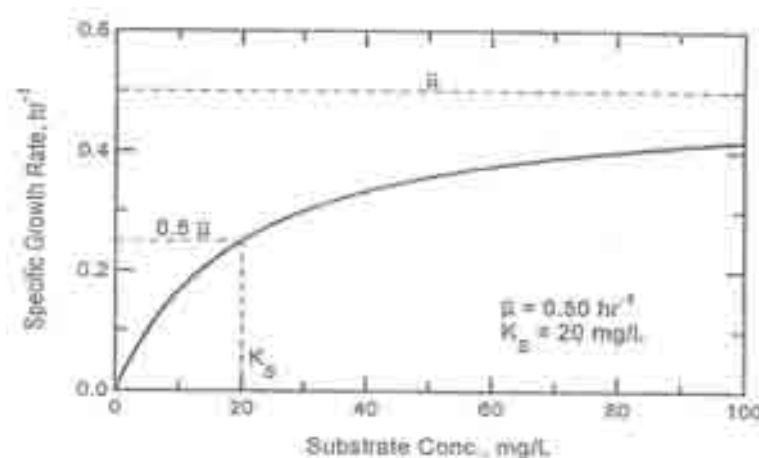
μ = ค่าสัมประสิทธิ์ของการเติบโตจำเพาะ (1/วินาที)

การคำนวณหาค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะ ใช้ความสัมพันธ์ของ Monod ดังสมการที่ 2.6

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_s + S} \quad (2.6)$$

โดยที่ S = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ

μ_{\max} = ค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด



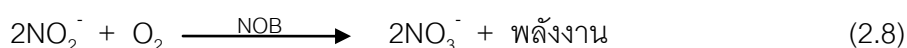
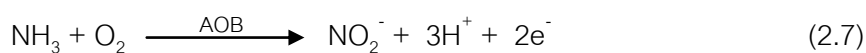
ภาพที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะกับความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ
ที่มา : Grady และคณะ(1999)

2.6 ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดแอมโมเนีย

การกำจัดก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้นโดยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) (U.S. EPA, 2002) ในสภาวะที่มีออกซิเจน ซึ่งเป็นกระบวนการออกซิไดซ์แอมโมเนียที่มีความเป็นพิษสูงให้เป็นไนไตรท์และไนเตรท โดยอาศัยการทำหน้าที่ของแบคทีเรียกลุ่ม Autotrophic 2 ชนิด ได้แก่

1. แบคทีเรียกลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) เช่น Nitrosomonas ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียให้เป็นไนไตรท์
2. แบคทีเรียกลุ่ม Nitrite oxidizing bacteria (NOB) เช่น Nitrobacter ทำหน้าที่ออกซิไดซ์ไนไตรท์ที่เกิดขึ้นจากการย่อยของแบคทีเรียกลุ่มแรกไปเป็นไนเตรท

โดยที่ Autotrophic bacteria ทั้ง 2 ชนิดนี้ ทำหน้าที่ออกซิไดซ์แอมโมเนียเป็นไนไตรท์และไนเตรทในสภาวะแอโรบิก (Aerobic) และได้พลังงานออกมา แบคทีเรียกลุ่มนี้จะใช้พลังงานที่ได้ไปดึงคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้เป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon source) ต่อไป สมการการย่อยสลายดังสมการที่ 2.7 และ 2.8

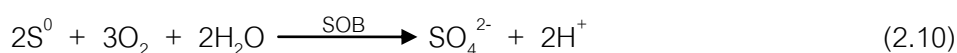
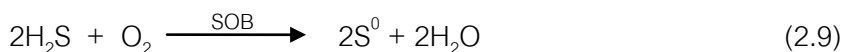


2.7 ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์กลุ่ม Sulfur oxidizing bacteria (SOB) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม (Zicari, 2003) ดังนี้

1. กลุ่ม Colorless sulfur bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) เช่น แบคทีเรียสกุล Thiobacillus, Beggiatoa, Thiothrix เป็นต้น
2. กลุ่ม Green sulfur bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) และเป็นจุลินทรีย์ที่สังเคราะห์แสง เช่น แบคทีเรียสกุล Chlorobium เป็นต้น
3. กลุ่ม Purple sulfur bacteria เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) และเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่สังเคราะห์แสง เช่น แบคทีเรียสกุล Chromatium, Thiocapsa เป็นต้น

จุลินทรีย์กลุ่ม Colorless sulfur bacteria เป็นกลุ่มที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในสภาวะที่มีออกซิเจน โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีข้อดี คือ มีอัตราการเจริญเติบโตสูงและไม่ต้องการแสงในการเจริญเติบโต เช่น แบคทีเรียสกุล Thiobacillus ซึ่งเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักในการออกซิไดซ์ซัลไฟด์ (Sulfide oxidation) ปฏิกิริยาซัลไฟด์ออกซิเดชันดังสมการที่ 2.9 และ 2.10



ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยานี้ จะประกอบด้วย ซัลเฟตและไฮโดรเจนไอออน ซึ่งจะรวมตัวกันอยู่ในรูปของกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) เป็นผลให้ความเป็นกรดต่างลดลง ดังนั้นในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงควรคำนึงถึงจุดนี้ด้วย

2.8 หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสม

Devanny และคณะ (1999) ได้เสนอแนะหลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสมกับเครื่องกรองชีวภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.8.1 ปริมาณธาตุอาหารอนินทรีย์ (Inorganic nutrient content)

ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซัลเฟตในปริมาณที่สูง เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการก่อให้เกิดจุลินทรีย์ที่หนาแน่น ในเวลานี้มีข้อมูลน้อยมากเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหาร และวัฏจักรการให้ธาตุอาหารของระบบเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะมีแต่เพียงการเติมอาหาร โดยใช้การสเปรย์น้ำที่มีธาตุอาหารลงบนตัวกลาง แต่ใช้เพียงแค่ตอนเริ่มต้นของการเดินระบบเท่านั้น อย่างไรก็ตามในบางกรณีจะมีการเติมธาตุอาหารในระหว่างการดำเนินงานด้วย

2.8.2 ปริมาณสารอินทรีย์ (Organic content)

ในหลายกรณีเครื่องกรองชีวภาพจะมีการบำบัดก๊าซมลพิษแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากการผลิตเปลี่ยนหมุนเวียนตัวกลางหรือหยุดการทำงานในช่วงสุดสัปดาห์ มวลชีวภาพและสารอินทรีย์ที่ดูดซึมได้ จะเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในช่วงหยุดระบบ ปกติแล้ววัสดุตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะมีปริมาณสารอินทรีย์มาก ดังนั้นวัสดุตัวกลางชนิดนี้จึงไม่ต้องการเติมมวลสารอินทรีย์เข้าไปในระบบอีกเมื่อหยุดการทำงานของระบบ

2.8.3 ลักษณะการดูดซับและความพรุน (Sorption characteristics, porosity)

การดูดซับสารมลพิษไปยังวัสดุตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ วัสดุตัวกลางที่ใช้ควรมีสมบัติในการดูดซับสารมลพิษได้อย่างเพียงพอและยังสามารถบำบัดสารมลพิษได้อย่างต่อเนื่อง ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบแบบผันแปร กระบวนการดูดซับสารมลพิษไปยังตัวกลางควรจะมีบทบาทสำคัญในการลดความเข้มข้นของสารมลพิษที่สูงให้เจือจาง

โดยส่วนมากแล้วตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน ควรจะมีความพรุนหรือปริมาตรช่องว่างประมาณ 40 - 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอากาศจะเคลื่อนที่ได้ดีและความดันดลที่เกิดขึ้นน้อยลง การบรรจุตัวกลางควรจะทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากสำหรับให้จุลินทรีย์อาศัยอยู่ได้ และมีการถ่ายเทสารมลพิษเกิดขึ้นได้

2.8.4 การยึดเกาะของแบคทีเรีย (Bacterial attachment)

วัสดุตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพควรมีสมบัติในการยึดเกาะจุลินทรีย์ จากงานวิจัยได้พบว่าตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ ควรจะมีผิวขรุขระ มีความพรุน และเก็บกักน้ำไว้ได้ เพื่อที่จะทำให้จุลินทรีย์สามารถเติบโตได้ พื้นที่ผิวขรุขระเป็นสมบัติที่สำคัญที่ตัวกลางควรมี

เพื่อที่จะเป็นการป้องกันจุลินทรีย์จากแรงเฉือนทางชลศาสตร์ (Hydraulic shear) สำหรับตัวกลางที่เป็นวัสดุสังเคราะห์บางครั้งอาจมีการใช้สารเคมีทำการชะล้าง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเมือกจุลินทรีย์ (Slime growth) ที่เป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดการอุดตัน

2.8.5 สมบัติทางกลศาสตร์ (Mechanical properties)

วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพควรจะใช้ได้นาน ไม่เกิดการอุดตันและหลุดตัว โดยสมบัติสำคัญที่เป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของโครงสร้างตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ คือ ความหนาแน่นของวัสดุตัวกลาง กล่าวคือเมื่อวัสดุตัวกลางมีความหนาแน่นมากจะเป็นนัยสำคัญว่าวัสดุดังกล่าวมีโครงสร้างที่แข็งแรง ดังนั้น วัสดุตัวกลางที่แข็งแรงจึงสามารถสร้างเครื่องกรองชีวภาพที่มีความสูงมากๆ ได้ ด้วยเหตุนี้ถึงปฏิบัติการจึงมีปริมาตรมากขึ้น รวมทั้งสามารถทำให้ออกสร้งในพื้นที่จำกัดได้ จึงเป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบลดลง ปกติแล้ววัสดุตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะมีความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ 300 - 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนวัสดุตัวกลางที่เป็นดินจะมีความหนาแน่นประมาณ 1,000 - 2,600 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.8.6 ค่าใช้จ่ายของวัสดุตัวกลางและอายุการใช้งาน (Packing cost and lifetime)

วัสดุตัวกลางที่ใช้ควรใช้งานได้อย่างน้อย 2 - 4 ปี ก่อนจะถึงเวลากำจัด และราคาวัสดุตัวกลางควรจะน้อยเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในด้านอื่นๆ รวมถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการควรจะต่ำ การเปลี่ยนตัวกลางใหม่เป็นสิ่งจำเป็นเมื่อประสิทธิภาพการกำจัดต่ำลงกว่าค่าที่ยอมรับได้และเมื่อค่าความดันลดลงสูงมาก

2.8.7 การกำจัดตัวกลางที่หมดอายุการใช้งาน (Packing disposal)

วัสดุตัวกลางที่ใช้แล้วไม่ควรเป็นขยะอันตราย และควรกำจัดได้ด้วยวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย เช่น การผสมกับดิน (Land farming)

2.9 ประเภทของตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ

2.9.1 ตัวกลางดิน (Soil media)

ดินนับเป็นตัวกลางแบบแรกที่ถูกนำไปใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ ดินที่มีความเหมาะสมที่สุดในการเดินระบบบำบัดกลิ่น หรือสารอินทรีย์ระเหยง่ายควรจะเป็นดินที่อุดมสมบูรณ์ (Loam) ส่วนดินเหนียวไม่เหมาะที่จะนำมาผสมในเครื่องกรองชีวภาพ

2.9.2 ตัวกลางวัสดุหมัก (Compost-based media)

ตัวกลางวัสดุหมัก เช่น ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางที่นิยมใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ เนื่องจากเป็นวัสดุราคาถูกและมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบสูง วัสดุหมักมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี และมีความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี แต่มีข้อเสียคือ สามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางใหม่อยู่เสมอ

2.9.3 ตัวกลางสารอนินทรีย์ (Inorganic media)

สารอนินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์ จะมีข้อดีเหนือกว่าระบบที่ใช้วัสดุปุ๋ยหมัก ในด้านอายุการใช้งานของตัวกลางและมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่า ทำให้สามารถลดขนาดของระบบลงได้ แต่มีข้อเสีย คือ ราคาสูงกว่า

2.9.4 ตัวกลางสังเคราะห์ (Synthetic media)

ตัวกลางสังเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปจะทำจากวัสดุ อาทิเช่น พลาสติก ถ่านกัมมันต์ โพลีโพรพิลีน เป็นต้น โดยวัสดุตัวกลางชนิดนี้จะมีสมบัติที่โครงสร้างของตัวกลางมีความแข็งแรง อายุการใช้งานยาวนาน แต่มีข้อด้อยคือ ตัวกลางชนิดนี้จะไม่มีความสามารถในการกักเก็บน้ำและธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ดังนั้นตัวกลางประเภทนี้จึงต้องมีการเติมน้ำและธาตุอาหารให้ระบบอย่างสม่ำเสมอ เป็นผลให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของระบบค่อนข้างสูง สรุปผลเปรียบเทียบสมบัติของตัวกลางประเภทต่างๆ ดังในตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 สรุปคุณสมบัติที่สำคัญของตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ

	Soil	Compost	Activated carbon, perlite, and other inert material	Synthetic material
Indigenous microorganisms population density	High	High	None	None
Surface area	Low-medium	Medium	High	High
Air permeability	Low	Medium	Medium-high	Very high
Assimilable nutrient content	High	High	None	None
Pollutant sorption capacity	Medium	Medium	Low-high	None to high ^c , very high ^a
Lifetime	>30 years ^b	2-4 years	>5 years	>15 years
Cost	Very low	Low	Medium-high ^a	Very high
General applicability	Easy, low-activity biofilter	Easy, cost effective	Need nutrient, may be expensive	Prototype only of biotrickling filters

^a Activated carbon

^b Bohn (1988, 1996)

^c Synthetic coated with activated carbon

ที่มา: Devinny และคณะ (1999)

2.10 พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบ

Schnelle และ Brown (2002) ได้กล่าวว่าการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพสามารถออกแบบได้หลายรูปแบบ แต่หน้าที่การทำงานจะเหมือนกัน เครื่องกรองชีวภาพสามารถออกแบบได้ทั้งแบบปิดและแบบเปิด หรือเป็นการติดตั้งด้วยการขุดเปิดหน้าดิน หรือเป็นแบบถังปฏิกรณ์ โดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของเครื่องกรองชีวภาพจะประกอบด้วย ชั้นตัวกลาง (Media packed bed) ระบบกระจายอากาศ (Air distribution system) เครื่องทำความชื้น (Humidifier) และเครื่องจ่ายอากาศ (Blower) ส่วนอุปกรณ์ทางเลือกเสริมของเครื่องกรองชีวภาพนั้นประกอบด้วย อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange chamber) เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับระบบ และระบบกระจายน้ำ (Water sprinkler system) ซึ่งใช้ในการควบคุมความชื้นของพื้นผิวชั้นตัวกลาง

2.10.1 ความลึกของชั้นตัวกลาง

ความลึกของชั้นตัวกลางเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะมีความลึกอยู่ที่ 0.5 - 2.5 เมตร ซึ่งปกติในการออกแบบจะกำหนดความลึกอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร เพื่อเป็นการป้องกันการอุดตันของชั้นตัวกลาง

2.10.2 การเพาะเชื้อจุลินทรีย์

การเพาะเชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพเป็นสิ่งจำเป็น โดยทั่วไปตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมักจะไม่จำเป็นต้องมีการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากภายในตัวกลางมีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามการเติมเชื้อจุลินทรีย์ก็ยังเป็นสิ่งที่ควรปฏิบัติ เพราะจะทำให้ระยะเวลาในการเดินระบบลดลง และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ โดยปกติแล้วหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ ได้แก่ ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)

การเริ่มเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 10 วัน เพื่อให้เวลาจุลินทรีย์ในการปรับตัวต่อสารมลพิษที่เข้ามาในระบบ ในกรณีที่สารมลพิษเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนการปรับตัวของจุลินทรีย์จะต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น

2.10.3 การป้อนอากาศ

ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ ปกติแล้ว จะทำการป้อนอากาศให้กับเครื่องกรองชีวภาพในสัดส่วน อัตราไหลอากาศต่ออัตราไหลก๊าซมลพิษ เท่ากับ 100 ส่วนต่อ 1 ส่วน ทั้งนี้เพื่อต้องการให้มีออกซิเจนมากเกินไป (Excess oxygen) ในเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และ ยังเป็นการป้องกันการเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic process) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดกลิ่นเหม็นในเครื่องกรองชีวภาพ

2.10.4 การป้อนธาตุอาหารอนินทรีย์

การป้อนธาตุอาหารอนินทรีย์ อาทิเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ การเติมธาตุอาหารอนินทรีย์โดยทั่วไปสำหรับตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมักช่วงเริ่มต้นจะมีอัตราส่วนดังนี้ ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม อยู่ในช่วง 0.4 : 0.15 : 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.10.5 ปริมาณความชื้น

ปริมาณความชื้นเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่จะทำให้การเดินระบบประสบความสำเร็จได้ โดยทั่วไปก๊าซมลพิษที่เข้าระบบจะทำให้ชั้นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพแห้ง จึงทำให้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพการทำงานลดลง เป็นผลให้ก๊าซที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดไหลออกสู่สภาพแวดล้อมภายนอก ส่วนในกรณีที่มีความชื้นอยู่ในชั้นตัวกลางมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดเขตไร้อากาศ (Anaerobic zone) ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่น และทำให้เกิดความดันลมมากขึ้น ปริมาณความชื้นในชั้นตัวกลางโดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ระหว่าง 20 - 60 เปอร์เซ็นต์

การเพิ่มความชื้นให้กับระบบสามารถทำได้ 2 ทางคือ การเพิ่มความชื้นแก่ก๊าซก่อนเข้าระบบ ปกติความชื้นของก๊าซควรมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มความชื้นโดยตรงบริเวณผิวหน้าของชั้นกรอง วิธีการนี้ควรระมัดระวังเรื่องขนาดของหยดน้ำ เพราะถ้าหยดน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป อาจจะทำให้เกิดการอุดตันของชั้นตัวกลาง ปกติขนาดของหยดน้ำที่ใช้ควรมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ภาวะบรรทุกน้ำสูงสุดจะอยู่ที่ 0.021 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง

2.10.6 อุณหภูมิ

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการทำงานและการเจริญเติบโตจะอยู่ที่ประมาณ 10 - 40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเป็นผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะเป็นผลให้จุลินทรีย์ทำงานลดลง ดังนั้นในฤดูหนาวจึงจำเป็นต้องมีการทำความร้อนให้กับก๊าซที่จะเข้าระบบเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่วนในกรณีที่ก๊าซเข้าระบบมีอุณหภูมิสูงเกินไป ควรจะทำให้ก๊าซนั้นเย็นก่อนที่จะเข้าระบบ เพื่อให้แน่ใจว่าจุลินทรีย์จะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

2.10.7 ความเป็นกรดต่าง

ความเป็นกรดต่างของเครื่องกรองชีวภาพควรมีค่าเป็นกลางโดยอยู่ช่วง 7 - 8 เมื่อทำการบำบัดก๊าซออกซิเจนไนโตรเจนจะเป็นผลทำให้เกิดกรดออกซิเจนไนโตรเจนขึ้น ตัวอย่างเช่น การบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เกิดกรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก ซึ่งกรดเหล่านี้จะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของตัวกลางต่ำลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมความเป็นกรดต่างให้เหมาะสม โดยถ้ามีค่าความเป็นกรดต่างต่ำเกินไป ควรจะต้องทำการเติมปูนขาวลงไปเพื่อปรับค่าความเป็นกรดต่างให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง

2.10.8 ภาวะบรรทุก

ภาวะบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพ เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการหาขนาดของระบบ โดยภาวะบรรทุกนี้สามารถใช้ในการหาพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ได้ คือ อัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นกรอง เวลาพักพักก๊าซ และอัตราการกำจัด อัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นกรอง ปกติอยู่ในช่วง 0.3 - 1.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตรต่อนาที ถ้าอัตราไหลมากกว่านี้จะเป็นผลให้ก๊าซเสียออกจากระบบโดยไม่ผ่านการบำบัด

เวลากักพักคือ เวลาที่ก๊าซใช้ในการสัมผัสกับวัสดุตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อทำให้เกิดการดูดซับ (Adsorption) และดูดซึม (Absorption) เวลากักพักโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับชนิดก๊าซมลพิษและวัสดุตัวกลาง เช่น เวลากักพักในการกำจัดก๊าซอินทรีย์ (Organic gas) วัสดุตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมักและดินจะใช้เวลากักพักอย่างต่ำสุดเท่ากับ 30 วินาที และ 1 นาทีตามลำดับ ส่วนเวลากักพักของก๊าซออกซิเจนไนโตรเจน (Inorganic gas) จะใช้เวลานานกว่านี้

2.10.9 ความดันลด

ความดันลดในเครื่องกรองชีวภาพจะขึ้นอยู่กับประเภทตัวกลาง ความพรุน ปริมาณน้ำ และการอุดตันของตัวกลาง เมื่อทำการเดินระบบเป็นเวลานาน จะทำให้ความพรุนของตัวกลางลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการอุดตันของชั้นตัวกรอง ดังนั้นการเปลี่ยนตัวกลางเมื่อครบอายุการใช้งานจะเป็นการป้องกันการอุดตันและการเกิดความดันลดสูงได้ เพราะการเกิดความดันลดที่สูงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการเพิ่มความดันอากาศเข้ามาในระบบ ปกติเครื่องกรองชีวภาพจะเกิดแรงดันลดของน้ำประมาณ 1 - 3 นิ้วของน้ำ และใช้พลังงานในการขับเคลื่อนอากาศประมาณ 1.8 - 2.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อหนึ่งพันลูกบาศก์เมตร ความดันลดยังมีความสัมพันธ์กับภาระบรรทุกพื้นผิว (Surface loading) ในการกำจัดสารปนเปื้อนและประเภทของตัวกลาง

2.10.10 การบำบัดก๊าซก่อนเข้าระบบ

การบำบัดก๊าซก่อนเข้าระบบมีจุดประสงค์ เพื่อเป็นการกำจัดฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนมากับก๊าซมลพิษ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบระบายอากาศ ทั้งยังมีจุดมุ่งหมายในการจัดเตรียมก๊าซมลพิษให้มีสถานะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ อาทิเช่น กระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับก๊าซ (Humidification) และการปรับสภาพอุณหภูมิของก๊าซให้เหมาะสม เป็นต้น

ตารางที่ 2.10 สภาวะการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพทั่วไป สำหรับบำบัดอากาศเสีย

Parameter	Typical value
Biofilter layer height	1 - 1.5 m
Biofilter area	1 - 3000 m ²
Waste air flow	50 - 300,000 m ³ h ⁻¹
Biofilter surface loading	5 - 500 m ³ m ⁻² h ⁻¹
Biofilter volumetric loading	5 - 500 m ³ m ⁻³ h ⁻¹
Bed void volume	50%
Mean effective gas residence time	15 - 60 s
Pressure drop per meter of bed height	0.2 - 1.0 cm water gauge (max. 10 cm)
Inlet pollutant and/or odor concentration	0.01 - 5 gm ⁻³ , 500 - 50,000 OU m ⁻³
Operating temperature	15 - 30°C
Inlet air relative humidity	>98%
Water content of the support material	60% by mass
pH of the support material	pH 6-8
Typical removal efficiencies	60-100%

ที่มา : Deshusses (1994) อ้างถึงใน Devigny และคณะ (1999)

2.11 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.11.1 ปัจจัยที่มีผลต่อเครื่องกรองชีวภาพ

Leson และ Winner (1991) ศึกษาการกรองชีวภาพในการควบคุมการแพร่กระจายของมลภาวะอากาศประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย สรุปได้ว่าการกรองชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ควบคุมสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยปล่อยสารปนเปื้อนให้ผ่านวัสดุที่มีการทำงานทางชีวภาพ ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าค่าความดันลดที่เกิดจากตัวกลางเป็นสิ่งที่ควรระมัดระวัง

Lith และคณะ (1997) ศึกษาการประเมินข้อมูลการออกแบบของเครื่องกรองชีวภาพ พบว่าเมื่อเครื่องกรองชีวภาพได้รับความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายสูง และมีอัตราการ

กำจัดสูงเป็นสาเหตุให้เกิดการสูญเสียความชื้นของตัวกลาง ทำให้ต้องมีการเติมน้ำให้ระบบ ในทางกลับกันหากเติมน้ำมากเกินไป จะเกิดการควบแน่นในระบบและส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดลดลง

Gostomaski และคณะ (1997) ได้ศึกษากลศาสตร์ของน้ำในการกรองทางชีวภาพเรื่องบทบาทของความชื้นและความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์อธิบายว่า ความชื้นเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการไหลเข้า-ออกของก๊าซมลพิษ และความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการออกซิเดชันของจุลินทรีย์เป็นกลไกหลักในการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ จากการทดลองการกรองทางชีวภาพแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นนั้นมีความสัมพันธ์กับการออกซิเดชันสารมลพิษโดยจุลินทรีย์ การเกิดความร้อนเนื่องจากจุลินทรีย์เพียงพอที่ให้น้ำระเหยออกจากเครื่องกรองชีวภาพ อาจทำให้การย่อยสลายมลพิษมีประสิทธิภาพต่ำลง

2.11.2 การบำบัดไอระเหยของสารประกอบอินทรีย์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ

เสริมศักดิ์ พังมั่งมี (2546) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพและชนิดของตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดโพลีอินระดับห้องปฏิบัติการ โดยความเข้มข้นโพลีอินอยู่ในช่วง 20 - 200 ส่วนในล้านส่วน แปรผันเวลากักพักอยู่ในช่วง 23 - 260 วินาที ใช้ระยะเวลาในการเดินระบบ 160 วัน พบว่าตัวกลางซึ่งประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ ในอัตราส่วน 70 : 20 : 10 โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดโพลีอินสูงสุดเท่ากับ 97 เปอร์เซ็นต์ และเวลากักพักน้อยที่สุดที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโพลีอินมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 50 วินาที

เอกชัย เลิศผดุงวิทย์ (2547) ศึกษาการกำจัดไฮลีนด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม โดยทำการทดลองหาอัตราส่วนของตัวกลางผสมที่เหมาะสมของดินผสมใบก้ามปูและปุ๋ยคอกต่อขยะพลาสติก จากนั้นใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมจากการทดลองแรกในการศึกษาความสามารถสูงสุดในการกำจัดไฮลีน โดยใช้ความเข้มข้นของไฮลีนในช่วง 50 - 2,000 ส่วนในล้านส่วน แปรผันเวลากักพักที่ 36 60 และ 90 วินาที ระยะเวลาในการเดินระบบ 60 วัน พบว่า อัตราส่วนผสมของดินผสมใบก้ามปูและปุ๋ยคอกต่อขยะพลาสติกที่อัตราส่วน 60 : 40 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการกำจัดไฮลีนเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ และความสามารถในการกำจัดไฮลีนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 70 142 และ 194 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่เวลากักพัก 36 60 และ 90 วินาที ตามลำดับ

จิรววัฒน์ กันพยนต์ (2548) ศึกษาการกำจัดอะซีโตนโดยการกรองชีวภาพในระดับห้องปฏิบัติการ โดยใช้ตัวกลาง 4 ประเภท ได้แก่ ดินใบก้ามปู ดินสีดา ปุ๋ยหมัก และขี้กบ (เศษไม้จากการแปรรูปไม้) อัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย ตัวกลางหลัก : เศษไม้ : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน : ปุ๋ยคอก เท่ากับ 60 : 20 : 10 : 10 แปรผันอัตราไหลอากาศที่ 2.5, 3.0 และ 4.0 ลิตรต่อนาที ใช้ความเข้มข้นอะซีโตนในช่วง 200 - 1,000 ส่วนในล้านส่วน พบว่าปุ๋ยหมักมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางในการกำจัดอะซีโตน โดยประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลากักพัก 68 วินาที

2.11.3 การบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ

ณัฐพล รัตนมุขย์ (2549) ศึกษาการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสมซึ่งทำการทดลอง 2 ขั้นตอน ได้แก่ เปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวกลางหลักในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ ผสมกับกาบมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนที่อัตราส่วนเท่ากับ 60 : 20 : 10 : 10 พบว่าอัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก : กาบมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน เท่ากับ 60 : 20 : 10 : 10 มีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วน เวลากักพัก 25 วินาที จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้นและทิศทางไหลลง โดยกำหนดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 50 - 300 ส่วนในล้านส่วน พบว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง มีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

2.11.4 การบำบัดก๊าซแอมโมเนียด้วยเครื่องกรองชีวภาพ

เสาวลักษณ์ ภูณภาอำพร (2551) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม เพื่อหาอัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย แปรผันความเข้มข้น 5 - 200 ส่วนในล้านส่วน โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดตัวกลางผสมปุ๋ยหมัก : เศษไม้ : ปุ๋ยคอก : ตะกอนจุลินทรีย์ ที่อัตราส่วนปุ๋ยหมักต่างๆ ได้แก่ 70, 60, 50 และ 40 เปอร์เซ็นต์ พบว่าตัวกลางผสมปุ๋ยหมักที่อัตราส่วน 60 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เป็น

อัตราส่วนตัวกลางที่เหมาะสม ในการบำบัดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพัก 45 วินาที เนื่องจากให้ประสิทธิภาพสูงสุดขณะที่มีค่าความดันลดและการทรุดตัวต่ำ

Chen และคณะ (2005) ศึกษาการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยใช้ตัวกลางปุ๋ยหมักและสไลด์จ์ แปรผันความเข้มข้นแอมโมเนียเข้าระบบอยู่ในช่วง 20 - 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ภาระบรรทุก 24.9 - 566 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันสำหรับปุ๋ยหมัก และ 24.9 - 472 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวันสำหรับสไลด์จ์ ที่ระยะเวลาเดินระบบ 210 วัน พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดของตัวกลางปุ๋ยหมักและสไลด์จ์ 97 - 99 เปอร์เซ็นต์ และ 95 - 99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเมื่อความเข้มข้นแอมโมเนียเข้าระบบต่ำกว่า 110 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร ที่ภาระบรรทุก 288 และ 243 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน ตามลำดับ

Taghipour และคณะ (2008) ศึกษาตัวกลางผสมปุ๋ยคอก สไลด์จ์ และพลาสติกแข็ง ในการกำจัดแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ เริ่มเดินระบบที่ความเข้มข้นแอมโมเนีย 51 ส่วนในล้านส่วน ภาระบรรทุก 2.15 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เวลากักพัก 60 วินาที พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดที่ 99 เปอร์เซ็นต์ มีภาระบรรทุกสูงสุด 9.85 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ความเข้มข้นประมาณ 236 ส่วนในล้านส่วน ความดันลด 12 มิลลิเมตรน้ำ และเวลากักพักน้อยสุด 30 วินาที ที่ภาระบรรทุกไม่เกิน 9.45 กรัมแอมโมเนียต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

2.11.5 การบำบัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ

Chung และคณะ (2000) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าเท่ากับ 60 : 60 60 : 120 และ 120 : 60 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร ตามลำดับ โดยใช้ Ca-alginate ที่ตรึงด้วยจุลินทรีย์ *Thiobacillus thioparus* CH11 และ *Nitrosomonas europaea* เป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ พบว่าที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียสูงกว่าความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2 เท่า มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพียงเล็กน้อย แต่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่สูงกว่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 2 เท่า มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมากกว่า ดังนั้นจึงเสนอแนะอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียขาเข้าว่าควรจะน้อยกว่า 2 ต่อ 1 และใช้เวลาพัก 72 วินาที

Chung และคณะ (2001) ได้ศึกษาการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จากอากาศเสียโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพที่ตัวกลางตรึงด้วย *Arthrobacter oxydans* CH8 และ *Pseudomonas Putida* CH11 เพื่อประมาณความเข้มข้นขาเข้าของก๊าซมลพิษทั้งสองที่ยอมรับได้ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษทั้งสองชนิดจะสูงกว่า 96 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นขาเข้าของก๊าซมลพิษทั้งสองอยู่ในช่วง 5 - 65 ส่วนในล้านส่วน และยังพบอีกว่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อย่างมีนัยสำคัญคือ ถ้าความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าสูงจะเกิดการยับยั้งโดยสารตั้งต้น (Inhibitory Substrate) ต่อแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ย่อยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การออกซิเดชันของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ก็就会被ยับยั้งด้วย ไม่เพียงเท่านั้นในกรณีที่มีความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียขาเข้าสูงกว่าความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำลงเช่นกัน เป็นผลมาจากการสะสมของสารที่เป็นผลิตภัณฑ์ของแอมโมเนียทำให้เกิดสภาวะกรดในเครื่องกรองชีวภาพ นอกจากนี้ยังพบว่าเกิดสภาวะความดันลด (Pressure drop) เพิ่มขึ้น เนื่องจากการสะสมของชีวมวลและซัลเฟอร์เพิ่มมากขึ้น

Malhautier และคณะ (2003) ได้ศึกษากระบวนการบำบัดอากาศเสียที่ปนเปื้อนก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียสูงถึง 100 และ 80 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะถูกออกซิไดซ์เป็นซัลเฟตและซัลเฟอร์ ส่วนก๊าซแอมโมเนียจะถูกออกซิไดซ์ไปเป็นไนโตรทรีและไนเตรท และยังพบว่าก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีเปอร์เซ็นต์ในการถูกออกซิไดส์สูงในด้านบนของเครื่องกรองชีวภาพซึ่งเป็นส่วนทางเข้าระบบของก๊าซมลพิษ จึงทำให้ชีวมวลสะสมอยู่หนาแน่น และมีแนวโน้มที่มีสภาพเป็นกรดเพิ่มมากขึ้น

Galera และคณะ (2008) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดของก๊าซผสม 3 ชนิด คือ ก๊าซแอมโมเนีย ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และโทลูอินในอัตราส่วน 120 : 220 : 55 และ 250 : 120 : 55 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ ซึ่งใช้ rock wool ผสมกับปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพในอัตราส่วน 70 : 30 ตามลำดับ พบว่าการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้นสมบูรณ์เมื่อภาระบรรทุกของแอมโมเนียมากกว่า 16.14 กรัมแอมโมเนียต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 36.09 กรัมไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมีความสามารถในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 23.67 กรัมแอมโมเนียต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงที่ประสิทธิภาพในการกำจัด 78.6 เปอร์เซ็นต์ ส่วนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่า

ความสามารถในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 38.50 กรัมไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่ประสิทธิภาพในการกำจัด 68.1 เปอร์เซ็นต์

Jiang และคณะ (2009) เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร่วมกัน โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพชนิดโปรยกรองที่ป้อนด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม Autotrophic nitrifying bacteria และ sulfide oxidizing bacteria บนตัวกลางคาร์บอน พบว่าก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ถูกกำจัดได้อย่างสมบูรณ์ที่จุดเริ่มต้นของระบบในรูปของไนเตรทและซัลเฟต ตามลำดับ โดยแปรผันความเข้มข้นก๊าซทั้งสองตั้งแต่ 20 - 100 ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร แปรผันเวลากักพักก๊าซตั้งแต่ 4 - 20 วินาที พบว่าที่เวลากักพักก๊าซมากกว่า 4 วินาทีและ 8 วินาที ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 98 และ 95 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ มีค่าความสามารถในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด เท่ากับ 131 และ 119 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

2.11.6 การออกแบบเครื่องกรองชีวภาพสำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวกลาง

Liu และคณะ (2005) ศึกษาการกำจัดก๊าซร่วมกันระหว่างเอทิลอะซีเตต ไอโซโพรพานอล และโทลูอีน โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพที่มีตัวกลางผสมปุ๋ยหมัก : มูลหมู : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียในอัตราส่วน 30 : 30 : 40 ตามลำดับ ที่ทำจากท่อ Plexiglass ใส ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร แบ่งเป็น 3 ชั้นๆ ละ 30 เซนติเมตรด้วยตะแกรงสแตนเลสที่เจาะรู ใสตัวกลางลงไปชั้นละ 19 เซนติเมตร ใช้ระบบการป้อนอากาศเข้าจากทางด้านบน พบว่าเครื่องกรองชีวภาพดังกล่าวง่ายต่อการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณไนโตรเจน และเหมาะแก่การเติมตัวกลางใหม่กลับเข้าไปในเครื่องกรองชีวภาพ

Znad และคณะ (2007) ได้ใช้เครื่องกรองชีวภาพที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 10.3 เซนติเมตร และความสูงทั้งหมดของเครื่องกรองชีวภาพเท่ากับ 1.5 เมตร โดยแบ่งออกเป็น 3 ชั้นๆ ละ 40 เซนติเมตร และกั้นด้วยแผ่นสแตนเลสที่เจาะรู จากนั้นเติมตัวกลางในแต่ละชั้นสูง 30 เซนติเมตร ที่ต้องออกแบบเครื่องกรองในลักษณะนี้เนื่องจากเครื่องกรองชีวภาพลักษณะนี้สามารถนำตัวอย่างตัวกลางออกมาวิเคราะห์ได้โดยง่าย โดยในการทดลองของ Znad และคณะ (2007) นั้นจะเน้นการศึกษาการสะสมของชีวมวลที่เพิ่มขึ้น และแตกต่างกันในตัวกลางแต่ละชั้น

ตารางที่ 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาชีพกรรมสิ่งแวดลอม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ทำการวิจัย	ปีการศึกษา	สาร มลพิษ	ชนิดตัวกลาง	อัตราส่วนผสม	ความเข้มข้น สารมลพิษที่กำจัด (ส่วนในล้านส่วน)	เวลากัก พัก (วินาที)	ประสิทธิภาพ การกำจัดสูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
เสริมศักดิ์ ทั่งมั่งมี	2546	โทลูอีน	ปุ๋ยหมัก : เศษไม้ :	30 : 60 : 10	20 - 200	>50	97
			ตะกอนจุลินทรีย์*	50 : 40 : 10 70 : 20 : 10*			
			เซรามิค : ตะกอนจุลินทรีย์	90 : 10			
เอกชัย เลิศผดุงวิทย์	2547	ไซลีน	ดินใบก้ามปู : ปุ๋ยคอก	80 : 20 60 : 40* 40 : 60 20 : 80	50 - 2000	90	96

ตารางที่ 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

ผู้ทำการวิจัย	ปีการศึกษา	สารมลพิษ	ชนิดตัวกลาง	อัตราส่วนผสม	ความเข้มข้น สารมลพิษที่กำจัด (ส่วนในล้านส่วน)	เวลากัก พัก (วินาที)	ประสิทธิภาพ การกำจัดสูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
จิรวัดณ์ กัณพยนต์	2548	อะซีโตน	ปุ๋ยหมัก : เศษไม้ :	60 : 20 : 10 : 10	200 – 1000	68	92
			ตะกอนจุลินทรีย์: ปุ๋ยคอก*				
			ดินใบก้ามปู : เศษไม้ :				
			ตะกอนจุลินทรีย์: ปุ๋ยคอก				
			ดินสีดา : เศษไม้ :				
			ตะกอนจุลินทรีย์: ปุ๋ยคอก				
			ขี้กบ : เศษไม้ :				
			ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก				

ตารางที่ 2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ต่อ)

ผู้ทำการวิจัย	ปีการศึกษา	สารมลพิษ	ชนิดตัวกลาง	อัตราส่วนผสม	ความเข้มข้น สารมลพิษที่กำจัด (ส่วนในล้านส่วน)	เวลากัก พัก (วินาที)	ประสิทธิภาพ การกำจัดสูงสุด (เปอร์เซ็นต์)
ณัฐพล รัตนมุขย์	2549	ไฮโดรเจน ซัลไฟด์	ปุ๋ยหมัก : กาบมะพร้าว :	60 : 20 : 10 : 10	50 – 300	45	100
			ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก*				
			ดินขุยไผ่ : กาบมะพร้าว :				
			ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก				
หินภูเขาไฟ : กาบมะพร้าว :	60 : 20 : 10 : 10	50 – 300	45	100			
ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก							
ถ่านกัมมันต์ : กาบมะพร้าว :	60 : 20 : 10 : 10	50 – 300	45	100			
ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก							
เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร	2551	แอมโมเนีย	ปุ๋ยหมัก : เศษไม้ :	70 : 10 : 10 : 10	5 – 200	45	99
			ตะกอนจุลินทรีย์ : ปุ๋ยคอก	60 : 20 : 10 : 10*			
				50 : 30 : 10 : 10*			
				40 : 40 : 10 : 10			

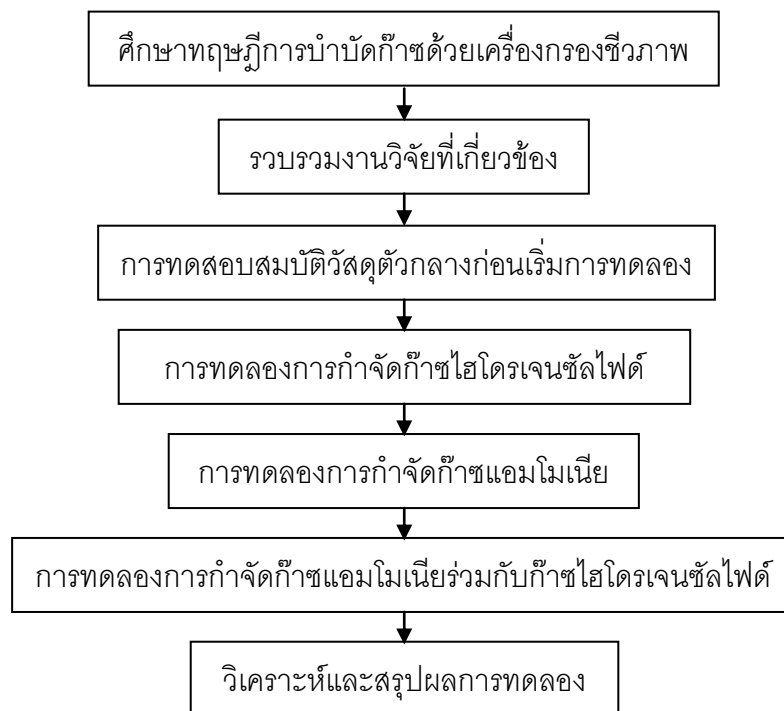
หมายเหตุ: * หมายถึง ตัวกลางที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองในระดับห้องปฏิบัติการ ดำเนินการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 30 องศาเซลเซียส) ณ ห้อง 633 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เพื่อศึกษาประสิทธิภาพ เวลาพักที่เหมาะสมและพารามิเตอร์ต่างๆ ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ งานวิจัยนี้ได้แบ่งเป็นสองส่วน ส่วนแรกคือ การทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลางก่อนเริ่มการทดลอง ส่วนที่สองคือ การดำเนินการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย และการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยมีแผนผังขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมี

3.2.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลาง

3.2.1.1 วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง

วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลองได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก เศษไม้ และตะกอนจุลินทรีย์ อัตราส่วน 60 : 10 : 20 : 10 ตามลำดับ (ภาพที่ 3.2) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย (ณัฐพล รัตนมุขย์, 2549; เสาวลักษณ์ ภูณภาอำพร, 2551)

1. ปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมัก เป็นวัสดุตัวกลางหลักในการทดลองนี้ เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีจุลินทรีย์หนาแน่น มีสมบัติในการกักเก็บน้ำและมีความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี ปุ๋ยหมักที่ใช้ในการทดลองได้จากการหมักกากถั่วลิสง โดยบริษัท เอเชีย อาโกร เทค จำกัด

2. ปุ๋ยคอก

ปุ๋ยคอก เป็นวัสดุตัวกลางเสริม ใช้เพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ระหว่างการเดินระบบและในกรณีที่หยุดการเดินระบบสุดสัปดาห์ ได้มาจากมูลโคและกระบือ

3. เศษไม้

เศษไม้ เป็นวัสดุตัวกลางเสริม ใช้เพื่อเพิ่มความพรุนและป้องกันการอัดตัวของตัวกลางหลัก ได้มาจากการใส่ ซึ่งมีขนาด 2 - 4 เซนติเมตร

4. ตะกอนจุลินทรีย์

ตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์ในระบบบำบัด โดยในการทดลองนี้ใช้ตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน โรงบำบัดน้ำเสียช่องนนทรี กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นตะกอนที่ผ่านการรีดตะกอนขั้นสุดท้าย



ภาพที่ 3.2 วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง
(ก) ปួយหมัก (ข) ปุยคอก (ค) เศษไม้และ(ง) ตะกอนจุลินทรีย์

3.2.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์อื่นๆ

1. เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง
2. เครื่องชั่งละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. ตู้อบควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110-120 องศาเซลเซียส
4. กระบอกตวง
5. ขวดล้างพร้อมฝา
6. ตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 3/4, 1/2, 3/8, 4, 8, 16, 50 และ 100

3.2.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ แสดงดังตารางที่ 3.1

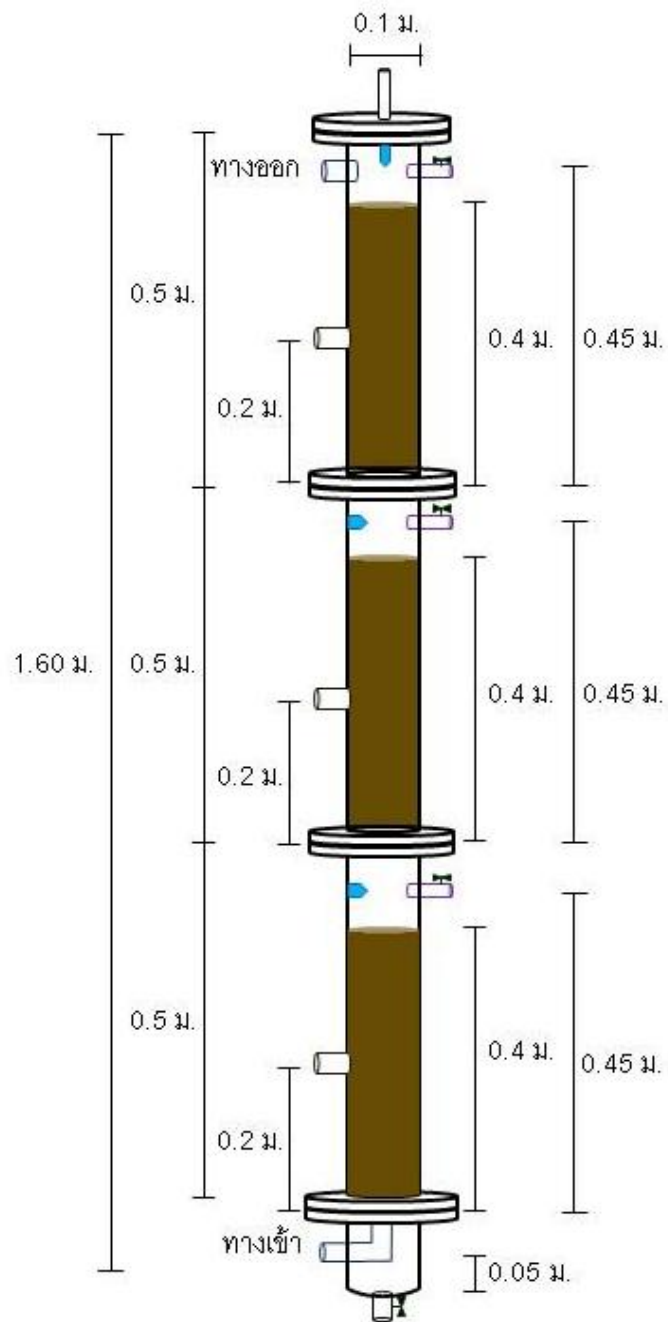
ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตัวแปร	เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่นและขนาด
การป้องกันก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	บีมลม	Thermo Andersen / 28.3 ลิตรต่อนาที
การป้อนสารละลายโซเดียมซัลไฟด์	บีมชนิดรีดสาย	Watson Marlow 505U / 0.5 – 55 รอบต่อนาที
ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	M40 Multi-gas monitor/ 0 - 500 ส่วนในล้านส่วน
อัตราไหลของอากาศ	โรตารีมิเตอร์	Dwyer / 5 - 25 ลิตรต่อนาที
ความชื้นสัมพัทธ์	ไฮโกรมิเตอร์	Barigo / RH 0-100 เปอร์เซ็นต์
ความดันลดตัวกลาง	มานิมิเตอร์	Dwyer / Series 477-3 Max pressure 29 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
ความเป็นกรดต่างของตัวกลาง	เครื่องวัดความเป็นกรดต่าง	Gardman Soil pH meter / pH 3-10
ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	เครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบพกพา	Qtrak model 7556 Infrared (NDIR) / CO ₂ 0-5,000 ส่วนในล้านส่วน
ความชื้นตัวกลาง	เครื่องวัดความชื้นในดิน	E.M. System soil test / Moisture 1-100 เปอร์เซ็นต์
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์	Brannan / 10-100 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้ในการผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้แก่ โซเดียมซัลไฟด์ (Na₂S) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl)

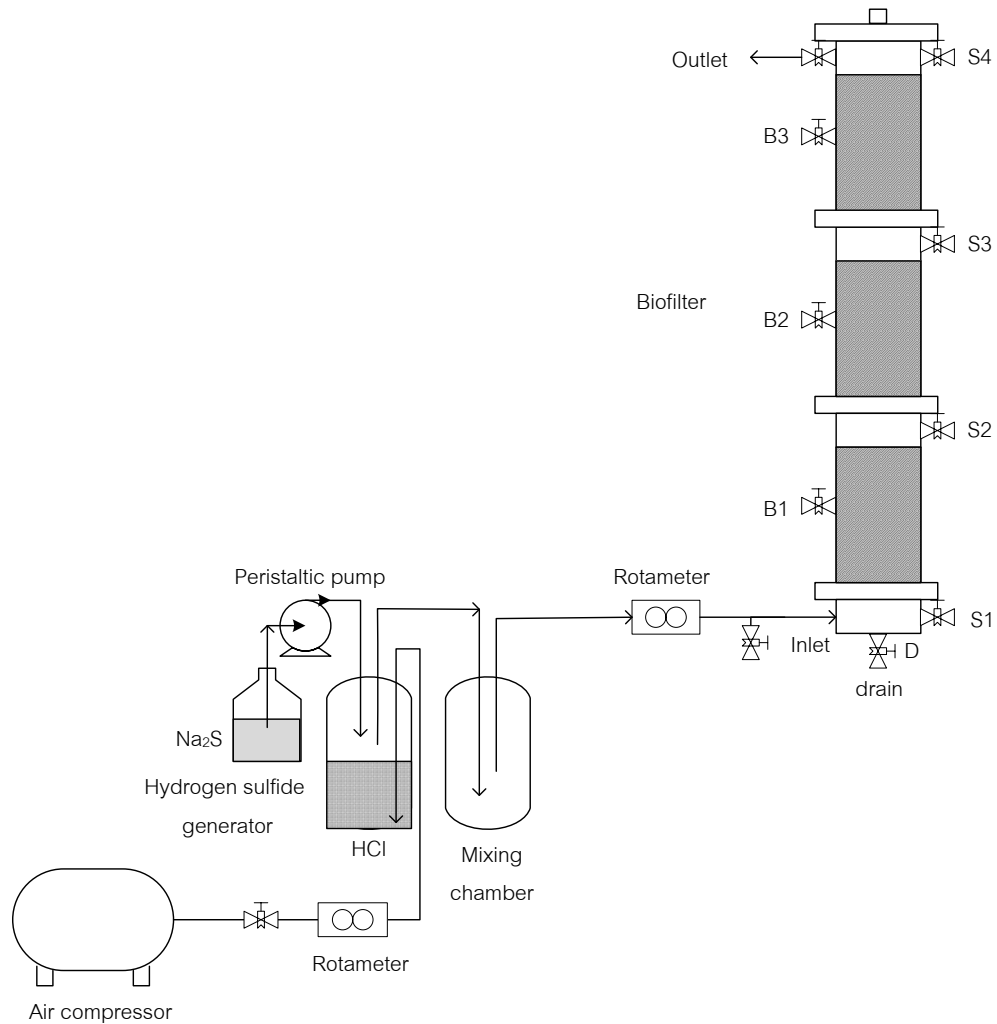
3.2.2.1 เครื่องกรองชีวภาพ

เครื่องกรองชีวภาพในการทดลองนี้ใช้สำหรับการทดลองทั้ง 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย และการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยจำลองในระดับห้องปฏิบัติการ ทำจากท่ออะคริลิคใส เส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 0.10 เมตร สูง 1.60 เมตร โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น (ชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง) ด้วยตะแกรงสแตนเลส ให้แต่ละส่วนสูง 0.50 เมตร กำหนดให้บรรจุตัวกลางชั้นละ 0.40 เมตร มีจุดทางเข้าก๊าซมลพิษที่ระดับ 0.05 เมตร จุดเก็บตัวอย่าง 4 จุด ที่ระดับ 0.45 เมตรวัดจากฐานของแต่ละชั้น ขนาดช่องเก็บตัวอย่างอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร มีจุดวัดความชื้น อุณหภูมิ และความเป็นกรดต่างของตัวกลาง 3 จุด ที่ระดับ 0.2 เมตรวัดจากฐานของแต่ละชั้น และติดตั้งหัวกระจายน้ำเพื่อเติมน้ำให้แก่ตัวกลางแต่ละชั้นที่ระดับ 0.45 เมตรวัดจากฐานของแต่ละชั้น นอกจากนี้ที่กันเครื่องกรองชีวภาพจะติดตั้งวาล์วเพื่อใช้ในเก็บตัวอย่างน้ำชะ ปริมาตรตัวกลางทั้งหมดเท่ากับ 9.42 ลิตร แสดงดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 เครื่องกรองชีวภาพ

3.2.2.2 ชุดการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 3.4 ชุดทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 3.5 รูปชุดทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

3.2.3 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับชุดการทดลองการกำจัด ก๊าซแอมโมเนีย

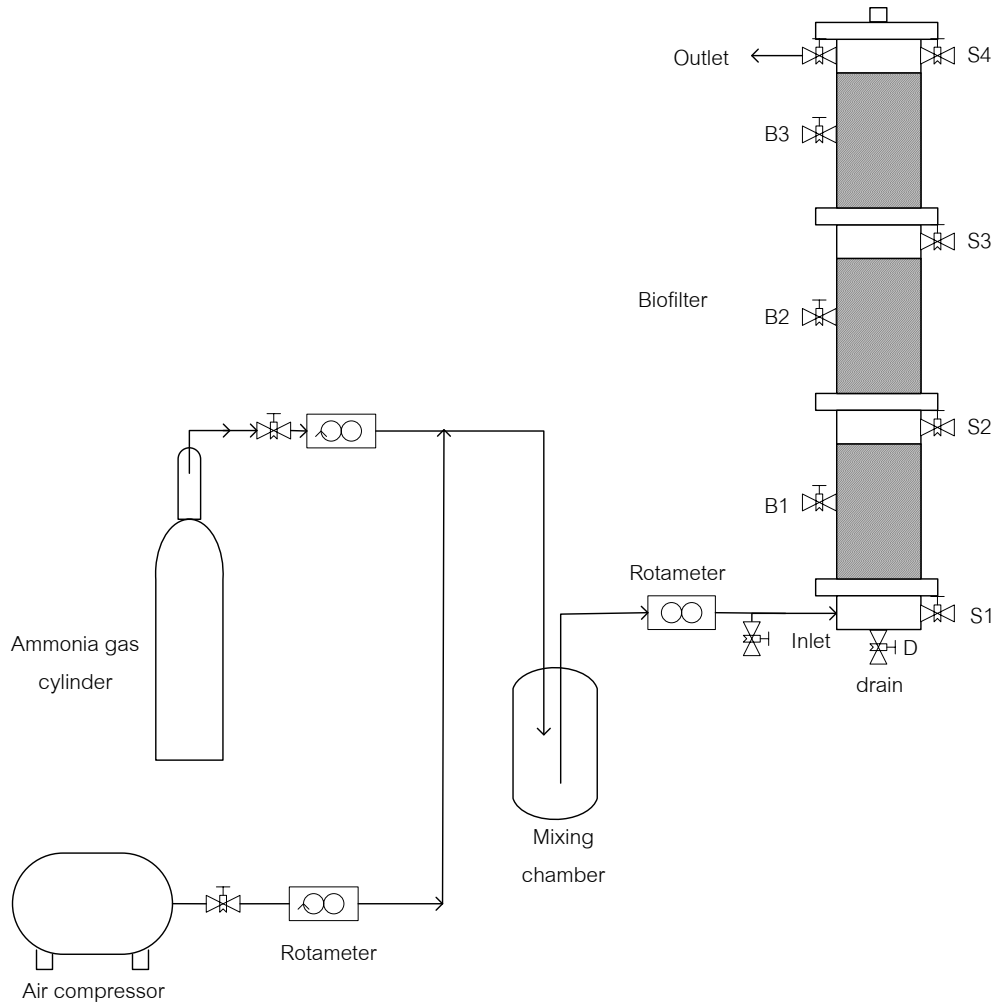
เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียเหมือนกับที่แสดงในตารางที่ 3.1 แต่เปลี่ยนการป้อนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การป้อนโซเดียมซัลไฟด์ และความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นการป้อนก๊าซแอมโมเนีย และความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียแทน ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

ตัวแปร	เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่นและขนาด
การป้อนก๊าซแอมโมเนีย	ปั๊มลม	Thermo Andersen / 28.3 ลิตรต่อนาที
ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย (5 - 50 ส่วนในล้านส่วน)	เครื่องวัดความเข้มข้น ก๊าซแอมโมเนีย	GasBadge Pro / 0 - 100 ส่วนในล้านส่วน
ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย (100 - 200 ส่วนในล้านส่วน)	เครื่องวัดสารประกอบอินทรีย์ ระเหยง่ายแบบพกพา	Minirae 2000 (PID) / VOCs 0 - 10,000 ส่วนในล้านส่วน

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียได้แก่ ก๊าซแอมโมเนียจากถังอัดความดันความเข้มข้นในถังเท่ากับ 1000 ส่วนในล้านส่วน

3.2.3.1 ชุดการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย



ภาพที่ 3.6 ชุดทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย



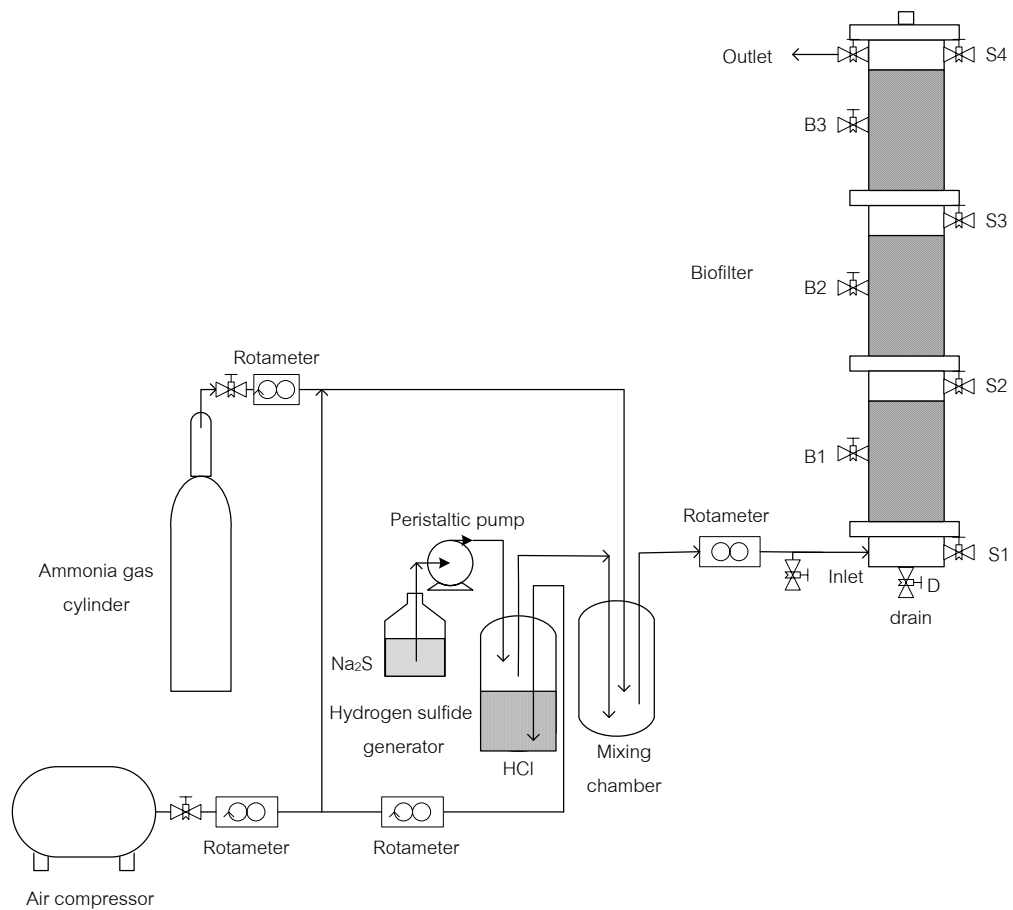
ภาพที่ 3.7 รูปชุดทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

3.2.4 เครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีสำหรับชุดการทดลองการกำจัด ก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับชุดการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เหมือนกับที่แสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2

สารเคมีที่ใช้ได้แก่ ก๊าซแอมโมเนียจากถังอัดความดัน โซเดียมซัลไฟด์ และกรดไฮโดรคลอริก

3.2.4.1 ชุดการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 3.8 ชุดทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 3.9 รูปชุดทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลาง

ตัวอย่างวัสดุตัวกลางทุกชนิดได้จากการฝั่งตัวกลางก่อนนำมาทดลองเป็นเวลา 2 วัน และ สุ่มตัวอย่างโดยวิธีแบ่งออกเป็น 4 ส่วน (Quartering Method) โดยนำตัวอย่างวัสดุตัวกลางแต่ละ ชนิดมากระจายออกอย่างสม่ำเสมอบนแผ่นพลาสติก จากนั้นแบ่งเป็น 4 ส่วนเท่าๆ กัน นำสองส่วน ที่อยู่ตรงข้ามกันมารวมกัน ส่วนอีกสองส่วนที่เหลือให้ทิ้งไป แล้วนำตัวอย่างวัสดุตัวกลางที่รวมกัน มาทำการแบ่งเช่นเดิมจนได้ปริมาณวัสดุตัวกลางที่ต้องการ และนำมาทดสอบสมบัติดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 วิธีทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลางที่เลือกใช้

ตัวแปร	มาตรฐาน/วิธีทดสอบ	ตัวอย่างที่ทดสอบ
ความเป็นกรดด่าง	Electronic pH meter method	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ความพรุน	Phase Relationship	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ความชื้น	JIS M 8812-1984	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ความหนาแน่น	JIS 1474-1976	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
การกระจายขนาดอนุภาค	ASTM C135-92	ตัวกลางหลัก
ปริมาณไนโตรเจน*	Kjeldahl method	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ปริมาณแอมโมเนีย*	Colorimetric method	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรท*	Cadmium reduction method	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ปริมาณโพแทสเซียม*	Atomic Absorption Spectrophotometer	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ปริมาณซัลเฟต*	Turbidimetric method	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ปริมาณฟอสเฟต*	Bray II method	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ*	Walkley black method	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ปริมาณจุลินทรีย์	Dilution plate count	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม

หมายเหตุ : * ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เมื่อนำวัสดุตัวกลางปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก เศษไม้ และตะกอนจุลินทรีย์ มาผสมกันในอัตราส่วน 60 : 10 : 20 : 10 ตามลำดับ ใส่ในเครื่องกรองชีวภาพและเดินระบบในแต่ละการทดลอง เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพที่เปลี่ยนแปลงไปในช่วงเวลาระหว่างและหลังการเดินระบบของแต่ละการทดลอง การเก็บตัวอย่างและการทดสอบสมบัติตัวกลางดังตารางที่ 3.4 นอกจากนี้ในระหว่างการเดินระบบเพื่อให้ความชื้นแก่ตัวกลาง ทำให้มีน้ำชะตัวกลางเกิดขึ้นซึ่งอาจมีตัวแปรบางตัวที่ละลายน้ำได้ละลายปนมากับน้ำชะตัวกลาง ดังนั้นจึงต้องทำการเก็บและทดสอบน้ำชะตัวกลางด้วยเช่นกัน การเก็บและวิเคราะห์หัวแปรที่สนใจในน้ำชะตัวกลางแสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 การเก็บและการทดสอบสมบัติตัวกลาง

สมบัติ	ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่
กายภาพ	อุณหภูมิ	Thermometer	B ₁ -B ₃	ทุกวัน
	ความเป็นกรดต่าง*	Electronic pH meter method	B ₁ -B ₃	ทุกวัน
	ความชื้น	Moisture meter	B ₁ -B ₃	ทุกวัน
	การทรุดตัว	ตลับเมตร	แต่ละชั้นตัวกลาง	ทุกวัน
	ความดันลด	Manometer	S ₁ -S ₄	ทุกวัน
เคมี	ปริมาณไนโตรเจน	Kjeldahl method	ทุกชั้นตัวกลาง	หลังการเดินระบบ
			ผสมกัน	ระบบ
	ปริมาณโพแทสเซียม	Atomic Absorption Spectrophotometer	ทุกชั้นตัวกลาง	หลังการเดินระบบ
			ผสมกัน	ระบบ
	ปริมาณซัลเฟต	Turbidimetric method	ทุกชั้นตัวกลาง	หลังการเดินระบบ
			ผสมกัน	ระบบ
ปริมาณฟอสฟอรัส	Bray II method	ทุกชั้นตัวกลาง	หลังการเดินระบบ	
		ผสมกัน	ระบบ	
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	Walkley black method	ทุกชั้นตัวกลาง	หลังการเดินระบบ	
ชีวภาพ	ปริมาณจุลินทรีย์	Dilution plate count	แต่ละชั้นตัวกลาง	หลังการเดินระบบ
			ผสมกัน	ระบบ

ตารางที่ 3.5 การเก็บและการทดสอบน้ำชะตัวกลาง

ตัวแปร	วิธีทดสอบ	จุดเก็บ ตัวอย่าง	ความถี่
ปริมาณแอมโมเนีย	Colorimetric method	D	หลังการเดินระบบ
ปริมาณไนโตรเจนในรูปไนเตรท	Cadmium reduction method	D	หลังการเดินระบบ
ปริมาณซัลเฟต	Turbid metric method	D	หลังการเดินระบบ
ความเป็นกรดด่าง	pH meter	D	หลังการเดินระบบ



ภาพที่ 3.10 เครื่องวัดอุณหภูมิตัวกลาง



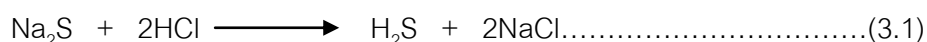
ภาพที่ 3.11 เครื่องวัดความชื้นตัวกลาง

3.3.2 การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเครื่องกรองชีวภาพ โดยที่มีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซมลพิษชนิดเดียว และนำมาผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย และการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยแปรผันความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าที่ 5, 25, 50, 100 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ใช้อัตราไหลอากาศเข้าเครื่องกรองชีวภาพ 12.57 ลิตรต่อนาที และระยะเวลาพัก 60 วินาที แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้ในการทดลองได้จากการทำปฏิกิริยากันระหว่างกรดไฮโดรคลอริก (HCl) และโซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) ดังสมการที่ 3.1 เริ่มจากใช้ป้อนอากาศเป่าอากาศผ่านขวดแก้วขนาด 20 ลิตร ที่บรรจุสารละลายกรดไฮโดรคลอริก พร้อมกับเติมสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ลงในขวดแก้วนี้โดยใช้ปั๊มชนิดรีดสาย (Peristaltic pump) เมื่อสารละลายทั้งสองทำปฏิกิริยากันจะได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) วัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เกิดขึ้นโดยเครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และปรับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้ได้ตามต้องการ โดยการปรับอัตราไหลของปั๊มชนิดรีดสาย หรือเพิ่ม/ลดความเข้มข้นสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ที่มาทำปฏิกิริยาดังตารางที่ 3.6



ภาพที่ 3.12 การสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



ภาพที่ 3.13 ปั๊มอากาศ



ภาพที่ 3.14 ปั๊มชนิดรีดสาย



ภาพที่ 3.15 เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

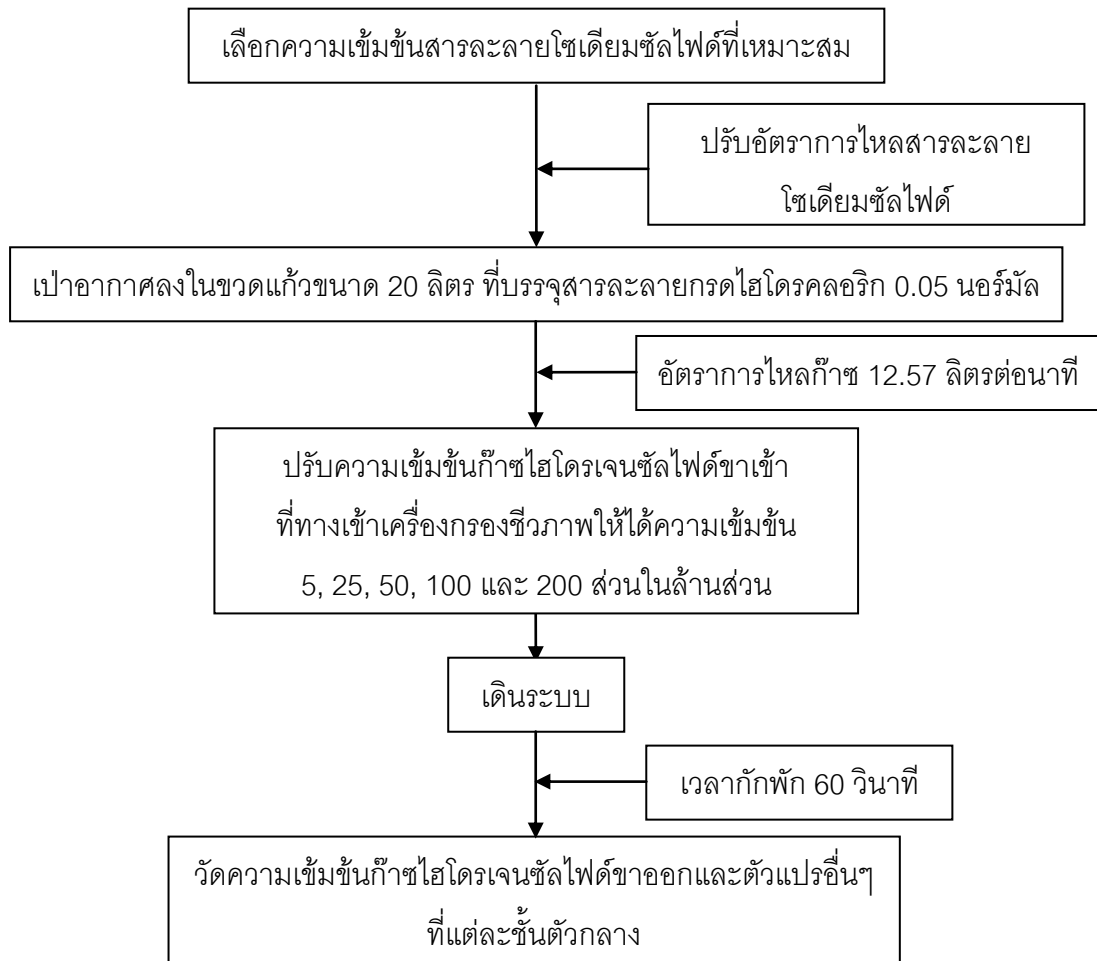
ตารางที่ 3.6 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมซัลไฟด์และสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ความเข้มข้น ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ความเข้มข้น สารละลายโซเดียมซัลไฟด์ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้น สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)
5	0.4	0.05
25	0.8	0.05
50	1.6	0.05
100	3.2	0.05
200	6.4	0.05

หมายเหตุ : ความเข้มข้นสารละลายโซเดียมซัลไฟด์และความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง โดยความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ 0.05 นอร์มัลเป็นความเข้มข้นที่มากเกินไปและปรับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายโซเดียมซัลไฟด์ และปรับการอัตราการไหลสารละลายโซเดียมซัลไฟด์จากปั๊มชนิดรีดสายให้อยู่ในช่วง 0.5 - 1.25 รอบต่อนาที

ขั้นตอนที่ 2 การดำเนินการทดลอง

การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำโดยการแปรผันความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าที่ 5, 25, 50, 100 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ป้อนก๊าซเข้าเครื่องกรองชีวภาพโดยใช้อัตราการไหล 12.57 ลิตรต่อนาที และระยะเวลาพัก 60 วินาที เริ่มต้นระบบโดยป้อนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าที่ 5 ส่วนในล้านส่วน และเริ่มเปลี่ยนความเข้มข้นเมื่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษคงที่



ภาพที่ 3.16 ผังการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ตารางที่ 3.7 ตัวแปรในการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

	ตัวแปร	วิธีการวิเคราะห์	จุดเก็บตัวอย่าง	ความถี่
ตัวแปรอิสระ	ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า (5, 25, 50, 100 และ 200 ส่วนในล้านส่วน)	เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	S1	ทุกวัน
ตัวแปรควบคุม	อัตราไหลอากาศ (12.57 ลิตรต่อนาที) ระยะเวลาพัก (60 วินาที)	โรตاميเตอร์	-	ทุกวัน
ตัวแปรตาม	ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาออก	เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	S2 - S4	ทุกวัน
	ความชื้นสัมพัทธ์	เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์	S2 - S4	ทุกวัน
	ความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	เครื่องตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แบบพกพา	S2 - S4	ทุกวัน



ภาพที่ 3.17 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 3.18 เครื่องวัดความชื้นชั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

3.3.3 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียทำเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองชีวภาพ โดยที่มีก๊าซแอมโมเนียเป็นก๊าซมลพิษชนิดเดียวและเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยแปรผันความชื้นชั้นก๊าซแอมโมเนียขาเข้าที่ 5, 25, 50, 100 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ใช้อัตราไหลอากาศเข้าเครื่องกรองชีวภาพ 12.57 ลิตรต่อนาที และระยะเวลาพัก 60 วินาที ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การสร้างก๊าซแอมโมเนีย

การสร้างก๊าซแอมโมเนียเตรียมจากการผสมก๊าซแอมโมเนียความชื้น 1000 ส่วนในล้านส่วน จากถังอัดความดันกับอากาศจากปั๊มลม โดยเริ่มจากปล่อยก๊าซแอมโมเนียผ่านวาล์วควบคุมและโรตารีเมตรสำหรับวัดอัตราการไหลของก๊าซแอมโมเนีย จากนั้นจึงเข้าไปผสมกับอากาศภายในขวดแก้วขนาด 20 ลิตร ปรับความชื้นชั้นก๊าซแอมโมเนียที่ต้องการด้วยการปรับอัตราไหลก๊าซแอมโมเนียและอากาศ



ภาพที่ 3.19 การสร้างก๊าซแอมโมเนีย



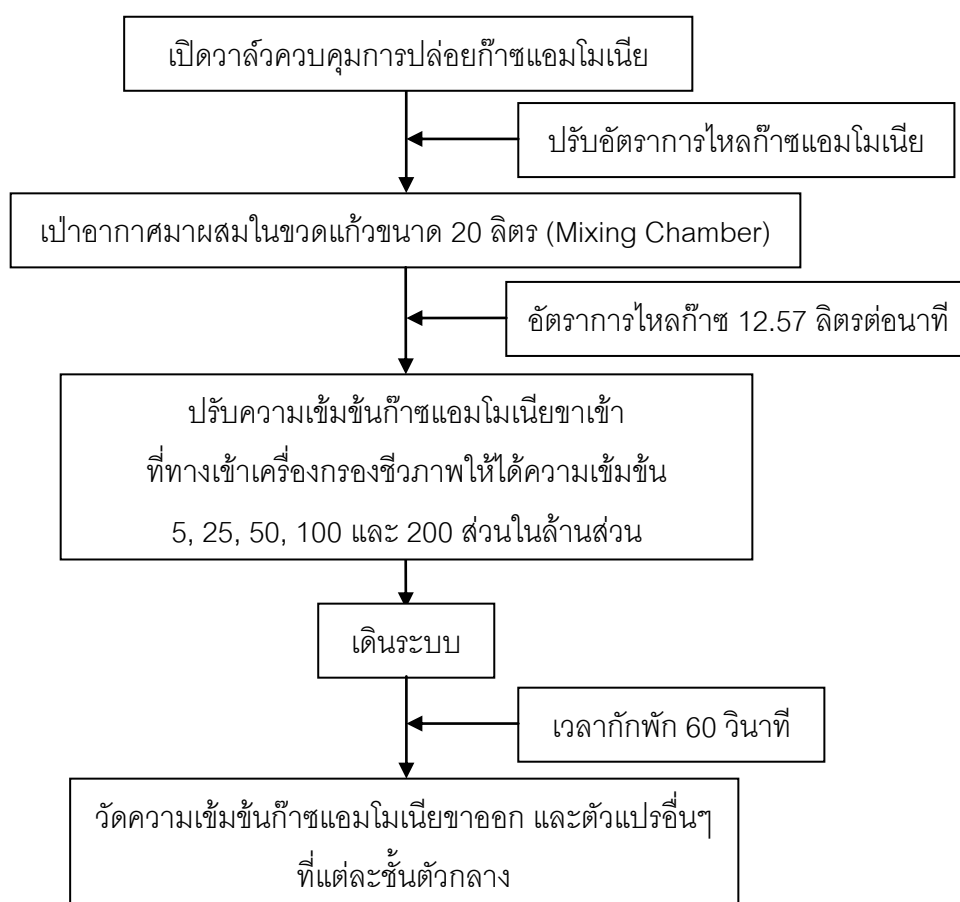
ภาพที่ 3.20 เครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย

ขั้นตอนที่ 2 การทดลอง

การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียทำโดยการแปรผันความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าที่ 5, 25, 50, 100 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ใช้อัตราไหลอากาศเข้าเครื่องกรองชีวภาพ 12.57 ลิตร

ต่อมาที่ และระยะเวลาพัก 60 วินาที เริ่มต้นระบบโดยให้ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าที่ 5 ส่วนในล้านส่วน และเริ่มเปลี่ยนความเข้มข้นเมื่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษคงที่

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง วิธีวิเคราะห์ วิธีการเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการเก็บตัวอย่าง เหมือนกับตารางที่ 3.5 แต่เปลี่ยนตัวแปรความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และเครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและเครื่องวัดความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย



ภาพที่ 3.21 ผังการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

3.3.4 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พร้อมกันของเครื่องกรองชีวภาพ

และเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย รวมถึงการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษทั้งสองนี้ที่อัตราส่วนต่างๆ และหาระยะเวลากักพักที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซมลพิษทั้งสองร่วมกัน แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การแปรผันความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

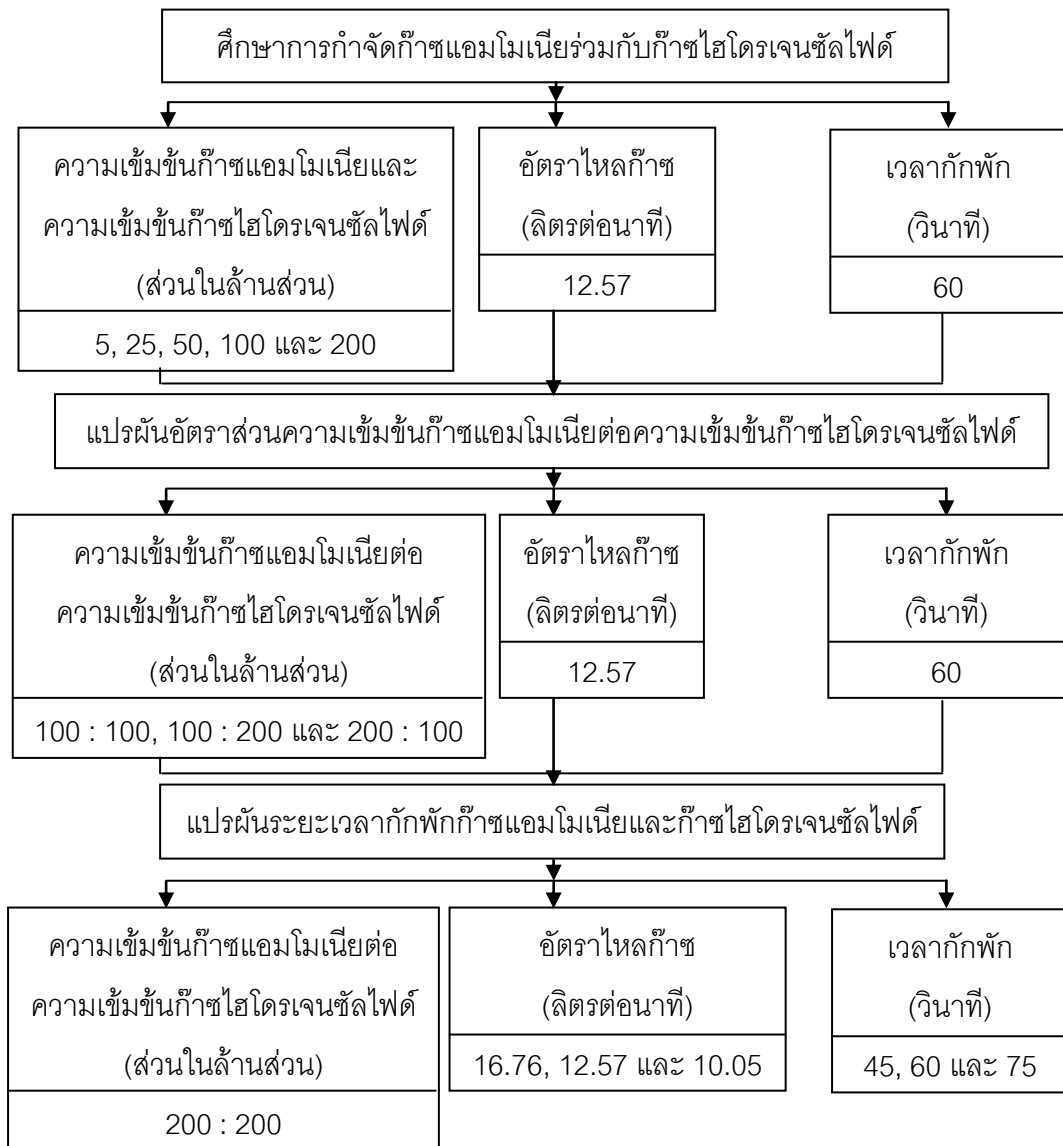
ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเครื่องกรองชีวภาพ โดยกำหนดความเข้มข้นก๊าซมลพิษในอัตราส่วน 1 : 1 แปรผันความเข้มข้นก๊าซมลพิษทั้งสองขาเข้าที่ 5, 25, 50, 100 และ 200 ส่วนในล้านส่วน ให้อัตราไหลก๊าซเข้าเครื่องกรองชีวภาพ 12.57 ลิตรต่อนาที และระยะเวลาพัก 60 วินาที

ขั้นตอนที่ 2 การแปรผันอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วนต่างๆ โดยการแปรผันอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอัตราส่วน 100 : 100, 100 : 200 และ 200 : 100 ส่วนในล้านส่วน ให้อัตราไหลก๊าซเข้าเครื่องกรองชีวภาพ 12.57 ลิตรต่อนาที และระยะเวลาพัก 60 วินาที

ขั้นตอนที่ 3 การแปรผันระยะเวลาพักก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองเพื่อหาเวลากักพักที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พร้อมกัน โดยการแปรผันเวลากักพักก๊าซที่ 45, 60 และ 75 วินาที อัตราไหลก๊าซเท่ากับ 16.76, 12.57 และ 10.05 ลิตรต่อนาที เลือกใช้ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าที่ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน



ภาพที่ 3.22 ผังการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

ตัวชี้ประสิทธิภาพของระบบ มีดังนี้

3.4.1 เวลากักพัก (Empty Bed Residence Time, EBRT)

เวลากักพัก คือ เวลาทั้งหมดที่ก๊าซเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางดังสมการที่ 3.1

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

โดยที่ V_f = ปริมาตรทั้งหมดของตัวกรอง (ลิตร)

Q_{Air} = อัตราไหลของอากาศ (ลิตรต่อวินาที)

3.4.2 ภาระบรรทุก (Mass loading)

ภาระบรรทุก คือ ปริมาณมวลของสารมลพิษที่เข้าระบบต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพในหนึ่งหน่วยเวลา ดังสมการที่ 3.2

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

โดยที่ C_{in} = ความเข้มข้นของมลพิษเข้าระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.4.3 ประสิทธิภาพการบำบัด (Removal Efficiency)

แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษที่เข้าระบบ ดังสมการที่ 3.3

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

โดยที่ C_{out} = ความเข้มข้นของมลพิษออกจากระบบ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

3.4.4 ความสามารถในการกำจัดสารมลพิษ (Elimination Capacity)

ความสามารถในการกำจัดสารมลพิษ คือ มวลของสารมลพิษที่ถูกกำจัดไปต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางต่อหน่วยเวลา ดังสมการที่ 3.4

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

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็นสองส่วน ส่วนแรก คือ การทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลาง ก่อนเริ่มการทดลอง ส่วนที่สอง คือ การดำเนินการทดลอง โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 การทดลอง ดังนี้

การทดลองที่ 1 การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ

การทดลองที่ 2 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ

การทดลองที่ 3 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และเวลากักพักที่เหมาะสม

ในการรายงานผลการทดลองจะรายงานสภาวะการเดินระบบในแต่ละการทดลองอยู่ในหัวข้อเดียวกันประกอบด้วย ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง ความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลาง จากนั้นจึงเป็นหัวข้ออิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเดินระบบ ได้แก่ ความเข้มข้นก๊าซมลพิษ ภาวะบรรทุก๊าซมลพิษและเวลากักพัก หัวข้อถัดมา ได้แก่ ผลกระทบที่เกิดขึ้น การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษจากทั้ง 3 การทดลอง สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัย และการเปรียบเทียบผลการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา ตามลำดับ

4.1 การทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลางก่อนเริ่มการทดลอง

ตัวกลางที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก เศษไม้ และตะกอนจุลินทรีย์ ใช้ในอัตราส่วน 60 : 10 : 20 : 10 ตามลำดับ ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย (ณัฐพล รัตนमुखย์, 2549; เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551) แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง

พารามิเตอร์ (อัตราส่วน)	ปุ๋ยหมัก (60)	ปุ๋ยคอก (10)	เศษไม้ (20)	ตะกอน จุลินทรีย์ (10)
ขนาดอนุภาค d50 (มม.)	2.25	-	20 - 40	-
ความหนาแน่น (กรัม/ลบ.ซม.)	0.95	0.29	-	0.78
ความพรุน (เปอร์เซ็นต์)	15.64	49.58	79.99	22.40
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	5.06	4.66	0.05	3.22
ความเป็นกรดต่าง	7.5	-	-	-

4.1.1 การกระจายขนาดอนุภาค

การกระจายขนาดอนุภาคตัวกลางเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่สำคัญในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง โดยจะมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวของตัวกลาง กล่าวคือ อนุภาคขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง ซึ่งจะขัดขวางการไหลผ่านของอากาศหรือก๊าซมลพิษ ทำให้สูญเสียความดัน

จากผลการวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของตัวกลางปุ๋ยหมัก พบว่ามีขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ยเท่ากับ 2.25 มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า ค่าแนะนำของ Leson และ Winer (1999) ที่กล่าวว่า ขนาดอนุภาคของวัสดุตัวกลางที่เหมาะสมควรมากกว่า 4 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้สูญเสียความดันลดต่ำ ดังนั้นในการทดลองจึงใช้ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางเพียงชนิดเดียวไม่ได้ เพราะมีโอกาสที่ทำให้สูญเสียค่าความดันลดเพิ่มขึ้น จึงต้องทำการเติมเศษไม้มาช่วยในการลดการสูญเสียความดันลดที่จะเกิดขึ้น ซึ่งเศษไม้ที่มาผสมมีขนาด 20 – 40 มิลลิเมตร

4.1.2 ความหนาแน่น

ความหนาแน่นเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างรองรับตัวกลาง จากการทดสอบคุณสมบัติพบว่าตัวกลางหลัก (ปุ๋ยหมัก) มีความหนาแน่น 0.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หากพบว่ามีความหนาแน่นมากกว่านี้จะทำให้เกิดการกดทับของตัวกลาง สำหรับวัสดุเสริม ได้แก่ ปุ๋ยคอกและตะกอนจุลินทรีย์ พบว่ามีความหนาแน่นเพียง 0.29 และ 0.78 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลดีกับระบบ เพราะช่วยในการป้องกันการกดทับของตัวกลาง ดังนั้นจึงทำให้อายุการใช้งานของตัวกลางนานขึ้น

4.1.3 ความพรุน

ความพรุนเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของอากาศ ซึ่งวัสดุที่มีความพรุนสูงจะมีข้อดีคือ ทำให้มีการกระจายตัวของอากาศได้ดี ทำให้มลพิษเกิดการสัมผัสกับฟิล์มชีวภาพได้สูงขึ้นและทำให้เกิดการสูญเสียความดันน้อย แต่มีข้อเสียคือ อาจทำให้ตัวกลางเกิดการหลุดตัวในภายหลัง งานวิจัยที่ผ่านมาแนะนำให้เลือกใช้ตัวกลางที่มีความพรุนประมาณ 40 - 80 เปอร์เซ็นต์ (Devinny และคณะ, 1999) ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักมีความพรุนเท่ากับ 15.64 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องเลือกวัสดุเสริมที่มีความพรุนสูงมาเป็นส่วนผสมในที่นี้คือ ปุ๋ยคอก และเศษไม้ ซึ่งมีความพรุนเท่ากับ 49.58 และ 79.99 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

4.1.4 ความชื้น

ความชื้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดในระบบกรองชีวภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์ต้องการน้ำในการดำรงชีวิต นอกจากนี้ยังเป็นตัวช่วยดูดซับมลพิษ โดยความชื้นที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 40 - 80 เปอร์เซ็นต์ (Devinny และคณะ, 1999) ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก เศษไม้ และตะกอนจุลินทรีย์ มีความชื้น 5.06, 4.66, 0.05 และ 3.22 ตามลำดับ ซึ่งถือว่ามีความชื้นต่ำมาก ดังนั้นก่อนทำการเดินระบบจึงต้องเติมน้ำให้ตัวกลางมีความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 60 - 80 เปอร์เซ็นต์

4.1.5 ความเป็นกรดต่าง

ความเป็นกรดต่าง มีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพ เพราะจุลินทรีย์จะเจริญได้ดีในสภาพเป็นกลาง โดยมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 6 - 8 (Devinny และคณะ, 1999) ผลการวิเคราะห์ตัวกลางทั้ง 4 ประเภท พบว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักมีค่าความเป็นกรดต่างประมาณ 7.5

4.1.6 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวกลางมีความจำเป็นสำหรับระบบที่ทำงานไม่ต่อเนื่อง หรือในบางช่วงเวลา ปกติจุลินทรีย์จะใช้สารมลพิษเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต หากหยุดการทำงาน

ในบางช่วงเวลาจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์จากตัวกลางแทน ผลการทดสอบพบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุเริ่มต้นเท่ากับ 28.45 เปอร์เซ็นต์

4.1.7 ปริมาณธาตุอาหาร

ในการดำรงชีพของจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารประเภท ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม (N, P, K) ประมาณ 0.4 0.15 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (Devinny และคณะ, 1999) ผลการวิเคราะห์พบว่า มีธาตุอาหารเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ปริมาณธาตุอาหารตัวกลาง

ตัวกลาง	ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)
ตัวกลางผสม	1.05	1.19	0.35
Devinny และคณะ, 1999	>0.40	>0.15	>0.15

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.1.8 สรุปสมบัติตัวกลาง

สมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวกลางแต่ละชนิดที่เลือกใช้โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ แต่พบสมบัติบางประการที่ต้องทำการปรับปรุง เช่น การเติมน้ำเพื่อควบคุมระดับความชื้นของตัวกลางให้ได้ประมาณ 60 - 80 เปอร์เซ็นต์

4.2 สภาวะการเดินระบบ

สภาวะการเดินระบบที่ศึกษาจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย และการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ได้แก่ ความชื้น อุณหภูมิ ความเป็นกรดต่าง ความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลาง

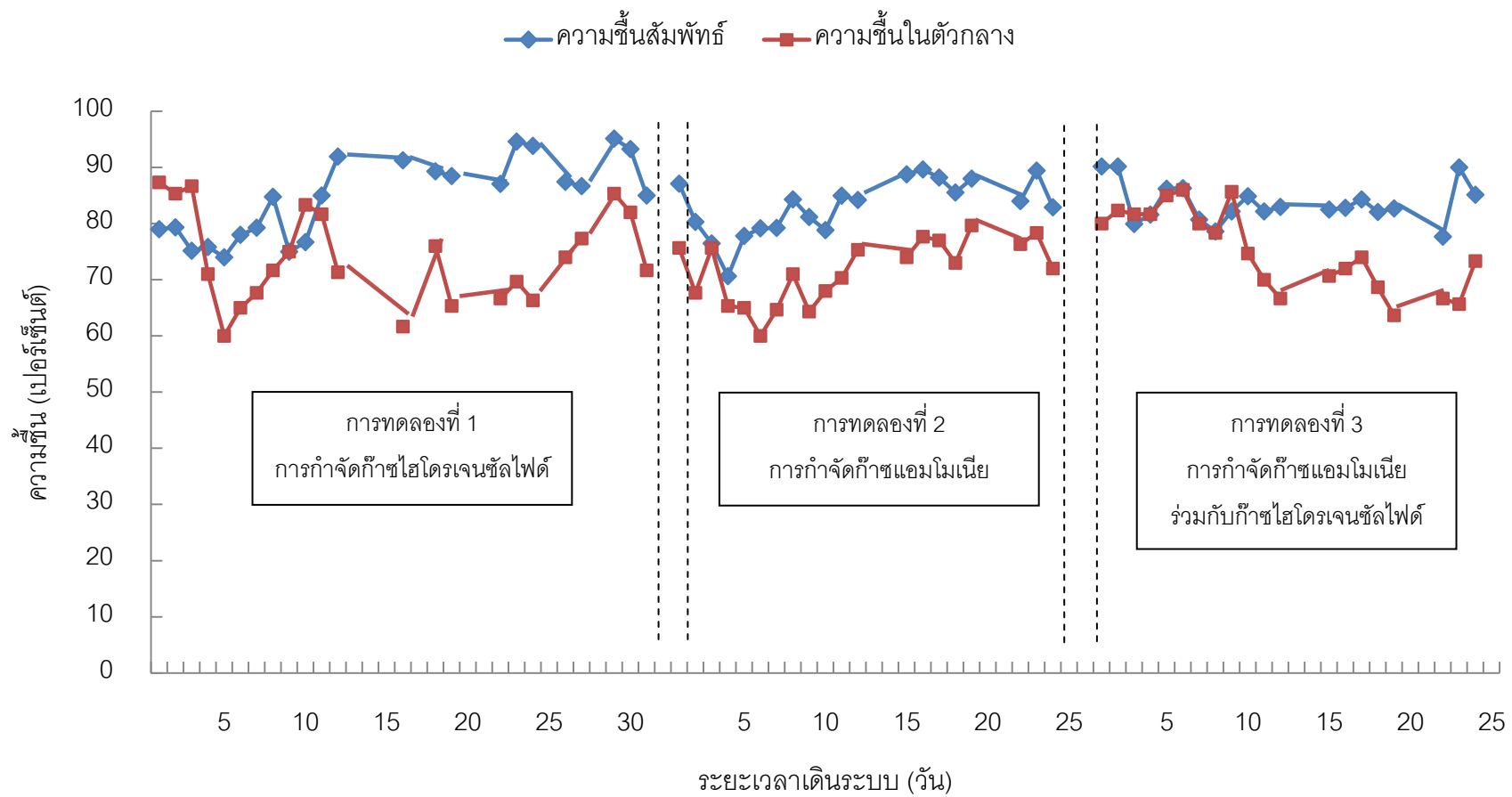
4.2.1 ความชื้นตัวกลาง

ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ ซึ่งในการควบคุมระดับความชื้นของเครื่องกรองชีวภาพนั้นสามารถทำได้ 2 วิธีคือ การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศขาเข้าระบบให้สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (Schnelle และ Brown, 2002) และการเติมน้ำที่ผิวหน้าของชั้นตัวกลาง ซึ่งระดับความชื้นตัวกลางที่เหมาะสมควรมีค่าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ (Devinny และคณะ, 1999) ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้วิธีการเติมน้ำที่ผิวหน้าตัวกลางแต่ละชั้นก่อนเริ่มระบบในแต่ละวัน เพื่อรักษาระดับความชื้นตัวกลางอยู่ในช่วง 60 - 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะทำให้ระดับความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในช่วง 60 - 95 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 4.1

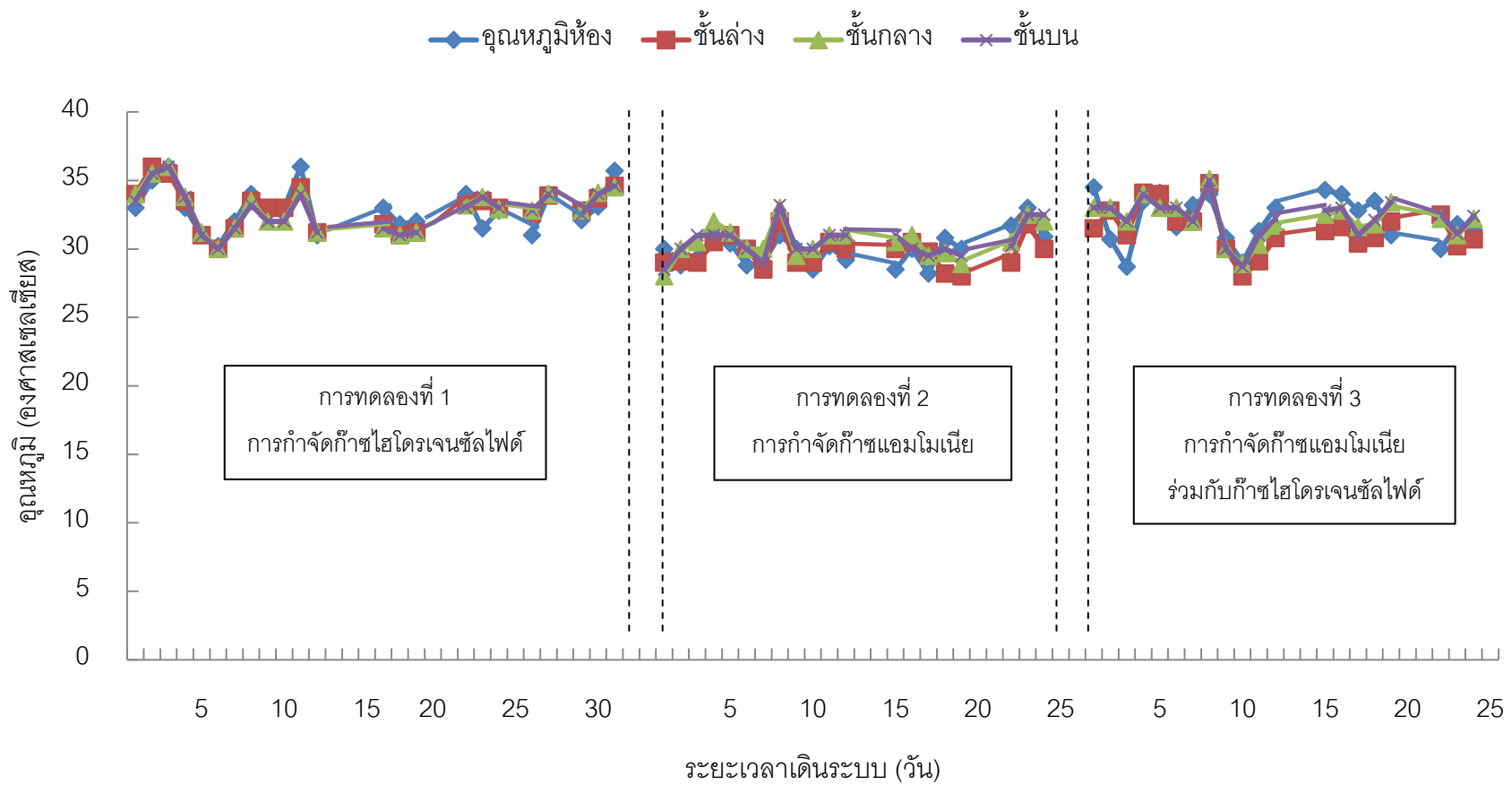
4.2.2 อุณหภูมิตัวกลาง

อุณหภูมิของตัวกลางวัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างที่อยู่กึ่งกลางในแต่ละชั้นตัวกลาง ตลอดระยะเวลาการเดินระบบ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิตัวกลางจะแปรผันตามอุณหภูมิห้องทดลอง โดยระหว่างการทดลองห้องทดลองมีอุณหภูมิ 28 - 35 องศาเซลเซียส และเมื่อวัดอุณหภูมิตัวกลางพบว่าตัวกลางแต่ละชั้นมีอุณหภูมิประมาณ 28 - 36 องศาเซลเซียส (ภาพที่ 4.2) ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อเครื่องกรองชีวภาพคือ 10 - 40 องศาเซลเซียส (Schnelle และ Brown, 2002)

เนื่องจากระบบเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต้องอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มไนตริไฟอิงแบคทีเรีย (Nitrifying Bacteria) และซัลเฟอร์ออกซิไดซิงแบคทีเรีย (Chung และคณะ, 2000) ซึ่งจุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้จะทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิช่วง 20 - 40 องศาเซลเซียส (Chung และคณะ, 2000; Villaverde และคณะ, 1997) ดังนั้นอุณหภูมิที่วัดได้จากการทดลองจึงถือว่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่จุลินทรีย์ทั้งสองกลุ่มนี้ทำงานได้



ภาพที่ 4.1 ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าเครื่องกรองชีวภาพและความชื้นในตัวกลาง



ภาพที่ 4.2 อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิจากชั้นตัวกลางต่างๆ

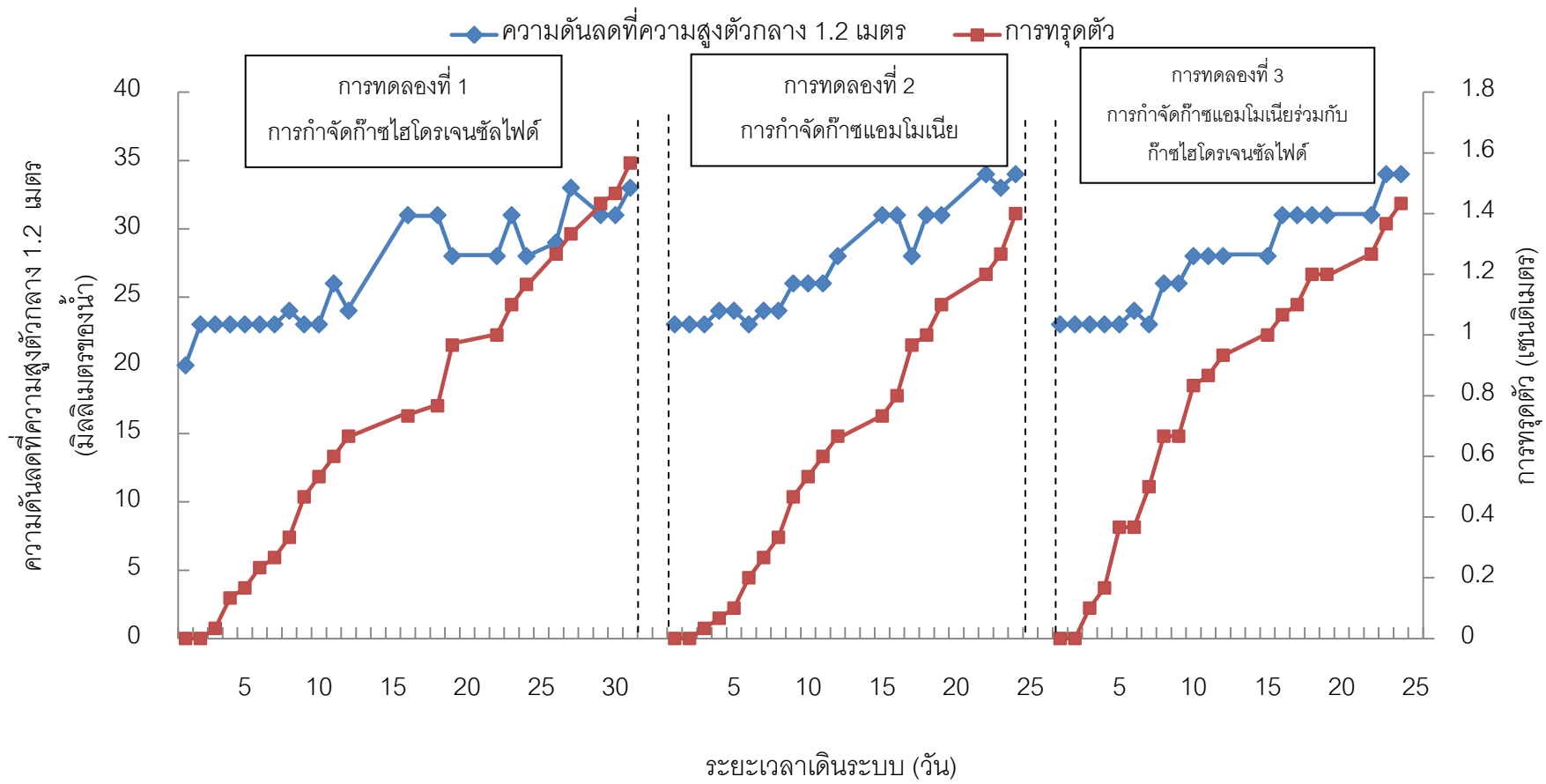
4.2.3 ความเป็นกรดต่างตัวกลาง

ในการเก็บตัวอย่างค่าความเป็นกรดต่างของตัวกลางจากจุดเก็บตัวอย่างชั้นล่าง ชั้นกลาง และชั้นบนของเครื่องกรองชีวภาพ จากภาพที่ 4.3 พบว่าค่าความเป็นกรดต่างของตัวกลางที่ชั้นล่างของเครื่องกรองชีวภาพจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าลดลงจาก 7.5 เป็น 7.0 ซึ่งเป็นค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบางชนิด เช่น *Thiobacillus* sp. แต่ค่าความเป็นกรดต่างของตัวกลางที่ชั้นล่างของเครื่องกรองชีวภาพจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.5 เป็น 7.9 อาจเป็นไปได้ว่าก๊าซแอมโมเนียที่เข้ามาในเครื่องกรองชีวภาพไม่ได้ถูกย่อยสลายโดยกระบวนการไนตริฟิเคชันที่จะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นไนเตรท (NO_3^-) และทำให้ค่าความเป็นกรดต่างลดลง แต่ก๊าซแอมโมเนียที่เข้ามาในเครื่องกรองชีวภาพละลายน้ำที่ซึมอยู่ในชั้นตัวกลางและแตกตัวเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4^+) และไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีฤทธิ์เป็นเบสจึงทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของตัวกลางเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ พบว่าค่าความเป็นกรดต่างของตัวกลางที่ชั้นล่างของเครื่องกรองชีวภาพลดลงจาก 7.5 เป็น 7.3 เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความเป็นกรดต่างจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย พบว่าค่าความเป็นกรดต่างที่ชั้นล่างของเครื่องกรองชีวภาพจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย เนื่องจากการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะได้ซัลเฟต (SO_4^{2-}) เป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนก๊าซแอมโมเนียจะละลายน้ำแตกตัวเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4^+) เมื่อผลิตภัณฑ์ทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยากันจะได้แอมโมเนียมซัลเฟต ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$) ซึ่งมีฤทธิ์เป็นเกลือจึงทำให้ค่าความเป็นกรดต่างที่วัดได้ไม่เปลี่ยนแปลงนัก (Chung และคณะ, 2000)



4.2.4 ความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลาง

ความดันลดเป็นพารามิเตอร์ที่ชี้วัดการสูญเสียความดันอากาศที่เข้าระบบ โดยระบบที่มีค่าความดันลดสูงจะทำให้ปั๊มอากาศทำงานหนักขึ้น ทำให้ต้องเสียค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องปั๊มดูดอากาศเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาอัตราไหลอากาศเข้าระบบให้คงที่ โดยค่าความดันลดของเครื่องกรองชีวภาพที่เหมาะสม ควรมีค่าไม่เกิน 100 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร (Devinny และคณะ, 1999) ตลอดจนระยะเวลาการทดลองพบว่าความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลางมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ภาพที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลางพบว่าเมื่อตัวกลางหลุดตัวมากขึ้นมีผลทำให้ความดันลดสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลางของทั้ง 3 ระบบ พบว่าระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระบบการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย และระบบการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ มีค่าความดันลดหลังจากเดินระบบ 24 วันเท่ากับ 28, 34 และ 34 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1.2 เมตร ตามลำดับ และมีการหลุดตัวของตัวกลางเท่ากับ 1.2, 1.4 และ 1.4 เซนติเมตร ตามลำดับ



ภาพที่ 4.4 ความดันลดที่ความสูงตัวกลาง 1.2 เมตร และการท่รุ่ตัวของตัวกลาง

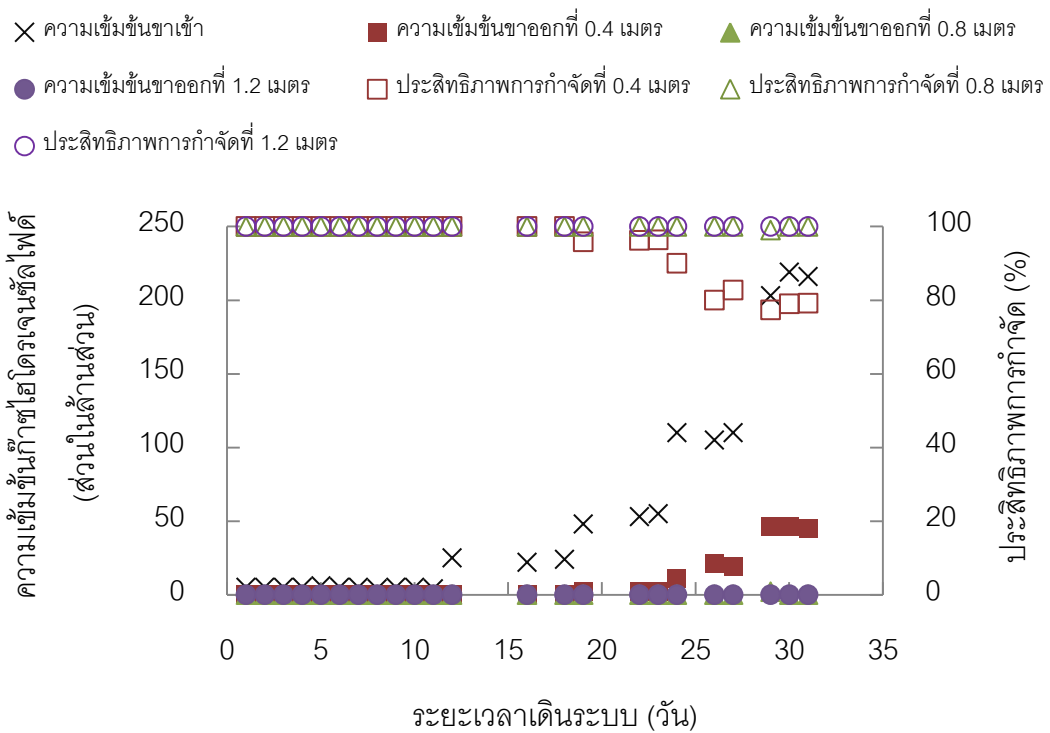
4.3 อิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการเดินระบบ

อิทธิพลของตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ความเข้มข้นก๊าซมลพิษ ภาวะบรรทุก๊าซมลพิษและเวลากักพัก ซึ่งในงานวิจัยได้แบ่งเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองที่ 2 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย และการทดลองที่ 3 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

4.3.1 ความเข้มข้นก๊าซมลพิษ

การทดลองที่ 1 การทดลองกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

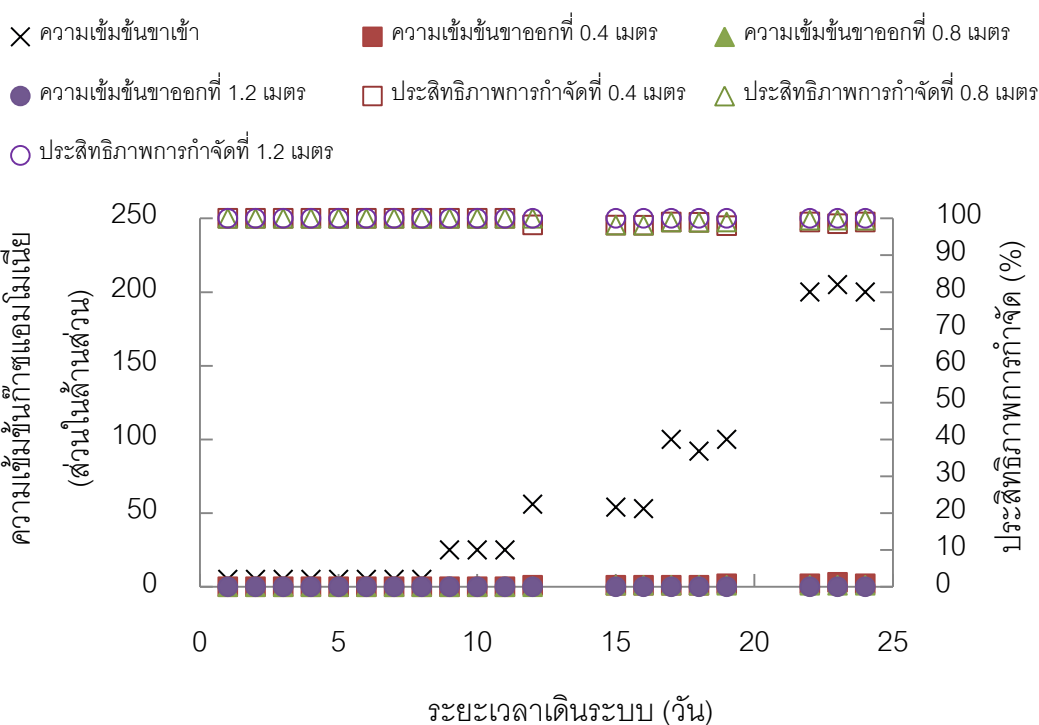
เมื่อเริ่มต้นเดินระบบด้วยการป้อนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าที่ 5 ส่วนในล้านส่วน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทุกชั้นที่เก็บตัวอย่างตั้งแต่วันแรกของการทดลอง หลังจากวันที่ 10 จึงเริ่มเปลี่ยนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบเป็น 25 ส่วนในล้านส่วน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ยังคงเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทุกชั้นที่เก็บตัวอย่าง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าเป็น 50 - 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือ 96 - 79 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร (ชั้นล่าง) อย่างไรก็ตามเมื่อเก็บตัวอย่างความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาออกที่ความสูงตัวกลาง 0.8 เมตร (ชั้นกลาง) และที่ความสูงตัวกลาง 1.2 เมตร (ชั้นบน) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 99 - 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.5)



ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่างๆ

การทดลองที่ 2 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

เมื่อเริ่มต้นเดินระบบโดยที่ยังไม่ป้อนก๊าซแอมโมเนีย และลองใช้เครื่องวัดก๊าซแอมโมเนียวัดความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย พบว่าเครื่องวัดก๊าซแอมโมเนียอ่านค่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียได้ประมาณ 2 ส่วนในล้านส่วน เนื่องจากวัสดุตัวกลางหลักที่ใช้เป็นปุยหมักซึ่งจะมีแอมโมเนียเป็นองค์ประกอบ หลังจากที่เติมน้ำให้ตัวกลางและเป่าอากาศเข้าระบบความเข้มข้นแอมโมเนียที่วัดได้จึงเป็นความเข้มข้นแอมโมเนียที่อยู่ในตัวกลาง ดังนั้นจึงใช้ค่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียที่วัดได้นี้เป็นค่าควบคุม โดยค่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียที่วัดได้จากจุดเก็บตัวอย่างทุกจุดจะลดด้วยความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 2 ส่วนในล้านส่วน จากภาพที่ 4.6 เมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบ 5 - 25 ส่วนในล้านส่วน เครื่องกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย 100 เปอร์เซ็นต์ แต่หลังจากเพิ่มความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้า 50 - 200 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียลดลงมาเหลือ 98 ถึง 99 เปอร์เซ็นต์ โดยพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียจะมีค่าใกล้เคียงกันทุกชั้นที่เก็บตัวอย่าง



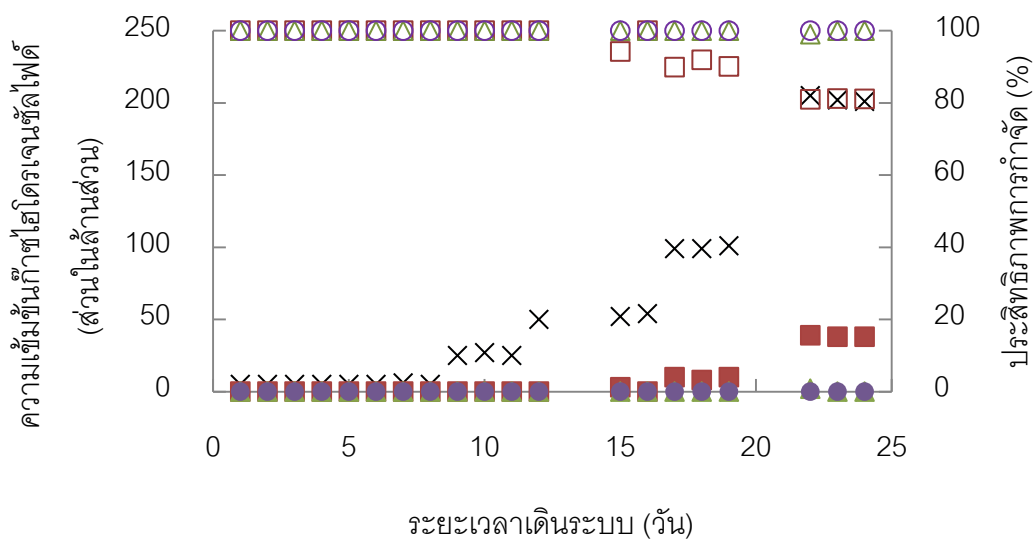
ภาพที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียขาเข้าต่างๆ

การทดลองที่ 3 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

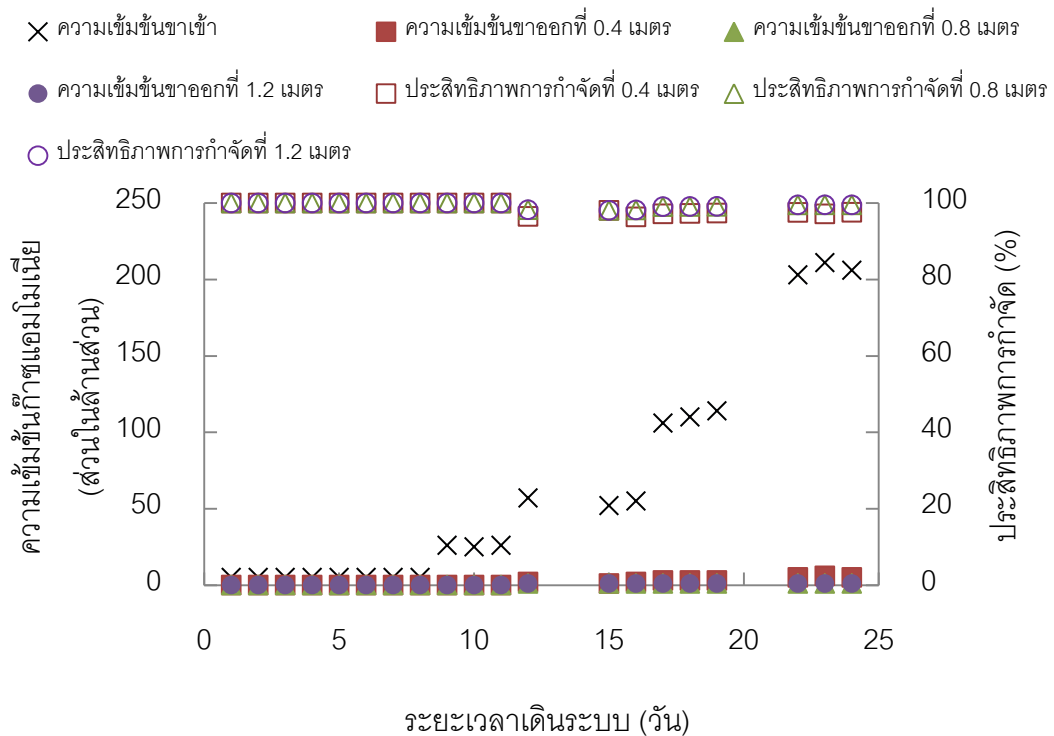
ในการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กำหนดให้ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบในอัตราส่วน 1 : 1 เริ่มต้นระบบด้วยการให้ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ 5 ส่วนในล้านส่วน พบว่าเครื่องกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ทุกความสูงชั้นตัวกลางที่เก็บตัวอย่าง (ภาพที่ 4.7 และ 4.8) หลังจาก 8 วันได้เพิ่มความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบเป็น 25 ส่วนในล้านส่วน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซทั้งสองชนิดนี้ยังคงเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ที่ทุกความสูงชั้นตัวกลาง แต่เมื่อเพิ่มความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า 50 - 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีแนวโน้มลดลง โดยประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซทั้งสองชนิดจะลดลงมากที่สุดที่ชั้นล่างของเครื่องกรองชีวภาพ (ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร) ที่ความสูงตัวกลางนี้ ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียอยู่ในช่วง 96 - 97 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะอยู่ในช่วง 94 - 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวัดความเข้มข้นก๊าซมลพิษทั้งสองขา

ออกที่ความสูงตัวกลาง 0.8 และ 1.2 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียเพิ่มขึ้นเป็น 98 - 99 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเป็น 99 - 100 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าที่ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร ยังไม่เพียงพอต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ดังนั้นในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์พร้อมกันควรเลือกใช้ความสูงตัวกลางที่ 0.8 เมตรขึ้นไป เพื่อสามารถกำจัดก๊าซทั้งสองชนิดนี้พร้อมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่จากการทดลองนี้ยังไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซแต่ละชนิดว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดหรือไม่ ดังนั้นจึงทำการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแต่ละชนิดของเครื่องกรองชีวภาพ

- × ความเข้มข้นขาเข้า
- ความเข้มข้นขาออกที่ 0.4 เมตร
- ▲ ความเข้มข้นขาออกที่ 0.8 เมตร
- ความเข้มข้นขาออกที่ 1.2 เมตร
- ประสิทธิภาพการกำจัดที่ 0.4 เมตร
- △ ประสิทธิภาพการกำจัดที่ 0.8 เมตร
- ประสิทธิภาพการกำจัดที่ 1.2 เมตร



ภาพที่ 4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

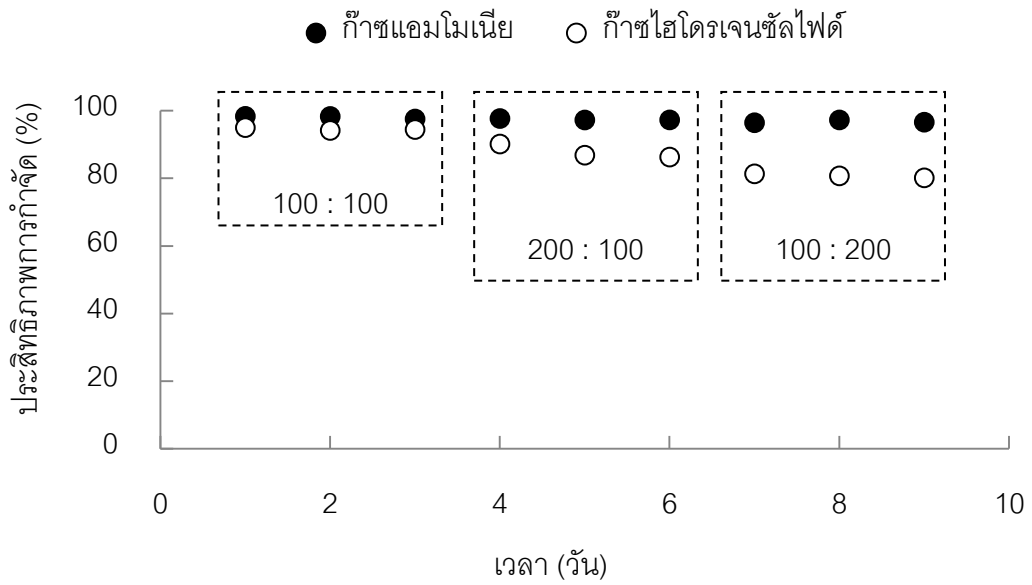


ภาพที่ 4.8 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ความเข้มข้นต่างๆ จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

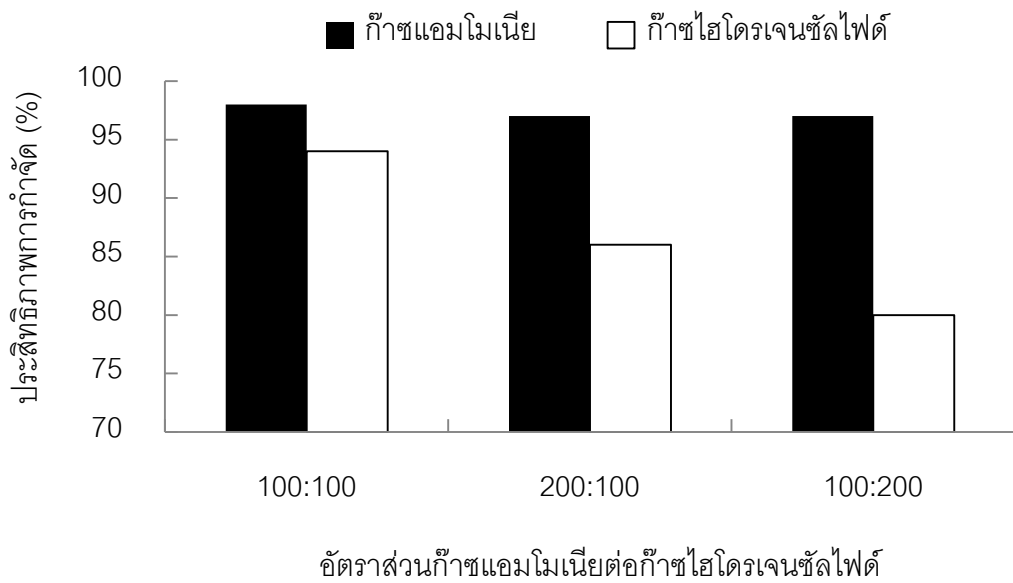
การทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแต่ละชนิดของเครื่องกรองชีวภาพ ดำเนินการทดลองโดยการแปรผันความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอัตราส่วน 100 : 100, 200 : 100 และ 100 : 200 ส่วนในล้านส่วน ตามลำดับ เมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบในอัตราส่วน 100 : 100 ส่วนในล้านส่วน พบว่าที่ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าต่างกันเพียงเล็กน้อย โดยที่ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่า 98 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่า 94 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเพิ่มความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบที่อัตราส่วน 200 : 100 ส่วนในล้านส่วน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่า 97 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือ 86 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วน 100 : 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียยังคงคงที่อยู่ที่ 97 เปอร์เซ็นต์ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กลับลดลงเหลือเพียง 80 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองข้างต้นเมื่อแปรผันอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วน 200 : 100 ส่วนในล้านส่วน พบว่าเครื่องกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากก๊าซแอมโมเนียที่เข้ามาในเครื่องกรองชีวภาพถูกดูดซับด้วยน้ำและแตกตัวเป็นแอมโมเนียม (NH_4^+) และไฮดรอกไซด์ (OH^-) ซึ่งทำให้ความเป็นกรดต่างของตัวกลางเพิ่มขึ้นถึง 7.9 ส่งผลกระทบต่อการทำงานของจุลินทรีย์กลุ่มซัลเฟอร์ออกซิไดซ์ซึ่งแบคทีเรียโดยจะไปยังยับยั้งระบบการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของซัลเฟอร์ออกซิไดซ์ซึ่งแบคทีเรียที่ทำงานได้ดีที่ความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 7.5 (Syed และคณะ, 2006) Lee และคณะ (2000) ศึกษาอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันซัลเฟอร์ที่ค่าความเป็นกรดต่างต่างๆ ของสารอาหารด้วยซัลเฟอร์ออกซิไดซ์ซึ่งแบคทีเรียสายพันธุ์ *Thiobacillus* sp. ASWW-2 พบว่าอัตราการออกซิไดซ์ซัลเฟอร์จากไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อเปลี่ยนเป็นซัลเฟตสูงสุด (0.61 กรัมซัลเฟอร์ต่อลิตร-วัน) ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 4 และอัตราการออกซิไดซ์จะลดลงเรื่อยๆ ที่ค่าความเป็นกรดต่างสูงขึ้น โดยจะลดต่ำสุด (0.39 กรัมซัลเฟอร์ต่อลิตร-วัน) ที่ค่าความเป็นกรดต่าง 8 ดังนั้นจากการทดลองค่าความเป็นกรดต่างตัวกลางเพิ่มขึ้นถึง 7.9 อาจทำให้ความสามารถในการออกซิไดซ์ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของซัลเฟอร์ออกซิไดซ์ซึ่งแบคทีเรียลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้าที่ 100 : 100 ส่วนในล้านส่วน (Chung และคณะ, 2001) นอกจากนี้เมื่อแปรผันอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ 100 : 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าเครื่องกรองชีวภาพมีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียเช่นกันและประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียยังคงมากกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ เมื่อวัดความเป็นกรดต่างพบว่าความเป็นกรดต่างลดลงเหลือ 7.5 แต่ที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 2 เท่านี้กลับมีผลต่อการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ อาจเนื่องมาจากที่อัตราส่วนความเข้มข้นนี้มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เป็นอาหารของซัลเฟอร์ออกซิไดซ์ซึ่งแบคทีเรียมากกว่าจำนวนซัลเฟอร์ออกซิไดซ์ซึ่งแบคทีเรียที่อาจมีจำนวนไม่มากพอที่จะย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้หมด จึงส่งผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดต่ำลง

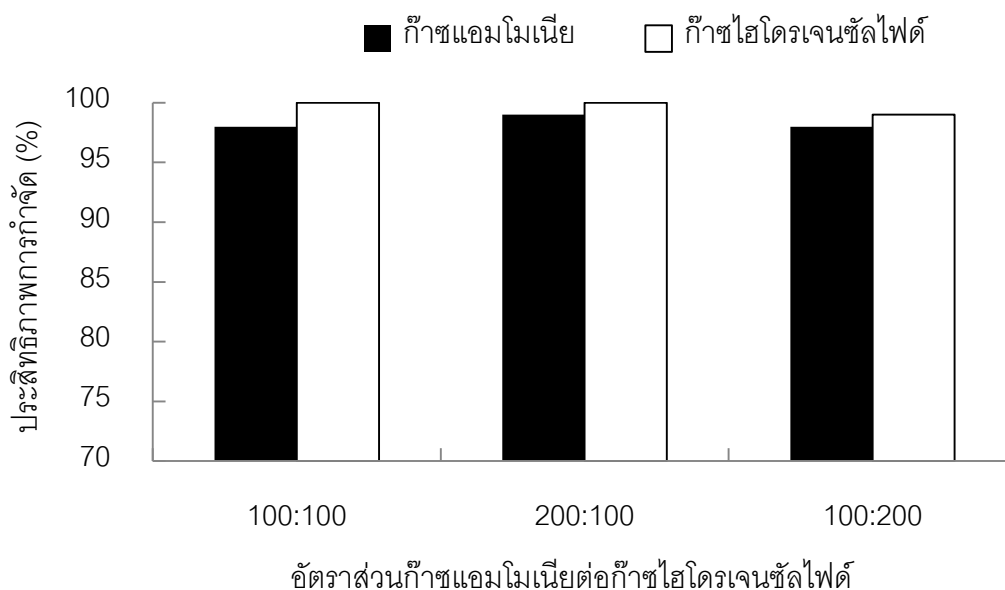
แต่อย่างไรก็ตามเมื่อวัดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หลังการบ่อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ความสูงตัวกลาง 0.8 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเป็น 99 – 100 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.11)



ภาพที่ 4.9 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขาเข้า 100 : 100, 200 : 100 และ 100 : 200 ส่วนในล้านส่วน ที่ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร



ภาพที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร

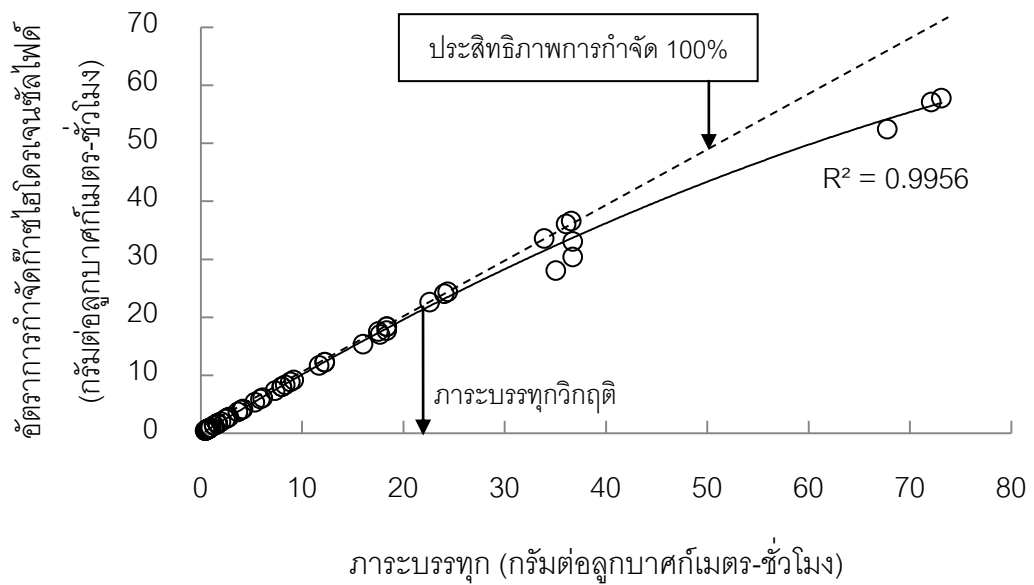


ภาพที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่ความสูงตัวกลาง 0.8 เมตร

4.3.2 ภาวะบรรทุก๊าซซัลไฟด์

การทดลองที่ 1 การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

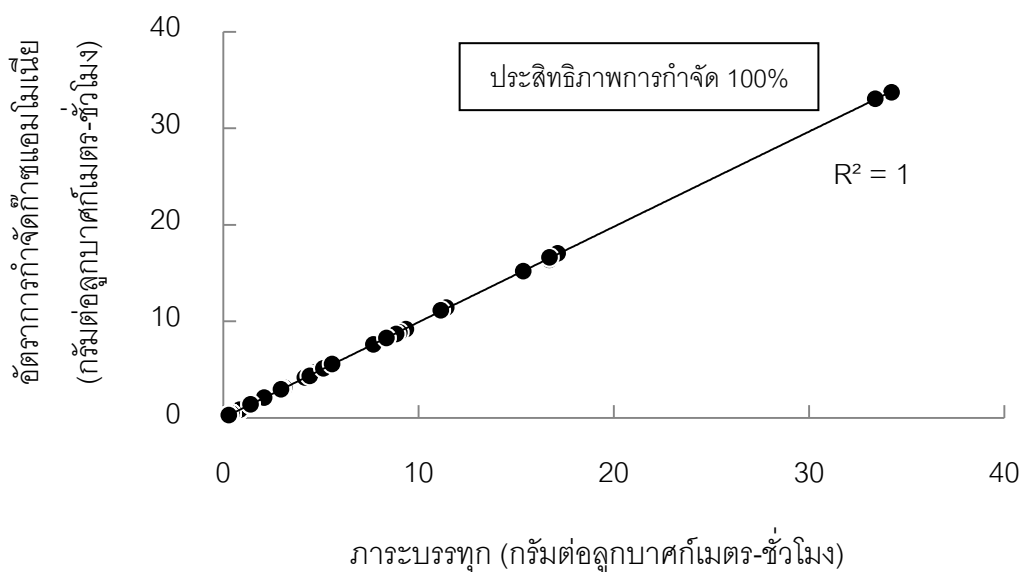
ภาวะบรรทุก๊าซ คือ ปริมาณมวลสารมลพิษที่เข้าระบบต่อปริมาตรตัวกลาง และเวลา มีประโยชน์ในการบอกความสามารถในการรับก๊าซมลพิษของตัวกลางต่อหน่วยปริมาตรตัวกลางในหนึ่งหน่วยเวลา ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าเท่ากับ 5 – 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าภาวะบรรทุก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.56 – 73.11 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง ภาพที่ 4.12 แสดงอัตราการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ภาวะบรรทุก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่างๆ พบว่าที่ภาวะบรรทุก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.56 – 22.00 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง อัตราการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับภาวะบรรทุก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ คือ ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มภาวะบรรทุก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 22.00 – 73.11 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง อัตราการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เริ่มมีค่าลดลง ดังนั้นที่ภาวะบรรทุก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 22 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง คือ ภาวะบรรทุก๊าซวิกฤติของระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นี้ (ภาวะบรรทุก๊าซวิกฤติ (Critical loading) คือ ค่าภาวะบรรทุก๊าซของระบบ ณ จุดแรกของกราฟที่ประสิทธิภาพการกำจัดเริ่มต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์)



ภาพที่ 4.12 อัตราการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ภาวะบรรทุกต่างๆ

การทดลองที่ 2 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

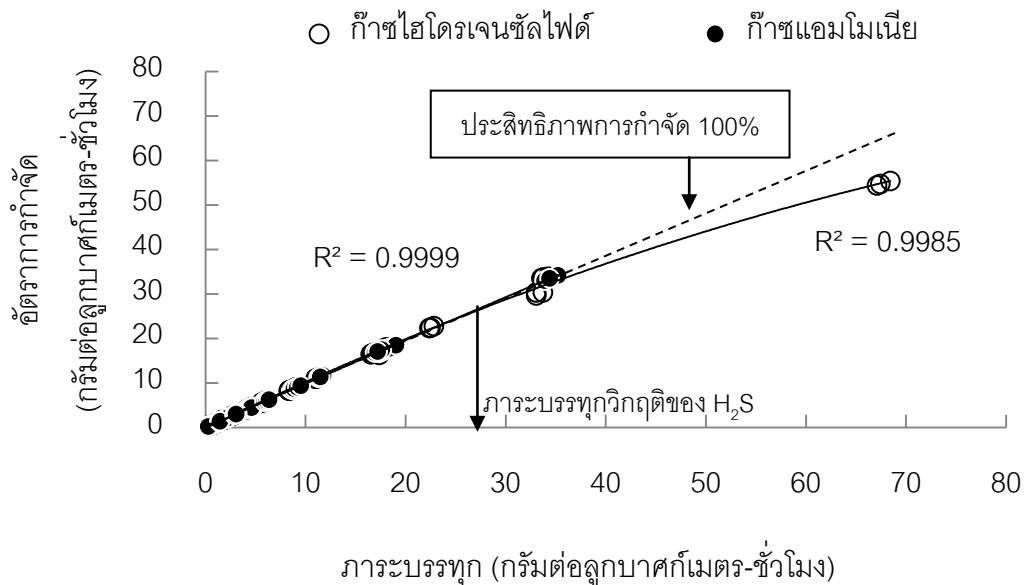
ในการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียเมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบ 5 – 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าภาวะบรรทุกก๊าซแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.28 – 34.22 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง ภาพที่ 4.13 แสดงอัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ภาวะบรรทุกก๊าซแอมโมเนียต่างๆ พบว่าอัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่า 0.28 – 33.72 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง ซึ่งเท่ากับหรือใกล้เคียงกับภาวะบรรทุกก๊าซแอมโมเนียมาก แสดงว่าระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดประมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่จากภาพที่ 4.13 ยังไม่พบค่าภาวะบรรทุกวิกฤติของระบบการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ชัดเจน เนื่องจากภาวะบรรทุกก๊าซแอมโมเนียยังไม่สูงเพียงพอที่จะทำให้อัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียลดลง ซึ่งค่าภาวะบรรทุกวิกฤติของระบบการกำจัดก๊าซแอมโมเนียอาจมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 33.72 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง



ภาพที่ 4.13 อัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ภาวะบรรทุกต่างๆ

การทดลองที่ 3 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในอัตราส่วน 1 : 1 เข้าระบบ โดยแปรผันความเข้มข้นก๊าซทั้งสองชนิด 5 – 200 ส่วนในล้านส่วน พบว่าภาวะบรรทุกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อยู่ในช่วง 0.56 – 68.43 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง และภาวะบรรทุกก๊าซแอมโมเนียอยู่ในช่วง 0.28 – 35.22 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง จากภาพที่ 4.14 พบว่าที่ภาวะบรรทุกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 0.56 – 28.00 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง อัตราการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับภาวะบรรทุกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อเพิ่มภาวะบรรทุกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 28.00 – 68.43 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง อัตราการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เริ่มมีค่าลดลง ดังนั้นที่ภาวะบรรทุกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 28 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง คือ ภาวะบรรทุกวิกฤติของระบบการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นี้ สำหรับอัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่าเท่ากับหรือใกล้เคียงกับภาวะบรรทุกก๊าซแอมโมเนีย ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ แต่ยังไม่พบค่าภาวะบรรทุกวิกฤติของระบบการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ชัดเจน เนื่องจากภาวะบรรทุกก๊าซแอมโมเนียยังไม่สูงเพียงพอที่จะทำให้อัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียลดลง ซึ่งค่าภาวะบรรทุกวิกฤติของระบบการกำจัดก๊าซแอมโมเนียอาจมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 35.22 กรัมต่อลูกบาศก์เมตร-ชั่วโมง



ภาพที่ 4.14 อัตราการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ภาวะบรรทุกก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ต่างๆ

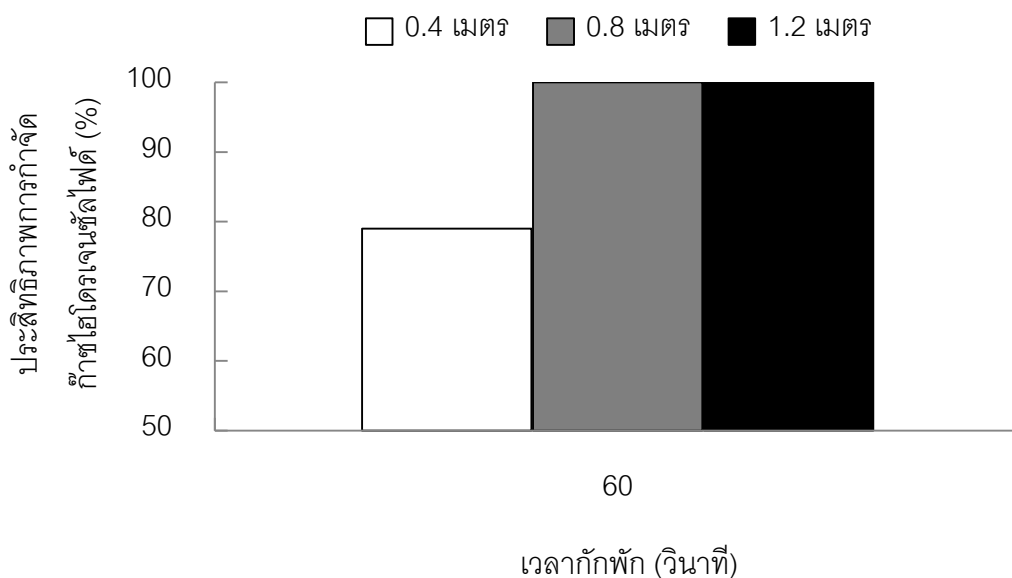
4.3.3 เวลาพักพัก

เวลาพักพัก เป็นพารามิเตอร์หนึ่งซึ่งช่วยให้การออกแบบเครื่องกรองชีวภาพเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ คือ ถ้าเวลาพักพักก๊าซมลพิษในตัวกลางไม่เพียงพอ ก๊าซมลพิษนั้นอาจจะถูกกำจัดได้ไม่หมด แต่ถ้าเลือกใช้เวลากักพักก๊าซมลพิษที่มากเกินไป แม้จะกำจัดก๊าซมลพิษได้หมด แต่ก็จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบสูงขึ้นตามมา ดังนั้นจึงควรเลือกใช้เวลากักพักที่เหมาะสมก่อนการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพ

การทดลองที่ 1 การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการป้อนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบเท่ากับ 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพัก 60 วินาที พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นตามระดับความสูงตัวกลาง โดยที่ระดับความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร (เวลากักพัก 20 วินาที) ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าต่ำกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ (ภาพที่ 4.15) แต่ที่ระดับความสูงตัวกลาง 0.8 และ 1.2 เมตร (เวลากักพัก 40 และ 60 วินาที ตามลำดับ) ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในการกำจัดก๊าซ

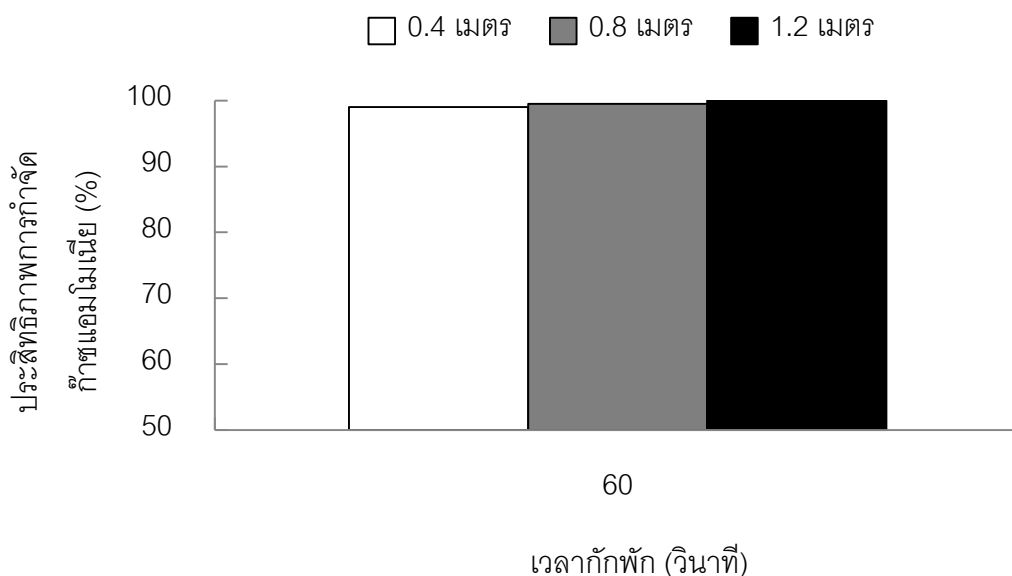
ไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ให้มีประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ควรเลือกใช้เวลากักพักที่ 40 วินาที ระดับความสูงตัวกลางต่ำสุด 0.8 เมตร



ภาพที่ 4.15 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วนที่เวลากักพัก 60 วินาที

การทดลองที่ 2 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบ 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพัก 60 วินาที พบว่าที่ระดับความสูงตัวกลาง 0.4, 0.8 และ 1.2 เมตร (เวลากักพัก 20, 40 และ 60 วินาที) ตามลำดับ ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่า 99, 99.5 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ภาพที่ 4.16) อย่างไรก็ตามจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่ระดับความสูงตัวกลางต่างๆ มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นจึงสามารถเลือกใช้ระยะเวลาพักต่ำสุดที่ 20 วินาที ระดับความสูงตัวกลางต่ำสุด 0.4 เมตร ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์



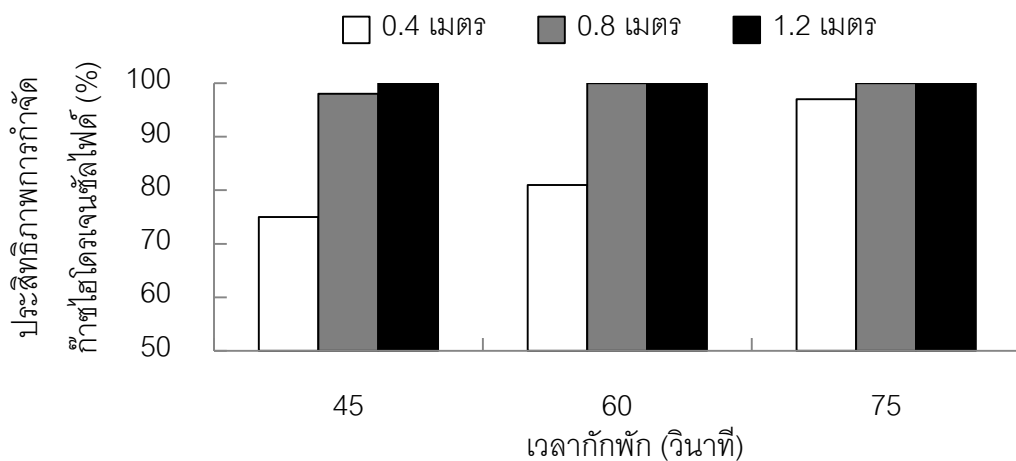
ภาพที่ 4.16 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียความเข้มข้น 200 ส่วนในล้านส่วน
ที่เวลาที่กักพัก 60 วินาที

การทดลองที่ 3 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

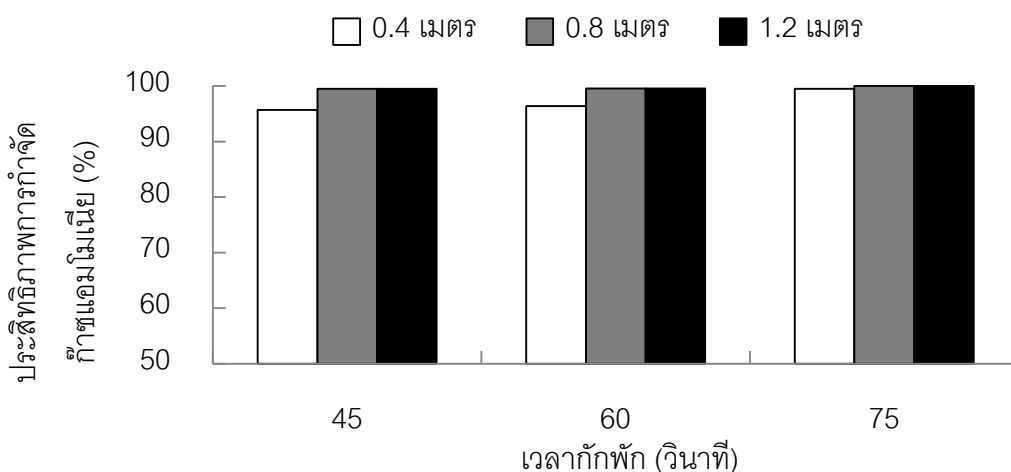
ในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยการป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน จากภาพที่ 4.17 พบว่าที่เวลาที่กักพัก 45 วินาที ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่า 75, 98 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความสูงตัวกลาง 0.4, 0.8 และ 1.2 เมตร ตามลำดับ ที่เวลาที่กักพัก 60 วินาที ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่า 81, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความสูงตัวกลางดังกล่าวตามลำดับ ที่เวลาที่กักพัก 75 วินาที ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่า 97, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความสูงตัวกลางดังกล่าวตามลำดับ จากภาพที่ 4.18 พบว่าที่เวลาที่กักพัก 45 วินาที ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่า 96, 99 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความสูงตัวกลาง 0.4, 0.8 และ 1.2 เมตร ตามลำดับ ที่เวลาที่กักพัก 60 วินาที ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่า 96, 99 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความสูงตัวกลางดังกล่าวตามลำดับ ที่เวลาที่กักพัก 75 วินาที ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียมีค่า 99, 100 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ระดับความสูงตัวกลางดังกล่าวตามลำดับ

ในการเลือกระยะเวลาพักของระบบเครื่องกรองชีวภาพผู้ออกแบบจะต้องกำหนดก่อนว่าต้องการให้ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซมลพิษที่ต้องการกี่เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงทำการเลือกระยะเวลาพักที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษตามต้องการ ในการกำจัดก๊าซ

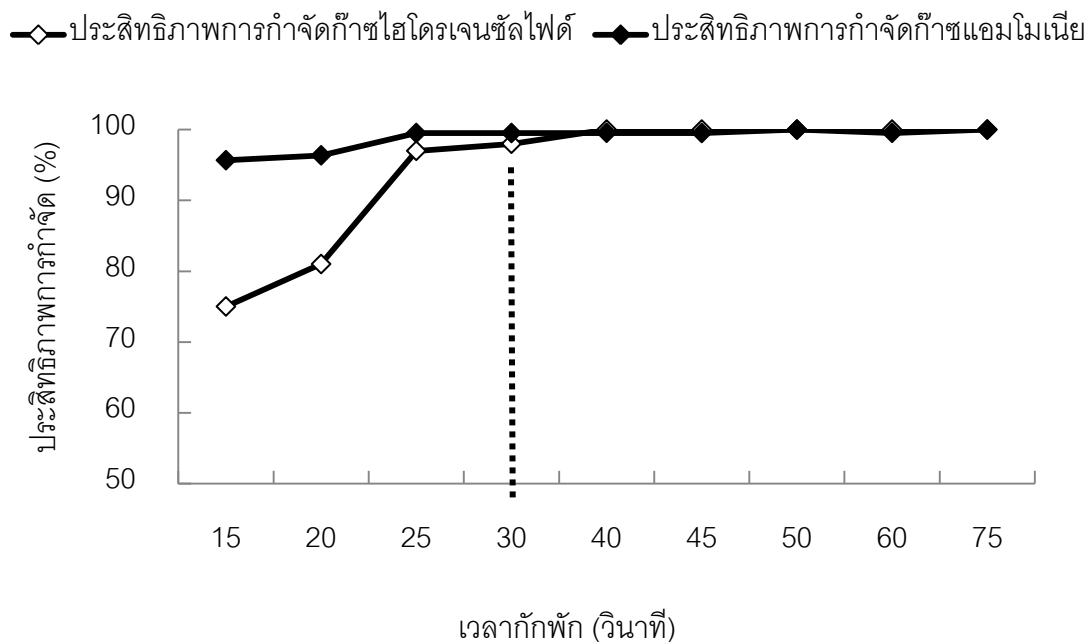
แอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในงานวิจัยนี้ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน จะเลือกใช้เวลากักพักที่ 30 วินาที ระดับความสูงตัวกลางเท่ากับ 0.8 เมตร (ภาพที่ 4.19) เพราะเป็นเวลากักพักต่ำสุดที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียเท่ากับ 98 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งการเลือกใช้เวลากักพักต่ำสุดนี้จะช่วยลดปริมาตรตัวกลางที่ต้องใช้ในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพ จึงทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างเครื่องกรองชีวภาพ



ภาพที่ 4.17 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพักและความสูงตัวกลางต่างๆ



ภาพที่ 4.18 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลากักพักและความสูงตัวกลางต่างๆ



ภาพที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนไซลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนไซลไฟด์ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน ที่เวลาพักพักต่างๆ

4.4 ผลกระทบที่เกิดขึ้น

4.4.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหาร

ผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อนและหลังการเดินระบบ พบว่าปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังจากการเดินระบบมีค่าลดลงจากก่อนการเดินระบบในแต่ละชุดการทดลอง (ตารางที่ 4.3) ซึ่งเกิดจากการใช้สารอินทรีย์วัตถุเป็นแหล่งคาร์บอนโดยจุลินทรีย์กลุ่ม Heterotrophic bacteria แต่ไม่ได้เกิดจากจุลินทรีย์กลุ่ม Autotrophic bacteria ที่สามารถสร้างอาหารได้เองโดยรับธาตุคาร์บอนจากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น ซัลเฟอร์ออกซิไดซิงแบคทีเรีย ที่ทำหน้าที่ในการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนไซลไฟด์

เมื่อเปรียบเทียบปริมาณธาตุอาหาร ไนโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม ก่อนและหลังการเดินระบบ แสดงดังตารางที่ 4.3 พบว่าปริมาณธาตุอาหารโดยรวมมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากในปุ๋ยหมักอาจมีจุลินทรีย์บางชนิดที่มีความสามารถในการเพิ่มธาตุอาหารต่างๆ เจริญเติบโตขึ้นระหว่าง

การเดินระบบ เช่น จุลินทรีย์กลุ่ม Bacillus บางชนิด สามารถผลิตกรดอินทรีย์ช่วยละลายแร่ธาตุที่มีฟอสเฟตและโพแทสเซียมเป็นองค์ประกอบ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2555)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารของตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ

ตัวแปร	ก่อนเดินระบบ	หลังการเดินระบบ		
		การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
อินทรีย์วัตถุ (%)	28.45	22.37	19.43	28.19
ไนโตรเจน (%)	1.05	1.16	0.95	0.93
ฟอสฟอรัส (%)	1.19	1.51	2.06	1.37
โพแทสเซียม (%)	0.35	0.84	1.6	0.48

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4.2 ปริมาณจุลินทรีย์

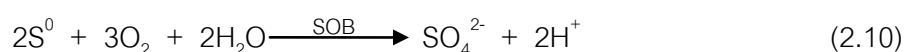
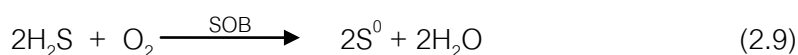
ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพโดยใช้วิธี Dilution Plate Count ไม่สามารถจำแนกกลุ่มจุลินทรีย์หรือบอกสายพันธุ์จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบได้ แต่บอกเพียงปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบทั้งหมด ผลการนับปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนและหลังการเดินระบบในแต่ละการทดลองดังตารางที่ 4.4 พบว่าก่อนเดินระบบในการทดลองที่ 1 การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองที่ 2 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย และการทดลองที่ 3 การทดลองกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตัวกลางมีปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ 3.2×10^7 , 7.2×10^7 และ 4×10^7 CFU/gram ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกรองชีวภาพคือ อยู่ในช่วง $10^7 - 10^9$ CFU/gram (Devanny และคณะ, 1999) จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนเดินระบบมีปริมาณที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน ส่วนผลการนับปริมาณจุลินทรีย์หลังเดินระบบในแต่ละการทดลองพบว่าปริมาณจุลินทรีย์มีค่าไม่แตกต่างจากก่อนการเดินระบบ เพราะมีปริมาณอยู่ในช่วง 10^7 CFU/gram เช่นเดียวกัน จึงสามารถบอกได้เบื้องต้นว่าจุลินทรีย์ที่อยู่ในตัวกลางสามารถดำรงอยู่ในสภาวะที่มีความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 5 – 200 ส่วนในล้านส่วนได้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณจุลินทรีย์

ชั้น ตัวกลาง	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU/gram)					
	การทดลองที่ 1		การทดลองที่ 2		การทดลองที่ 3	
	ก่อนเดิน ระบบ	หลังเดิน ระบบ	ก่อนเดิน ระบบ	หลังเดิน ระบบ	ก่อนเดิน ระบบ	หลังเดิน ระบบ
ชั้นล่าง	3.2×10^7	3.1×10^7	7.2×10^7	4.3×10^7	4×10^7	3.5×10^7
ชั้นกลาง	3.2×10^7	2.4×10^7	7.2×10^7	3.8×10^7	4×10^7	3.4×10^7
ชั้นบน	3.2×10^7	1.8×10^7	7.2×10^7	2.5×10^7	4×10^7	2.9×10^7

4.4.3 ปริมาณซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟตเป็นตัวแปรหนึ่งในการตรวจสอบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเครื่องกรองชีวภาพ โดยปริมาณซัลเฟตจะบอกถึงประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของจุลินทรีย์กลุ่ม Colorless sulfur bacteria ที่ใช้ก๊าซออกซิเจนในการย่อยสลายก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) ได้ผลิตภัณฑ์เป็นธาตุซัลเฟอร์ (S^0) และซัลเฟต (SO_4^{2-}) ดังสมการที่ 2.9 และ 2.10



การศึกษาปริมาณซัลเฟตจะทำการวิเคราะห์ก่อนและหลังการเดินระบบจากการทดลองที่ 1 การทดลองกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และการทดลองที่ 3 การกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพราะทั้ง 2 การทดลองมีการป้อนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบ โดยทำการศึกษาทั้งปริมาณซัลเฟอร์ที่อยู่ในตัวกลางและปริมาณซัลเฟตในน้ำชะตัวกลางเปรียบเทียบกับปริมาณซัลเฟอร์และซัลเฟตก่อนเดินระบบ จากตารางที่ 4.5 พบว่าปริมาณซัลเฟอร์หลังเดินระบบในการทดลองที่ 1 มีค่า 0.48 เปอร์เซ็นต์ ลดลงจากปริมาณซัลเฟอร์ก่อนการเดินระบบและปริมาณซัลเฟตในน้ำชะตัวกลางหลังการเดินระบบสูงกว่าปริมาณซัลเฟตก่อนการเดินระบบประมาณ 20 เท่า อาจเป็นไปได้ว่ามีการออกซิไดซ์ซัลเฟอร์ไปเป็นซัลเฟตได้ในปริมาณมาก แต่หลังเดินระบบในการทดลองที่ 3 พบว่าปริมาณซัลเฟอร์กลับมีค่า 1.09 เปอร์เซ็นต์ สูงขึ้นจาก

ก่อนเดินระบบ 0.64 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อวิเคราะห์ปริมาณซัลเฟตในน้ำชะตัวกลาง พบว่าปริมาณซัลเฟตในน้ำชะตัวกลางหลังการเดินระบบสูงกว่าก่อนการเดินระบบประมาณ 12 เท่า แต่ต่ำกว่าปริมาณซัลเฟตในน้ำชะตัวกลางในการทดลองที่ 1 อาจเนื่องมาจากซัลเฟตไอออนบางส่วนทำปฏิกิริยากับแอมโมเนียมไอออนที่ละลายอยู่ในน้ำที่ซึมอยู่ในตัวกลาง

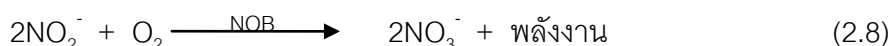
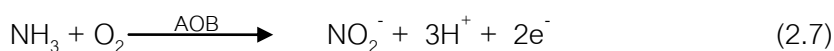
ตารางที่ 4.5 ปริมาณซัลเฟอร์ในตัวกลางและซัลเฟตในน้ำชะตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ

การทดลอง	ปริมาณซัลเฟอร์ในตัวกลาง (เปอร์เซ็นต์)		ปริมาณซัลเฟตในน้ำชะตัวกลาง (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	ก่อนเดินระบบ	หลังเดินระบบ	ก่อนเดินระบบ	หลังเดินระบบ
การทดลองที่ 1	0.55	0.48	374	8,417
การทดลองที่ 3	0.55	1.09	374	4,522

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4.4 ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรท

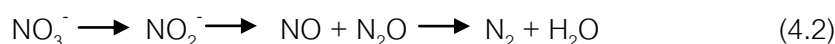
ปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทเป็นตัวแปรหนึ่งในการตรวจสอบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียของเครื่องกรองชีวภาพ โดยปริมาณแอมโมเนียมจะบอกถึงความสามารถในการละลายน้ำของก๊าซแอมโมเนียและไนเตรทจะบอกถึงประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียของจุลินทรีย์กลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) และ Nitrite oxidizing bacteria (NOB) สมการการย่อยสลายแสดงดังสมการที่ 2.7 และ 2.8



การศึกษาปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทจะทำการวิเคราะห์จากก่อนและหลังการเดินระบบในการทดลองที่ 2 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย และการทดลองที่ 3 การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งทั้ง 2 การทดลองมีการป้อนก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบ โดยทำการศึกษาทั้งปริมาณแอมโมเนียมและไนเตรทที่อยู่ในตัวกลางและในน้ำชะตัวกลาง จากผลการวิเคราะห์แอมโมเนียมในตัวกลางและในน้ำชะตัวกลางก่อนและหลังการเดินระบบ(ตารางที่ 4.6) พบว่าหลังเดินระบบในการทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 ปริมาณ

แอมโมเนียในตัวกลางเพิ่มขึ้น 47.6 และ 5.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ แต่พบปริมาณแอมโมเนียในน้ำชะตัวกลางน้อยกว่าก่อนเดินระบบ 232.7 และ 131.6 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ

จากผลการวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทในตัวกลางและในน้ำชะตัวกลางก่อนและหลังการเดินระบบ (ตารางที่ 4.7) พบว่าหลังเดินระบบในการทดลองที่ 2 และ 3 ปริมาณไนเตรทในตัวกลางมีค่าลดลง 383.6 และ 313.6 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมตามลำดับ ที่ปริมาณไนเตรทลดลงจากก่อนการเดินระบบอาจเกิดจากกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) ดังสมการที่ 4.2 จากบริเวณตัวกลางที่อากาศเข้าไม่ถึง (Dead zone) ทำให้ไนเตรทถูกย่อยสลายกลายเป็นไนโตรเจน ไนตรัส ออกไซด์และก๊าซไนโตรเจน และหลังเดินระบบในการทดลองที่ 2 พบปริมาณไนเตรทน้อยกว่าก่อนเดินระบบ 89.6 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่หลังเดินระบบในการทดลองที่ 3 พบปริมาณไนเตรทมากกว่าก่อนเดินระบบ 17.3 มิลลิกรัมต่อลิตร



จากผลการวัดค่าความเป็นกรดต่าง ปริมาณแอมโมเนีย และไนเตรท พบว่าค่าความเป็นกรดต่างและปริมาณแอมโมเนียในตัวกลางมีค่าสูงขึ้น แต่ปริมาณไนเตรทกลับมีค่าลดลง สามารถบอกได้ว่าการกำจัดก๊าซแอมโมเนียด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่มีปัญหามากเป็นวัสดุตัวกลางนี้ เกิดจากการดูดซึมก๊าซแอมโมเนียด้วยน้ำที่ซึมอยู่ในตัวกลางมากกว่าเกิดจากการย่อยสลายก๊าซแอมโมเนียด้วยจุลินทรีย์กลุ่ม Ammonium oxidizing bacteria (AOB) และ Nitrite oxidizing bacteria (NOB)

ตารางที่ 4.6 ปริมาณแอมโมเนียในตัวกลางและในน้ำชะตัวกลางก่อนและหลังเดินระบบ

การทดลอง	ปริมาณแอมโมเนีย ในตัวกลาง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		ปริมาณแอมโมเนีย ในน้ำชะตัวกลาง (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	ก่อนเดินระบบ	หลังเดินระบบ	ก่อนเดินระบบ	หลังเดินระบบ
	การทดลองที่ 2	16.8	64.4	235.2
การทดลองที่ 3	16.8	22.4	235.2	103.6

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

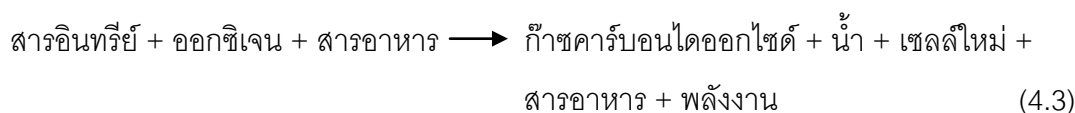
ตารางที่ 4.7 ปริมาณไนเตรทในตัวกลางและในน้ำชะตัวกลางก่อนและหลังการเดินระบบ

การทดลอง	ปริมาณไนเตรท ในตัวกลาง (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)		ปริมาณไนเตรท ในน้ำชะตัวกลาง (มิลลิกรัม/ลิตร)	
	ก่อนเดินระบบ	หลังเดินระบบ	ก่อนเดินระบบ	หลังเดินระบบ
การทดลองที่ 2	425.6	42	95.2	5.6
การทดลองที่ 3	425.6	112	95.2	112.5

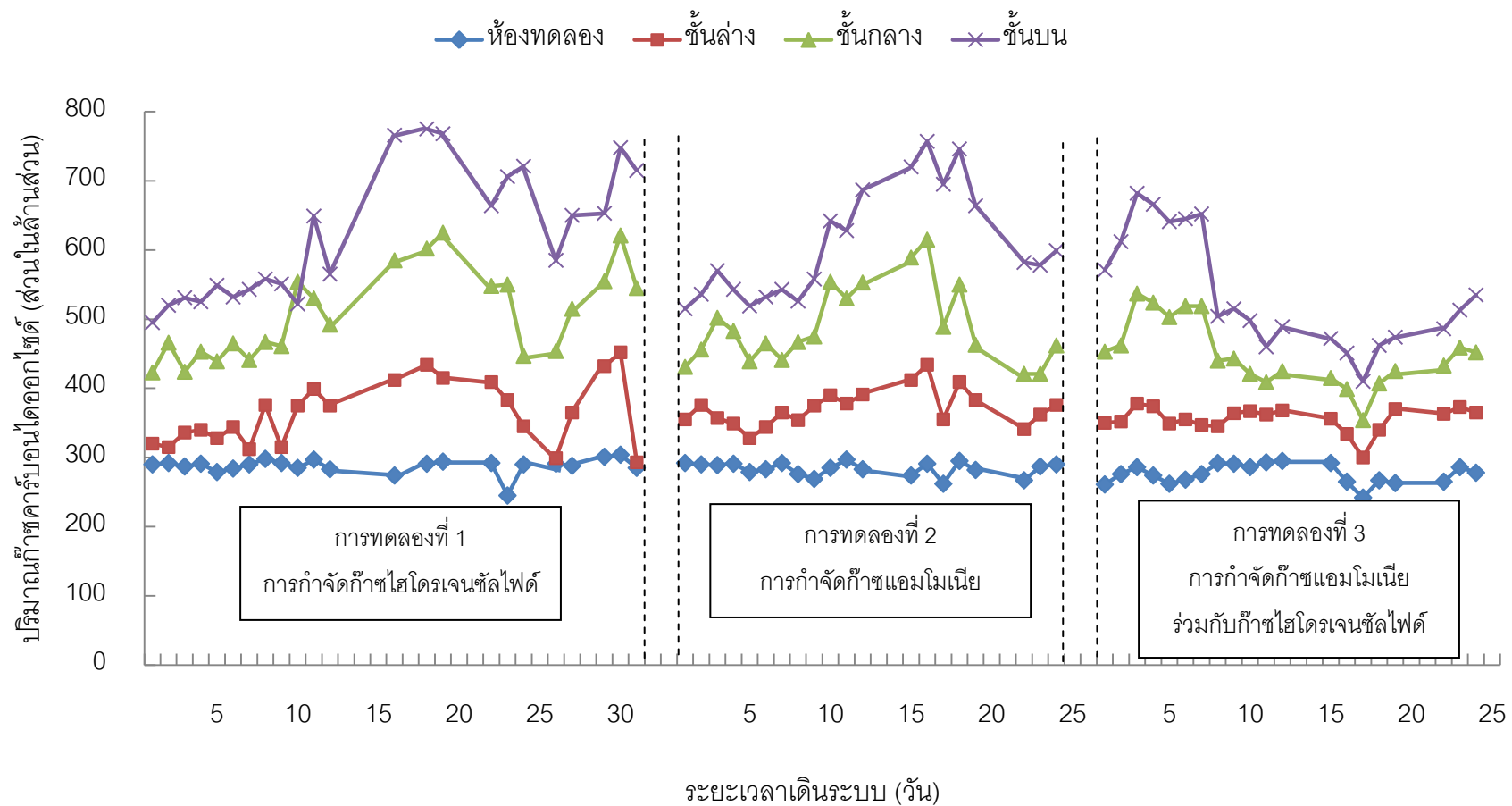
หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4.4.5 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การบำบัดทางชีวภาพด้วยเครื่องกรองชีวภาพเป็นกระบวนการที่อาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในการบำบัด โดยจุลินทรีย์จะช่วยเปลี่ยนอากาศเสียให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และมวลชีวภาพ (Devanny และคณะ, 1999) ดังนั้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จึงเป็นตัวแปรหนึ่งที่ใช้ติดตามการทำงานของจุลินทรีย์ จากการทดลองทั้ง 3 การทดลองพบว่าปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นภายในเครื่องกรองชีวภาพและเกิดการสะสมจากชั้นล่างขึ้นมาชั้นกลางและชั้นบนของเครื่องกรองชีวภาพ สาเหตุที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดขึ้นเนื่องจากวัสดุตัวกลางที่ใช้ในการทดลองเป็นวัสดุตัวกลางปุยหมักและมีการผสมตะกอนจุลินทรีย์จากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์หลายชนิด ดังนั้นจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบอาจไม่ได้มีแค่จุลินทรีย์กลุ่มซัลเฟอร์ออกซิไดซิงแบคทีเรียและไนโตรไฟอิงแบคทีเรีย จุลินทรีย์ส่วนใหญ่ที่สามารถเจริญเติบโตในตัวกลางจากระบบเครื่องกรองชีวภาพยังได้แก่ จุลินทรีย์กลุ่มที่ไม่สามารถสร้างอาหารเองได้ (Heterotrophic bacteria) จุลินทรีย์กลุ่มนี้ไม่สามารถตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาเป็นแหล่งคาร์บอนต้องอาศัยคาร์บอนจากสารอินทรีย์ในตัวกลางเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตและเป็นแหล่งพลังงาน (Summerfelt และ Sharrer, 2004) การเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 4.3



จุลินทรีย์กลุ่ม Heterotrophic bacteria ที่ใช้ก๊าซออกซิเจนในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนีย เช่น *Pseudomonas Putida* CH11 และ *Arthrobacter oxydans* CH8 ตามลำดับ (Chung และคณะ, 2001)



ภาพที่ 4.20 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในห้องทดลองและชั้นตัวกลางต่างๆ

4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษจากทั้ง 3 การทดลอง

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางหลักจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (การทดลองที่ 1) การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย (การทดลองที่ 2) และการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (การทดลองที่ 3) จากทุกการทดลองเมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบ 50 - 200 ส่วนในล้านส่วน โดยในการทดลองที่ 3 จะป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วน 1 : 1 ที่เวลากักพัก 20 วินาที ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองที่ 3 มีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองที่ 1 เล็กน้อย แต่ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียจากการทดลองที่ 3 มีค่าต่ำกว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียจากการทดลองที่ 2 ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเท่ากับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะช่วยเสริมประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ เพราะเมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเท่ากับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างของตัวกลางหลังการเดินระบบเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าเมื่อป้อนก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบเพียงชนิดเดียว

นอกจากนี้เมื่อแปรผันอัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อัตราส่วนต่างๆ ที่เวลากักพัก 20 วินาที ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร พบว่าที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเท่ากับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ จะให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียสูงสุด เท่ากับ 94 และ 98 เปอร์เซ็นต์ แต่ที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียมากกว่าความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2 เท่าและที่อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 2 เท่า มีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าลดลงเหลือ 86 และ 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเท่ากับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

4.6 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัย

การทดลองการกำจัดก๊าซมลพิษโดยเครื่องกรองชีวภาพชนิดปุ๋ยหมักในงานวิจัยนี้ แบ่งเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองที่ 1 การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองที่ 2 การกำจัดก๊าซ

แอมโมเนีย และการทดลองที่ 3 การกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์แต่ละชุดการทดลอง และหาสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยทำการเดินระบบการทดลองที่ 1 การทดลองที่ 2 และการทดลองที่ 3 เป็นระยะเวลา 31, 24 และ 24 วันตามลำดับ ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซมลพิษ ภาวะบรรทุก๊าซมลพิษ เวลาพัก ความสูงตัวกลาง ความดันลดและการหลุดตัวของตัวกลาง เพื่อเป็นเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพเบื้องต้น สามารถสรุปพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อใช้ในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยเพื่อใช้ในการออกแบบ

พารามิเตอร์	การทดลองที่ 1	การทดลองที่ 2	การทดลองที่ 3
ความเข้มข้น			
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สนล.)	200	-	200
ความเข้มข้น			
ก๊าซแอมโมเนีย (สนล.)	-	200	200
ภาวะบรรทุกวิกฤติของ			
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์	22.00	-	28.00
(กรัม/ลบ.ม.-ชม.)			
ภาวะบรรทุกวิกฤติของ			
ก๊าซแอมโมเนีย	-	≥ 33.72	≥ 35.22
(กรัม/ลบ.ม.-ชม.)			
ประสิทธิภาพการบำบัด (%)	100	99	98 – 99
ความสูงตัวกลางต่ำสุด (ม.)	0.8	0.4	0.8
ความดันลดสูงสุด (มม.ของน้ำ/ ความสูงตัวกลาง 1.2 ม.)	28	34	34
การหลุดตัวของตัวกลาง	1.2	1.4	1.4
(ชม./ความสูงตัวกลาง 0.4 ม.)			
เวลากักกักต่ำสุด (วินาที)	40	20	30

4.7 การเปรียบเทียบผลการวิจัยกับงานวิจัยที่ผ่านมา

การเปรียบเทียบผลการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพที่ได้จากการวิจัยนี้กับการวิจัยที่ผ่านมา ดังตารางที่ 4.9 ที่อัตราส่วนวัสดุตัวกลาง ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยคอก เศษไม้และตะกอนจุลินทรีย์ เท่ากับ 60 : 10 : 20 : 10 โดยปริมาตรตามลำดับ และให้ความเข้มข้นก๊าซมลพิษเข้าระบบ 200 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการวิจัยของณัฐพล รัตนมูขัย (2549) โดยใช้เวลากักพักและความสูงตัวกลางใกล้เคียงกัน และประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียจากการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ เช่นเดียวกับการวิจัยของเสาวลักษณ์ ภูณภำพร (2551) แต่ใช้เวลากักพักและความสูงตัวกลางต่ำกว่า อาจเนื่องมาจากในงานวิจัยนี้ใช้ปริมาตรตัวกลางสูงกว่า ก๊าซแอมโมเนียจึงมีโอกาสสัมผัสกับตัวกลางที่มีความชื้นและแตกตัวเป็นแอมโมเนียมและสะสมอยู่ในชั้นตัวกลางได้มากกว่า

การเปรียบเทียบผลการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ได้จากการวิจัยนี้กับการวิจัยที่ผ่านมา พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียมีค่าสูงสุดที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเท่ากับ ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เช่นเดียวกับการวิจัยของ Chung และคณะ (2000) และ Chung และคณะ (2001) ที่มีการตรึงจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดก๊าซมลพิษทั้งสองชนิดบน Ca-alginate แต่ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียมากกว่าความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากกว่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 2 เท่า ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบเท่ากับ ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เช่นเดียวกับการวิจัยของ Chung และคณะ (2001) แต่ที่ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษจากงานวิจัยนี้มีค่าต่ำกว่าเนื่องจากความเข้มข้นก๊าซมลพิษที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าสูงกว่าและใช้ระยะเวลาพักก๊าซมลพิษต่ำกว่า ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียกับงานวิจัยที่ผ่านมา

ก๊าซ มลพิษ	วัสดุตัวกลาง	จุลินทรีย์	ความเข้มข้นก๊าซ มลพิษ (สนล.)	เวลากักพัก (วินาที)	ความสูง ตัวกลาง (ม.)	ประสิทธิภาพสูงสุด (เปอร์เซ็นต์)	เอกสารอ้างอิง
H ₂ S	ปุ๋ยหมัก : ปุ๋ยคอก : กากมะพร้าว : ตะกอน จุลินทรีย์ (60 : 10 : 20 : 10)	ตะกอนจุลินทรีย์	200	30	0.75	100	ณัฐพล รัตนมุขย์ (2549)
NH ₃	ปุ๋ยหมัก : ปุ๋ยคอก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ (60 : 10 : 20 : 10)	ตะกอนจุลินทรีย์	200	40	1	99	เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร (2552)
H ₂ S	ปุ๋ยหมัก : ปุ๋ยคอก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ (60 : 10 : 20 : 10)	ตะกอนจุลินทรีย์	200	40	0.8	100	งานวิจัยนี้
NH ₃	ปุ๋ยหมัก : ปุ๋ยคอก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ (60 : 10 : 20 : 10)	ตะกอนจุลินทรีย์	200	20	0.4	99	งานวิจัยนี้

ตารางที่ 4.10 การเปรียบเทียบผลการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์กับงานวิจัยที่ผ่านมา

ก๊าซ มลพิษ	วัสดุตัวกลาง	จุลินทรีย์	ความเข้มข้น ก๊าซมลพิษ (สนล.)		ภาระบรรทุก (กรัม/ลบ.ม.- ชม.)		เวลากักพัก (วินาที)	ความสูง ตัวกลาง (ม.)	ประสิทธิภาพ		เอกสาร อ้างอิง
			NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S			สูงสุด (เปอร์เซ็นต์)		
									NH ₃	H ₂ S	
NH ₃ และ H ₂ S	เม็ด Ca-alginate	<i>Thiobacillus thioparus</i> CH11 <i>Nitrosomonas europaea</i>	60	60	2	4	72	0.125	99	98	Chung และคณะ (2000)
			120	60	8	4			85	99	
			60	120	4	8			72	95	
NH ₃ และ H ₂ S	เม็ด Ca-alginate	<i>Pseudomonas Putida</i> CH11 <i>Arthrobacter oxydans</i> CH8	60	60	2	4	72	0.125	98.5	97	Chung และคณะ (2001)
			120	60	8	4			98	90	
			60	120	4	8			94	92	
NH ₃ และ H ₂ S	ตะกอนจุลินทรีย์	ตะกอนจุลินทรีย์	200	200	14	28	ไม่มีข้อมูล	ไม่มีข้อมูล	60 - 80	100	Malhautier และคณะ (2003)
NH ₃ และ H ₂ S	ปุ๋ยหมัก : Perlite : ตะกอนจุลินทรีย์	ตะกอนจุลินทรีย์	115	36	29	19	20	ไม่มีข้อมูล	80	99	Chen และ คณะ (2004)
NH ₃ และ H ₂ S	ปุ๋ยหมัก : ปุ๋ยคอก : เศษไม้ : ตะกอน จุลินทรีย์	ตะกอนจุลินทรีย์	100	100	20	36	20	0.4	98	94	งานวิจัยนี้
			200	100	36	36			97	86	
			100	200	19	70			97	80	
			200	200	34	67			98	81	

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาในระดับห้องปฏิบัติการ ณ ห้อง 633 ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แบ่งการทดลองเป็น 3 การทดลอง ได้แก่ การทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษจากทั้ง 3 การทดลอง รวมถึงเวลากักพักที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ สรุปได้ ดังนี้

1. ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุดเท่ากับ 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบ 200 ส่วนในล้านส่วน เวลากักพัก 40 วินาที และความสูงตัวกลาง 0.8 เมตร
2. ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียสูงสุดเท่ากับ 99 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบ 200 ส่วนในล้านส่วน เวลากักพัก 20 วินาที และความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร
3. ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเท่ากับความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์อาจช่วยเสริมประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพราะทำให้ค่าความเป็นกรดต่างในตัวกลางเปลี่ยนแปลงน้อย
4. ก๊าซแอมโมเนียที่เข้ามาในระบบเครื่องกรองชีวภาพส่วนใหญ่ถูกกำจัดโดยการละลายน้ำ และแตกตัวเป็นแอมโมเนียมไอออนและไฮดรอกไซด์ไอออน
5. เวลากักพักที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 200 : 200 ส่วนในล้านส่วน คือ

เวลากักพักที่ 30 วินาที ความสูงตัวกลาง 0.8 เมตร ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และก๊าซแอมโมเนียมีค่า 98 และ 99 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

6. อัตราส่วนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียต่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซมลพิษทั้งสองรวมกันคือ 100 : 100 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับ 98 และ 94 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ที่เวลากักพัก 20 วินาที ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร

7. อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซมลพิษทั้งสองชนิดนี้พร้อมกันด้วยเครื่องกรองชีวภาพ กล่าวคือ ที่ความสูงตัวกลาง 0.4 เมตร เมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนียเข้าระบบสูงกว่าความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 2 เท่า มีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือ 86 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อป้อนความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบมากกว่าความเข้มข้นก๊าซแอมโมเนีย 2 เท่า มีผลให้ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ลดลงเหลือ 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ทั้งสองอัตราส่วนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย แต่อย่างไรก็ตามที่เวลากักพัก 40 และ 60 วินาที ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพิ่มขึ้นเป็น 98 - 100 เปอร์เซ็นต์

8. ความดันลดของตัวกลางป้อนหมักจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีค่าเท่ากับ 28, 34 และ 34 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1.2 เมตร และมีการทรุดตัวของตัวกลางเท่ากับ 1.2, 1.4 และ 1.4 เซนติเมตร ตามลำดับ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การพัฒนาการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในระดับอุตสาหกรรมต่อไปนั้นควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นๆ อีก ดังนี้

1. เนื่องจากการเดินระบบเครื่องกรองชีวภาพเป็นเวลานาน อาจทำให้ธาตุอาหารของจุลินทรีย์ลดลง ดังนั้นจึงควรศึกษาการเติมธาตุอาหารให้แก่จุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อป้องกันการขาดแคลนธาตุอาหารของจุลินทรีย์
2. ควรศึกษาสายพันธุ์ของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการนำไปใช้กับเครื่องกรองชีวภาพต่อไป
3. เนื่องจากในน้ำชะตัวกลางมีปริมาณแอมโมเนียม ไนเตรทและซัลเฟตละลายอยู่จำนวนมาก เมื่อใช้น้ำชะตัวกลางนี้หมุนเวียนในระบบเป็นเวลานานจะเกิดการสะสมของปริมาณสารละลายเหล่านี้ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อจุลินทรีย์ที่อยู่ในระบบและอาจไม่ผ่านมาตรฐานน้ำทิ้ง ดังนั้นจึงควรนำน้ำชะที่ใช้หมุนเวียนในตัวกลางไปบำบัดและเติมน้ำสะอาดเข้ามาใหม่ด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. ของเสียอันตราย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2552. สถิติการร้องเรียนปัญหามลพิษปี 2552. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pcd.go.th/info_serv/pol_stat2552.html [2553, มิถุนายน 7].

จิรวัดณ์ กันพยนต์. 2548. การบำบัดอะซีโตนโดยการกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ณัฐพล รัตนมุขย์. 2549. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัฒนาที่ดิน. กรม. 2555. ปุ๋ยชีวภาพ พด. 12. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.idd.go.th/menu_5wonder/pd_12.html [2555, เมษายน 9].

โรงงานอุตสาหกรรม. กรม. 2547. ตำราบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร.

เสริมศักดิ์ ทังมั่งมี. 2546. ประสิทธิภาพการกำจัดไทลูอินโดยเครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร. 2551. ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกชัย เลิศผดุงวิทย์. 2548. การกำจัดไซลีนด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Auria, R., Aycaguer, A.C., and Devinny, J.S. 1998. Influence of water concentration on degradation rates for ethanol in biofiltration. Journal of the Air & Waste Management Association 48: 65 - 70.

- Chen, Y.X., Yin, J., and Fang, S. 2004. Biological removal of air loaded with a hydrogen sulfide and ammonia mixture. Journal of Environmental Sciences 16: 656 – 661.
- 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.
- Chung, Y.C., Huang, C., and Tseng, C.P. 2001. Biological elimination of H₂S and NH₃ from wastegases by biofilter packed with immobilized heterotrophic bacteria. Chemosphere 43: 1043 - 1050.
- Chung, Y.C., Huang, C., Tseng, C.P., and Pan, J.R. 2000. Biotreatment of H₂S- and NH₃-containing waste gases by co-immobilized cells biofilter. Chemosphere 41: 329 - 336.
- Deviny, J.S., Deshusses, M.A., and Webster, T.S. 1999. Biofiltration for air pollution control. New York: Lewis.
- Galera, M.M., et al. 2008. Effects of pollutant concentration ratio on the simultaneous removal of NH₃, H₂S and toluene gases using rock wool-compost biofilter. Journal of Hazardous Material 152: 624 - 631.
- Gostomski, P.A., Sisson, J.B., and Cherry, R.S. 1997. Water content dynamics in biofiltration: The role of humidity and microbial heat generation. Journal of the Air & Waste Management Association 47: 936 - 944.
- Grady, C.P., Daigger, G.T., and Lim, H.C. 1999. Biological Wastewater Treatment. New York: Marcel Dekker.
- Hort, C., Gracy, S. Platel, V., and Moynault, L. 2009. Evaluation of sewage sludge and yard waste compost as a biofilter media for the removal of ammonia and volatile organic sulfur compounds (VOSCs). Chemical Engineering Journal 152: 44 - 53.
- Jiang, X., Yan, R., and Tay, J.H. 2009. Simultaneous autotrophic biodegradation of H₂S and NH₃ in a biotrickling filter. Chemosphere 75: 1350 - 1355.
- Leson, M.C., and Winner, A.M. 1991. Biofiltration an innovation air pollution control technology for VOC emission. Journal of the Air & Waste Management

Association 51: 387 - 392.

Lee, E.Y., Cho, K.-S., and Ryu, H.W. 2000. Characterization of sulfur oxidation by an autotrophic sulfur oxidizer, *Thiobacillus* sp. ASWW-2. Biotechnology Bioprocess Engineering 5: 48 – 52.

Liang, Y., et al. 2000. Long-term results of ammonia removal and transformation by biofiltration. Journal of Hazardous Material B 80: 259 - 269.

Lith, C.V., Leson, G., and Michelsen, R. 1997. Evaluation design option for biofilters. Journal of the Air & Waste Management Association 47: 37 - 48.

Liu, Y., Quan, X., Zhao, Y., Chen, S., and Zhao, H. 2005. Removal of ternary VOCs in air streams at high loads using a compost-based biofilter. Biochemical Engineering Journal 23: 85 - 95.

Malhautier, L., Gracian, C., Roux, J.C., Fanlo, J.L., and Cloirec, P.Le. 2003. Biological treatment process of air loaded with an ammonia and hydrogen sulfide mixture. Chemosphere 50: 140 - 153.

McCabe, W., and Smith, C. 1967. Unit operations of Chemical Engineering. New York: McGraw Hill.

Occupational Safety & Health Administration. 1995. Chemical Sampling Information: Hydrogen Sulfide [Online]. Available from: http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_246800.html [2010, June 8].

Occupational Safety & Health Administration. 2003. Safety and Health Topics: Ammonia [Online]. Available from: http://www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_218300.html [2010, June 8].

Pagans, E.Ia., Font, X., and Sanchez, A. 2005. Biofiltration for ammonia removal from composting exhaust gases. Chemical Engineering Journal 113: 105–110.

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

Summerfelt, S.T., and Sharrer, M.J. 2004. Design implication of carbon dioxide production within biofilters contained in recirculating salmonid culture systems. Aquacultural Engineering 32: 171–182.

- Syed, M., Soreanu, G., Falletta, P., and Béland, M. 2006. Removal of hydrogen sulfide from gas streams using biological processes - A review. Canadian Biosystems Engineering 48: 2.1 – 2.14.
- Taghipour, H., Shahmansoury, M.R., Bina, B., and Movahdian, H. 2008. Operational parameters in biofiltration of ammonia-contaminated air stream using compost-pieces of hard plastics filter media. Chemical Engineering Journal 137: 198 - 204.
- United States Environmental Protection Agency. 2002. Nitrification [Online]. Available from: <http://www.epa.gov> [2010, September 20] .
- United States Environmental Protection Agency. 2004. Hydrogen sulfide [Online]. Available from: <http://www.epa.gov> [2010, June 21].
- Villaverda, S., Garcia-Encina, P. A., and FDZ-Polanco, F. 1996. Influence of pH over nitrifying biofilm activity in submerged biofilters. Water Resources 31: 1180 – 1186.
- Walter, J., and Weber, J. 1972. Physicochemical Processes for Water Quality Control. New York: Wiley.
- Zicari, M.S. 2003. Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow manure compost. Master's Thesis, Department of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Cornell University.
- Znad, H.T., Katoch, K., and Kawase, Y. 2007. High loading toluene treatment in a compost based biofilter using up-flow and down-flow swing operation. Journal of Hazardous Materials 141: 745 - 752.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.
ขั้นตอนการทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลาง

ขั้นตอนการทดสอบวัสดุตัวกลาง

1. การหาค่าความเป็นกรดต่างของตัวกลาง (pH meter)

- 1) นำสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 2 นอร์มัล ประมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 10 กรัม ผสมลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้
- 3) ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่างแล้วทิ้งไว้ประมาณ 1-2 นาที
- 4) วัดค่าด้วยเครื่องวัดความเป็นกรดต่าง

2. การหาค่าความพรุนของตัวกลาง (ATSM C373-88)

- 1) ใส่ตัวอย่างในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยาง จนกระทั่งระดับในกระบอกตวงคงที่ ถ้าระดับที่คงที่ไม่เท่ากับปริมาตรที่ต้องการให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกกระบอกตวงใหม่ จนกว่าจะได้ระดับที่คงที่ตรงกับปริมาตรที่ต้องการ
- 2) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงเป็น X_1
- 3) เติมน้ำลงกระบอกตวงเพื่อให้น้ำเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในตัวกลาง โดยการกระแทกกันกระบอกตวง
- 4) เมื่อน้ำลงไปแทนที่ช่องว่างจนถึงปริมาตรที่ต้องการ นำไปชั่งน้ำหนักเป็น X_2
- 5) คำนวณหาค่าความพรุนดังสมการ

$$\text{Porosity (\%)} = \frac{(x_2 - x_1)}{\rho_{\text{water}} / \text{volume}}$$

3. การหาค่าความชื้นของวัสดุตัวกลาง (JIS M8812-1984)

- 1) บดตัวอย่างให้ละเอียดกว่า 60 เมช 0.246 มิลลิลิตร ทิ้งไว้สัมผัสอากาศ 10 ชั่วโมง
- 2) อบขวดซึ่งพร้อมฝา ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส ทิ้งจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซีเคเตอร์
- 3) บันทึกน้ำหนักเป็น X_0
- 4) ชั่งตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ละเอียด 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักเป็น X_1
- 5) นำไปอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง)
- 6) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้งรวมกับน้ำหนักขวดและฝา บันทึกน้ำหนักเป็น X_2
- 7) คำนวณค่าความชื้นดังสมการ

$$M = \frac{(x_1 - x_2)}{(x_1 - x_0)} \times 100$$

4. การหาค่าความหนาแน่นของวัสดุ (JIS 1474-1976)

- 1) อบตัวอย่างให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซีเคเตอร์
- 2) ใส่กระบอกตวงขนาด 10 มิลลิลิตร ละเอียด 2 ตำแหน่ง บันที่ก้นน้ำหนักรับเป็น X_0
- 3) ใส่ตัวอย่างในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยาง จนกระทั่งระดับตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่
- 4) ถ้าระดับที่คงที่ไม่เท่ากับ 10 มิลลิลิตร ให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวงแล้วกระแทกกันกระบอกตวงใหม่จนกว่าที่จะได้ระดับคงที่ที่ 10 มิลลิลิตร
- 5) บันที่ก้นน้ำหนักรับของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงเป็น X_1
- 6) คำนวณหาค่าความหนาแน่นดังสมการ

$$BD \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{(x_1 - x_0)}{10}$$

5. การหาค่าการกระจายขนาดของวัตถุ (ATSM C136-92)

- 1) ชั่งน้ำหนักตะแกรงคัดขนาดเบอร์ 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 ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร
- 1.2) ตักสารเร่งปฏิกิริยาผสมใส่ลงไปประมาณ 1 กรัม
- 1.3) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจำนวน 3 มิลลิลิตร ภายในตู้ดูดควันโดยค่อยๆ 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 ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร

2.4) กลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตร โดยเก็บก๊าซแอมโมเนียภายใต้ผิวของกรดบอริก พอได้ปริมาณที่ต้องการแล้วจึงหยุดกลั่น แล้วฉีดล้างปลายคอนเดนเซอร์ด้วยน้ำกลั่น

3) การไทเทรต

3.1) เติมน้ำสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ (ต้องทราบความเข้มข้นแน่นอน) ลงในบิวเรตและจัดบิวเรตให้พร้อมที่จะไทเทรต

3.2) นำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมีสีเขียวไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจนเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง จากนั้นคำนวณหา %T-N

7. การหาปริมาณซัลเฟต

1) การสกัด

1.1) ชั่งดิน 3 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร

1.2) สารละลายแคลเซียมเททราไฮโดรเจนฟอสเฟตไดออกซิโดฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 0.01 โมลาร์ ลงไป 30 มิลลิลิตร

1.3) นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า 2 ชั่วโมง

1.4) นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงโดยใช้ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และดูดเฉพาะส่วนที่ใสไปใช้ หรือกรองผ่านกระดาษกรอง

1.5) ทำแบลนด์โดยใช้แคลเซียมเททราไฮโดรเจนฟอสเฟตไดออกซิโดฟอสเฟตโมโนไฮเดรต 0.01 โมลาร์ ลงไป 30 มิลลิลิตรไปเขย่าและกรองเหมือนตัวอย่าง

2) การทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยและวัดความขุ่น

2.1) ปิเปตสารละลายมาตรฐานกำมะถัน 100 มิลลิลิตรต่อลิตรมา 0, 1, 2, 4 และ 8 มิลลิลิตรใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร

2.2) เติมน้ำยาป้องกันการละลาย และการตกตะกอนของแบเรียมซัลเฟตลงไป 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตรโดยใช้น้ำกลั่น

2.3) ดูดสารละลายในข้อ 1.4) และแปลงค์มา 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น

2.4) เติมผงแบเรียมคลอไรด์ประมาณ 50 มิลลิกรัม ในสารละลายมาตรฐาน เขย่า ประมาณ 10 ครั้ง และปล่อยให้ฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวสารแขวนลอย วัดความขุ่นในรูปค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ทำแบบเดียวกันทั้งในแปลงค์และตัวอย่าง

8. การหาปริมาณฟอสฟอรัส (Bray II method)

- 1) ชั่งตะกอน 1 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติก
- 2) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 20 - 30 มิลลิลิตร
- 3) เติมโพแทสเซียมไนเตรท 2 - 4 กรัม ต้มจนหมดควันสีแดง จากนั้นรอให้เย็นเติมน้ำ 150 มิลลิลิตร
- 4) เขย่าให้รวมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1
- 5) วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Visible Spectrophotometer

9. การหาปริมาณโพแทสเซียม (Atomic Absorption Spectrophotometer)

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

10. การหาปริมาณอินทรียวัตถุ (Walkley black method)

- 1) ชั่งตะกอน 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 2) ใช้ปิเปตดูดโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมลงไปขวดแล้วแกว่งให้ผสมเข้ากับตะกอน ในขั้นนี้ให้ทำแปลงค์ (Blank) โดยเติมโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ไม่มีตะกอนด้วย

- 3) นำไปเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ภายใต้ตู้ดูดควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวดและทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที
- 4) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วหยดเฟอโรซินิกเคเตอร์ลงไป 3-4 หยด แกว่งให้เข้ากัน
- 5) นำไปไทเทรตด้วย FAS จนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกปริมาณ FAS ที่ใช้

11. Dilution Plate Count

1) การเจือจางวัสดุหรือเชื้อที่จะตรวจนับ

- 1.1) ชั่งวัสดุ 11 กรัม ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจาง 1:10 เขย่าให้เข้ากันดีประมาณ 25 ครั้ง
- 1.2) ใช้ปิเปตดูดเชื้อที่ทำเจือจาง 1 : 10 เพื่อทำความเจือจางที่จะนำมาใช้ กรณีการนับจำนวนแบคทีเรียมักใช้ความเจือจาง 1 : 10⁴, 1 : 10⁵ และ 1 : 10⁶ ตามลำดับ โดยปฏิบัติดังนี้
- 1.3) ดูดเชื้อที่ความเจือจาง 1 : 10 จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ 1 : 10³ เขย่าให้เข้ากันดี
- 1.4) ดูดเชื้อที่ความเจือจาง 1 : 10³ จำนวน 11 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ 1 : 10⁴ เขย่าให้เข้ากันดี
- 1.5) ดูดเชื้อที่ความเจือจาง 1 : 10³ จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ 1 : 10⁵ เขย่าให้เข้ากันดี
- 1.6) ดูดเชื้อที่ความเจือจาง 1 : 10⁴ จำนวน 11 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ 1 : 10⁶ เขย่าให้เข้ากันดี

2) การทอยอาหารและผสมเชื้อในจานเพาะเชื้อ

- 2.1) หลอมอาหาร Plate Count Agar แล้ววางไว้ให้เย็นลงประมาณ 45 องศาเซลเซียส
- 2.2) ดูดเชื้อที่มีความเจือจาง 1 : 10⁴, 1 : 10⁵ และ 1 : 10⁶ ความเจือจางละ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ 2 จาน และดูดเชื้อที่ระดับเจือจาง 1 : 10⁵ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร จำนวน 2 จาน และปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร อีก 2 จาน ซึ่งจะเป็นระดับความเจือจางที่ตรวจนับเป็น 1 : 10⁴, 1 : 10⁵ และ 1 : 10⁶ ตามลำดับ

2.3) เทอาหารจากข้อ 1) ลงในจานเพาะเชื้อทั้งหมดในข้อ 2) แล้วหมุนจานตามเข็มนาฬิกา 5 รอบ ทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ เคลื่อนจานขึ้นลง 5 ครั้ง และเคลื่อนจานไปซ้ายขวา 5 ครั้ง เพื่อให้เชื้อผสมและกระจายทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ วางไว้ในจานอาหารเย็นและอุ่นแข็งตัว

2.4) นำไปป้อมโดยการกลับด้านล่างจานเพาะเชื้อไว้ข้างบน (สำหรับแบคทีเรีย) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส นาน 2 - 7 วัน

3) การตรวจผล

การนับจำนวนโคโลนี ให้เลือกชุดจานเพาะเชื้อที่มีจำนวนโคโลนีเจริญอยู่ประมาณ 30 - 300 โคโลนี จากความเจือจางเดียว ถ้าทำ 2 จาน (Replicate) ในแต่ละความเจือจาง ให้รวมจำนวนโคโลนี ของทั้ง 2 จาน แล้วหาร 2 จะเท่ากับจำนวนเฉลี่ยของโคโลนีที่นับได้ต่อ 1 ความเจือจางต่อจาน

ภาคผนวก ข.
เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (Material Safety Data Sheet)

1. แอมโมเนีย

1) การชี้บ่งเคมีภัณฑ์ (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 อุตสาหกรรมอาหารและน้ำ เป็นต้น

3) ค่ามาตรฐาน/ความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

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

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 ทำให้ระคายเคือง จมูกและคอ ถ้าได้รับปริมาณมากจะหายใจติดขัด เจ็บหน้าอก หลอดลมบีบเกร็ง มีเสมหะและปอดบวม

สัมผัสทางผิวหนัง : การสัมผัสถูกผิวหนังจะเป็นผื่นแดง บวม เป็นแผล อาจทำให้ผิวหนังแสบไหม้ถ้าได้รับปริมาณมากๆ

กินหรือกลืนเข้าไป : จะทำให้แสบไหม้บริเวณปาก คอ หลอดอาหารและท้อง

สัมผัสถูกตา : จะทำให้เจ็บตา เป็นผื่นแดง ตาบวม ทำให้น้ำตาไหลทำลายตา

ความผิดปกติอื่นๆ : 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

จุดลุกติดไฟได้เอง(°C) : 651

ค่า LEL (%) : 15

ค่า UEL (%) : 28

สารดับไฟ : คาร์บอนไดออกไซด์ ผงเคมีแห้ง สเปรย์น้ำ

วิธีการดับเพลิงรุนแรง ควรอพยพคนออกจากบริเวณเพลิงไหม้ อย่างเข้าไปบริเวณเพลิงไหม้ โดยปราศจากอุปกรณ์ป้องกันอันตราย หล่อเย็นภาชนะบรรจุ โดยใช้น้ำฉีดเป็นฝอย ใช้น้ำหยุดการแพร่ของไอ ย้ายภาชนะบรรจุออกถ้าสามารถทำได้

อันตรายจากการระเบิดและเพลิงไหม้ผิดปกติ จะเกิดก๊าซพิษที่ไวไฟ และมีฤทธิ์กัดกร่อนสามารถระเบิดถ้าผสมกับอากาศและสารออกซิไดซ์ ไม่ควรเก็บภาชนะบรรจุไว้เกินอุณหภูมิ 52 องศาเซลเซียส

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

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ปิดมิดชิด

- เก็บในบริเวณที่เย็นและแห้ง

- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ

- การเก็บรักษา เก็บให้ห่างจากความร้อน เปลวไฟ และประกายไฟ เก็บให้ห่างจาก

สารออกซิไดซ์ ปิดวาล์วเมื่อไม่ใช้สารหรือภาชนะบรรจุว่างเปล่า

- ต้องมั่นใจว่าตริงถึงแก๊สไว้แน่นอย่างเหมาะสมขณะใช้ หรือเก็บ

9) การกำจัดกรณีรั่วไหล (Leak and Spill)

วิธีการปฏิบัติในกรณีเกิดการรั่วไหล 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 ให้ใช้อุปกรณ์ช่วยหายใจประเภทที่ใช้การส่งอากาศสำหรับการหายใจ 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)

ตารางที่ ข.1 การปฐมพยาบาลผู้ป่วยที่สัมผัสแอมโมเนีย

หายใจเข้าไป	ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายออกจากบริเวณที่ได้รับสาร ถ้าไม่หายใจให้ใช้เครื่องช่วยหายใจ ให้ออกซิเจนถ้าหายใจติดขัด รักษาร่างกายให้อบอุ่น นำส่งไปพบแพทย์
กลืนหรือกิน	ถ้ากลืนกินเข้าไป สารนี้เป็นก๊าซที่อุณหภูมิและความดันปกติ ให้อบอุ่นปากด้วยน้ำแล้วให้ดื่มน้ำหรือนมอย่างน้อย 2 แก้ว อย่ากระตุ้นให้อาเจียน นำส่งไปพบแพทย์
สัมผัสผิวหนัง	ถ้าสัมผัสผิวหนัง ให้อัดล้างผิวหนังด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที พร้อมถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่ปนเปื้อนสารเคมีออก นำส่งไปพบแพทย์
สัมผัสลูกตา	ล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากๆ อย่างน้อย 15 นาที ล้างโดยเปิดเปลือกตาล่างบน จนกว่าไม่มีสารเคมีหลงเหลืออยู่ นำส่งไปพบแพทย์

2. ไฮโดรเจนซัลไฟด์

1) การชี้บ่งเคมีภัณฑ์ (Chemical Identification)

ชื่อเคมีทั่วไป : Hydrogen sulfide

ชื่อพ้องอื่นๆ : Dihydrogen monosulfide; Dihydrogen sulfide; Hydrogen Sulphide; Hydrosulfuric acid; Sewer gas; Stink damp; Sulfur hydride; Sulfureted hydrogen

สูตรโมเลกุล : H₂S

CAS No. : 7783-06-4

2) การใช้ประโยชน์

ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ และใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคในการเกษตร

3) ค่ามาตรฐาน/ความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

LC₅₀ : 444 ppm

IDLH	: 300 ppm
OSHA PEL-Ceiling	: 20 ppm
OSHA PEL-Peak	: 50 ppm
ACGIH TLV-TWA	: 10 ppm
ACGIH TLV-STEL	: 15 ppm

4) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	: ก๊าซ
สี	: ไม่มีสี
กลิ่น	: คล้ายไขเน่า
น้ำหนักโมเลกุล	: 34.08
จุดเดือด (°C)	: -60.33
จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง(°C)	: -85.49
ความถ่วงจำเพาะ (น้ำ = 1)	: 0.916 ที่ -60.33 °C
ความดันไอ (มม.ปรอท)	: 20 ที่ 25.5 (°C)
ความหนาแน่นไอ (อากาศ = 1)	: 1.19
ความสามารถในการละลายน้ำ	: 1 กรัม ละลายในน้ำ 242 มล. ที่ 20 °C
แฟคเตอร์แปลงหน่วย	: 1 ppm = 1.39 มก./ม ³

5) อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

- ผลกระทบต่อตา

เมื่อสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ จะทำให้เกิดอาการระคายเคือง ในกรณีที่สัมผัสเป็นเวลานานๆ อาจจะทำให้เกิดอาการเยื่อตาอักเสบทำให้เกิดสายตาสลัวมัวขึ้นได้

- ผลกระทบต่อผิวหนัง

ทำให้เกิดอาการระคายเคืองบริเวณที่สัมผัส

- ผลกระทบต่อทางเดินอาหาร

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่บริเวณเยื่อจมูก จึงเป็นเหตุให้น้ำลายมีฤทธิ์เป็นกรด จึงทำให้เกิดอาการแสบร้อนบริเวณทางเดินอาหาร

- ผลกระทบต่อทางเดินหายใจ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ในกระแสเลือด และยังไปยับยั้งการทำงานของเซลล์ระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้เกิดอาการปวดอัมพาตและอาจทำให้ตายอย่างเฉียบพลัน กรณีที่ได้รับความเข้มข้นของก๊าซน้อยๆ (ประมาณ 15-50 ส่วนในล้านส่วน) จะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียนและอาเจียน ส่วนกรณีที่ได้รับก๊าซความเข้มข้นสูงๆ (ประมาณ 200-300 ส่วนในล้านส่วน) อาจเป็นผลให้ระบบทางเดินหายใจติดขัดและหมดสติในที่สุด เมื่อได้รับก๊าซที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 700 ส่วนในล้านส่วน เป็นเวลามากกว่า 30 นาที อาจทำให้ถึงตายได้

6) ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความคงตัว
 สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว : ออกไซด์ของซัลเฟอร์
 อันตรายจากการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ : จะไม่เกิดขึ้น
 สารที่เข้ากันไม่ได้ : กรดไนตริกหรือสารออกซิไดซ์อย่าง
 แรง

7) การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

จุดวาบไฟ : ไม่ปรากฏ
 จุดลุกติดไฟได้เอง(°C) : 290
 ค่า LEL (%) : 4
 ค่า UEL (%) : 44

เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หนักกว่าอากาศ และอาจสะสมตัวในบริเวณพื้นที่ต่ำ และอาจจะเคลื่อนตัวไปยังบริเวณที่มีเปลวไฟ จึงเป็นเหตุให้เกิดการลุกติดไฟขึ้นได้ ดังนั้นควรมีอุปกรณ์ดับเพลิงและควรมีอากาศไหลผ่านบริเวณที่ก๊าซอยู่อย่างต่อเนื่อง ทั้งยังควรมีระบบระบายอากาศด้วยเพื่อป้องกันการลุกติดไฟ

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

- เก็บในภาชนะที่ทำจาก Carbon steel หรือ Stainless steel
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ เย็นและแห้ง

- การเก็บรักษา เก็บให้ห่างจากแหล่งจุดติดไฟ
- ชื่อในการขนส่ง: Hydrogen sulfide
- ชื่อฉลากในการขนส่ง: Poison gas, Flammable gas
- รหัส UN: 1053

9) การควบคุมการแพร่กระจาย/การป้องกันส่วนบุคคล (Exposure control and Personal protection)

- การควบคุมด้านวิศวกรรม (Engineering control)
ใช้ระบบระบายอากาศเพื่อป้องกันการสะสมของก๊าซ ซึ่งอาจเป็นเหตุให้เกิดการลุกติดไฟและระเบิดขึ้นได้
- การป้องกันใบหน้าและดวงตา (Eye/Face protection)
ใช้แว่นตาป้องกันสารเคมีหรือหน้ากากป้องกันสารพิษแบบเต็มหน้าทุกครั้งเมื่อต้องสัมผัสกับก๊าซ
- การป้องกันผิวหนัง (Skin protection)
ใช้ถุงมือป้องกันที่ทำจาก Neoprene Butyl rubber PVC Polyethylene
- การป้องกันระบบทางเดินหายใจ (Respiratory protection)
ควรมีระบบช่วยหายใจไว้ใช้ในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน
- การป้องกันทั่วไป (Other/General protection)
รองเท้านิรภัย ฝักบัวนิรภัย และน้ำยาล้างตา

10) การปฐมพยาบาล (First Aid)

การปฐมพยาบาลแสดงดังตารางที่ ข.2

ตารางที่ ข.2 การปฐมพยาบาลผู้ป่วยที่สัมผัสไฮโดรเจนซัลไฟด์

หายใจเข้าไป	ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจลำบากให้ออกซิเจนช่วยและนำส่งไปพบแพทย์
กลืนหรือกินเข้าไป	คล้ายวิธีการหายใจเข้าไป
สัมผัสผิวหนัง	ถ้าสัมผัสผิวหนังให้ล้างออกด้วยน้ำและสบู่อย่างน้อย 15 นาที พร้อมกับถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อนสารเคมีออก นำส่งไปพบแพทย์
สัมผัสตา	ถ้าสัมผัสตาให้ฉีดล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที นำส่งไปพบแพทย์

ภาคผนวก ค.
ผลการทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลาง

ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบความหนาแน่นของวัสดุตัวกลาง

วัสดุ	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ค่าเฉลี่ย BD (g/cm ³)	ค่าเบี่ยงเบน 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)		
บู้ยหมัก	7.0528	16.5802	0.95	7.0528	16.3524	0.93	7.0528	16.5819	0.95	0.95	0.01
บู้ยคอก	7.0503	9.9875	0.29	7.0503	9.8409	0.28	7.0503	9.8827	0.28	0.29	0.01
เศษไม้	7.0520	7.8421	0.08	7.0520	7.8628	0.08	7.0520	7.8813	0.08	0.08	0.00
ตะกอน จุลินทรีย์	7.0553	14.8320	0.78	7.0553	14.8313	0.78	7.0553	14.7915	0.77	0.78	0.00

ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบความพรุนของวัสดุตัวกลาง

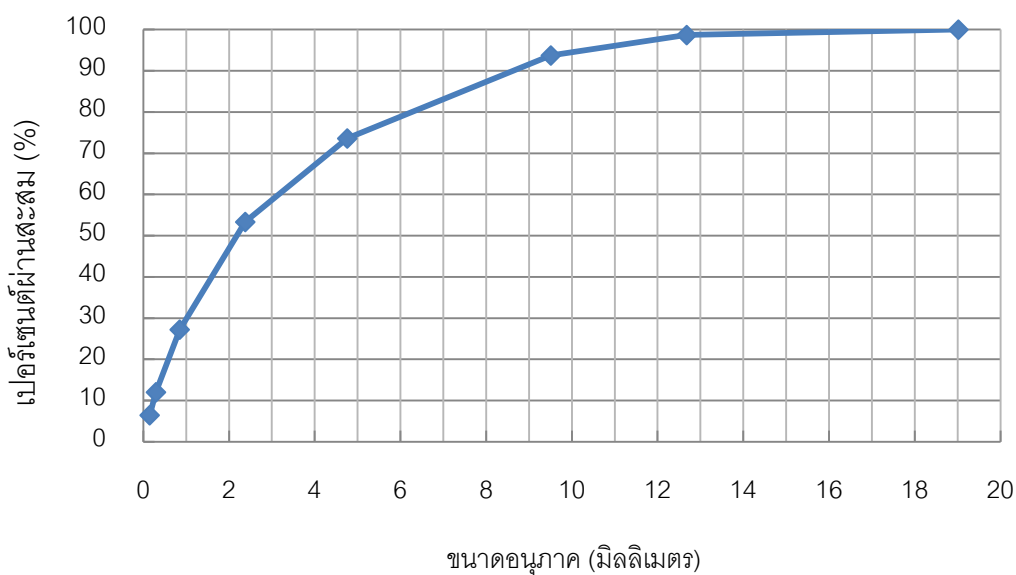
วัสดุ	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2				ครั้งที่ 3				ค่าเฉลี่ย %P	ค่า เบี่ยงเบน มาตรฐาน
	x ₁ (g)	x ₂ (g)	V (ml)	%P	x ₁ (g)	x ₂ (g)	V (ml)	%P	x ₁ (g)	x ₂ (g)	V (ml)	%P		
บู้ยหมัก	197.4523	245	31.5	14.98	193.2596	233.56	38	15.31	195.3478	245	34	16.88	15.72	1.02
บู้ยคอก	133.2003	204.2781	71	50.47	134.5885	203.005	70	47.89	134.2437	203.2736	73	50.39	49.58	1.47
เศษไม้	110.9183	199.6003	90.5	80.26	111.7394	200.3667	89.5	79.32	112.015	200.8489	90.5	80.39	79.99	0.58
ตะกอน จุลินทรีย์	188.6023	230	51	21.11	188.6022	230	50.5	20.91	188.6305	230	49	20.27	20.76	0.44

ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบความชื้นของตัวกลาง

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	11.4387	12.4399	12.3904	4.94	11.4389	12.4399	12.3863	5.35	11.4383	12.4340	12.3855	4.87	5.06	0.26
ปุ๋ยคอก	11.3193	12.3199	12.2751	4.48	11.3194	12.3197	12.2725	4.72	11.3196	12.3198	12.2719	4.79	4.66	0.16
เศษไม้	11.4127	12.4160	12.3771	3.88	11.4128	12.4159	12.3767	3.91	11.4130	12.4162	12.3764	3.97	3.92	0.05
ตะกอนจุลินทรีย์	11.4086	12.4088	12.3766	3.22	11.4084	12.4089	12.3768	3.21	11.4088	12.4090	12.3766	3.24	3.22	0.02

ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบขนาดคละตัวกลางปุ๋ยหมัก

เบอร์ ตะแกรง	ขนาด ตะแกรง (mm)	น้ำหนัก ตะแกรง (g)	น้ำหนัก ค้าง ตะแกรง (g)	น้ำหนัก ปุ๋ยที่ ค้าง (g)	น้ำหนัก ปุ๋ยค้าง สะสม (g)	% ค้าง	% ค้าง สะสม	% ผ่าน สะสม
3/4"	19.02	484.25	484.25	0	0	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.68	450.33	458.19	7.86	7.86	1.31	1.31	98.69
3/8"	9.51	443.03	472.75	29.72	37.58	4.96	6.27	93.73
4	4.76	447.61	568.28	120.67	158.25	20.13	26.39	73.61
8	2.38	389.25	510.75	121.50	279.75	20.26	46.66	53.34
20	0.85	359.68	516.27	156.59	436.34	26.12	72.77	27.23
50	0.30	514.54	605.60	91.06	527.40	15.19	87.96	12.04
100	0.15	289.11	322.57	33.46	560.86	5.58	93.54	6.46
PAN	-	265.00	303.74	38.74	599.60	6.46	100.00	0.00



ภาพที่ ค.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านสะสมและขนาดอนุภาคของตัวกลางปุ๋ยหมัก

ภาคผนวก ง.
ผลการทดลองตัวแปรต่างๆ ของแต่ละการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (sec)	H ₂ S inlet (ppm)	H ₂ S Outlet (ppm)				Removal Efficiency (%)			
					Bottom	Middle	Top	Outlet	Bottom	Middle	Top	Outlet
1	30/05/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
2	31/05/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
3	1/06/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
4	2/06/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
5	3/06/2554	12.57	60	6	0	0	0	0	100	100	100	100
6	4/06/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
7	5/06/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
8	6/06/2554	12.57	60	4	0	0	0	0	100	100	100	100
9	7/06/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
10	8/06/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
11	9/06/2554	12.57	60	4	0	0	0	0	100	100	100	100
12	10/06/2554	12.57	60	25	0	0	0	0	100	100	100	100
16	14/06/2554	12.57	60	22	0	0	0	0	100	100	100	100
18	16/06/2554	12.57	60	24	0	0	0	0	100	100	100	100
19	17/06/2554	12.57	60	48	2	0	0	0	96	100	100	100

ตารางที่ ง.1 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (sec)	H ₂ S inlet (ppm)	H ₂ S Outlet (ppm)				Removal Efficiency (%)			
					Bottom	Middle	Top	Outlet	Bottom	Middle	Top	Outlet
22	20/06/2554	12.57	60	53	2	0	0	0	96	100	100	100
23	21/06/2554	12.57	60	55	2	0	0	0	96	100	100	100
24	22/06/2554	12.57	60	110	11	0	0	0	90	100	100	100
26	24/06/2554	12.57	60	105	21	0	0	0	80	100	100	100
27	25/06/2554	12.57	60	110	19	0	0	0	83	100	100	100
29	27/06/2554	12.57	60	203	46	2	0	0	77	99	100	100
30	28/06/2554	12.57	60	219	46	0	0	0	79	100	100	100
31	29/06/2554	12.57	60	216	45	0	0	0	79	100	100	100

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (sec)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ Outlet (ppm)				Removal Efficiency (%)			
					Bottom	Middle	Top	Outlet	Bottom	Middle	Top	Outlet
1	25/07/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
2	26/07/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
3	27/07/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
4	28/07/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
5	29/07/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
6	30/07/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
7	31/07/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
8	1/08/2554	12.57	60	5	0	0	0	0	100	100	100	100
9	2/08/2554	12.57	60	25	0	0	0	0	100	100	100	100
10	3/08/2554	12.57	60	25	0	0	0	0	100	100	100	100
11	4/08/2554	12.57	60	25	0	0	0	0	100	100	100	100
12	5/08/2554	12.57	60	56	1	0	0	0	98	100	100	100
15	8/08/2554	12.57	60	54	1	1	0	0	98	98	100	100
16	9/08/2554	12.57	60	53	1	1	0	0	98	98	100	100
17	10/08/2554	12.57	60	100	1	1	0	0	99	99	100	100

ตารางที่ ง.2 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (sec)	NH ₃ inlet (ppm)	NH ₃ Outlet (ppm)				Removal Efficiency (%)			
					Bottom	Middle	Top	Outlet	Bottom	Middle	Top	Outlet
18	11/08/2554	12.57	60	92	1	1	0	0	99	99	100	100
19	12/08/2554	12.57	60	100	2	1	0	0	98	99	100	100
22	15/08/2554	12.57	60	200	2	1	0	0	99	99	100	100
23	16/08/2554	12.57	60	205	3	1	0	0	99	99	100	100
24	17/08/2554	12.57	60	200	2	1	0	0	99	99	100	100

ตารางที่ 3 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (sec)	Inlet (ppm)		Outlet (ppm)								Removal Efficiency (%)							
				H ₂ S	NH ₃	Bottom		Middle		Top		Outlet		Bottom		Middle		Top		Outlet	
						H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃
1	7/11/2554	12.57	60	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
2	8/11/2554	12.57	60	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
3	9/11/2554	12.57	60	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
4	10/11/2554	12.57	60	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
5	11/11/2554	12.57	60	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
6	14/11/2554	12.57	60	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
7	15/11/2554	12.57	60	6	5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
8	16/11/2554	12.57	60	5	5	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
9	17/11/2554	12.57	60	25	26	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
10	18/11/2554	12.57	60	27	25	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
11	21/11/2554	12.57	60	25	26	0	0	0	0	0	0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100
12	22/11/2554	12.57	60	50	57	0	2	0	1	0	0	0	0	100	96	100	98	100	100	100	100
15	23/11/2554	12.57	60	52	52	3	1	0	1	0	0	0	0	94	98	100	98	100	100	100	100
16	24/11/2554	12.57	60	54	55	0	2	0	1	0	0	0	0	100	96	100	98	100	100	100	100

ตารางที่ ง.3 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (sec)	Inlet (ppm)		Outlet (ppm)								Removal Efficiency (%)							
				H ₂ S	NH ₃	Bottom		Middle		Top		Outlet		Bottom		Middle		Top		Outlet	
						H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃
17	25/11/2554	12.57	60	99	106	10	3	0	1	0	1	0	1	90	97	100	99	100	99	100	99
18	26/11/2554	12.57	60	99	110	8	3	0	1	0	1	0	1	92	97	100	99	100	99	100	99
19	27/11/2554	12.57	60	101	114	10	3	0	1	0	1	0	1	90	97	100	99	100	99	100	99
22	28/11/2554	12.57	60	205	203	39	5	2	1	0	1	0	1	81	97	99	99	100	99	100	99
23	29/11/2554	12.57	60	202	211	38	6	0	1	0	1	0	1	81	97	100	99	100	99	100	99
24	30/11/2554	12.57	60	201	206	38	5	0	1	0	1	0	1	81	97	100	99	100	99	100	99

ตารางที่ ๔.4 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการแปรผันอัตราส่วนก๊าซแอมโมเนียต่อก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (sec)	Inlet (ppm)		Outlet (ppm)								Removal Efficiency (%)							
				H ₂ S	NH ₃	Bottom		Middle		Top		Outlet		Bottom		Middle		Top		Outlet	
						H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃
1	27/01/2555	12.57	60	99	117	5	2	0	2	0	2	0	2	95	98	100	98	100	98	100	98
2	28/01/2555	12.57	60	102	115	6	2	0	2	0	2	0	2	94	98	100	98	100	98	100	98
3	29/01/2555	12.57	60	107	120	6	3	0	2	0	2	0	2	94	98	100	98	100	98	100	98
4	30/01/2555	12.57	60	101	212	10	5	0	2	0	2	0	2	90	98	100	99	100	99	100	99
5	31/01/2555	12.57	60	106	215	14	6	0	2	0	2	0	2	87	97	100	99	100	99	100	99
6	1/02/2555	12.57	60	109	217	15	6	0	2	0	2	0	2	86	97	100	99	100	99	100	99
7	2/02/2555	12.57	60	203	111	38	4	0	2	0	2	0	2	81	96	100	98	100	98	100	98
8	3/02/2555	12.57	60	207	108	40	3	2	2	0	2	0	2	81	97	99	98	100	98	100	98
9	4/02/2555	12.57	60	211	116	42	4	2	2	0	2	0	2	80	97	99	98	100	98	100	98

ตารางที่ ๕.5 ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียและก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากการแปรผันเวลากักพัก

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (sec)	Inlet (ppm)		Outlet (ppm)								Removal Efficiency (%)								
				H ₂ S	NH ₃	Bottom		Middle		Top		Outlet		Bottom		Middle		Top		Outlet		
						H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	H ₂ S	NH ₃	
1	16/01/2555	12.57	60	209	218	39	5	2	1	0	1	0	1	81	98	99	100	100	100	100	100	100
2	17/01/2555	12.57	60	215	211	38	6	0	1	0	1	0	1	82	97	100	100	100	100	100	100	100
3	18/01/2555	12.57	60	201	220	38	8	0	1	0	1	0	1	81	96	100	100	100	100	100	100	100
4	19/01/2555	16.76	45	210	219	54	8	6	1	0	1	0	1	74	96	97	100	100	100	100	100	100
5	20/01/2555	16.76	45	213	214	56	8	7	1	0	1	0	1	74	96	97	100	100	100	100	100	100
6	23/01/2555	16.76	45	206	208	51	9	5	1	0	1	0	1	75	96	98	100	100	100	100	100	100
7	24/01/2555	10.06	75	215	220	7	2	0	0	0	0	0	0	97	99	100	100	100	100	100	100	100
8	25/01/2555	10.06	75	209	219	5	2	0	0	0	0	0	0	98	99	100	100	100	100	100	100	100
9	26/01/2555	10.06	75	217	208	6	1	0	0	0	0	0	0	97	100	100	100	100	100	100	100	100

ตารางที่ 6.6 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Media Moisture			
		Bottom	Middle	Top	Average			Bottom	Middle	Top	Average
1	30/05/2554	80	80	77	79.0	72.0	77	89	88	85	87.3
2	31/05/2554	79	80	79	79.3	70.0	79	88	86	82	85.3
3	1/06/2554	75.5	76	74	75.2	70.0	74	90	90	80	86.7
4	2/06/2554	74	77	76.5	75.8	71.0	76.5	65	78	70	71.0
5	3/06/2554	75	74	73	74.0	70.5	73	50	70	60	60.0
6	4/06/2554	78	78	78	78.0	74.0	78	60	85	50	65.0
7	5/06/2554	79	79.8	79	79.3	77.0	79	65	78	60	67.7
8	6/06/2554	86.3	84	84	84.8	86.9	84	75	80	60	71.7
9	7/06/2554	85	80	60	75.0	84.0	60	85	80	60	75.0
10	8/06/2554	86	74.4	69.7	76.7	85.7	69.7	85	85	80	83.3
11	9/06/2554	90	85	80	85.0	85.0	80	85	80	80	81.7
12	10/06/2554	90.7	94.5	90.6	91.9	94.0	90.6	65	74	75	71.3
16	14/06/2554	93.3	92.1	88.4	91.3	94.3	88.4	60	65	60	61.7
18	16/06/2554	91.3	89.2	87.4	89.3	89.8	87.4	78	80	70	76.0

ตารางที่ ง.6 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Media Moisture			
		Bottom	Middle	Top	Average			Bottom	Middle	Top	Average
19	17/06/2554	87.7	90	87.7	88.5	91.7	87.7	60	76	60	65.3
22	20/06/2554	87.4	87.9	85.9	87.1	87.7	85.9	65	70	65	66.7
23	21/06/2554	96.1	95.1	92.6	94.6	95.1	92.6	60	74	75	69.7
24	22/06/2554	92.9	94.8	93.8	93.8	96.1	93.8	50	77	72	66.3
26	24/06/2554	82.5	88.9	90.9	87.4	87.8	90.9	79	68	75	74.0
27	25/06/2554	83	88.5	88.5	86.7	85.3	87.2	70	84	78	77.3
29	27/06/2554	95.5	96.4	93.5	95.1	94.4	93.5	89	80	87	85.3
30	28/06/2554	91.1	94.7	94	93.3	95.7	94	72	86	88	82.0
31	29/06/2554	70	92.6	92.4	85.0	92.3	92.4	50	80	85	71.7

ตารางที่ ง.7 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Media Moisture			
		Bottom	Middle	Top	Average			Bottom	Middle	Top	Average
1	25/07/2554	84.3	87	90	87.1	72.0	90	70	75	82	75.7
2	26/07/2554	78.4	83.5	79	80.3	70.0	79	67	71	65	67.7
3	27/07/2554	75	76	78.4	76.5	70.0	78.4	74	75	78	75.7
4	28/07/2554	70	72	69.9	70.6	71.0	69.9	60	66	70	65.3
5	29/07/2554	78.2	80.2	75	77.8	70.5	75	65	70	60	65.0
6	30/07/2554	81.5	78	78	79.2	74.0	78	60	60	60	60.0
7	31/07/2554	78.9	79.8	79	79.2	77.0	79	65	69	60	64.7
8	1/08/2554	83.6	84	85.3	84.3	86.9	85.3	66	72	75	71.0
9	2/08/2554	85.5	80	78	81.2	84.0	78	68	65	60	64.3
10	3/08/2554	87	75.5	74	78.8	85.7	74	69	65	70	68.0
11	4/08/2554	89.9	85	80	85.0	85.0	80	71	68	72	70.3
12	5/08/2554	80	84.8	87.8	84.2	72.3	87.8	73	75	78	75.3
15	8/08/2554	87	89.2	90.1	88.8	77.2	90.1	70	72	80	74.0
16	9/08/2554	85.3	93.6	90	89.6	69.1	90	78	80	75	77.7

ตารางที่ ง.7 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Media Moisture			
		Bottom	Middle	Top	Average			Bottom	Middle	Top	Average
17	10/08/2554	86.4	89.9	88.3	88.2	78.4	88.3	67	84	80	77.0
18	11/08/2554	82.8	86.2	87.6	85.5	68.5	87.6	60	77	82	73.0
19	12/08/2554	82.5	91.7	89.8	88.0	80.5	89.8	72	82	85	79.7
22	15/08/2554	80	86.7	85.3	84.0	68.4	85.3	70	80	79	76.3
23	16/08/2554	88.9	87.1	92.3	89.4	71.1	92.3	72	75	88	78.3
24	17/08/2554	78.5	85.7	84.5	82.9	54.2	84.5	67	70	79	72.0

ตารางที่ ง.8 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Media Moisture			
		Bottom	Middle	Top	Average			Bottom	Middle	Top	Average
1	7/11/2554	87.9	91.7	90.9	90.166667	70.9	90.9	90	80	70	80
2	8/11/2554	87.9	91.7	90.9	90.166667	70.9	90.9	82	75	90	82.333333
3	9/11/2554	72.9	80.4	86.5	79.933333	61.4	86.5	90	80	75	81.666667
4	10/11/2554	79.9	81.4	83.5	81.6	62.2	83.5	90	80	75	81.666667
5	11/11/2554	80.5	88.4	89.7	86.2	64.9	89.7	90	85	80	85
6	12/11/2554	77	90.4	91.5	86.3	61.5	91.5	84	88	86	86
7	13/11/2554	73.7	83.6	84.8	80.7	65.3	84.8	90	80	70	80
8	14/11/2554	72	82.8	81	78.6	64.2	81	85	80	70	78.333333
9	15/11/2554	77.3	85.1	84.1	82.166667	64.4	84.1	82	90	85	85.666667
10	16/11/2554	84	86.6	84	84.866667	67.1	84	80	72	72	74.666667
11	17/11/2554	80	82.5	84	82.166667	65.6	84	74	70	66	70
12	18/11/2554	79.5	84.4	85	82.966667	64.3	85	65	70	65	66.666667
15	21/11/2554	77.4	83.8	86.3	82.5	68.4	86.3	70	72	70	70.666667
16	22/11/2554	78.4	83	87	82.8	66.5	87	80	72	64	72

ตารางที่ ง.8 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Media Moisture			
		Bottom	Middle	Top	Average			Bottom	Middle	Top	Average
17	23/11/2554	82.3	86.7	83.9	84.3	68.4	83.9	80	82	60	74
18	24/11/2554	79.7	81.8	84.7	82.066667	69.4	84.7	69	75	62	68.666667
19	25/11/2554	78	84.7	85.4	82.7	68.5	85.4	59	72	60	63.666667
22	28/11/2554	75	80	78	77.666667	69	78	62	70	68	66.666667
23	29/11/2554	87.7	90	92.3	90	75	92.3	69	64	64	65.666667
24	30/11/2554	81.5	88	85.9	85.133333	67.9	85.9	78	65	77	73.333333

ตารางที่ ง.9 คุณหมุมิและความเป็นกรดต่างตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Temperature (°C)				pH		
		Ambient	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top
1	30/05/2554	33	34	34	33.5	7.5	7.5	7.5
2	31/05/2554	35	36	35.5	35.5	7.5	7.5	7.5
3	1/06/2554	36	35.5	36	36	7.5	7.5	7.5
4	2/06/2554	33	33.5	33.8	33.8	7.5	7.5	7.5
5	3/06/2554	31	31	31.2	31	7.4	7.5	7.5
6	4/06/2554	30.2	30	30	30	7.4	7.5	7.5
7	5/06/2554	32	31.5	31.5	31.5	7.3	7.4	7.5
8	6/06/2554	34	33.5	33.5	33.2	7.4	7.4	7.5
9	7/06/2554	33	33	32	32	7.4	7.4	7.4
10	8/06/2554	33	33	32	32	7.4	7.4	7.4
11	9/06/2554	36	34.5	34.2	34	7.3	7.4	7.4
12	10/06/2554	31	31.2	31.2	31.2	7.3	7.3	7.4
16	14/06/2554	33	31.8	31.5	31.5	7.3	7.3	7.4
18	16/06/2554	31.8	31	31	31	7.3	7.2	7.3
19	17/06/2554	32	31.2	31.2	31.2	7.2	7.3	7.3
22	20/06/2554	34	33.2	33.2	33	7.2	7.3	7.3
23	21/06/2554	31.5	33.5	33.8	33.8	7.2	7.3	7.3
24	22/06/2554	32.8	33	32.9	33	7.1	7.2	7.2
26	24/06/2554	31	32.6	32.8	32.8	7.1	7.2	7.2
27	25/06/2554	34	33.9	34	34	7	7.1	7.2
29	27/06/2554	32.1	32.8	32.8	32.5	7.1	7	7.2
30	28/06/2554	33.1	33.7	34.1	34	7.1	7.1	7.1
31	29/06/2554	35.7	34.6	34.5	34.6	7	7.1	7.2

ตารางที่ ง.10 คุณหมุมิและความเป็นกรดต่างของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

Date	D/M/Y	Temperature (°C)				pH		
		Ambient	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top
1	25/07/2554	30	29	28	28.5	7.5	7.5	7.5
2	26/07/2554	28.8	29.1	30	30	7.5	7.5	7.5
3	27/07/2554	29.3	29	30.5	31	7.6	7.5	7.5
4	28/07/2554	31	30.5	32	31	7.6	7.5	7.5
5	29/07/2554	30.4	31	31.2	31	7.7	7.6	7.5
6	30/07/2554	28.8	30	30	30	7.6	7.6	7.5
7	31/07/2554	29	28.5	30	29	7.6	7.6	7.6
8	1/08/2554	31	32	33	33.2	7.6	7.6	7.6
9	2/08/2554	30	29	29.5	30	7.7	7.6	7.6
10	3/08/2554	28.5	29	30	30	7.7	7.7	7.6
11	4/08/2554	30.2	30.5	31	31	7.7	7.6	7.6
12	5/08/2554	29.2	30	31	31	7.8	7.7	7.6
15	8/08/2554	28.5	30	30.5	31	7.7	7.7	7.7
16	9/08/2554	30	30.5	31	30	7.8	7.7	7.7
17	10/08/2554	28.2	29.8	29.5	29.5	7.7	7.7	7.7
18	11/08/2554	30.8	28.2	29.7	30	7.8	7.7	7.7
19	12/08/2554	30	28	28.9	29.5	7.8	7.8	7.7
22	15/08/2554	31.7	29	30.5	30.2	7.8	7.8	7.8
23	16/08/2554	33	31.8	32.5	32.5	7.8	7.8	7.8
24	17/08/2554	30.9	30	32	32.5	7.8	7.8	7.8

ตารางที่ ง.11 คุณหมุมิและความเป็นกรดต่างของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Temperature (°C)				pH		
		Ambient	Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top
1	7/11/2554	34.5	31.5	33	33	7.5	7.5	7.5
2	8/11/2554	30.7	32.8	33	33	7.5	7.5	7.5
3	9/11/2554	28.7	31	32	32	7.5	7.5	7.5
4	10/11/2554	33.5	34.1	34	34	7.4	7.5	7.5
5	11/11/2554	34.1	34	33	33	7.5	7.5	7.5
6	12/11/2554	31.6	32	33	33	7.5	7.5	7.5
7	13/11/2554	33.2	32	32	32	7.5	7.5	7.5
8	14/11/2554	34	34.8	35.1	35	7.4	7.5	7.5
9	15/11/2554	30.8	30	30	30	7.5	7.5	7.5
10	16/11/2554	29	28	28.9	28.7	7.4	7.4	7.5
11	17/11/2554	31.3	29.1	30.3	31	7.4	7.4	7.5
12	18/11/2554	33	30.8	31.7	32.2	7.5	7.4	7.4
15	21/11/2554	34.3	31.3	32.5	32.8	7.4	7.4	7.4
16	22/11/2554	34	31.6	32.8	33	7.4	7.4	7.4
17	23/11/2554	32.8	30.4	31.6	31	7.4	7.4	7.4
18	24/11/2554	33.5	30.8	31.8	32.1	7.4	7.4	7.4
19	25/11/2554	31	32	33.4	33.4	7.4	7.4	7.4
22	28/11/2554	30	32.5	32.2	32.5	7.4	7.3	7.4
23	29/11/2554	31.8	30.2	31	31.1	7.3	7.4	7.4
24	30/11/2554	31.4	30.7	32.2	32.4	7.3	7.3	7.4

ตารางที่ ง.12 ความดันลดและการหดตัวของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Pressure drop (mmH ₂ O)			Compaction (cm)			
		Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Average
1	30/05/2554	2	12	20	0	0	0	0
2	31/05/2554	2	12	23	0	0	0	0
3	1/06/2554	2	12	23	0	0	0.1	0.033333
4	2/06/2554	2	14	23	0.1	0.1	0.2	0.133333
5	3/06/2554	3	14	23	0.1	0.2	0.2	0.166667
6	4/06/2554	3	16	23	0.2	0.2	0.3	0.233333
7	5/06/2554	3	16	23	0.2	0.2	0.4	0.266667
8	6/06/2554	3	16	24	0.2	0.4	0.4	0.333333
9	7/06/2554	3	16	23	0.4	0.5	0.5	0.466667
10	8/06/2554	3	16	23	0.4	0.6	0.6	0.533333
11	9/06/2554	4	18	26	0.5	0.6	0.7	0.6
12	10/06/2554	4	18	24	0.5	0.7	0.8	0.666667
16	14/06/2554	4	19	31	0.6	0.8	0.8	0.733333
18	16/06/2554	4	19	31	0.6	0.8	0.9	0.766667
19	17/06/2554	4	19	28	0.8	1	1.1	0.966667
22	20/06/2554	4	18	28	0.8	1	1.2	1
23	21/06/2554	4	19	31	0.9	1.2	1.2	1.1
24	22/06/2554	4	18	28	0.9	1.2	1.4	1.166667
26	24/06/2554	4	21	29	1	1.3	1.5	1.266667
27	25/06/2554	4	23	33	1	1.4	1.6	1.333333
29	27/06/2554	4	23	31	1.1	1.5	1.7	1.433333
30	28/06/2554	4	23	31	1.2	1.5	1.7	1.466667
31	29/06/2554	4	23	33	1.3	1.6	1.8	1.566667

ตารางที่ ง.13 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย

Date	D/M/Y	Pressure drop (mmH ₂ O)			Compaction (cm)			
		Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Average
1	25/07/2554	3	14	23	0	0	0	0
2	26/07/2554	3	14	23	0	0	0	0
3	27/07/2554	3	14	23	0	0	0.1	0.033333
4	28/07/2554	4	16	24	0.1	0	0.1	0.066667
5	29/07/2554	3	16	24	0.1	0.1	0.1	0.1
6	30/07/2554	4	16	23	0.2	0.1	0.3	0.2
7	31/07/2554	4	16	24	0.2	0.2	0.4	0.266667
8	1/08/2554	4	16	24	0.2	0.4	0.4	0.333333
9	2/08/2554	4	18	26	0.4	0.5	0.5	0.466667
10	3/08/2554	4	18	26	0.4	0.6	0.6	0.533333
11	4/08/2554	4	18	26	0.5	0.6	0.7	0.6
12	5/08/2554	6	18	28	0.5	0.7	0.8	0.666667
15	8/08/2554	6	19	31	0.6	0.8	0.8	0.733333
16	9/08/2554	6	19	31	0.6	0.9	0.9	0.8
17	10/08/2554	6	19	28	0.8	1	1.1	0.966667
18	11/08/2554	6	18	31	0.8	1	1.2	1
19	12/08/2554	8	19	31	0.9	1.2	1.2	1.1
22	15/08/2554	7	21	34	1	1.2	1.4	1.2
23	16/08/2554	8	21	33	1	1.3	1.5	1.266667
24	17/08/2554	8	23	34	1.2	1.4	1.6	1.4

ตารางที่ ง.14 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางจากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย ร่วมกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	Pressure drop (mmH ₂ O)			Compaction (cm)			
		Bottom	Middle	Top	Bottom	Middle	Top	Average
1	7/11/2554	1	4	23	0	0	0	0
2	8/11/2554	1	4	23	0	0	0	0
3	9/11/2554	1	4	23	0	0.1	0.2	0.1
4	10/11/2554	1	4	23	0.1	0.2	0.2	0.1666667
5	11/11/2554	1	4	23	0.2	0.4	0.5	0.3666667
6	12/11/2554	3	11	24	0.2	0.4	0.5	0.3666667
7	13/11/2554	3	11	23	0.2	0.5	0.8	0.5
8	14/11/2554	3	11	26	0.4	0.6	1	0.6666667
9	15/11/2554	3	11	26	0.4	0.6	1	0.6666667
10	16/11/2554	4	11	28	0.5	0.8	1.2	0.8333333
11	17/11/2554	4	11	28	0.5	0.9	1.2	0.8666667
12	18/11/2554	4	11	28	0.5	1	1.3	0.9333333
15	21/11/2554	4	11	28	0.5	1	1.5	1
16	22/11/2554	4	11	31	0.6	1.1	1.5	1.0666667
17	23/11/2554	4	11	31	0.7	1.1	1.5	1.1
18	24/11/2554	4	11	31	0.8	1.2	1.6	1.2
19	25/11/2554	4	11	31	0.8	1.2	1.6	1.2
22	28/11/2554	4	11	31	0.8	1.2	1.8	1.2666667
23	29/11/2554	4	11	34	1	1.3	1.8	1.3666667
24	30/11/2554	4	11	34	1	1.3	2	1.4333333

ตารางที่ ง.15 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	CO ₂ (ppm)			
		Inlet	Bottom	Middle	Top
1	30/05/2554	290	320	423	495
2	31/05/2554	292	315	466	520
3	1/06/2554	287	336	424	531
4	2/06/2554	291	340	453	525
5	3/06/2554	279	328	439	549
6	4/06/2554	284	344	465	532
7	5/06/2554	290	312	441	543
8	6/06/2554	298	376	467	558
9	7/06/2554	292	315	461	551
10	8/06/2554	285	375	554	522
11	9/06/2554	297	399	530	649
12	10/06/2554	283	375	492	565
16	14/06/2554	274	412	585	766
18	16/06/2554	291	434	602	775
19	17/06/2554	294	415	625	768
22	20/06/2554	292	409	548	664
23	21/06/2554	245	383	550	706
24	22/06/2554	290	345	447	721
26	24/06/2554	291	299	454	585
27	25/06/2554	288	365	515	650
29	27/06/2554	301	432	555	653
30	28/06/2554	304	452	621	748
31	29/06/2554	285	293	545	715

ตารางที่ ง.16 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย



Date	D/M/Y	CO ₂ (ppm)			
		Inlet	Bottom	Middle	Top
1	25/07/2554	292	355	431	515
2	26/07/2554	290	376	456	536
3	27/07/2554	289	357	502	570
4	28/07/2554	291	349	483	543
5	29/07/2554	279	328	439	519
6	30/07/2554	283	344	465	532
7	31/07/2554	292	365	441	543
8	1/08/2554	276	354	467	526
9	2/08/2554	269	375	475	558
10	3/08/2554	285	390	554	642
11	4/08/2554	297	378	530	628
12	5/08/2554	283	391	553	687
15	8/08/2554	274	412	589	720
16	9/08/2554	291	434	615	757
17	10/08/2554	262	355	489	695
18	11/08/2554	295	409	550	746
19	12/08/2554	282	383	463	664
22	15/08/2554	267	341	421	582
23	16/08/2554	287	362	421	578
24	17/08/2554	290	376	462	599

ตารางที่ ง.17 ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับ
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

Date	D/M/Y	CO ₂ (ppm)			
		Inlet	Bottom	Middle	Top
1	7/11/2554	261	350	453	571
2	8/11/2554	276	352	462	612
3	9/11/2554	286	378	537	682
4	10/11/2554	274	374	524	666
5	11/11/2554	262	349	503	641
6	12/11/2554	268	355	519	645
7	13/11/2554	276	347	519	652
8	14/11/2554	292	345	440	504
9	15/11/2554	291	364	443	515
10	16/11/2554	286	367	421	498
11	17/11/2554	293	362	409	460
12	18/11/2554	295	368	425	489
15	21/11/2554	292	356	415	472
16	22/11/2554	265	334	399	451
17	23/11/2554	242	300	354	410
18	24/11/2554	267	340	407	462
19	25/11/2554	263	370	425	474
22	28/11/2554	265	363	433	486
23	29/11/2554	286	373	459	513
24	30/11/2554	280	371	461	509

ภาคผนวก จ.
ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร

1. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างก่อนเริ่มการทดลอง

	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	แผ่นที่ 1 Sheet NO.
ตัวอย่างของ : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม Sample submitted by :	วันที่เสนอรายงาน : 8/03/2554 Date of report :	
ตัวอย่างจาก : ตำบล อำเภอ วังน้อย จังหวัด พระนครศรีอยุธยา	วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 10/02/2554 Date of sample submitted :	
	ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีทาภิรมย์ และคณะ ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ. ดร.สุเทพ ทองแพ	
รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ F.16	ชนิดตัวอย่าง : ปุ๋ยหมัก	
รายการวิเคราะห์	ค่าวิเคราะห์	
O.M (%)	28.45	
Total N (%)	1.05	
Total P ₂ O ₅ (%)	1.19	
Total K ₂ O (%)	0.35	
NH ₄ ⁺ (mg kg ⁻¹)	0.55	
NO ₃ ⁻ (mg kg ⁻¹)	16.80	
SO ₄ ⁻² (mg kg ⁻¹)	425.60	
		
(ผศ. ดร. สุเทพ ทองแพ) หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม		

2. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างดินหลังการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



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

แผ่นที่ 1

Sheet NO.

ตัวอย่างของ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sample submitted by :

ตัวอย่างจาก : ตำบล

อำเภอ

จังหวัด กรุงเทพมหานคร

วันที่เสนอรายงาน : 26/08/2554

Date of report :

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 19/07/2554

Date of sample submitted :

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีฑาภิรมย์ และคณะ

ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ. ดร.สุเทพ ทองแพ

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ F.88

ชนิดตัวอย่าง : ปุ๋ยหมัก

รายการวิเคราะห์

ค่าวิเคราะห์

O.M. (%)	22.37
Total N (%)	1.16
Total P ₂ O ₅ (%)	1.51
Total K ₂ O (%)	0.84
NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	75.6
NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	8.4
Total S (%)	0.47



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ทองแพ)

หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ

ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

3. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำชะหลังการทดลองการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

รายการวิเคราะห์	W1 Initial	W2 Final
pH	7.11	7.7
NH ₄ ⁺ -N (mg L ⁻¹)	150.0	0.0
NO ₃ ⁻ -N (mg L ⁻¹)	235.20	0.0
Soluble SO ₄ ²⁻ (mg S L ⁻¹)	95.20	3,375



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

แผ่นที่ 1

Sheet NO.

ตัวอย่างของ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sample submitted by:

ตัวอย่างจาก: ตี๋บิล

อำเภอบาง

จังหวัด กรุงเทพมหานคร

วันที่เสนอรายงาน: 9/08/2554

Date of report:

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์: 19/07/2554

Date of sample submitted:

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กริฑาภิรมย์และคณะ

ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ. ดร.สุเทพ ทองแพ

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ F.87

ชนิดตัวอย่าง: ปุ๋ยน้ำหมัก



(Signature)

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุเทพ ทองแพ)

หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ

ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุ : ปริมาณซัลเฟตที่ได้จะนำไปคูณค่าแฟกเตอร์ 2.494 เพื่อเปลี่ยนหน่วยให้เป็น mg SO₄²⁻/L

4. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างดินหลังการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย



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

แผ่นที่ 1

Sheet NO.

ตัวอย่างของ : ขุฟาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Sample submitted by :

ตัวอย่างจาก : ตำบล

อำเภอบาง

จังหวัด กรุงเทพมหานคร

วันที่เสนอรายงาน : 27/01/2555

Date of report :

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 21/12/2554

Date of sample submitted :

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีชาภิรมย์ และคณะ

ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ. ดร.เสาวนุช ดาวรพฤกษ์

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ F.149

ชนิดตัวอย่าง : ปุ๋ยหมัก

รายการวิเคราะห์

ค่าวิเคราะห์

O.M. (%)	19.43
Total N (%)	0.95
Total P ₂ O ₅ (%)	2.06
Total K ₂ O (%)	1.60
NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	64.40
NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	42.00
Extractable SO ₄ ²⁻ (mg S kg ⁻¹)	2,063



(Signature)

(ผศ.ดร. เสาวนุช ดาวรพฤกษ์)

หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ

ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

5. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำชะหลังการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนีย



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

แผ่นที่ 1
Sheet NO.

ตัวอย่างของ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Sample submitted by :
ตัวอย่างจาก : ตำบล
อำเภอ
จังหวัด กรุงเทพมหานคร

วันที่เสนอรายงาน : 27/01/2555
Date of report :

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 21/12/2554
Date of sample submitted :

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีชาภิรมย์ และคณะ
ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ. ดร.เสาวนุช อารพฤกษ์

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ F.148

ชนิดตัวอย่าง : ปุ๋ยน้ำหมัก

รายการวิเคราะห์	ค่าวิเคราะห์
pH	7.80
$\text{NH}_4\text{-N}$ (mg kg^{-1})	2.52
$\text{NO}_3\text{-N}$ (mg kg^{-1})	5.60
Extractable SO_4^{2-} (mg S kg^{-1})	1,156



(Signature)

(ผศ.ดร. เสาวนุช อารพฤกษ์)
หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ
ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในตัวอย่างหลังการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับ
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



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

แผ่นที่ 1
Sheet NO.

ตัวอย่างของ : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
Sample submitted by :

ตัวอย่างจาก : ตำบล
อำเภอ
จังหวัด

วันที่เสนอรายงาน : 15/03/2555
Date of report :

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 27/02/2555
Date of sample submitted :

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีชาภิรมย์ และคณะ
ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ. ดร.เสาวนุช ถาวรพฤษ์

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ F.18

ชนิดตัวอย่าง : ปุ๋ยอินทรีย์ (อัดเม็ด)

รายการวิเคราะห์

ตัวอย่าง 1

O.M (%)	28.19
Total N (%)	0.93
Total P ₂ O ₅ (%)	1.37
Total K ₂ O (%)	0.48
Total S (%)	1.09
NH ₄ ⁺ -N (mg kg ⁻¹)	22.40
NO ₃ ⁻ -N (mg kg ⁻¹)	112.00



(ผศ. ดร. เสาวนุช ถาวรพฤษ์)
หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ
ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

7. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในน้ำชะหลังการทดลองการกำจัดก๊าซแอมโมเนียร่วมกับ
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



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 : ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

Sample submitted by :

ตัวอย่างจาก : ตำบล
อำเภอ
จังหวัด

วันที่เสนอรายงาน : 15/03/2555

Date of report :

วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ : 12/03/2555

Date of sample submitted :

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย กวีทาภิรมย์และคณะ

ผู้ทำการตรวจสอบ ผศ. ดร.เสาวนุช ดาวรพฤกษ์

รายงานผลวิเคราะห์เลขที่ W.7

ชนิดตัวอย่าง : น้ำ

รายการวิเคราะห์	ตัวอย่าง 1
pH	7.16
Soluble S (mg L ⁻¹)	1,813
NH ⁺ ₄ -N (mg L ⁻¹)	103.60
NO ⁻ ₃ -N (mg L ⁻¹)	112.50



(Signature)

(ผศ. ดร. เสาวนุช ดาวรพฤกษ์)

หัวหน้าโครงการพัฒนาวิชาการ

ดิน ปุ๋ย และสิ่งแวดล้อม

หมายเหตุ : ปริมาณซัลเฟตที่ได้จะนำไปคูณค่าแฟกเตอร์ 2.494 เพื่อเปลี่ยนหน่วยให้เป็น mg SO₄²⁻/L

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวณานิ วงศ์วุฒิมิ เกิดเมื่อวันที่ 26 ธันวาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จ การศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) สาขาวิชาชีวเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และหลักสูตรสาธารณสุขศาสตรบัณฑิต แขนงวิชา สาธารณสุขศาสตร์ วิชาเอกอาชีวอนามัยและความปลอดภัย สาขาวิชาวิทยาศาสตรสุภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช เมื่อปีการศึกษา 2551 และ 2553 ตามลำดับ เข้าศึกษาต่อใน หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552

ผลงานวิจัยส่วนหนึ่งจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เผยแพร่ในงานประชุม International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development ณ เมืองเซี่ยงไฮ้ ประเทศจีน ในชื่อหัวข้อ Removal of Hydrogen Sulfide Using a Compost-based Biofilter และได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร Advanced Materials Research ฉบับที่ 356 - 360 ปี 2012 หน้า 1601-1604