

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ

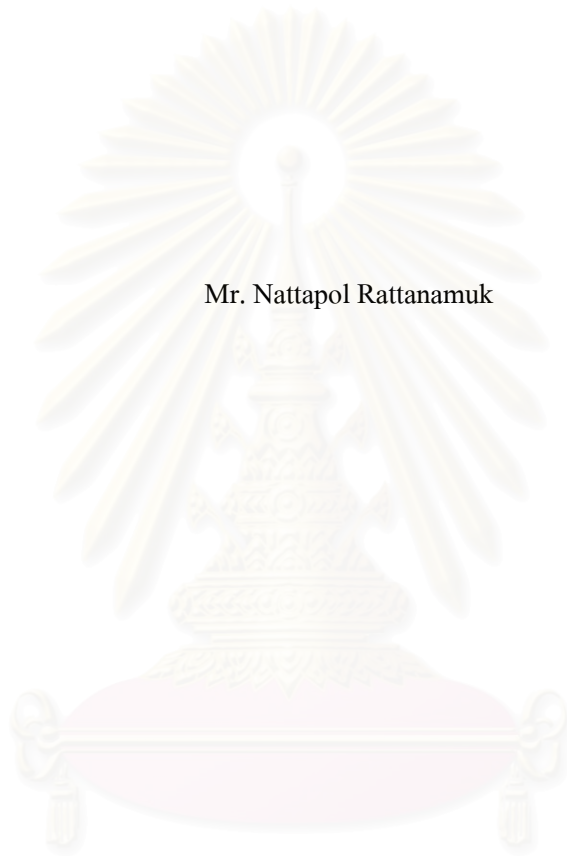


นาย ญัฐพล รัตนมูขัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549
ISBN 974-14-3910-5
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REMOVAL OF HYDROGEN SULFIDE BY BIOFILTER

Mr. Nattapol Rattanamuk



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
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 2006

ISBN 974-14-3910-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ

โดย

นายณัฐพล รัตนमुखย์


สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

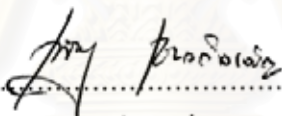
อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิตศึกษา



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธิกุล)

ณัฐพล รัตนมุขย์ : การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ (REMOVAL OF HYDROGEN SULFIDE BY BIOFILTER) อ.ที่ปรึกษา : รศ.วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, 199 หน้า. ISBN 974-14-3910-5

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสมซึ่งทำการทดลอง 2 ขั้นตอน ได้แก่ การศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางหลัก 4 ประเภท คือ ปุ๋ยหมัก ดินขุยไม้ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ โดยใช้ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเป็นแหล่งจุลินทรีย์ ปุ๋ยคอกเป็นแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ และกาบมะพร้าวเพื่อช่วยป้องกันการอุดตันของตัวกลาง อัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย ตัวกลางหลัก : กาบมะพร้าว : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน : ปุ๋ยคอกเท่ากับ 60 : 20 : 10 : 10 โดยปริมาตร การทดลองนี้ทำการแปรผันเวลากักพักที่ 45, 60 และ 75 วินาที และความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ในช่วง 50 – 300 ส่วนในล้านส่วน หลังจากนั้นจะใช้ตัวกลางหลักที่มีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดจากการทดลองแรกในการศึกษาอิทธิพลของทิศทางไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง ซึ่งในการทดลองที่สองจะแปรผันเวลากักพักที่ 25, 50 และ 75 วินาที และใช้ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วน

ผลการทดลองพบว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักใช้ความสูงของตัวกลาง 1 เมตรในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้น 300 ส่วนในล้านส่วนที่เวลากักพัก 45 วินาทีให้มีประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ตัวกลางประเภท ดินขุยไม้ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ จะต้องใช้ความสูงของตัวกลางมากกว่า 1.25 เมตรในการบำบัด ทั้งนี้ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไม้ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีค่าเท่ากับ 122, 111, 72 และ 108 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ โดยมีค่าความดันลดหลังเดินระบบเท่ากับ 20, 11, 9 และ 25 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร ตามลำดับ ดังนั้นปุ๋ยหมักจึงมีความเหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากมีค่าความสามารถในการกำจัดสูง

ส่วนการทดลองที่สองพบว่า เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง จะมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้นที่เวลากักพัก 50 วินาทีขึ้นไป ในขณะที่เวลากักพักมีค่าน้อยกว่า 25 วินาทีพบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลงจะมีค่าน้อยกว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม...
สาขาวิชา...วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม...
ปีการศึกษา...2549...

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา...*an an*.....

4770288721 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : BIOFILTER / HYDROGEN SULFIDE / ELIMINATION CAPACITY /
REMOVAL EFFICIENCY / EMPTY BED RESIDENCE TIME

NATTAPOL RATTANAMUK : REMOVAL OF HYDROGEN SULFIDE BY
BIOFILTER. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WONGPUN LIMPASENI, 199 pp.
ISBN 974-14-3910-5.

The objective of this research was to study the removal of hydrogen sulfide by a composite media biofilter. The study involved two stages. The first stage was to optimize media in the removal of hydrogen sulfide by comparing the removal efficiency of four main media comprising compost, bamboo fluff soil, lava rock and activated carbon. The sludge from municipal wastewater treatment plant served as a source of microorganisms. Cow manure was used as a source of nutrients and coconut shell was used to prevent bed compaction. The ratio of main media : coconut shell : sludge : manure was 60 : 20 : 10 : 10 by volume. This experiment varied the empty bed residence time at 45, 60 and 75 seconds and hydrogen sulfide concentration ranged from 50 – 300 ppmv. The second stage used with main media from first stage to examine the influence of gas flow direction on the removal efficiency by comparing the removal efficiency between bottom – load biofilter and top – load biofilter. The second stage varied the empty bed residence time at 25, 50 and 75 seconds and hydrogen sulfide concentration was 300 ppmv.

This result showed that the compost media having height of packed bed 1 meter, hydrogen sulfide concentration of 300 ppmv. empty bed residence time was 45 seconds can achieve the removal efficiency 100%. However, bamboo fluff soil, lava rock and activated carbon needed height of packed bed more than 1.25 meter. Compost, bamboo fluff soil, lava rock and activated carbon achieved the maximum elimination capacity of 122, 111, 72 and 108 g/m³-hr. The pressure drop were 20, 11, 9 and 25 mm.H₂O/meter of bed, respectively. The compost has highest elimination capacity. It is a suitable media for the removal of hydrogen sulfide by biofilter.

The second experiment revealed that the top – load biofilter had removal efficiency similar to bottom – load biofilter at the empty bed residence time at least 50 seconds. For empty bed residence time 25 second the removal efficiency of top – load biofilter was less than the removal efficiency of bottom – load biofilter.

Department.....Environmental...Engineering...

Student's signature.....*PT*.....

Field of study...Environmental...Engineering...

Advisor's signature.....*Wongpun Limpaseni*.....

Academic year...2006...

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่
กรุณาแนะนำให้คำปรึกษาในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ
อาจารย์ ดร.สุรัตน์ บัวเลิศ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริมา ปัญญาเมธีกุล ที่กรุณาช่วยแนะแนวทาง
ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่สนับสนุนด้านทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาช่วย
วิเคราะห์ตัวอย่างในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่
อนุเคราะห์อุปกรณ์และเครื่องมือในการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ขอขอบคุณภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาช่วย
วิเคราะห์ตัวอย่างในการวิจัยนี้

ขอขอบคุณครู อนันต์ วีระณรงค์ และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรม
สิ่งแวดล้อมทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

ท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา ของผู้วิจัยที่ช่วยสนับสนุนด้านต่างๆ จนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
รายการสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	3
2.1 สมบัติของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	3
2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป.....	3
2.1.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมี.....	3
2.1.3 ลักษณะความเป็นพิษ.....	4
2.2 การบำบัดทางชีวภาพ.....	5
2.3 เครื่องกรองชีวภาพ.....	5
2.4 กลไกของการกรองชีวภาพ.....	6
2.4.1 การดูดซึม.....	6
2.4.2 การดูดซับ.....	9
2.4.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ.....	11
2.5 ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	13
2.6 หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสม.....	15
2.6.1 ปริมาณธาตุอาหารอนินทรีย์.....	15
2.6.2 ปริมาณสารอินทรีย์.....	15
2.6.3 ลักษณะการดูดซับและความพรุน.....	15
2.6.4 การยึดเกาะของแบคทีเรีย.....	16
2.6.5 สมบัติทางกลศาสตร์.....	16

	หน้า
2.6.6 ค่าใช้จ่ายของวัสดุตัวกลางและอายุการใช้งาน.....	16
2.6.7 การกำจัดตัวกลางที่หมดอายุการใช้งาน.....	17
2.7 ประเภทตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ.....	17
2.7.1 ตัวกลางดิน.....	17
2.7.2 ตัวกลางวัสดุหมัก.....	17
2.7.3 ตัวกลางสารอนินทรีย์.....	17
2.7.4 ตัวกลางสังเคราะห์.....	17
2.8 พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบ.....	18
2.8.1 ความลึกของชั้นตัวกลางเครื่องกรองชีวภาพ.....	18
2.8.2 จุลินทรีย์.....	18
2.8.3 การป้อนอากาศ.....	18
2.8.4 การป้อนธาตุอาหารอนินทรีย์.....	19
2.8.5 ปริมาณความชื้น.....	19
2.8.6 อุณหภูมิ.....	19
2.8.7 ความเป็นกรด – ด่างของเครื่องกรองชีวภาพ.....	20
2.8.8 ภาระบรรทุก.....	20
2.8.9 ความดันลด.....	20
2.8.10 การบำบัดก๊าซก่อนเข้าระบบ.....	21
2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	27
3.1 แผนการทดลอง.....	27
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	29
3.3 การทดสอบสมบัติของตัวกลางที่เลือกใช้.....	30
3.3.1 วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางหลักในการทดลอง.....	30
3.3.2 วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุเสริมในการทดลอง.....	31
3.3.3 วิธีการทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลาง.....	33
3.4 ชุดการทดลอง.....	34
3.4.1 ชุดสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	34
3.4.2 เครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง.....	35
3.5 การเก็บตัวอย่างอากาศและวิเคราะห์ข้อมูล.....	37

	หน้า
3.6 ตัวชี้ประสิทธิภาพของระบบ.....	38
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	40
4.1 สมบัติตัวกลาง.....	40
4.1.1 ขนาดอนุภาค.....	40
4.1.2 ความหนาแน่น.....	41
4.1.3 ความพรุน.....	41
4.1.4 ความชื้น.....	42
4.1.5 ความเป็นกรด – ต่าง.....	42
4.1.6 อินทรีย์วัตถุ.....	42
4.1.7 ปริมาณธาตุอาหาร.....	42
4.1.8 สรूपคุณสมบัติตัวกลาง.....	43
4.2 การศึกษาตัวกลางและตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	43
4.2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด.....	43
4.2.1.1 อิทธิพลของภาระบรรจุที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	43
4.2.1.2 อิทธิพลของความสูงตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	46
4.2.2 ความสามารถในการกำจัดสูงสุดและภาระบรรจุวิกฤติ.....	51
4.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวกลาง.....	54
4.2.4 ความเป็นกรด – ต่างของตัวกลาง.....	57
4.2.5 อุณหภูมิของตัวกลาง.....	60
4.2.6 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลาง.....	62
4.2.7 ปริมาณจุลินทรีย์.....	65
4.2.8 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ.....	66
4.2.9 ปริมาณซัลเฟต.....	66
4.2.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท.....	67
4.3 การศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อ	
ประสิทธิภาพการบำบัด.....	68
4.3.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด.....	69
4.3.1.1 อิทธิพลของภาระบรรจุที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	69
4.3.1.2 อิทธิพลของความสูงตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	71
4.3.2 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลาง.....	73

4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหล ขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง.....	75
4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา.....	75
4.5 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยนี้.....	76
4.5.1 การศึกษาประเภทตัวกลางและตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	76
4.5.2 การศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อ ประสิทธิภาพการบำบัด.....	77
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	79
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	79
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	81
รายการอ้างอิง.....	82
ภาคผนวก.....	85
ก. ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของวัสดุตัวกลาง.....	86
ข. เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์.....	94
ค. ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของตัวกลาง.....	99
ง. ผลการศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	108
จ. ผลการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อ ประสิทธิภาพการบำบัด.....	185
ฉ. ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณซัลเฟต.....	194
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	199

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	3
2.2 ลักษณะความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	4
2.3 ลักษณะของถังปฏิกิริยาชีวภาพชนิดต่างๆ.....	5
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.....	26
3.1 อัตราส่วนผสมตัวกลางของแต่ละชุดการทดลอง.....	27
3.2 แผนการทดลอง 1 – 4 (การศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์).....	28
3.3 แผนการทดลอง 5 (การศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อ ประสิทธิภาพการบำบัด).....	28
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	29
3.5 วิธีการทดสอบลักษณะสมบัติของวัสดุตัวกลางที่เลือกใช้.....	33
3.6 ความเข้มข้นของสาร โซเดียมซัลไฟด์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสร้าง ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	34
3.7 การวิเคราะห์พารามิเตอร์.....	37
4.1 สมบัติของตัวกลางหลัก.....	40
4.2 สมบัติของวัสดุเสริม.....	40
4.3 ปริมาณธาตุอาหารของตัวกลางผสม.....	43
4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท.....	44
4.5 ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท.....	52
4.6 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท.....	57
4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท.....	68
4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระดับความสูงต่างๆ ของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้น และเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง.....	69
4.9 ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติในการกำจัด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	75
4.10 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการศึกษาประเภทของตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	77
4.11 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	78

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องกรองชีวภาพ.....	6
2.2 ทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two – film theory).....	8
2.3 กราฟของ Freundlich Model.....	10
2.4 กราฟของ Langmuir Model.....	11
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ และความเข้มข้นของมลพิษ.....	12
2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะ กับ ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ.....	13
2.7 การเกิดปฏิกิริยาซัลไฟด์ออกซิเดชัน.....	14
3.1 ปุ๋ยหมัก.....	30
3.2 ดินขุยไผ่.....	30
3.3 หินภูเขาไฟ.....	31
3.4 ถ่านกัมมันต์.....	31
3.5 ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสีย.....	32
3.6 ปุ๋ยคอก.....	32
3.7 กาบมะพร้าว.....	33
3.8 แผนภาพชุดสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้ในการวิจัย.....	34
3.9 แผนภาพเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย.....	35
3.10 ชุดทดลองเครื่องกรองชีวภาพในการศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัด ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	36
3.11 ชุดทดลองเครื่องกรองชีวภาพในการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด.....	36
3.12 ชุดสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์.....	37
3.13 ความสามารถในการกำจัดสูงสุดและภาวะบรรทุทุกวิกฤติ.....	39
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาวะบรรทุทุกของตัวกลาง ประเภทปุ๋ยหมัก.....	44
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาวะบรรทุทุกของตัวกลาง ประเภทดินขุยไผ่.....	45
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาวะบรรทุทุกของตัวกลาง ประเภทหินภูเขาไฟ.....	45
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาวะบรรทุทุกของตัวกลาง ประเภทถ่านกัมมันต์.....	46

รูปที่	หน้า
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศและความชื้นของตัวกลางประเภท ถ่านกัมมันต์ในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบ.....	56
4.21 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	58
4.22 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	58
4.23 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	59
4.24 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	59
4.25 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	60
4.26 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	60
4.27 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	61
4.28 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	61
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	63
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	63
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	64
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ.....	64
4.33 ปริมาณจุลินทรีย์และความเป็นกรด - ด่างของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท.....	65
4.34 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท.....	66
4.35 ปริมาณซัลเฟตของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท.....	67
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาระบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพ ที่มีทิศทางการไหลขึ้น.....	70
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาระบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพ ที่มีทิศทางการไหลลง.....	70
4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักพักและประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ ที่มีทิศทางการไหลขึ้นที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วนที่ระดับ ความสูงต่างๆ.....	72

รูปที่	หน้า
4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักพักและประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ ที่มีทิศทางก๊าซไหลลงที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วนที่ระดับ ความสูงต่างๆ.....	72
4.40 ลักษณะเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทาง ก๊าซไหลลง.....	73
4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบ ของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้น.....	74
4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบ ของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง.....	74



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

C	=	ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำ
P	=	ความดันย่อยของก๊าซ
K_h	=	ค่าคงที่ของเฮนรี
N_A	=	อัตราการถ่ายเทมวลของ A ต่อหน่วยพื้นที่ถ่ายเท
K_G	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแบบการพาสำหรับสถานะก๊าซ
K_L	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแบบการพาสำหรับสถานะของเหลว
P_{AG}	=	ความดันย่อยของก๊าซ A ในสถานะก๊าซ
P_{Ai}	=	ความดันย่อยของก๊าซ A ที่ชั้นผิวสัมผัส
C_{Ai}	=	ความเข้มข้นของ A ที่ชั้นผิวสัมผัส
C_{AL}	=	ความเข้มข้นของ A ในสถานะของเหลว
C_s	=	มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ
C_c	=	ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สถานะสมดุล
N	=	ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง
K_f	=	ค่าสัมประสิทธิ์คูคซ์ของ Freundlich
a	=	ค่าคงที่
b	=	ค่าสัมประสิทธิ์อิ่มตัว
C_L	=	ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ
k_{max}	=	อัตราการย่อยสลายสูงสุด
K_S	=	Half – saturation constant
X	=	ความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์
μ	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของการเติบโตจำเพาะ
S	=	ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ
μ_{max}	=	ค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด
V_f	=	ปริมาตรทั้งหมดของตัวกรอง
Q_{Air}	=	อัตราไหลของอากาศ
C_{in}	=	ความเข้มข้นของมลพิษเข้าระบบ
C_{out}	=	ความเข้มข้นของมลพิษออกระบบ

คำย่อ

- EBRT = เวลาที่พัก (Empty Bed Residence Time)
- EC = ความสามารถในการกำจัด (Elimination Capacity)
- EC_{max} = ความสามารถในการกำจัดสูงสุด (Maximum Elimination Capacity)
- LPM = ลิตรต่อนาที (Liter Per Minute)
- ppmv = ส่วนในล้านส่วนโดยปริมาตร (Part Per Million by Volume)
- RE = ประสิทธิภาพการบำบัด (Removal Efficiency)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นก๊าซที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อด้านสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของสิ่งมีชีวิต โดยก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มีลักษณะเป็นก๊าซที่มีกลิ่นเหม็นและมีความเป็นพิษสูง ส่วนใหญ่พบได้ในบริเวณเขตอุตสาหกรรม ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์บริเวณเขตอุตสาหกรรมจะเกิดจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม อาทิเช่น การกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิง การบำบัดน้ำเสีย กระบวนการแปรรูปอาหาร กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษและกระดาษ ซึ่งความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากกระบวนการดังกล่าวข้างต้น โดยทั่วไปจะอยู่ที่ประมาณ 5 - 70 ส่วนในล้านส่วน และอาจสูงถึง 300 ส่วนในล้านส่วนในบางกระบวนการผลิต (Barona และคณะ, 2004)

สหรัฐอเมริกาได้กำหนดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อนุญาตให้มีได้ อยู่ที่ 20 ส่วนในล้านส่วนและความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 10 นาทีอยู่ที่ 50 ส่วนในล้านส่วน (Occupational Safety and Health Administration [OSHA], 1995) ส่วนประเทศไทยได้กำหนดความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่อนุญาตให้มีได้และความเข้มข้นสูงสุดในช่วงเวลา 10 นาที มีค่าเท่ากับของสหรัฐอเมริกา โดยออกในบัญชีท้ายประกาศกระทรวงมหาดไทย เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับภาวะแวดล้อม (สารเคมี) ตารางหมายเลข 3 (นพภาพร และคณะ, 2547)

สำหรับวิธีการควบคุมก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้น สามารถทำการควบคุมได้หลายวิธี อาทิเช่น กระบวนการทางกายภาพและเคมี ซึ่งประกอบด้วย การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon adsorption) การออกซิเดชันโดยโอโซน (Ozone oxidation) และการเผาไหม้ (Incineration) (Ying , Chihpin และ Ching , 1996) ปัจจุบันมีการมุ่งความสนใจไปยังการใช้การกรองชีวภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีข้อดีเหนือกว่ากระบวนการทางกายภาพและเคมีเพราะวิธีนี้ต้องการการบำรุงรักษาน้อยและใช้ค่าใช้จ่ายในการเดินระบบต่ำ ทั้งยังมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัด

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยศึกษาชนิดตัวกลางที่เหมาะสมและพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาอิทธิพลความเข้มข้นของก๊าซ เวลาพัก และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพ
- 1.2.4 เพื่อศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเครื่องกรองชีวภาพ ด้วยแบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ (Bench Scale) จำนวน 4 ถึงปฏิบัติการที่บรรจุตัวกลางแตกต่างกัน
- 1.3.2 วัสดุตัวกลางที่ใช้ในการวิจัยมี 4 ชนิด คือ ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์
- 1.3.3 เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตั้งแต่ 50 ถึง 300 ส่วนในล้านส่วน ในทุกถึงปฏิบัติการ
- 1.3.4 เปลี่ยนแปลงเวลาพักพักของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ตั้งแต่ 45 ถึง 75 วินาที ในแต่ละถึงปฏิบัติการ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทำให้ทราบปัจจัยสำคัญต่างๆ ที่มีผลต่อการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- 1.4.2 ทำให้เพิ่มแนวทางในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
- 1.4.3 ทำให้มีการใช้ประโยชน์จากวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในท้องถิ่น มาทำเป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ
- 1.4.4 เพื่อเป็นแนวทางออกแบบเครื่องกรองชีวภาพสำหรับใช้งานจริงในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

บทที่ 2

บททวนเอกสาร

2.1 สมบัติของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไป

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

2.1.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมี

สมบัติทางกายภาพและเคมีของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (U.S. Environmental Protection Agency, 2004)

Characteristic	Information
Chemical formula	H ₂ S
CAS registry no.	7783-06-4
Molecular weight	34.08
Physical state	Gas
Vapor pressure at 25 °C	20 mm Hg
Melting point	-85.49 °C
Boiling point	-60.33 °C
Solubility in water at 20 °C	4.1 g/L
Log K _{ow}	Not applicable
Henry's law constant at 20 °C	1150 x 10 ⁻⁴ mol/L-atm
Conversion factors in air	1 ppm = 1.39 mg/m ³
Odor threshold in air (absolute)	0.2 ppm
Threshold limit value	TWA : 10 ppm STEL : 15 ppm (15 minutes)

2.1.3 ลักษณะความเป็นพิษ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นสารพิษที่มีฤทธิ์รุนแรง และเป็นก๊าซที่ทำให้เกิดการระคายเคืองที่ตาและระบบทางเดินหายใจ ซึ่งทำให้เกิดอาการ เช่น ไอ ปวดบริเวณจมูกเมื่อทำการหายใจ และปวดบริเวณลำคอ ในกรณีที่ได้รับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นสูงๆ อาจทำให้ตายโดยเฉียบพลัน เนื่องจากก๊าซจะไปทำการยับยั้งกระบวนการสร้างออกซิเจนของเซลล์เนื้อเยื่อ และลดปริมาณการถ่ายเทออกซิเจนของเลือด ทั้งยังไปกดทับเส้นประสาท เป็นผลให้เกิดอาการอัมพาตและระบบทางเดินหายใจล้มเหลว จนในที่สุดก็จะเสียชีวิต

ตารางที่ 2.2 ลักษณะความเป็นพิษของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (OSHA, 1995)

ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)	อาการที่ปรากฏ
10	เริ่มมีอาการระคายเคืองที่ตา
50 – 100	ระบบทางเดินหายใจเกิดอาการระคายเคืองเล็กน้อย หลังสัมผัส 1 ชั่วโมง
100	เกิดอาการระคายเคืองที่ตา ไอ สูญเสียประสาทสัมผัสการรับกลิ่น หลังสัมผัสเป็นเวลา 2 – 15 นาที จากนั้นจะเจ็บปวดบริเวณตา ลำคอ เมื่อสัมผัสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรณีถ้าสัมผัสก๊าซมากกว่านี้ จะเป็นผลให้อาการต่างๆ รุนแรงขึ้น และอาจทำให้เสียชีวิตได้ใน 48 ชั่วโมงถัดมา
200 – 300	เกิดอาการระคายเคืองที่ระบบทางเดินหายใจมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณลำคอ เมื่อสัมผัสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
500 – 700	หมดสติ และอาจเสียชีวิตได้ หลังสัมผัสก๊าซเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
700 – 1000	ระบบทางเดินหายใจหยุดทำงาน หมดสติ และเสียชีวิตโดยเฉียบพลัน หลังสัมผัสก๊าซ

2.2 การบำบัดทางชีวภาพ

การบำบัดทางชีวภาพนี้เป็นกระบวนการที่ประหยัดและเสียค่าใช้จ่ายน้อยในการบำบัดก๊าซของเสียที่มีความเข้มข้นต่ำและมีปริมาณมาก ซึ่งการบำบัดทางชีวภาพนี้จะอาศัยการทำงานของจุลินทรีย์ในการบำบัด โดยจะทำการเปลี่ยนก๊าซเสียให้เป็นน้ำ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และมวลชีวภาพ (Biomass) หลักการคือ ก๊าซเสียที่เข้ามาในระบบจะถูกดักจับโดยจุลินทรีย์ซึ่งจุลินทรีย์จะใช้สารเหล่านี้เป็นอาหารเพื่อทำให้เกิดการเจริญเติบโตและเป็นพลังงานให้กับเซลล์

สารมลพิษที่สามารถบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพได้นั้น ควรจะต้องเป็นสารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ ซึ่งลักษณะทั่วไปของสารมลพิษที่สามารถใช้ในกระบวนการนี้คือ น้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีโครงสร้างพันธะง่ายๆ (Simple bond structures) เนื่องจากถ้าสารมลพิษมีโครงสร้างพันธะที่ซับซ้อน (Complex bond structures) จะทำให้ต้องใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในการย่อยสลาย ซึ่งพลังงานที่ย่อยสลายนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถหามาได้ ดังนั้นจึงทำให้ไม่เกิดการย่อยสลายสารมลพิษเกิดขึ้น

ถึงปฏิกิริยาที่ใช้ในการบำบัดทางชีวภาพ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ เครื่องกรองชีวภาพ (Biofilters) เครื่องโปรยกรองทางชีวภาพ (Biotrickling filters) และ เครื่องดักจับทางชีวภาพ (Bioscrubbers) ซึ่งกลไกในการทำงานของถึงปฏิกิริยาเหล่านี้ มีลักษณะคล้ายๆ กัน แต่แตกต่างกันที่สถานะของจุลชีพและน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ลักษณะของถึงปฏิกิริยาชีวภาพชนิดต่างๆ (Devanny, Deshusses และ Webster, 1999)

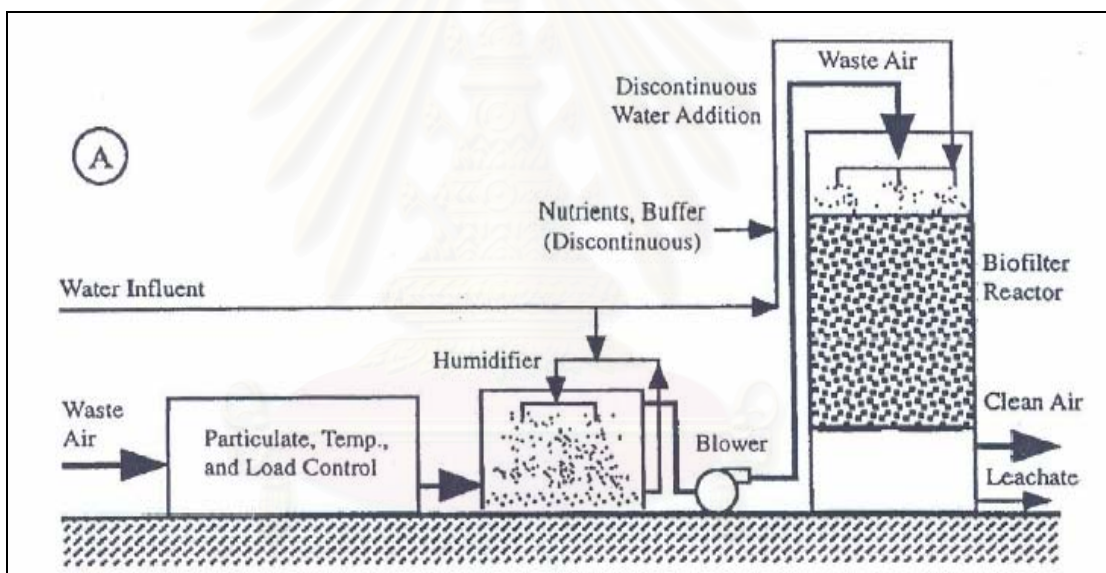
Reactor type	Microorganisms	Water phase
Biofilter	Fixed	Stationary
Biotrickling	Fixed	Flowing
Bioscrubber	Suspended	Flowing

2.3 เครื่องกรองชีวภาพ

Devanny และคณะ (1999) ได้กล่าวถึงการกรองทางชีวภาพว่าเป็นกระบวนการใช้จุลชีพที่ยึดเกาะบนตัวกลางที่มีความพรุน เพื่อทำการย่อยสลายมลพิษที่มีอยู่ในอากาศ โดยที่จุลชีพเติบโตภายในฟิล์มชีวภาพ (Biofilm) บนผิวของตัวกลาง หรือแขวนลอยภายในน้ำบริเวณรอบๆ วัสดุตัวกลาง ตัวกลางควรเป็นสารเฉื่อยเช่น ไม้หมัก ถ่าน เป็นต้น ที่สำคัญต้องเป็นวัสดุที่มีพื้นผิวมากพอ

สำหรับการเกาะติด เมื่ออากาศผ่านเครื่องกรองชีวภาพ มลพิษในอากาศจะถูกดูดซับเข้าสู่ภายในฟิล์มชีวภาพและวัสดุตัวกลาง โดยมลพิษจะถูกย่อยสลายทางชีวภาพต่อไป ภายในเครื่องกรองชีวภาพจะมีกลไกร่วมกันซึ่งประกอบด้วย การดูดซึม (Absorption) การดูดซับ (Adsorption) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Degradation) และการคายสารออก (Desorption) ของก๊าซมลพิษ และอาจต้องมีการเติมน้ำเพื่อรักษาปริมาณความชื้น ตลอดจนการเติมธาตุอาหารให้กับจุลชีพในเครื่องกรองชีวภาพ

เครื่องกรองชีวภาพที่มีประสิทธิภาพนั้น ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของตัวกรองที่เลือกใช้ ซึ่งประกอบด้วย ความพรุน ระดับการอัดตัว ความสามารถการเก็บกักน้ำ และความสามารถในการอยู่อาศัยของกลุ่มจุลชีพ พารามิเตอร์ที่ต้องควบคุมประกอบด้วย การเพาะเลี้ยงจุลชีพ ความเป็นกรด – ด่างของตัวกรอง อุณหภูมิ ปริมาณความชื้น และธาตุอาหารเป็นต้น



รูปที่ 2.1 เครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา : Devinity และคณะ (1999)

2.4 กลไกของการกรองชีวภาพ

2.4.1 การดูดซึม (Absorption)

การดูดซึม คือ การถ่ายเทมวล โดยการแพร่หรือการพา ซึ่งเกิดในสภาวะเดียวกันหรือต่างสภาวะ จะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยในแต่ละสภาวะไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล ปกติระบบจะพยายามปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลในที่สุด โดยทั่วไปกลไกของการดูดซึมมีอยู่ 2 ส่วนคือ

ความสามารถในการละลาย (Solubility)

ความสามารถในการละลายนั้นใช้การวัดที่สภาวะสมดุล โดยวัดปริมาตรก๊าซและของเหลวในภาชนะปิด และตั้งทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง จนปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซึมเข้าไปในของเหลวเท่ากับปริมาณสารละลายที่ได้ ณ จุดนี้จะไม่มีการเปลี่ยนรูปของสารอีก และความเข้มข้นของก๊าซในส่วนที่เป็นก๊าซ และในของเหลวจะคงที่ คือ ระบบก๊าซ – ของเหลวเกิดสมดุล

กฎของเฮนรี (Henry's law) สามารถใช้ทำนายความสามารถในการละลาย เมื่อความเข้มข้นของตัวถูกละลายถูกทำให้เจือจางลงมาก (McCabe และ Smith, 1967) ดังสมการที่ 2.1

$$C = K_h P \dots \dots \dots (2.1)$$

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

การถ่ายเทมวลก๊าซสู่ของเหลว

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

- การถ่ายเทมวลจากสถานะก๊าซไปยังผิวสัมผัสของก๊าซ – ของเหลว
- การถ่ายเทข้ามผิวสัมผัสเข้าไปยังฟิล์มของเหลว
- การถ่ายเทจากฟิล์มของเหลวเข้าไปยังสถานะของเหลว

ทฤษฎีนี้อ้างอิงสมมุติฐานดังนี้ คือ

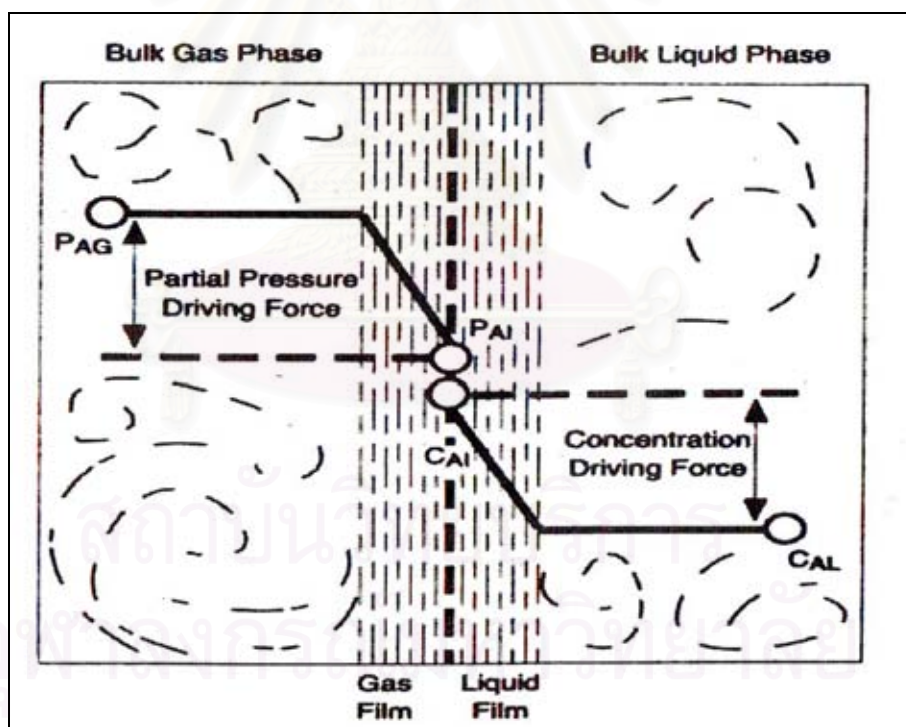
- มีฟิล์มแต่ละข้างของผิวสัมผัส (ฟิล์มด้านก๊าซและฟิล์มด้านของเหลว) และอัตราการถ่ายเทมวลถูกควบคุมโดยอัตราการแพร่ผ่านฟิล์มของก๊าซและของเหลว ดังสมการที่ 2.2

สมการถ่ายเทมวลก๊าซ A จากสถานะก๊าซไปยังสถานะของเหลว

$$N_A = k_G(P_{AG} - P_{Ai}) = k_L(C_{Ai} - C_{AL}) \dots \dots \dots (2.2)$$

โดยที่ N_A	=	อัตราการถ่ายเทมวลของ A ต่อหน่วยพื้นที่ถ่ายเท (โมล/ตร.ม.-วินาที)
k_G	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแบบการพาสำหรับสถานะก๊าซ (โมล/ตร.ม.-วินาที-บรรยากาศ)
k_L	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแบบการพาสำหรับสถานะของเหลว (เมตร/วินาที)
P_{AG}	=	ความดันย่อยของก๊าซ A ในสถานะก๊าซ (บรรยากาศ)
P_{Ai}	=	ความดันย่อยของก๊าซ A ที่ชั้นผิวสัมผัส (บรรยากาศ)
C_{Ai}	=	ความเข้มข้นของ A ที่ชั้นผิวสัมผัส (โมล/ลิตร)
C_{AL}	=	ความเข้มข้นของ A ในสถานะของเหลว (โมล/ลิตร)

- ความต้านทานของผิวสัมผัสสำหรับการถ่ายเทมวลน้อยมาก เมื่อเทียบกับความต้านทานของฟิล์มก๊าซและของเหลว



รูปที่ 2.2 ทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two – film theory)

ที่มา : McCabe และ Smith (1967)

2.4.2 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับเป็นปัจจัยพื้นฐานในการกำจัดมลพิษ เกิดจากการเคลื่อนที่ของสารมลพิษ ละลายลงสู่น้ำและเคลื่อนที่เข้าสู่ชั้นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ ทั้งนี้การดูดซับภายในเครื่องกรองชีวภาพ มีแบบจำลองที่ศึกษาอยู่ 2 ชนิด คือ

การดูดซับบนตัวกลาง อธิบายตาม Freundlich Model

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

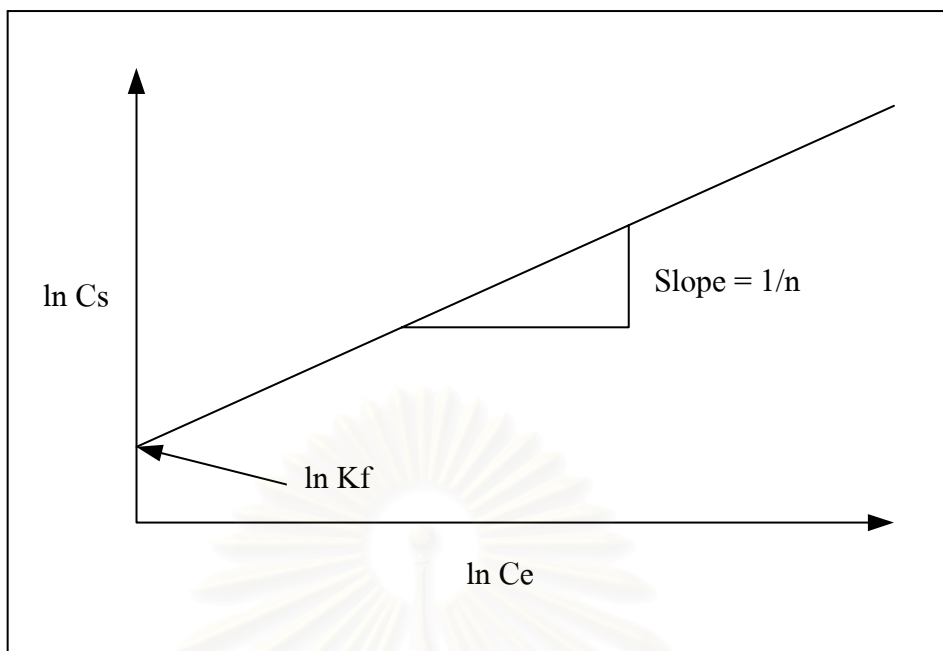
นำสมการ (2.3) มาปรับรูปสมการได้ใหม่เป็นสมการ (2.4) แล้วนำมาวาดกราฟจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.3

$$\ln C_s = \ln K_f + \frac{1}{n} \ln C_e \dots\dots\dots(2.4)$$

- โดยที่ C_s = มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ (กรัม/กรัม)
- C_e = ความเข้มข้นของสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล (กรัม/ลบ.ม.)
- n = ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง
- k_f = ค่าสัมประสิทธิ์ดูดซับของ Freundlich

Freundlich Model มีสมมติฐานว่า การดูดซับในตัวกลางไม่จำกัดปริมาณและปริมาณในการดูดซับก็ขึ้นกับความเข้มข้นของมลพิษที่ละลายลงน้ำ และค่า n จะมีค่าเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 กราฟของ Freundlich Model

ที่มา : Walter และ Weber (1972) อ้างถึงใน เกรียงศักดิ์ (2546)

การดูดซับบนตัวกลาง อธิบายตาม Langmuir Model

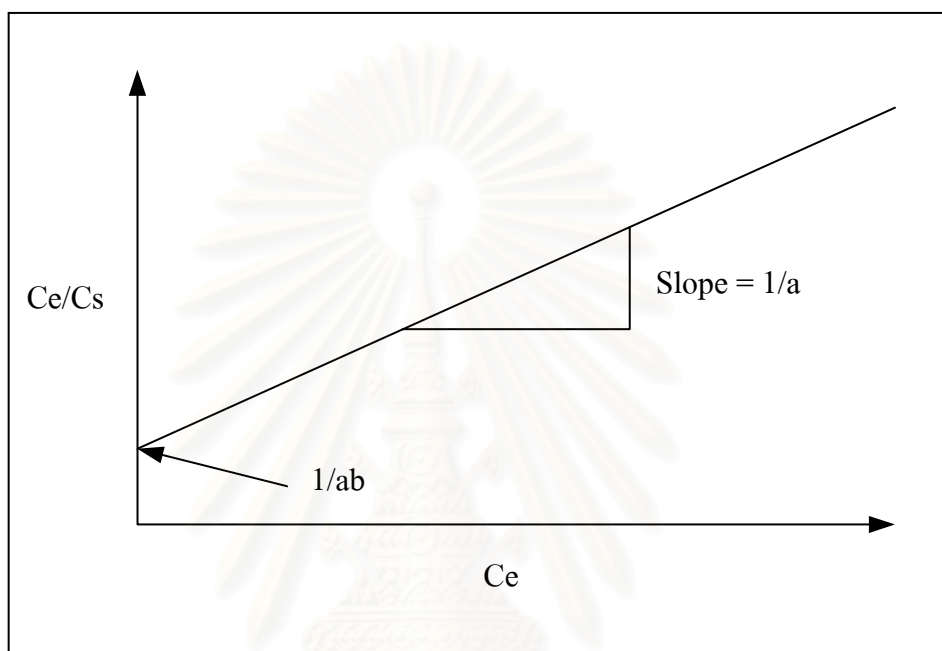
$$C_s = \frac{abC_e}{1 + bC_e} \dots\dots\dots(2.5)$$

นำสมการ (2.5) มาปรับรูปสมการได้ใหม่เป็นสมการ (2.6) แล้วนำมาวาดกราฟจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.4

$$\frac{C_e}{C_s} = \frac{1}{ab} + \frac{C_e}{a} \dots\dots\dots(2.6)$$

โดยที่ a = ค่าคงที่
 b = ค่าสัมประสิทธิ์อิ้มตัว (ลบ.ม./ก.)

แบบจำลอง Langmuir Model มีสมมติฐานว่า สมดุลระหว่างค่าความเข้มข้นของมลพิษที่ละลายกับค่าความเข้มข้นที่ถูกดูดซับนั้น ถ้าความเข้มข้นในน้ำ (C_e) มีค่าน้อย การดูดซับ (C_s) จะไม่เกิดขึ้น และเมื่อความเข้มข้นในน้ำมีค่ามากก็จะมีค่าการดูดซับมากซึ่งในการทำงานเกี่ยวกับเครื่องกรองชีวภาพนั้น ควรพิจารณาค่าความสามารถในการดูดซับ (Adsorption Capacity) ของตัวกลางที่ใช้เพื่อการออกแบบและเลือกใช้ชนิดของวัสดุตัวกลางที่เหมาะสม



รูปที่ 2.4 กราฟของ Langmuir Model

ที่มา : Walter และ Weber (1972) อ้างถึงใน เกรียงศักดิ์ (2546)

2.4.3 การย่อยสลายทางชีวภาพ

ฟิล์มจุลินทรีย์ (The Biofilm) คือ มวลของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนผิวของตัวกลาง และทำการย่อยสลายสารมลพิษให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอันตรายโดยกระบวนการเมแทบอลิซึมของจุลินทรีย์ ฟิล์มจุลินทรีย์จะเป็นฟิล์มบางๆอยู่ระหว่างของแข็งและก๊าซ การกรองทางชีวภาพจะมีประสิทธิภาพดีเมื่อฟิล์มชีวภาพมีความหนา 1 – 5 มิลลิเมตร

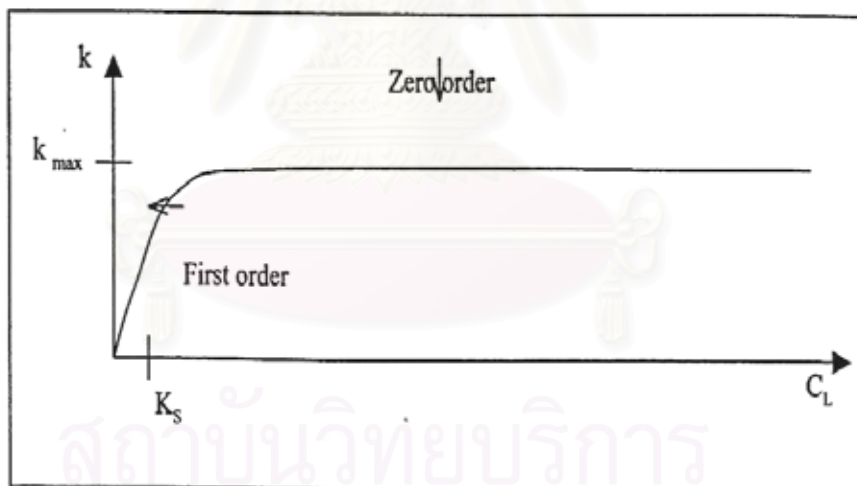
จลนศาสตร์ (Kinetic) คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณอัตราการย่อยสลายมลพิษทางชีวภาพและอัตราการเกิดของมวลชีวภาพ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการพิจารณาค่าทางจลนศาสตร์ คือ Michalis – Menten equation เป็นดังสมการ 2.7

$$\frac{dC_L}{dt} = \frac{k_{max} \cdot C_L}{K_s + C_L} \dots\dots\dots(2.7)$$

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

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

เมื่อสารมลพิษมีความเข้มข้นต่ำ ปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่ง โดยในการกรองชีวภาพบริเวณทางเข้าของก๊าซจะเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์ เนื่องจากมีความเข้มข้นสูง แต่เมื่อห่างออกไปจะเป็นปฏิกิริยาอันดับที่หนึ่งเมื่อมีความเข้มข้นต่ำ



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพ และความเข้มข้นของมลพิษ

ที่มา : Devigny และคณะ (1999)

การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์พิจารณาได้จากสมการที่ 2.8

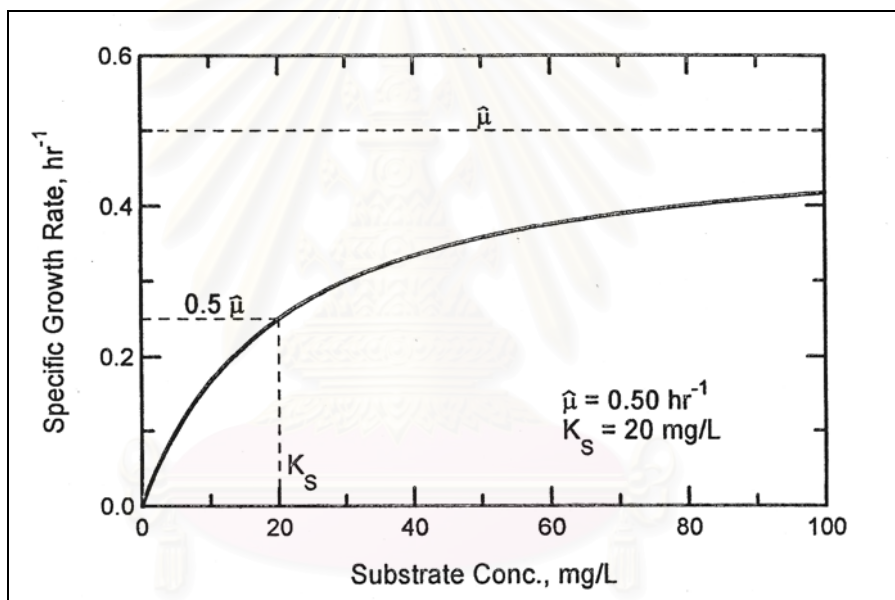
$$\frac{dx}{dt} = \mu x \dots\dots\dots(2.8)$$

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

การคำนวณหาค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะ ใช้ความสัมพันธ์ของ Monod ดังสมการที่ 2.9

$$\mu = \frac{\mu_{\max} S}{K_S + S} \dots\dots\dots(2.9)$$

โดยที่ S = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ
 μ_{\max} = ค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด



รูปที่ 2.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะ กับ ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ
 ที่มา : Grady และคณะ (1999)

2.5 ประเภทของจุลินทรีย์ที่ใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

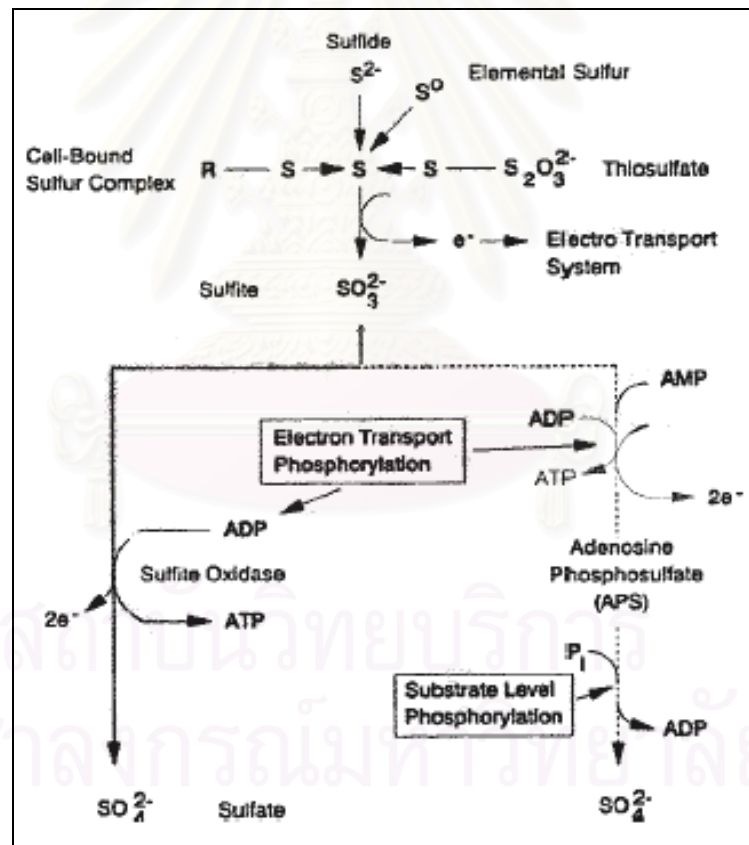
Zicari (2003) ได้กล่าวถึงจุลินทรีย์ที่สามารถกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

กลุ่ม **Colorless sulfur bacteria** เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่มีออกซิเจน (Aerobic) เช่น แบคทีเรียชนิด Thiobacillus, Beggiatoa, Thiothrix เป็นต้น

กลุ่ม **Green sulfur bacteria** เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) และเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่สังเคราะห์แสง เช่น แบคทีเรียชนิด Chlorobium เป็นต้น

กลุ่ม **Purple sulfur bacteria** เป็นจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในสภาวะที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic) และเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่สังเคราะห์แสง เช่น แบคทีเรียชนิด Chromatium, Thiocapsa เป็นต้น

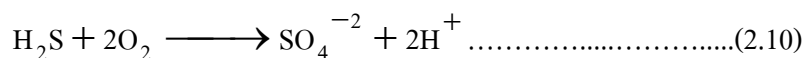
จุลินทรีย์กลุ่ม Colorless sulfur bacteria เป็นกลุ่มที่นิยมใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากที่สุด โดยจุลินทรีย์กลุ่มนี้มีข้อดี คือ มีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงและไม่ต้องการแสงในการเจริญเติบโต แบคทีเรียชนิด Thiobacillus โดยทั่วไปเป็นแบคทีเรียกลุ่มหลักในการออกซิไดซ์ซัลไฟด์ (Sulfide oxidation) ซึ่งมีลักษณะของปฏิกิริยาดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเกิดปฏิกิริยาซัลไฟด์ออกซิเดชัน

ที่มา : Zicari (2003)

จากปฏิกิริยาซัลไฟด์ออกซิเดชันข้างต้น สามารถนำมาเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้



สารผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยานี้ จะประกอบด้วย ซัลเฟต (SO_4^{-2}) และ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ซึ่งสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นเหล่านี้ จะรวมตัวกันอยู่ในรูปของกรดซัลฟูริก (Sulfuric acid) เป็นผลให้พีเอชลดลง ดังนั้นในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงควรคำนึงถึงจุดนี้ด้วย

2.6 หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสม

Devinny และคณะ (1999) ได้เสนอแนะหลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสมกับเครื่องกรองชีวภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 ปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์

ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซัลเฟตในปริมาณที่สูง เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการก่อให้เกิดจุลินทรีย์ที่หนาแน่น ในเวลานี้มีข้อมูลน้อยมากเกี่ยวกับปริมาณธาตุอาหารและวัฏจักรการให้ธาตุอาหารของระบบเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะมีแต่เพียงการเติมธาตุอาหาร โดยใช้การสเปรย์น้ำที่มีธาตุอาหารลงบนตัวกลาง แต่ใช้เพียงแค่ตอนเริ่มต้นของการเดินระบบเท่านั้น อย่างไรก็ตามในบางกรณีจะมีการเติมธาตุอาหารในระหว่างการดำเนินงานด้วย

2.6.2 ปริมาณสารอินทรีย์

ในหลายกรณีเครื่องกรองชีวภาพจะมีการบำบัดมลพิษแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากการผลิตเปลี่ยนแปลงหมุนเวียนตัวกลางหรือหยุดทำงานในช่วงสุดสัปดาห์ มวลชีวภาพและสารอินทรีย์ที่ดูดซึมได้อื่นๆ จะเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในช่วงหยุดระบบ ปกติแล้ววัสดุตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะมีปริมาณสารอินทรีย์มาก ดังนั้นตัววัสดุตัวกลางชนิดนี้จึงไม่ต้องการเติมมวลสารอินทรีย์เข้าไปในระบบอีกเมื่อหยุดการทำงานของระบบ

2.6.3 ลักษณะการดูดซับและความพรุน

การดูดซับสารมลพิษไปยังวัสดุตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ วัสดุตัวกลางที่ใช้ควรมีสมบัติในการดูดซับสารมลพิษได้อย่างเพียงพอ และยังสามารถบำบัดสารมลพิษได้อย่างต่อเนื่อง

ภายใต้สภาวะความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบมีการผันแปร กระบวนการดูดซับสารมลพิษไปยังตัวกลางควรจะมีบทบาทสำคัญในการลดความเข้มข้นของสารมลพิษที่สูงให้เจือจางลง

โดยส่วนมากแล้วตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน ควรจะมีความพรุนหรือปริมาตรช่องว่าง ประมาณ 40 – 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้มั่นใจได้ว่าอากาศจะเคลื่อนที่ได้ดีและความดันตกที่เกิดขึ้นน้อยลง การบรรจุตัวกลางควรจะทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากสำหรับให้จุลินทรีย์อาศัยอยู่ได้และมีการถ่ายเทสารมลพิษเกิดขึ้นได้

2.6.4 การยึดเกาะของแบคทีเรีย

วัสดุตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ ควรจะมีสมบัติในการยึดเกาะจุลินทรีย์จากงานวิจัยได้พบว่าตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ ควรจะมีผิวขรุขระ มีความพรุน และเก็บกักน้ำไว้ได้ เพื่อที่จะทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ พื้นที่ผิวขรุขระเป็นสมบัติที่สำคัญที่ตัวกลางควรมีเพื่อที่จะเป็นการป้องกันจุลินทรีย์จากแรงเฉือนทางชลศาสตร์ (Hydraulic shear) สำหรับตัวกลางที่เป็นวัสดุสังเคราะห์บางครั้งอาจมีการใช้สารเคมีทำการชะล้าง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเมือกจุลินทรีย์ (Slime growth) ที่เป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดการอุดตัน

2.6.5 สมบัติทางกลศาสตร์

วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพควรจะใช้ได้นาน ไม่เกิดการอุดตันและหดตัว โดยสมบัติสำคัญที่เป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของโครงสร้างตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ คือ ความหนาแน่นของวัสดุตัวกลาง กล่าวคือเมื่อวัสดุตัวกลางมีความหนาแน่นมากจะเป็นนัยสำคัญว่าวัสดุดังกล่าวจะมีโครงสร้างที่แข็งแรง ในทางกลับกันถ้าวัสดุมีความหนาแน่นน้อยจะแสดงให้เห็นว่าวัสดุนั้นไม่แข็งแรง ดังนั้นวัสดุตัวกลางที่แข็งแรงจึงสามารถสร้างเครื่องกรองชีวภาพที่มีความสูงมากๆ ได้ ด้วยเหตุนี้ถึงปฏิกิริยาจึงมีปริมาณมากขึ้นรวมทั้งสามารถทำให้ออกซิเจนในน้ำที่จำกัดได้ จึงเป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบลดลง ปกติแล้ววัสดุตัวกลางประเภทปืยหมักจะมีความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ 300 – 500 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ส่วนวัสดุตัวกลางที่เป็นดินจะมีความหนาแน่นประมาณ 1,000 – 5,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.6.6 ค่าใช้จ่ายของวัสดุตัวกลางและอายุการใช้งาน

วัสดุตัวกลางที่ใช้ควรสามารถใช้งานได้อย่างน้อย 2 – 4 ปี ก่อนจะถึงเวลากำจัด และราคาค่าวัสดุตัวกลางควรจะน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในด้านอื่น รวมถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการควรจะทำ การเปลี่ยนตัวกลางใหม่เป็นสิ่งจำเป็นเมื่อประสิทธิภาพการกำจัดต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้ และเมื่อค่าความดันตกสูงมาก

2.6.7 การกำจัดตัวกลางที่หมดอายุการใช้งาน

วัสดุตัวกลางที่ใช้แล้วไม่ควรที่จะเป็นขยะอันตรายและควรที่จะกำจัดได้ด้วยวิธีที่ง่าย และเสียค่าใช้จ่ายน้อย เช่น การผสมกับดิน (Land farming)

2.7 ประเภทตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ

2.7.1 ตัวกลางดิน (Soil bed)

ดินนับเป็นตัวกลางแบบแรกที่ถูกนำมาใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ ดินที่มีความเหมาะสมที่สุดในระบบบำบัดคัลลิน หรือสารอินทรีย์ระเหยง่ายควรจะเป็นดินที่อุดมสมบูรณ์ (Loam) ส่วนดินเหนียวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ

2.7.2 ตัวกลางวัสดุหมัก (Compost material)

ตัวกลางวัสดุหมัก เช่น ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางที่นิยมใช้ในเครื่องกรองชีวภาพเนื่องจากเป็นวัสดุราคาถูกและมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่ในตัวแล้วยังมีธาตุอาหาร (Nutrients) ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก วัสดุหมักมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี และมีความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี แต่มีข้อเสียคือสามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางใหม่อยู่เสมอ

2.7.3 ตัวกลางสารอนินทรีย์ (Inorganic material)

สารอนินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ระบบที่ใช้ ถ่านกัมมันต์ จะมีข้อดีเหนือระบบที่ใช้วัสดุหมัก ในด้านอายุการใช้งานของตัวกลางและมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่า ทำให้สามารถลดขนาดของระบบลงได้ แต่ข้อเสียคือ ราคาค่อนข้างแพง

2.7.4 ตัวกลางสังเคราะห์ (Synthetic material)

ตัวกลางสังเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปจะทำจากวัสดุ อาทิเช่น พลาสติก โพลีโพรพิลีน เป็นต้น โดยวัสดุตัวกลางชนิดนี้จะมีสมบัติที่โครงสร้างของตัวกลางมีความแข็งแรง อายุการใช้งานยาวนาน แต่มีข้อด้อยอยู่ตัวกลางชนิดนี้จะไม่มีความสามารถในการกักเก็บน้ำ และธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ดังนั้นตัวกลางประเภทนี้จึงต้องมีการเติมน้ำและธาตุอาหารให้ระบบอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของระบบค่อนข้างสูง

2.8 พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบ

Schnelle และ Brown (2002) ได้กล่าวว่า การออกแบบเครื่องกรองชีวภาพสามารถออกแบบได้หลายรูปแบบ แต่หน้าที่การทำงานจะเหมือนกัน เครื่องกรองชีวภาพสามารถออกแบบได้ทั้งแบบปิดและเปิด หรือเป็นแบบติดตั้งด้วยการขุดเปิดหน้าดิน หรือเป็นแบบถังปฏิบัติการ โดยทั่วไป ส่วนประกอบหลักของเครื่องกรองชีวภาพจะประกอบด้วย ชั้นตัวกลาง (Media packed bed) ระบบกระจายอากาศ (Air distribution system) เครื่องทำความชื้น (Humidifier) และเครื่องจ่ายอากาศ (Blower) ส่วนอุปกรณ์ทางเลือกเสริมของเครื่องกรองชีวภาพนั้น ประกอบด้วย อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange chamber) เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับระบบ และระบบกระจายน้ำ (Water sprinkler system) ซึ่งใช้ในการควบคุมความชื้นของพื้นผิวชั้นตัวกลาง

2.8.1 ความลึกของชั้นตัวกลางเครื่องกรองชีวภาพ (Depth of biofilter bed)

ความลึกของชั้นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะมีความลึกอยู่ที่ 0.5 – 2.5 เมตร ซึ่งปกติในการออกแบบจะกำหนดความลึกอยู่ที่ประมาณ 1 เมตร เพื่อเป็นการป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกลาง

2.8.2 การเพาะเชื้อจุลินทรีย์ (Inoculation)

การเพาะเชื้อจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพเป็นสิ่งจำเป็น โดยทั่วไปตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมักจะไม่จำเป็นต้องมีการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากภายในตัวกลางมีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามการเติมเชื้อจุลินทรีย์ก็ยังคงเป็นสิ่งที่ดีปฏิบัติ เพราะจะทำให้ระยะเวลาในการเริ่มเดินระบบลดลง และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ ปกติแล้วหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ จะใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)

การเริ่มเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะใช้เวลาประมาณ 10 วัน เพื่อต้องการให้เวลาจุลินทรีย์ในการปรับตัวกับสารมลพิษที่เข้ามาในระบบ ในกรณีที่สารมลพิษเป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างโมเลกุลซับซ้อนการปรับตัวของจุลินทรีย์จะต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น

2.8.3 การป้อนอากาศ (Air supply)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ ปกติแล้วจะทำการป้อนอากาศให้กับเครื่องกรองชีวภาพในสัดส่วน อัตราไหล่อากาศต่ออัตราไหล่ก๊าซมลพิษเท่ากับ 100 ส่วน ต่อ 1 ส่วน ทั้งนี้เพื่อต้องการให้มีออกซิเจนเกิน (Excess oxygen) ใน

เครื่องกรองชีวภาพ เพื่อให้แน่ใจว่ามีออกซิเจนเพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และยังเป็นการป้องกันการเกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ (Anaerobic process) ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดกลิ่นเหม็นในเครื่องกรองชีวภาพ

2.8.4 การป้อนธาตุอาหารอนินทรีย์ (Inorganic nutrient supply)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยหนึ่งในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ แต่ก็ยังมีอีกปัจจัยที่สำคัญไม่แพ้กันก็คือ ธาตุอาหารอนินทรีย์ อาทิเช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม โดยทั่วไปสำหรับตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมัก การเติมธาตุอาหารในช่วงเริ่มต้นจะมีอัตราส่วนดังนี้ ในโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม อยู่ในช่วง 0.4 : 0.15 : 0.15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2.8.5 ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปริมาณความชื้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่จะทำให้การเดินระบบประสบความสำเร็จได้ โดยทั่วไปก๊าซมลพิษที่เข้าระบบ จะทำให้ชั้นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพแห้งจึงทำให้จุลินทรีย์มีประสิทธิภาพในการทำงานลดลง เป็นผลให้ก๊าซที่ไม่ผ่านกระบวนการบำบัดไหลออกสู่สถานะแวดล้อมภายนอก ส่วนในกรณีที่มีน้ำอยู่ในชั้นตัวกลางมากเกินไปจะส่งผลให้เกิดเขตไร้อากาศ (Anaerobic zone) ซึ่งจะทำให้เกิดกลิ่น และทำให้เกิดความดันลดมากขึ้น ปริมาณความชื้นในชั้นตัวกลางโดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ระหว่าง 20 – 60 เปอร์เซ็นต์

การเพิ่มปริมาณความชื้นให้กับระบบสามารถทำได้ 2 ทาง คือ การเพิ่มความชื้นแก่ก๊าซก่อนเข้าระบบ ปกติความชื้นของก๊าซควรมีค่าประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ และการเพิ่มความชื้นโดยตรงที่บริเวณผิวหน้าของชั้นกรอง วิธีการนี้ควรระมัดระวังเรื่องขนาดของหยดน้ำ เพราะถ้าหยดน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป อาจจะทำให้เกิดการอุดตันของชั้นตัวกลาง ปกติขนาดของหยดน้ำที่ใช้ควรมีขนาดเล็กกว่า 1 มิลลิเมตร ภาชนะบรรทุกน้ำสูงสุดจะอยู่ที่ 0.021 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-ชั่วโมง

2.8.6 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการทำงานและเจริญเติบโตจะอยู่ที่ประมาณ 10 – 40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเป็นผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะเป็นผลให้จุลินทรีย์ทำงานลดลง ดังนั้นในฤดูหนาวจึงจำเป็นต้องมีการทำความร้อนให้กับก๊าซที่จะเข้าระบบเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่วนในกรณีที่ก๊าซเข้าระบบมีอุณหภูมิสูงเกินไป ควรจะทำให้ก๊าซนั้นเย็นก่อนที่จะเข้าระบบ เพื่อให้แน่ใจว่าจุลินทรีย์จะสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

2.8.7 ความเป็นกรด – ค่าของเครื่องกรองชีวภาพ (pH of Biofilter)

ความเป็นกรด – ค่าของเครื่องกรองชีวภาพควรมีค่าเป็นกลางโดยอยู่ในช่วง 7 – 8 เมื่อทำการบำบัดก๊าซอินทรีย์จะเป็นผลทำให้เกิดกรดอินทรีย์ขึ้น ตัวอย่างเช่น การบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เกิดกรดซัลฟูริก กรดไฮโดรคลอริก และกรดไนตริก ซึ่งกรดเหล่านี้จะทำให้ค่าความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางต่ำลง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องควบคุมค่าความเป็นกรด – ค่าให้เหมาะสม โดยถ้ามีค่าความเป็นกรด – ค่าต่ำเกินไป ควรจะต้องทำการเติมปูนขาวลงไปเพื่อปรับค่าความเป็นกรด – ค่าให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลาง

2.8.8 ภาระบรรทุก (Mass loading rate)

ภาระบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการหาขนาดของระบบ โดยภาระบรรทุกนี้สามารถใช้ในการหาพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้ได้ คือ อัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นกรอง เวลาพักพักก๊าซ และอัตราการกำจัด อัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นกรอง ปกติอยู่ในช่วง 0.3 – 1.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตารางเมตร-นาทีกว่านี้จะเป็นผลให้ก๊าซเสียออกจากระบบโดยไม่ผ่านการบำบัด

เวลากักพัก คือ เวลาที่ก๊าซใช้ในการสัมผัสกับวัสดุตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อทำให้เกิดการดูดซับ (Adsorption) และดูดซึม (Absorption) เวลากักพักโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับชนิดก๊าซมลพิษและวัสดุตัวกลาง เช่น เวลากักพักในการกำจัดก๊าซอินทรีย์ (Organic gas) วัสดุตัวกลางที่เป็นปฏิกิริยาและดินจะใช้เวลาพักอย่างต่ำสุดเท่ากับ 30 วินาที และ 1 นาที ตามลำดับ ส่วนเวลากักพักของก๊าซอินทรีย์ (Inorganic gas) จะใช้เวลานานขึ้นกว่านี้

อัตราการกำจัดจะขึ้นอยู่กับส่วนประกอบ และชนิดของตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ ซึ่งทั่วไปแล้วก๊าซที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและเป็นสารประกอบที่ไม่ซับซ้อน จะสามารถทำการย่อยสลายและบำบัดได้ง่ายในเครื่องกรองชีวภาพ

2.8.9 ความดันลด (Pressure drop)

ความดันลดในเครื่องกรองชีวภาพจะขึ้นอยู่กับประเภทตัวกลาง ความพรุน ปริมาณน้ำ และการอัดตัวของตัวกลาง เมื่อทำการเดินระบบเป็นเวลานาน จะทำให้ความพรุนของตัวกลางลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการอัดตัวของชั้นตัวกรอง ดังนั้นการเปลี่ยนตัวกลางเมื่อครบอายุการใช้งานจะเป็นการป้องกันการอัดตัว และการเกิดความดันลดสูงได้ การเกิดความดันลดสูงๆ นั้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการเพิ่มความดันอากาศเข้ามาในระบบ ปกติเครื่องกรองชีวภาพจะเกิดแรงดันลดประมาณ 1 – 3 นิ้วของน้ำ และใช้พลังงานในการขับเคลื่อนอากาศประมาณ 1.8 – 2.5

กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อหนึ่งพันลูกบาศก์เมตร ความดันลดยังมีความสัมพันธ์กับภาระบรรทุกพื้นผิว (Surface loading) ในการกำจัดสารปนเปื้อนและประเภทของตัวกลาง

2.8.10 การบำบัดก๊าซก่อนเข้าระบบ (Pretreatment of gas stream)

การบำบัดก๊าซก่อนเข้าระบบมีจุดประสงค์เพื่อเป็นการกำจัดฝุ่นละอองที่ปนเปื้อนมากับก๊าซมลพิษ ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการอุดตันของระบบกระจายอากาศ ทั้งยังมีจุดมุ่งหมายในการจัดเตรียมก๊าซมลพิษให้มีสถานะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ อาทิเช่น กระบวนการเพิ่มความชื้นให้กับก๊าซ (Humidification) และการปรับสภาพอุณหภูมิของก๊าซให้เหมาะสมเป็นต้น

2.9 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กรมควบคุมมลพิษ (2544) ได้ว่าจ้างบริษัท โปรเกรสเทคโนโลยีคอนซัลแตนท์ จำกัด เพื่อปฏิบัติงานตามโครงการสำรวจวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมและเศรษฐกิจของประเทศไทย ชื่อโครงการวิจัยเทคโนโลยีการจัดการและควบคุมมลพิษในอากาศ (ระบบเครื่องกรองชีวภาพ) เพื่อกำจัดกลิ่นจากโรงบำบัดน้ำเสียและโรงงานปลาแป้นผลการศึกษาพบว่า โรงบำบัดน้ำเสีย : กลิ่นที่เป็นปัญหาสำคัญคือ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และเมทิลเมอร์แคปแทน (CH_3SH) วัสดุตัวกลางที่เหมาะสมประกอบด้วย ปุ๋ยคอก : กาบมะพร้าว : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย ที่อัตราส่วน 20 : 75 : 5 โดยปริมาตร และมีการเติมปูนขาวเพื่อรักษาสภาพความเป็นกลางของพีเอชของระบบ ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักรวมของตัวกลาง ระบบมีประสิทธิภาพการกำจัดที่ 99 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการกักเก็บที่เหมาะสมประมาณ 30 – 40 วินาที อัตราภาระบรรทุกที่เหมาะสมในการกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์ และเมทิลเมอร์แคปแทน มีค่าเท่ากับ 30 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และ 64 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

โรงงานปลาแป้น : กลิ่นที่เป็นปัญหาสำคัญคือ แอมโมเนีย (NH_3) วัสดุตัวกลางที่เหมาะสมประกอบด้วย ปุ๋ยคอก : กาบมะพร้าว : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย คือ 20 : 75 : 5 โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพการกำจัดที่ 80 เปอร์เซ็นต์ และเวลาในการกักเก็บที่เหมาะสม ประมาณ 50 – 60 วินาที อัตราภาระบรรทุกที่เหมาะสมในการกำจัดแอมโมเนีย มีค่าเท่ากับ 10 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

ชาตรี อินชิต (2546) ศึกษาประสิทธิภาพของการบำบัดสไตรีนโมโนเมอร์ที่ปนเปื้อนในอากาศด้วยเครื่องกรองชีวภาพ โดยเปรียบเทียบผลของประสิทธิภาพการบำบัดของวัสดุตัวกลาง 3 ชนิด คือ ฟางข้าว ปุ๋ยคอก และตะกอนสูบกลับของระบบบำบัดน้ำเสีย โดยที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของ สไตรีนโมโนเมอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 349 ส่วนในล้านส่วน ที่ระยะความสูงของวัสดุตัวกลาง 105 ซม. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดเรียงจากมากไปน้อยคือ ปุ๋ยคอก ตะกอนสูบกลับ และฟางข้าว โดยค่าเฉลี่ยของการบำบัด เท่ากับ 54, 40 และ 25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และที่ความเข้มข้นเฉลี่ยของ สไตรีนโมโนเมอร์เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงที่เท่ากับ 109 ส่วนในล้านส่วน ที่ระยะความสูงของวัสดุตัวกลาง 52 ซม. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดของปุ๋ยคอก และตะกอนสูบกลับ จะมีประสิทธิภาพเท่าๆ กัน คือ 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงกว่าฟางข้าวที่ประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์

สุโรชา พูลสวัสดิ์ (2546) ศึกษาการกำจัดไอของไซลีนโดยเครื่องกรองชีวภาพ โดยใช้แกลบและกาบมะพร้าวเป็นตัวกลางหลัก อัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างตัวกลางหลัก : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย : ปุ๋ยคอก เป็น 75 : 5 : 20 สำหรับตัวกลางหลักเป็นแกลบ ในช่วงความเข้มข้นไซลีน 20 – 200 ส่วนในล้านส่วน เมื่อใช้เวลากักพักมากกว่า 80 วินาที มีประสิทธิภาพการบำบัดระหว่าง 92 – 100 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงความเข้มข้นไซลีน 200 – 1,200 ส่วนในล้านส่วน เมื่อใช้เวลากักพักเท่ากับ 80 วินาที มีประสิทธิภาพการบำบัดระหว่าง 7 – 30 เปอร์เซ็นต์ และสำหรับตัวกลางหลักเป็นกาบมะพร้าว ในช่วงความเข้มข้นไซลีน 20 – 200 ส่วนในล้านส่วน เมื่อใช้เวลากักพักมากกว่า 65 วินาที มีประสิทธิภาพการบำบัดระหว่าง 93 – 100 เปอร์เซ็นต์ และในช่วงความเข้มข้นไซลีน 200 – 1,200 ส่วนในล้านส่วน มีประสิทธิภาพการบำบัดระหว่าง 10 – 25 เปอร์เซ็นต์ ความสามารถในการบำบัดสูงสุดของตัวกลางหลักเป็นแกลบและกาบมะพร้าวเท่ากับ 20.30 และ 28.44 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมงตามลำดับ

เสริมศักดิ์ ทังมั่งมี (2546) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดโทลูอินโดยเครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ โดยโทลูอินป้อนเข้าระบบมีความเข้มข้น 20 ถึง 200 ส่วนในล้านส่วน แปรผันเวลากักพักอยู่ในช่วง 23 ถึง 260 วินาที ระยะเวลาในการเดินระบบ 160 วัน พบว่า ตัวกลางประเภทมวลรวมซึ่งประกอบด้วย ปุ๋ยหมัก : เศษไม้ : ตะกอนจุลินทรีย์ ในอัตราส่วน 70 : 20 : 10 โดยปริมาตร มีประสิทธิภาพในการกำจัดโทลูอินสูงสุดเท่ากับ 97 เปอร์เซ็นต์ และเวลากักพักน้อยที่สุดที่จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดโทลูอินไม่น้อยกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ จะต้องมีความไม่ต่ำกว่า 50 วินาที

เอกชัย เลิศผดุงวิทย์ (2547) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไซลินด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม โดยความเข้มข้นไซลินเข้าระบบอยู่ในช่วง 20 ถึง 2,000 ส่วนในล้านส่วน แปรผันเวลากักพักที่ 36, 60 และ 90 วินาที ระยะเวลาในการเดินระบบ 60 วัน และแปรผันอัตราส่วนของตัวกลางผสมของดินใบก้ามปูและปุ๋ยหมักต่อขยะพลาสติกดังนี้ 80:20 60:40 40:60 และ 20:80 โดยปริมาตร พบว่าอัตราส่วนผสมของดินใบก้ามปูและปุ๋ยหมักต่อขยะพลาสติกที่อัตราส่วน 60:40 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดไซลินสูงสุดเท่ากับ 96 เปอร์เซ็นต์ ส่วนความสามารถในการกำจัดไซลินสูงสุดมีค่าเท่ากับ 70 142 และ 194 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ที่เวลากักพัก 36 60 และ 90 วินาที ตามลำดับ

จิรวัดณ์ กันพยนต์ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดไออะซิโตนโดยเครื่องกรองชีวภาพ โดยความเข้มข้นไออะซิโตนที่ใช้อยู่ในช่วง 200 ถึง 1,000 ส่วนในล้านส่วน แปรผันเวลากักพักระหว่าง 51 ถึง 102 วินาที ระยะเวลาในการเดินระบบ 95 วัน ใช้ตัวกลางหลัก 4 ชนิด ได้แก่ ดินใบก้ามปู ดินสิดา ปุ๋ยหมัก และจี้บ อัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย ตัวกลางหลัก : เศษไม้ : ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชน : ปุ๋ยคอก เท่ากับ 60 : 20 : 10 : 10 โดยปริมาตร พบว่า ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการกำจัดไออะซิโตน โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 92 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลากักพัก 68 วินาที จากงานวิจัยนี้ได้เสนอแนะให้ทำการศึกษาการเปลี่ยนทิศทางการไหลเข้าของอากาศ โดยสลับการไหลขึ้นและไหลลง ซึ่งคาดว่าจะช่วยแก้ไขการอุดตันของจุลินทรีย์ในส่วนล่างของเครื่องกรองชีวภาพ

Bohn (1988) ศึกษาการกำจัดสารมลพิษในอากาศโดยใช้ดิน พบว่า ดินมีประสิทธิภาพการบำบัด 99 เปอร์เซ็นต์ ในการบำบัดสารอินทรีย์ระเหยง่าย และสารประกอบอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย เช่น อัลดีไฮด์ กรดอินทรีย์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ และไฮโดรเจนซัลไฟด์ สำหรับก๊าซที่ย่อยสลายทางชีวภาพไม่ได้ เช่น มีเทน โพรเพน และคาร์บอนมอนอกไซด์ มีประสิทธิภาพการบำบัด 90 เปอร์เซ็นต์ โดยดินยังทำหน้าที่ในการกำจัดกลิ่นในอุตสาหกรรมประเภท สารเคมี เกษษภัณฑ์ และผลิตอาหาร

Leson และ Winer (1991) ศึกษาการกรองชีวภาพในการควบคุมการแพร่กระจายของมลภาวะอากาศประเภทสารอินทรีย์ระเหยง่าย สรุปได้ว่าการกรองชีวภาพเป็นเทคโนโลยีที่ใช้ควบคุมสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพ โดยปล่อยสารปนเปื้อนให้ผ่านวัสดุที่มีการทำงานทางชีวภาพ ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ สำหรับมลพิษธรรมดา ส่วนค่าความดันตกที่เกิดจากตัวกลางเป็นสิ่งที่สำคัญที่ควรระมัดระวัง ดังนั้นในการเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพ ควรเลือกใช้ตัวกลางที่มีขนาดอนุภาคมากกว่า 4 มิลลิเมตร

Lith, Leson และ Michelsen (1997) ศึกษาการประเมินข้อมูลการออกแบบของเครื่องกรองชีวภาพ พบว่า เมื่อเครื่องกรองชีวภาพได้รับความเข้มข้นของสารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายสูง และอัตราการกำจัดสูงเป็นสาเหตุทำให้สูญเสียความชื้นสูง ทำให้ต้องมีการเติมน้ำให้ระบบ ในทางกลับกัน หากเติมน้ำมากเกินไปและเกิดการควบแน่นในระบบเป็นสาเหตุให้มีน้ำมากเกินไปส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำลง

Gostomaski, Sisson และ Cherry (1999) ศึกษาทฤษฎีของน้ำในการกรองทางชีวภาพ เรื่องบทบาทของความชื้นและความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์อธิบายว่า ความชื้นเปลี่ยนแปลงเนื่องจากการไหลเข้า – ออกของก๊าซมลพิษ และความร้อนเกิดขึ้นเนื่องจากการออกซิเดชันของจุลินทรีย์เป็นหลักในการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำ จากการทดลองการกรองทางชีวภาพแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเพิ่มขึ้นนั้นมีความสัมพันธ์กับการออกซิเดชัน โทลูอีน โดยจุลินทรีย์ การเกิดความร้อนเนื่องจากจุลินทรีย์เพียงพอที่ทำให้น้ำระเหยออกจากเครื่องกรองชีวภาพ อาจทำให้การย่อยสลายมลพิษมีประสิทธิภาพต่ำลง

Hartikainen และคณะ (2001) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพที่มีพืชเป็นตัวกลาง ซึ่งใช้ความเข้มข้นของก๊าซทั้ง 2 ชนิดระหว่าง 1,300 – 1,500 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และเวลากักพักมากกว่า 60 วินาที พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เท่ากับ 188 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

Seyed และ Siamak (1999) ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ปุ๋ยหมักจากเห็ดผสมกับเปลือกหอยทาก ที่ระยะเวลาในการเดินระบบ 1,080 ชั่วโมง ภาระบรรทุก 6 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และเวลากักพัก 90 วินาที พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซมากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์ โดยค่าพีเอชที่เกิดในระบบจะอยู่ในช่วง 6 – 7 เนื่องจากเปลือกหอยทากมีคุณสมบัติในการรักษาระดับค่าพีเอชไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นค่า พีเอชจึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก และความชื้นของตัวกลางมีค่าอยู่ในช่วง 65 ถึง 90 เปอร์เซ็นต์

Delhomenie และคณะ (2002) ศึกษาผลกระทบของอนุภาคและปรากฏการณ์ดูดซับในตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก โดยการบำบัดโทลูอีนโดยการกรองทางชีวภาพ พบว่า ขนาดของอนุภาคปุ๋ยหมัก และพื้นที่ผิวจำเพาะ เป็นปัจจัยหลักสำหรับกระบวนการย่อยสลายการย่อยทางชีวภาพ เมื่อลดขนาดอนุภาคซึ่งเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวจำเพาะมีความสามารถในการกำจัดดังนี้ 180 กรัมต่อ

ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (5 มม., 590 ม²/ม.³), 90 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (10 มม., 280 ม²/ม.³) และ 45 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง (20 มม., 120 ม²/ม.³) ตามลำดับ

Elias และ Barona (2002) ศึกษาการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยใช้ปุ๋ยหมักอัดแท่ง ปุ๋ยคอก และขี้เถ้า ที่ระยะเวลาการเดินระบบ 2,500 ชั่วโมง พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ และมีปริมาณธาตุซัลเฟอร์เป็นผลผลิตหลักของซัลเฟอร์ทั้งหมดที่สะสมในตัวกลาง (ประมาณ 87.5 เปอร์เซ็นต์ของซัลเฟอร์) ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ใช้การบำบัดทุกก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่ 10 – 45 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เวลาพักตั้งแต่ 13 – 27 วินาที โดยระหว่างการทดลองไม่มีการเติมสารเคมีสำหรับปรับค่าพีเอช และไม่มีการเติมธาตุอาหาร

Delhomenie และคณะ (2003) ศึกษาการอุดตันของเครื่องกรองชีวภาพในการกำจัดโทลูอิน สารปฏิชีวนะแก้ไขปัญหการอุดตัน โดยแยกเป็นวิธีทางกลศาสตร์ 2 วิธีได้แก่ การกวนผสมตัวกลาง (Bed stirring) และการฉีดล้างด้วยน้ำ (Bed washing) วิธีทางเคมี คือ การควบคุมปริมาณธาตุอาหารได้แก่ ไนโตรเจน

Oyazun และคณะ (2003) ศึกษากระบวนการกรองชีวภาพโดยใช้พีท (Peat) เป็นตัวกลางสำหรับเพาะเลี้ยงแบคทีเรียชนิด *Thiobacillus thioparus* เพื่อใช้ในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ การเพาะเลี้ยงแบคทีเรียโดยใช้พีทสามารถเพาะแบคทีเรียได้ถึง 2.7×10^8 เซลล์ต่อกรัม ซึ่งเครื่องกรองชีวภาพจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ที่ความเข้มข้นก๊าซเท่ากับ 355 ส่วนในล้านส่วน และอัตราไหลเท่ากับ 0.030 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 55 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ขณะที่ระบบมีค่าความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จะเป็นผลทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลงถึง 90 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่อัตราไหล 0.030 และ 0.070 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

Sologar และคณะ (2003) ศึกษาการกรองชีวภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ผสมกับไอเมทานอล เพื่อประเมินผลกระทบของการบำบัดร่วมในระบบกรองชีวภาพที่มีปุ๋ยหมักเป็นตัวกลาง พบว่า เมื่อระบบมีเวลาพัก 16 วินาที ที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 450 ส่วนในล้านส่วน เครื่องกรองชีวภาพจะมีค่าความสามารถในการกำจัดสูงในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 144 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้ทำวิจัย	ปีการศึกษา	สารมลพิษ	ชนิดตัวกลางและอัตราส่วนผสม	ความเข้มข้นของสารมลพิษที่กำจัด (ส่วนในล้านส่วน)	เวลากักพัก (วินาที)	ระยะเวลาในการเดินระบบ (วัน)	ประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัด
เสริมศักดิ์ พังมั่งมี	2546	โทลูอิน	ปุ๋ยหมัก (70%) เศษไม้ (20%) ตะกอนจุลินทรีย์ (10%)	20 – 200	23 - 360	160	97%
เอกชัย เลิศผดุงวิทย์	2547	ไซลีน	ดินใบก้ามปู (50%) ปุ๋ยคอก (10%) ขยะพลาสติก (40%) ตะกอนจุลินทรีย์ (5%)	50 – 2,000	36 - 90	60	96%
จิรวัดน์ กันพยนต์	2548	อะซิโตน	ปุ๋ยหมัก (60%) เศษไม้ (20%) ปุ๋ยคอก (10%) ตะกอนจุลินทรีย์ (10%)	200 – 1,000	51 - 102	95	92%

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาหาประสิทธิภาพการบำบัด เวลาพักที่ที่เหมาะสม และความสามารถในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลาง 4 ประเภท รวมทั้งทำการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด โดยทำการทดลองทั้งหมด 4 ชุดการทดลองดังแสดงตามตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมตัวกลางของแต่ละชุดการทดลอง *

ชุดการทดลอง	(%) โดยปริมาตร						
	ตัวกลางหลัก				วัสดุเสริม		
	ปุยหมัก	ดินขุยไผ่	หินภูเขาไฟ	ถ่านกัมมันต์	ตะกอนจุลินทรีย์	ปุยคอก	กาบมะพร้าว
1	60	-	-	-	10	10	20
2	-	60	-	-	10	10	20
3	-	-	60	-	10	10	20
4	-	-	-	60	10	10	20

*อัตราส่วนผสมระหว่างตัวกลางหลักและวัสดุเสริมที่ใช้ในการวิจัยนี้ใช้ตามงานวิจัยของจิรวัดน์ (2548)

ในการทดลองจะทำการเดินระบบ 8 ชั่วโมงต่อวัน เป็นเวลา 5 วันต่อสัปดาห์ ส่วนความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้ในการทดลองจะแปรผันความเข้มข้นของก๊าซตั้งแต่ 50 ถึง 300 ส่วนในล้านส่วน โดยการวิจัยครั้งนี้จะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองใหญ่ๆ โดยการทดลองที่ 1 - 4 จะเป็นการศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งกำหนดให้อัตราไหลของอากาศแปรผันตั้งแต่ 2.74 ถึง 4.58 ลิตรต่ออนาที และเวลาพักแปรผันตั้งแต่ 45 ถึง 75 วินาที จากนั้นเมื่อทำการทดลองที่ 1 - 4 เสร็จสิ้นจะทำการเลือกชุดการทดลองที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสูงสุดมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดระหว่างการป้อนก๊าซเข้าทางด้านล่าง (Bottom – Load) และป้อนก๊าซเข้าทางด้านบน (Top – Load) โดยใช้ความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เข้าระบบเท่ากับ 300 ส่วนในล้านส่วน อัตราไหลของอากาศแปรผัน

ตั้งแต่ 2.74 ถึง 8.23 ลิตรต่อนาที และเวลากักพักแปรผันตั้งแต่ 25 ถึง 75 วินาที ตามแผนการทดลองที่ 5 ดังแสดงตามตารางที่ 3.2 และ 3.3

ตารางที่ 3.2 แผนการทดลอง 1-4 (การศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์)

แผนการทดลอง	ลำดับ	วันที่	เวลากักพัก (วินาที)	อัตราไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)
Start – up	-	1 - 20	90	2.29	50
1	1.1	21 – 25	75	2.74	50
	1.2	26 – 30	60	3.43	50
	1.3	31 - 35	45	4.58	50
2	2.1	36 – 40	75	2.74	100
	2.2	41 – 45	60	3.43	100
	2.3	46 – 50	45	4.58	100
3	3.1	51 – 55	75	2.74	200
	3.2	56 – 60	60	3.43	200
	3.3	61 - 65	45	4.58	200
4	4.1	66 – 70	75	2.74	300
	4.2	71 – 75	60	3.43	300
	4.3	76 - 80	45	4.58	300

หมายเหตุ แผนการทดลองที่ 1 – 4 ใช้ถึงปฏิกิริยาทั้งหมด 4 ชุด ซึ่งบรรจุตัวกลางหลักต่างชนิดกัน โดยตัวกลางหลักที่ใช้ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์

ตารางที่ 3.3 แผนการทดลอง 5 (การศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด)

แผนการทดลอง	ลำดับ	วันที่	เวลากักพัก (วินาที)	อัตราไหลของก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ความเข้มข้นของก๊าซ (ส่วนในล้านส่วน)
5	5.1	81 – 85	75	2.74	300
	5.2	86 – 90	50	4.12	300
	5.3	91 – 95	25	8.23	300

หมายเหตุ แผนการทดลองที่ 5 ใช้ถึงปฏิกิริยาทั้งหมด 2 ชุด โดยบรรจุตัวกลางหลักที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์สูงสุด จากแผนการทดลองที่ 1 - 4

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในการวิจัยครั้งนี้ สามารถแสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์

พารามิเตอร์	เครื่องมือและอุปกรณ์	รุ่นและขนาด
การป้อนก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์	ปั๊มอากาศ	Tiger / 119.6 ลิตรต่อนาที
ความชื้นของก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์	ไฮโกรมิเตอร์	Barigo / RH 0-100%
ความเข้มข้นของก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์	เครื่องวิเคราะห์สารประกอบอินทรีย์ระเหยง่ายแบบพกพา	Minirae 2000 (PID) / VOCs 0 - 10,000 ส่วนในล้านส่วน
อัตราการไหลของอากาศ	Flow meter	Dwyer / 1 – 10 ลิตรต่อนาที
ความดันลดของตัวกลาง	มาโนมิเตอร์	Dwyer / Series 477 – 3 Max. pressure 29 psi
อุณหภูมิ	เทอร์โมมิเตอร์	Brannan / 10 – 100 °C
ความชื้นของตัวกลาง	เครื่องวัดความชื้นในดิน	E.M. System soil test / Moisture 1 – 100%
ความเป็นกรด-ด่าง ของตัวกลาง	เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่างในดิน	Gardman Soil pH meter / pH 3 - 10

3.3 การทดสอบสมบัติของตัวกลางที่เลือกใช้

3.3.1 วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางหลักในการทดลอง

ปุ๋ยหมัก เป็นวัสดุตัวกลางที่มีจุลินทรีย์หนาแน่นและหลากหลายตลอดจนมีสมบัติการกักเก็บน้ำได้ดีทั้งยังมีพีเอชที่เป็นกลางและมีปริมาณสารอินทรีย์ที่เหมาะสม



รูปที่ 3.1 ปุ๋ยหมัก

ดินขุยไผ่ เป็นวัสดุตัวกลางที่ราคาถูกและอุดมสมบูรณ์ไปด้วยจุลินทรีย์



รูปที่ 3.2 ดินขุยไผ่

หินภูเขาไฟ เป็นวัสดุตัวกลางที่มีโครงสร้างที่แข็งแรงทำให้เกิดการอัดตัวน้อย ซึ่งทำให้ความดันลดน้อยลงไปด้วย และยังมีความพรุน



รูปที่ 3.3 หินภูเขาไฟ

ถ่านกัมมันต์ เป็นวัสดุตัวกลางที่มีขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ มีความคงทนต่อการแตกหักและมีสมบัติในการดูดซับสารมลพิษและน้ำได้สูง



รูปที่ 3.4 ถ่านกัมมันต์

3.3.2 วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุเสริมในการทดลอง

ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสีย ใช้เป็นแหล่งกำเนิดของจุลินทรีย์ โดยในงานวิจัยนี้ใช้ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยา กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นตะกอนที่ผ่านการรีดตะกอนขั้นสุดท้าย



รูปที่ 3.5 ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสีย

ปุ๋ยคอก ใช้เป็นแหล่งธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในระบบ ในกรณีที่ทำการหยุดเดินระบบในวันหยุดสุดสัปดาห์หรือซ่อมแซมระบบ



รูปที่ 3.6 ปุ๋ยคอก

กากมะพร้าว ใช้เป็นตัวเพิ่มความพรุนและป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกลาง ซึ่งกากมะพร้าวที่ใช้มีลักษณะรูปทรงสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ ขนาดประมาณ 1 – 2 ซม.



รูปที่ 3.7 กาบมะพร้าว

3.3.3 วิธีการทดสอบสมบัติวัสดุตัวกลาง

การทดสอบสมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวกลางในการวิจัยครั้งนี้ สามารถสรุปวิธีการการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 วิธีทดสอบลักษณะสมบัติของวัสดุตัวกลางที่เลือกใช้

พารามิเตอร์	ช่วงเวลาในการทดสอบ	มาตรฐาน - วิธีทดสอบ	ตัวอย่างที่ทดสอบ
ความเป็นกรด - ด่าง	ก่อนการทดลอง	pH meter	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ความพรุน	ก่อนการทดลอง	Phase Relationship	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ความชื้น	ก่อนการทดลอง	JIS M 8812 - 1984	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
ความหนาแน่น	ก่อนการทดลอง	JIS 1474 - 1976	ตัวกลางหลักและวัสดุเสริม
การกระจายขนาดอนุภาค	ก่อนการทดลอง	ASTM C136 - 92	ตัวกลางหลัก
ปริมาณไนโตรเจน	ก่อน - หลังการทดลอง	Kjeldahl method	ชุดการทดลองทั้ง 4 ชนิด
ปริมาณฟอสฟอรัส	ก่อน - หลังการทดลอง	Bray II method	ชุดการทดลองทั้ง 4 ชนิด
ปริมาณโพแทสเซียม	ก่อน - หลังการทดลอง	Atomic Absorption Spectrophotometer	ชุดการทดลองทั้ง 4 ชนิด
ปริมาณซัลเฟต	ก่อน - หลังการทดลอง	Turbidimetric method	ชุดการทดลองทั้ง 4 ชนิด
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	ก่อน - หลังการทดลอง	Walkley black method	ชุดการทดลองทั้ง 4 ชนิด
ปริมาณจุลินทรีย์	ก่อน - หลังการทดลอง	Dilution plate count	ชุดการทดลองทั้ง 4 ชนิด

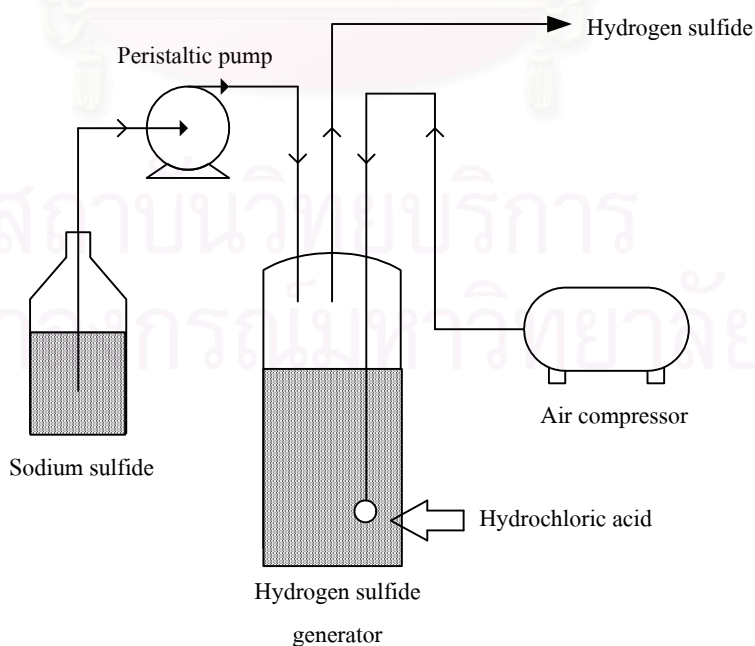
3.4 ชุดการทดลอง

3.4.1 ชุดสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

สารมลพิษที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเตรียมจากการใช้เครื่องปั๊มอากาศเป่าอากาศผ่านขวดแก้วขนาด 2.5 ลิตรที่บรรจุกรดไฮโดรคลอริก โดยภายในขวดแก้วนี้จะมีการเติมสารโซเดียมซัลไฟด์ ลงไปเพื่อทำปฏิกิริยากับกรดไฮโดรคลอริกที่อยู่ในขวด เมื่อทั้งสองสารทำปฏิกิริยากันจะได้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ขึ้นมา ส่วนการปรับความเข้มข้นของก๊าซนั้นสามารถทำได้โดยการเพิ่มหรือลดความเข้มข้นของสารโซเดียมซัลไฟด์และกรดไฮโดรคลอริก ดังแสดงตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ความเข้มข้นของสารโซเดียมซัลไฟด์และกรดไฮโดรคลอริกที่ใช้ในการสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

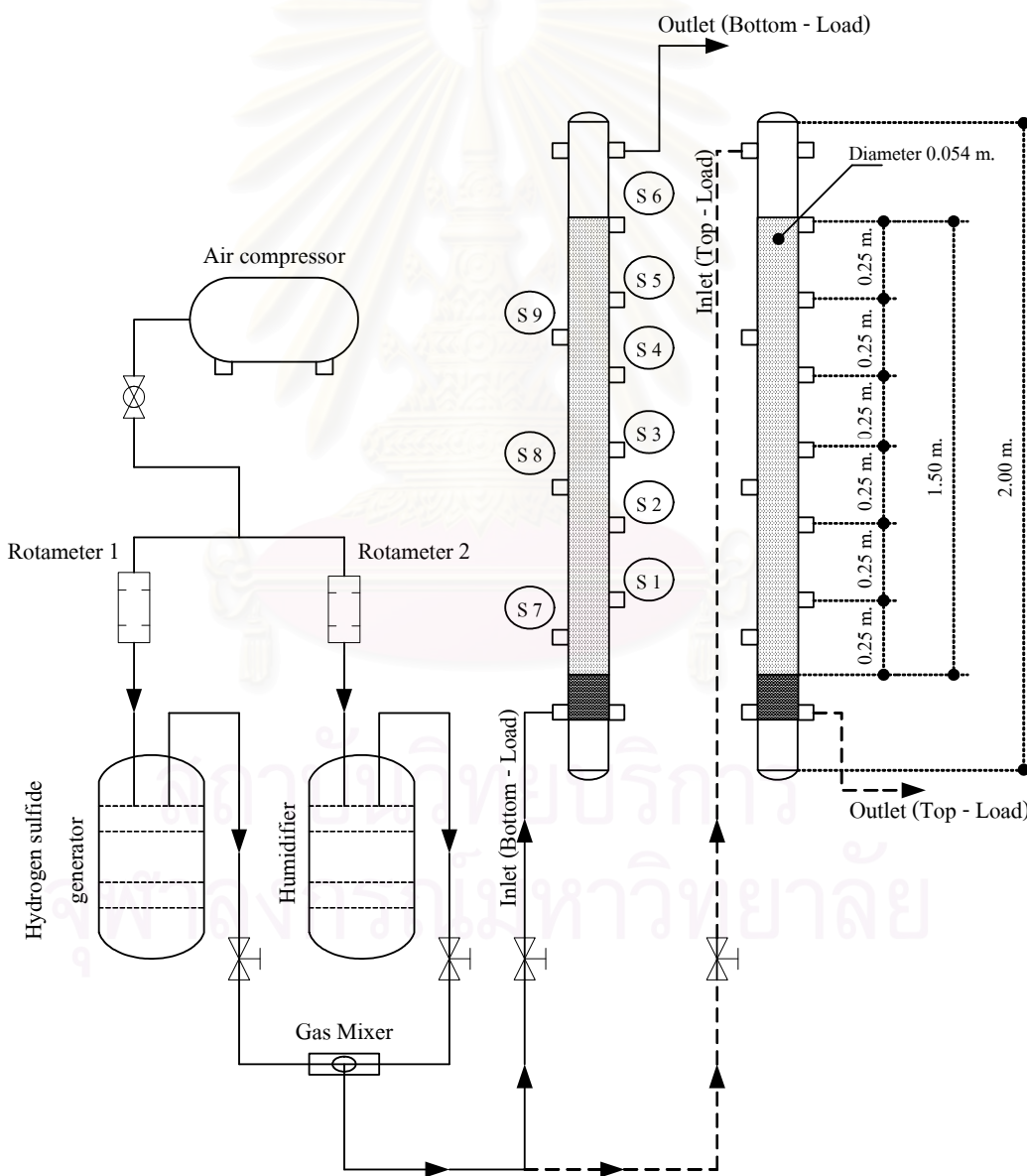
ความเข้มข้นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)	ความเข้มข้นโซเดียมซัลไฟด์ (กรัมต่อลิตร)	ความเข้มข้นกรดไฮโดรคลอริก (นอร์มัล)
50	1.43	0.5
100	2.86	1.0
200	5.72	2.0
300	8.58	3.0



รูปที่ 3.8 แผนภาพชุดสร้างก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ใช้ในการวิจัย

3.4.2 เครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องกรองชีวภาพในการทดลองนี้เป็นระดับห้องปฏิบัติการ (Bench – Scale) ซึ่งทำจากท่อคริลิกใส มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.054 เมตร สูง 2 เมตร โดยชั้นตัวกลางมีความสูง 1.50 เมตร มีจุดเก็บตัวอย่างอากาศ 6 จุดที่ระดับ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25 และ 1.50 เมตร ขนาดช่องจุดเก็บตัวอย่างอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ซม. ส่วนจุดเก็บตัวอย่างความชื้น อุณหภูมิ และค่าความเป็นกรด - ด่างของวัสดุตัวกลางมีจุดเก็บตัวอย่างอากาศ 3 จุดที่ระดับ 0.10, 1.00 และ 1.45 เมตร ขนาดช่องจุดเก็บตัวอย่างมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 ซม. และยังมีส่วนประกอบอื่นดังนี้ ระบบผลิตก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และ ชุดสร้างความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 3.9 แผนภาพเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ในการวิจัย



รูปที่ 3.10 ชุดทดลองเครื่องกรองชีวภาพในการศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์



รูปที่ 3.11 ชุดทดลองเครื่องกรองชีวภาพในการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด



รูปที่ 3.12 ชุดสร้างก๊าซไฮโดรเจนเซลล์ไฟต์

3.5 การเก็บตัวอย่างอากาศและวิเคราะห์ข้อมูล

ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์พารามิเตอร์ มีวิธีดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 การวิเคราะห์พารามิเตอร์

ตัวแปร	จุดเก็บตัวอย่าง	วิธีการวิเคราะห์	ความถี่
1. Gas concentration	$S_1 - S_6$	เครื่องวิเคราะห์สารอินทรีย์ ระเหยง่ายแบบพกพา	ทุกวัน
2. Air flow rate	Inlet	Rotameter	ทุกวัน
3. Humidity	Inlet	Hygrometer	ทุกวัน
4. Moisture	$S_7 - S_9$	Moisture meter	ทุกวัน
4. pH	$S_7 - S_9$	pH meter	ทุก 2 วัน
5. Temperature	$S_7 - S_9$	Thermometer	ทุก 5 วัน
7. Pressure drop	$S_1 - S_6$	Manometer	ทุก 5 วัน
8. Compaction	ตัวกลาง	ตลับเมตร	ทุก 5 วัน

3.6 ตัวชี้ประสิทธิภาพของระบบ

3.6.1 เวลาพัก (Empty Bed Residence Time, EBRT) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไหลอากาศ และปริมาตรของตัวกลางภายในเครื่องกรองชีวภาพ ดังสมการที่ 3.1

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

โดยที่ V_f = ปริมาตรทั้งหมดของตัวกรอง
 Q_{Air} = อัตราไหลของอากาศ

3.6.2 ภาระบรรทุก (Mass Loading) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของสารมลพิษต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ ดังสมการที่ 3.2

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

โดยที่ C_{in} = ความเข้มข้นของมลพิษเข้าระบบ

3.6.3 ประสิทธิภาพการบำบัด (Removal Efficiency) แสดงถึงประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษที่เข้าระบบ ดังสมการที่ 3.3

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

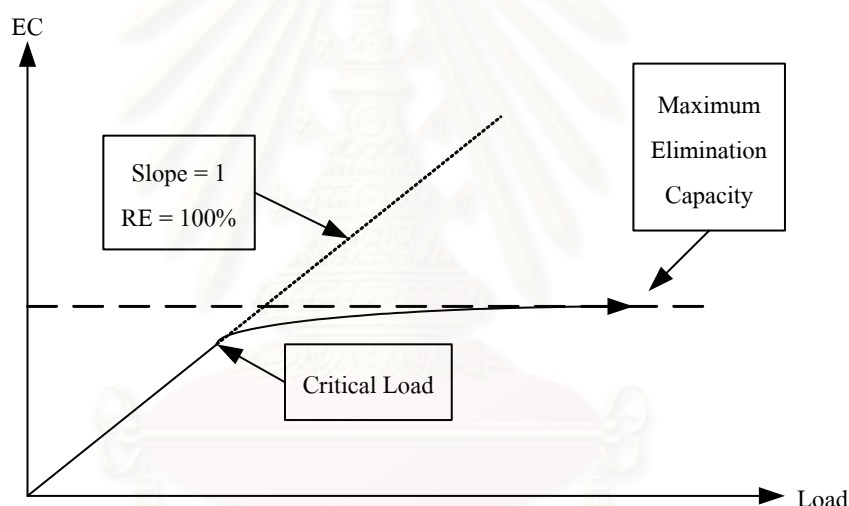
โดยที่ C_{out} = ความเข้มข้นของมลพิษออกจากระบบ

3.6.4 ความสามารถในการกำจัดสารมลพิษ (Elimination Capacity) คือ มวลของสารมลพิษที่ถูกกำจัดไปต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางต่อหน่วยเวลา ดังสมการที่ 3.4

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

3.6.5 ความสามารถในการกำจัดสูงสุด (Maximum Elimination Capacity, EC_{max}) คือ ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดที่เครื่องกรองชีวภาพสามารถกำจัดได้ โดยที่ไม่ขึ้นกับความเข้มข้นของสารมลพิษและระยะเวลาพัก วิธีการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดสามารถทำได้โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความสามารถในการกำจัดและค่าภาระบรรทุกของสารมลพิษ ตามรูปที่ 3.13

3.6.6 ภาระบรรทุกวิกฤติ (Critical Loading) คือ ค่าภาระบรรทุกสารมลพิษที่เข้าระบบเครื่องกรองชีวภาพที่ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ วิธีการวิเคราะห์ค่าภาระบรรทุกวิกฤติสามารถทำได้โดยการสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความสามารถในการกำจัดและค่าภาระบรรทุกของสารมลพิษ ตามรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ความสามารถในการกำจัดสูงสุดและภาระบรรทุกวิกฤติ
ที่มา : Devinny และคณะ (1999)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 สมบัติของตัวกลาง

การดำเนินงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้วัสดุตัวกลางหลักทั้งหมด 4 ชนิด ได้แก่ ปู่หมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ ส่วนวัสดุเสริมตัวกลางหลักที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ ปู่หมัก ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย และกาบมะพร้าว ซึ่งได้เลือกศึกษาสมบัติของวัสดุตัวกลางหลักและวัสดุเสริมตามความเหมาะสมในการนำมาใช้งานกับเครื่องกรองชีวภาพ โดยมีผลการทดลองดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 สมบัติของตัวกลางหลัก

พารามิเตอร์	ปู่หมัก	ดินขุยไผ่	หินภูเขาไฟ	ถ่านกัมมันต์
ขนาดอนุภาค d_{50} (mm)	0.35	2.00	4.35	1.70
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.60	1.15	0.88	0.64
ความพรุน (%)	50.04	62.57	59.24	49.98
ความชื้น (%)	29.97	6.39	0.71	10.20
ความเป็นกรด - ด่าง	8.12	7.82	6.82	9.21

ตารางที่ 4.2 สมบัติของวัสดุเสริม

พารามิเตอร์	ปู่คอก	ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย	กาบมะพร้าว
ขนาดอนุภาค (cm)	-	-	1 – 2
ความหนาแน่น (g/cm^3)	0.18	0.61	0.06
ความพรุน (%)	77.26	26.43	83.56
ความชื้น (%)	5.82	82.29	8.42
ความเป็นกรด - ด่าง	8.15	7.64	7.07

4.1.1 ขนาดอนุภาค (Particle size)

ขนาดอนุภาคเป็นสมบัติทางกายภาพของตัวกลางที่สำคัญ ขนาดอนุภาคมีความสัมพันธ์กับพื้นที่ผิวสัมผัสของตัวกลาง กล่าวคือตัวกลางที่มีอนุภาคขนาดเล็ก จะมีพื้นที่ผิวสัมผัสสูง แต่จะขัดขวางการไหลผ่านของอากาศซึ่งเป็นการสูญเสียความดัน โดยงานวิจัยของ

Leson และ Winer (1999) กล่าวว่า ขนาดอนุภาคของวัสดุที่เหมาะสมควรใหญ่กว่า 4 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียความดันต่ำ

ผลการวิเคราะห์ขนาดอนุภาคโดยเฉลี่ย (d_{50}) แสดงในภาคผนวก ค.5 – ค.8 ของตัวกลางประเภท ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ พบว่ามีขนาด 0.35, 2.00, 4.35 และ 1.70 มิลลิเมตร ตามลำดับ โดยที่ขนาดอนุภาคเฉลี่ยของตัวกลาง ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ และถ่านกัมมันต์ มีขนาดเล็กกว่างานวิจัยก่อนหน้าที่แนะนำไว้ที่ 4 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้มีโอกาสที่ทำให้สูญเสียค่าความดันลด ส่วนตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟมีขนาดอนุภาคอยู่ในเกณฑ์ที่งานวิจัยแนะนำไว้ จึงทำให้มีโอกาสสูญเสียค่าความดันน้อย ในส่วนของวัสดุเสริมประเภทกาบมะพร้าวเลือกใช้ขนาด 1 – 2 เซนติเมตร ทั้งนี้เพื่อช่วยป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกลางผสม

4.1.2 ความหนาแน่น (Density)

ความหนาแน่นของวัสดุตัวกลางเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาออกแบบโครงสร้างรองรับตัวกลาง จากการทดสอบคุณสมบัติพบว่า ตัวกลางหลัก 3 ประเภทได้แก่ ปุ๋ยหมัก หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีความหนาแน่นใกล้เคียงกัน ประมาณ 0.6 – 0.9 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ส่วนตัวกลางประเภท ดินขุยไผ่ พบว่ามีความหนาแน่นสูงที่สุด ประมาณ 1.15 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นในการก่อสร้างโครงสร้างรองรับตัวกลางดินขุยไผ่ จึงต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงกว่าตัวกลางหลัก 3 ประเภทที่กล่าวมาข้างต้น ในส่วนของวัสดุเสริมประเภท กาบมะพร้าว และปุ๋ยคอก พบว่ามีความหนาแน่นเพียง 0.06 และ 0.18 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นผลดีกับระบบทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการกดทับของตัวกลาง ดังนั้นจึงทำให้อายุการใช้งานของตัวกลางนานขึ้น

4.1.3 ความพรุน (Porosity)

ความพรุนเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของอากาศ ซึ่งวัสดุที่มีความพรุนสูง ข้อดีคือ ทำให้มีการกระจายตัวของอากาศได้ดี ทำให้มลพิษเกิดการสัมผัสกับฟิล์มชีวภาพได้สูงขึ้น และทำให้เกิดการสูญเสียความดันน้อย ข้อเสียคือ อาจมีการทรุดตัวในภายหลัง งานวิจัยที่ผ่านมาแนะนำให้เลือกใช้ตัวกลางที่มีความพรุนประมาณ 40 – 80 เปอร์เซ็นต์ (Deviny และคณะ, 1999) ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวกลางประเภท ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และ ถ่านกัมมันต์ มีความพรุนเท่ากับ 50.04, 62.57, 59.24 และ 49.98 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนวัสดุเสริมประเภท กาบมะพร้าวและปุ๋ยคอก เป็นวัสดุที่มีความพรุนสูงถึง 83.56 และ 77.26 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นทั้งตัวกลางหลักและวัสดุเสริมจึงจัดได้ว่าเป็นวัสดุที่มีความพรุนที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกลาง

4.1.4 ความชื้น (Moisture content)

ความชื้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดในระบบกรองชีวภาพ เนื่องจากน้ำจะเป็นตัวดูดซับมลพิษและธาตุอาหารไว้สำหรับจุลินทรีย์ในการดำรงชีวิต โดยความชื้นตัวกลางที่เหมาะสมจะมีค่าประมาณ 40 – 80 เปอร์เซ็นต์ (Devinny และคณะ, 1999) ผลการวิเคราะห์พบว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีความชื้น 29.97, 6.39, 0.71 และ 10.20 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งยังมีความชื้นต่ำ ดังนั้นก่อนทำการเดินระบบจึงต้องทำการเติมน้ำให้มีความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์

4.1.5 ความเป็นกรด – ด่าง (pH)

ความเป็นกรด – ด่าง มีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในระบบกรองชีวภาพ เพราะจุลินทรีย์จะเจริญได้ดีในสภาพเป็นกลาง โดยมีค่าความเป็นกรด – ด่างประมาณ 6 – 8 (Devinny และคณะ) ผลการวิเคราะห์ตัวกลางทั้ง 4 ประเภท พบว่า ตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ และหินภูเขาไฟ มีค่าความเป็นกรด – ด่างที่เหมาะสมที่นำมาใช้งาน ส่วนตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์มีค่าความเป็นกรด – ด่างสูง ดังนั้นอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ไม่ดี

4.1.6 อินทรีย์วัตถุ (Organic matter)

ปริมาณอินทรีย์วัตถุในตัวกลางมีความจำเป็นสำหรับระบบที่ทำงานไม่ต่อเนื่อง หรือหยุดในบางช่วงเวลา ปกติจุลินทรีย์จะใช้สารมลพิษเป็นแหล่งพลังงานในการเจริญเติบโต หากระบบหยุดการทำงานในบางช่วงเวลาจุลินทรีย์จะใช้สารอินทรีย์จากตัวกลางแทน

Leson และ Winer (1991) ได้กล่าวว่าตัวกลางควรมีปริมาณอินทรีย์วัตถุมากกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบ พบว่า ชุดทดลองที่ประกอบด้วยตัวกลางหลักและวัสดุเสริมทั้ง 4 ชุด มีปริมาณอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง 4 – 7 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ที่แนะนำไว้ค่อนข้างมาก ดังนั้นชุดการทดลองทั้ง 4 ชุดอาจเป็นข้อด้อยสำหรับระบบที่ทำงานไม่ต่อเนื่อง โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุแสดงในตารางที่ 4.3

4.1.7 ปริมาณธาตุอาหาร (Nutrients)

การดำรงชีพของจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้ธาตุอาหารประเภท ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ประมาณ 0.4, 0.15 และ 0.15 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (Devinny และคณะ, 1999) ผลการวิเคราะห์ ชุดการทดลองทั้ง 4 ชุด พบว่า มีธาตุอาหารเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ โดยการวิเคราะห์ปริมาณ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ครั้งนี้

ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ปริมาณธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุของตัวกลางผสม

ชุดทดลอง	ประเภทตัวกลาง	ธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุ			
		ไนโตรเจน (%)	ฟอสฟอรัส (%)	โพแทสเซียม (%)	อินทรีย์วัตถุ (%)
1	ปุ๋ยหมักและวัสดุเสริม	0.98	0.65	1.92	6.40
2	ดินขุยไผ่และวัสดุเสริม	0.56	0.41	0.72	6.53
3	หินภูเขาไฟและวัสดุเสริม	0.39	0.24	0.74	4.01
4	ถ่านกัมมันต์และวัสดุเสริม	0.42	0.33	0.58	4.21
ธาตุอาหารและอินทรีย์วัตถุที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซมลพิษ (Devanny และคณะ, 1999)		>0.40	>0.15	>0.15	>55

4.1.8 สรุปสมบัติตัวกลาง

สมบัติทางกายภาพและเคมีของตัวกลางแต่ละชนิดที่เลือกใช้โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แต่อาจมีสมบัติบางประการที่ต้องทำการปรับปรุง อาทิเช่น การเติมน้ำเพื่อควบคุมระดับความชื้นของตัวกลางให้ได้ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

4.2 การศึกษาตัวกลางและตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

4.2.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด

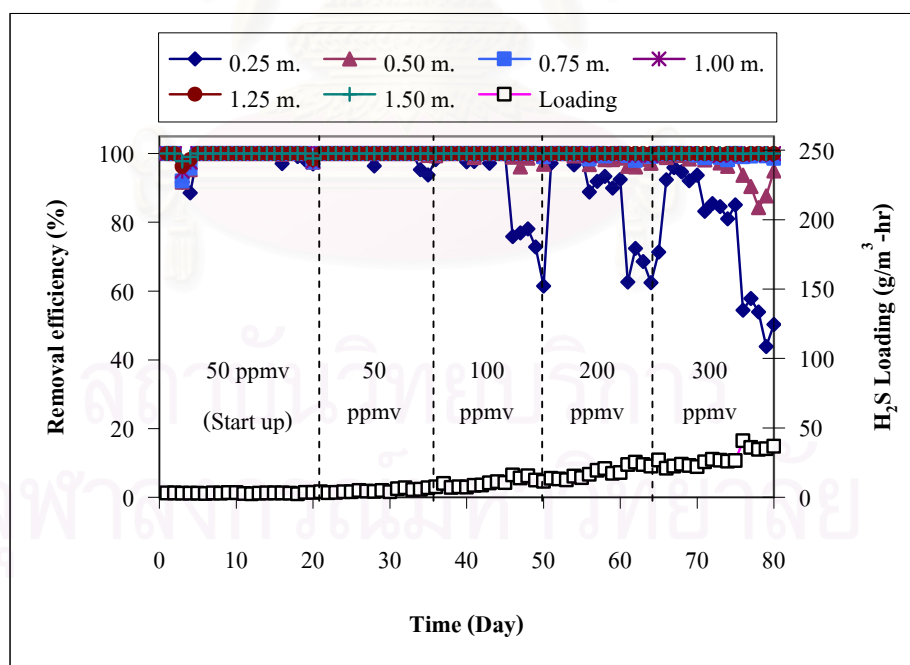
การศึกษาตัวกลางและตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำการแปรผันความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่ 50 – 300 ส่วนในล้านส่วน และอัตราไหลอากาศที่ 2.74, 3.43 และ 4.58 ลิตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับระยะเวลาพัก 75, 60 และ 45 วินาทีตามลำดับ

4.2.1.1 อิทธิพลของภาระบรรทุกที่ผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

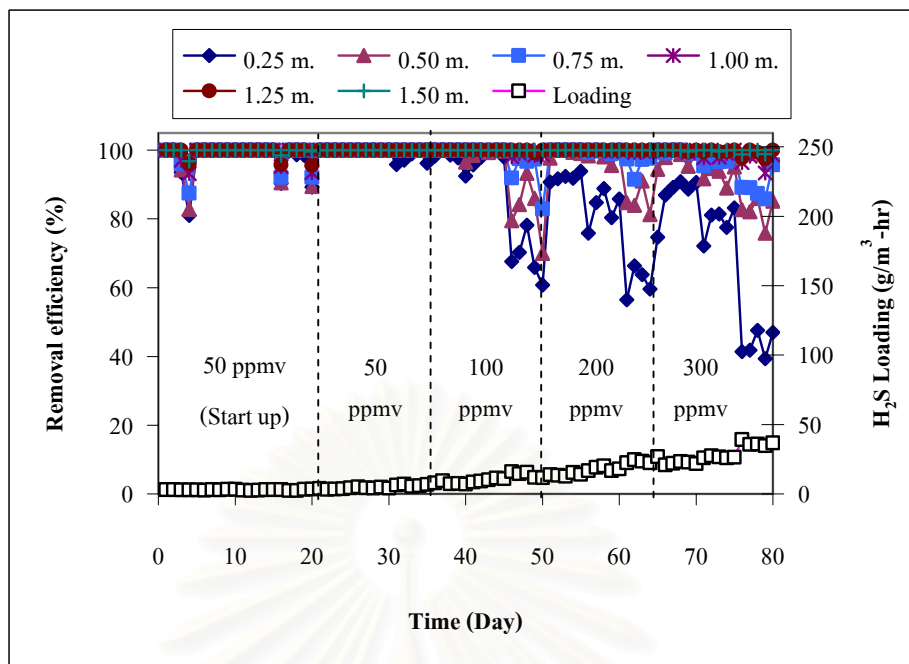
รูปที่ 4.1 – 4.4 แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตัวกลางทั้ง 4 ประเภทที่ระดับความสูงต่างๆ ซึ่งแปรผันภาระบรรทุกระหว่าง 3 – 34 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงเมื่อค่าภาระบรรทุกเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการบำบัดจะมากหรือน้อยนั้นจะขึ้นอยู่กับระดับความสูงของตัวกลาง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท

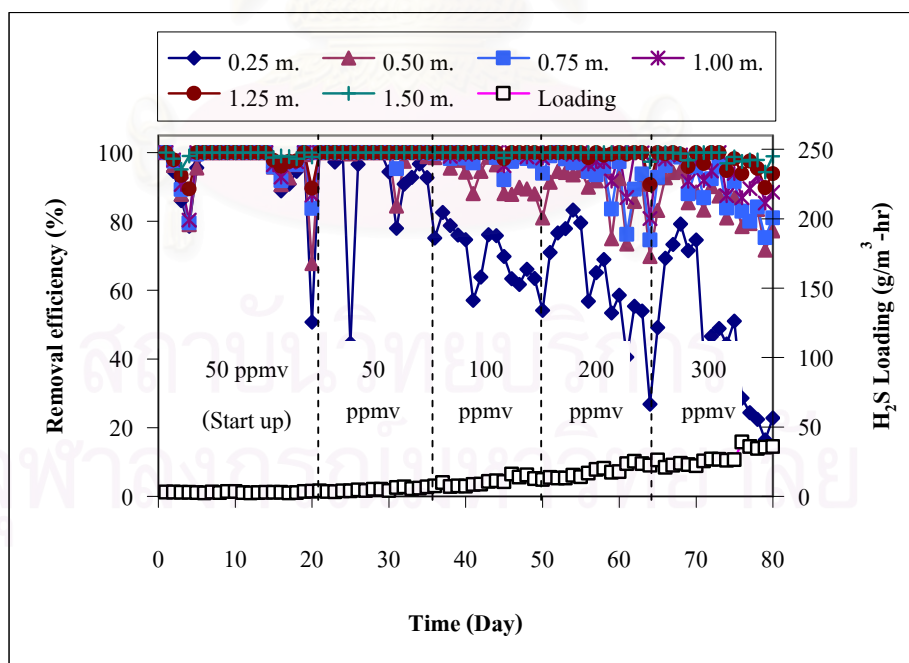
ความสูงของชั้นตัวกลาง (เมตร)	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)			
	ปุยหมัก	ดินขุยไผ่	หินภูเขาไฟ	ถ่านกัมมันต์
0.25	50.3 – 100	41.4 – 100	16.5 – 100	36.4 – 100
0.50	84.3 – 100	70.0 – 100	67.8 – 100	89.4 – 100
0.75	92.1 – 100	82.9 – 100	74.6 – 100	92.8 – 100
1.00	94.8 – 100	93.2 – 100	80.4 – 100	93.6 – 100
1.25	96.2 – 100	95.6 – 100	89.4 – 100	95.3 – 100
1.50	97.8 – 100	96.9 - 100	94.3 - 100	96.7 – 100
เวลากักพัก (วินาที)	45 - 75			
ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)	50 - 300			
ค่าการระบรทุก (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	3 – 34			



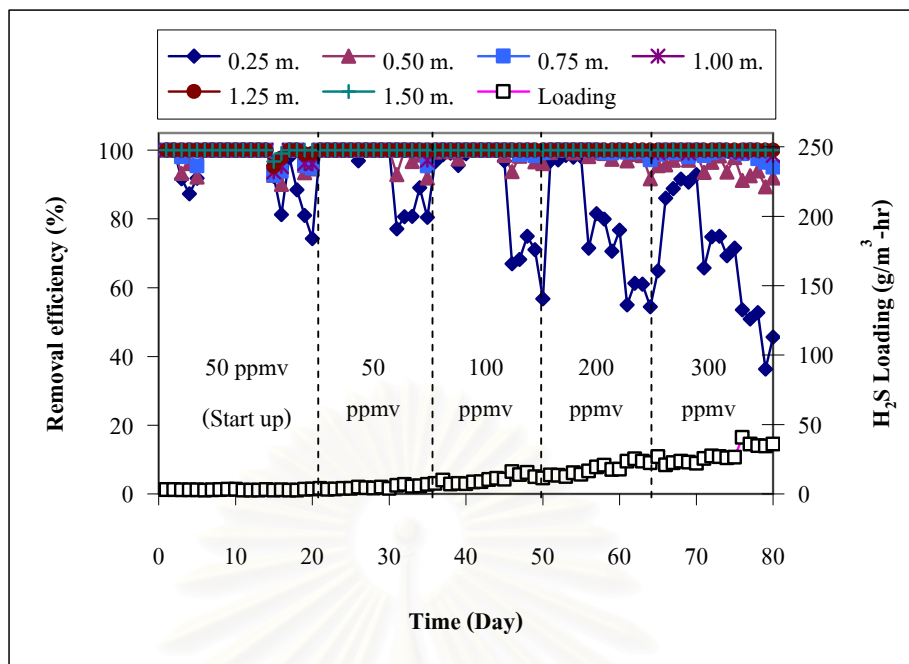
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าการระบรทุกของตัวกลางประเภทปุยหมัก



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาระบรรทุกของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาระบรรทุกของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ



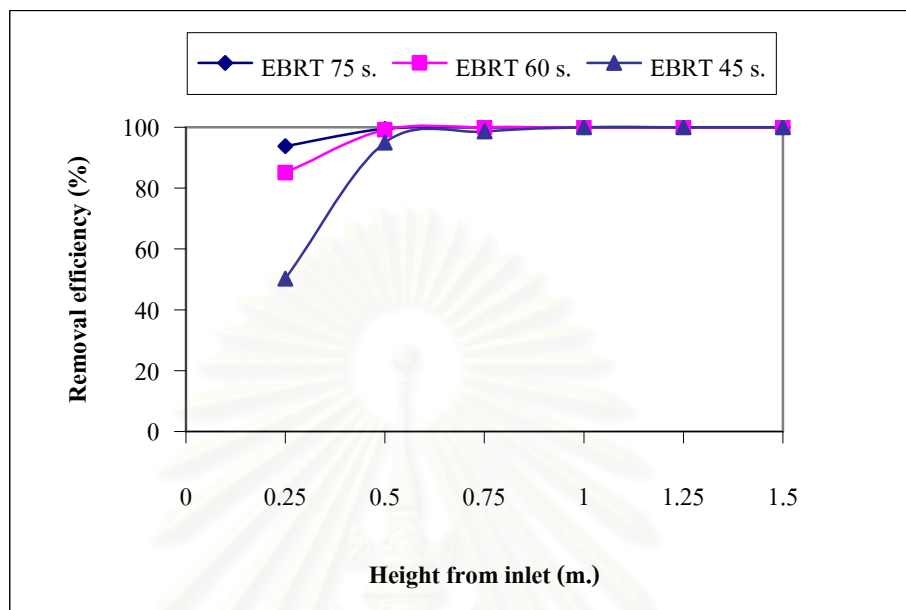
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาระบรรทุกของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์

4.2.1.2 อิทธิพลของความสูงตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

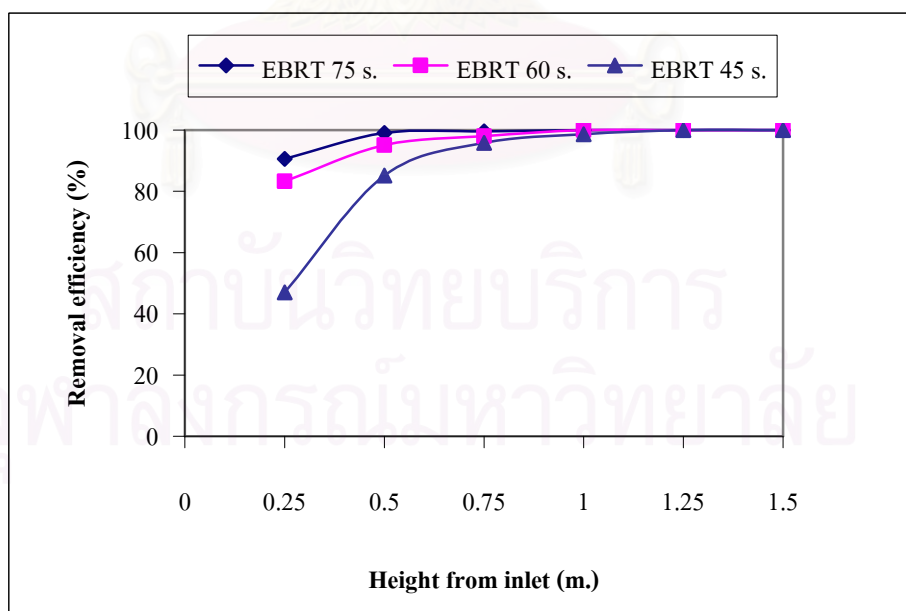
ความสูงของชั้นตัวกลางเป็นปัจจัยที่สำคัญในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพ เนื่องจากความสูงของชั้นตัวกลางจะเป็นตัวกำหนดประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ ทั้งยังมีผลต่อการเพิ่มการทรุดตัวของตัวกลางและความดันตกภายในระบบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความสูงของชั้นตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

รูปที่ 4.5 – 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดเวลากักพัก และความสูงของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท ที่ความเข้มข้นก๊าซก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วน พบว่า เมื่อเวลากักพักมีค่าลดลงจะเป็นผลให้ประสิทธิภาพในการบำบัดที่ระดับความสูงต่างๆ มีค่าลดลงตามไปด้วย เช่น ตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ ที่เวลากักพักของระบบ 75 วินาที จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดที่ความสูง 0.50, 1.00 และ 1.50 เมตร มีค่าเท่ากับ 88.5, 98.2 และ 100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการบำบัดที่เวลากักพัก 45 วินาทีในระดับความสูงเช่นเดียวกัน พบว่า มีค่าเท่ากับ 77.3, 88.4 และ 99.0 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า เวลากักพักและความสูงของชั้นตัวกลาง มีผลต่อประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบ แต่อย่างไรก็ตามการเลือกเวลากักพักและความสูงของชั้นตัวกลางที่เหมาะสมจะต้องพิจารณาถึงประเภทของตัวกลาง เช่น ในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ความเข้มข้น 300 ส่วนในล้านส่วน

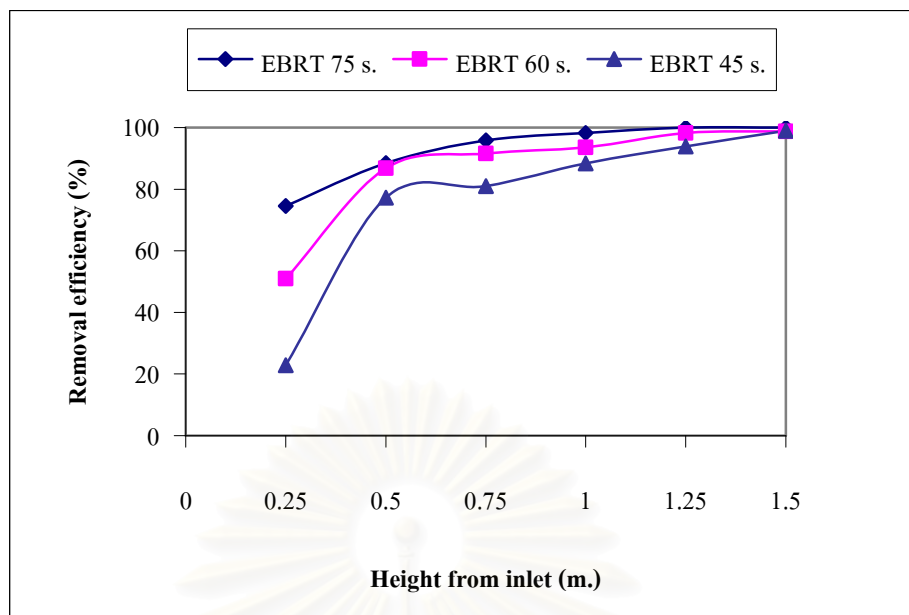
ให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลากักพักของระบบ 45 วินาที พบว่า ปุ๋ยหมักจะใช้ ความสูงตัวกลางเพียง 1.00 เมตรในการบำบัด ขณะที่ดินขุยไผ่ต้องใช้ความสูงตัวกลางถึง 1.25 เมตร



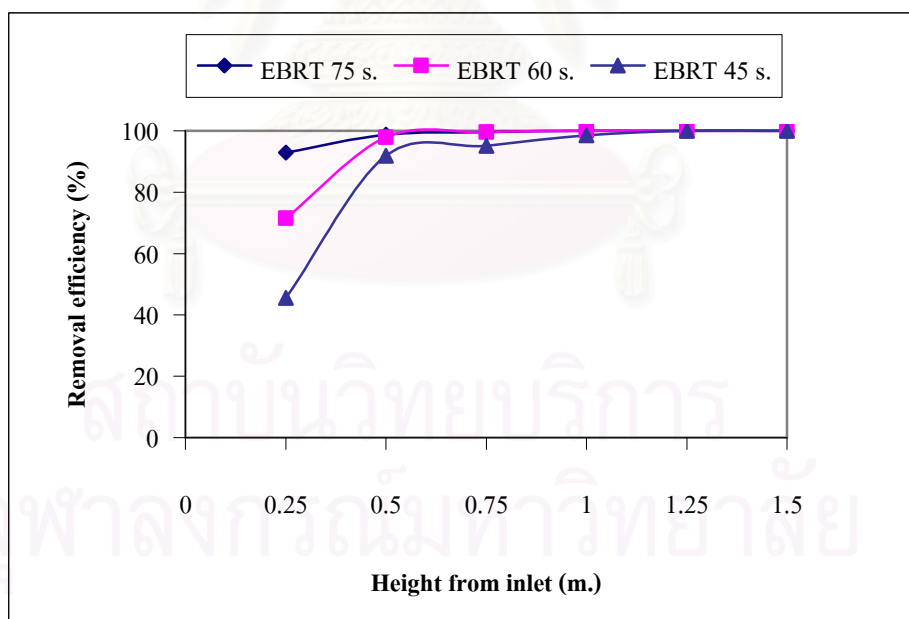
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักพักและประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางประเภท ปุ๋ยหมักที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วนที่ระดับความสูงต่างๆ



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักพักและประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางประเภท ดินขุยไผ่ที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วนที่ระดับความสูงต่างๆ

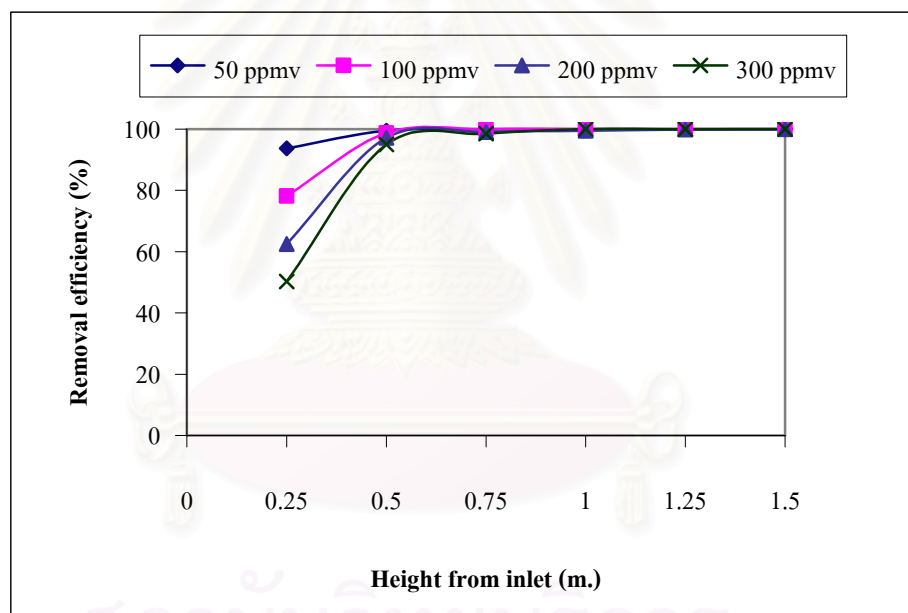


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักพักและประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วนที่ระดับความสูงต่างๆ

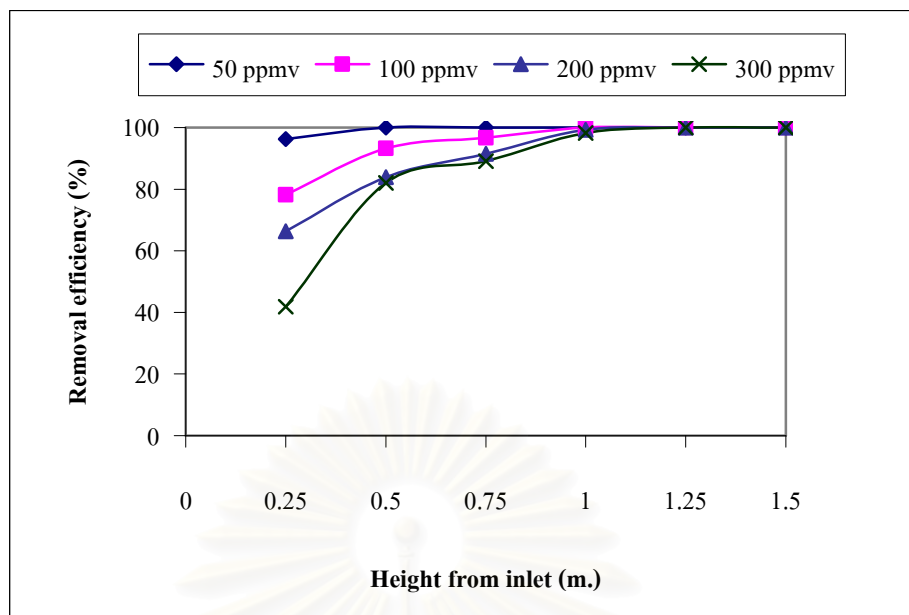


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักพักและประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วนที่ระดับความสูงต่างๆ

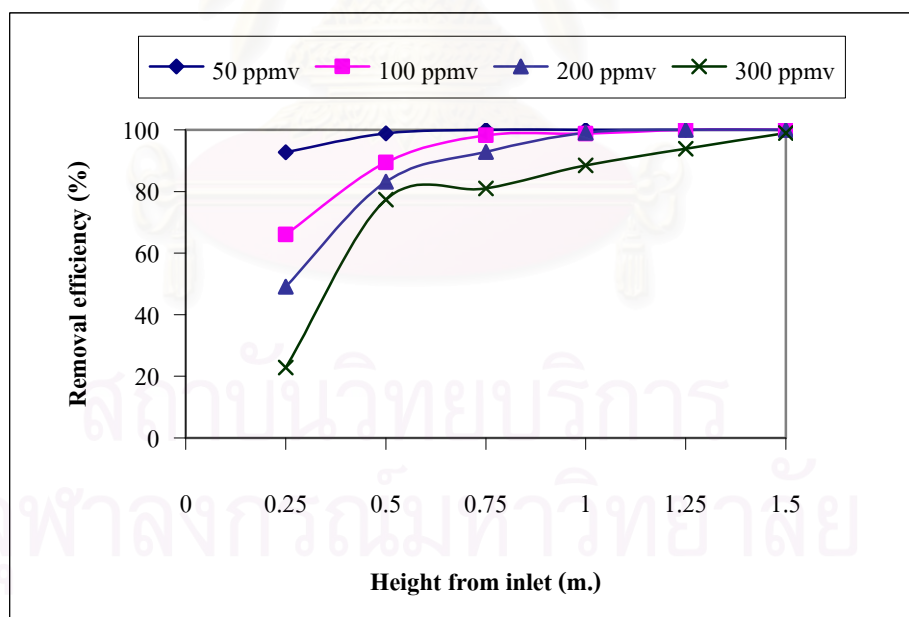
รูปที่ 4.9 – 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และความสูงของตัวกลางทั้ง 4 ประเภทที่เวลากักพักเท่ากับ 45 วินาที พบว่า เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จาก 50 ถึง 300 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระดับความสูงตัวกลางเท่ากันจะมีค่าลดลง ในขณะที่เดียวกันหากต้องการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ความเข้มข้นต่ำกว่า 300 ส่วนในล้านส่วนที่เวลากักพัก 45 วินาที ให้ได้ ประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์ ตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะใช้ความสูงตัวกลางเพียง 1.00 เมตรในการบำบัด ซึ่งน้อยกว่าตัวกลางประเภท ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ ที่ต้องใช้ ความสูงของตัวกลางมากกว่า 1.25 เมตร จึงอาจกล่าวได้ว่าความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ความสูงของตัวกลาง และประเภทของตัวกลาง จะมีส่วนสำคัญต่อต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ



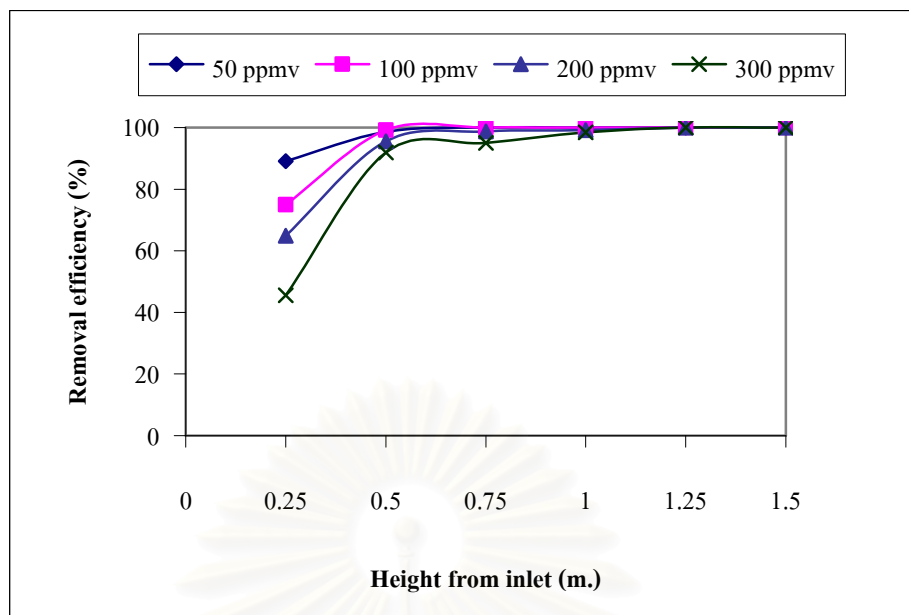
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักที่เวลากักพัก 45 วินาทีที่ระดับความสูงต่างๆ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ที่เวลากักพัก 45 วินาทีที่ระดับความสูงต่างๆ



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟที่เวลากักพัก 45 วินาทีที่ระดับความสูงต่างๆ



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ที่เวลากักพัก 45 วินาทีที่ระดับความสูงต่างๆ

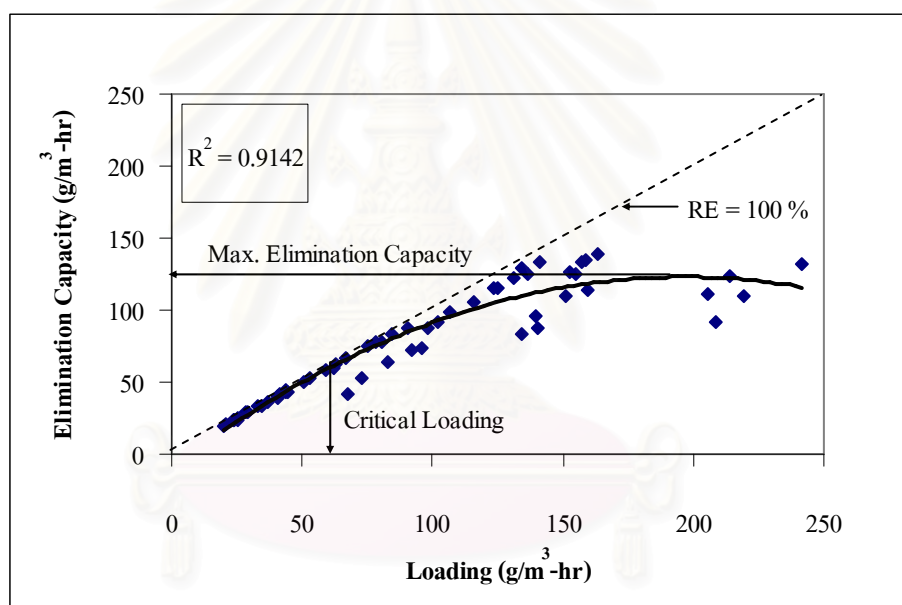
4.2.2 ความสามารถในการกำจัดสูงสุดและภาระบรรทุกวิกฤติ

ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุด คือ ค่าภาระบรรทุกที่เครื่องกรองชีวภาพมีความสามารถในการกำจัดมลพิษสูงสุด โดยจะไม่สามารถกำจัดเพิ่มได้อีก เนื่องจากเกินขีดจำกัดการย่อยสลายสารมลพิษของจุลินทรีย์ ส่วนค่าภาระบรรทุกวิกฤติ คือ ค่าภาระบรรทุกของระบบ ณ จุดแรกของกราฟที่ประสิทธิภาพการบำบัดเริ่มต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติเป็นข้อมูลเบื้องต้นในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพ

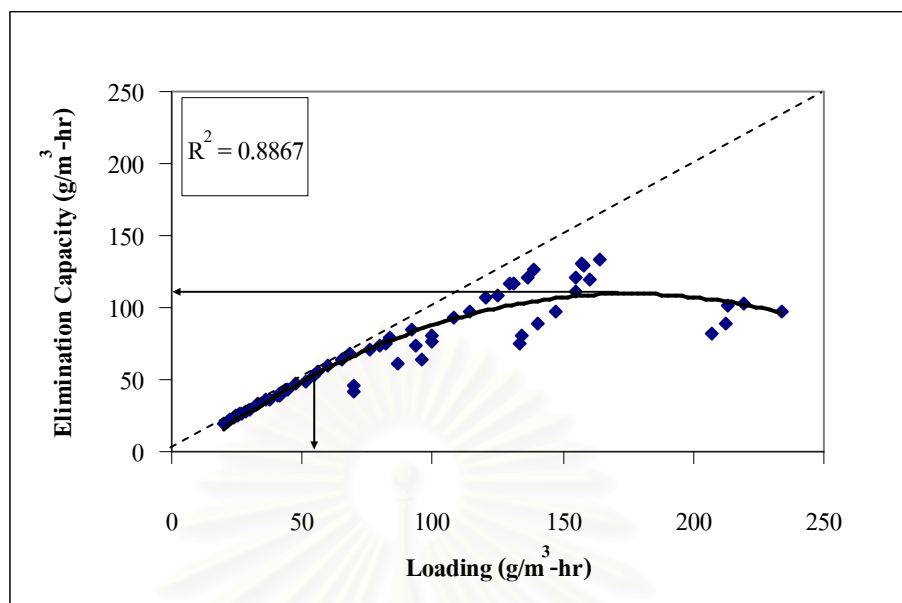
รูปที่ 4.13 – 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการกำจัด โดยกราฟจากความสัมพันธ์นี้สามารถหาค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติได้ ซึ่งตัวกลางแต่ละประเภทจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 (การหาค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาที่ความสูงชั้นตัวกลาง 0.25 เมตร เนื่องจากที่ระดับความสูงดังกล่าวระบบจะมีค่าภาระบรรทุกสูงเพียงพอในการหาค่าของทั้งสองพารามิเตอร์)

ตารางที่ 4.5 ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท

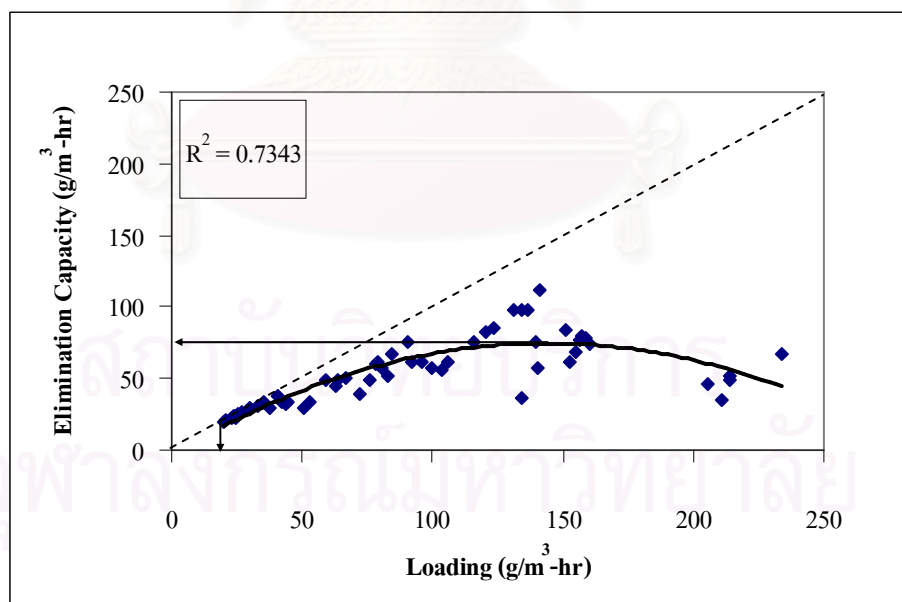
ประเภทตัวกลาง	ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุด (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	ค่าภาระบรรทุกวิกฤติ (กรัม/ลบ.ม-ชม.)
ปุยหมัก	122	64
ดินขุยไผ่	111	58
หินภูเขาไฟ	72	22
ถ่านกัมมันต์	108	44



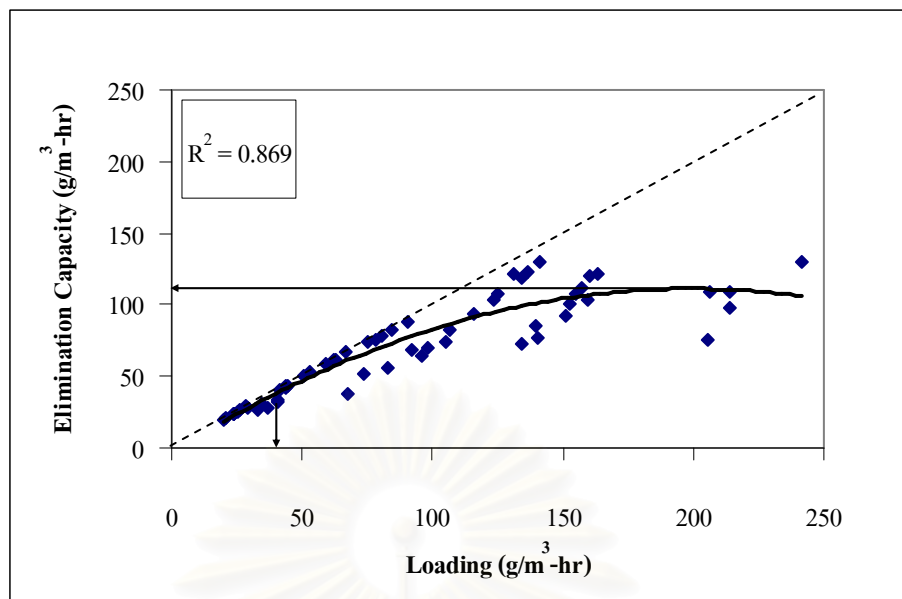
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการกำจัดของ
ตัวกลางประเภทปุยหมัก



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการกำจัดของ
ตัวกลางประเภทดินขุยไผ่



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการกำจัดของ
ตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ



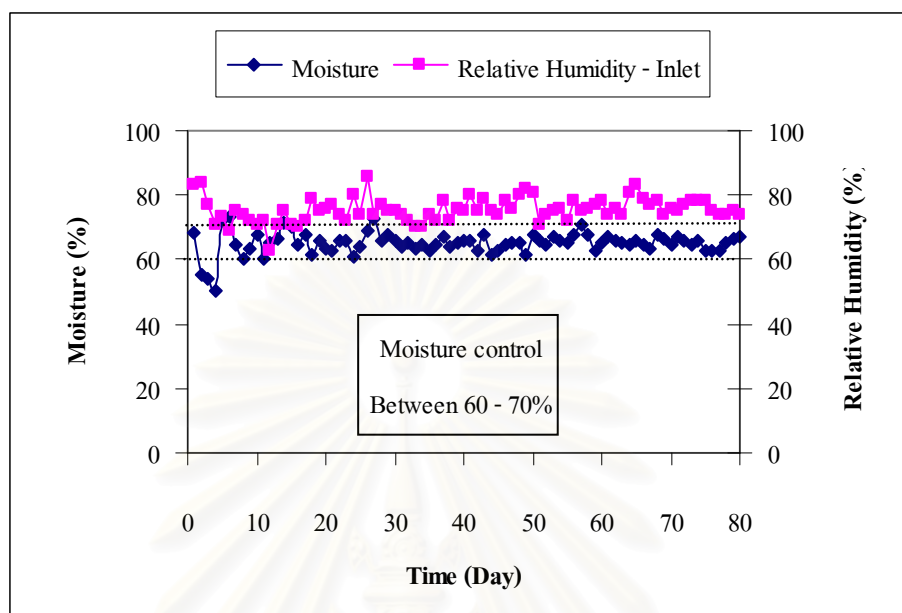
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระบรรทุกและค่าความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์

4.2.3 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นตัวกลาง

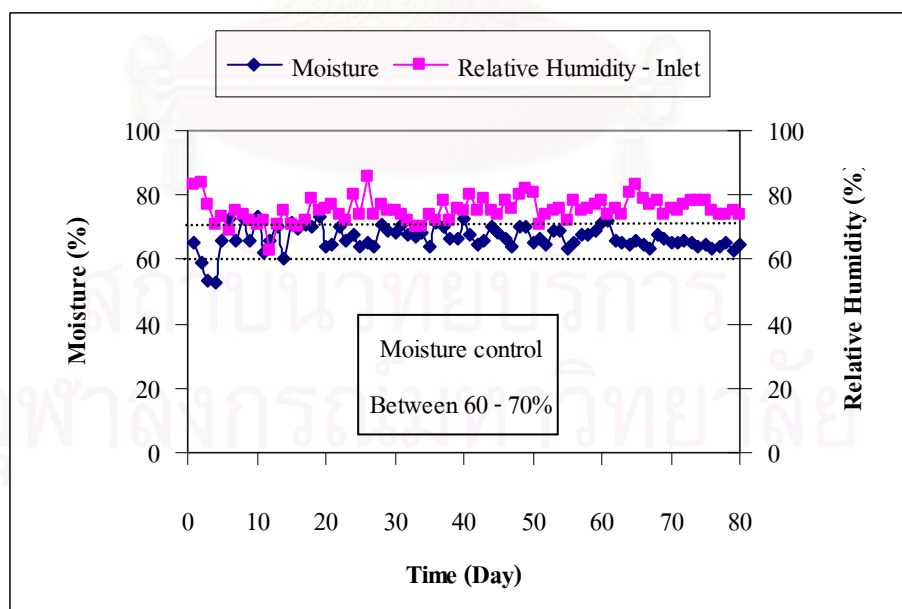
ความชื้นตัวกลางเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ เนื่องจากจุลินทรีย์จะทำงานและดำรงชีพได้ดีในสถานะน้ำ โดยระดับความชื้นตัวกลางที่เหมาะสมจะมีค่าประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ (Deviny และคณะ, 1999) สำหรับวิธีการควบคุมระดับความชื้นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพสามารถทำได้ 2 วิธี คือ การควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศเข้าระบบให้สูงกว่า 95 เปอร์เซ็นต์ (Schnelle และ Brown, 2002) และการเติมน้ำที่ผิวหน้าของชั้นตัวกลาง ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ได้ออกแบบชุดสร้างความชื้นสัมพัทธ์อากาศโดยการพ่นอากาศลงน้ำทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์อากาศประมาณ 70 – 80 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามต้องทำการเติมน้ำให้ระบบเนื่องจากความชื้นตัวกลางลดลงอยู่นอกช่วงที่เหมาะสม

รูปที่ 4.17 – 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ และความชื้นตัวกลาง ในช่วงระยะเวลาเดินระบบของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท โดยในการทดลองจะทำการรักษา ระดับความชื้นตัวกลางอยู่ที่ประมาณ 60 – 70 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขณะเดินระบบพบว่าตัวกลางประเภท ทุยหมัก ดินขุยไผ่ และหินภูเขาไฟ สามารถควบคุมระดับความชื้นของตัวกลางให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมได้ง่ายกว่าตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ เนื่องจากถ่านกัมมันต์มีสมบัติในการดูดซับได้ดี ดังนั้นจึงทำให้ยากต่อการควบคุมระดับความชื้นของตัวกลาง จากปัญหาดังกล่าวจึงเป็นผลให้ระดับความชื้นของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์มีค่าสูงกว่าระดับความชื้นที่เหมาะสม และอาจเป็นสาเหตุ

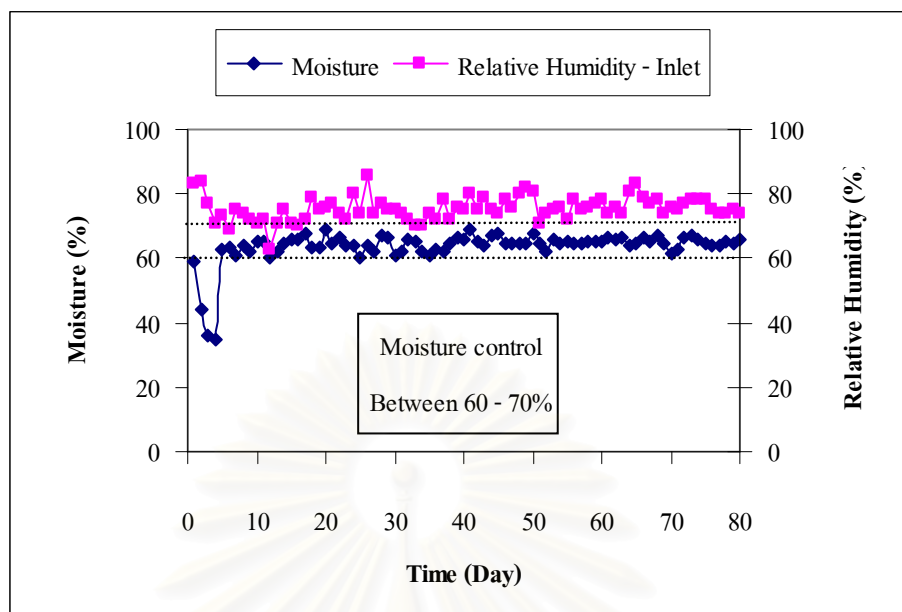
ทำให้ตัวกลางเกิดกลิ่นเหม็นและเกิดการทรุดตัวของชั้นตัวกลาง ดังนั้นในการใช้ถ่านกัมมันต์เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพจึงควรระมัดระวังเรื่องการควบคุมความชื้นตัวกลาง



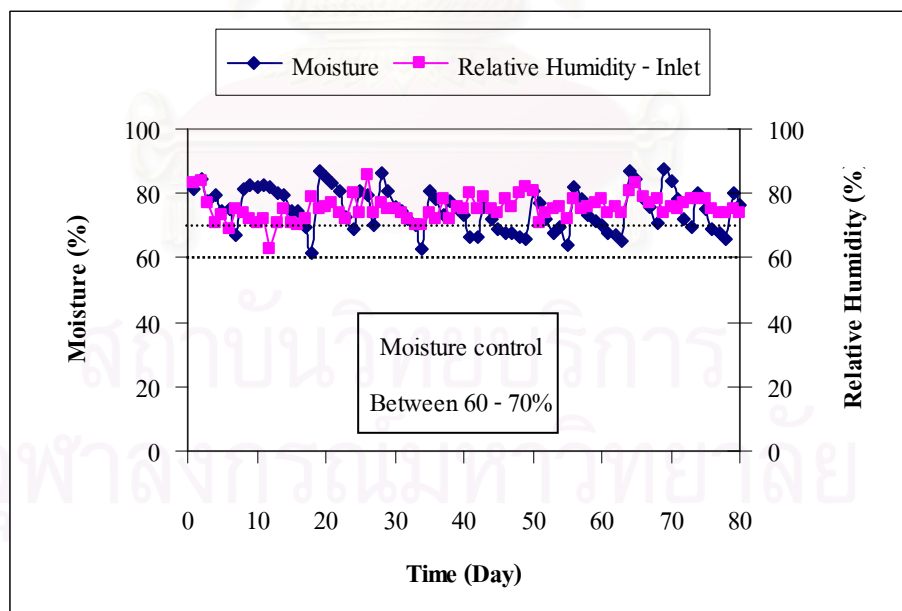
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศและความชื้นของตัวกลางประเภทปุยหมักในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบ



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศและความชื้นของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบ



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศและความชื้นของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบ



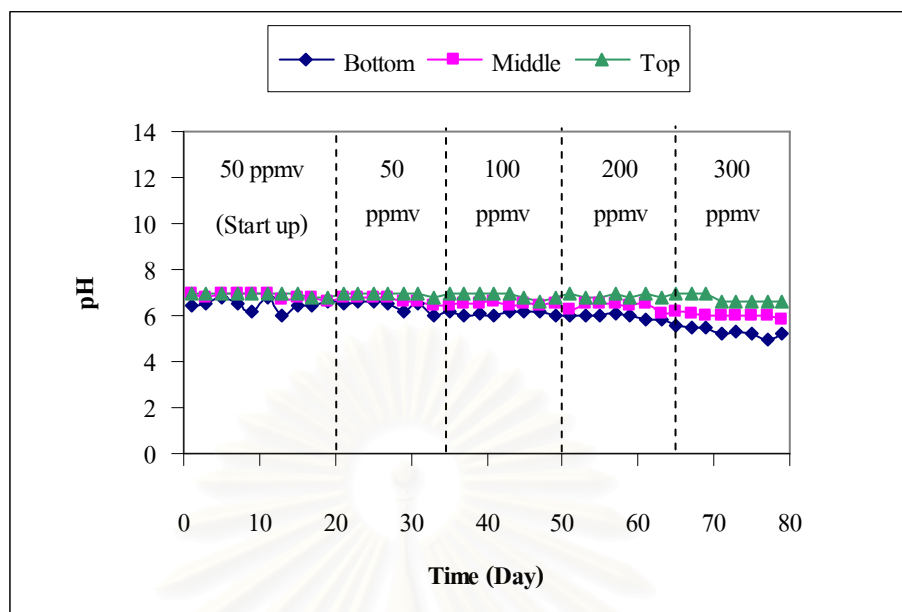
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสัมพัทธ์อากาศและความชื้นของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบ

4.2.4 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลาง

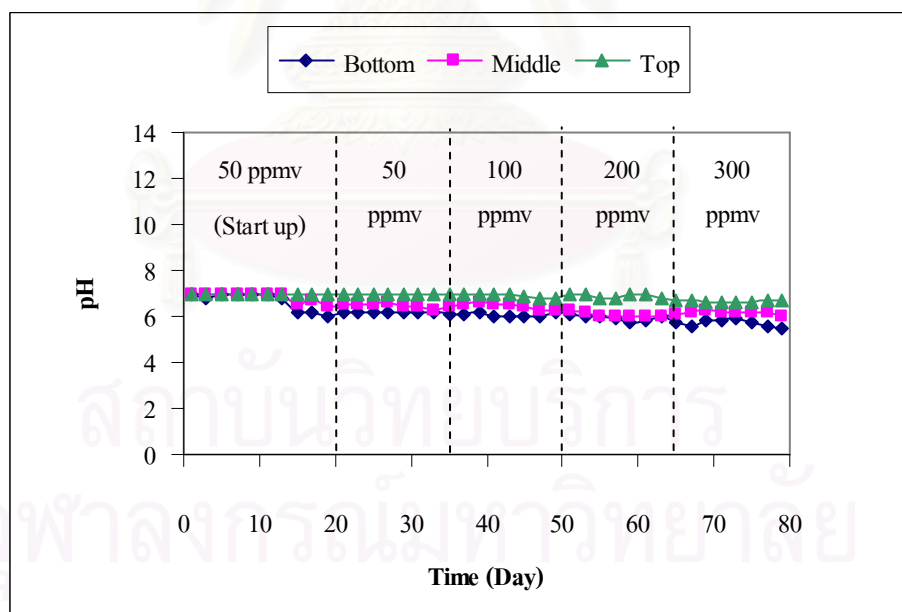
ค่าความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพจะมีค่าอยู่ในช่วง 6 – 8 (Devanny และคณะ, 1999) จากรูปที่ 4.21 – 4.24 แสดงค่าความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางทั้ง 4 ประเภทในช่วงระยะเวลาเดินระบบ พบว่า ค่าความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางทั้ง 4 ประเภทมีค่าลดลงหลังจากเดินระบบ โดยเฉพาะตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟและถ่านกัมมันต์ซึ่งจะมีค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงค่อนข้างมาก โดยสาเหตุที่ทำให้ตัวกลางทั้งสองประเภทมีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่าง ค่อนข้างมากก็เนื่องมาจากหินภูเขาไฟและถ่านกัมมันต์จัดอยู่ในกลุ่มวัสดุอนินทรีย์ ซึ่งวัสดุอนินทรีย์นั้นจะมีค่าด้านทานการเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด – ด่าง (Buffer capacity) ที่ต่ำกว่าวัสดุอินทรีย์ ดังนั้นจึงทำให้ตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟและถ่านกัมมันต์มีการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด – ด่างมากกว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักและดินขุยไผ่ ในการทดลองนี้ได้ทำการเก็บข้อมูลค่าความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางบริเวณด้านล่าง กลาง และบน ของเครื่องกรองชีวภาพ โดยพบว่าบริเวณด้านล่างของเครื่องกรองชีวภาพที่เป็นบริเวณใกล้ทางเข้าของก๊าซ ตัวกลางจะมีค่าความเป็นกรด – ด่างลดลงมากกว่าบริเวณอื่น ซึ่งค่าความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท

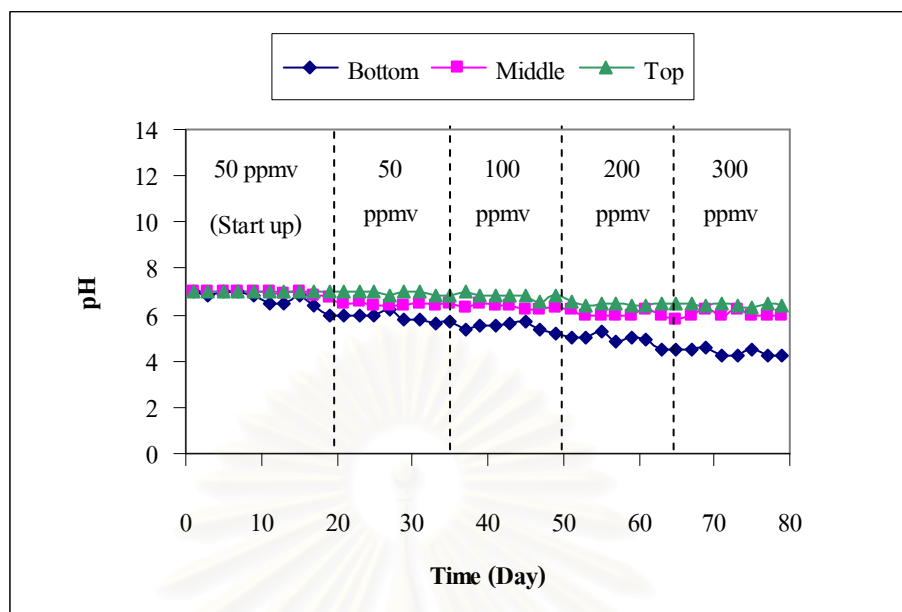
ประเภทตัวกลาง	จุดเก็บตัวอย่าง		
	ล่าง	กลาง	บน
ปุ๋ยหมัก	5.2 – 6.4	5.8 – 7.0	6.6 – 7.0
ดินขุยไผ่	5.5 – 7.0	6.0 – 7.0	6.7 – 7.0
หินภูเขาไฟ	4.2 – 7.0	6.0 – 7.0	6.4 – 7.0
ถ่านกัมมันต์	3.4 – 8.5	4.8 – 9.0	6.6 – 9.0



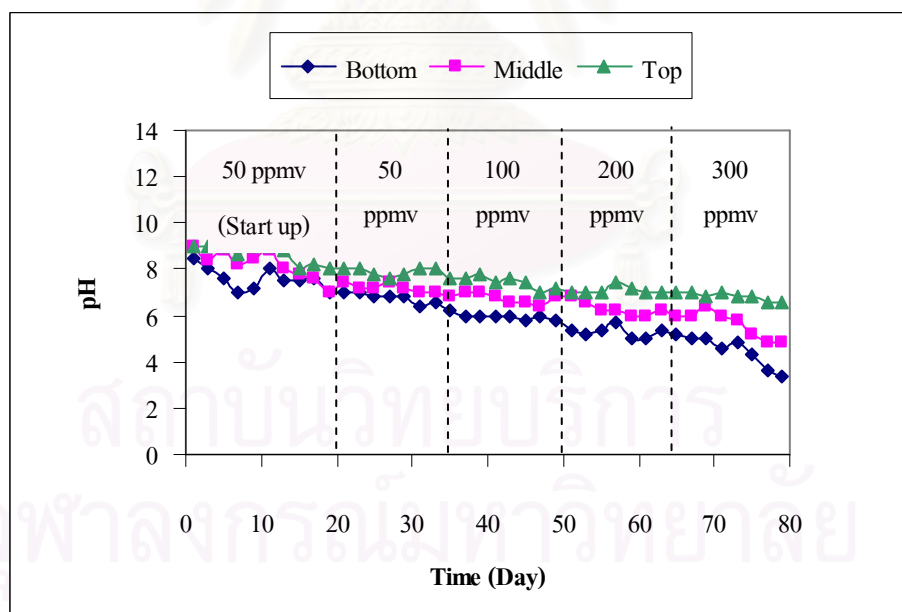
รูปที่ 4.21 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



รูปที่ 4.22 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



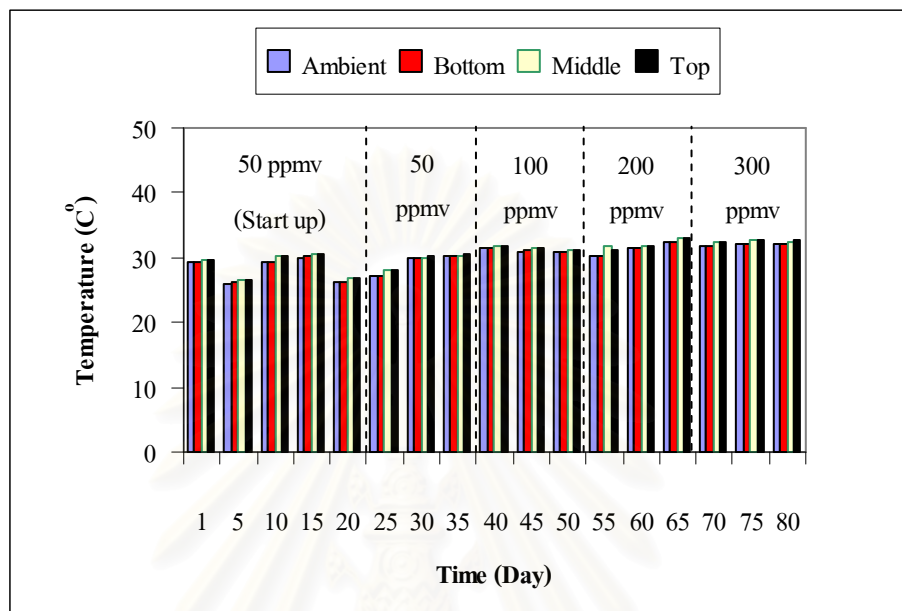
รูปที่ 4.23 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



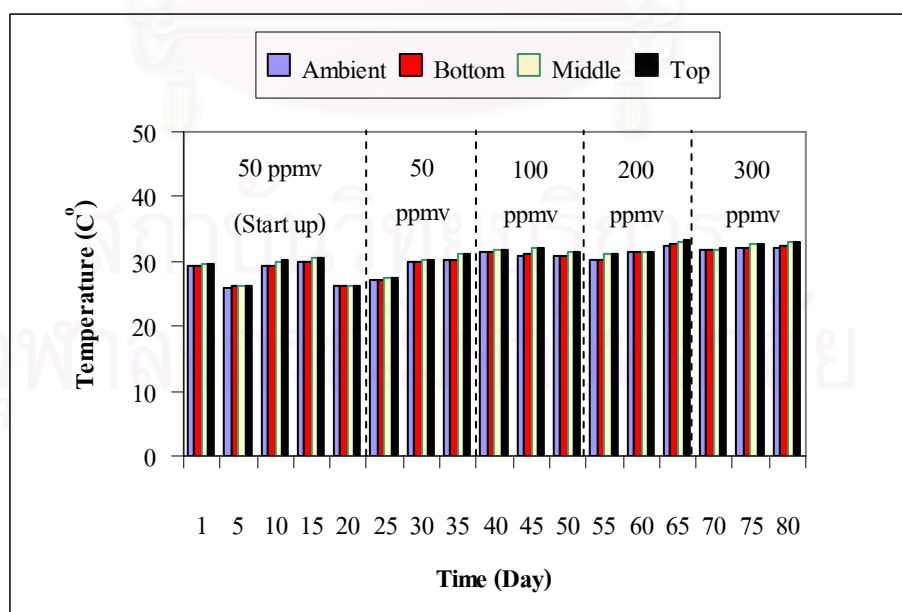
รูปที่ 4.24 ความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ

4.2.5 อุณหภูมิของตัวกลาง

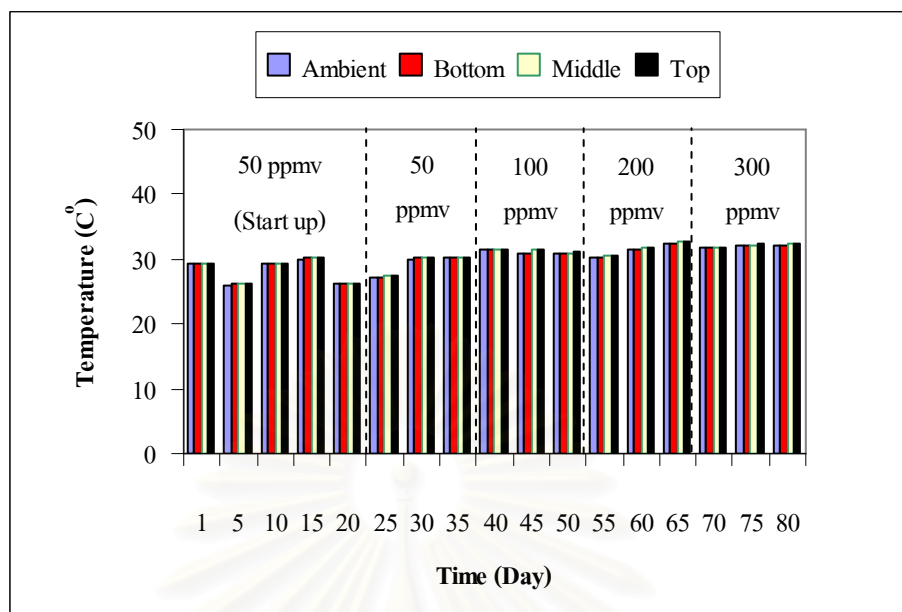
การวัดอุณหภูมิของชั้นตัวกลางที่จุดเก็บตัวอย่างบริเวณ ล่าง กลาง และบน ของ เครื่องกรองชีวภาพ ตลอดระยะเวลาที่เดินระบบ สามารถเขียนความสัมพันธ์ได้ดังรูปที่ 4.25 – 4.28



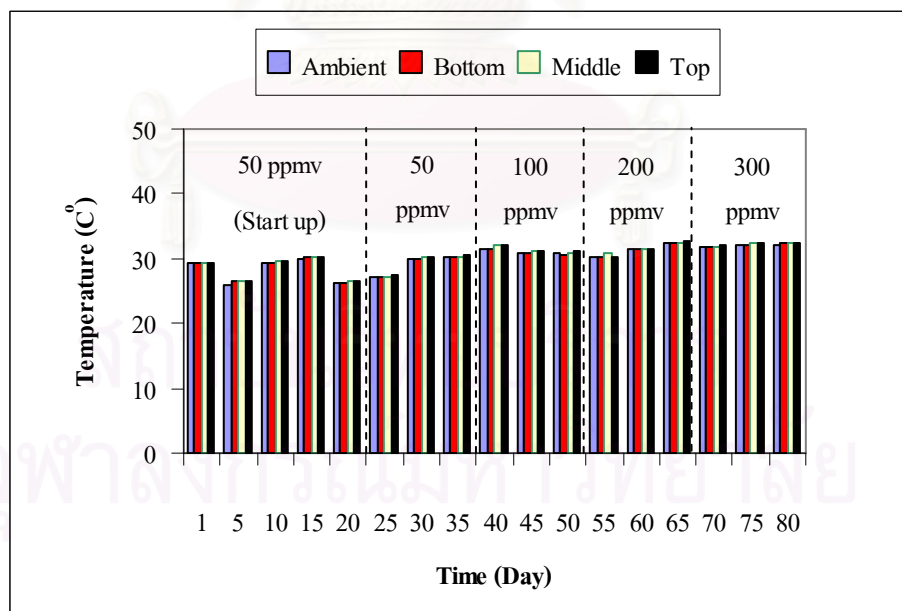
รูปที่ 4.25 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทบิวหมักในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



รูปที่ 4.26 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



รูปที่ 4.27 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



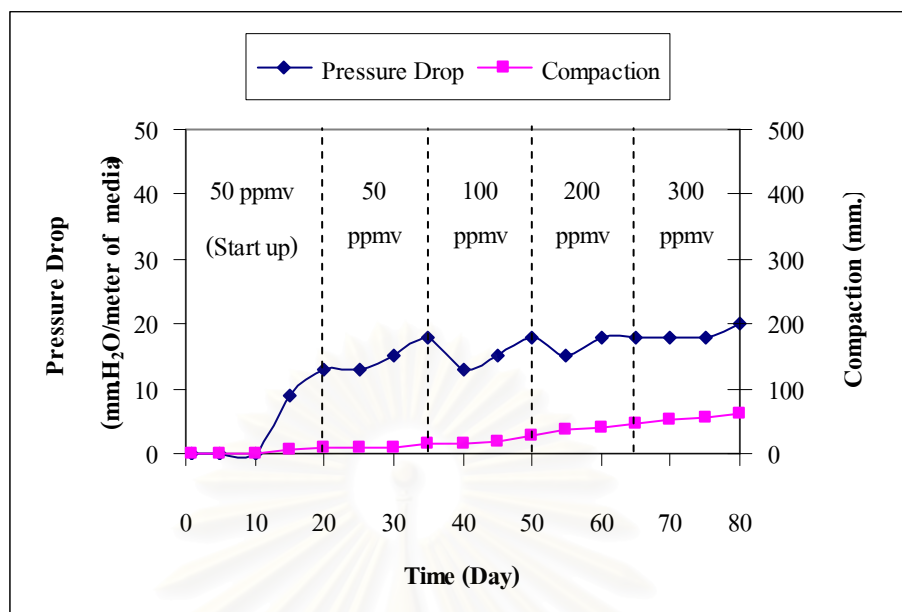
รูปที่ 4.28 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของตัวกลางบริเวณจุดเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ระดับ จะแปรผันตามอุณหภูมิห้องทดลอง โดยอยู่ในช่วง 26 – 33 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อเครื่องกรองชีวภาพจะมีค่าอยู่ในช่วง 10 – 40 องศาเซลเซียส (Schnelle และ Brown, 2002) ดังนั้นอุณหภูมิของตัวกลางในขณะทดลองจึงมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

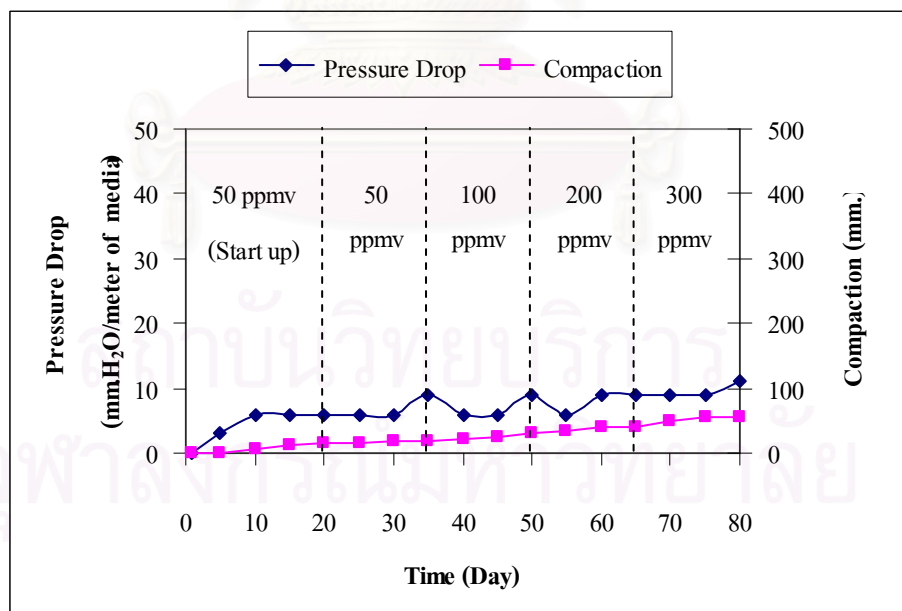
4.2.6 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลาง

ความดันลดเป็นพารามิเตอร์ชี้วัดการสูญเสียความดันอากาศที่เข้าระบบ โดยระบบที่มีค่าความดันลดสูงจะทำให้ปั๊มอากาศทำงานหนักขึ้นเพื่อรักษาอัตราไหลอากาศที่ต้องการบำบัดให้คงที่ ทำให้ต้องเสียค่าไฟฟ้าในการเดินเครื่องปั๊มดูดอากาศสูงขึ้น ดังนั้นจึงไม่ควรเลือกใช้ตัวกลางที่ทำให้เกิดการสูญเสียอากาศสูง หากจำเป็นต้องใช้อาจทำการปรับปรุงสมบัติโดยการเติมวัสดุเพิ่มความพรุน เช่น กาบมะพร้าวหรือเศษไม้ เป็นต้น

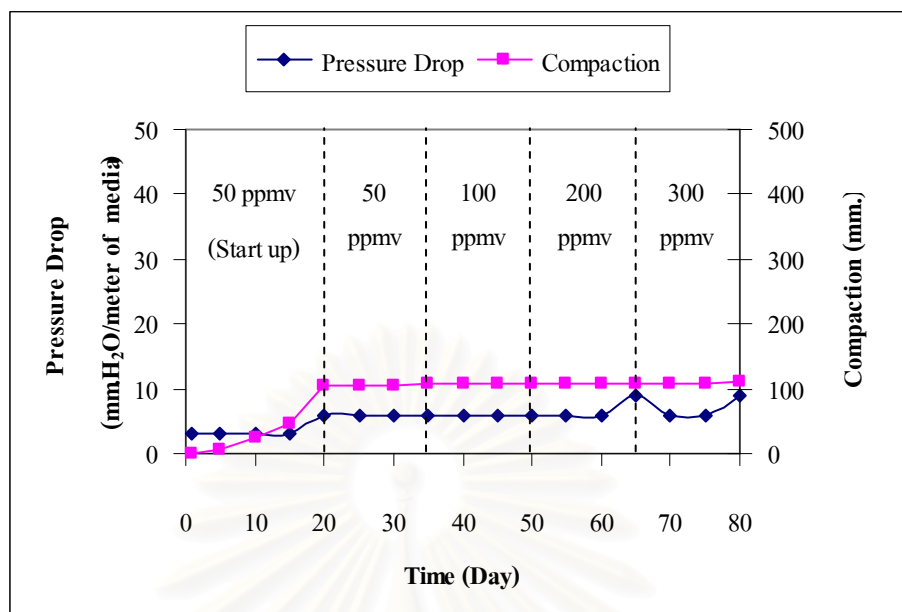
รูปที่ 4.29 – 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางทั้ง 4 ประเภทในช่วงระยะเวลาเดินระบบ พบว่าเมื่อตัวกลางมีการทรุดตัวมากขึ้นจะเป็นผลให้ค่าความดันลดมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ยังมีอีกหลายปัจจัยที่อาจส่งผลต่อการเพิ่มของค่าความดันลด อาทิเช่น ขนาดอนุภาคของตัวกลาง และจุดตันของจุลินทรีย์ เป็นต้น โดยตัวกลางทั้ง 4 ประเภทเมื่อเปรียบเทียบค่าความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลาง จะพบว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ จะมีค่าความดันลดหลังจากเดินระบบ 80 วัน เท่ากับ 20, 11, 9 และ 25 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร ตามลำดับ โดยตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟจะมีค่าความดันลดน้อยที่สุด ส่วนการทรุดตัวของตัวกลางพบว่า ตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ จะมีค่าการทรุดตัวหลังจากเดินระบบ เท่ากับ 62, 55, 110 และ 160 มิลลิเมตรต่อความสูงตัวกลาง 1.5 เมตร ตามลำดับ โดยตัวกลางประเภทดินขุยไผ่จะมีการทรุดตัวน้อยที่สุด ดังนั้นในการเลือกใช้วัสดุตัวกลางต้องพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานและค่าความดันลดควบคู่กัน ค่าความดันลดของเครื่องชีวภาพที่เหมาะสม ควรมีค่าไม่เกิน 100 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร (Devinny และคณะ, 1999) จึงสรุปได้ว่าตัวกลางทั้ง 4 ประเภทอยู่ในสภาพใช้งานได้โดยไม่มีปัญหาเรื่องการสูญเสียความดัน



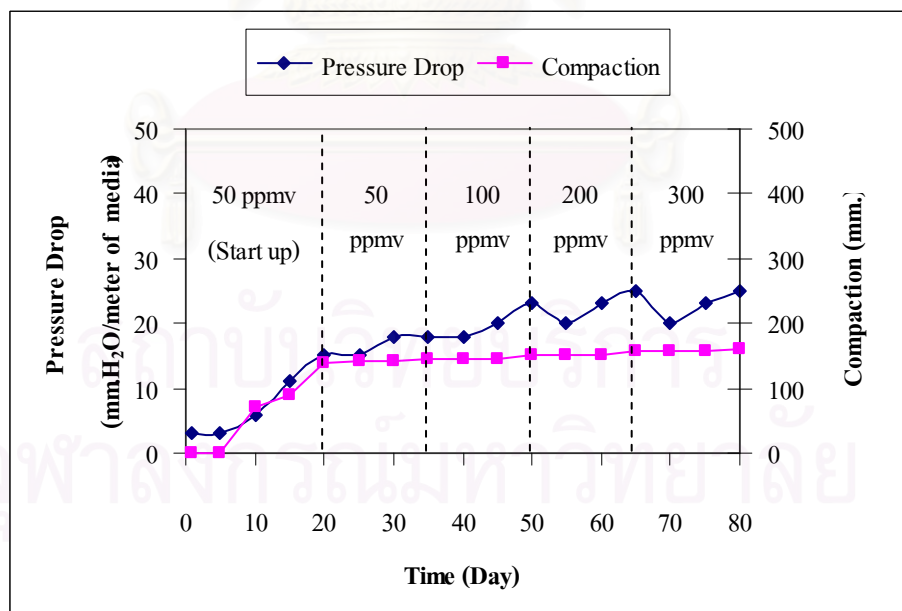
รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทบูยหมัก ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



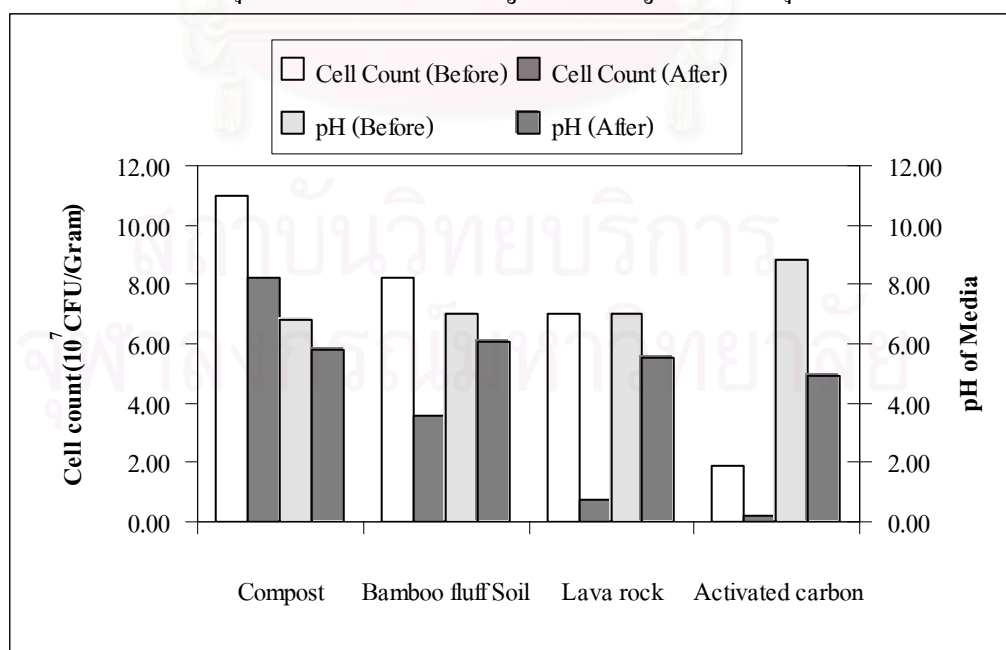
รูปที่ 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ



รูปที่ 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ ในช่วงระยะเวลาเดินระบบ

4.2.7 ปริมาณจุลินทรีย์

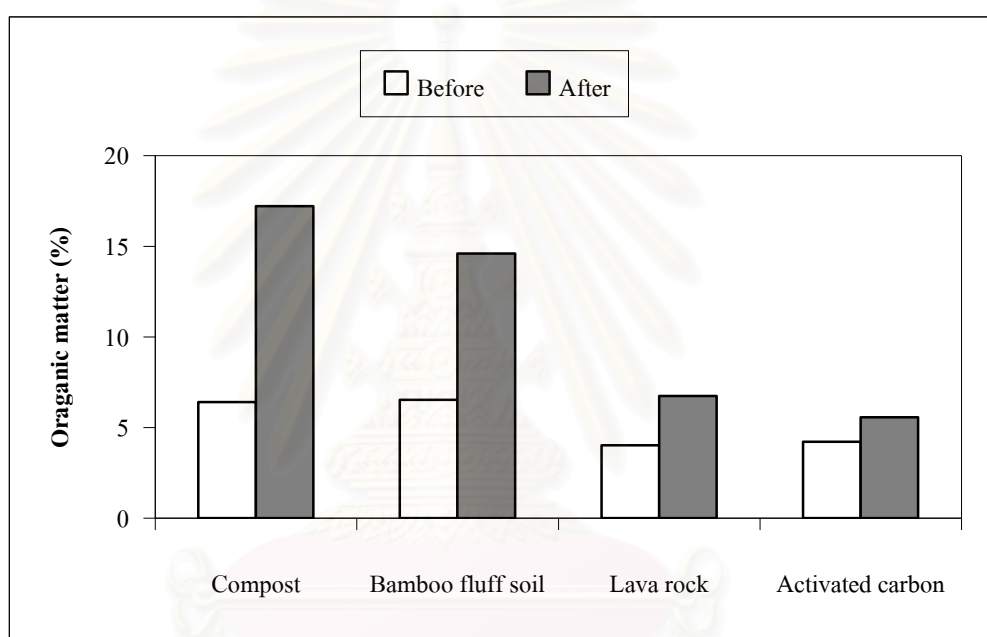
ปริมาณจุลินทรีย์เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่น่ามาติดตามประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ โดยผลวิเคราะห์เป็นการบอกถึงปริมาณจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในระบบ โดยการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ครั้งนี้ทำการส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ผลการนับปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนเดินระบบพบว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีค่าเท่ากับ 1.1×10^8 , 8.2×10^7 , 7.0×10^7 และ 1.9×10^7 CFU/gram ตามลำดับ โดยปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับเครื่องกรองชีวภาพควรอยู่ในช่วง $10^7 - 10^8$ CFU/gram (Devinny และคณะ, 1999) จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนเดินระบบมีปริมาณที่เหมาะสมในการนำมาใช้งาน ส่วนผลการนับปริมาณจุลินทรีย์หลังเดินระบบเป็นระยะเวลา 80 วัน พบว่า ตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีปริมาณจุลินทรีย์เท่ากับ 8.2×10^7 , 3.6×10^7 , 7.2×10^6 และ 2.1×10^6 CFU/gram ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์กับช่วงก่อนเดินระบบจะพบว่า ปริมาณจุลินทรีย์ ในช่วงหลังเดินระบบมีปริมาณลดลง โดยเฉพาะตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟและถ่านกัมมันต์ซึ่งมีค่าปริมาณจุลินทรีย์ต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสม สาเหตุที่ทำให้ปริมาณจุลินทรีย์ลดลงอาจจะเนื่องมาจาก การลดลงของค่าความเป็นกรด - ด่าง และค่าปริมาณธาตุอาหารของตัวกลาง ตัวอย่างเช่น ตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ พบว่าตัวกลางมีปริมาณธาตุอาหาร ในโตรเจน : ฟอสฟอรัส : โพแทสเซียม ก่อนเดินระบบเท่ากับ 0.39 : 0.24 : 0.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนปริมาณธาตุอาหารของตัวกลางหลังเดินระบบมีค่าเท่ากับ 0.28 : 0.12 : 0.64 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าความเป็นกรด-ด่างและปริมาณธาตุอาหารเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์



รูปที่ 4.33 ปริมาณจุลินทรีย์และความเป็นกรด - ด่างของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท

4.2.8 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

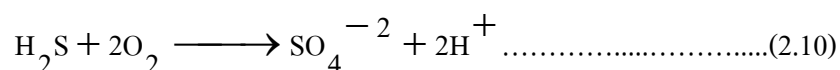
ปริมาณอินทรีย์วัตถุเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการติดตามประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องชีวภาพอย่างคร่าวๆ รูปที่ 4.34 แสดงปริมาณอินทรีย์วัตถุก่อนและหลังการเดินระบบของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท ซึ่งพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุจะมีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเดินระบบอย่างชัดเจน เช่น ตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเพิ่มขึ้นจาก 6.40 เป็น 17.21 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น โดยปริมาณอินทรีย์วัตถุที่เพิ่มขึ้นในเครื่องกรองชีวภาพจะบอกถึงปริมาณจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในระบบทั้งในรูปของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต รวมทั้งปริมาณของสิ่งมีชีวิตในตัวกลาง อาทิเช่น ไล้เดือน และหนอน เป็นต้น



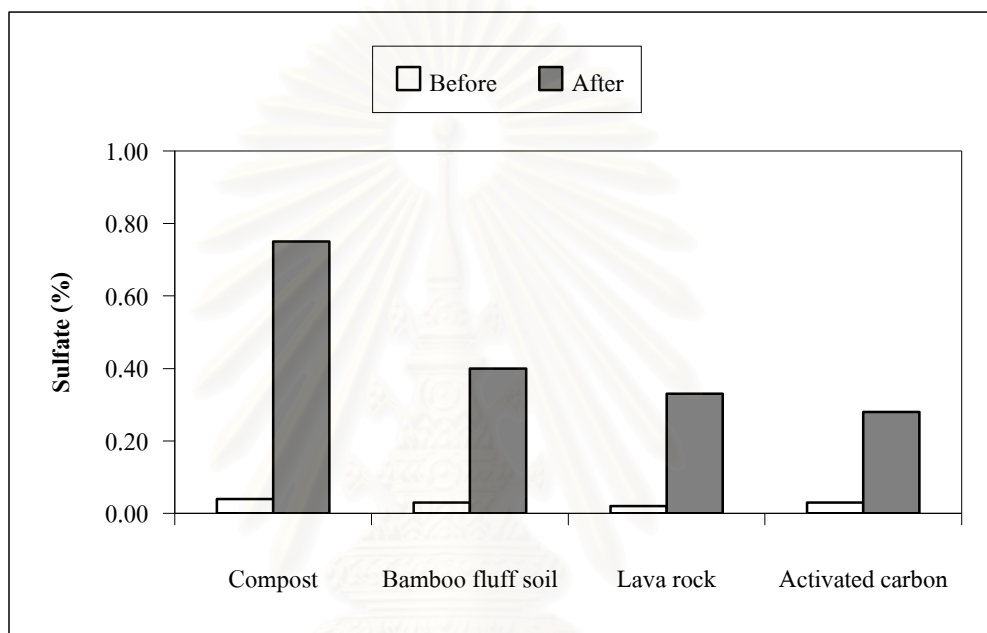
รูปที่ 4.34 ปริมาณอินทรีย์วัตถุของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท

4.2.9 ปริมาณซัลเฟต

ปริมาณซัลเฟตเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการตรวจสอบประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ โดยปริมาณซัลเฟตจะบอกถึงประสิทธิภาพในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ของแบคทีเรียกลุ่ม Colour less sulfur bacteria ที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นแหล่งอาหาร ซึ่งกลไกของแบคทีเรียกลุ่มนี้คือ แบคทีเรียจะใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นอาหาร จากนั้นเมื่อแบคทีเรียทำการย่อยสลายก๊าซแล้วจะได้สารผลิตภัณฑ์เป็นซัลเฟตออกมา ดังแสดงในสมการที่ 2.10 จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณซัลเฟตเป็นดัชนีวัดความสามารถและปริมาณของแบคทีเรียกลุ่มนี้



รูปที่ 4.35 แสดงปริมาณซัลเฟตก่อนและหลังเดินระบบของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท พบว่า ปริมาณซัลเฟตของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีค่าเพิ่มขึ้นหลังจากเดินระบบ โดยตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะมีปริมาณซัลเฟตเพิ่มขึ้นมากที่สุด ซึ่งมีค่าเพิ่มจาก 0.04 เป็น 0.75 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่าตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักมีปริมาณแบคทีเรียกลุ่มที่ใช้ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เป็นแหล่งอาหารเจริญเติบโตสูงที่สุดรวมทั้งมีการละลายตัวของซัลเฟตจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์มากที่สุด



รูปที่ 4.35 ปริมาณซัลเฟตของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท

4.2.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาตัวกลางที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ โดยเลือกใช้ตัวกลาง 4 ประเภทในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ ซึ่งทำการแปรผันความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ตั้งแต่ 50 ถึง 300 ส่วนในล้านส่วน และเวลากักพักแปรผันที่ 75, 60 และ 45 วินาที โดยเป้าหมายของการทดลองนี้คือ ระบบควรมีประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์ จากการทดลองพบว่าตัวกลางแต่ละประเภทจะใช้ความสูงตัวกลางแตกต่างกันในการที่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่นที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 300 ส่วนในล้านส่วนที่เวลากักพัก 45 วินาที พบว่าปุ๋ยหมักจะใช้ความสูงตัวกลางเพียง 1.00 เมตร ในการทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่ตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ จะต้องใช้ความสูงตัวกลางมากกว่า 1.25 เมตรในการบำบัด

ในส่วนค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติ จากการทดลองพบว่า ปุ๋ยหมักมีค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติมากที่สุด โดยปุ๋ยหมักมีค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 122 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง และมีค่าภาระบรรทุกวิกฤติเท่ากับ 64 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าปุ๋ยหมักมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ ส่วนค่าความดันลดของตัวกลางทั้ง 4 ประเภทพบว่า ตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟมีค่าความดันลดน้อยที่สุดหลังจากเดินระบบ โดยมีค่าเท่ากับ 9 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของตัวกลางทั้ง 4 ประเภทสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของตัวกลางทั้ง 4 ประเภท

ประเภทตัวกลาง	*ความสูงตัวกลางที่มีประสิทธิภาพการบำบัด 100% (เมตร)	ความสามารถในการกำจัดสูงสุด (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	ภาระบรรทุกวิกฤติ (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	ความดันลด (มม.ของน้ำ/ม.ของตัวกลาง)
ปุ๋ยหมัก	1.00	122	64	20
ดินขุยไผ่	1.25	111	58	11
หินภูเขาไฟ	1.50	72	22	9
ถ่านกัมมันต์	1.25	108	44	25

(* ที่เวลาพักพัก 45 วินาทีและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 300 ส่วนในล้านส่วน)

4.3 การศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

ระบบกรองชีวภาพเป็นระบบที่มีประสิทธิภาพสูงในการบำบัดก๊าซมลพิษ และยังต้องการการบำรุงรักษาที่ต่ำ แต่ในการเดินระบบยังพบปัญหาบางประการคือ การอุดตันของจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าของชั้นตัวกลาง ในปัจจุบันการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพจะนิยมกำหนดทิศทางการไหลเข้าของก๊าซมลพิษให้อยู่บริเวณด้านล่างของเครื่องกรองชีวภาพ (ไหลขึ้น) โดยข้อดีของการกำหนดทิศทางการไหลลักษณะนี้คือ สะดวกและง่ายในการก่อสร้างระบบ แต่ก็ยังมีข้อเสียคือ เมื่อมีการอุดตันของจุลินทรีย์ที่บริเวณผิวหน้าของชั้นตัวกลาง จะไม่สามารถสับเปลี่ยนตัวกลางใหม่เข้าไปทดแทนตัวกลางที่อุดตันได้ ด้วยเหตุนี้จึงอาจทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ซึ่งแนวทางในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวจะสามารถทำได้โดยกำหนดทิศทางการไหลเข้าของก๊าซมลพิษให้อยู่บริเวณด้านบนของเครื่องกรองชีวภาพ (ไหลลง) เพราะจะทำให้สะดวกต่อการสับเปลี่ยนตัวกลางที่เกิดการอุดตัน ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซ

ไฮโดรเจนซัลไฟด์ของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง โดยเลือกใช้ตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางในการทดลอง

4.3.1 ประสิทธิภาพในการบำบัด

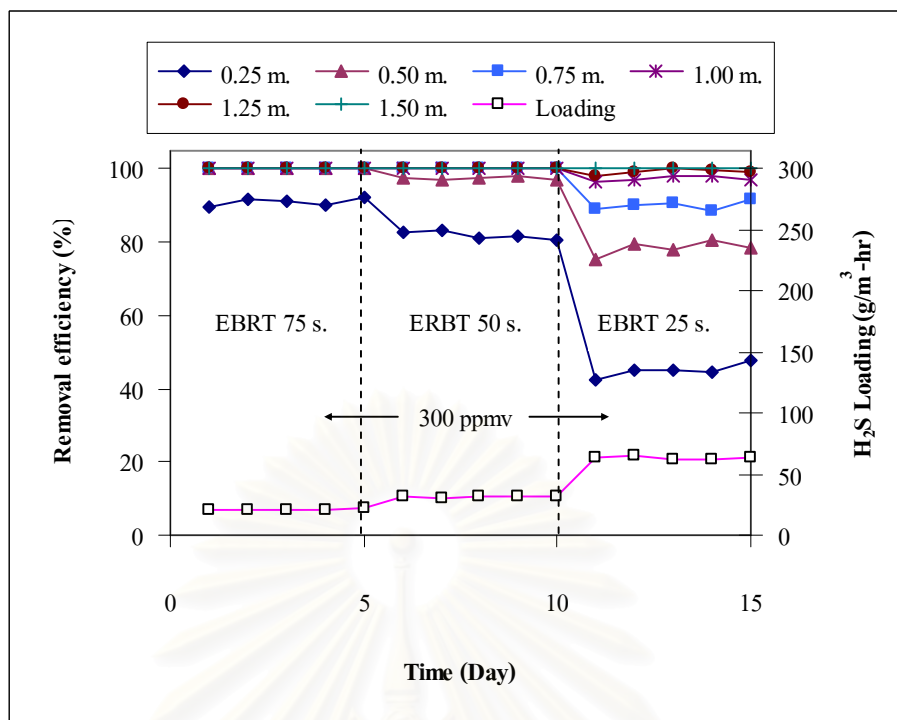
ในการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพในการบำบัด จะใช้ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ 300 ส่วนในล้านส่วน และอัตราไหลอากาศที่ 2.74, 4.12 และ 8.23 ลิตรต่อนาที ซึ่งเท่ากับระยะเวลาพัก 75, 50 และ 25 วินาที ตามลำดับ

4.3.1.1 อิทธิพลของภาระบรรทุกที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

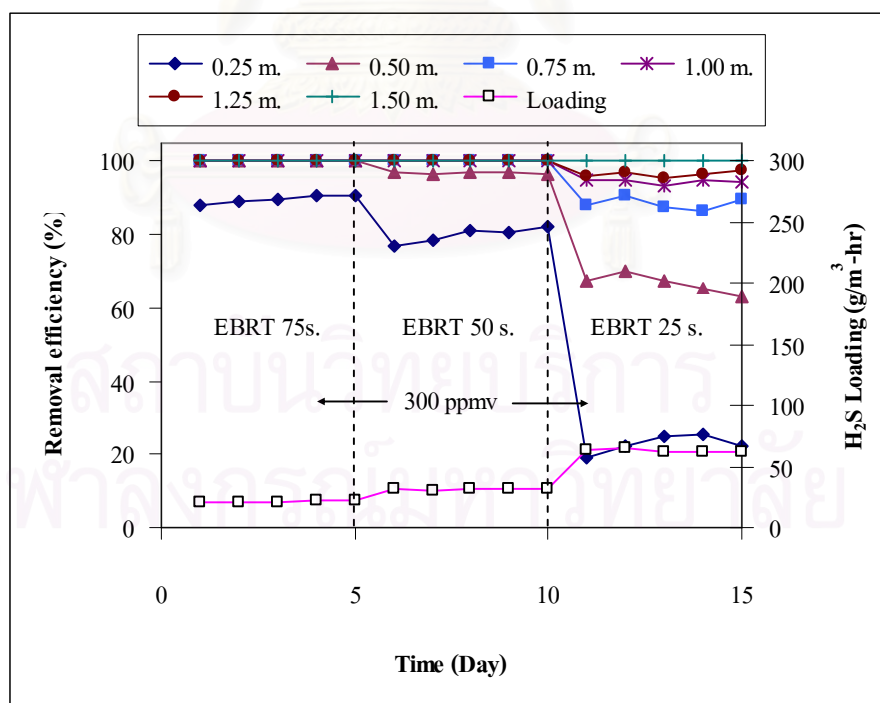
รูปที่ 4.36 – 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและภาระบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง โดยแปรผันภาระบรรทุกระหว่าง 20 – 60 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะลดลงเมื่อภาระบรรทุกเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่เวลากักพัก 25 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระดับความสูงต่างๆ จะลดลงอย่างมาก ตารางที่ 4.8 เป็นการสรุปประสิทธิภาพการบำบัดในระดับความสูงต่างๆ ระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง

ตารางที่ 4.8 ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระดับความสูงต่างๆ ของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง

ประเภทของ เครื่องกรองชีวภาพ	ประสิทธิภาพการบำบัด (%)					
	0.25 ม.	0.50 ม.	0.75 ม.	1.00 ม.	1.25 ม.	1.50 ม.
เครื่องกรองชีวภาพ ที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้น	44.7-91.7	75.4-100	89.0-100	96.4-100	98.2-100	100
เครื่องกรองชีวภาพ ที่มีทิศทางก๊าซไหลลง	19.2-90.2	63.3-100	86.5-100	93.4-100	95.3-100	100
เวลากักพัก (วินาที)	25 - 75					
ความเข้มข้นก๊าซ ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ส่วนในล้านส่วน)	300					
ค่าภาระบรรทุก (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	20 – 60					



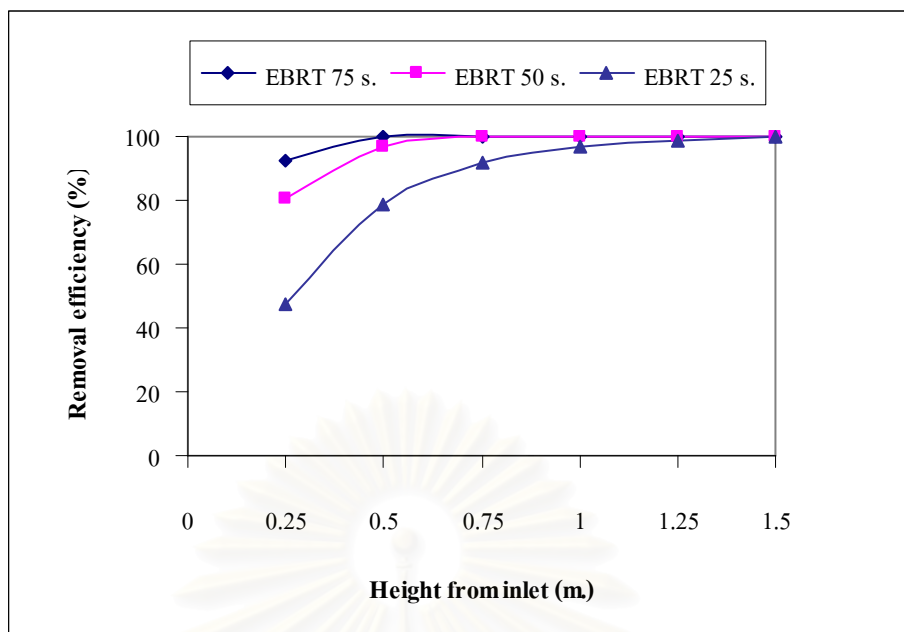
รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาระบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้น



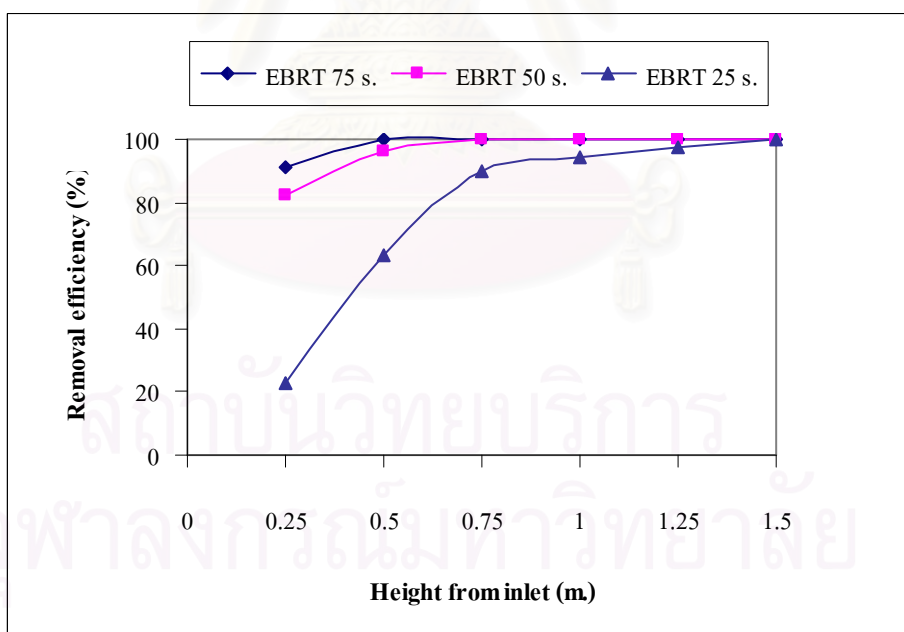
รูปที่ 4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและค่าภาระบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง

4.3.1.2 อิทธิพลของความสูงตัวกลางที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

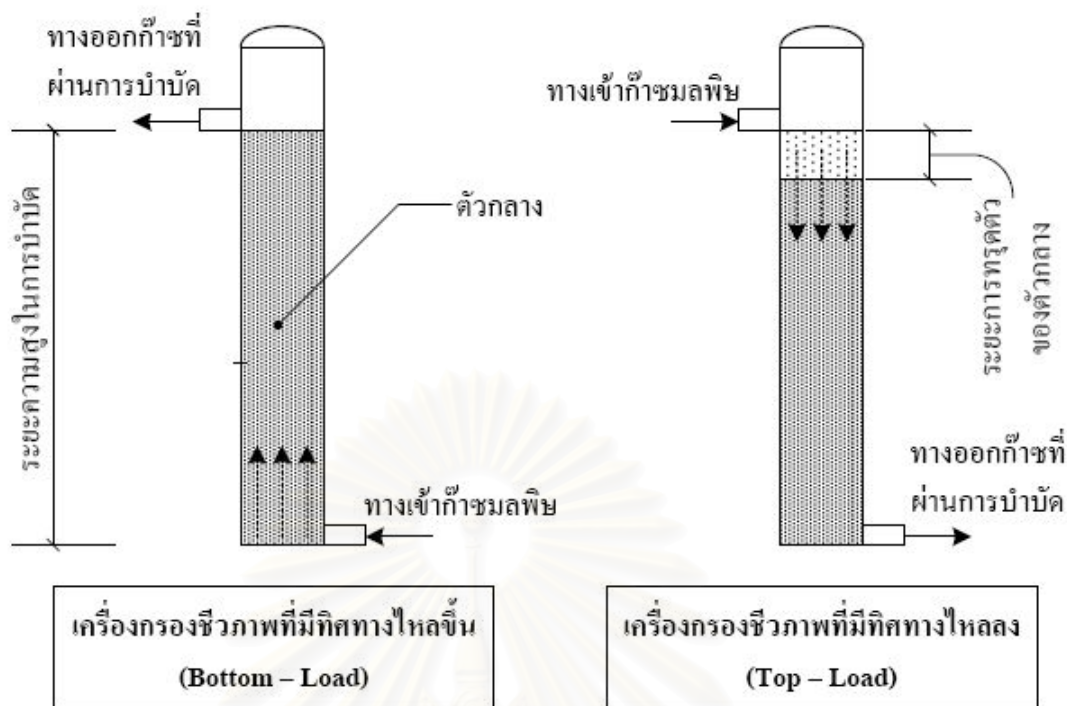
รูปที่ 4.38 – 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดเวลากักพัก และความสูงตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 300 ส่วนในล้านส่วน จากการทดลองพบว่า ที่เวลากักพัก 75 และ 50 วินาที เครื่องกรองชีวภาพทั้ง 2 ชุดจะมีประสิทธิภาพการบำบัดในระดับความสูงต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน เช่น ในระดับความสูงของตัวกลาง 0.25 เมตร ที่เวลากักพัก 50 วินาที เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลง จะมีประสิทธิภาพในการบำบัดเท่ากับ 80.8 และ 82.2 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนที่เวลากักพัก 25 วินาที ที่ระดับความสูงตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.75 เมตร พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงมาก เช่น ในระดับความสูง 0.25 เมตร เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลง จะมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 47.6 และ 22.5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยเครื่องกรองชีวภาพทั้ง 2 ชุดจะมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกันที่ระดับความสูงตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป ปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดที่ระดับความสูงตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.75 เมตร มีค่าแตกต่างกันมาก อาจจะเป็นเนื่องจากที่เวลากักพัก 25 วินาที ก๊าซที่เข้าระบบจะมีอัตราไหลที่สูง ดังนั้นจึงทำให้เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงมีอัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นตัวกลางเร็วกว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากค่าความดันลดที่ระดับความสูง 0.25, 0.50 และ 0.75 เมตร โดยค่าความดันลดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงมีค่าเท่ากับ 13, 20, และ 20 มิลลิเมตรของน้ำ ตามลำดับ ส่วนค่าความดันลดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นมีค่าเท่ากับ 20, 20 และ 30 มิลลิเมตรของน้ำ ด้วยเหตุนี้จึงอาจทำให้ที่ระยะความสูงดังกล่าวมีเวลากักพักก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์น้อยเกินไปจึงทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงมาก และอีกปัจจัยที่ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดในความสูงดังกล่าวแตกต่างกัน คือ การทรุดตัวของตัวกลาง ซึ่งปัจจัยดังกล่าวจะทำให้ระยะความสูงในการบำบัดของตัวกลางลดลง ดังแสดงในรูปที่ 4.14 จากเหตุผลนี้จึงเป็นผลให้ประสิทธิภาพการบำบัดในระดับความสูงดังกล่าวของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงมีค่าน้อยกว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นมาก



รูปที่ 4.38 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักพักและประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วนที่ระดับความสูงต่างๆ



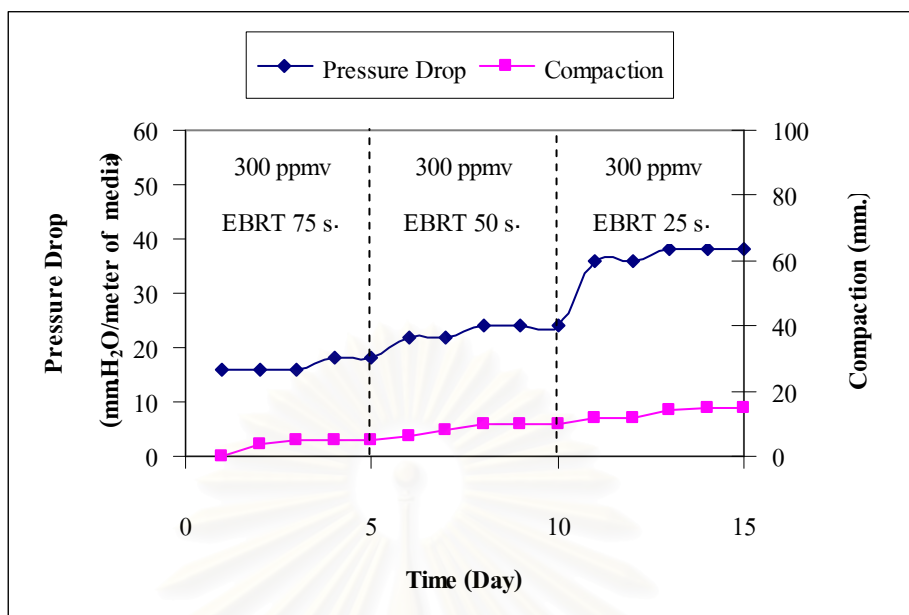
รูปที่ 4.39 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากักพักและประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วนที่ระดับความสูงต่างๆ



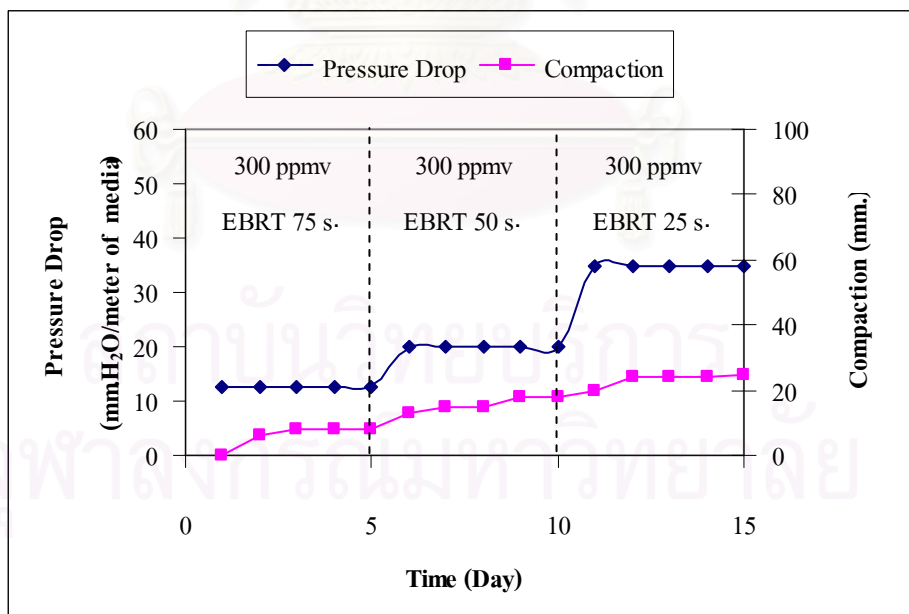
รูปที่ 4.40 ลักษณะเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง

4.3.2 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลาง

รูปที่ 4.41 - 4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางในช่วงระยะเวลาเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง จากการทดลองพบว่าหลังจากเดินระบบ ค่าความดันลดของเครื่องกรองชีวภาพทั้ง 2 ชุดมีค่าเท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับ 35 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร ส่วนการทรุดตัวของตัวกลางพบว่า เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลงจะมีการทรุดตัวของตัวกลางมากกว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 25 และ 15 มิลลิเมตรต่อความสูงตัวกลาง 1.5 เมตร ตามลำดับ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลงมีค่าการทรุดตัวมากกว่าก็เนื่องจาก แรงอัดอากาศของก๊าซที่จ่ายเข้าระบบ โดยแรงอัดอากาศดังกล่าวนี้จะทำให้ชั้นตัวกลางถูกอัดตัวมากกว่าปกติ ดังนั้นในการเดินระบบระยะยาวอาจทำให้ค่าความดันลดของระบบมีค่าเพิ่มขึ้นได้ จากปัญหาที่เกิดขึ้นนี้จะสามารถแก้ไขได้โดยการเพิ่มสัดส่วนของวัสดุผสม อาทิเช่น กาบมะพร้าว หรือ เศษไม้ ให้มีอัตราส่วนมากขึ้น ซึ่งจะช่วยลดการอัดตัวของตัวกลาง



รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและการทรุดตัวของตัวกลางในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้น



รูปที่ 4.42 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกและการทรุดตัวของตัวกลางในช่วงระยะเวลาที่เดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลง

4.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลง

ในการทดลองนี้จะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 300 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งแปรผันเวลากักพักที่ 75, 50 และ 25 วินาที จากการทดลองพบว่า ที่เวลากักพัก 75 และ 50 วินาที เครื่องกรองชีวภาพทั้ง 2 ชุด จะมีประสิทธิภาพการบำบัดในระดับความสูงต่างๆ มีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนที่เวลากักพัก 25 วินาทีพบว่า ที่ระดับความสูงตัวกลางตั้งแต่ 0.25 ถึง 0.75 เมตร เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสูงกว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงมาก โดยเครื่องกรองชีวภาพทั้ง 2 ชุดจะมีค่าใกล้เคียงกันในระดับความสูงตัวกลางตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลงจะมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลขึ้นที่เวลากักพัก 50 วินาทีขึ้นไป

4.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการศึกษาที่ผ่านมา

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพที่มีความเข้มข้นของก๊าซ อัตรารีดอากาศ ระยะเวลาพัก และปริมาตรตัวกลาง ที่แตกต่างกัน คือ ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าการระบรทุกวิกฤติ โดยข้อมูลงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าการระบรทุกวิกฤติในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

ประเภทตัวกลาง	การระบรทุกวิกฤติ (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	ความสามารถในการกำจัดสูงสุด (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	อ้างอิง
ปุ๋ยหมัก	64	122	ผลการวิจัยนี้
ดินขุยไผ่	58	111	ผลการวิจัยนี้
หินภูเขาไฟ	22	72	ผลการวิจัยนี้
ถ่านกัมมันต์	44	108	ผลการวิจัยนี้
Compost	100	130	Yang และ Allen, 1994 อ้างถึงใน Deviny และคณะ, 1999
Compost / Perlite	N/A	136	Wani และคณะ, 1999

ตารางที่ 4.9 ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดและค่าภาระบรรทุกวิกฤติในการกำจัด
ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (ต่อ)

ประเภทตัวกลาง	ภาระบรรทุกวิกฤติ (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	ความสามารถใน การกำจัดสูงสุด (กรัม/ลบ.ม-ชม.)	อ้างอิง
Peat	N/A	188	Hartikainen และคณะ, 2001
Peat	N/A	55	Oyazun และคณะ, 2003
Compost	N/A	144	Sologar และคณะ, 2004

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพควรเปรียบเทียบระหว่างตัวกลางประเภทเดียวกัน ดังนั้นปุ๋ยหมักจึงใกล้เคียงที่สุดที่นำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลงานวิจัยของต่างประเทศ พบว่า ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่ได้จากการวิจัยมีค่าเท่ากับ 122 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งอยู่ในช่วงผลการศึกษาที่ผ่านมา คือ 55 – 188 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ส่วนค่าภาระบรรทุกวิกฤติที่ได้จากการวิจัยมีค่าเท่ากับ 64 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ซึ่งมีค่าน้อยกว่าผลการศึกษาที่ผ่านมาที่มีค่าเท่ากับ 100 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง เหตุผลที่มีค่าต่างกันก็เนื่องมาจากปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากมาย เช่น อุณหภูมิ ในช่วงขณะทำการวิจัย การควบคุมสภาวะแวดล้อมขณะเดินระบบ เช่น ความชื้น ความเป็นกรด – ด่าง เป็นต้น

4.5 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยนี้

4.5.1 การศึกษาประเภทของตัวกลางและตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

การทดลองเครื่องกรองชีวภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เพื่อศึกษาประเภทของตัวกลางและตัวแปรที่เหมาะสมจะใช้ตัวกลางทั้งหมด 4 ประเภทในการทดลอง ได้แก่ ปุ๋ยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ โดยในการวิจัยจะทำการศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เวลาพัก และความสูงตัวกลางที่เหมาะสม เพื่อเป็นเกณฑ์การออกแบบเครื่องกรองชีวภาพเบื้องต้น ดังนั้นสภาวะการทำงานและพารามิเตอร์ต่างๆ สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการศึกษาประเภทของตัวกลางและตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

พารามิเตอร์	ปุ๋ยหมัก	ดินขุยไผ่	หินภูเขาไฟ	ถ่านกัมมันต์
อุณหภูมิ (C°)	26 – 33	26 - 33	26 - 33	26 - 33
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	70 - 80	70 - 80	70 - 80	70 – 80
ความเป็นกรด – ด่าง	5.2 – 7.0	5.5 – 7.0	4.2 – 7.0	3.4 – 9.0
ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สนล.)	50 - 300	50 - 300	50 - 300	50 – 300
เวลาดักพัก (วินาที)	45 - 75	45 - 75	45 - 75	45 - 75
ภาระบรรจุทุก (กรัม/ลบ.ม.-ชม.)	3 - 34	3 - 34	3 - 34	3 - 34
ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ (%)	97.8 - 100	96.9 - 100	94.3 - 100	96.7 - 100
ความสูงตัวกลางที่มีประสิทธิภาพการบำบัด 100% (ม.) *ที่เวลาดักพัก 45 วินาทีและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 300 สนล.	1.00	1.25	1.50	1.25
ภาระบรรจุทุกวิกฤติ (กรัม/ลบ.ม.-ชม.)	64	58	22	44
ความสามารถในการกำจัดสูงสุด (กรัม/ลบ.ม.-ชม.)	122	111	72	108
ความดันลดหลังเดินระบบ (มิลลิเมตรของน้ำ/ความสูงตัวกลาง 1 ม.)	20	11	9	25
การทรุดตัวของตัวกลางหลังเดินระบบ (มิลลิเมตร/ความสูงตัวกลาง 1.5 ม.)	62	55	110	160

4.5.2 การศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ระหว่างเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้น (Bottom-Load) กับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง (Top -Load) ซึ่งใช้ตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางในการทดลอง โดยสามารถสรุปสภาวะการทำงานและพารามิเตอร์ต่างๆ ได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สรุปพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

พารามิเตอร์	เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้น	เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง
อุณหภูมิ (C°)	31 - 33	31 - 33
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	70 - 80	70 - 80
ความเป็นกรด - ด่าง	6.8 - 7.4	6.8 - 7.2
ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (สนล.)	300	300
เวลากักพัก (วินาที)	25 - 75	25 - 75
ภาระบรรจุทุก (กรัม/ลบ.ม.-ชม.)	20 - 60	20 - 60
ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ (%)	100	100
ความสูงตัวกลางที่มีประสิทธิภาพการบำบัด 100% (ม.) *ที่เวลากักพัก 25 วินาทีและความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 300 สนล.	1.50	1.50
ความดันลดหลังเดินระบบ (มิลลิเมตรของน้ำ/ความสูงตัวกลาง 1 ม.)	35	35
การทรุดตัวของตัวกลางหลังเดินระบบ (มิลลิเมตร/ความสูงตัวกลาง 1.5 ม.)	15	25

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพในงานวิจัยนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาประเภทของตัวกลางและตัวแปรที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ รวมทั้งศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ โดยสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1) การลดเวลากักพักจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าลดลง ตัวอย่างเช่น ตัวกลางประเภทปุยหมักที่ความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ 300 ส่วนในล้านส่วน ในระดับความสูงตัวกลาง 0.25 เมตร พบว่า เมื่อทำการลดเวลากักพักจาก 75 เป็น 45 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงจาก 93.8 เป็น 50.3 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

2) การเพิ่มความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดลดลง ตัวอย่างเช่น ตัวกลางประเภทปุยหมักที่เวลากักพัก 45 วินาที ในระดับความสูงตัวกลาง 0.25 เมตร พบว่า เมื่อทำการเพิ่มความเข้มข้นของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จาก 50 เป็น 100 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการบำบัดจะลดลงจาก 93.8 เป็น 78.1 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น

3) หากต้องการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้น 300 ส่วนในล้านส่วนที่เวลากักพัก 45 วินาทีให้มีประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์ เครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ปุยหมักเป็นตัวกลาง จะใช้ความสูงตัวกลางเพียง 1.00 เมตรในการบำบัด ในขณะที่เครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ จะต้องใช้ความสูงตัวกลางมากกว่า 1.25 เมตรขึ้นไป

4) ตัวกลางหลักประเภทปุยหมัก ดินขุยไผ่ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุดเท่ากับ 122, 111, 72 และ 108 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ และมีค่าภาระบรรจุทุกวิกฤติเท่ากับ 64, 58, 22 และ 44 กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ

5) ค่าความดันลดของตัวกลางหลักประเภทปุ๋ยหมัก ดินขุยไฟ หินภูเขาไฟ และถ่านกัมมันต์ มีค่าเท่ากับ 20, 11, 9 และ 25 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร ตามลำดับ หลังจากเดินระบบ

6) ปุ๋ยหมักเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นตัวกลางสำหรับเครื่องกรองชีวภาพในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เนื่องจากมีค่าความสามารถในการกำจัดสูง รวมทั้งใช้ความสูงของตัวกลางไม่มากในการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ให้มีประสิทธิภาพการบำบัด 100 เปอร์เซ็นต์

7) เมื่อความเข้มข้นก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เท่ากับ 300 ส่วนในล้านส่วนที่เวลากักพัก 75 และ 50 วินาที เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นจะมีประสิทธิภาพการบำบัดที่ระดับความสูงต่างๆ ใกล้เคียงกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง ส่วนที่เวลากักพัก 25 วินาที เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นจะมีประสิทธิภาพการบำบัดใกล้เคียงกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลงที่ระดับความสูงตัวกลางตั้งแต่ 1 เมตรขึ้นไป

8) หากต้องการให้เครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลงมีประสิทธิภาพการบำบัด ใกล้เคียงกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นในทุกระดับความสูง ควรจะกำหนดระยะเวลาการกักพักให้มีค่ามากกว่า 50 วินาที

9) ค่าความดันลดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลขึ้นและเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง จะมีค่าเท่ากับ 35 มิลลิเมตรของน้ำต่อความสูงตัวกลาง 1 เมตร หลังจากเดินระบบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างตัวกลางหลักและวัสดุเสริมที่เหมาะสมกับเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางก๊าซไหลลง เนื่องจากเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางการไหลลักษณะนี้จะมีแรงกดของอากาศสูงกว่าปกติ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เกิดการทรุดตัวของตัวกลางมาก ดังนั้นการเพิ่มอัตราส่วนของวัสดุผสมให้มากขึ้นอาจจะทำให้แก้ไขปัญหาการทรุดตัวของตัวกลางได้
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ร่วมกับก๊าซชนิดอื่นๆ เพื่อให้สอดคล้องกับอุตสาหกรรมที่เป็นแหล่งปล่อยมลพิษ
- 3) ศึกษาวิธีการควบคุมค่าความเป็นกรด – ด่างของตัวกลางขณะเดินระบบ เช่น อัตราการเติมสารปรับสภาพความเป็นกรด – ด่าง เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีข้อมูลที่ชัดเจน
- 4) ศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพในระดับ Pilot scale ทั้งนี้เพื่อให้ได้ข้อมูล เช่น อุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์อากาศ มีค่าใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง
- 5) ศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ เพื่อที่จะได้นำไปใช้ในเครื่องกรองชีวภาพต่อไป
- 6) ศึกษาระยะเวลาในการเปลี่ยนแปลงกลไกในการกำจัดจากกลไกการดูดซับเป็นกลไกการย่อยสลายทางชีวภาพ ซึ่งสามารถทำได้โดยการเพิ่มระยะเวลาในการเดินระบบให้นานขึ้น
- 7) ศึกษาการเติมธาตุอาหารแก่เครื่องกรองชีวภาพในขณะที่ทำการเดินระบบ เช่น อัตราการเติมธาตุอาหาร ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม ให้กับระบบในหนึ่งวัน
- 8) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ เนื่องจากงานการใช้งานจริงเครื่องกรองชีวภาพจะถูกติดตั้งไว้กลางแจ้ง ดังนั้นจึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตลอดเวลา ซึ่งอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบได้
- 9) ศึกษาอิทธิพลของอัตราไหลอากาศที่ต่อค่าความดันตกที่เกิดขึ้นในเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. ของเสียอันตราย. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยรังสิต, 2546.

ควบคุมมลพิษ, กรม. โครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการและควบคุมมลพิษในอากาศ (ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพ). กรุงเทพฯ : กรมควบคุมมลพิษ, 2544.

จำเริญ อ่อนทอง. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. พิมพ์ครั้งที่ 2. สงขลา : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2547.

จุลชีวินวิทยา, ภาควิชา. จุลชีวินวิทยาปฏิบัติการ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538.

จิรวัดน์ กันพยนต์. การบำบัดไออะซิโตนโดยการกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ชาติริ อินชิต. ประสิทธิภาพของระบบกรองชีวภาพในการบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนด้วย สไตรีนโมโนเมอร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2546.

นพภาพร พานิช, แสงสันต์ พานิช, วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์, วิจิตรา จงวิศาล และ วราวุธ เสือดี. ตำราระบบบำบัดมลพิษอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์บริการวิชาการแห่ง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.

สุกเวท มานิชม. การศึกษาและออกแบบเครื่องปฏิกรณ์กำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จากก๊าซชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2542.

สุโรชา พูลสวัสดิ์. การกำจัดไอของไซลีนโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(สหสาขา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

เสริมศักดิ์ ทังมั่งมี. ประสิทธิภาพการกำจัดโทลูอินโดยเครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

เอกชัย เลิศผดุงวิทย์. การกำจัดไซลีนด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2548.

ภาษาอังกฤษ

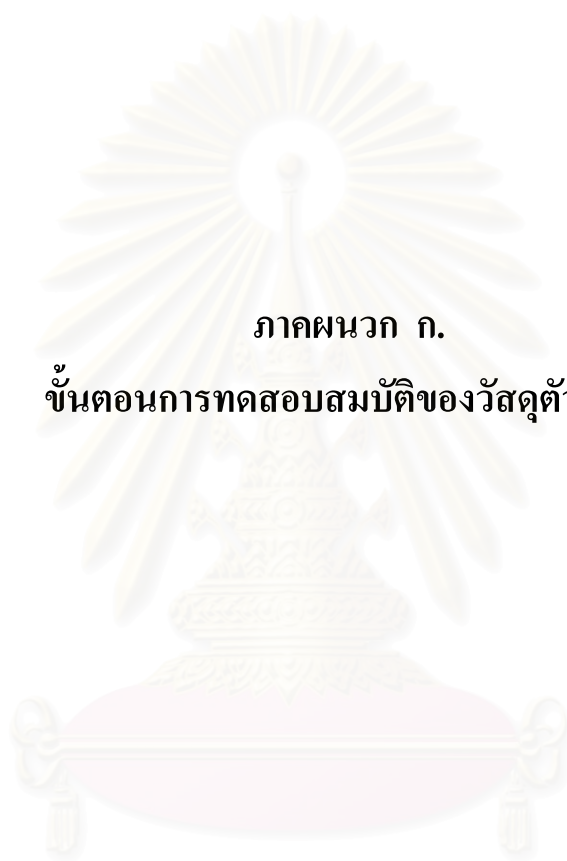
- Barona, A., Elias, A., Arias, I., Ray, S., and Cano., R. Biofilter response to gradual and sudden variations in operating conditions. Biochemical Engineering Journal. 22 (2004) : 25 – 31.
- Bohn, H., and Bohn, R. Soil bed weed out air pollutant. Chemical engineering. 95 (1988) : 73-76.
- Day, R. W. Soil Testing Manual. New York : McGraw Hill, 2001.
- Delhomenie, M. C., Bibeau, L., Bredin, N., Ray, S., Broussau, S., Brzezinski, R., Kugelmass, J. L., and Heitz, M. Biofiltration of air contaminated with toluene on a compost – based bed. Advances in Environmental Research. 24 (2002) : 125 – 135.
- Delhomenie, M. C., Bibeau, L., Gendron, J., Brzezinski, R., and Heitz, M. A. study of clogging in a biofilter treating toluene vapor. Chemical Engineering Science. 94 (2003) : 211 – 222.
- Deviny, S., Deshusses, A., and Webster, S. Biofiltration for air pollution control. New York : Lewis Publishers, 1999.
- Elias, A., and Barona, A. Evaluation of a packing material for the biodegradation of H₂S and product analysis. Process Biochemistry 37 (2002) : 813 – 820.
- Gostomski, P. A., Sisson, J. B., and Cherry, R. S. Water content dynamics in biofiltration : The role of humidity and microbial heat generation. Journal of the Air & Waste Management Association. 47 (1997) : 936 – 944.
- Grady, C. P., Daigger, G. T., and Lim, H. C. Biological Wastewater Treatment. New York : Marcel Dekker, 1999.
- Hartikainen, T., Ruuskanen, J., and Martikainen., P. J. Carbon disulfide and hydrogen sulfide removal with a peat biofilter. Journal of the Air & Waste Management Association. 51 (2001) : 387 – 392.
- Leson, M. C., and Winer, A. M. Biofiltration an innovation air pollution control technology for VOC emission. Journal of the Air & Waste Management Association. 41 (1991) : 1045 – 1054.
- Lith, C. V., Leson, G., and Michelsen, R. Evaluation design option for biofilters. Journal of the Air & Waste Management Association. 47 (1997) : 37 – 48.
- McCabe, W., and Smith, C. Unit operations of Chemical Engineering. New York : McGraw Hill, 1967.
- Occupational Safety & Health Administration. The appropriate method for assessing hydrogen sulfide peak exposure levels [Online]. 1995. Available from : <http://www.osha.gov> [2005, June 8]

- Oyarzun, P., Arancibia, F., Canales, C., and Aroca, G. Biofiltration of high concentration of hydrogen sulphide using *Thiobacillus thioautotrophicus*. Process Biochemistry. 39 (2003) : 165 – 170.
- Rafson, H. J. Odor and VOC control handbook. New York : McGraw Hill, 1998.
- Schnelle, K., and Brown, C. Air pollution control technology handbook. New York : CRC Press, 2002.
- Seyed, A. S., and Siamak, E. Removal of hydrogen sulfide by the compost biofilter with sludge of leather industry. Resources conservation and recycling. 27 (1999) : 139 – 144.
- Sologar, V. S., Lu, Z., and Allen, D. G. Biofiltration of concentrated mixtures of hydrogen sulfide and methanol. Environmental Progress. 22 (2004) : 129 – 136.
- Walter, J., and Weber, J. Physicochemical Processes for Water Quality Control. New York : Wiley, 1972.
- Wani, A. H., Lau, A. K., and Branion, R. M. Biofiltration control of pulping odor hydrogen sulfide : performance macrokinetics and coexistence effect of organo – sulfur species. Journal of Chemical Technology & Biotechnology. 75 (1999) : 9 – 16.
- Ying, C. C., Chung, H., and Ching, P. T. Operation optimization of *thiobacillus thioautotrophicus* CH11 biofilter for hydrogen sulfide removal. Journal of Biotechnology. 52 (1996) : 31 – 38.
- U.S. Environmental Protection Agency. Hydrogen sulfide [Online]. 2004. Available from : <http://www.epa.gov> [2005, June 21]
- Zicari, M. Steven. Removal of Hydrogen sulfide from biogas using cow manure compost. Master's Thesis, Graduate school, Cornell University, 2003.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของวัสดุตัวกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติตัวกลาง

1) การหาความหนาแน่นของวัสดุ (JIS 1474 – 1976)

1. อบอุ่นอย่างให้แห้งที่ 110 องศาเซลเซียส ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
2. ชั่งกระบอกตวง (10 มิลลิลิตร) ละเอียดย 2 ตำแหน่งบันทึกเป็นน้ำหนัก X_0
3. ใส่ตัวอย่างในกระบอกจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับตัวอย่างในกระบอกตวงคงที่
4. ถ้าระดับที่คงที่ไม่เท่ากับ 10 มิลลิลิตร ให้ตัดตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวงแล้วกระแทกกันกระบอกตวงใหม่ จนกว่าที่จะได้ระดับคงที่เป็น 10 มิลลิเมตร
5. บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงเป็น X_1

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

2) การหาค่าความชื้นของวัสดุ (JIS 8812 – 1984)

1. อบอุ่นอย่างให้ละเอียดกว่า 60 เมช 0.246 มิลลิเมตร ทิ้งไว้สัมผัสอากาศ 10 ชั่วโมง
2. อบอุ่นซังสารพร้อมฝา 120 องศาเซลเซียส ทิ้งจนน้ำหนักคงที่ ทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิเคเตอร์
3. บันทึกน้ำหนักเป็น X_0
4. ชั่วตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ละเอียดย 4 ตำแหน่ง บันทึกน้ำหนักเป็น X_1
5. นำไปอบ 110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ (ประมาณ 3 ชั่วโมง)

6. บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างหลังอบแห้ง + น้ำหนักขวดและฝาเป็น X_2

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

3) การทดสอบหาค่าการกระจายขนาดของวัสดุ (ATSM C 136 – 92)

1. ชั่งน้ำหนักตะแกรงคัดขนาด เบอร์ 3/4, 1/2, 3/8, 4, 8, 16, 50, และ 100
2. นำตะแกรงมาเรียงซ้อนกันเป็นชุด แล้วทำการร่อน เป็นเวลา 10 นาที
3. ชั่งน้ำหนักที่ค้างอยู่ในตะแกรงแต่ละขนาด
4. หาเปอร์เซ็นต์ของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด
5. หาเปอร์เซ็นต์สะสมของวัสดุที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด

4) การทดสอบหาค่าพีเอช

1. นำสารละลาย 2 นอร์มัล โฟสเฟตเซียมคลอไรด์ปริมาณ 50 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่าง 10 กรัม ผสมลงในบีกเกอร์ที่เตรียมไว้
3. ใช้แท่งแก้วคนตัวอย่าง แล้วทิ้งไว้ประมาณ 1-2 นาที
4. ใช้เครื่องวัดพีเอช วัดค่าพีเอชของสารละลาย

5) การทดสอบค่าความพรุนของตัวกลาง

1. ใส่ตัวอย่างลงในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับในกระบอกตวงคงที่ ถ้าระดับที่คงที่ไม่เท่ากับปริมาตรที่ต้องการให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกกระบอกตวงใหม่ จนกว่าจะได้ระดับที่คงที่ตรงกับปริมาตรที่ต้องการ

2. บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงเป็น X_1

3. เติมน้ำลงในกระบอกตวงเพื่อให้น้ำเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในตัวกลาง โดยการกระแทกกันกระบอกตวง

4. เมื่อน้ำลงไปแทนที่ช่องว่างจนถึงปริมาตรที่ต้องการแล้วนำไปชั่งน้ำหนักเป็น X_2

$$\text{Porosity}(\%) = \frac{(X_2 - X_1)}{\rho_{\text{water}} \cdot \text{Volumn}} \times 100$$

6) การวิเคราะห์อินทรีย์วัตถุ

1. ชั่งตะกอน 1.00 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2. ใช้ปิเปตดูดโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมน้ำลงในขวดแล้วแกว่งให้ผสมเข้ากับตะกอน ในขั้นนี้ให้ทำแบลนด์ (blank) โดยเติมโพแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตรลงในขวดที่ไม่มีตะกอนด้วย

3. นำไปเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร ภายใต้ตู้ดูดควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวด และทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

4. เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วหยดเฟอโรอินดิเคเตอร์ลงไป 3-4 หยด แกว่งให้เข้ากัน

5. นำไปไทเทรตด้วย FAS (ควรวไทเทรตเบสลงก่อน) จนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) โดยสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกปริมาณ FAS ที่ใช้

7) วิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจน

1. การย่อย

- 1.1 ชั่งตะกอน 1.00 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่าง ขนาด 100 มิลลิลิตร
- 1.2 ตักสารเร่งปฏิกิริยาผสมใส่ลงไปประมาณ 1 กรัม
- 1.3 เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นจำนวน 3 มิลลิลิตร ภายใต้ตู้ดูดควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวด แล้วเขย่าให้ผสมกับตะกอน
- 1.4 นำไปย่อยด้วยเตาย่อยตัวอย่างโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 380 °ซ จนตัวอย่างเปลี่ยนเป็นสีเขียวอมฟ้า และตะกอนมีสีขาว

2. การกลั่น

- 2.1 จัดเครื่องกลั่นให้พร้อมจะใช้งาน และเติมน้ำกลั่นลงไปในตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนตะกอนละลาย
- 2.2 นำหลอดใส่เข้าเครื่องกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร
- 2.3 ตวงสารละลายกรดบอริกที่ผสมอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปวางตรงตำแหน่งที่รองรับแก๊สแอมโมเนียจากการกลั่น
- 2.4 กลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตร จึงหยุดและฉีดล้างปลายคอนเดนเซอร์ (condenser) ด้วยน้ำกลั่น

3. การไทเทรต

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

8) วิเคราะห์หาปริมาณฟอสฟอรัส

1. ชั่งตะกอน 1 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติก
2. เติม H_2SO_4 เข้มข้น 20-30 มิลลิลิตร
3. เติม KNO_3 2-4 กรัม ต้มจนหมดควันสีแดง จากนั้นทำให้เย็น
4. เติมน้ำ 150 มิลลิลิตร เขย่าให้รวมเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปกรองด้วยกระดาษเบอร์ 1
5. วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง visible spectrophotometer

9) วิเคราะห์หาปริมาณโพแทสเซียม

1. ชั่งตัวอย่าง 5-10 กรัม ใส่ด้วยกระเบื้อง
2. จากนั้นนำตัวอย่าง มาเผา จนกระทั่งน้ำหนักของกากตะกอนคงที่
3. นำตัวอย่างจากข้อ 2 มาถ่ายใส่บีกเกอร์ขนาด 300 มิลลิลิตร
4. เติม HCl 10 มล. และน้ำ 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปต้มเป็นเวลา 5 นาที
5. ทำให้เย็น จากนั้นปรับน้ำจนได้ปริมาตร 250 มิลลิลิตร
6. แล้วนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer, AAS)

10) วิเคราะห์หาปริมาณซัลเฟต

1. การสกัด

- 1.1 ชั่งดิน 3 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติกขนาด 50 มิลลิลิตร
- 1.2 สารละลายแคลเซียมเททราไฮโดรเจนฟอสเฟตไดออร์โทฟอสเฟตโมโนไฮดรต 0.01 โมลาร์ ลงไป 30 มิลลิลิตร
- 1.3 นำไปเขย่าบนเครื่องเขย่า 2 ชั่วโมง
- 1.4 นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงโดยใช้ความเร็ว 2,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที และดูดเฉพาะส่วนที่ใสไปใช้ หรือกรองผ่านกระดาษกรอง
- 1.5 ทำแบลนค์โดยใช้ 0.01 M $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \times \text{H}_2\text{O}$ ลงไป 30 มิลลิลิตร ไปเขย่าและกรองเหมือนตัวอย่าง

2. การทำให้เกิดตะกอนแขวนลอยและวัดความขุ่น

- 2.1 ปิเปตสารละลายมาตรฐานกำมะถัน 100 มิลลิลิตรต่อลิตร มา 0 1 2 4 และ 8 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 25 มิลลิลิตร
- 2.2 เติมน้ำยาป้องกันการละลาย และการตกตะกอนของแบเรียมซัลเฟตลงไป 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น
- 2.3 ดูดสารละลายในข้อ 1.4 และ แบลนค์มา 10 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 25 มิลลิลิตร โดยใช้น้ำกลั่น
- 2.4 เติมหงแบเรียมคลอไรด์ประมาณ 50 มิลลิกรัม ในสารละลายมาตรฐาน เขย่าประมาณ 10 ครั้ง และปล่อยให้ฟองอากาศลอยขึ้นสู่ผิวสารแขวนลอย วัดความขุ่นในรูปค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร ทำแบบเดียวกันทั้งในแบลนค์และตัวอย่าง

11) Dilution plate count

1. การทำความเจือจางของวัสดุหรือเชื้อที่จะตรวจนับ

- 1.1 ชั่งวัสดุ 11 กรัม ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะให้ความเจือจาง 1:100 เขย่าให้เข้ากันดีประมาณ 25 ครั้ง
- 1.2 ใช้ปิเปตดูเชื้อที่ทำเจือจาง 1:100 เพื่อทำความเจือจางที่จะนำมาใช้ กรณีการนับจำนวนแบคทีเรียมักใช้ความเจือจาง $1:10^4$ $1:10^5$ และ $1:10^6$ ตามลำดับ โดยปฏิบัติดังนี้
- 1.3 ดูดเชื้อที่ความเจือจาง 1:10 จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะให้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^3$ เขย่าให้เข้ากันดี

1.4 คุณเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^3$ จำนวน 11 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^4$ ขยำให้เข้ากันดี

1.5 คุณเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^3$ จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^5$ ขยำให้เข้ากันดี

1.6 คุณเชื้อที่ความเจือจาง $1:10^4$ จำนวน 1 มิลลิลิตร ใส่ลงใน Water blank 99 มิลลิลิตร จะได้ความเจือจางเท่ากับ $1:10^6$ ขยำให้เข้ากันดี

2. การเพาะอาหารและผสมเชื้อในงานเพาะเชื้อ

2.1 หลอมอาหาร Plate Count Agar แล้ววางไว้ให้เย็นลงประมาณ 45 องศาเซลเซียส

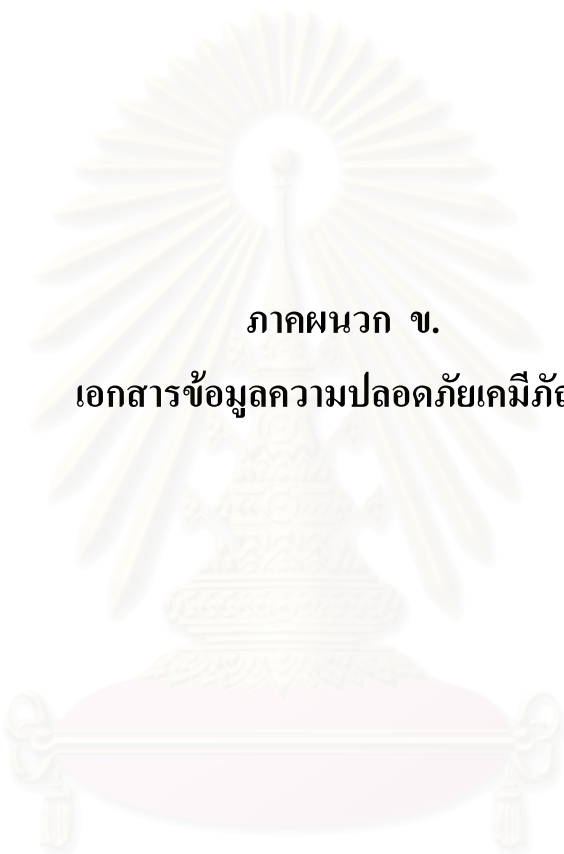
2.2 คุณเชื้อที่มีความเจือจาง $1:10^4$ $1:10^5$ และ $1:10^6$ ความเจือจางละ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเลี้ยงเชื้อ 2 จาน หรือคุณเชื้อที่มีความเจือจาง $1:10^3$ ปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อ 2 จาน และคุณเชื้อที่ระดับเจือจาง $1:10^5$ ปริมาณ 1 มิลลิลิตร จำนวน 2 จาน และปริมาณ 0.1 มิลลิลิตร อีก 2 จาน ซึ่งจะเป็นระดับความเจือจางที่ตรวจนับเป็น $1:10^4$ $1:10^5$ และ $1:10^6$ ตามลำดับ

2.3 เทอาหารจากข้อ 1. ลงในจานเพาะเชื้อทั้งหมดใน ข้อ 2. แล้วหมุนจานตามเข็มนาฬิกา 5 รอบ ทวนเข็มนาฬิกา 5 รอบ เคลื่อนจานขึ้นลง 5 ครั้ง และเคลื่อนจานไปซ้ายขวา 5 ครั้ง เพื่อให้เชื้อผสมและกระจายทั่วอาหารเลี้ยงเชื้อ วางไว้จนอาหารเย็นและอุ่นแข็งตัว

2.4 นำไปป่มโดยการกลับด้านล่างจานเพาะเชื้อไว้ข้างบน (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 จะเท่ากับจำนวนเฉลี่ยของโคโลนีที่นับได้ ต่อ 1 ความเจือจางต่อจาน



ภาคผนวก ข.
เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารข้อมูลความปลอดภัยเคมีภัณฑ์ (Material Safety Data Sheet)

1. การบ่งชี้เคมีภัณฑ์ (Chemical Identification)

ชื่อเคมีทั่วไป	: Hydrogen sulfide
ชื่อพ้องอื่นๆ	: Dihydrogen monosulfide; Dihydrogen sulfide; Hydrogen sulphide Hydrosulfuric acid; Sewer gas; Stink damp; Sulfur hydride; Sulfureted Hydrogen
สูตรโมเลกุล	: H ₂ S
CAS No.	: 7783 – 06 – 4

2. การใช้ประโยชน์

ใช้ในอุตสาหกรรมหล่อโลหะ และใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคในการเกษตร

3. ค่ามาตรฐาน/ความเป็นพิษ (Standard and Toxicity)

OSHA PEL	: Ceiling 20 ppm.; Peak 50 ppm. ระยะเวลาสัมผัส 10 นาที
ACGIH TLV	: TWA 10 ppm.; STEL 15 ppm.
IDLH	: 300 ppm.
LC ₅₀	: 444 ppm.

4. สมบัติทางกายภาพและเคมี (Physical and Chemical Properties)

สถานะ	: ก๊าซ
สี	: ไม่มีสี
กลิ่น	: คล้ายไข่เน่า
น้ำหนักโมเลกุล	: 34.08
จุดเดือด	: - 60.33 °C
จุดหลอมเหลว	: - 85.49 °C
ความถ่วงจำเพาะ	: 0.916 ที่ - 60.33 °C
ความดันไอ	: 20 ม.ม.ปรอท ที่ 25.5 °C
ความหนาแน่น	: 1.19
ไอสัมพัทธ์	

ความสามารถใน : 1 กรัม ละลายในน้ำ 242 มล. ที่ 20 °C
 การละลายน้ำ
 แฟลคเตอร์แปลงหน่วย : 1.39 มก. /ลบ.ม.

5. อันตรายต่อสุขภาพอนามัย (Health Effect)

- ผลกระทบต่อตา

เมื่อตาสัมผัสกับก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ที่มีความเข้มข้นต่ำๆ จะทำให้เกิดอาการระคายเคือง ในกรณีที่สัมผัสเป็นเวลานานๆ อาจจะทำให้เกิดอาการเยื่อตาอักเสบทำให้เกิดสายตาสั้นได้

- ผลกระทบต่อผิวหนัง

ทำให้เกิดอาการระคายเคืองบริเวณที่สัมผัส

- ผลกระทบต่อทางเดินอาหาร

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่บริเวณเยื่อบุจมูก จึงเป็นเหตุให้น้ำลายมีฤทธิ์เป็นกรด จึงทำให้เกิดอาการแสบร้อนบริเวณทางเดินอาหาร

- ผลกระทบต่อทางเดินหายใจ

ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ในกระแสเลือด และยังไปยับยั้งการทำงานของเซลล์ระบบทางเดินหายใจ ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้เกิดอาการปอดอักเสบและอาจทำให้ตายอย่างเฉียบพลัน กรณีที่ได้รับความเข้มข้นของก๊าซน้อยๆ (ประมาณ 15 – 50 สนล.) จะทำให้เกิดอาการปวดศีรษะ, วิงเวียนและอาเจียน ส่วนกรณีที่ได้รับความเข้มข้นสูงๆ (ประมาณ 200 – 300 สนล.) อาจจะเป็นผลให้ระบบทางเดินหายใจติดขัดและหมดสติในที่สุด เมื่อได้รับก๊าซที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 700 สนล. เป็นเวลามากกว่า 30 นาที อาจทำให้ถึงตายได้

6. ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา (Stability and Reaction)

- ความคงตัวทางเคมี : สารนี้มีความคงตัว
- สารที่เข้ากันไม่ได้ : กรดไนตริก หรือสารออกซิไดซ์อย่างแรง
- สารเคมีอันตรายที่เกิด : ออกไซด์ของซัลเฟอร์

จากการสลาย

- อันตรายจากปฏิกิริยา : จะไม่เกิดขึ้น

โพลีเมอร์

7. การเกิดอัคคีภัยและการระเบิด (Fire and Explosion)

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

เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์หนักกว่าอากาศ และอาจสะสมตัวในบริเวณพื้นที่ต่ำและอาจจะเคลื่อนตัวไปยังบริเวณที่มีเปลวไฟ จึงเป็นเหตุให้เกิดการลุกติดไฟขึ้นได้ ดังนั้นควรมีอุปกรณ์ดับเพลิงและควรมีอากาศไหลผ่านบริเวณที่ก๊าซอยู่อย่างต่อเนื่อง ทั้งยังควรมีระบบระบายอากาศด้วยเพื่อป้องกันการลุกติดไฟ ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

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

- เก็บในภาชนะบรรจุที่ทำจาก Carbon steel หรือ Stainless steel
- เก็บในบริเวณที่มีการระบายอากาศเพียงพอ, เย็น และแห้ง
- เก็บห่างจากแหล่งจุดติดไฟ
- ชื่อในการขนส่ง : Hydrogen sulfide
- ชื่อฉลากในการขนส่ง : Poison gas, Flammable gas
- รหัส UN : 1053

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

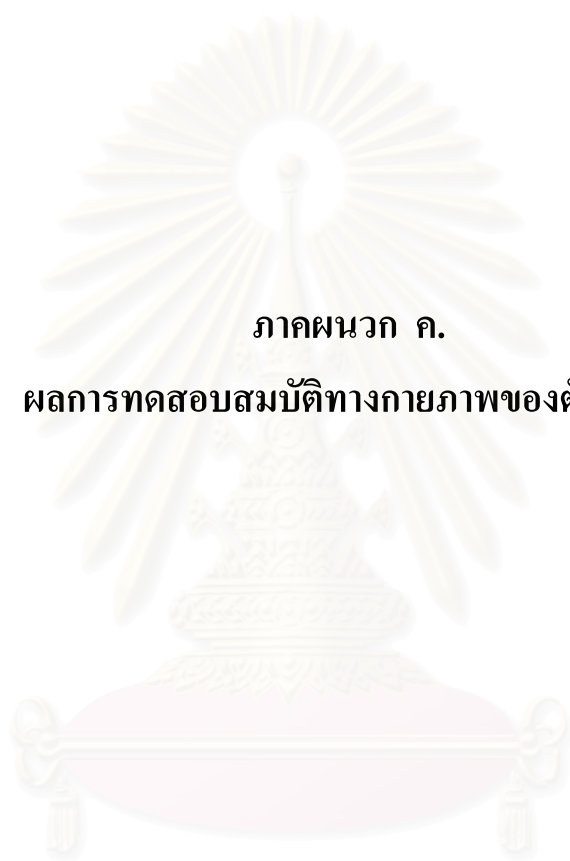
- การควบคุมด้านวิศวกรรม (Engineering control)
 - ใช้ระบบระบายอากาศเพื่อป้องกันการสะสมของก๊าซ ซึ่งอาจเป็นเหตุให้เกิดการลุกติดไฟและระเบิดขึ้นได้
- การป้องกันใบหน้าและดวงตา (Eye/Face protection)
 - ใช้แว่นตาป้องกันสารเคมีหรือหน้ากากป้องกันสารพิษแบบเต็มหน้าทุกครั้งเมื่อต้องสัมผัสกับก๊าซ
- การป้องกันผิวหนัง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

10. การปฐมพยาบาล (First Aid)

หายใจเข้าไป	ถ้าหายใจเข้าไปให้เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกสู่บริเวณที่มีอากาศบริสุทธิ์ ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจให้ช่วยผายปอด ถ้าหายใจลำบากใช้ออกซิเจนช่วยและนำส่งไปพบแพทย์
กินหรือกลืนเข้าไป	คล้ายวิธีหายใจเข้าไป
สัมผัสถูกผิวหนัง	ถ้าสัมผัสถูกผิวหนังให้ล้างออกด้วยน้ำและสบู่อย่างน้อย 15 นาที พร้อมกับถอดเสื้อผ้าและรองเท้าที่เปื้อนสารเคมีออก นำส่งไปพบแพทย์
สัมผัสถูกตา	ถ้าสัมผัสถูกตา ให้ฉีดล้างตาทันทีด้วยน้ำปริมาณมากอย่างน้อย 15 นาที นำส่งไปพบแพทย์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

ผลการทดสอบสมรรถนะทางกายภาพของตัวกลาง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.1 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นของตัวกลาง

วัสดุ	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ค่าเฉลี่ย (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)		
ปุ๋ยหมัก	52.5600	57.9100	0.5350	52.5600	58.7700	0.6210	52.5600	59.0400	0.6400	0.6013	0.06
ดินขุยไผ่	52.5600	63.9900	1.1430	52.5600	64.1500	1.1590	52.5600	64.0500	1.1490	1.1503	0.01
หินภูเขาไฟ	52.5600	61.7800	0.9220	52.5600	61.2100	0.8650	52.5600	61.1900	0.8630	0.8833	0.03
ถ่านกัมมันต์	52.5600	58.6700	0.6110	52.5600	59.0800	0.6520	52.5600	58.9800	0.6420	0.6350	0.02
ตะกอนจุลินทรีย์	52.5600	58.8400	0.6280	52.5600	58.9800	0.6420	52.5600	58.1900	0.5630	0.6110	0.04
ปุ๋ยคอก	52.5600	54.4800	0.1920	52.5600	54.3300	0.1770	52.5600	54.2600	0.1700	0.1797	0.01
กาบมะพร้าว	52.5600	53.1800	0.0620	52.5600	53.0900	0.0530	52.5600	53.0800	0.0520	0.0557	0.01

ก.2 ผลการทดสอบหาความพรุนของตัวกลาง

วัสดุ	ครั้งที่ 1			ครั้งที่ 2			ครั้งที่ 3			ค่าเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	X ₁ (g)	X ₂ (g)	P (%)	X ₁ (g)	X ₂ (g)	P (%)	X ₁ (g)	X ₂ (g)	P (%)		
ปุยหมัก	40.7437	45.2222	44.79	39.8214	45.2679	54.47	40.1245	45.2111	50.87	50.04	4.89
ดินขุยไผ่	44.5976	50.5635	59.66	44.8790	51.2093	63.30	44.6329	51.1080	64.75	62.57	2.62
หินภูเขาไฟ	42.7601	48.3429	55.83	43.2002	49.4948	62.95	42.9774	48.8713	58.94	59.24	3.57
ถ่านกัมมันต์	39.5959	44.6572	50.61	39.8808	44.9148	50.34	39.9009	44.7989	48.98	49.98	0.87
ตะกอนจุลินทรีย์	42.1275	44.4300	23.03	41.8958	44.7127	28.17	41.9943	44.8047	28.10	26.43	2.95
ปุยคอก	34.5898	42.1167	75.27	34.7203	42.7516	80.31	34.5010	42.1201	76.19	77.26	2.69
กาบมะพร้าว	33.6195	42.0608	84.41	33.8205	42.1785	83.58	33.8500	42.1189	82.69	83.56	0.86

ก.3 ผลการทดสอบหาความชื้นของตัวกลาง

วัสดุ	ครั้งที่ 1				ครั้งที่ 2				ครั้งที่ 3				ค่าเฉลี่ย (%)	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
	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	81.2364	82.2327	81.9341	29.97	75.7768	76.7771	76.4742	30.28	80.9750	81.9789	81.6815	29.65	29.97	0.31
ดินขุยไผ่	79.4355	80.4367	80.3843	5.23	81.2359	82.2314	82.1824	4.92	67.9400	68.9476	68.8568	9.01	6.39	2.28
หินภูเขาไฟ	70.2199	71.2360	71.2332	0.28	74.0885	75.0849	75.0784	0.62	76.4172	77.4190	77.4071	1.19	0.71	0.46
ถ่านกัมมันต์	79.1905	80.1930	80.0898	10.29	79.1587	80.1540	80.5064	9.81	72.4814	73.4850	73.3797	10.49	10.20	0.35
ตะกอน จุลินทรีย์	72.4231	73.4352	72.5928	83.23	76.3957	77.3989	76.5559	84.03	72.4775	73.4709	72.6801	79.61	82.29	2.36
ปุ๋ยคอก	67.9327	68.9437	68.8853	5.78	77.0983	78.0970	78.0383	5.88	81.2260	82.2215	82.1638	5.80	5.82	0.05
กาบมะพร้าว	72.9656	73.9652	73.8802	8.50	75.7742	76.7741	76.6832	9.09	79.4443	80.4459	80.3690	7.68	8.42	0.71

ค.4 ผลการทดสอบความเป็นกรด – ค่า่าง

ประเภทวัสดุ	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ปุ๋ยหมัก	8.10	8.15	8.11	8.12	0.026
ดินขุยไผ่	7.86	7.79	7.80	7.82	0.038
หินภูเขาไฟ	6.82	6.82	6.81	6.82	0.006
ถ่านกัมมันต์	9.36	9.04	9.22	9.21	0.160
ตะกอนจุลินทรีย์	7.64	7.63	7.64	7.64	0.006
ปุ๋ยคอก	8.14	8.15	8.17	8.15	0.015
กากมะพร้าว	7.07	7.05	7.08	7.07	0.015

ค.5 ผลการทดสอบขนาดคละของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก

เบอร์ ตะแกรง	ขนาด ตะแกรง (มม.)	นน. ตะแกรง (กรัม)	นน.ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	นน. ดินที่ค้ำ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ค้ำ (%)	เปอร์เซ็นต์ ค้ำสะสม (%)	เปอร์เซ็นต์ ผ่านสะสม (%)
3/8'	9.510	630.0	630.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No.4	4.760	590.4	621.1	30.7	9.8	9.8	90.2
No.8	2.380	530.2	567.0	36.8	11.7	21.5	78.5
No.16	1.190	474.8	506.8	32.0	10.2	31.7	68.3
No.30	0.595	458.0	488.2	30.2	9.6	41.4	58.6
No.50	0.297	420.5	450.0	29.5	9.4	50.8	49.2
No.100	0.149	316.3	346.3	30.0	9.6	60.4	39.6
PAN		280.2	404.3	124.3	39.6	100.0	0.0
				313.5	100.0		

ค.6 ผลการทดสอบขนาดคละของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่

เบอร์ ตะแกรง	ขนาด ตะแกรง (มม.)	นน. ตะแกรง (กรัม)	นน.ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	นน. ดินที่ค้ำ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ค้ำ (%)	เปอร์เซ็นต์ ค้ำสะสม (%)	เปอร์เซ็นต์ ผ่านสะสม (%)
3/8'	9.510	630.0	630.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No.4	4.760	590.4	653.2	62.8	19.8	19.8	80.2
No.8	2.380	530.2	609.8	79.6	25.1	44.8	55.2
No.16	1.190	474.8	547.1	72.3	22.8	67.6	32.4
No.30	0.595	458.0	517.1	59.1	18.6	86.2	13.8
No.50	0.297	420.5	450.9	30.4	9.6	95.8	4.2
No.100	0.149	316.3	325.8	9.5	3.0	98.8	1.2
PAN		280.2	284.1	3.9	1.2	100.0	0.0
				317.6	100.0		

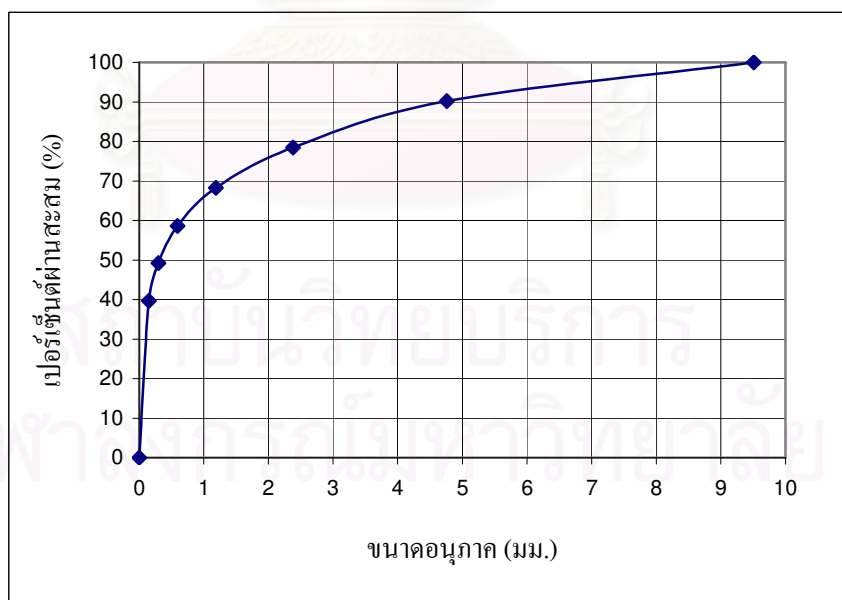
ค.7 ผลการทดสอบขนาดคละของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ

เบอร์ ตะแกรง	ขนาด ตะแกรง (มม.)	นน. ตะแกรง (กรัม)	นน.ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	นน. ดินที่ค้ำ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ค้ำ (%)	เปอร์เซ็นต์ ค้ำสะสม (%)	เปอร์เซ็นต์ ผ่านสะสม (%)
3/8'	9.510	630.0	648.3	18.3	5.8	5.8	94.2
No.4	4.760	590.4	718.3	127.9	40.5	46.3	53.7
No.8	2.380	530.2	605.8	75.6	23.9	70.2	29.8
No.16	1.190	474.8	523.4	48.6	15.4	85.6	14.4
No.30	0.595	458.0	478.7	20.7	6.6	92.1	7.9
No.50	0.297	420.5	438.0	17.5	5.5	97.7	2.3
No.100	0.149	316.3	321.6	5.3	1.7	99.3	0.7
PAN		280.2	282.3	2.1	0.7	100.0	0.0
				316.0	100.0		

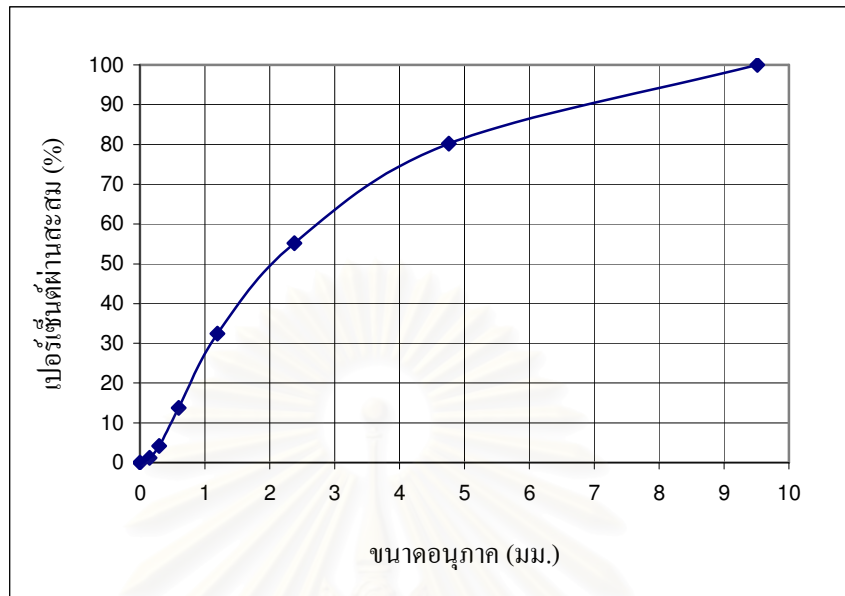
ค.8 ผลการทดสอบขนาดคละของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์

เบอร์ ตะแกรง	ขนาด ตะแกรง (มม.)	นน. ตะแกรง (กรัม)	นน.ค้ำ ตะแกรง (กรัม)	นน. ดินที่ค้ำ (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ ค้ำ (%)	เปอร์เซ็นต์ ค้ำสะสม (%)	เปอร์เซ็นต์ ผ่านสะสม (%)
3/8'	9.510	630.0	630.0	0.0	0.0	0.0	100.0
No.4	4.760	590.4	590.4	0.0	0.0	0.0	100.0
No.8	2.380	530.2	642.0	111.8	35.1	35.1	64.9
No.16	1.190	474.8	572.0	97.2	30.5	65.5	34.5
No.30	0.595	458.0	521.0	63.0	19.8	85.3	14.7
No.50	0.297	420.5	453.9	33.4	10.5	95.8	4.2
No.100	0.149	316.3	324.7	8.4	2.6	98.4	1.6
PAN		280.2	285.3	5.1	1.6	100.0	0.0
				318.9	100.0		

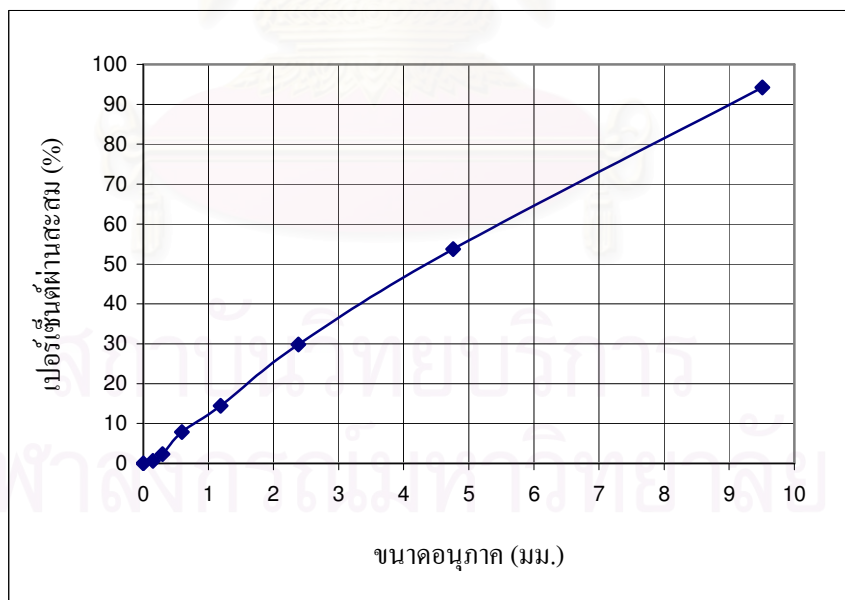
รูปที่ ค.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านสะสมและขนาดอนุภาคของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก



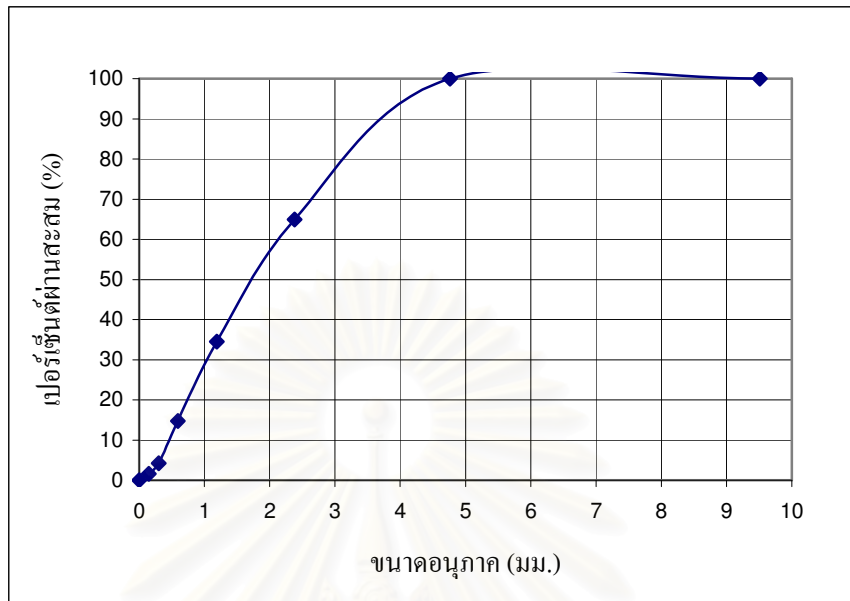
รูปที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะกอมและขนาดอนุภาคของตัวกลาง
ประเภทดินขุยไผ่



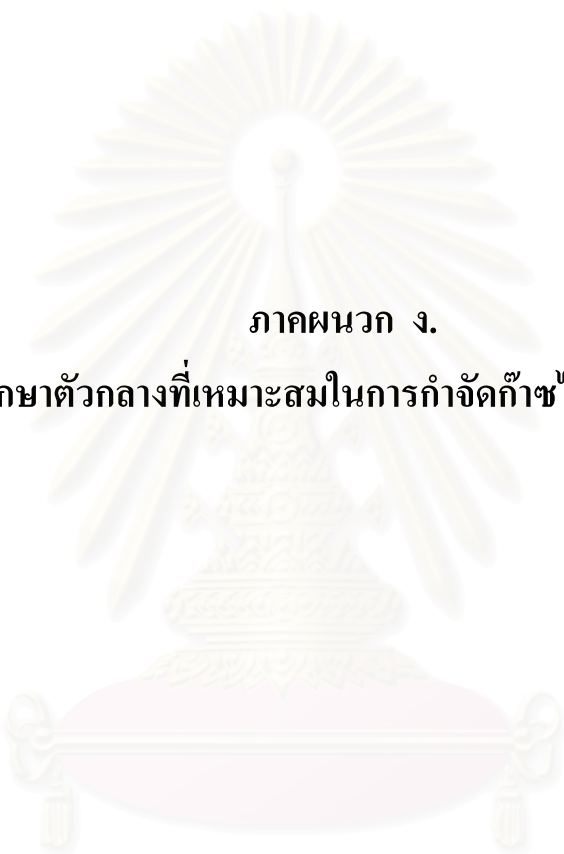
รูปที่ ก.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะกอมและขนาดอนุภาคของตัวกลาง
ประเภทหินภูเขาไฟ



รูปที่ ค.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงและขนาดอนุภาคของตัวกลาง
ประเภทถ่านกัมมันต์



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง.

ผลการศึกษาดั๊กกลางที่เหมาะสมในการกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
46	7/02/49	4.58	45	144.0	16.15	34.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	75.8	99.0	100.0	100.0	100.0	100.0
47	8/02/49	4.58	45	124.0	13.91	28.6	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	76.9	96.1	100.0	100.0	100.0	100.0
48	9/02/49	4.58	45	138.0	15.48	38.9	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	61.5	96.9	100.0	100.0	100.0	100.0
49	10/02/49	4.58	45	109.0	12.23	29.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	72.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
50	14/02/49	4.58	45	101.0	11.33	30.2	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	78.1	98.7	100.0	100.0	100.0	100.0
51	15/02/49	2.74	75	202.0	13.55	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
52	16/02/49	2.74	75	196.0	13.15	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
53	17/02/49	2.74	75	188.0	12.62	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
54	20/02/49	2.74	75	226.0	15.17	7.4	1.5	0.2	0.0	0.0	0.0	96.7	99.3	99.9	100.0	100.0	100.0
55	21/02/49	2.74	75	211.0	14.16	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
56	22/02/49	3.43	60	197.0	16.55	22.0	6.3	3.1	1.0	0.9	0.0	88.8	96.8	98.4	99.5	99.5	100.0
57	23/02/49	3.43	60	231.0	19.40	18.6	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	91.9	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0
58	24/02/49	3.43	60	247.0	20.75	16.5	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	93.3	98.2	99.3	100.0	100.0	100.0
59	27/02/49	3.43	60	204.0	17.14	20.5	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	90.0	98.3	100.0	100.0	100.0	100.0
60	28/02/49	3.43	60	213.0	17.89	16.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	92.5	98.7	100.0	100.0	100.0	100.0

ง.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
61	1/03/49	4.58	45	210.0	23.55	78.4	7.8	1.2	0.0	0.0	0.0	62.7	96.3	99.4	100.0	100.0	100.0
62	2/03/49	4.58	45	226.0	25.35	62.3	8.7	4.6	1.2	0.0	0.0	72.4	96.2	98.0	99.5	100.0	100.0
63	3/03/49	4.58	45	209.0	23.44	65.7	3.4	0.7	0.0	0.0	0.0	68.6	98.4	99.7	100.0	100.0	100.0
64	6/03/49	4.58	45	201.0	22.54	68.5	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	71.3	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0
65	7/03/49	4.58	45	239.0	26.81	75.4	5.6	1.8	1.1	0.3	0.0	62.5	97.2	99.1	99.5	99.9	100.0
66	8/03/49	2.74	75	312.0	20.94	23.7	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	92.4	98.9	100.0	100.0	100.0	100.0
67	9/03/49	2.74	75	336.0	22.55	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
68	10/03/49	2.74	75	354.0	23.75	18.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	94.7	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0
69	13/03/49	2.74	75	341.0	22.88	26.9	5.4	0.3	0.0	0.0	0.0	92.1	98.4	99.9	100.0	100.0	100.0
70	14/03/49	2.74	75	328.0	22.01	20.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	93.8	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0
71	15/03/49	3.43	60	305.0	25.62	51.2	5.5	3.8	0.3	0.0	0.0	83.2	98.2	98.8	99.9	100.0	100.0
72	16/03/49	3.43	60	326.0	27.38	47.4	1.9	1.1	0.0	0.0	0.0	85.	99.4	99.7	100.0	100.0	100.0
73	17/03/49	3.43	60	317.0	26.63	48.9	8.7	3.5	1.7	0.8	0.0	84.6	97.3	98.9	99.5	99.7	100.0
74	18/03/49	3.43	60	309.0	25.96	58.6	11.5	5.7	0.9	0.0	0.0	81.0	96.3	98.2	99.7	100.0	100.0
75	20/03/49	3.43	60	314.0	26.38	46.8	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	85.1	99.2	100.0	100.0	100.0	100.0

ง.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
76	21/03/49	4.58	45	362.0	40.60	165.0	22.8	3.3	1.1	0.9	0.3	54.4	93.7	99.1	99.7	99.8	99.9
77	22/03/49	4.58	45	320.0	35.89	135.0	30.5	2.6	0.0	0.0	0.0	57.8	90.5	99.2	100.0	100.0	100.0
78	23/03/49	4.58	45	308.0	34.55	142.0	48.3	0.6	0.0	0.0	0.0	53.9	84.3	99.8	100.0	100.0	100.0
79	24/03/49	4.58	45	312.0	34.99	175.0	38.4	2.2	1.1	0.3	0.0	43.9	97.7	99.3	99.6	99.9	100.0
80	25/03/49	4.58	45	328.0	36.79	163.0	16.5	4.7	0.0	0.0	0.0	50.3	95.0	98.6	100.0	100.0	100.0

ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
31	17/01/49	4.58	45	55.9	6.27	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	95.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
32	18/01/49	4.58	45	61.8	6.93	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
33	19/01/49	4.58	45	49.7	5.57	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
34	20/01/49	4.58	45	53.8	6.03	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
35	23/01/49	4.58	45	60.9	6.83	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
36	24/01/49	2.74	75	119.0	7.99	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
37	25/01/49	2.74	75	140.0	9.39	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
38	26/01/49	2.74	75	109.0	7.31	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
39	27/01/49	2.74	75	111.0	7.45	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
40	30/01/49	2.74	75	104.0	6.98	7.8	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	92.5	96.5	100.0	100.0	100.0	100.0
41	31/01/49	3.43	60	102.0	8.57	4.3	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	95.8	98.5	100.0	100.0	100.0	100.0
42	1/02/49	3.43	60	109.0	9.16	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
43	2/02/49	3.43	60	120.0	10.08	0.5	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	99.6	99.3	99.8	100.0	100.0	100.0
44	3/02/49	3.43	60	136.0	11.42	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
45	6/02/49	3.43	60	130.0	10.92	2.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	98.0	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0

ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
46	7/02/49	4.58	45	143.0	16.04	46.3	29.3	11.5	2.8	0.0	0.0	67.6	79.5	92.0	98.0	100.0	100.0
47	8/02/49	4.58	45	130.0	14.58	38.7	20.5	3.2	1.2	0.0	0.0	70.2	84.2	97.5	99.1	100.0	100.0
48	9/02/49	4.58	45	140.0	15.70	30.5	9.4	4.6	0.0	0.0	0.0	78.2	93.3	96.7	100.0	100.0	100.0
49	10/02/49	4.58	45	105.0	11.78	35.8	14.7	2.8	1.6	0.8	0.0	65.9	86.0	97.3	98.5	99.2	100.0
50	14/02/49	4.58	45	104.0	11.66	40.8	31.2	17.8	1.4	0.0	0.0	60.8	70.0	82.9	98.7	100.0	100.0
51	15/02/49	2.74	75	206.0	13.82	19.2	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	90.7	97.7	100.0	100.0	100.0	100.0
52	16/02/49	2.74	75	200.0	13.42	16.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
53	17/02/49	2.74	75	190.0	12.75	14.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
54	20/02/49	2.74	75	230.0	15.43	18.8	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	91.8	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0
55	21/02/49	2.74	75	210.0	14.09	12.8	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	93.9	99.0	100.0	100.0	100.0	100.0
56	22/02/49	3.43	60	200.0	16.80	48.2	3.3	1.2	0.0	0.0	0.0	75.9	98.4	99.4	100.0	100.0	100.0
57	23/02/49	3.43	60	229.0	19.24	35.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	84.7	99.9	100.0	100.0	100.0	100.0
58	24/02/49	3.43	60	240.0	20.16	26.8	4.7	0.5	0.0	0.0	0.0	88.8	98.0	100.0	100.0	100.0	100.0
59	27/02/49	3.43	60	200.0	16.80	39.2	8.8	2.1	0.6	0.0	0.0	80.4	95.6	99.0	99.7	100.0	100.0
60	28/02/49	3.43	60	216.0	18.14	30.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	85.8	99.4	100.0	100.0	100.0	100.0

ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
61	1/03/49	4.58	45	200.0	22.43	87.0	30.5	5.1	0.0	0.0	0.0	56.5	84.8	97.5	100.0	100.0	100.0
62	2/03/49	4.58	45	220.0	24.68	74.0	35.3	18.7	1.6	0.0	0.0	66.4	84.0	91.5	99.3	100.0	100.0
63	3/03/49	4.58	45	210.0	23.55	76.0	18.7	5.7	0.0	0.0	0.0	63.8	91.1	97.3	100.0	100.0	100.0
64	6/03/49	4.58	45	201.0	22.54	81.2	37.6	4.7	0.8	0.0	0.0	59.6	81.3	97.7	99.6	100.0	100.0
65	7/03/49	4.58	45	240.0	26.92	60.8	13.3	0.0	0.0	0.0	0.0	74.7	94.5	100.0	100.0	100.0	100.0
66	8/03/49	2.74	75	312.0	20.94	40.8	6.6	2.6	0.0	0.0	0.0	86.9	97.9	99.2	100.0	100.0	100.0
67	9/03/49	2.74	75	328.0	22.01	35.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
68	10/03/49	2.74	75	348.0	23.35	31.6	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	90.9	98.8	100.0	100.0	100.0	100.0
69	13/03/49	2.74	75	341.0	22.88	38.7	16.0	2.9	2.1	1.6	1.2	88.7	95.3	99.1	99.4	99.5	99.6
70	14/03/49	2.74	75	324.0	21.74	30.5	2.8	1.3	0.0	0.0	0.0	90.6	99.1	99.6	100.0	100.0	100.0
71	15/03/49	3.43	60	310.0	26.04	86.5	25.8	14.2	6.8	1.7	0.0	72.1	91.7	95.4	97.8	99.5	100.0
72	16/03/49	3.43	60	328.0	27.55	62.0	17.4	4.7	0.0	0.0	0.0	81.1	94.7	98.6	100.0	100.0	100.0
73	17/03/49	3.43	60	316.0	26.54	58.5	19.3	10.5	6.3	1.4	1.1	81.5	93.9	96.7	98.0	99.6	99.7
74	18/03/49	3.43	60	310.0	26.04	69.7	34.1	10.0	2.9	1.4	0.0	77.5	89.0	96.8	99.1	99.5	100.0
75	20/03/49	3.43	60	314.0	26.38	52.5	15.4	6.3	0.0	0.0	0.0	83.3	95.1	98.0	100.0	100.0	100.0

ง.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
76	21/03/49	4.58	45	350.0	39.26	205.0	60.5	37.8	12.6	8.0	4.2	41.4	82.7	89.2	96.4	97.7	98.8
77	22/03/49	4.58	45	318.0	35.67	185.0	57.1	34.8	5.7	0.0	0.0	41.8	82.0	89.1	98.2	100.0	100.0
78	23/03/49	4.58	45	319.0	35.78	167.0	44.8	40.2	3.7	1.8	0.0	47.6	86.0	87.4	98.8	99.4	100.0
79	24/03/49	4.58	45	310.0	34.77	188.0	74.8	44.1	20.5	8.0	3.5	39.4	75.9	85.8	93.4	97.4	98.9
80	25/03/49	4.58	45	328.0	36.79	174.0	48.7	13.9	4.5	0.0	0.0	47.0	85.2	95.8	98.6	100.0	100.0

ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
1	27/11/48	2.29	90	54.4	3.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	28/11/48	2.29	90	56.8	3.19	3.1	2.1	1.4	1.2	1.2	1.0	94.5	96.3	97.5	97.9	97.9	98.2
3	29/11/48	2.29	90	51.1	2.87	7.1	6.2	5.5	4.7	3.4	2.5	86.1	87.9	89.2	90.8	93.3	95.1
4	30/11/48	2.29	90	52.0	2.92	11.1	10.9	10.6	10.2	5.5	0.5	78.7	79.0	79.6	80.4	89.4	99.0
5	1/12/48	2.29	90	47.3	2.65	2.1	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0	95.6	95.6	99.6	100.0	100.0	100.0
6	2/12/48	2.29	90	45.0	2.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
7	6/12/48	2.29	90	56.7	3.18	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
8	7/12/48	2.29	90	48.4	2.71	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9	8/12/48	2.29	90	60.8	3.41	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10	9/12/48	2.29	90	61.2	3.43	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
11	13/12/48	2.29	90	47.8	2.68	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12	14/12/48	2.29	90	45.0	2.52	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
13	15/12/48	2.29	90	46.9	2.63	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
14	16/12/48	2.29	90	52.0	2.92	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
15	20/12/48	2.29	90	50.4	2.83	2.1	2.1	2.1	1.8	1.1	0.7	95.8	95.8	95.8	96.4	97.8	98.6

ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
16	21/12/48	2.29	90	52.5	2.94	5.8	4.9	4.3	3.7	2.1	0.5	89.0	90.7	91.8	93.0	96.0	99.0
17	22/12/48	2.29	90	43.8	2.46	4.0	3.2	1.3	1.2	1.1	0.5	90.9	92.7	97.0	97.3	97.5	98.9
18	23/12/48	2.29	90	46.1	2.59	2.5	1.6	1.6	1.2	1.1	0.8	94.6	96.5	96.5	97.4	97.6	98.3
19	26/12/48	2.29	90	63.8	3.58	0.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	99.4	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0
20	27/12/48	2.29	90	66.4	3.72	32.7	21.4	10.8	8.2	6.9	0.8	50.8	67.8	83.7	87.7	89.6	98.8
21	28/12/48	2.74	75	60.3	4.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
22	4/01/49	2.74	75	51.3	3.44	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
23	5/01/49	2.74	75	50.6	3.40	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
24	6/01/49	2.74	75	59.4	3.99	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
25	9/01/49	2.74	75	57.7	3.87	32.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	44.5	99.7	100.0	100.0	100.0	100.0
26	10/01/49	3.43	60	54.1	4.54	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
27	11/01/49	3.43	60	49.9	4.19	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
28	12/01/49	3.43	60	59.1	4.96	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
29	13/01/49	3.43	60	60.0	5.04	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
30	16/01/49	3.43	60	48.6	4.08	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	94.4	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
31	17/01/49	4.58	45	55.9	6.27	12.3	8.7	2.6	0.0	0.0	0.0	78.0	84.4	95.3	100.0	100.0	100.0
32	18/01/49	4.58	45	61.3	6.88	5.6	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	90.9	97.6	100.0	100.0	100.0	100.0
33	19/01/49	4.58	45	48.9	5.48	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
34	20/01/49	4.58	45	52.7	5.91	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	96.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
35	23/01/49	4.58	45	60.9	6.83	4.4	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	92.8	98.9	100.0	100.0	100.0	100.0
36	24/01/49	2.74	75	112.0	7.52	27.8	1.6	0.3	0.0	0.0	0.0	75.2	98.6	99.7	100.0	100.0	100.0
37	25/01/49	2.74	75	148.0	9.93	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	82.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
38	26/01/49	2.74	75	106.0	7.11	22.5	4.8	1.9	1.1	0.0	0.0	78.8	95.5	98.2	99.0	100.0	100.0
39	27/01/49	2.74	75	110.0	7.38	26.4	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	76.0	97.8	100.0	100.0	100.0	100.0
40	30/01/49	2.74	75	109.0	7.31	27.6	6.2	1.7	0.5	0.0	0.0	74.7	94.3	98.4	99.5	100.0	100.0
41	31/01/49	3.43	60	101.0	8.48	43.4	12.0	3.0	0.0	0.0	0.0	57.0	88.1	97.0	100.0	100.0	100.0
42	1/02/49	3.43	60	106.0	8.90	38.4	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	63.8	94.6	100.0	100.0	100.0	100.0
43	2/02/49	3.43	60	128.0	10.75	30.5	1.7	0.0	0.0	0.0	0.0	76.2	98.7	100.0	100.0	100.0	100.0
44	3/02/49	3.43	60	134.0	11.26	32.3	4.7	1.9	0.0	0.0	0.0	75.9	96.5	98.6	100.0	100.0	100.0
45	6/02/49	3.43	60	126.0	10.58	38.0	15.0	9.9	4.8	2.3	2.0	69.8	88.1	92.1	96.2	98.2	98.4

ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
46	7/02/49	4.58	45	144.0	16.15	52.8	17.5	3.7	0.0	0.0	0.0	63.3	87.8	97.4	100.0	100.0	100.0
47	8/02/49	4.58	45	124.0	13.91	47.5	12.5	0.7	0.0	0.0	0.0	61.7	89.9	99.4	100.0	100.0	100.0
48	9/02/49	4.58	45	138.0	15.48	46.8	14.6	2.4	1.7	0.0	0.0	66.1	89.4	98.3	98.8	100.0	100.0
49	10/02/49	4.58	45	114.0	12.79	41.7	13.6	2.8	0.0	0.0	0.0	63.4	88.1	97.5	100.0	100.0	100.0
50	14/02/49	4.58	45	108.0	12.11	49.6	20.5	6.5	1.7	0.3	0.0	54.1	81.0	94.0	98.4	99.7	100.0
51	15/02/49	2.74	75	202.0	13.55	58.6	17.3	1.9	0.0	0.0	0.0	71.0	91.4	99.1	100.0	100.0	100.0
52	16/02/49	2.74	75	196.0	13.15	45.8	10.6	0.0	0.0	0.0	0.0	76.6	94.6	100.0	100.0	100.0	100.0
53	17/02/49	2.74	75	198.0	13.29	43.8	11.4	3.6	0.0	0.0	0.0	77.9	94.2	98.2	100.0	100.0	100.0
54	20/02/49	2.74	75	226.0	15.17	37.7	14.6	6.8	0.9	0.0	0.0	83.3	93.5	97.0	99.6	100.0	100.0
55	21/02/49	2.74	75	211.0	14.16	43.1	10.9	5.9	0.0	0.0	0.0	79.6	94.8	97.2	100.0	100.0	100.0
56	22/02/49	3.43	60	200.0	16.80	86.4	20.1	11.0	6.6	3.0	0.0	56.8	90.0	94.5	96.7	98.5	100.0
57	23/02/49	3.43	60	231.0	19.40	80.6	18.8	14.9	5.9	0.0	0.0	65.1	91.9	93.5	97.4	100.0	100.0
58	24/02/49	3.43	60	240.0	20.16	74.6	10.9	9.8	6.4	1.9	0.0	68.9	95.9	95.9	97.3	99.2	100.0
59	27/02/49	3.43	60	207.0	17.39	96.4	51.8	33.9	17.0	0.9	0.0	53.4	75.0	83.6	91.8	99.6	100.0
60	28/02/49	3.43	60	212.0	17.81	87.8	15.9	5.6	0.0	0.0	0.0	58.6	92.5	97.4	100.0	100.0	100.0

ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
61	1/03/49	4.58	45	210.0	23.55	125.0	55.7	50.0	27.4	0.9	0.0	40.5	73.5	76.2	87.0	99.6	100.0
62	2/03/49	4.58	45	226.0	25.35	101.0	32.0	24.1	0.0	0.0	0.0	55.3	85.8	89.3	100.0	100.0	100.0
63	3/03/49	4.58	45	209.0	23.44	96.3	19.0	12.9	0.2	0.0	0.0	53.9	90.9	93.8	99.9	100.0	100.0
64	6/03/49	4.58	45	201.0	22.54	147.0	60.7	51.1	38.6	18.7	5.3	26.9	69.8	74.6	80.8	90.7	97.4
65	7/03/49	4.58	45	234.0	26.25	119.0	39.3	16.7	2.1	0.0	0.0	49.1	83.2	92.9	99.1	100.0	100.0
66	8/03/49	2.74	75	310.0	20.80	95.3	22.5	11.8	5.8	0.9	0.0	69.3	92.7	96.2	98.1	99.7	100.0
67	9/03/49	2.74	75	336.0	22.55	89.7	19.2	2.0	0.7	0.0	0.0	73.3	94.3	99.4	99.8	100.0	100.0
68	10/03/49	2.74	75	354.0	23.75	73.5	18.9	4.7	2.4	1.8	0.9	79.2	94.7	98.7	99.3	99.5	99.7
69	13/03/49	2.74	75	341.0	22.88	97.0	49.5	40.7	28.5	13.8	7.5	71.6	85.5	88.1	91.6	96.0	97.8
70	14/03/49	2.74	75	328.0	22.01	83.2	37.6	13.8	5.9	0.0	0.0	74.6	88.5	95.8	98.2	100.0	100.0
71	15/03/49	3.43	60	305.0	25.62	181.0	50.8	40.0	24.6	9.8	0.0	40.7	83.3	86.9	91.9	96.8	100.0
72	16/03/49	3.43	60	320.0	26.88	171.0	31.4	24.4	17.0	0.0	0.0	46.6	90.2	92.4	94.7	100.0	100.0
73	17/03/49	3.43	60	317.0	26.63	162.0	40.0	13.0	0.0	0.0	0.0	48.9	87.4	95.9	100.0	100.0	100.0
74	18/03/49	3.43	60	309.0	25.96	172.0	58.6	50.0	38.7	16.0	9.6	44.3	81.0	83.8	87.5	94.8	96.9
75	20/03/49	3.43	60	314.0	26.38	154.0	41.4	26.4	19.0	5.6	3.8	51.0	86.8	91.6	93.9	98.2	98.8

ง.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
76	21/03/49	4.58	45	350.0	39.26	250.0	75.3	59.7	45.9	21.5	8.8	28.6	78.5	82.9	86.9	93.9	97.5
77	22/03/49	4.58	45	320.0	35.89	242.0	66.0	63.8	33.5	7.8	6.7	24.4	79.4	80.1	89.5	97.6	97.9
78	23/03/49	4.58	45	308.0	34.55	239.0	50.8	48.6	20.9	14.2	6.6	22.4	83.5	84.2	93.2	95.4	97.9
79	24/03/49	4.58	45	316.0	35.44	264.0	89.6	78.2	46.3	32.1	18.0	16.5	71.6	75.3	85.3	89.8	94.3
80	25/03/49	4.58	45	320.0	35.89	247.0	72.6	60.7	37.0	19.5	3.3	22.8	77.3	81.0	88.4	93.9	99.0

ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
1	27/11/48	2.29	90	54.7	3.07	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	28/11/48	2.29	90	55.5	3.11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3	29/11/48	2.29	90	50.7	2.84	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.7	93.3	98.0	100.0	100.0	100.0
4	30/11/48	2.29	90	52.0	2.92	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.3	96.2	100.0	100.0	100.0	100.0
5	1/12/48	2.29	90	50.1	2.81	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.8	92.2	95.4	100.0	100.0	100.0
6	2/12/48	2.29	90	48.2	2.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
7	6/12/48	2.29	90	50.0	2.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
8	7/12/48	2.29	90	54.4	3.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
9	8/12/48	2.29	90	58.9	3.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
10	9/12/48	2.29	90	59.5	3.34	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
11	13/12/48	2.29	90	48.7	2.73	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
12	14/12/48	2.29	90	47.2	2.65	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
13	15/12/48	2.29	90	48.7	2.73	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
14	16/12/48	2.29	90	55.5	3.11	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
15	20/12/48	2.29	90	48.5	2.72	3.7	3.5	3.5	3.1	2.3	1.6	92.4	92.8	92.8	93.6	95.3	96.7

ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
31	17/01/49	4.58	45	55.1	6.18	12.6	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	77.1	92.9	100.0	100.0	100.0	100.0
32	18/01/49	4.58	45	60.9	6.83	11.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.6	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
33	19/01/49	4.58	45	48.9	5.48	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	80.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
34	20/01/49	4.58	45	51.4	5.77	5.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	89.1	98.6	100.0	100.0	100.0	100.0
35	23/01/49	4.58	45	61.1	6.85	11.9	4.9	2.8	1.8	0.0	0.0	80.5	92.0	95.4	97.1	100.0	100.0
36	24/01/49	2.74	75	112.0	7.52	3.8	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	96.6	99.5	100.0	100.0	100.0	100.0
37	25/01/49	2.74	75	147.0	9.86	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
38	26/01/49	2.74	75	104.0	6.98	0.9	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	99.1	99.6	100.0	100.0	100.0	100.0
39	27/01/49	2.74	75	110.0	7.38	4.9	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	95.5	97.5	100.0	100.0	100.0	100.0
40	30/01/49	2.74	75	109.0	7.31	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	99.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
41	31/01/49	3.43	60	101.0	8.48	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
42	1/02/49	3.43	60	106.0	8.90	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
43	2/02/49	3.43	60	124.0	10.42	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
44	3/02/49	3.43	60	133.0	11.17	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
45	6/02/49	3.43	60	126.0	10.58	3.9	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	98.5	100.0	100.0	100.0	100.0

ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
46	7/02/49	4.58	45	144.0	16.15	47.9	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	66.9	93.8	100.0	100.0	100.0	100.0
47	8/02/49	4.58	45	124.0	13.91	39.4	2.2	1.6	0.0	0.0	0.0	68.2	98.2	98.7	100.0	100.0	100.0
48	9/02/49	4.58	45	138.0	15.48	34.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	99.2	100.0	100.0	100.0	100.0
49	10/02/49	4.58	45	110.0	12.34	31.8	3.7	1.7	0.0	0.0	0.0	71.1	96.6	98.5	100.0	100.0	100.0
50	14/02/49	4.58	45	101.0	11.33	43.7	3.9	0.8	0.0	0.0	0.0	56.7	96.1	99.2	100.0	100.0	100.0
51	15/02/49	2.74	75	202.0	13.55	6.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	96.9	99.3	100.0	100.0	100.0	100.0
52	16/02/49	2.74	75	200.0	13.42	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	97.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
53	17/02/49	2.74	75	188.0	12.62	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
54	20/02/49	2.74	75	226.0	15.17	4.6	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	98.0	99.2	100.0	100.0	100.0	100.0
55	21/02/49	2.74	75	211.0	14.16	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	98.2	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
56	22/02/49	3.43	60	197.0	16.55	56.1	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	71.5	98.1	100.0	100.0	100.0	100.0
57	23/02/49	3.43	60	231.0	19.40	42.7	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	81.5	99.2	100.0	100.0	100.0	100.0
58	24/02/49	3.43	60	247.0	20.75	49.6	2.4	1.9	0.0	0.0	0.0	79.9	99.0	99.2	100.0	100.0	100.0
59	27/02/49	3.43	60	210.0	17.64	61.7	5.6	1.9	0.0	0.0	0.0	70.6	97.3	99.1	100.0	100.0	100.0
60	28/02/49	3.43	60	213.0	17.89	49.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	76.7	99.8	100.0	100.0	100.0	100.0

ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
61	1/03/49	4.58	45	210.0	23.55	94.6	6.5	1.3	0.0	0.0	0.0	55.0	96.9	99.4	100.0	100.0	100.0
62	2/03/49	4.58	45	226.0	25.35	87.4	2.8	1.1	0.0	0.0	0.0	61.3	98.8	99.5	100.0	100.0	100.0
63	3/03/49	4.58	45	209.0	23.44	81.5	3.2	0.8	0.0	0.0	0.0	61.0	98.5	99.6	100.0	100.0	100.0
64	6/03/49	4.58	45	201.0	22.54	91.5	16.7	5.7	0.0	0.0	0.0	54.5	91.7	97.2	100.0	100.0	100.0
65	7/03/49	4.58	45	239.0	26.81	83.9	10.7	2.9	1.9	0.0	0.0	64.9	95.5	98.8	99.2	100.0	100.0
66	8/03/49	2.74	75	312.0	20.94	43.4	13.1	0.0	0.0	0.0	0.0	86.1	95.8	100.0	100.0	100.0	100.0
67	9/03/49	2.74	75	336.0	22.55	37.4	9.7	2.5	0.6	0.0	0.0	88.9	97.1	99.3	99.8	100.0	100.0
68	10/03/49	2.74	75	350.0	23.49	29.5	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.6	98.9	100.0	100.0	100.0	100.0
69	13/03/49	2.74	75	341.0	22.88	31.7	10.0	6.7	2.8	0.0	0.0	90.7	97.1	98.0	99.2	100.0	100.0
70	14/03/49	2.74	75	328.0	22.01	23.3	3.8	1.4	0.0	0.0	0.0	92.9	98.8	99.6	100.0	100.0	100.0
71	15/03/49	3.43	60	305.0	25.62	104.6	19.8	4.7	0.0	0.0	0.0	65.7	93.5	98.5	100.0	100.0	100.0
72	16/03/49	3.43	60	326.0	27.38	82.3	11.6	2.4	0.6	0.0	0.0	74.8	96.4	99.3	99.8	100.0	100.0
73	17/03/49	3.43	60	320.0	26.88	80.1	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	75.0	98.3	100.0	100.0	100.0	100.0
74	18/03/49	3.43	60	309.0	25.96	94.8	19.6	1.1	0.0	0.0	0.0	69.3	93.7	99.6	100.0	100.0	100.0
75	20/03/49	3.43	60	314.0	26.38	89.4	6.5	1.3	0.0	0.0	0.0	71.5	97.9	99.6	100.0	100.0	100.0

ง.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
76	21/03/49	4.58	45	362.0	40.60	168.0	31.6	3.9	2.3	0.0	0.0	53.6	91.3	98.9	99.4	100.0	100.0
77	22/03/49	4.58	45	320.0	35.89	157.0	23.7	0.0	0.0	0.0	0.0	50.9	92.6	100.0	100.0	100.0	100.0
78	23/03/49	4.58	45	309.0	34.66	146.0	18.6	7.6	0.0	0.0	0.0	52.8	94.0	97.5	100.0	100.0	100.0
79	24/03/49	4.58	45	308.0	34.55	196.0	32.7	10.9	0.8	0.0	0.0	36.4	89.4	96.5	99.7	100.0	100.0
80	25/03/49	4.58	45	320.0	35.89	174.0	25.8	3.5	1.6	0.0	0.0	45.6	91.9	98.9	99.5	100.0	100.0

ง.5 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
1	27/11/48	2.29	90	54.70	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.46	3.07	18.46	3.07
2	28/11/48	2.29	90	55.50	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.73	3.11	18.73	3.11
3	29/11/48	2.29	90	50.40	0.07	4.20	0.01	1.10	0.00	17.01	2.83	15.59	2.76
4	30/11/48	2.29	90	51.60	0.07	5.90	0.01	0.50	0.00	17.41	2.89	15.42	2.87
5	1/12/48	2.29	90	49.80	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.81	2.79	16.81	2.79
6	2/12/48	2.29	90	45.40	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	15.32	2.55	15.32	2.55
7	6/12/48	2.29	90	55.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.59	3.09	18.59	3.09
8	7/12/48	2.29	90	50.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.87	2.80	16.87	2.80
9	8/12/48	2.29	90	59.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	19.91	3.31	19.91	3.31
10	9/12/48	2.29	90	60.20	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	20.32	3.38	20.32	3.38
11	13/12/48	2.29	90	46.40	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	15.66	2.60	15.66	2.60
12	14/12/48	2.29	90	43.80	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	14.78	2.46	14.78	2.46
13	15/12/48	2.29	90	49.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.84	2.80	16.84	2.80
14	16/12/48	2.29	90	56.30	0.08	1.60	0.00	0.00	0.00	19.00	3.16	19.00	3.16
15	20/12/48	2.29	90	54.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.22	3.03	18.22	3.03

ง.5 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
16	21/12/48	2.29	90	54.70	0.08	1.60	0.00	0.00	0.00	18346	3.07	17.92	3.07
17	22/12/48	2.29	90	49.70	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	46.77	2.79	16.77	2.79
18	23/12/48	2.29	90	44.80	0.06	0.40	0.00	0.00	0.00	15.12	2.51	14.98	2.51
19	26/12/48	2.29	90	63.80	0.09	1.20	0.00	0.00	0.00	21.53	3.58	21.13	3.58
20	27/12/48	2.29	90	64.20	0.09	1.90	0.00	0.90	0.00	21.67	3.60	21.02	3.55
21	28/12/48	2.74	75	58.90	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	23.78	3.95	23.78	3.95
22	4/01/49	2.74	75	49.30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	19.91	3.31	19.91	3.31
23	5/01/49	2.74	75	51.10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	20.63	3.43	20.63	3.43
24	6/01/49	2.74	75	59.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	23.99	3.99	23.99	3.99
25	9/01/49	2.74	75	60.30	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	24.35	4.05	24.35	4.05
26	10/01/49	3.43	60	57.60	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	29.12	4.84	29.12	4.84
27	11/01/49	3.43	60	51.30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	25.93	4.31	25.93	4.31
28	12/01/49	3.43	60	50.10	0.07	1.80	0.00	0.00	0.00	25.32	4.21	24.41	4.21
29	13/01/49	3.43	60	57.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	29.01	4.82	29.01	4.82
30	16/01/49	3.43	60	46.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	23.71	3.94	23.71	3.94

ง.5 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
31	17/01/49	4.58	45	4.58	55.10	0.08	0.00	0.00	0.00	37.19	6.18	37.19	3.18
32	18/01/49	4.58	45	4.58	60.80	0.09	0.00	0.00	0.00	41.04	6.82	41.04	6.82
33	19/01/49	4.58	45	4.58	48.90	0.07	0.00	0.00	0.00	33.00	5.48	33.00	5.48
34	20/01/49	4.58	45	4.58	51.40	0.07	2.40	0.00	0.00	34.69	5.77	33.07	5.77
35	23/01/49	4.58	45	4.58	61.10	0.09	3.80	0.01	0.00	41.24	6.85	38.67	6.85
36	24/01/49	2.74	75	2.74	111.00	0.16	1.90	0.00	0.00	44.82	7.45	44.05	7.45
37	25/01/49	2.74	75	2.74	147.00	0.21	0.00	0.00	0.00	59.36	9.86	59.36	9.86
38	26/01/49	2.74	75	2.74	104.00	0.15	0.00	0.00	0.00	41.99	6.98	41.99	6.98
39	27/01/49	2.74	75	2.74	110.00	0.15	0.00	0.00	0.00	44.42	7.38	44.42	7.38
40	30/01/49	2.74	75	2.74	109.00	0.15	2.60	0.00	0.00	44.01	7.31	42.96	7.31
41	31/01/49	3.43	60	3.43	101.00	0.14	2.30	0.00	0.00	51.05	8.48	49.89	8.48
42	1/02/49	3.43	60	3.43	106.00	0.15	0.00	0.00	0.00	53.58	8.90	53.58	8.90
43	2/02/49	3.43	60	3.43	124.00	0.17	3.50	0.00	0.00	62.68	10.42	60.91	10.42
44	3/02/49	3.43	60	3.43	133.00	0.19	0.00	0.00	0.00	67.23	11.17	67.23	11.17
45	6/02/49	3.43	60	3.43	126.00	0.18	0.00	0.00	0.00	63.69	10.58	63.69	10.58

ง.5 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
46	7/02/49	4.58	45	144.00	0.20	34.80	0.05	0.00	0.00	97.19	16.15	73.70	16.15
47	8/02/49	4.58	45	124.00	0.17	28.60	0.04	0.00	0.00	83.69	13.91	64.39	13.91
48	9/02/49	4.58	45	138.00	0.19	30.20	0.04	0.00	0.00	93.14	15.48	72.76	15.48
49	10/02/49	4.58	45	109.00	0.15	29.60	0.04	0.00	0.00	73.57	12.23	53.59	12.23
50	14/02/49	4.58	45	101.00	0.14	38.90	0.05	0.00	0.00	68.17	11.33	41.91	11.33
51	15/02/49	2.74	75	202.00	0.28	5.70	0.01	0.00	0.00	81.57	13.55	79.26	13.55
52	16/02/49	2.74	75	196.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	79.14	13.15	79.14	13.15
53	17/02/49	2.74	75	188.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	75.91	12.62	75.91	12.62
54	20/02/49	2.74	75	226.00	0.32	7.40	0.01	0.00	0.00	91.26	15.17	88.27	15.17
55	21/02/49	2.74	75	211.00	0.30	1.20	0.00	0.00	0.00	85.20	14.16	84.72	14.16
56	22/02/49	3.43	60	197.00	0.28	22.00	0.03	0.00	0.00	99.58	16.55	88.46	16.55
57	23/02/49	3.43	60	231.00	0.32	18.60	0.03	0.00	0.00	116.76	19.40	107.36	19.40
58	24/02/49	3.43	60	247.00	0.35	16.50	0.02	0.00	0.00	124.85	20.75	116.51	20.75
59	27/02/49	3.43	60	204.00	0.29	20.50	0.03	0.00	0.00	103.12	17.14	92.75	17.14
60	28/02/49	3.43	60	213.00	0.30	16.00	0.02	0.00	0.00	107.67	17.89	99.58	17.89

ง.5 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
61	1/03/49	4.58	45	210.00	0.29	78.40	0.11	0.00	0.00	141.74	23.55	88.82	23.55
62	2/03/49	4.58	45	226.00	0.32	62.30	0.09	0.00	0.00	152.54	25.35	110.49	25.35
63	3/03/49	4.58	45	209.00	0.29	65.70	0.09	0.00	0.00	141.06	23.44	96.72	23.44
64	6/03/49	4.58	45	201.00	0.28	75.40	0.11	0.00	0.00	135.66	22.54	84.77	22.54
65	7/03/49	4.58	45	239.00	0.33	68.50	0.10	0.00	0.00	161.31	26.81	115.08	26.81
66	8/03/49	2.74	75	312.00	0.44	23.70	0.03	0.00	0.00	125.98	10.94	116.41	20.94
67	9/03/49	2.74	75	336.00	0.47	13.50	0.02	0.00	0.00	135.67	22.55	130.22	22.55
68	10/03/49	2.74	75	354.00	0.50	18.70	0.03	0.00	0.00	142.94	23.75	135.39	23.75
69	13/03/49	2.74	75	341.00	0.48	26.90	0.04	0.00	0.00	137.69	22.88	126.83	22.88
70	14/03/49	2.74	75	328.00	0.46	20.50	0.03	0.00	0.00	132.44	22.01	124.17	22.01
71	15/03/49	3.43	60	305.00	0.43	51.20	0.07	0.00	0.00	154.17	25.62	128.29	25.62
72	16/03/49	3.43	60	326.00	0.46	47.40	0.07	0.00	0.00	164.78	27.38	140.82	27.38
73	17/03/49	3.43	60	317.00	0.44	48.90	0.07	0.00	0.00	160.24	26.63	135.52	26.63
74	18/03/49	3.43	60	309.00	0.43	58.60	0.08	0.00	0.00	156.19	25.96	126.57	25.96
75	20/03/49	3.43	60	314.00	0.44	46.80	0.07	0.00	0.00	158.72	26.38	135.06	26.38

ง.5 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
76	21/03/49	4.58	45	362.00	0.51	165.00	0.23	0.30	0.00	244.33	40.60	132.96	40.57
77	22/03/49	4.58	45	320.00	0.45	135.00	0.19	0.00	0.00	215.98	35.89	124.87	35.89
78	23/03/49	4.58	45	308.00	0.43	142.00	0.20	0.00	0.00	207.88	34.55	112.04	34.55
79	24/03/49	4.58	45	312.00	0.44	175.00	0.25	0.00	0.00	210.58	34.99	92.47	34.99
80	25/03/49	4.58	45	328.00	0.46	163.00	0.23	0.00	0.00	221.38	36.79	111.37	36.79

ง.6 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทคินูไซไฟ

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
1	27/11/48	2.29	90	54.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.22	3.03	18.22	3.03
2	28/11/48	2.29	90	56.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.93	3.15	18.93	3.15
3	29/11/48	2.29	90	52.30	0.07	3.40	0.00	0.00	0.00	17.65	2.93	16.50	2.93
4	30/11/48	2.29	90	51.10	0.07	9.70	0.01	1.60	0.00	17.24	2.87	13.97	2.78
5	1/12/48	2.29	90	50.50	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	17.04	2.83	17.04	2.83
6	2/12/48	2.29	90	48.10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.23	2.70	16.23	2.70
7	6/12/48	2.29	90	53.30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	17.99	2.99	17.99	2.99
8	7/12/48	2.29	90	49.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.84	2.80	16.84	2.80
9	8/12/48	2.29	90	60.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	20.25	3.36	20.25	3.36
10	9/12/48	2.29	90	58.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	19.71	3.28	19.71	3.28
11	13/12/48	2.29	90	48.20	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.27	2.70	16.27	2.70
12	14/12/48	2.29	90	44.70	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	15.09	2.51	15.09	2.51
13	15/12/48	2.29	90	48.30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.30	2.71	16.30	2.71
14	16/12/48	2.29	90	53.20	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	17.95	2.98	17.95	2.98
15	20/12/48	2.29	90	53.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	17.89	2.97	17.89	2.97

ง.6 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทคินูไซไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
16	21/12/48	2.29	90	54.80	0.08	5.30	0.01	0.80	0.00	18.49	3.07	16.70	3.03
17	22/12/48	2.29	90	43.50	0.06	0.10	0.00	0.00	0.00	14.68	2.44	14.65	2.44
18	23/12/48	2.29	90	45.10	0.06	0.60	0.00	0.00	0.00	15.22	2.53	15.02	2.53
19	26/12/48	2.29	90	59.90	0.08	0.90	0.00	0.00	0.00	20.21	3.36	19.91	3.36
20	27/12/48	2.29	90	60.80	0.09	6.50	0.01	0.20	0.00	20.52	3.41	18.32	3.40
21	28/12/48	2.74	75	60.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	24.39	4.05	24.39	4.05
22	4/01/49	2.74	75	50.10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	20.23	3.36	20.23	3.36
23	5/01/49	2.74	75	53.60	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	21.64	3.60	21.64	3.60
24	6/01/49	2.74	75	56.30	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	22.73	3.78	22.73	3.78
25	9/01/49	2.74	75	66.40	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	26.81	4.46	26.81	4.46
26	10/01/49	3.43	60	59.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	30.03	4.99	30.03	4.99
27	11/01/49	3.43	60	51.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	26.23	4.36	26.23	4.36
28	12/01/49	3.43	60	50.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	25.27	4.20	25.27	4.20
29	13/01/49	3.43	60	56.80	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	28.71	4.77	28.71	4.77
30	16/01/49	3.43	60	49.50	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	25.02	4.16	25.02	4.16

ง.6 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทคินูไซไฟด์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
31	17/01/49	4.58	45	55.90	0.08	2.30	0.00	0.00	0.00	37.73	6.27	36.18	6.27
32	18/01/49	4.58	45	61.80	0.09	1.80	0.00	0.00	0.00	41.71	6.93	40.50	6.93
33	19/01/49	4.58	45	49.70	0.07	0.50	0.00	0.00	0.00	33.54	5.57	33.21	5.57
34	20/01/49	4.58	45	53.80	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	36.31	6.03	36.31	6.03
35	23/01/49	4.58	45	60.90	0.09	2.30	0.00	0.00	0.00	41.10	6.83	39.55	6.83
36	24/01/49	2.74	75	119.00	0.17	2.10	0.00	0.00	0.00	48.05	7.99	47.20	7.99
37	25/01/49	2.74	75	140.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	56.53	9.39	56.53	9.39
38	26/01/49	2.74	75	109.00	0.15	1.50	0.00	0.00	0.00	44.01	7.31	43.41	7.31
39	27/01/49	2.74	75	111.00	0.16	2.40	0.00	0.00	0.00	44.82	7.45	43.85	7.45
40	30/01/49	2.74	75	104.00	0.15	7.80	0.01	0.00	0.00	41.99	6.98	38.84	6.98
41	31/01/49	3.43	60	102.00	0.14	4.30	0.01	0.00	0.00	51.56	8.57	49.38	8.57
42	1/02/49	3.43	60	109.00	0.15	2.30	0.00	0.00	0.00	55.10	9.16	53.93	9.16
43	2/02/49	3.43	60	120.00	0.17	0.50	0.00	0.00	0.00	60.66	10.08	60.40	10.08
44	3/02/49	3.43	60	136.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	68.74	11.42	68.74	11.42
45	6/02/49	3.43	60	130.00	0.18	2.60	0.00	0.00	0.00	65.71	10.92	64.40	10.92

ง.6 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทคินูไซไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
46	7/02/49	4.58	45	143.00	0.20	46.30	0.06	0.00	0.00	96.52	16.04	65.27	16.04
47	8/02/49	4.58	45	130.00	0.18	38.70	0.05	0.00	0.00	87.74	14.58	61.62	14.58
48	9/02/49	4.58	45	140.00	0.20	30.50	0.04	0.00	0.00	94.49	15.70	73.91	15.70
49	10/02/49	4.58	45	105.00	0.15	35.80	0.05	0.00	0.00	70.87	11.78	46.71	11.78
50	14/02/49	4.58	45	104.00	0.15	40.80	0.06	0.00	0.00	70.19	11.66	42.66	11.66
51	15/02/49	2.74	75	206.00	0.29	19.20	0.03	0.00	0.00	83.18	13.82	75.43	13.82
52	16/02/49	2.74	75	200.00	0.28	16.70	0.02	0.00	0.00	80.76	13.42	74.01	13.42
53	17/02/49	2.74	75	190.00	0.27	14.40	0.02	0.00	0.00	76.72	12.75	70.91	12.75
54	20/02/49	2.74	75	230.00	0.32	18.80	0.03	0.00	0.00	92.87	15.43	85.28	15.43
55	21/02/49	2.74	75	210.00	0.29	12.80	0.02	0.00	0.00	84.80	14.09	76.63	14.09
56	22/02/49	3.43	60	200.00	0.28	48.20	0.07	0.00	0.00	101.09	16.80	76.73	16.80
57	23/02/49	3.43	60	229.00	0.32	35.00	0.05	0.00	0.00	115.75	19.24	98.06	19.24
58	24/02/49	3.43	60	240.00	0.34	26.80	0.04	0.00	0.00	121.31	20.16	107.77	20.16
59	27/02/49	3.43	60	200.00	0.28	39.20	0.05	0.00	0.00	101.09	16.80	81.28	16.80
60	28/02/49	3.43	60	216.00	0.30	30.70	0.04	0.00	0.00	109.18	18.14	93.66	18.14

ง.6 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทคินูไซไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
61	1/03/49	4.58	45	200.00	0.28	87.00	0.12	0.00	0.00	134.99	22.43	76.27	22.43
62	2/03/49	4.58	45	220.00	0.31	74.00	0.10	0.00	0.00	148.49	24.68	98.54	24.68
63	3/03/49	4.58	45	210.00	0.29	76.00	0.11	0.00	0.00	141.74	23.55	90.44	23.55
64	6/03/49	4.58	45	201.00	0.28	81.20	0.11	0.00	0.00	135.66	22.54	80.86	22.54
65	7/03/49	4.58	45	240.00	0.34	60.80	0.09	0.00	0.00	161.99	26.92	120.95	26.92
66	8/03/49	2.74	75	312.00	0.44	40.80	0.06	0.00	0.00	125.98	20.94	109.51	20.94
67	9/03/49	2.74	75	328.00	0.46	35.50	0.05	0.00	0.00	132.44	22.01	118.11	22.01
68	10/03/49	2.74	75	348.00	0.49	31.60	0.04	0.0	0.00	140.52	23.35	127.76	23.35
69	13/03/49	2.74	75	341.00	0.48	38.70	0.05	1.20	0.00	137.69	22.88	122.07	22.80
70	14/03/49	2.74	75	324.00	0.45	30.50	0.04	0.00	0.00	130.83	21.74	118.51	21.74
71	15/03/49	3.43	60	310.00	0.43	86.50	0.12	0.00	0.00	156.70	26.04	112.97	26.04
72	16/03/49	3.43	60	328.00	0.46	62.00	0.09	0.00	0.00	165.80	27.55	134.46	27.55
73	17/03/49	3.43	60	316.00	0.44	58.50	0.08	1.10	0.00	159.73	26.54	130.16	26.45
74	18/03/49	3.43	60	310.00	0.43	69.70	0.10	0.00	0.00	156.70	26.04	121.47	26.04
75	20/03/49	3.43	60	314.00	0.44	52.50	0.07	0.00	0.00	158.72	26.38	132.18	26.38

ง.6 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทคินูยไฝ่ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
76	21/03/49	4.58	45	350.00	0.49	205.00	0.29	4.20	0.01	236.23	39.26	97.87	38.79
77	22/03/49	4.58	45	318.00	0.45	185.00	0.26	0.00	0.00	214.63	35.67	89.77	35.67
78	23/03/49	4.58	45	319.00	0.45	167.00	0.23	0.00	0.00	215.31	35.78	102.59	35.78
79	24/03/49	4.58	45	310.00	0.13	188.00	0.26	3.50	0.00	209.23	34.77	82.34	34.38
80	25/03/49	4.58	45	328.00	0.46	174.00	0.24	0.00	0.00	221.38	36.79	103.94	36.79

ง.7 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
1	27/11/48	2.29	90	54.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.36	3.05	18.36	3.05
2	28/11/48	2.29	90	56.80	0.08	3.10	0.00	1.00	0.00	19.17	3.19	18.12	3.13
3	29/11/48	2.29	90	51.10	0.07	7.10	0.01	2.50	0.00	17.24	2.87	14.85	2.73
4	30/11/48	2.29	90	52.00	0.07	11.10	0.02	0.50	0.00	17.55	2.92	13.80	2.89
5	1/12/48	2.29	90	47.30	0.07	2.10	0.00	0.00	0.00	15.96	2.65	15.25	2.65
6	2/12/48	2.29	90	45.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	15.19	2.52	15.19	2.52
7	6/12/48	2.29	90	56.70	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	19.13	3.18	19.13	3.18
8	7/12/48	2.29	90	48.40	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.33	2.71	16.33	2.71
9	8/12/48	2.29	90	60.80	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	20.52	3.41	20.52	3.41
10	9/12/48	2.29	90	61.20	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	20.65	3.43	20.65	3.43
11	13/12/48	2.29	90	47.80	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.13	2.68	16.13	2.68
12	14/12/48	2.29	90	45.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	15.19	2.52	15.19	2.52
13	15/12/48	2.29	90	46.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	15.83	2.63	15.83	2.63
14	16/12/48	2.29	90	52.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	17.55	2.92	17.55	2.92
15	20/12/48	2.29	90	50.40	0.07	2.10	0.00	0.70	0.00	17.01	2.83	16.30	2.79

ง.7 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
16	21/12/48	2.29	90	52.50	0.07	5.80	0.01	0.50	0.00	17.72	2.94	15.76	2.92
17	22/12/48	2.29	90	43.80	0.06	4.00	0.01	0.50	0.00	14.78	2.46	13.43	2.43
18	23/12/48	2.29	90	46.10	0.06	2.50	0.00	0.80	0.00	15.56	2.59	14.71	2.54
19	26/12/48	2.29	90	63.80	0.09	0.40	0.00	0.00	0.00	21.53	3.58	21.40	3.58
20	27/12/48	2.29	90	66.40	0.09	32.70	0.05	0.80	0.00	22.41	3.72	11.37	3.68
21	28/12/48	2.74	75	60.30	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	24.35	4.05	24.35	4.05
22	4/01/49	2.74	75	51.30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	20.71	3.44	20.71	3.44
23	5/01/49	2.74	75	50.60	0.07	1.40	0.00	0.00	0.00	20.43	3.40	19.87	3.40
24	6/01/49	2.74	75	59.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	23.99	3.99	23.99	3.99
25	9/01/49	2.74	75	57.70	0.08	32.00	0.04	0.00	0.00	23.30	3.87	10.38	3.87
26	10/01/49	3.43	60	54.10	0.08	1.80	0.00	0.00	0.00	27.35	4.54	26.44	4.54
27	11/01/49	3.43	60	49.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	25.22	4.19	25.22	1.19
28	12/01/49	3.43	60	59.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	29.87	4.96	29.87	4.96
29	13/01/49	3.43	60	60.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	30.33	5.04	30.33	5.04
30	16/01/49	3.43	60	48.60	0.07	2.70	0.00	0.00	0.00	24.57	4.08	23.20	4.08

ง.7 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
31	17/01/49	4.58	45	55.90	0.08	12.30	0.02	0.00	0.00	37.73	6.27	29.43	6.27
32	18/01/49	4.58	45	61.30	0.09	5.60	0.01	0.00	0.00	41.37	6.88	37.59	6.88
33	19/01/49	4.58	45	48.90	0.07	3.50	0.00	0.00	0.00	33.00	5.48	30.64	5.48
34	20/01/49	4.58	45	52.70	0.07	.1.70	0.00	0.00	0.00	35.57	5.91	34.42	5.91
35	23/01/49	4.58	45	60.90	0.09	4.40	0.01	0.00	0.00	41.10	6.83	38.13	6.83
36	24/01/49	2.74	75	112.00	0.16	27.80	0.04	0.00	0.00	45.22	7.52	34.00	7.52
37	25/01/49	2.74	75	148.00	0.21	25.70	0.04	0.00	0.00	59.76	9.93	49.38	9.93
38	26/01/49	2.74	75	106.00	0.15	22.50	0.03	0.00	0.00	42.80	7.11	33.72	7.11
39	27/01/49	2.74	75	110.00	0.15	26.40	0.04	0.00	0.00	44.42	7.38	33.76	7.38
40	30/01/49	2.74	75	109.00	0.15	27.60	0.04	0.00	0.00	44.01	7.31	32.87	7.31
41	31/01/49	3.43	60	101.00	0.14	43.40	0.06	0.00	0.00	51.05	8.48	29.12	8.48
42	1/02/49	3.43	60	106.00	0.15	38.40	0.05	0.00	0.00	53.58	8.90	34.17	8.90
43	2/02/49	3.43	60	128.00	0.18	30.50	0.04	0.00	0.00	64.70	10.75	49.28	10.75
44	3/02/49	3.43	60	134.00	0.19	32.30	0.05	0.00	0.00	67.73	11.26	51.41	11.26
45	6/02/49	3.43	60	126.00	0.18	38.00	0.05	2.00	0.00	63.69	10.58	44.48	10.42

ง.7 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
46	7/02/49	4.58	45	144.00	0.20	52.80	0.07	0.00	0.00	97.19	16.15	61.56	16.15
47	8/02/49	4.58	45	124.00	0.17	47.50	0.07	0.00	0.00	83.69	13.91	51.63	13.91
48	9/02/49	4.58	45	138.00	0.19	46.80	0.07	0.00	0.00	93.14	15.48	61.56	15.48
49	10/02/49	4.58	45	114.00	0.16	41.70	0.06	0.00	0.00	76.94	12.49	48.80	42.79
50	14/02/49	4.58	45	108.00	0.15	49.60	0.07	0.00	0.00	72.89	12.11	39.42	12.11
51	15/02/49	2.74	75	202.00	0.28	58.60	0.08	0.00	0.00	81.57	13.55	57.90	13.55
52	16/02/49	2.74	75	196.00	0.27	45.80	0.06	0.00	0.00	79.14	13.15	60.65	13.15
53	17/02/49	2.74	75	198.00	0.28	43.80	0.06	0.00	0.00	79.95	13.29	62.26	13.29
54	20/02/49	2.74	75	226.00	0.32	37.70	0.05	0.00	0.00	91.26	15.17	76.03	15.17
55	21/02/49	2.74	75	211.00	0.30	43.10	0.06	0.00	0.00	85.20	14.16	67.80	14.16
56	22/02/49	3.43	60	200.00	0.28	86.40	0.12	0.00	0.00	101.09	16.80	57.42	16.80
57	23/02/49	3.43	60	231.00	0.32	80.60	0.11	0.00	0.00	116.76	19.40	76.02	19.40
58	24/02/49	3.43	60	240.00	0.34	74.60	0.10	0.00	0.00	121.31	20.16	83.61	20.16
59	27/02/49	3.43	60	207.00	0.29	96.40	0.13	0.00	0.00	104.63	17.39	55.91	17.39
60	28/02/49	3.43	60	212.00	0.30	87.80	0.12	0.00	0.00	107.16	17.81	62.78	17.81

ง.7 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
61	1/03/49	4.58	45	210.00	0.29	125.00	0.18	0.00	0.00	141.74	23.55	57.37	23.55
62	2/03/49	4.58	45	226.00	0.32	101.00	0.14	0.00	0.00	152.54	25.35	84.37	25.35
63	3/03/49	4.58	45	209.00	0.29	96.30	0.13	0.00	0.00	141.06	23.44	76.07	23.44
64	6/03/49	4.58	45	201.00	0.28	147.00	0.21	5.30	0.01	135.66	22.54	36.45	21.95
65	7/03/49	4.58	45	234.00	0.33	119.00	0.17	0.00	0.00	157.94	26.25	77.62	26.25
66	8/03/49	2.74	75	310.00	0.43	95.30	0.13	0.00	0.00	125.17	20.80	86.69	20.80
67	9/03/49	2.74	75	336.00	0.47	89.70	0.13	0.00	0.00	135.67	22.55	99.45	22.55
68	10/03/49	2.74	75	354.00	0.50	73.50	0.10	0.09	0.00	142.94	23.75	113.26	23.69
69	13/03/49	2.74	75	341.00	0.48	97.00	0.14	7.50	0.01	137.69	22.88	98.52	22.38
70	14/03/49	2.74	75	328.00	0.46	83.20	0.12	0.00	0.00	132.44	22.01	98.85	22.01
71	15/03/49	3.43	60	305.00	0.43	181.00	0.25	0.00	0.00	154.17	25.62	62.68	25.62
72	16/03/49	3.43	60	320.00	0.45	171.00	0.24	0.00	0.00	161.75	26.88	75.32	26.88
73	17/03/49	3.43	60	317.00	0.44	162.00	0.23	0.00	0.00	160.24	26.63	78.35	26.63
74	18/03/49	3.43	60	309.00	0.43	172.00	0.24	9.60	0.01	156.19	25.96	69.25	25.15
75	20/03/49	3.43	60	314.00	0.44	154.00	0.22	3.80	0.01	158.72	26.38	80.88	26.06

ง.7 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
76	21/03/49	4.58	45	350.00	0.49	250.00	0.35	8.80	0.01	236.23	39.26	67.49	38.27
77	22/03/49	4.58	45	320.00	0.45	242.00	0.34	6.70	0.01	215.98	35.89	52.65	35.14
78	23/03/49	4.58	45	308.00	0.43	239.00	0.33	6.60	0.01	207.88	34.55	46.57	33.81
79	24/03/49	4.58	45	316.00	0.44	264.00	0.37	18.00	0.03	213.28	35.44	35.10	33.42
80	25/03/49	4.58	45	320.00	0.45	247.00	0.35	3.30	0.00	215.98	35.89	49.27	35.52

ง.8 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทน้ำมัน

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
1	27/11/48	2.29	90	54.70	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.46	3.07	18.46	3.07
2	28/11/48	2.29	90	55.50	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.73	3.11	18.73	3.11
3	29/11/48	2.29	90	50.70	0.07	4.20	0.01	0.00	0.00	17.11	2.84	15.69	2.84
4	30/11/48	2.29	90	52.00	0.07	6.60	0.01	0.00	0.00	17.55	2.92	15.32	2.92
5	1/12/48	2.29	90	50.10	0.07	4.10	0.01	0.00	0.00	16.91	2.81	15.52	2.81
6	2/12/48	2.29	90	48.20	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.27	2.70	16.27	2.70
7	6/12/48	2.29	90	50.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.87	2.80	16.87	2.80
8	7/12/48	2.29	90	54.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.36	3.05	18.36	3.05
9	8/12/48	2.29	90	58.90	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	19.88	3.30	19.88	3.30
10	9/12/48	2.29	90	59.50	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	20.08	3.34	20.08	3.34
11	13/12/48	2.29	90	48.70	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.43	2.73	16.43	2.73
12	14/12/48	2.29	90	47.20	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	15.93	2.65	15.93	3.65
13	15/12/48	2.29	90	48.70	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	16.43	2.73	16.43	2.73
14	16/12/48	2.29	90	55.50	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	18.73	3.11	18.73	3.11
15	20/12/48	2.29	90	48.50	0.07	3.70	0.01	1.60	0.00	16.37	2.72	15.12	2.63

ง.8 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทอานกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
16	21/12/48	2.29	90	52.30	0.07	9.80	0.01	0.50	0.00	17.65	2.93	14.34	2.91
17	22/12/48	2.29	90	48.90	0.07	1.00	0.00	0.00	0.00	16.50	2.74	16.16	2.74
18	23/12/48	2.29	90	46.90	0.07	5.40	0.01	0.00	0.00	15.83	2.63	14.01	2.63
19	26/12/48	2.29	90	59.40	0.08	11.30	0.02	0.00	0.00	20.05	3.33	16.23	3.33
20	27/12/48	2.29	90	60.90	0.09	15.70	0.02	0.00	0.00	20.55	3.42	15.25	3.42
21	28/12/48	2.74	75	58.90	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	23.78	3.95	23.78	3.95
22	4/01/49	2.74	75	49.30	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	19.91	3.31	19.91	3.31
23	5/01/49	2.74	75	52.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	21.00	3.49	21.00	3.49
24	6/01/49	2.74	75	57.60	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	23.26	3.87	23.26	3.87
25	9/01/49	2.74	75	60.30	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	24.35	4.05	24.35	4.05
26	10/01/49	3.43	60	57.60	0.08	1.80	0.00	0.00	0.00	29.12	4.84	28.21	4.84
27	11/01/49	3.43	60	52.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	26.74	4.44	26.74	4.44
28	12/01/49	3.43	60	50.10	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	25.32	4.21	25.32	4.21
29	13/01/49	3.43	60	57.40	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	29.01	4.82	29.01	4.82
30	16/01/49	3.43	60	46.90	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	23.71	3.94	23.71	3.94

ง.8 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทน้ำมัน (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
31	17/01/49	4.58	45	55.10	0.08	12.60	0.02	0.00	0.00	37.19	6.18	28.69	6.18
32	18/01/49	4.58	45	60.90	0.09	11.80	0.02	0.00	0.00	41.10	6.83	33.14	6.83
33	19/01/49	4.58	45	48.90	0.07	9.40	0.01	0.00	0.00	33.00	5.48	26.66	5.48
34	20/01/49	4.58	45	51.40	0.07	5.60	0.01	0.00	0.00	34.69	5.77	30.91	5.77
35	23/01/49	4.58	45	61.10	0.09	11.90	0.02	0.00	0.00	41.24	6.85	33.21	6.85
36	24/01/49	2.74	75	112.00	0.16	3.80	0.01	0.00	0.00	45.22	7.52	43.69	7.52
37	25/01/49	2.74	75	147.00	0.21	1.90	0.00	0.00	0.00	59.36	9.86	58.59	9.86
38	26/01/49	2.74	75	104.00	0.15	0.90	0.00	0.00	0.00	41.99	6.98	41.63	6.98
39	27/01/49	2.74	75	110.00	0.15	4.90	0.01	0.00	0.00	44.42	7.38	42.44	7.38
40	30/01/49	2.74	75	109.00	0.15	1.10	0.00	0.00	0.00	44.01	7.31	43.57	7.31
41	31/01/49	3.43	60	101.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	51.05	8.48	51.05	8.48
42	1/02/49	3.43	60	106.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	53.58	8.90	53.58	8.90
43	2/02/49	3.43	60	124.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	62.68	10.42	62.68	10.42
44	3/02/49	3.43	60	133.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	67.23	11.17	67.23	11.17
45	6/02/49	3.43	60	126.00	0.18	3.90	0.01	0.00	0.00	63.69	10.58	61.72	10.58

ง.8 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทน้ำมัน (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
46	7/02/49	4.58	45	144.00	0.20	47.60	0.07	0.00	0.00	97.19	16.15	65.06	16.15
47	8/02/49	4.58	45	124.00	0.17	39.40	0.06	0.00	0.00	83.69	13.91	57.10	13.91
48	9/02/49	4.58	45	138.00	0.19	34.50	0.05	0.00	0.00	93.14	15.48	69.86	15.48
49	10/02/49	4.58	45	110.00	0.15	31.80	0.04	0.00	0.00	74.24	12.34	52.78	12.34
50	14/02/49	4.58	45	101.00	0.14	43.70	0.06	0.00	0.00	68.17	11.33	38.67	11.33
51	15/02/49	2.74	75	202.00	0.28	6.30	0.01	0.00	0.00	81.57	13.55	79.02	13.55
52	16/02/49	2.74	75	200.00	0.28	5.70	0.01	0.00	0.00	80.76	13.42	78.46	13.42
53	17/02/49	2.74	75	188.00	0.26	2.80	0.00	0.00	0.00	75.91	12.62	74.78	12.62
54	20/02/49	2.74	75	226.00	0.32	4.60	0.01	0.00	0.00	91.26	15.17	89.40	15.17
55	21/02/49	2.74	75	211.00	0.30	3.80	0.01	0.00	0.00	85.20	14.16	83.67	14.16
56	22/02/49	3.43	60	197.00	0.28	56.10	0.08	0.00	0.00	99.58	16.55	71.22	16.55
57	23/02/49	3.43	60	231.00	0.32	42.70	0.06	0.00	0.00	116.76	19.40	95.18	19.40
58	24/02/49	3.43	60	247.00	0.35	49.60	0.07	0.00	0.00	124.85	20.75	99.78	20.75
59	27/02/49	3.43	60	210.00	0.29	61.70	0.09	0.00	0.00	106.15	17.64	74.96	17.64
60	28/02/49	3.43	60	213.00	0.30	49.60	0.07	0.00	0.00	107.67	17.89	82.59	17.89

ง.8 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
61	1/03/49	4.58	45	210.00	0.29	94.60	0.13	0.00	0.00	141.74	23.55	77.89	23.55
62	2/03/49	4.58	45	226.00	0.32	87.40	0.12	0.00	0.00	152.54	25.35	93.55	25.35
63	3/03/49	4.58	45	209.00	0.29	81.50	0.11	0.00	0.00	141.06	23.44	86.06	23.44
64	6/03/49	4.58	45	201.00	0.28	91.50	0.13	0.00	0.00	135.66	22.54	73.91	22.54
65	7/03/49	4.58	45	239.00	0.33	83.80	0.12	0.00	0.00	161.31	26.81	104.75	26.81
66	8/03/49	2.74	75	312.00	0.44	43.40	0.06	0.00	0.00	125.98	20.94	108.46	20.94
67	9/03/49	2.74	75	336.00	0.47	37.40	0.05	0.00	0.00	135.67	22.55	120.57	22.55
68	10/03/49	2.74	75	350.00	0.49	29.50	0.04	0.00	0.00	141.33	23.49	129.41	23.49
69	13/03/49	2.74	75	341.00	0.48	31.70	0.04	0.00	0.00	137.69	22.88	124.89	22.88
70	14/03/49	2.74	75	328.00	0.46	23.30	0.03	0.00	0.00	132.44	22.01	123.03	22.01
71	15/03/49	3.43	60	305.00	0.43	104.60	0.15	0.00	0.00	154.17	25.62	101.30	25.62
72	16/03/49	3.43	60	326.00	0.46	82.30	0.12	0.00	0.00	164.78	27.38	123.18	27.38
73	17/03/49	3.43	60	320.00	0.45	80.10	0.11	0.00	0.00	161.75	26.88	121.26	26.88
74	18/03/49	3.43	60	309.00	0.43	94.80	0.13	0.00	0.00	156.19	25.96	108.27	25.96
75	20/03/49	3.43	60	314.00	0.44	89.40	0.13	0.00	0.00	158.72	26.38	113.53	26.38

ง.8 ความสามารถในการกำจัดของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec.)	H ₂ S inlet		H ₂ S outlet at 0.25 m.		H ₂ S outlet at 1.50 m.		Loading at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Loading at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 0.25 m. (g/m ³ -hr.)	Elimination Capacity at 1.50 m. (g/m ³ -hr.)
				(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)	(ppmv)	(g/m ³)				
76	21/03/49	4.58	45	362.00	0.51	168.00	0.24	0.00	0.00	244.33	40.60	130.94	40.60
77	22/03/49	4.58	45	320.00	0.45	157.00	0.22	0.00	0.00	215.98	35.89	110.02	35.89
78	23/03/49	4.58	45	309.00	0.43	146.00	0.20	0.00	0.00	208.56	34.66	110.02	34.66
79	24/03/49	4.58	45	308.00	0.43	196.00	0.27	0.00	0.00	207.88	34.55	75.59	34.55
80	25/03/49	4.58	45	320.00	0.43	174.00	0.24	0.00	0.00	215.98	35.89	98.54	35.89

ง.9 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก

Date	D/M/Y	Pressure Drop (mm. H ₂ O)						Compaction (mm.)
		0.25 m.	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	1.25 m.	1.50 m.	
1	27/11/48	0	0	0	0	0	0	0
5	1/12/48	0	0	0	0	0	0	0
10	9/12/48	0	0	0	0	0	3	0
15	20/12/48	0	0	6	9	13	15	5
20	27/12/48	0	6	9	13	15	18	10
25	9/01/49	0	6	9	13	15	20	10
30	16/01/49	0	9	11	15	20	23	10
35	23/01/49	0	6	13	18	20	25	14
40	30/01/49	0	6	9	13	15	20	15
45	6/02/49	0	6	11	15	20	23	20
50	14/02/49	0	9	15	18	23	28	28
55	21/02/49	3	6	11	15	20	23	38
60	28/02/49	3	9	13	18	20	25	40
65	7/03/49	3	9	15	18	23	28	46
70	14/03/49	3	9	13	18	20	25	52
75	20/03/49	3	9	15	18	23	28	56
80	25/03/49	6	9	15	20	25	30	62

ง.10 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่

Date	D/M/Y	Pressure Drop (mm. H ₂ O)						Compaction (mm.)
		0.25 m.	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	1.25 m.	1.50 m.	
1	27/11/48	0	0	0	0	0	0	0
5	1/12/48	3	3	3	3	6	9	0
10	9/12/48	3	3	3	6	6	9	6
15	20/12/48	3	3	3	6	9	9	13
20	27/12/48	3	3	3	6	9	9	16
25	9/01/49	3	3	3	6	6	9	16
30	16/01/49	3	3	6	6	9	11	18
35	23/01/49	3	3	6	9	11	13	20
40	30/01/49	3	3	3	6	6	9	22
45	6/02/49	3	3	6	6	9	11	25
50	14/02/49	3	3	6	9	11	13	30
55	21/02/49	3	3	3	6	9	11	34
60	28/02/49	3	3	6	9	9	11	40
65	7/03/49	3	6	9	9	11	13	40
70	14/03/49	3	3	6	9	9	11	50
75	20/03/49	3	6	6	9	11	13	55
80	25/03/49	6	6	9	11	15	15	55

ง.11 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ

Date	D/M/Y	Pressure Drop (mm. H ₂ O)						Compaction (mm.)
		0.25 m.	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	1.25 m.	1.50 m.	
1	27/11/48	3	3	3	3	3	3	0
5	1/12/48	3	3	3	3	3	3	5
10	9/12/48	3	3	3	3	3	3	25
15	20/12/48	3	3	3	3	3	3	45
20	27/12/48	3	3	3	6	6	9	106
25	9/01/49	3	3	3	6	6	9	106
30	16/01/49	3	3	3	6	6	9	106
35	23/01/49	3	3	3	6	9	11	107
40	30/01/49	3	3	3	6	6	9	107
45	6/02/49	3	3	3	6	6	9	107
50	14/02/49	3	3	3	6	9	11	107
55	21/02/49	3	3	6	6	6	9	107
60	28/02/49	3	3	6	6	9	11	107
65	7/03/49	3	6	6	9	11	13	107
70	14/03/49	3	3	6	6	6	9	107
75	20/03/49	3	3	6	6	9	11	108
80	25/03/49	6	6	6	9	11	13	110

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.12 ความดันลดและการทรุดตัวของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์

Date	D/M/Y	Pressure Drop (mm. H ₂ O)						Compaction (mm.)
		0.25 m.	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	1.25 m.	1.50 m.	
1	27/11/48	3	3	3	3	3	3	0
5	1/12/48	3	3	3	3	3	3	0
10	9/12/48	3	3	3	6	9	11	70
15	20/12/48	3	6	9	11	15	18	90
20	27/12/48	3	6	11	15	18	23	140
25	9/01/49	3	6	11	15	18	23	143
30	16/01/49	6	11	15	18	20	25	143
35	23/01/49	11	15	15	18	20	28	145
40	30/01/49	9	11	11	18	18	28	145
45	6/02/49	9	11	15	20	25	30	145
50	14/02/49	9	11	15	23	28	33	150
55	21/02/49	9	11	18	20	25	30	152
60	28/02/49	9	11	20	23	28	33	152
65	7/03/49	11	11	23	25	30	35	158
70	14/03/49	9	11	18	20	25	30	158
75	20/03/49	9	11	20	23	28	33	158
80	25/03/49	11	15	23	25	30	35	160

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.13 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
1	27/11/48	66	70	69	68	83	93	50
2	28/11/48	50	65	50	55	84	96	0
3	29/11/48	49	62	51	54	77	91	0
4	30/11/48	45	63	43	50	71	94	0
5	1/12/48	68	75	73	72	73	91	200
6	2/12/48	70	80	70	73	69	93	150
7	6/12/48	60	73	60	64	75	93	100
8	7/12/48	55	65	60	60	74	94	120
9	8/12/48	60	70	60	63	72	96	100
10	9/12/48	68	70	65	68	71	93	150
11	13/12/48	60	60	60	60	72	91	180
12	14/12/48	60	70	65	65	63	96	100
13	15/12/48	70	70	60	67	71	92	100
14	16/12/48	70	75	70	72	75	90	100
15	20/12/48	65	75	70	70	71	96	160
16	21/12/48	60	62	72	65	70	94	100
17	22/12/48	68	65	70	68	72	88	180
18	23/12/48	62	62	60	61	79	92	150
19	26/12/48	70	64	64	66	75	90	230
20	27/12/48	60	60	70	63	76	93	120
21	28/12/48	62	64	63	63	77	90	100
22	4/01/49	64	66	68	66	74	90	180
23	5/01/49	65	66	66	66	72	90	110
24	6/01/49	60	62	61	61	80	90	120
25	9/01/49	63	64	65	64	74	91	190
26	10/01/49	66	70	71	69	86	91	100
27	11/01/49	73	75	70	73	74	90	120
28	12/01/49	64	65	68	66	77	91	90
29	13/01/49	68	68	67	68	75	90	95
30	16/01/49	65	65	68	66	75	90	175

ง.13 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
31	17/01/49	63	64	65	64	74	91	110
32	18/01/49	65	65	65	65	72	91	100
33	19/01/49	62	63	65	63	70	91	100
34	20/01/49	64	65	65	65	70	91	75
35	23/01/49	63	63	62	63	74	92	145
36	24/01/49	63	65	65	64	72	91	95
37	25/01/49	66	67	68	67	78	92	85
38	26/01/49	64	63	65	64	72	91	95
39	27/01/49	65	65	65	65	76	93	65
40	30/01/49	67	65	66	66	75	93	130
41	31/01/49	66	66	66	66	80	92	90
42	1/02/49	63	62	63	63	75	92	75
43	2/02/49	68	67	68	68	79	92	95
44	3/02/49	60	62	63	62	75	93	85
45	6/02/49	63	62	64	63	74	93	165
46	7/02/49	65	65	64	65	78	93	85
47	8/02/49	63	65	67	65	76	93	90
48	9/02/49	66	65	65	65	80	94	110
49	10/02/49	61	62	62	62	82	92	90
50	14/02/49	68	68	68	68	81	95	165
51	15/02/49	67	66	65	66	71	94	100
52	16/02/49	63	65	65	64	74	95	100
53	17/02/49	65	68	68	67	75	93	90
54	20/02/49	65	65	67	66	76	94	180
55	21/02/49	65	65	65	65	72	92	90
56	22/02/49	68	67	69	68	78	92	85
57	23/02/49	70	73	70	71	75	92	90
58	24/02/49	68	68	68	68	76	92	105
59	27/02/49	61	63	65	63	77	93	140
60	28/02/49	63	65	68	65	78	93	85

ง.13 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
61	1/03/49	68	68	66	67	74	94	65
62	2/03/49	64	67	66	66	76	94	80
63	3/03/49	63	65	68	65	74	92	90
64	6/03/49	63	63	67	64	81	93	135
65	7/03/49	65	65	68	66	83	93	75
66	8/03/49	64	65	65	65	79	91	90
67	9/03/49	62	63	65	63	77	94	70
68	10/03/49	64	68	71	68	78	94	85
69	13/03/49	65	66	68	66	74	95	125
70	14/03/49	60	66	68	65	76	95	95
71	15/03/49	65	68	69	67	75	94	60
72	16/03/49	64	65	69	66	77	94	70
73	17/03/49	62	64	67	64	78	95	80
74	18/03/49	62	66	70	66	78	94	135
75	20/03/49	62	62	65	63	78	94	90
76	21/03/49	60	62	66	63	75	92	75
77	22/03/49	62	62	64	63	74	94	90
78	23/03/49	65	65	65	65	74	93	70
79	24/03/49	66	65	68	66	75	95	100
80	25/03/49	65	68	68	67	74	95	95

ง.14 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
1	27/11/48	67	69	60	65	83	96	100
2	28/11/48	54	63	60	59	84	98	0
3	29/11/48	40	60	60	53	77	89	0
4	30/11/48	38	60	60	53	71	94	0
5	1/12/48	60	68	70	66	73	92	180
6	2/12/48	70	70	78	73	69	90	120
7	6/12/48	65	66	66	66	75	92	100
8	7/12/48	70	72	76	73	74	93	70
9	8/12/48	60	68	70	66	72	97	100
10	9/12/48	75	74	70	73	71	94	150
11	13/12/48	66	60	61	62	72	94	160
12	14/12/48	68	70	60	66	63	96	150
13	15/12/48	70	75	66	70	71	93	150
14	16/12/48	60	60	60	60	75	90	100
15	20/12/48	70	75	69	71	71	92	160
16	21/12/48	71	68	70	70	70	92	100
17	22/12/48	65	72	75	71	72	89	70
18	23/12/48	70	70	70	70	79	91	110
19	26/12/48	68	74	78	73	75	87	60
20	27/12/48	62	60	70	64	76	94	100
21	28/12/48	65	65	64	65	77	94	130
22	4/01/49	68	70	72	70	74	92	120
23	5/01/49	65	68	65	66	72	93	115
24	6/01/49	67	68	68	68	80	90	100
25	9/01/49	62	65	65	64	74	89	130
26	10/01/49	65	65	66	65	86	90	100
27	11/01/49	64	65	62	64	74	91	105
28	12/01/49	72	70	70	71	77	91	100
29	13/01/49	68	68	70	69	75	92	100
30	16/01/49	70	67	68	68	75	93	145

ง.14 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทดินขุยไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
31	17/01/49	72	70	70	71	74	93	115
32	18/01/49	68	70	65	68	72	90	100
33	19/01/49	66	68	67	67	70	91	100
34	20/01/49	65	68	72	68	70	90	100
35	23/01/49	63	65	64	64	74	90	100
36	24/01/49	70	72	72	71	72	92	95
37	25/01/49	68	72	70	70	78	96	100
38	26/01/49	66	66	68	67	72	98	105
39	27/01/49	65	68	66	66	76	89	110
40	30/01/49	70	75	73	73	75	94	135
41	31/01/49	68	68	67	68	80	92	100
42	1/02/49	65	66	63	65	75	90	110
43	2/02/49	67	65	65	66	79	92	95
44	3/02/49	71	70	70	70	75	93	90
45	6/02/49	69	68	68	68	74	97	105
46	7/02/49	65	67	68	67	78	94	95
47	8/02/49	64	65	63	64	76	94	100
48	9/02/49	69	72	70	70	80	96	95
49	10/02/49	68	70	72	70	82	93	95
50	14/02/49	64	67	65	65	81	90	110
51	15/02/49	65	68	66	66	71	92	90
52	16/02/49	65	64	64	64	74	92	100
53	17/02/49	66	70	70	69	75	89	100
54	20/02/49	65	70	72	69	76	91	120
55	21/02/49	60	65	65	63	72	87	85
56	22/02/49	65	65	65	65	78	94	90
57	23/02/49	70	70	63	68	75	91	100
58	24/02/49	68	68	67	68	75	91	100
59	27/02/49	67	72	68	69	77	90	120
60	28/02/49	75	70	70	72	78	91	100

ง.14 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทดินขุยไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
61	1/03/49	70	75	72	72	74	91	120
62	2/03/49	64	67	66	66	76	90	100
63	3/03/49	63	65	68	65	74	89	115
64	6/03/49	63	63	67	64	81	93	150
65	7/03/49	65	65	68	66	83	90	125
66	8/03/49	64	65	65	65	79	92	105
67	9/03/49	62	63	65	63	77	91	120
68	10/03/49	64	68	71	68	78	93	100
69	13/03/49	65	66	68	66	74	92	135
70	14/03/49	63	65	68	65	76	93	115
71	15/03/49	65	65	65	65	75	93	120
72	16/03/49	63	65	69	66	77	92	105
73	17/03/49	65	64	67	65	78	91	140
74	18/03/49	63	64	65	64	78	92	105
75	20/03/49	64	64	65	64	78	95	150
76	21/03/49	63	64	63	63	75	92	115
77	22/03/49	62	64	65	64	74	92	120
78	23/03/49	66	65	65	65	74	90	110
79	24/03/49	62	63	64	63	75	94	100
80	25/03/49	64	65	65	65	74	95	135

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.15 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
1	27/11/48	55	61	61	59	83	93	250
2	28/11/48	30	50	52	44	84	96	0
3	29/11/48	20	48	40	36	77	92	0
4	30/11/48	20	40	45	35	71	95	0
5	1/12/48	60	68	60	63	73	95	200
6	2/12/48	62	60	68	63	69	93	220
7	6/12/48	60	62	60	61	75	95	100
8	7/12/48	62	65	65	64	74	96	150
9	8/12/48	60	65	62	62	72	97	100
10	9/12/48	60	68	68	65	71	95	250
11	13/12/48	70	65	60	65	72	96	200
12	14/12/48	60	60	60	60	63	96	100
13	15/12/48	65	62	60	62	71	96	400
14	16/12/48	60	68	65	64	75	93	150
15	20/12/48	60	70	68	66	71	90	250
16	21/12/48	65	65	68	66	70	91	150
17	22/12/48	70	68	65	68	70	92	150
18	23/12/48	60	60	70	63	79	90	160
19	26/12/48	68	60	62	63	75	87	200
20	27/12/48	70	72	64	69	76	92	200
21	28/12/48	65	66	62	64	77	90	250
22	4/01/49	66	66	68	67	74	90	250
23	5/01/49	63	68	60	64	72	88	180
24	6/01/49	63	60	68	64	80	89	180
25	9/01/49	60	60	60	60	74	88	300
26	10/01/49	65	62	65	64	86	88	210
27	11/01/49	60	64	62	62	74	90	220
28	12/01/49	65	68	68	67	77	90	150
29	13/01/49	70	65	64	66	75	87	195
30	16/01/49	60	60	63	61	75	88	200

ง.15 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
31	17/01/49	65	60	62	62	74	86	165
32	18/01/49	67	66	65	66	72	87	170
33	19/01/49	65	65	66	65	70	90	195
34	20/01/49	62	60	64	62	70	90	200
35	23/01/49	60	62	61	61	74	91	330
36	24/01/49	62	62	65	63	72	89	200
37	25/01/49	62	62	63	62	78	90	200
38	26/01/49	64	65	65	65	72	90	175
39	27/01/49	67	66	66	66	76	90	190
40	30/01/49	65	67	66	66	75	91	230
41	31/01/49	70	68	68	69	80	86	200
42	1/02/49	66	65	64	65	75	87	200
43	2/02/49	62	65	65	64	79	90	200
44	3/02/49	65	66	70	67	74	89	175
45	6/02/49	68	68	68	68	78	90	250
46	7/02/49	64	64	66	65	76	90	190
47	8/02/49	64	65	64	64	80	90	170
48	9/02/49	65	63	65	64	82	91	180
49	10/02/49	63	65	66	65	81	92	185
50	14/02/49	68	67	68	68	71	90	195
51	15/02/49	64	65	64	64	74	89	150
52	16/02/49	60	60	67	62	75	88	120
53	17/02/49	62	67	68	66	76	88	180
54	20/02/49	63	66	65	65	72	89	200
55	21/02/49	68	64	64	65	78	90	180
56	22/02/49	62	65	67	65	75	90	165
57	23/02/49	65	67	62	65	76	90	170
58	24/02/49	64	68	63	65	77	90	140
59	27/02/49	65	66	65	65	78	90	195
60	28/02/49	65	65	66	65	74	89	180

ง.15 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
61	1/03/49	64	69	67	67	74	88	150
62	2/03/49	67	65	65	66	76	88	150
63	3/03/49	68	67	65	67	74	85	165
64	6/03/49	65	64	63	64	81	86	240
65	7/03/49	66	63	65	65	83	90	200
66	8/03/49	64	69	67	67	79	90	210
67	9/03/49	61	66	69	65	77	90	180
68	10/03/49	65	70	66	67	78	90	200
69	13/03/49	64	65	65	65	74	90	220
70	14/03/49	61	60	63	61	76	90	180
71	15/03/49	60	65	64	63	75	90	140
72	16/03/49	67	65	68	67	77	90	140
73	17/03/49	68	68	65	67	78	89	175
74	18/03/49	66	65	67	66	78	89	190
75	20/03/49	65	64	65	65	78	89	170
76	21/03/49	64	62	66	64	75	88	165
77	22/03/49	62	63	67	64	74	88	180
78	23/03/49	65	64	66	65	74	86	170
79	24/03/49	64	65	65	65	75	89	195
80	25/03/49	64	66	68	66	74	90	150

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.16 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
1	27/11/48	83	82	80	82	83	97	100
2	28/11/48	84	87	82	84	84	98	0
3	29/11/48	78	76	79	79	77	96	0
4	30/11/48	76	83	80	80	71	91	0
5	1/12/48	70	78	76	75	73	96	0
6	2/12/48	70	78	78	75	69	88	0
7	6/12/48	60	72	70	67	75	96	0
8	7/12/48	83	81	80	81	74	96	120
9	8/12/48	82	80	85	82	72	97	0
10	9/12/48	81	80	85	82	71	95	0
11	13/12/48	83	80	84	82	72	92	0
12	14/12/48	80	86	80	82	63	90	0
13	15/12/48	76	80	84	80	71	91	0
14	16/12/48	80	80	78	79	75	92	0
15	20/12/48	74	78	72	75	71	92	0
16	21/12/48	74	74	76	75	70	92	0
17	22/12/48	65	74	70	70	72	91	0
18	23/12/48	53	60	71	61	79	88	0
19	26/12/48	82	86	92	87	75	85	100
20	27/12/48	80	86	90	85	76	90	0
21	28/12/48	76	86	88	83	77	92	0
22	4/01/49	83	77	82	81	74	92	120
23	5/01/49	70	72	76	73	72	91	0
24	6/01/49	63	70	73	69	80	91	0
25	9/01/49	80	80	82	81	74	92	140
26	10/01/49	78	80	80	79	86	90	0
27	11/01/49	60	74	77	70	74	92	0
28	12/01/49	80	89	90	86	77	93	85
29	13/01/49	78	82	83	81	75	93	0
30	16/01/49	75	75	78	76	75	94	90

ง.16 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
31	17/01/49	71	74	78	74	74	92	0
32	18/01/49	70	72	74	72	72	92	100
33	19/01/49	69	69	73	70	70	93	110
34	20/01/49	60	63	65	63	70	94	0
35	23/01/49	78	82	83	81	74	94	130
36	24/01/49	71	80	84	78	72	96	0
37	25/01/49	63	76	80	73	78	92	0
38	26/01/49	80	75	78	78	72	93	75
39	27/01/49	70	76	80	75	76	93	0
40	30/01/49	77	67	76	73	75	92	80
41	31/01/49	64	65	70	66	80	92	0
42	1/02/49	69	62	68	66	75	92	100
43	2/02/49	72	75	80	76	79	92	110
44	3/02/49	65	72	79	72	75	91	0
45	6/02/49	68	67	72	69	74	93	95
46	7/02/49	64	68	72	68	78	92	0
47	8/02/49	71	64	69	68	76	93	135
48	9/02/49	65	65	70	67	80	91	0
49	10/02/49	62	66	69	66	82	94	0
50	14/02/49	80	80	83	81	81	93	160
51	15/02/49	72	79	80	77	71	94	0
52	16/02/49	66	75	76	72	74	94	0
53	17/02/49	62	70	72	68	75	95	0
54	20/02/49	70	70	68	69	76	93	155
55	21/02/49	60	64	67	64	72	95	0
56	22/02/49	77	86	73	82	78	94	105
57	23/02/49	70	80	74	78	75	94	0
58	24/02/49	65	74	70	73	76	94	0
59	27/02/49	68	70	76	71	77	93	150
60	28/02/49	64	72	75	70	78	94	0

ง.16 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
61	1/03/49	67	68	68	68	74	94	90
62	2/03/49	65	70	66	67	76	92	100
63	3/03/49	67	64	65	65	74	93	85
64	6/03/49	82	89	90	87	81	91	200
65	7/03/49	77	88	88	84	83	92	0
66	8/03/49	67	82	85	78	79	93	0
67	9/03/49	62	80	85	76	77	94	0
68	10/03/49	65	72	76	71	78	94	100
69	13/03/49	88	89	86	88	74	92	130
70	14/03/49	81	85	86	84	76	92	0
71	15/03/49	70	81	83	78	75	93	0
72	16/03/49	62	74	80	72	77	94	0
73	17/03/49	66	68	75	70	78	95	100
74	18/03/49	76	80	84	80	78	96	90
75	20/03/49	67	77	81	75	78	95	0
76	21/03/49	60	72	75	69	75	94	0
77	22/03/49	66	68	70	68	74	94	120
78	23/03/49	62	65	70	66	74	94	0
79	24/03/49	75	84	82	80	75	95	185
80	25/03/49	66	80	83	76	74	94	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.17 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
1	27/11/48	6.4	7	7
3	29/11/48	6.5	7.8	7
5	1/12/48	6.8	7	7
7	6/12/48	6.5	7	7
9	8/12/48	6.2	7	7
11	13/12/48	6.8	7	7
13	15/12/48	6	6.7	7
15	20/12/48	6.4	6.8	7
17	22/12/48	6.4	6.8	6.8
19	26/12/48	6.6	6.6	6.8
21	28/12/48	6.5	6.8	7
23	5/01/49	6.6	6.8	7
25	9/01/49	6.6	6.8	7
27	11/01/49	6.5	6.8	7
29	13/01/49	6.2	6.6	7
31	17/01/49	6.5	6.6	7
33	19/01/49	6	6.4	6.8
35	23/01/49	6.2	6.4	7
37	25/01/49	6	6.5	7
39	27/01/49	6.1	6.5	7
41	31/01/49	6	6.6	7
43	2/02/49	6.2	6.4	7
45	6/02/49	6.2	6.5	6.8
47	8/02/49	6.2	6.4	6.6
49	10/02/49	6	6.5	6.8
51	15/02/49	6	6.3	7
53	17/02/49	6	6.5	6.8
55	21/02/49	6	6.5	6.8
57	23/02/49	6.1	6.5	7
59	27/02/49	6	6.4	6.8
61	1/03/49	5.8	6.5	7

ง.17 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก (ต่อ)

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
63	3/03/49	5.8	6.1	6.8
65	7/03/49	5.6	6.2	7
67	9/03/49	5.5	6.1	7
69	13/03/49	5.5	6	7
71	15/03/49	5.2	6	6.6
73	17/03/49	5.3	6	6.6
75	20/03/49	5.2	6	6.6
77	24/03/49	5	6	6.6
79	22/03/49	5.2	6.8	6.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.18 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทดินขุยไผ่

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
1	27/11/48	7	7	7
3	29/11/48	6.8	7	7
5	1/12/48	7	7	7
7	6/12/48	7	7	7
9	8/12/48	7	7	7
11	13/12/48	7	7	7
13	15/12/48	6.8	7	7
15	20/12/48	6.2	6.5	7
17	22/12/48	6.2	6.7	7
19	26/12/48	6	6.4	7
21	28/12/48	6.2	6.5	7
23	5/01/49	6.2	6.5	7
25	9/01/49	6.2	6.5	7
27	11/01/49	6.2	6.6	7
29	13/01/49	6.2	6.4	7
31	17/01/49	6.2	6.4	7
33	19/01/49	6.2	6.3	7
35	23/01/49	6.1	6.4	7
37	25/01/49	6.1	6.5	7
39	27/01/49	6.2	6.6	7
41	31/01/49	6	6.5	7
43	2/02/49	6	6.5	7
45	6/02/49	6	6.4	6.9
47	8/02/49	6	6.3	6.8
49	10/02/49	6.2	6.3	6.8
51	15/02/49	6.1	6.3	7
53	17/02/49	6	6.2	7
55	21/02/49	6	6	6.8
57	23/02/49	5.9	6	6.8
59	27/02/49	5.7	6	7
61	1/03/49	5.8	6	7

ง.18 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทดินชุบไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
63	3/03/49	6	6	6.8
65	7/03/49	5.7	6.1	6.7
67	9/03/49	5.6	6.2	6.7
69	13/03/49	5.8	6.3	6.6
71	15/03/49	5.8	6.2	6.6
73	17/03/49	5.9	6.2	6.6
75	20/03/49	5.7	6.2	6.6
77	24/03/49	5.6	6.2	6.7
79	22/03/49	5.5	6	6.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.19 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
1	27/11/48	7	7	7
3	29/11/48	6.8	7	7
5	1/12/48	7	7	7
7	6/12/48	7	7	7
9	8/12/48	6.8	7	7
11	13/12/48	6.5	7	7
13	15/12/48	6.5	6.9	7
15	20/12/48	6.8	7	7
17	22/12/48	6.4	6.8	7
19	26/12/48	6	6.7	7
21	28/12/48	6	6.5	7
23	5/01/49	6	6.6	7
25	9/01/49	6	6.4	7
27	11/01/49	6.2	6.4	6.8
29	13/01/49	5.8	6.4	7
31	17/01/49	5.8	6.5	7
33	19/01/49	5.6	6.4	6.8
35	23/01/49	5.7	6.5	6.8
37	25/01/49	5.4	6.3	7
39	27/01/49	5.5	6.5	6.8
41	31/01/49	5.5	6.4	6.8
43	2/02/49	5.6	6.4	6.8
45	6/02/49	5.7	6.2	6.8
47	8/02/49	5.4	6.2	6.6
49	10/02/49	5.2	6.3	6.8
51	15/02/49	5	6.2	6.6
53	17/02/49	5	6	6.4
55	21/02/49	5.3	6	6.5
57	23/02/49	4.8	6	6.5
59	27/02/49	5	6	6.4
61	1/03/49	4.9	6.2	6.4

ง.19 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ (ต่อ)

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
63	3/03/49	4.5	6	6.5
65	7/03/49	4.5	5.8	6.5
67	9/03/49	4.5	6	6.5
69	13/03/49	4.6	6.2	6.4
71	15/03/49	4.2	6	6.5
73	17/03/49	4.2	6.2	6.4
75	20/03/49	4.5	6	6.3
77	24/03/49	4.2	6	6.5
79	22/03/49	4.2	6	6.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.20 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
1	27/11/48	8.5	9.0	9.0
3	29/11/48	8.0	8.4	9.0
5	1/12/48	7.6	8.8	9.0
7	6/12/48	7.0	8.2	8.6
9	8/12/48	7.2	8.5	9.0
11	13/12/48	8.0	8.8	9.0
13	15/12/48	7.5	8.0	8.8
15	20/12/48	7.5	7.8	8.0
17	22/12/48	7.6	7.6	8.2
19	26/12/48	7.0	7.0	8.0
21	28/12/48	7.0	7.4	8.0
23	5/01/49	7.0	7.2	8.0
25	9/01/49	6.8	7.2	7.8
27	11/01/49	6.8	7.4	7.6
29	13/01/49	6.8	7.2	7.8
31	17/01/49	6.4	7.0	8.0
33	19/01/49	6.6	7.0	8.0
35	23/01/49	6.2	6.8	7.6
37	25/01/49	6.0	7.0	7.6
39	27/01/49	6.0	7.0	7.8
41	31/01/49	6.0	6.8	7.4
43	2/02/49	6.0	6.6	7.6
45	6/02/49	5.8	6.6	7.4
47	8/02/49	6.0	6.4	7.0
49	10/02/49	5.8	6.8	7.2
51	15/02/49	5.4	6.8	7.0
53	17/02/49	5.2	6.6	7.0
55	21/02/49	5.4	6.2	7.0
57	23/02/49	5.7	6.2	7.4
59	27/02/49	5.0	6.0	7.2
61	1/03/49	5.0	6.0	7.0

ง.20 ความเป็นกรด – ค่าของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์ (ต่อ)

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
63	3/03/49	5.4	6.2	7.0
65	7/03/49	5.2	6.0	7.0
67	9/03/49	5.0	6.0	7.0
69	13/03/49	5.0	6.4	6.8
71	15/03/49	4.6	6.0	7.0
73	17/03/49	4.8	5.8	6.8
75	20/03/49	4.3	5.2	6.8
77	24/03/49	3.6	4.8	6.6
79	22/03/49	3.4	4.8	6.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.21 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทปุ๋ยหมัก

Date	D/M/Y	Temperature (°C)			
		Ambient	Bottom	Middle	Top
1	27/11/48	29.2	29.3	29.5	29.5
5	1/12/48	26	26.2	26.4	26.6
10	9/12/48	29.4	29.4	30.1	30.1
15	20/12/48	30	30.1	30.5	30.5
20	27/12/48	26.1	26.1	26.7	26.7
25	9/01/49	27.3	27.2	28.1	28
30	16/01/49	29.9	29.8	30	30.1
35	23/01/49	30.2	30.2	30.4	30.6
40	30/01/49	31.5	31.5	31.8	31.8
45	6/02/49	31	31.2	31.6	31.6
50	14/02/49	30.8	30.8	31.2	31.2
55	21/02/49	30.4	30.4	31.9	31.2
60	28/02/49	31.4	31.4	31.8	31.9
65	7/03/49	32.5	32.5	32.9	33
70	14/03/49	31.8	31.8	32.4	32.4
75	20/03/49	32.2	32.2	32.8	32.8
80	25/03/49	32.1	32.1	32.5	32.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.22 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทคินชุยไผ่

Date	D/M/Y	Temperature (°C)			
		Ambient	Bottom	Middle	Top
1	27/11/48	29.2	29.3	29.5	29.5
5	1/12/48	26	26.1	26.1	26.2
10	9/12/48	29.4	29.4	29.8	30.1
15	20/12/48	30	30	30.5	30.6
20	27/12/48	26.1	26.1	26.3	26.3
25	9/01/49	27.3	27.3	27.4	27.5
30	16/01/49	29.9	30	30.4	30.4
35	23/01/49	30.2	30.4	31.2	31.2
40	30/01/49	31.5	31.5	31.8	31.8
45	6/02/49	31	31.2	32.1	32.1
50	14/02/49	30.8	30.9	31.4	31.4
55	21/02/49	30.4	30.4	31.2	31.2
60	28/02/49	31.4	31.4	31.6	31.6
65	7/03/49	32.5	32.6	33.1	33.3
70	14/03/49	31.8	31.8	31.9	32.1
75	20/03/49	32.2	32.2	32.8	32.8
80	25/03/49	32.1	32.5	33.1	33.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.23 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทหินภูเขาไฟ

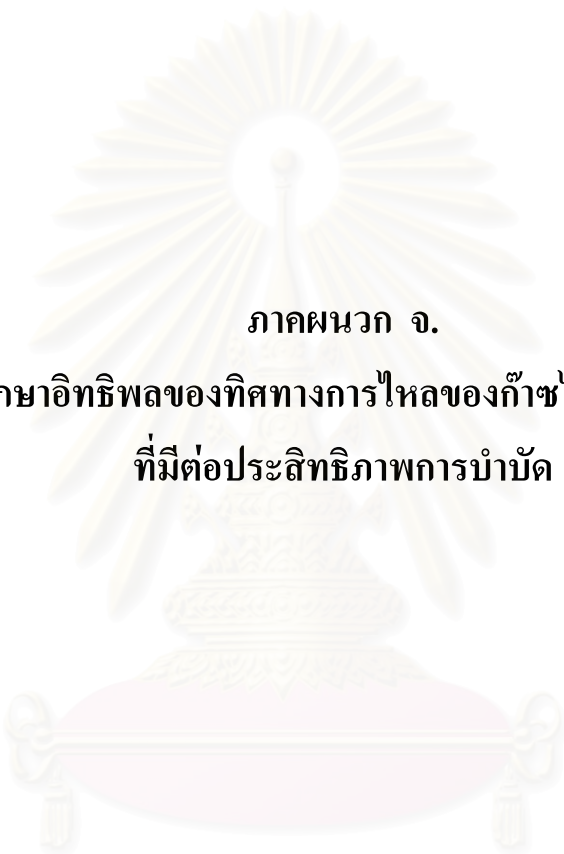
Date	D/M/Y	Temperature (°C)			
		Ambient	Bottom	Middle	Top
1	27/11/48	29.2	29.2	29.2	29.2
5	1/12/48	26	26.1	26.1	26.2
10	9/12/48	29.4	29.4	29.4	29.4
15	20/12/48	30	30.1	30.2	30.2
20	27/12/48	26.1	26.1	26.2	26.2
25	9/01/49	27.3	27.3	27.4	27.6
30	16/01/49	29.9	30.1	30.1	30.3
35	23/01/49	30.2	30.2	30.4	30.4
40	30/01/49	31.5	31.5	31.6	31.6
45	6/02/49	31	31	31.6	31.6
50	14/02/49	30.8	30.8	30.9	31.2
55	21/02/49	30.4	30.4	30.6	30.6
60	28/02/49	31.4	31.4	31.7	31.7
65	7/03/49	32.5	32.5	32.7	32.8
70	14/03/49	31.8	31.8	31.9	31.9
75	20/03/49	32.2	32.2	32.2	32.3
80	25/03/49	32.1	32.1	32.4	32.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ง.24 อุณหภูมิของตัวกลางประเภทถ่านกัมมันต์

Date	D/M/Y	Temperature (°C)			
		Ambient	Bottom	Middle	Top
1	27/11/48	29.2	29.2	29.3	29.4
5	1/12/48	26	26.5	26.6	26.6
10	9/12/48	29.4	29.4	29.6	29.6
15	20/12/48	30	30.1	30.2	30.3
20	27/12/48	26.1	26.2	26.4	26.4
25	9/01/49	27.3	27.3	27.3	27.4
30	16/01/49	29.9	30	30.1	30.2
35	23/01/49	30.2	30.2	30.3	30.5
40	30/01/49	31.5	31.5	32.2	32.2
45	6/02/49	31	31	31.1	31.3
50	14/02/49	30.8	30.7	30.9	31.1
55	21/02/49	30.4	30.4	30.8	30.2
60	28/02/49	31.4	31.5	31.6	31.6
65	7/03/49	32.5	32.5	32.5	32.6
70	14/03/49	31.8	31.8	31.8	32.1
75	20/03/49	32.2	32.2	32.4	32.5
80	25/03/49	32.1	32.3	32.3	32.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ.

ผลการศึกษาอิทธิพลของทิศทางการไหลของก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์
ที่มีต่อประสิทธิภาพการบำบัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
1	27/03/49	2.74	75	310.0	20.80	31.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	28/03/49	2.74	75	311.0	20.87	25.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3	29/03/49	2.74	75	308.0	20.67	27.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	91.1	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4	30/03/49	2.74	75	318.0	21.34	30.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.3	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
5	31/03/49	2.74	75	330.0	22.14	24.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	92.5	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
6	1/04/49	4.12	50	312.0	31.48	54.4	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	82.6	97.5	100.0	100.0	100.0	100.0
7	3/04/49	4.12	50	304.0	30.67	51.0	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	83.2	97.1	100.0	100.0	100.0	100.0
8	4/04/49	4.12	50	315.0	31.78	59.7	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	81.0	97.8	100.0	100.0	100.0	100.0
9	5/04/49	4.12	50	312.0	31.48	57.3	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	81.6	98.2	100.0	100.0	100.0	100.0
10	6/04/49	4.12	50	320.0	32.29	61.4	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	80.8	97.1	100.0	100.0	100.0	100.0
11	7/04/49	8.23	25	315.0	63.49	182.0	77.5	34.6	11.2	5.6	0.0	42.2	75.4	89.0	96.4	98.2	100.0
12	8/04/49	8.23	25	321.0	64.70	177.0	65.4	30.8	8.8	2.4	0.0	44.9	79.6	90.4	97.3	99.3	100.0
13	10/04/49	8.23	25	307.0	61.88	168.0	68.4	28.6	5.6	0.0	0.0	45.3	77.7	90.7	98.2	100.0	100.0
14	11/04/49	8.23	25	311.0	62.68	172.0	60.2	34.8	6.5	1.4	0.0	44.7	80.6	88.8	97.9	99.5	100.0
15	12/04/49	8.23	25	313.0	63.09	164.0	66.6	26.4	9.4	3.3	0.0	47.6	78.7	91.6	97.0	98.9	100.0

จ.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง

Date	D/M/Y	Air flow (LPM)	EBRT (Sec)	H ₂ S inlet (ppmv)	H ₂ S Loading (g/m ³ -hr.)	H ₂ S outlet (ppmv)						Removal Efficiency (%)					
						0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50
1	27/03/49	2.74	75	310.0	20.80	37.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	87.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
2	28/03/49	2.74	75	315.0	21.14	34.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
3	29/03/49	2.74	75	304.0	20.40	31.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	89.7	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
4	30/03/49	2.74	75	324.0	21.74	29.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.8	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
5	31/03/49	2.74	75	335.0	22.48	30.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	90.9	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
6	1/04/49	4.12	50	309.0	31.18	71.4	9.8	0.0	0.0	0.0	0.0	76.9	96.8	100.0	100.0	100.0	100.0
7	3/04/49	4.12	50	305.0	30.77	65.6	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	78.5	96.4	100.0	100.0	100.0	100.0
8	4/04/49	4.12	50	311.0	31.38	58.4	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	81.2	97.3	100.0	100.0	100.0	100.0
9	5/04/49	4.12	50	312.0	31.48	61.3	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	80.4	97.1	100.0	100.0	100.0	100.0
10	6/04/49	4.12	50	318.0	32.09	56.6	11.2	0.0	0.0	0.0	0.0	82.2	96.5	100.0	100.0	100.0	100.0
11	7/04/49	8.23	25	313.0	63.09	253.0	102.0	37.9	15.5	11.8	0.0	19.2	67.4	87.9	95.0	96.2	100.0
12	8/04/49	8.23	25	320.0	64.50	248.0	95.4	30.2	16.5	9.4	0.0	22.5	70.2	90.6	94.8	97.1	100.0
13	10/04/49	8.23	25	306.0	61.67	229.0	100.0	38.4	20.1	14.5	0.0	25.2	67.3	87.5	93.4	95.3	100.0
14	11/04/49	8.23	25	309.0	62.28	230.0	108.0	41.6	15.9	10.8	0.0	25.6	65.0	86.5	94.9	96.5	100.0
15	12/04/49	8.23	25	311.0	62.68	241.0	114.0	32.4	17.8	7.4	0.0	22.5	63.3	89.6	94.3	97.6	100.0

จ.3 ความดันลดและการทรุดตัวของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

Date	D/M/Y	Pressure Drop (mm. H ₂ O)						Compaction (mm.)
		0.25 m.	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	1.25 m.	1.50 m.	
1	27/03/49	5	5	13	13	20	20	0
2	28/03/49	5	5	13	13	20	20	4
3	29/03/49	5	5	13	13	20	20	5
4	30/03/49	5	5	13	13	20	20	5
5	31/03/49	5	5	13	13	20	20	5
6	1/04/49	13	13	13	20	25	30	6
7	3/04/49	13	13	13	20	25	30	8
8	4/04/49	13	13	13	20	25	30	10
9	5/04/49	13	13	13	20	25	30	10
10	6/04/49	13	13	13	20	25	30	10
11	7/04/49	20	20	25	35	40	53	12
12	8/04/49	20	20	25	35	40	53	12
13	10/04/49	20	20	30	35	40	53	14
14	11/04/49	20	20	30	35	40	53	15
15	12/04/49	20	20	30	35	40	53	15

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.4 ความดันลดและการทรุดตัวของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง

Date	D/M/Y	Pressure Drop (mm. H ₂ O)						Compaction (mm.)
		0.25 m.	0.50 m.	0.75 m.	1.00 m.	1.25 m.	1.50 m.	
1	27/03/49	0	5	13	13	13	20	0
2	28/03/49	0	5	13	13	13	20	6
3	29/03/49	0	5	13	13	13	20	8
4	30/03/49	0	5	13	13	13	20	8
5	31/03/49	0	5	13	13	13	20	8
6	1/04/49	5	13	13	20	20	30	13
7	3/04/49	5	13	13	20	20	30	15
8	4/04/49	5	13	13	20	20	30	15
9	5/04/49	5	13	13	20	20	30	18
10	6/04/49	5	13	13	20	20	30	18
11	7/04/49	13	13	20	35	40	53	20
12	8/04/49	13	13	20	35	40	53	24
13	10/04/49	13	13	20	35	40	53	24
14	11/04/49	13	20	20	35	45	53	24
15	12/04/49	13	20	20	35	45	53	25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.5 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของเครื่องชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
1	27/03/49	65	66	66	66	78	90	110
2	28/03/49	62	65	66	64	81	90	115
3	29/03/49	64	64	66	65	77	91	100
4	30/03/49	64	64	65	64	75	92	95
5	31/03/49	65	62	65	64	80	89	115
6	1/04/49	64	60	64	63	75	90	125
7	3/04/49	60	65	62	62	75	94	110
8	4/04/49	60	64	60	61	78	92	120
9	5/04/49	62	62	68	64	80	90	100
10	6/04/49	64	62	68	65	81	92	95
11	7/04/49	62	60	68	63	78	95	115
12	8/04/49	62	64	67	64	75	94	120
13	10/04/49	62	62	65	63	77	93	125
14	11/04/49	65	65	68	66	76	91	130
15	12/04/49	62	63	65	63	80	95	100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.6 ความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นของเครื่องชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง

Date	D/M/Y	Moisture (%)				Humidity Inlet (%)	Humidity Outlet (%)	Water Demand (ml./d.)
		Bottom	Middle	Top	Average			
1	27/03/49	68	66	62	65	78	88	120
2	28/03/49	68	65	64	66	81	86	95
3	29/03/49	68	64	64	65	77	89	90
4	30/03/49	64	64	62	63	75	88	90
5	31/03/49	62	60	64	62	80	85	100
6	1/04/49	68	66	62	65	75	88	115
7	3/04/49	68	65	60	64	75	90	90
8	4/04/49	67	65	60	64	78	89	95
9	5/04/49	66	64	64	65	80	86	100
10	6/04/49	64	62	63	63	81	88	100
11	7/04/49	63	65	63	64	78	88	105
12	8/04/49	63	64	60	62	75	90	100
13	10/04/49	65	65	65	65	77	90	90
14	11/04/49	65	65	62	64	76	89	90
15	12/04/49	64	62	63	63	80	90	100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.7 ความเป็นกรด – ค่าของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
1	27/03/49	7.4	7.4	7.4
3	29/03/49	7.2	7.4	7.4
5	31/03/49	7.2	7.4	7.4
7	3/04/49	7	7.2	7.4
9	5/04/49	7	7	7.4
11	7/04/49	6.8	7	7.2
13	10/04/49	6.8	7	7.2
15	12/04/49	6.8	7	7.2

จ.8 ความเป็นกรด – ค่าของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง

Date	D/M/Y	pH		
		Bottom	Middle	Top
1	27/03/49	7.2	7.2	7.1
3	29/03/49	7.2	7.2	7
5	31/03/49	7.2	7.2	7
7	3/04/49	7.2	7	7
9	5/04/49	7.2	7	7
11	7/04/49	7.2	6.9	7
13	10/04/49	7	6.9	6.8
15	12/04/49	7	6.9	6.8

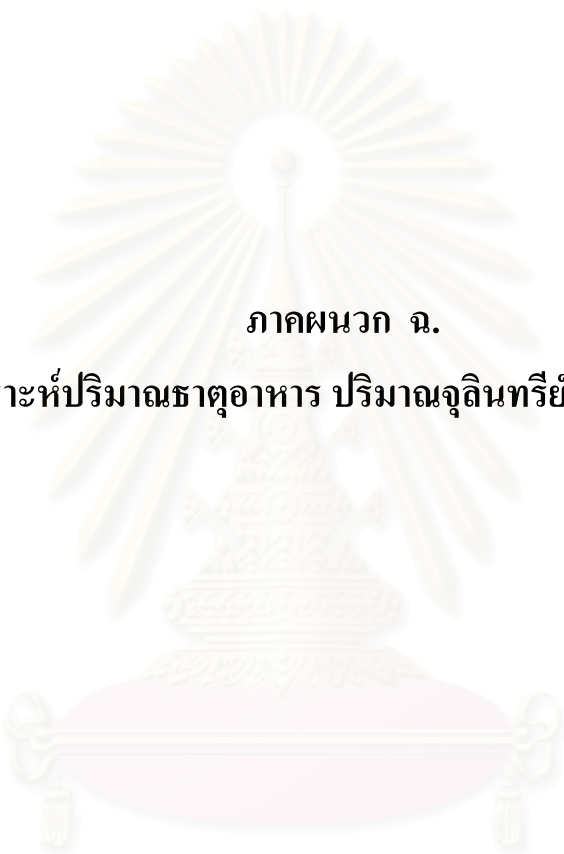
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.9 อุณหภูมิของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลขึ้น

Date	D/M/Y	Temperature (°C)			
		Ambient	Bottom	Middle	Top
1	27/03/49	31.2	31.3	31.3	31.5
5	31/03/49	33.4	33.4	33.4	33.5
10	6/04/49	32.7	32.7	32.8	32.9
15	12/04/49	32.8	32.8	32.8	32.8

จ.10 อุณหภูมิของเครื่องกรองชีวภาพที่มีทิศทางไหลลง

Date	D/M/Y	Temperature (°C)			
		Ambient	Bottom	Middle	Top
1	27/03/49	31.2	31.5	31.4	31.2
5	31/03/49	33.4	33.6	33.6	33.5
10	6/04/49	32.7	32.9	32.8	32.8
15	12/04/49	32.8	33.1	33.1	32.8



ภาคผนวก ฉ.

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหาร ปริมาณจุลินทรีย์ และปริมาณซัลเฟต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณอินทรีย์วัตถุหลังเดินระบบ

รายงานเลขที่ F.53
 Report No.
 วันที่เสนอรายงาน 25/4/49
 Date of report:
 วันที่ส่งตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ 4/4/49
 Date of sample submitted:



ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

DEPARTMENT OF SOIL SCIENCE, FACULTY OF AGRICULTURE, KASETSART UNIVERSITY Tel. 9428104-5, 5614678 Fax: 9428106

แผ่นที่ 1
 Sheet No.

ตัวอย่างของ คุณณัฐพล รัตนมูรย์
 Sample submitted by:
 ตัวอย่างจาก ตำบล ชำนาอ
 จังหวัด

ผู้ทำการวิเคราะห์ นายสมชาย วิชาภิรมย์ และคณะ
 ผู้ทำการตรวจสอบ ดร.สุเทพ ทองแท้

Lab code	Original Code	O.M %	Total-N %	Total-P %	Total-K %	Total-S %	Remark
F.53 - 1	No.1	17.21	0.45	0.14	0.71	0.75	ปุ๋ยหมักและวัสดุผสม
F.53 - 2	No.2	14.60	0.30	0.23	0.24	0.40	ดินขุยไม้และวัสดุผสม
F.53 - 3	No.3	6.73	0.28	0.12	0.64	0.33	หินภูเขาไฟและวัสดุผสม
F.53 - 4	No.4	5.56	0.39	0.13	0.45	0.28	อานกัมมันต์และวัสดุผสม

สถาบันวิทยบริการ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จ.3 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ก่อนเดินระบบ



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

Attention to:

Mr.Nattapol Rattanamuk
Department of Environmental
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok 10330

Date: March 6,2006

Subject: Total plate count

Date sample received: March 2 ,2006

Sample description: ถ่านกัมมันต์และวัสดุผสม, หินภูเขาไฟและวัสดุผสม, ดินขุยไม้และวัสดุผสม และปุ๋ยหมักและวัสดุผสม

Method : Soil dilution plating method

Report : Showed on table

Sample	Total Plate Count (CFU/gram)
ถ่านกัมมันต์และวัสดุผสม	1.9×10^7
หินภูเขาไฟและวัสดุผสม	7.0×10^7
ดินขุยไม้และวัสดุผสม	8.2×10^7
ปุ๋ยหมักและวัสดุผสม	1.1×10^8

Watcharee Jadraikhing

(Watcharee Jadraikhing)

Experimentalist

จ.4 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์หลังเดินระบบ



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

Attention to:

Mr. Nattapol Rattanamuk
Department of Environmental
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok 10330

Date: April 21, 2006

Subject: Total plate count

Date sample received: April 7, 2006

Sample description: ถ่านกัมมันต์และวัสดุผสม, หินภูเขาไฟและวัสดุผสม, ดินรุยไผ่และวัสดุผสม และปุ๋ยหมักและวัสดุผสม

Method : Soil dilution plating method

Report : Showed on table

Sample	Total Plate Count (CFU/gram)
ถ่านกัมมันต์และวัสดุผสม	2.1×10^6
หินภูเขาไฟและวัสดุผสม	7.2×10^6
ดินรุยไผ่และวัสดุผสม	3.6×10^7
ปุ๋ยหมักและวัสดุผสม	8.2×10^7

Watcharee Jadraikhing

(Watcharee Jadraikhing)

Experimentalist

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐพล รัตนमुखย์ เกิดเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดมหาสารคาม สำเร็จ การศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมและ เทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2546 และได้เข้าศึกษา ต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย