



การบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายจากก๊าซเสียในกระบวนการอบแห้งยางแท่งโดยใช้เครื่อง
กรองชีวภาพ

**Treatment of Volatile Free Fatty Acids from Waste Gas in Rubber Drying
Process by Biofilter**

ปราณี อู่ปะโค

Pranee Ouipako

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาลัทธิปริญญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Chemical Engineering
Prince of Songkla University**

2554

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายจากก๊าซเสียในกระบวนการอบแห้งยางแท่งโดยใช้
เครื่องกรองชีวภาพ
ชื่อผู้เขียน นางสาวปราณี อู๋ยะปะโค
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

คณะกรรมการสอบ

.....
(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์)

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์)

.....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พกามาศ เจษฎ์พัฒนานนท์)

.....กรรมการ
(ดร.สุรัสวดี กังสนันท์)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับ
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

.....
(ศาสตราจารย์ ดร.อมรรัตน์ พงศ์ดารา)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์ การบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายจากก๊าซเสียในกระบวนการอบแห้งยางแท่งโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ

ชื่อผู้เขียน นางสาวปราณี อ้ายปะโค

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี

ปีการศึกษา 2554

บทคัดย่อ

ปัญหามลพิษทางอากาศในกระบวนการอบแห้งยางแท่งมีกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ และการกรองชีวภาพเป็นเทคนิคในการบำบัดอากาศเสียให้บริสุทธิ์ โดยสามารถบำบัดอากาศที่ปนเปื้อนด้วยสารอินทรีย์ระเหยง่ายที่มีมวลโมเลกุลและความเข้มข้นต่ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ ที่ใช้ตัวกลางผสมโดยทำการทดลอง 2 ขั้นตอน ได้แก่ การทดลองหาอัตราส่วนของตัวกลางผสมที่เหมาะสมของเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก โดยแปรผันอัตราส่วนผสมดังนี้ เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เป็น 65 : 30 : 5, 75 : 20 : 5 และ 85 : 10 : 5 หลังจากนั้นใช้อัตราส่วนที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ในช่วง 10 ถึง 100 ppm

ผลการทดลองในส่วนแรก พบว่าอัตราส่วนผสมของเปลือกมะพร้าว:ปุ๋ยคอก:ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75: 20: 5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยมีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 90% และความดันตกที่เกิดขึ้นมีค่าระหว่าง 1-5 mmH₂O ในส่วนของการทดลองในตอนที่สองพบว่าระบบมีความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายได้ทั้งหมดในทุกเวลากักเก็บ ที่ความเข้มข้นค่อนข้างแปรปรวนไม่คงที่ และในการทดลองประยุกต์ใช้เครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรมในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางแท่ง STR20 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดอยู่ในช่วง 98-99% ความดันตก 40 mmH₂O

Thesis Title Treatment of Volatile Free Fatty Acids from Waste Gas in Rubber Drying Process by Biofilter
Author Miss Pranee Ouipako
Major Program Chemical Engineering
Academic Year 2011

ABSTRACT

Part of air pollution problem arise from waste gas in rubber drying process which contains an volatile free fatty acids. Biofilter is a technique for contaminated air treatment. The technique has high efficiency for removal of volatile organic compounds at low molecular weight and concentration. The objective of this research was to determine the removal of volatile free fatty acids by a composite media biofilter. The study involved two stages. The first part was to optimize the composition ratio. The coconut chips : compost : sludge ratios of 65 : 30 : 5, 75 : 20 : 5 and 85 : 10 : 5 and the inlet concentration ranging from 10-100 ppm were investigated.

The optimum ratio obtained from first part was used in the second part to examine the elimination capacity of volatile free fatty acids at three empty bed retention time 30, 60 and 90 second. The first experiment showed that a blend of 75 : 20 : 5 was superior with respect to volatile free fatty acids removal efficiency the pressure drop ranging from 1-5 mmH₂O. The second experiment revealed that the elimination capacity of volatile free fatty acids for all empty bed retention time. The experiment biofilter was applied in rubber drying process industrial factory that can be remove volatile free fatty acids in the range of 98-99%, the pressure drop 40 mmH₂O

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับการสนับสนุนและความร่วมมือเป็นอย่างดีจากบุคคลหลายๆ ท่าน ดังต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จรัญ บุญกาญจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่กรุณาให้คำปรึกษา คอยชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา อีกทั้งยังช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จันทิมา ชั่งสิริพร กรรมการที่ปรึกษาร่วมที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในระหว่างการทดลองและการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.กัลยา ศรีสุวรรณ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศกามาศ เกษมพัฒนานนท์ และดร.สุรัสวดี กังสนันท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจทานแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณอาจารย์บุญสุทธิ วัฒนไทย ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำในระหว่างการทดลองและคอยชี้แนะแนวทางการแก้ปัญหา รวมทั้งให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา

ขอขอบพระคุณ บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านสถานที่และเครื่องมือ อุปกรณ์ในการทำทดลอง ขอขอบพระคุณ พี่วีรยุทธ ทองหนูน้อย รวมไปถึงพนักงานทุกคนในโรงงานที่คอยให้คำปรึกษาและให้ความร่วมมือเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ครอบครัวที่ให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ รวมทั้งบุคลากรทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมเคมี ตลอดจนขอขอบคุณทุกท่านที่มีได้กล่าวนามมา ณ ที่นี้ด้วย

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจากทุนอุดหนุนการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์สำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ได้ให้ทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ปราณี อุ้ยปะโค

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	(3)
Abstract	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(8)
รายการภาพประกอบ	(9)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 กลิ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง	3
2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศเกี่ยวกับกลิ่นในประเทศไทย	4
2.3 ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพ	5
2.4 การตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง	31
2.5 สรุปข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้า	35
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	36
3.1 แผนการวิจัย	36
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	37
3.3 วิธีการทดลอง	40
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล	43
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	47
4.1 สมบัติตัวกลาง	47
4.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการทดลอง	48
4.3 ผลการทดลองหาอัตราส่วนการผสมตัวกลางที่เหมาะสมระหว่างเปลือกมะพร้าว กับปุ๋ยคอกของเครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Bench scale	51

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.4 การทดลองศึกษาเวลากักเก็บที่เหมาะสมและความสามารถสูงสุดในการบำบัด กรดไขมันระเหยง่าย	64
4.5 การประยุกต์ใช้ระบบและสถานะของเครื่องกรองชีวภาพกับหอดูดซึมแบบเปียก ขนาดอุตสาหกรรม บริษัทสยามอินโดรับเบอร์ จำกัด	83
4.6 การสำรวจและสอบถามความคิดเห็นของพนักงาน บริษัทสยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ต่อระดับความรุนแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดกลิ่น และมีการบำบัด กลิ่นโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ	92
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	96
5.1 ข้อสรุปผลวิจัย	96
5.2 ข้อเสนอแนะ	98
เอกสารอ้างอิง	99
ภาคผนวก	107
ก ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุตัวกลาง	108
ข ตัวอย่างรายการคำนวณที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง	115
ค รายละเอียดวิธีการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย	117
ง ผลการทดลองจากอัตราส่วน เปลือกมะพร้าว: ปุ๋ยคอก: ตะกอนน้ำเสียเท่ากับ 75:20:5	122
จ ความคิดเห็นและข้อคำถามต่อระดับความรุนแรงของกลิ่น	134
ประวัติผู้เขียน	137

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 แสดงกรดไขมันระเหยและประเภทของกลิ่น	4
2-2 การจำแนกชนิดของระบบ Biofiltration	8
2-3 คุณสมบัติของตัวกลาง	28
3-1 ส่วนผสมของตัวกลางที่บรรจุในเครื่องกรองชีวภาพ	41
3-2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	44
4-1 แสดงคุณสมบัติของตัวกลาง	47
4-2 แสดงปริมาณธาตุอาหารและคุณสมบัติทางเคมีที่พบในปุ๋ยคอก	47
4-3 ปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนและหลังเดินระบบ	92
ง-1 ผลการทดลองจากอัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5 ที่ระยะเวลาพักเก็บ 30 วินาที	122
ง-2 ผลการทดลองจากอัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5 ที่ระยะเวลาพักเก็บ 60 วินาที	123
ง-3 ผลการทดลองจากอัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5 ที่ระยะเวลาพักเก็บ 90 วินาที	124
ง-4 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Acetic acid ที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5	125
ง-5 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Propionic acid ที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5	126
ง-6 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Isobutyric acid ที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5	127
ง-7 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Butyric acid ที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5	128
ง-8 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Isovaleric acid ที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5	129
ง-9 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Valeric acid ที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5	130

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง-10 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ระยะเวลาเก็บเก็บต่างๆที่อัตราส่วนเปลือก มะพร้าว:ปุยคอก:ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75:20:5	131
จ-1 ข้อคำถามต่อก่อนและหลังการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ (จำนวน 65 คน)	136
จ-2 ผลกระทบจากกลิ่นต่อชีวิตประจำวัน (จำนวน 65 คน)	136
จ-2 ผลกระทบจากกลิ่นต่อการทำงาน (จำนวน 65 คน)	136

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2-1 ลักษณะของเครื่องกรองชีวภาพ	8
2-2 ลักษณะของ Biotrickling Filter	9
2-3 ลักษณะของ Bioscrubber	10
2-4 แสดงปรากฏการณ์ในเครื่องกรองชีวภาพ	11
2-5 กลไกการทำงานของระบบกรองชีวภาพ	11
2-6 แบบจำลองการถ่ายเทของก๊าซ	12
2-7 การไหลของอากาศในเครื่องกรองชีวภาพ	13
2-8 ทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two film theory)	16
2-9 กระบวนการดูดซับภายในเครื่องกรองชีวภาพ	17
2-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะกับ ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ	21
2-11 การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและกระบวนการเคลื่อนที่ของสารในเครื่องกรองชีวภาพ	22
3-1 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลองสำหรับการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Bench scale	37
3-2 เครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ ติดตั้งที่บริษัท สยามอิน โดริบเบอร์ จำกัด	38
3-3 แสดงหอคูดซิมแบบเป็ยกในแนวนอน (Cross flow absorber) ที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง บริษัท สยามอิน โดริบเบอร์ จำกัด	39
3-4 แสดงการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม	39
3-5 วัสดุตัวกลางผสม	40
3-6 แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยปั๊มเก็บอากาศ และ Sorbent tube	45
4-1 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของกรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC-6890	50
4-2 แสดงผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ด้วยเครื่อง GC-6890	51
4-3 แสดงผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจากเครื่องกรองชีวภาพ ด้วยเครื่อง GC-6890	52
4-4 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าและออกจากเครื่องกรองชีวภาพ	53
4-5 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย อัตราการไหล 8 l/min EBRT 12 วินาที อัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว : ทุยคอก : ตะกอนน้ำเสียของ โรงงาน 65:30:5 (No.1) 75:20:5 (No.2) 85:10:5 (No.3)	55

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดและอัตราการะบรทุกกรดไขมัน ระเหยง่ายที่อัตราส่วนประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสียของ โรงงาน 65:30:5 ที่เวลากักเก็บ 12 วินาที	57
4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดและอัตราการะบรทุกกรดไขมัน ระเหยง่าย ที่อัตราส่วนประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสียของ โรงงาน 75:30:5 ที่เวลากักเก็บ 12 วินาที	58
4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดและอัตราการะบรทุกกรดไขมัน ระเหยง่าย ที่อัตราส่วนประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสียของ โรงงาน 85:30:5 ที่เวลากักเก็บ 12 วินาที	59
4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ pH ของตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ 65:30:5 (No.1)	61
4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ pH ของตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ 75:30:5 (No.2)	62
4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ pH ของตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ 85:30:5 (No.3)	62
4-12 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าและออกจากเครื่องกรองชีวภาพ	63
4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด และความเข้มข้นของกรดไขมัน ระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลากักเก็บเท่ากับ 30 วินาที	66
4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการบำบัดและอัตราการะบรทุกกรดไขมัน ระเหยง่ายที่เวลากักเก็บเท่ากับ 30 วินาที	67
4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO ₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลากักเก็บ 30 วินาที	68
4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO ₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัดที่ เวลากักเก็บ 30 วินาที	69
4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหย ง่ายเข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลากักเก็บเท่ากับ 60 วินาที	71

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการบำบัดและอัตราการบรรเทาทุกกรดไขมันระเหยง่ายที่เวลากักเก็บเท่ากับ 60 วินาที	72
4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO ₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายเข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลากักเก็บ 60 วินาที	73
4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO ₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัดที่เวลากักเก็บ 60 วินาที	74
4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลากักเก็บเท่ากับ 90 วินาที	76
4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการบำบัดและอัตราการบรรเทาทุกกรดไขมันระเหยง่ายที่เวลากักเก็บเท่ากับ 90 วินาที	77
4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO ₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลากักเก็บ 90วินาที	78
4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO ₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัดที่เวลากักเก็บ 90 วินาที	79
4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวกลางและจำนวนวันที่เดินระบบสำหรับเครื่องกรองชีวภาพ ที่มีเวลากักเก็บ 30 วินาที	81
4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวกลางและจำนวนวันที่เดินระบบสำหรับเครื่องกรองชีวภาพ ที่มีเวลากักเก็บ 60 วินาที	82
4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวกลางและจำนวนวันที่เดินระบบสำหรับเครื่องกรองชีวภาพที่มีเวลากักเก็บ 90 วินาที	82
4-28 แสดงหอดูดซึมแบบเปียกในแนวนอน (Cross flow absorber) ที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง บริษัท สยามอิน โดริบเบอร์ จำกัด	83
4-29 ระบบดูดซึมแบบเปียก Three bed cross flow packed tower	83
4-30 แสดงผลการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมันระเหยง่าย ที่ออกจากหอดูดซึมแบบเปียก ด้วยเครื่อง GC-6890	84
4-31 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ของระบบระบบดูดซึมแบบเปียก บริษัท สยามอิน โดริบเบอร์ จำกัด	85

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4-32 แสดงผลการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมันระเหยง่าย ที่ออกจากเครื่องกรองชีวภาพ ด้วยเครื่อง GC-6890	86
4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ	88
4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการบำบัดและอัตราการระบทุกกรดไขมันระเหยง่าย	89
4-35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO ₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ	90
4-36 กราฟแสดงความคิดเห็นระดับความแรงของกลิ่นก่อนและหลังการบำบัด โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ	93
4-37 กราฟแสดงความคิดเห็นระดับความแรงของกลิ่นที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน ก่อนและหลังการบำบัด โดยใช้ เครื่องกรองชีวภาพ	94
4-38 กราฟแสดงความคิดเห็นระดับความแรงของกลิ่นที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตการทำงาน ก่อนและหลังการบำบัด โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ	95
ค-1 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่าย 15.17mg/l	118
ค-2 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่าย 38.01mg/l	119
ค-3 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่าย 52.93mg/l	119
ค-4 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นกรดไขมันระเหยง่าย 76.02mg/l	120
ค-5 แสดงผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจากเตาอบยางแห้งเข้าเครื่องกรองชีวภาพ	120
ค-6 กราฟสารละลายมาตรฐานของกรดไขมันระเหยง่าย	121

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

จากสถิติการร้องเรียนเกี่ยวกับปัญหามลพิษทางอากาศทั้งหมดพบว่า ปัญหาเรื่องกลิ่นเป็นปัญหาหลักที่มีสถิติการร้องเรียนสูงเป็นอันดับสองรองจากฝุ่นละออง แหล่งกำเนิดกลิ่นสำคัญที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษด้านอากาศ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม (กรมควบคุมมลพิษ, 2544) กลิ่นเป็นปัญหามลพิษทางอากาศที่ก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญและเป็นปัญหาที่แก้ไขได้ยาก

เนื่องจากโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่ง STR20 เป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจในภาคใต้ของไทย ปัญหามลพิษหลักคือ ปัญหากลิ่นเหม็น ซึ่งการรบกวนเป็นจุดกำเนิดสำคัญของกลิ่นเหม็น องค์ประกอบที่ก่อให้เกิดกลิ่นในกระบวนการรบกวนบางแห่งเป็นสารจำพวกกรดไขมันระเหยและสารอินทรีย์ระเหยอื่นๆ โดยทั่วไปโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่ง STR20 จะใช้ระบบดักจับแบบเปียกในการบำบัดกลิ่น แต่ไม่สามารถบำบัดหรือกำจัดองค์ประกอบที่ทำให้เกิดกลิ่นที่เกิดขึ้นในระหว่างการรบกวนได้ จึงมีกลิ่นเหม็นส่งผลให้มีการร้องเรียนจากชุมชนรอบข้าง (สมทิพย์ และคณะ, 2550)

ระบบกำจัดกลิ่นที่ใช้ทั่วไป ได้แก่ ระบบดูดซึม (Scrubber) ระบบดูดซับ (Adsorbtion) ระบบเผา (Thermal or oxidation) และระบบชีวภาพ (Biofiltration) ในบรรดาระบบกำจัดกลิ่นที่กล่าวข้างต้น ระบบกำจัดกลิ่นที่มีศักยภาพและค่าใช้จ่ายต่ำ ได้แก่ ระบบทางชีวภาพ ซึ่งน่าจะเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งในการก่อสร้างระบบกำจัดกลิ่นสำหรับโรงงานที่มีพื้นที่กว้างและมีปัญหาในการลงทุนก่อสร้างระบบกำจัดกลิ่นแบบอื่นที่มีราคาแพง

ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพในประเทศไทยยังมีใช้อยู่ค่อนข้างน้อยไม่แพร่หลายนัก สาเหตุอาจเนื่องมาจากเป็นกระบวนการที่มีงานวิจัยในประเทศไทยน้อย และผู้ออกแบบทั่วไปยังขาดข้อมูลที่จำเป็นที่ใช้ในการออกแบบ ดังนั้นข้อมูลที่ใช้ออกแบบทั่วไปจึงเป็นการใช้ข้อมูลจากต่างประเทศ ซึ่งอาจไม่เหมาะสมที่จะใช้กับประเทศไทย เนื่องจากความแตกต่างในด้านภูมิศาสตร์และอนุกรมวิธาน ตลอดจนกระบวนการผลิต (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

งานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากกระบวนการรบกวนบางแห่ง โดยใช้ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก ซึ่ง

เป็นการใช้วัสดุธรรมชาติ หาได้ง่ายภายในประเทศ ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัด ระยะเวลาที่เก็บ อัตราการระบรทุก และความสามารถในการบำบัดกลิ่น เพื่อเป็นการพัฒนาความรู้ความเข้าใจ ในด้านการกำจัดกลิ่นด้วยระบบทางชีวภาพ และทดลองใช้งานจริงกับอุตสาหกรรมยางแท่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียจากการอบยาง โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดกลิ่น และหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดก๊าซเสียจากการอบยางโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ
- 1.2.3 ออกแบบและสร้างระบบเครื่องกรองชีวภาพ ในการบำบัดกลิ่น เพื่อนำมาใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษาหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากกระบวนการอบยางแท่ง
- 1.3.2 หาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดกลิ่น โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Bench scale พารามิเตอร์ที่จะศึกษาประกอบด้วย ระยะเวลาที่เก็บ อัตราการระบรทุกที่เหมาะสม ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ และความสามารถในการบำบัดกลิ่น
- 1.3.3 ออกแบบและสร้างเครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Pilot scale โดยใช้อัตราส่วน และสภาวะที่เหมาะสมจากเครื่องกรองชีวภาพขนาด Bench scale เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางแท่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

- 1.4.1 เสนอแนะการออกแบบระบบเบื้องต้น รวมถึงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ เพื่อประเมินประสิทธิภาพของเครื่องกรองชีวภาพในการใช้งานจริง และโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางแท่งหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องอื่นๆ สามารถนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการบำบัดกลิ่นได้
- 1.4.2 นำวัสดุธรรมชาติที่มีอยู่มากมายภายในประเทศมาใช้ประโยชน์เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ

บทที่ 2

ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กลิ่นที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง

การผลิตยางแท่ง STR20 ประกอบด้วยการนำยางก้อนถ้วยมาตัด ล้างทำความสะอาด บดย่อยให้มีขนาดเล็กลง นำไปอบ และนำเข้าสู่การห่อหุ้มด้วยบรรจุภัณฑ์ ซึ่งในขั้นตอนการอบยางจะเป็นแหล่งกำเนิดของกลิ่นเหม็น เนื่องจากในกระบวนการอบยางจะทำให้สารอินทรีย์ระเหยออกไปสู่บรรยากาศ สารอินทรีย์นั้นคือกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งประกอบด้วย Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid (สมทิพย์ และคณะ, 2550)

กลิ่น หมายถึง ความรู้สึกที่มีผลมาจากสารเคมีที่ระเหยได้นั้นไปสัมผัสกับระบบประสาทรับรู้ของร่างกายและทำให้เกิดการส่งสัญญาณไปยังสมองแปรผลของการสัมผัสกลิ่นขึ้น และแม้ว่าความเข้มข้นของสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นจะต่ำมากๆ ก็สามารถก่อให้เกิดการรับรู้กลิ่นได้ หากมีการปรากฏของไอระเหยที่ก่อให้เกิดกลิ่นอยู่ ค่านี้เป็นค่า Order detection threshold ซึ่งที่ระดับนี้สมองอาจจะไม่สามารถแยกแยะความเฉพาะของกลิ่นได้ แต่หากเมื่อความเข้มข้นมากขึ้น ระบบประสาทรับสัมผัสกลิ่นจะเกิดการแยกแยะความเฉพาะของกลิ่นได้ ซึ่งเรียกว่าเป็นค่าของ Order recognition threshold ซึ่งความแตกต่างของทั้ง 2 ค่านี้จะแตกต่างกันด้วยระดับความเข้มข้นในช่วง 2-10 เท่าของแต่ละสารระเหย (ธีรภัทร์ ดันกุลโรจน์, 2552)

กรดไขมันระเหยง่ายที่พบจากก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบยางก้อนถ้วยจะให้กลิ่นเหม็นฉุนที่น่ารังเกียจ (Ali *et al.*, 2000) Acetic acid และ Butyric acid เป็นสารเคมีที่ให้กลิ่นออกเปรี้ยว Propionic acid, Isobutyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid จะให้กลิ่นเหม็น ดังนั้นที่ความเข้มข้นต่ำๆ ของแต่ละชนิดของกรดไขมันระเหยง่าย ก็สามารถจะรับรู้และแยกแยะกลิ่นได้ แต่หากมีการรวมกันที่หลากหลายก็อาจทำให้ไม่สามารถแยกแยะถึงความเฉพาะของกลิ่นได้ ทำให้เป็นกลิ่นเหม็นในภาพรวม Acetic acid และ Butyric acid มีค่า Order recognition threshold เท่ากับ 1.0 และ 0.001 ppm โดยปริมาตรอากาศตามลำดับ และมีลักษณะที่แยกแยะของกลิ่นว่าเป็นกลิ่นเหม็นเปรี้ยว (Hesketh *et al.*, 1989)

ตารางที่ 2-1 แสดงกรดไขมันระเหยง่ายและประเภทของกลิ่น

Volatile fatty acid	Type of odor
Acetic acid	Vinegar, sour, acetic
Propionic acid	Pungent
Butyric acid	Rancid, sour, cheesy
Isovaleric acid	Rancid, cheesy, sweaty
Valeric acid	Sweaty, rancid

ที่มา: Fenaroli's Handbook (Furia and Bellanca, 1975), Sigma – Aldrich (2003) and personal observation

2.2 มาตรฐานคุณภาพอากาศเกี่ยวกับกลิ่นในประเทศไทย

สำหรับประเทศไทย จากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่า มีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับปัญหาด้านกลิ่นอยู่หลายฉบับ ได้แก่

1) พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 ซึ่งให้อำนาจกรมควบคุมมลพิษในการออกเกณฑ์ และวิธีในการควบคุมมลพิษ รวมทั้งมีอำนาจในการปรับหรือเรียกค่าเสียหายของผู้ก่อมลพิษได้

2) พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ซึ่งให้อำนาจโรงงานอุตสาหกรรมในการกำหนดมาตรฐานและเกณฑ์ในการควบคุมการดำเนินงานและการปล่อยของเสียของโรงงาน

3) พระราชบัญญัติการสาธารณสุข พ.ศ. 2535 ซึ่งให้อำนาจท้องถิ่นเกี่ยวกับการตั้งและการขนย้ายขยะและของเสียรวมทั้งอำนาจในการตั้งเกณฑ์ในการควบคุม สิ่งก่อให้เกิดความเดือดร้อนรำคาญต่อสาธารณะ เช่น กลิ่น แสง เสียง ความร้อน ฯลฯ

แต่ในพระราชบัญญัติที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น ก็ยังไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐานหรือวิธีการตรวจสอบกลิ่นที่ชัดเจน คงระบุไว้แต่เพียงว่าเป็น “ความเดือดร้อนรำคาญ” เท่านั้น

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองเพื่อให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดของระบบกำจัดกลิ่นทางชีวภาพเท่านั้น โดยไม่ได้เจาะจงว่าจะต้องลดความเข้มข้นของสารที่มีกลิ่นลงจนเป็นเท่าไร เนื่องจากในประเทศไทยยังไม่ได้มีมาตรฐานกำหนดไว้

2.3 ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพ

สารมลพิษที่สามารถบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพได้นั้น ควรจะต้องเป็นสารที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย ซึ่งลักษณะทั่วไปของสารมลพิษที่สามารถใช้ในระบบนี้ คือน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีโครงสร้างพันธะง่ายๆ (Simple bond structures) เช่น โทลูอิน ไซลีน แอลกอฮอล์ บิวทานอล ฟอรั่มัลดีไฮด์ และกรดบิวไทรค (Sheridan *et al.*, 2003) เนื่องจากการมีโครงสร้างพันธะที่ซับซ้อน (Complex bond structures) จะขัดขวางจุลินทรีย์มิให้ทำการย่อยสลายได้โดยง่าย เช่น มีคลอรีนหรือซัลเฟอร์ผสมอยู่ ถ้าสารมลพิษมีโครงสร้างพันธะที่ซับซ้อน จะใช้พลังงานเป็นจำนวนมากในการย่อยสลาย ซึ่งพลังงานที่ย่อยสลายนี้จุลินทรีย์ไม่สามารถหามาได้ ดังนั้นจึงทำให้ไม่เกิดการย่อยสลายสารมลพิษเกิดขึ้น

ตัวกลางทำหน้าที่ให้น้ำ อาหาร แลกเปลี่ยนสารเคมีในอากาศกับน้ำ และรองรับของเสียที่เกิดจากแบคทีเรีย ดังนั้นการเลือกวัสดุที่นำมาทำตัวกลางจึงสำคัญมาก ในยุคแรกๆ นิยมนำวัสดุอินทรีย์หรือวัสดุธรรมชาติมาใช้บรรจุเป็นตัวกลาง (Packing material) เช่น ปุ๋ยหมัก (Compost) ดินหรือดินตะกอนเลน (Peat) (Deviny *et al.*, 1999) ซึ่งมีพื้นที่ผิวสำหรับให้จุลินทรีย์สามารถอยู่อาศัยได้ แต่ระยะต่อมาได้มีการทดลองใช้วัสดุอินทรีย์หรือวัสดุอินทรีย์สังเคราะห์ซึ่งมีราคาแพงกว่า เช่น เซรามิก โพลีไทรอิน และพลาสติก มาใช้เป็นตัวกลางด้วยโดยอาจจะใช้วัสดุอินทรีย์ล้วนหรือใช้วัสดุอินทรีย์ผสมกับวัสดุอินทรีย์ (Jang *et al.*, 2004) ซึ่งต่อมาได้มีการพัฒนาวัสดุผสมชนิดใหม่ๆ สำหรับใช้เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพโดยเฉพาะ เช่น เม็ดลูกปัดที่ทำจากวัสดุผสมระหว่างโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ พิต และโพแตสเซียมไนเตรท (Chan *et al.*, 2005) หรือเม็ดลูกปัดที่ทำจากวัสดุผสมระหว่างคาร์บอนกัมมันต์กับพิต (Chan *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตาม วัสดุอินทรีย์และวัสดุอินทรีย์ต่างก็มีข้อดีและข้อด้อยที่จำเพาะแตกต่างกันออกไป โดยธรรมชาติวัสดุอินทรีย์จะมีสารอาหารที่อุดมสมบูรณ์ มีความชื้น และสามารถอุ้มน้ำได้ดี ซึ่งเอื้อต่อการเจริญของจุลินทรีย์ แต่มีข้อด้อยคือ มักเกิดการยุบตัว อัดตัวแน่น และเกิดการอุดตันเร็ว เนื่องจากการפור้อนและการสลายตัวจากการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จึงมีอายุการใช้งานสั้น ต้องมีการเปลี่ยนชั้นกรองบ่อย ส่วนวัสดุอินทรีย์จะมีข้อดีคือ มีความคงตัวสูงกว่า มีความต้านทานต่อการบดอัดด้วยน้ำหนักของตัวกลาง ไม่ยุบตัวเร็วและช่วยรักษาสภาพความพรุนของตัวกลาง จึงทำให้มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น แต่ข้อจำกัดคือ มีสารอาหารต่ำ และอุ้มน้ำได้น้อย (Ortiz *et al.*, 2003) ฉะนั้นเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้วัสดุอินทรีย์เป็นตัวกลางจึงจำเป็นต้องมีการผนวกระบบป้อนสารอาหารและระบบเพิ่มความชื้นที่มีประสิทธิภาพเข้าไปด้วย เพื่อรักษาระดับการเจริญและกิจกรรมของจุลินทรีย์ให้คงที่ (Prado *et al.*, 2002) เนื่องจากระดับความชื้นตลอดทั่วทั้งตัวกลางจะต้องรักษาให้อยู่ในระดับเพียง

พอที่จะไม่ก่อให้เกิดการแห้ง และการแตกร้าว (Cracking) ของตัวกลาง และต้องต่ำเพียงพอเพื่อหลีกเลี่ยงการไหลเป็นช่องของของเหลว (Liquid channeling) ซึ่งจะเกิดเป็นพื้นที่ซึ่งไม่มีก๊าซออกซิเจนอยู่ (Anaerobic zones) ส่งผลให้จุลินทรีย์ในระบบซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นชนิดใช้อากาศ (Aerobic bacteria) ย่อยสลายสารมลพิษได้ลดลง โดยปกติความชื้นที่เหมาะสมภายในชั้นตัวกลางประมาณ 35-60% (Otten *et al.*, 2002)

ลักษณะของตัวกลางที่ดี คือมีความพรุนสูง เพื่อให้มีความดันลดของระบบต่ำ มีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก เพื่อให้เกิดการ Adsorption ได้ดี มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี มีองค์ประกอบของสารอาหารสำหรับจุลินทรีย์ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม พอเพียงพอการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ มีความสามารถในการรักษาคุณสมบัติของการอุ้มน้ำได้ดีเหมือนเดิม หลังจากแห้งแล้ว มีความคงตัวพอสมควร เพื่อให้สามารถใช้งานได้นานและจะต้องมีราคาไม่แพงมากเพื่อให้ไม่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในกรณีที่ต้องเปลี่ยนตัวกลาง

ประสิทธิภาพของการกรองชีวภาพ (Biofiltration) ขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดของตัวกลาง (Otten *et al.*, 2002) ชนิดของสารมลพิษและความเข้มข้นที่เข้าระบบ การออกแบบระบบกระจายอากาศ ระยะเวลาที่เก็บ ระดับความชื้น ความเป็นกรด-ด่างภายในชั้นตัวกลาง อุณหภูมิของก๊าซที่เข้าระบบ อัตราการบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพ ปริมาณธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรอง รวมถึงธาตุอาหารเสริมในปริมาณที่เหมาะสมของตัวกลางที่เลือกใช้ (Singh *et al.*, 2010) และลักษณะทางกายภาพที่เฉพาะเจาะจงของสารมลพิษแต่ละชนิด (Tsang *et al.*, 2007) และลักษณะทางกายภาพที่สำคัญ เช่น ค่าคงที่ของเฮนรี (Burgess *et al.*, 2001) ความสามารถในการละลายน้ำ และน้ำหนักโมเลกุล เป็นต้น

2.3.1 รูปแบบของเครื่องกรองชีวภาพ

ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพในยุคแรกๆ จะมีลักษณะเป็นหลุมขุดลงไปบนดิน และตัวกลางหลักที่ใช้จะเป็นดิน โดยมีชื่อเรียกว่า Bodenfilter ภายในหลุมจะมีระบบท่อกระจายอากาศ กระจายอยู่เต็มบริเวณ อากาศเสียจะถูกป้อนเข้าที่ด้านล่างของหลุม ผ่านชั้นดินและถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ (Pomeroy *et al.*, 1957) หลังจากนั้นระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพก็มีการพัฒนารูปแบบขึ้นเรื่อยๆ โดยมีทั้งแบบใช้ตัวกลางชั้นเดียว (Single bed) แบบใช้ตัวกลางหลายชั้น (Multi-Story bed) แบบชั้นตัวกลางเปิดโล่ง และแบบปิดมิดชิด

ระบบที่ใช้ตัวกลางชั้นเดียวแบบเปิดจะเป็นระบบที่มีการออกแบบชั้นหรือโครงสร้างสำหรับรองรับตัวกลางที่ด้านล่าง รวมทั้งติดตั้งระบบกระจายอากาศที่ด้านล่าง ด้านบนของตัวกลางเปิดสู่บรรยากาศ ความสูงของตัวกลางที่ใช้ประมาณ 1 m (Allen *et al.*, 1991; Amirhor

et al., 1994) รูปแบบเปิดที่ใช้ตัวกลางหลายชั้นก็จะมีลักษณะเป็นการนำระบบแบบใช้ตัวกลางชั้นเดียวมาวางซ้อนๆกัน (Wolstenholme *et al.*, 1994) ระบบแบบใช้ตัวกลางหลายชั้นเหมาะกับการใช้งานในสถานที่ที่มีพื้นที่จำกัด

ระบบแบบปิดหรือแบบเป็น โมดูล (Modular system) เป็นระบบที่ทำงานที่ความดันสูงกว่าบรรยากาศ โดยอากาศเสียจะถูกอัดเข้าไปภายในตัวระบบกำจัดกลิ่น การทำงานของระบบเพิ่มความชื้นให้อากาศเสีย และระบบการเติมสารอาหารเพิ่มเติมให้แก่ตัวกลาง มักจะเป็นแบบอัตโนมัติ ข้อดีของระบบแบบปิด คือ ประหยัดพื้นที่ และสามารถควบคุมพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบได้ง่ายกว่า

กระบวนการย่อยสลายกลิ่น จะเกิดขึ้นในส่วนตัวกลางที่มีองค์ประกอบสำคัญ 2 ส่วน คือ จุลินทรีย์และตัวกลาง ทำให้มีคุณสมบัติที่ไวต่อปฏิกิริยาชีวภาพ อันรวมถึงการย่อยสลายโมเลกุลของกลิ่นด้วย

จุลินทรีย์ที่พบในตัวกลางก็จะเป็นจุลินทรีย์ที่เจริญอยู่บนตัวกลางโดยธรรมชาติ จึงมีหลากหลายกลุ่มและชนิดปะปนกัน ทั้งแบคทีเรีย ฟังไจ (ราและยีสต์) และแอคติโนมัยซิส เจริญร่วมกันในลักษณะที่เรียกว่า ชุมชุมจุลินทรีย์ (Microbial consortia) กลายเป็นระบบนิเวศขนาดย่อมที่จุลินทรีย์กลุ่มต่างๆทำงานประสานกันอย่างเป็นระบบ โดยแบคทีเรียจะเป็นกลุ่มที่เด่นที่สุด เพราะเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมแบคทีเรียจะสามารถดูดซึมสารอาหารและเจริญได้เร็วกว่าจุลินทรีย์กลุ่มอื่นๆ

จุลินทรีย์ที่ปรากฏในชั้นกรองจะมีแหล่งที่มา 2 แหล่งหลักๆ คือ ปะปนมากับตัวกลางโดยธรรมชาติ (Indigenous species) หรือเป็นจุลินทรีย์จากแหล่งอื่นที่เพาะลงไปในตัวกลาง (Exogenous species) การเพาะจุลินทรีย์จากแหล่งอื่น เป็นการเพิ่มความหลากหลายของจุลินทรีย์ในตัวกลางอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งจะช่วยให้ประสิทธิภาพการกรองของเครื่องกรองชีวภาพให้สูงขึ้นได้ ทั้งนี้การเพาะจุลินทรีย์ลงไปในตัวกลางทำได้ 2 แนวทาง คือการเติมเชื้อบริสุทธิ์ (Pure culture) ที่ทราบชนิดและสายพันธุ์แน่นอน เช่น การเพาะเชื้อ *Hyphomicrobium-MS3* เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสลายสาร Volatile organic compound (VOC) กลุ่มซัลเฟอร์ (Smet *et al.*, 1996) หรือการเพาะเชื้อ *Exophiala jeanselmei* เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสลายสไตรีน (Cox *et al.*, 1996) และการเพาะเชื้อ *Rhodococcus sp. B261* เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการสลาย Volatile fatty acid (VFA) (Yun *et al.*, 2004) เป็นต้น ส่วนอีกแนวทางหนึ่งคือ การเพาะเชื้อผสมที่ไม่ทราบชนิดแน่นอน เช่นการเติมโคลนกัมมันต์ (Activated sludge) ที่ได้จากโรงบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้เพราะในโคลนกัมมันต์มีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดที่สามารถย่อยสลายโมเลกุลของสาร VOC ได้ (Syu *et al.*, 1999)

2.3.2 ชนิดของระบบการกรองด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

มีการออกแบบระบบการกรองด้วยกระบวนการทางชีวภาพหลายลักษณะ แต่กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบยังคงเหมือนเดิม และสามารถแยกชนิดของระบบได้เป็น 3 ชนิดใหญ่ ๆ ดังตารางที่ 2-2

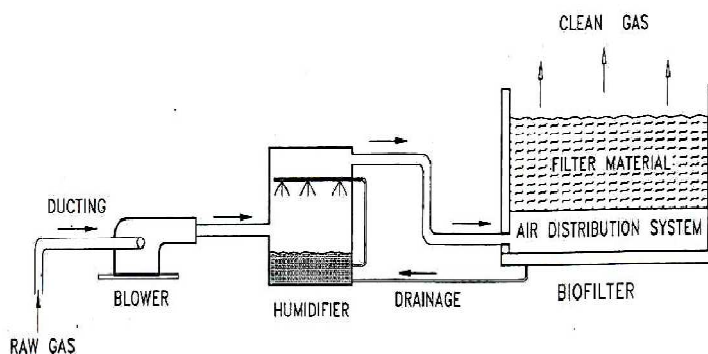
ตารางที่ 2-2 การจำแนกชนิดของระบบ Biofiltration

ชนิดของระบบ	จุลินทรีย์	Water phase
Biofilter	Fixed	Stationary
Biotrickling Filter	Fixed	Flowing
Bioscrubber	Suspended	Flowing

ที่มา : Devigny *et al.*, (1999)

1) เครื่องกรองชีวภาพ (Biofilter)

ระบบของเครื่องกรองชีวภาพจะใช้จุลินทรีย์เกาะอยู่กับตัวกลางที่มีรูพรุนอยู่กับที่ จุลินทรีย์จะเจริญเติบโตในไบโอฟิล์ม (Biofilm) บนพื้นผิวตัวกลางหรืออาจจะแขวนลอยในส่วนของน้ำที่อยู่รอบ ๆ อนุภาคตัวกลาง เครื่องกรองชีวภาพเป็นระบบที่ใช้กระบวนการพื้นฐานต่าง ๆ ร่วมกัน เช่น การดูดซับ การดูดซึม การย่อยสลาย ลักษณะของเครื่องกรองชีวภาพแสดงดังภาพประกอบ 2-1

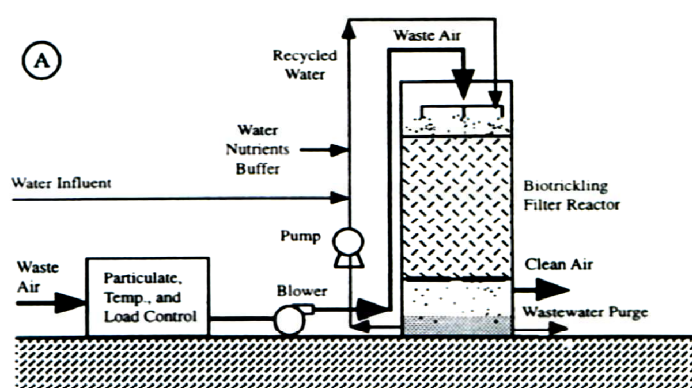


ภาพประกอบ 2-1 ลักษณะของเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา : Leson *et al.*, (1991)

2) Biotrickling filter

จะมีจุลินทรีย์อยู่ติดกับตัวกลางอนินทรีย์และมีจุลินทรีย์ในส่วนของน้ำ ทำหน้าที่ย่อยสลายก๊าซเสียที่ถูกดูดซึมขณะผ่านระบบ ระบบนี้มีการผ่านน้ำและอากาศเข้าระบบ ซึ่งน้ำและอากาศอาจจะไหลในทางเดียวกันหรือสวนทางกันก็ได้ขึ้นกับการออกแบบ ขณะที่น้ำถูกหมุนเวียนใช้ต้องมีการเติมสารอาหาร เพื่อที่จะทำให้เกิดสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด สิ่งสำคัญของ Biotrickling filter คือ ต้องควบคุมปริมาณจุลินทรีย์เพื่อไม่ให้มีมากเกินไปเพื่อเป็นการป้องกันการอุดตันของระบบ ลักษณะของ Biotrickling filter ดังแสดงในภาพประกอบ 2-2

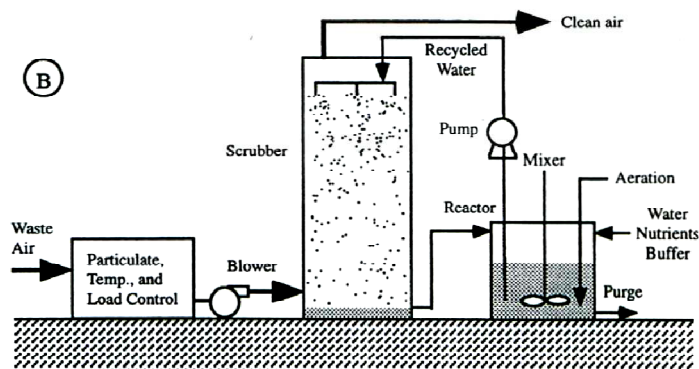


ภาพประกอบ 2-2 ลักษณะของ Biotrickling Filter

ที่มา : Deviny et al., (1999)

3) Bioscrubber

สารมลพิษจะถูกดูดซึมในส่วนของน้ำก่อนที่จะถูกย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในส่วนน้ำ การดูดซึมจะเกิดขึ้นส่วนใดของระบบก็ได้ เช่น ในคอลัมน์ หอสเปรย์น้ำแต่น้ำจะถูกไล่ลงมายังอีกภาชนะหนึ่งซึ่งเป็นที่ที่มีสภาวะเหมาะสมสำหรับจุลินทรีย์ที่จะย่อยสลายสารมลพิษ มีการหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้ลักษณะคล้ายกับ Biotrickling filter ส่วนของน้ำที่ไหลผ่านระบบมีประโยชน์ในด้านการเติมสารอาหาร เติมน้ำ และเป็นการให้สารมลพิษแพร่สู่ไบโอฟิล์ม ลักษณะของ Bioscrubber ดังแสดงในภาพประกอบ 2-3



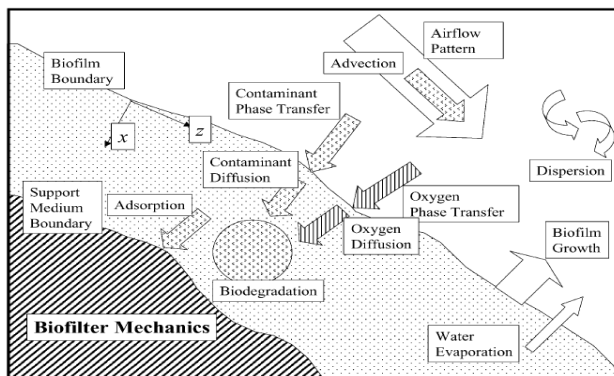
ภาพประกอบ 2-3 ลักษณะของ Bioscrubber

ที่มา : Deviny *et al.*, (1999)

2.3.3 กลไกของการกรองชีวภาพ (Mechanisms of biofiltration)

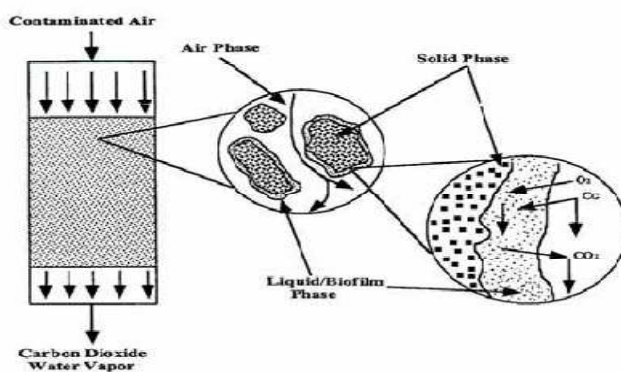
เครื่องกรองชีวภาพจะมีลักษณะเป็นถังหรือปฏิกรณ์ที่บรรจุตัวกลางที่มีความพรุน ซึ่งตัวกลางนี้จะทำหน้าที่เป็นที่ยึดเกาะของจุลินทรีย์ (Chan *et al.*, 2006; Langolf *et al.*, 2006) เก็บความชื้นและช่วยดูดซับสารมลพิษของอากาศ เพื่อให้จุลินทรีย์ได้ใช้ในการเจริญเติบโต และย่อยสลายมลพิษที่มีอยู่ในอากาศ ให้กลายเป็นสารประกอบอย่างง่าย

กลไกการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพมีความเกี่ยวข้องกับกลไกและปรากฏการณ์หลายอย่าง ทั้งด้านกายภาพ เคมี และจุลชีววิทยา (Baquerizo *et al.*, 2005) การกำจัดมลพิษอากาศเริ่มต้นด้วยการถ่ายเทสารมลพิษจากสถานะอากาศไปสัมผัสกับมวลจุลินทรีย์ที่เกาะติดอยู่ที่ชั้นฟิล์มของตัวกลาง (Singh *et al.*, 2010) สารมลพิษที่ละลายน้ำจะถูกแพร่และการพัดพา (Advection) เข้าสู่ฟิล์มชีวภาพของจุลินทรีย์ และถูกปฏิกิริยาการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยใช้กระบวนการเมตาบอลิซึม ซึ่งผลที่ได้คือ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ แร่ธาตุ และมวลชีวภาพ (Biomass) (Ottengraf, *et al.*, 1983; Lim *et al.*, 2003) อากาศที่ผ่านตัวกลางจะมีกลิ่นหรือความเข้มข้นของก๊าซลดลงจนสามารถปล่อยสู่บรรยากาศได้ ความเข้าใจในแต่ละกลไกการทำงานของระบบส่งผลทำให้สามารถดำเนินงานและแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องเหมาะสม ซึ่งแต่ละกลไกประกอบด้วย การเคลื่อนที่ของก๊าซ อัตราการถ่ายเท สถานะน้ำ สารมลพิษที่ถูกดูดซับการย่อยสลายทางชีวภาพของสารมลพิษ และสารที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2-4 และ 2-5



ภาพประกอบ 2-4 แสดงปรากฏการณ์ในเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา : Devinny *et al.*, (2005)



ภาพประกอบ 2-5 กลไกการทำงานของระบบกรองชีวภาพ

ที่มา : Devinny *et al.*, (1999)

1) การเคลื่อนที่ของก๊าซ (Gas transfer) (เอกชัย เลิศผดุงวิทย์, 2547)

ความสามารถในการละลายน้ำของสารมลพิษ ณ สภาวะสมดุล (Equilibrium) จะเป็นอัตราส่วนกับความเข้มข้นในอากาศ อธิบายโดยใช้กฎของเฮนรี (Henry's law) ดังนี้

$$C_G = HC_L \tag{2.1}$$

โดยที่

C_G = ความเข้มข้นของสารมลพิษในอากาศ (atm หรือ $g L^{-1}_{air}$)

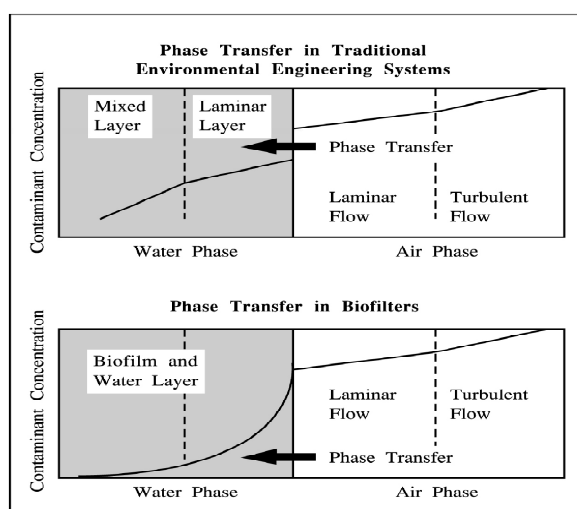
C_L = ความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำ ($mol L^{-1}_{water}$)

H = ค่าคงที่ของ Henry's law ($atm.Lmol^{-1}$ หรือ $(g L^{-1}_{air})/(g L^{-1}_{water})$)

สารมลพิษที่มีค่าคงที่ของเฮนรี (Henry's constant) สูงจะถูกกำจัดด้วยกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพ และต้องใช้เวลาเก็บกักนานกว่าสารมลพิษที่มีค่าคงที่ของเฮนรีน้อยกว่า

2) อัตราการถ่ายเท (Transfer rates) (เอกชัย เลิศผดุงวิทย์, 2547)

อัตราการถ่ายเทจากสถานะอากาศไปสถานะน้ำ สามารถอธิบายด้วยแบบจำลองการถ่ายเทเป็น 4 ขั้นตอน ภาพประกอบ 2-6



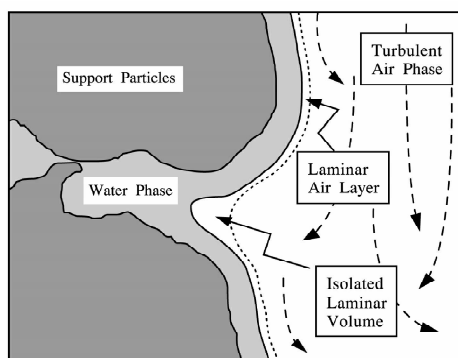
ภาพประกอบ 2-6 แบบจำลองการถ่ายเทของก๊าซ

ที่มา :Devinny *et al.*, (1999)

การย่อยสลายสารมลพิษในสถานะน้ำทำให้สารมลพิษมีความเข้มข้นลดลง โดยในเฟสน้ำการถ่ายเทจะเกิดขึ้นจากอากาศที่มีความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำ ซึ่งที่อัตราการไหลของอากาศสูงจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน เพื่อสารมลพิษจะได้เคลื่อนย้ายโดยอาศัยการพัดพา (Advection) และการแพร่ (Eddy diffusion) ซึ่งรวมกันเรียกว่าการพา (Convection)

ในช่วงเชื่อมต่อของสถานะอากาศและน้ำ การไหลของอากาศจะเป็นแบบราบเรียบ เพื่อให้การแพร่เชิงโมเลกุล (Molecular diffusion) เป็นกลไกในการเคลื่อนที่เพียงกลไกเดียว เพราะว่าการแพร่เชิงโมเลกุลจะช้ากว่าการพา ซึ่งสามารถเป็นปัจจัยอัตราจำกัด (Rate limiting factor) สำหรับถ่ายเทมวลสารไปถึงจุลินทรีย์ กรณีของสารมลพิษที่ละลายน้ำได้ดีแต่อัตราการไหลของอากาศในเครื่องกรองชีวภาพรวดเร็วมาก ชั้นความราบเรียบจะถือว่าบางมาก เพราะกระบวนการอื่นจะเกิดขึ้นช้า อย่งไรก็ตามรูปร่างพื้นที่ผิวน้ำ (Water surface) ในเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มีความผิดปกติสูง เช่น มีรูโพรงเกิดขึ้น มีแนวโน้มที่จะเกิดการขัดขวางการถ่ายเทของอากาศที่ไหลแบบราบเรียบแสดงดังภาพประกอบ 2-7



ภาพประกอบ 2-7 การไหลของอากาศในเครื่องกรองชีวภาพ
ที่มา : Deviny et al., (1999)

ในสถานะน้ำ ชั้นน้ำแบบราบเรียบจะเป็นปัจจัยจำกัดการถ่ายเทอย่างช้าไม่ว่าจะเป็นสารมลพิษหรือออกซิเจนไปยังสถานะน้ำโดยเฉพาะอย่างยิ่งสารประกอบที่มีค่าคงที่ของเฮนรี่สูงๆซึ่งเรียกสภาวะเช่นนี้ว่า Liquid phase control เพราะว่าการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของน้ำเป็นตัวจำกัดอัตราการถ่ายเทของสาร และจะถูกขัดขวางโดยเซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้น

การถ่ายเทมวลสารระหว่างสถานะจากอากาศไปสู่ น้ำ ใช้สมมติฐานว่าจะเกิดขึ้นที่อัตราหนึ่ง ซึ่งเป็นสัดส่วนกับระดับความเข้มข้นในน้ำต่ำกว่าค่าสมดุล ตามทฤษฎีของ Two film อัตราการถ่ายเทมวลสารระหว่างสถานะ สามารถคำนวณได้โดยใช้ความเข้มข้นปริมาณที่มากในสถานะของเหลวหรืออากาศ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารโดยรวม (Overall mass transfer coefficients)

$$\frac{dC_L}{dCt} = k_t(C^*_L - C_L) = k_t\left[\left(\frac{C_G}{H}\right) - C_L\right] \quad (2.2)$$

โดยที่

C_L = ความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำ

C_L^* = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่สภาวะสมดุล

t = เวลา

k_t = ค่าคงที่ของอัตราถ่ายเทต่อหน่วยเวลา $k_L a$

a = พื้นที่ระหว่างผิวหน้าที่ติดกัน

k_L = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสารโดยรวมขึ้นอยู่กับแรงผลักดันโดยรวมในของเหลว

ค่าคงที่ในสมการขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายชนิดสารประกอบต่างชนิดกันจะมีอัตราค่าคงที่ที่แตกต่างกัน แต่ที่เป็นปัจจัยมูลฐานคืออัตราส่วนระหว่างผิวหน้าที่ติดกันและปริมาตรการถ่ายเทจะเกิดขึ้นตลอดพื้นผิวและปัจจัยอื่นถูกทำให้คงที่ จำนวนของมวลสารที่ถูกถ่ายเทจะเป็นสัดส่วนกับจำนวนพื้นผิวที่มีอยู่ มวลของสารพิษที่สูญหายจากอากาศที่เข้าระบบก็เป็นเช่นเดียวกับมวลที่ได้รับจากน้ำ แต่ผลของความเข้มข้นจะแตกต่างกันเพราะปริมาตรของอากาศและสถานะน้ำแตกต่างกันดังสมการที่ 2.3

$$\frac{dC_G}{dt} = \frac{-kV_L(C^*_L - C_L)}{V_G} \quad (2.3)$$

โดยที่ V_L = ปริมาตรของสารมลพิษในสถานะน้ำ

V_G = ปริมาตรของสารมลพิษในสถานะอากาศ

แบบจำลองนี้สมมติว่าอัตราการถ่ายเทมวลสารมีความสม่ำเสมอตลอดเวลาทั่วพื้นที่ระหว่างผิวหน้าของอากาศและน้ำ (ค่า k_L ถูกสมมติให้คงที่) ในสภาพความเป็นจริงสภาวะนี้อาจมีความแตกต่างอย่างสำคัญ

3) น้ำ (The water phase) (เสาวลักษณ์ ภูณภาอำพร, 2551)

ในระบบเครื่องกรองชีวภาพจะไม่เกิดการไหลแบบปั่นป่วนเพราะว่าน้ำที่อยู่ในระบบจะไม่เคลื่อนที่ (Stationary) (Ardjnand *et al.*, 2005) เนื่องจากน้ำในระบบจะอยู่ในรูปของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ที่อิมมัวไปด้วยน้ำ ในบางครั้งอาจมีการเคลื่อนที่ของน้ำลงสู่ชั้นล่าง จากการควบแน่นของก๊าซกลายเป็นหยดน้ำหรือเติมน้ำให้กับระบบมากเกินไป ดังนั้นในทางปฏิบัติการเติมน้ำเพื่อรักษาความชื้นของตัวกลาง จึงควรเติมน้ำด้วยอัตราที่ต่ำและเติมซ้ำๆ เพื่อป้องกันการเกิดน้ำชะ (Leachate) ที่จะทำให้ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์หลุดออกจากการเคลื่อนที่ของน้ำที่เป็นการไหลแบบราบเรียบ ดังนั้นการแพร่จึงเป็นกลไกหลักในการถ่ายเทมวลไปสู่ น้ำ การย่อยสลายทางชีวภาพและการดูดซับสารมลพิษในน้ำหรือในฟิล์มชีวภาพจะเกิดขึ้นที่ผิวของตัวกลางคล้ายกับการดูดซึม สารมลพิษจะแพร่ไปยังตัวกลางและปล่อยผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการย่อยสลายทางชีวภาพออกมา ผลิตภัณฑ์ดังกล่าวจะมีความดันไอสูงจึงถ่ายเทไปสู่อากาศ การแพร่ของสารมลพิษเข้าสู่ฟิล์มชีวภาพ

โดยปกติแล้วจะช้ากว่าการแพร่ในอากาศ เนื่องจากความต้านทานการถ่ายเทมวลของน้ำ โดยที่ส่วนด้านล่างของชั้นฟิล์มชีวภาพจะมีความเข้มข้นของสารมลพิษค่อน้อยลงและอาจไม่มีออกซิเจนเหลืออยู่ น้ำเป็นสิ่งสำคัญโดยเป็นที่อยู่อาศัยของจุลินทรีย์ และสารมลพิษจะแพร่สู่น้ำ และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์หรือดูดซับต่อไป

4) การดูดซึม (Absorption) (เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551)

การถ่ายเทมวลโดยการแพร่หรือการพาที่เกิดขึ้นในสถานะ เดียวหรือต่างสถานะกัน จะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นเฉลี่ยในแต่ละสถานะไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล ปกติระบบจะพยายามปรับตัวให้เข้าสู่สมดุลในที่สุด โดยทั่วไปกลไกของการดูดซึมมีอยู่ 2 ส่วน คือ

4.1) ความสามารถในการละลาย (Solubility) ใช้การวัดที่สภาวะสมดุล โดยวัด ปริมาตรก๊าซและของเหลวในภาชนะปิด และตั้งทิ้งไว้ระยะหนึ่ง จนปริมาณของก๊าซที่ถูกดูดซึมเข้าไปในของเหลวเท่ากับปริมาณสารละลายที่ได้ ณ จุดนี้จะไม่มีการเปลี่ยนรูปของสารอีก และความเข้มข้นของก๊าซในส่วนที่เป็นก๊าซและของเหลวจะคงที่ คือ ระบบก๊าซและของเหลวเกิดสมดุลกัน กฎของเฮนรี (Henry's law) สามารถใช้ทำนายความสามารถในการละลาย เมื่อความเข้มข้นของตัว ถูกละลายถูกทำให้เจือจางลงมาก (McCabe and Smith, 1967) ดังสมการ 2.4

$$C = K_h P \quad (2.4)$$

โดยที่ C = ความเข้มข้นของก๊าซที่ละลายน้ำ (mol L^{-1})

P = ความดันย่อยของก๊าซ (atm)

K_h = ค่าคงที่ของเฮนรี ($\text{mol L}^{-1} \text{atm}^{-1}$)

4.2) การถ่ายเทมวลก๊าซสู่ของเหลว จากหลักการถ่ายเทมวลของ Whitman ได้พัฒนาเป็นทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two film theory) ดังภาพประกอบ 2.8 อธิบายการถ่ายเทมวลของ ก๊าซ-ของเหลวอย่างง่ายที่ใช้กว้างขวาง ประกอบด้วย 3 ชั้นคือ

- 1) การถ่ายเทมวลจากสถานะก๊าซไปยังผิวสัมผัสของก๊าซและของเหลว
- 2) การถ่ายเทข้ามผิวสัมผัสเข้าไปยังฟิล์มของเหลว
- 3) การถ่ายเทจากฟิล์มของเหลวเข้าไปยังสถานะของเหลว

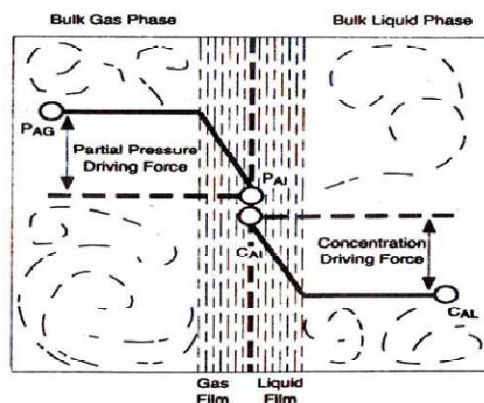
ทฤษฎีนี้อ้างสมมติฐานคือ มีฟิล์มสองชั้นแต่ละข้างของผิวสัมผัส (ฟิล์มด้านก๊าซ และฟิล์มด้านของเหลว) และอัตราการถ่ายเทมวลถูกควบคุมโดยอัตราการแพร่ผ่านฟิล์มของก๊าซ และของเหลว ดังสมการที่ 2.5 รวมถึงความต้านทานของผิวสัมผัสสำหรับการถ่ายเทมวลน้อยมาก

เมื่อเทียบกับความต้านทานของฟิล์มก๊าซและของเหลวสมการถ่ายเทมวลก๊าซ A จากสถานะก๊าซไปยังสถานะของเหลว

$$N_A = k_G(P_{AG} - P_{Ai}) = k_L(C_{Ai} - C_{AL}) \quad (2.5)$$

โดยที่

- N_A = อัตราการถ่ายเทมวลของ A ต่อหน่วยพื้นที่ถ่ายเท ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
- k_G = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแบบการพาสำหรับสถานะก๊าซ ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{atm}^{-1}$)
- k_L = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลแบบการพาสำหรับสถานะของเหลว (m s^{-1})
- P_{AG} = ความดันย่อยของก๊าซ A ในสถานะก๊าซ (atm)
- P_{Ai} = ความดันย่อยของก๊าซ A ที่ชั้นผิวสัมผัส (atm)
- C_{Ai} = ความเข้มข้นของ A ที่ชั้นผิวสัมผัส (mol L^{-1})
- C_{AL} = ความเข้มข้นของ A ในสถานะของเหลว (mol L^{-1})

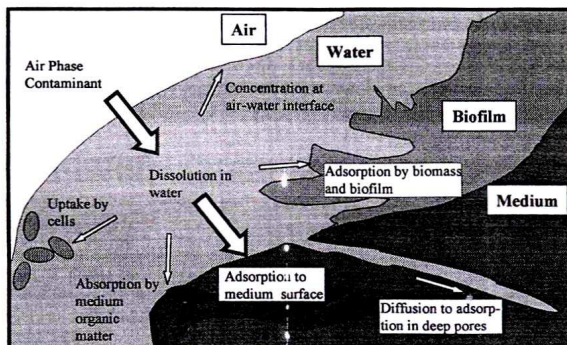


ภาพประกอบ 2-8 ทฤษฎีฟิล์มสองชั้น (Two film theory)

ที่มา : McCabe and Smith (1967)

5) การดูดซับ (Adsorption) (เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551)

การถ่ายเทสารมลพิษจากอากาศไปสู่ น้ำและของแข็งในเครื่องกรองชีวภาพเป็นขั้นตอนเบื้องต้นในการบำบัด และบางครั้งถูกเรียกว่าเป็นการดูดซับ (Adsorption) หรือ การละลายตัว (Dissolution) ดังภาพประกอบ 2.9 โมเลกุลของสารมลพิษจะถูกสลายโดยง่ายในน้ำ แต่อาจจะถูกดูดซับบนผิวหน้าของตัวกลาง การย่อยสลายโดยเซลล์จุลินทรีย์ การดูดซับบนผิวหน้าและการดูดซึมของฟิล์มจุลินทรีย์ หรือการสะสมที่ผิวหน้าของน้ำ



ภาพประกอบ 2-9 กระบวนการดูดซับภายในเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา : Deviny *et al.*, (1999)

การดูดซับสารมลพิษของเครื่องกรองชีวภาพ อธิบายได้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ 2 ชนิด คือ

5.1) **Freundlich model** ภายใต้สมมติฐานที่ว่า พื้นที่สำหรับการดูดซับมีไม่จำกัด และปริมาณสารมลพิษที่ถูกดูดซับขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษในน้ำ และค่า n จะมีค่าเท่ากับ 1 หรือใกล้เคียง ซึ่งจะทำให้ความสัมพันธ์เป็นสมการเส้นตรงดังสมการ 2.6

$$C_s = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.6)$$

โดยที่

C_s = มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ ($g\ g^{-1}$)

C_e = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล ($g\ m^{-3}$)

K_f = ค่าคงที่ของ Freundlich

n = ค่าสัมประสิทธิ์จากการทดลอง

5.2) **Langmuir model** ภายใต้สมมติฐานที่ว่า ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ถูกดูดซับจะสมดุลทางเคมีกับความเข้มข้นของสารมลพิษที่ละลายน้ำและการดูดซับมีพื้นที่จำกัด ดังสมการ 2.7

$$q = \frac{q_{\max} b C_e}{1 + b C_e} \quad (2.7)$$

โดยที่

q = มวลของสารปนเปื้อนที่ถูกดูดซับต่อมวลของตัวดูดซับ ($g\ g^{-1}$)

q_{\max} = มวลสูงสุดของสารมลพิษที่ถูกดูดซับได้ ($\text{m}^3 \text{g}^{-1}$)

C_e = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เหลืออยู่ในสารละลาย ณ สภาวะสมดุล (g m^{-3})

$b = 1/K_L$ เมื่อ K_L = ค่าคงที่ของ Langmuir

โดยปกติเป้าหมายหลักในการออกแบบของเครื่องกรองชีวภาพ คือการย่อยสลายสารมลพิษทางชีวภาพ แต่การดูดซับในสารอินทรีย์ก็ยังคงเกิดขึ้นตลอดเวลา การดูดซับจะมีผลในช่วงเริ่มต้นของการทำงาน (Start up) เป็นหลัก เนื่องจากการย่อยสลายทางชีวภาพ จุลินทรีย์ในระบบยังต้องมีการปรับตัวต่อสภาวะแวดล้อมในช่วงแรกของการเดินระบบ

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

6) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) (เอกชัย เลิศผดุงวิทย์, 2547)

6.1) फिल्मชีวภาพ (Biofilm) กลไกสำคัญที่ใช้กำจัดสารมลพิษคือ ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ (Yang *et al.*, 2008) ซึ่งชั้นฟิล์มจุลินทรีย์นี้เป็นมวลของเซลล์จุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนพื้นผิวของตัวกลางและเป็นตัวทำให้เกิดกิจกรรมการเปลี่ยนรูปสารมลพิษให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีอันตรายน้อยลง โดยกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ फिल्मชีวภาพจะเป็นฟิล์มบางๆ อยู่ระหว่างของแข็งและก๊าซ การดำเนินงานให้เครื่องกรองชีวภาพประสบความสำเร็จนั้น จุลินทรีย์เหล่านี้ต้องมีประสิทธิภาพมาก ถ้าอัตราการเปลี่ยนรูปสารมลพิษเร็วขึ้นจะทำให้เครื่องกรองชีวภาพมีขนาดเล็กลงได้ และมีราคาก่อสร้างที่ถูกลงและขนาดของเครื่องกรองชีวภาพเป็นตัวตัดสินถึงการประสบความสำเร็จในด้านเศรษฐศาสตร์

โครงสร้างของชั้นจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ที่ใช้งานจริงยังมีความเข้าใจกันอยู่น้อย และเป็นหัวข้อที่ต้องทำการศึกษาอยู่ต่อไป การสังเกตจากระยะทางพบว่ามวลจุลินทรีย์จะเป็นฟิล์มบางที่รอยต่อระหว่างตัวกลางและก๊าซ การดำเนินงานให้เครื่องกรองชีวภาพประสบความสำเร็จ มีความหนาของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ประมาณตั้งแต่ 1-5 mm และเครื่องกรองชีวภาพจะทำงานไม่ดีถ้าชั้นจุลินทรีย์มีความหนาถึง 2 cm เมื่อมองในระดับกล้องจุลทรรศน์จะพบว่า มีหลากหลายโครงสร้างของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ที่มีทางเป็นไปได้ และมีความเป็นไปได้ถึงตัวกลางที่ใช้เครื่องกรองชีวภาพต่างกันจะมีความแตกต่างกันของชั้นฟิล์มจุลินทรีย์ ชั้นฟิล์มจุลินทรีย์จะราบเรียบเป็นชั้นที่เป็นระเบียบสม่ำเสมอเท่ากัน มีจุลินทรีย์ตรึงอยู่ใน Polysaccharide gel ซึ่งส่วนใหญ่เป็นน้ำ แต่มีหลักฐานว่าอาจเป็นช่องที่เจาะทะลุซึ่งยอมให้น้ำที่มีมวลจุลินทรีย์ที่จับตัวกันเป็นก้อนไหลผ่านไป

และอาจจะมีน้ำอยู่รอบนอก เพื่อให้จุลินทรีย์ว่ายน้ำได้ (Swimming organisms) เจริญเติบโต โดยที่อาจจะมีสปิรillum ที่เป็นเส้นใย (Filamentous species) โผล่ออกมาเหนือน้ำ

แบคทีเรียและราเป็นจุลชีพหลักที่ใช้ย่อยสลายสารมลพิษภายในเครื่องกรองชีวภาพ แบคทีเรียที่มีขนาดเล็กกว่าจะมีความรวดเร็วในการย่อยสลายสารมลพิษมากกว่ารา โดยสามารถเจริญเติบโตได้ดีที่ความชื้นภายในชั้นตัวกลางสูง รวมถึงความเป็นกรด-ด่างภายในชั้นตัวกลางที่มีความเป็นกลาง ขณะที่ความชื้นภายในชั้นตัวกลางลดลงหรือตัวกลางมีสภาพเป็นกรดมากขึ้น จะทำให้ราเพิ่มจำนวนมากขึ้น ซึ่งเราสามารถย่อยสลายโมเลกุลของสารประกอบที่มีความซับซ้อนได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดของแบคทีเรีย แต่ราก็มีข้อเสียคือ หากราเจริญเติบโตมากเกินไปอาจไปเชื่อมประสานช่องว่างภายในชั้นตัวกลางทำให้ความดันลดของระบบเพิ่มสูงขึ้น

6.2) จลนศาสตร์ (Kinetic) คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการคำนวณอัตราการย่อยสลายสารมลพิษทางชีวภาพและอัตราการเกิดของมวลชีวภาพ การย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ดินเป็นตัวกลางจะประยุกต์แบบจำลองของสมการ Michaelis menten equation ดังสมการ 2.8

$$\frac{dC_L}{dt} = \frac{k_{max} C_L}{K_s + C_L} \quad (2.8)$$

โดยที่ C_L = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ (mol L^{-1})

k_{max} = อัตราการย่อยสลายสูงสุด ($\text{mol L}^{-1} \text{s}^{-1}$)

K_s = Half – saturation constant (mol L^{-1})

เมื่อความเข้มข้นของสารมลพิษ (C_L) มากกว่าค่าคงที่การอิ่มตัว (K_s) มากๆ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะเท่ากับ อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพสูงสุด (k_{max}) ซึ่งเป็น Zero order หมายถึงว่า อัตราการย่อยสลายไม่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษ เมื่อสารมลพิษมีความเข้มข้นต่ำ ปฏิกิริยาการย่อยสลายจะเป็น First order โดยในการกรองชีวภาพบริเวณทางเข้าของก๊าซจะเป็น Zero order เนื่องจากมีความเข้มข้นสูง แต่เมื่อห่างออกไปจะเป็น First order เมื่อมีความเข้มข้นต่ำ หมายถึงว่า อัตราการย่อยสลายทางชีวภาพจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของความเข้มข้นของมลพิษ

การใช้ความสัมพันธ์ของ Michaelis menten สำหรับเซลล์จุลินทรีย์ทั้งหมดโดยสันนิษฐานว่าจำนวนจุลินทรีย์ไม่มีการเปลี่ยนแปลงนั่นคือค่าของ k_{max} และ K_s ไม่เปลี่ยนแปลงแต่อย่างไรก็ตามมวลจุลชีพจะมีการปรับตัวเมื่อสารเข้าสู่เครื่องกรองชีวภาพ เพราะการย่อยสลายของสารมลพิษเป็นผลมาจากกิจกรรมของเซลล์จุลินทรีย์ (Microbial activity) จลนศาสตร์ของการย่อย

สลายสารมลพิษจะมีค่าใกล้เคียงกับจลนศาสตร์ของการเจริญเติบโตของเซลล์จุลินทรีย์ และการเจริญเติบโตเป็นส่วนหนึ่งของขนาดของจุลินทรีย์ (Microbial population) ดังสมการ 2.9

$$\frac{dx}{dt} = \mu x \quad (2.9)$$

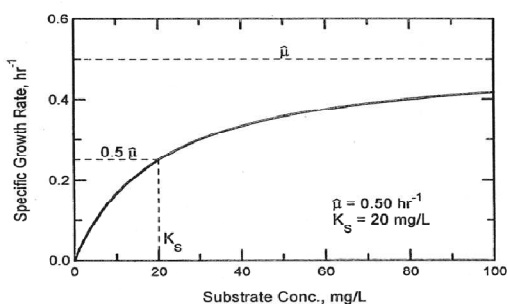
โดยที่ x = ความเข้มข้นของมวลจุลินทรีย์ (mg L^{-1})
 μ = ค่าสัมประสิทธิ์ของการเติบโตจำเพาะ (s^{-1})
 ค่าการเจริญเติบโตขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสารมลพิษที่มีอยู่และถูกใช้โดยจุลินทรีย์ ดังสมการ 2.10

$$\mu = \frac{\mu_{\max} C_L}{K_s + C_L} \quad (2.10)$$

โดยที่ C_L = ความเข้มข้นของมลพิษในน้ำ
 μ_{\max} = ค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุด
 ค่าความสัมพันธ์ของโมนอด (Monod) อธิบายถึงอัตราของมวลชีวภาพที่คาดว่าจะเติบโต ดังนั้นการที่สารมลพิษถูกย่อยสลายโดย First order ที่ช่วงความเข้มข้นต่ำและเป็นแบบ Zero order ที่ช่วงความเข้มข้นสูง อัตราการเจริญเติบโตจะเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นตรงในช่วงความเข้มข้นต่ำ และอัตราการเจริญเติบโตจะมีค่าคงที่ในช่วงความเข้มข้นสูง ในกรณีที่สารมลพิษมีค่าความเข้มข้นที่สูงมาก อาจเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตได้ ซึ่งสามารถอธิบายโดยสมการของ Haldane ดังนี้

$$\mu = \frac{\mu_{\max} C_L}{K_s + C_L + \left(\frac{C_L^2}{K_i}\right)} \quad (2.11)$$

โดยที่ K_i = Inhibition constant



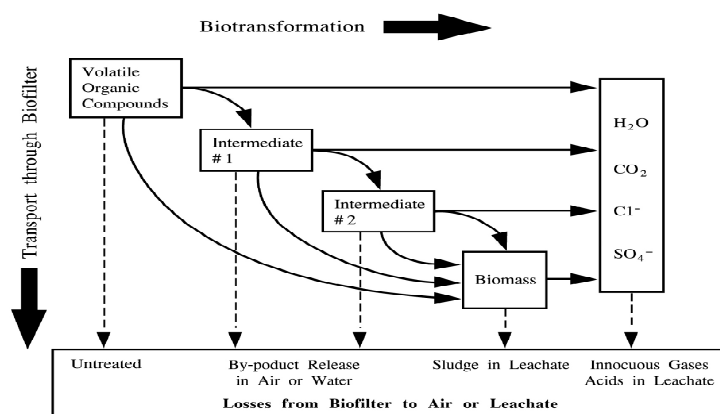
ภาพประกอบ 2-10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคงที่อัตราการเติบโตจำเพาะกับความเข้มข้นของมลพิษ
ในน้ำ

ที่มา : Grady *et al.*, (1999)

Alexander (1994) อธิบายถึงเหตุผลของสมการจลนศาสตร์เหล่านี้และสมการอื่นที่เกี่ยวข้องสำหรับการย่อยสลายทางชีวภาพในดินว่าทำไมในการใช้งานจริงค่าจลนศาสตร์เหล่านี้ถึงได้แตกต่างจากหลักเกณฑ์ข้างต้น โดยสรุปเหตุผลดังนี้

- 1) อาจจะมีตัวต้านทานการแพร่เกิดขึ้น
 - 2) สารมลพิษอาจจะถูกดูดซับในตัวกลาง
 - 3) จุลินทรีย์ที่ใช้ในการย่อยสลายสารมลพิษอาจได้รับการช่วยเหลือหรือถูกขัดขวางโดยสาปรประกอบอื่นที่มีอยู่
 - 4) สารอาหารอนินทรีย์หรือออกซิเจนจะเป็นตัวจำกัดการย่อยสลายมากกว่าสารมลพิษ
 - 5) ความหลากหลายของสปีชีส์ ค่าคงที่การย่อยสลายที่แตกต่างกัน
 - 6) เกิดผู้ล่าซึ่งอาจจะจำกัดจำนวนของแบคทีเรีย
 - 7) เซลล์จุลินทรีย์อาจจะรวมตัวกัน โดยไปกักกันซึ่งมีผลกระทบต่อกระบวนการเคลื่อนที่ของสารอินทรีย์
 - 8) ระยะเวลาการปรับตัวของจุลินทรีย์เป็นสิ่งจำเป็น
- 7) สารที่เกิดขึ้น (เอกซัย เลิศผดุงวิทย์, 2547)

สารมลพิษที่เข้าสู่เครื่องกรองชีวภาพ สารเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนรูปเป็น CO_2 , H_2O , SO_4^{2-} และ NO_3 โดยเซลล์จุลินทรีย์ ตามภาพประกอบ 2-11



ภาพประกอบ 2-11 การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพและกระบวนการเคลื่อนที่ของสารในเครื่องกรองชีวภาพ

ที่มา : Devinny *et al.*, (1999)

ในอีกทางหนึ่งสารประกอบอาจจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่สองและผ่านไปยังเซลล์จุลินทรีย์ตัวอื่นๆ สารประกอบที่มีโครงสร้างซับซ้อนจะย่อยสลายได้ยากจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารที่แตกต่างกันหลายชนิดโดยเซลล์จุลินทรีย์ที่มีหลากหลายสปีชีส์ ส่วนสารประกอบที่เป็นผลิตภัณฑ์ในระหว่างการเปลี่ยนรูปที่มีความดันไอสูงอาจจะผ่านไปโดยมิได้รับการบำบัด ขณะที่สารประกอบอื่นที่ทนต่อการย่อยสลายได้สามารถสะสมอยู่ในเครื่องกรองชีวภาพ หรืออาจถูกล้างออกมากับน้ำชะได้

เมื่อเครื่องกรองชีวภาพเข้าสู่สภาวะคงที่ (Steady state) จุลินทรีย์ในระบบจะเจริญเติบโตและลดจำนวนลงในปริมาณที่สมดุลกัน ในเครื่องกรองชีวภาพที่ดำเนินงานด้วยค่าภาระบรรทุกทุกสารมลพิษต่ำจะประสบความสำเร็จ การเปลี่ยนรูปทางชีวภาพจะเกิดขึ้นเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับ การเปลี่ยนรูปทางกายภาพ เพื่อว่าธาตุต่างๆ ที่มีอยู่ในสารมลพิษจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นแร่ธาตุ (Mineral products) การควบคุมมวลจุลินทรีย์ที่ภาวะคงที่เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่ง ถ้าเกิดการเจริญเติบโตอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดการอุดตันในเครื่องกรองชีวภาพได้ บางกรณีผู้ดำเนินการอาจจะจำกัดการเจริญเติบโตของมวลจุลินทรีย์โดยการให้สารอาหารกับระบบน้อยลง อย่างไรก็ตาม เครื่องกรองชีวภาพจำนวนมากที่ใช้กำจัดสารประกอบที่ย่อยสลายได้ในช่วงความเข้มข้นสูง ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของมวลจุลินทรีย์มากขึ้น โดยอาจจะใช้วิธีการควบคุมความดันลดที่เกิดขึ้นภายในชั้นตัวกลาง ด้วยวิธีการคลุกเคล้าตัวกลาง (Medium mixing) หรือการบรรจุตัวกลางใหม่ลงไป (Repacking)

ในขณะที่สารประกอบถูกเปลี่ยนรูป สามารถทำสมดุลมวลของสารได้โดยพิจารณาจากจำนวนคาร์บอนที่เข้าระบบจะต้องเท่ากับจำนวนคาร์บอนที่สะสมอยู่ในระบบรวมกับจำนวนคาร์บอนที่ถูกกำจัดออกจากระบบ การวัดสมดุลของคาร์บอนสามารถใช้บอกถึงอัตราการสะสมของมวลจุลินทรีย์ในระบบได้ คือถ้าจำนวนคาร์บอนที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพไม่สมดุลกับจำนวนคาร์บอนที่ออกจากระบบเป็นไปได้ว่าจะเกิดเป็นมวลจุลินทรีย์เพิ่มขึ้นหรือเกิดผลิตภัณฑ์อื่นและในกรณีของการเปลี่ยนรูปหลายขั้นตอน การทำให้เกิดสภาวะคงที่เป็นสิ่งที่ต้องการ เพื่อให้แต่ละขั้นตอนของการเปลี่ยนรูปเกิดขึ้นที่อัตราเดียวกัน ถ้าเข้าระบบมากเกินไปออกจากระบบสำหรับทุกการสะสมใดๆ จะทำให้ความเข้มข้นของสารประกอบเพิ่มสูงขึ้น ในการศึกษาการกำจัดเอทานอลด้วยเครื่องกรองชีวภาพของ Deviny และ Hodge (1995) ใช้อัตราการป้อนเอทานอลที่สูงทำให้เกิดการสะสมตัวของสารมัธยันตร์ (Intermediate) และมวลจุลินทรีย์ เพราะว่ามีในสารมัธยันตร์จะเป็น Acetic acid การสะสมตัวของกรดนี้เป็นเหตุให้ค่า pH ของตัวกลางลดลงซึ่งทำให้กระบวนการเมทาบอลิซึมเกิดช้ามากขึ้น ทำให้เกิดการสะสมมากขึ้น โดยเป็นเหตุทำให้เครื่องกรองชีวภาพล้มเหลว

2.3.4 พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น (Heat generation) (เสาวลักษณ์ ภูณภำพร, 2551)

ปกติปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารประกอบอินทรีย์ ทำให้เกิดพลังงานความร้อนขึ้นขณะที่จุลินทรีย์ต้องการพลังงานในการดำรงชีวิตซึ่งได้มาจากพลังงานทางเคมี ก่อให้เกิดพลังงานความร้อน สำหรับสารมลพิษบางชนิดปริมาณความร้อนมีความสำคัญมาก เช่น ปฏิกิริยาออกซิเดชันสมบูรณ์ของเอทานอล 1 g ต่ออากาศแห้ง 1 m³ สามารถทำให้อุณหภูมิสูงขึ้นจาก 200°C เป็น 38°C ในระบบสภาวะไม่คงที่ (Non steady state) พลังงานความร้อนเกิดเนื่องจากการย่อยสลายทางชีวภาพจะช่วยให้เครื่องกรองชีวภาพมีอุณหภูมิสูงขึ้น ตัวกลางและเครื่องกรองชีวภาพจะดูดซับพลังงานความร้อนไว้ซึ่งสามารถประมาณค่าได้จากความร้อนจำเพาะ และอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady state) อุณหภูมิของตัวกลางและถังปฏิกรณ์ จะไม่เปลี่ยนแปลงไป อย่างไรก็ตาม ถ้าอุณหภูมิของระบบมีความแตกต่างกับอุณหภูมิภายนอกจะเกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างสิ่งแวดล้อมกับถังปฏิกรณ์ ในระดับห้องปฏิบัติการสามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อน โดยทำการหุ้มฉนวนกันความร้อน สำหรับถังปฏิกรณ์ขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับภายนอกต่อปริมาตรต่ำ การถ่ายเทความร้อนสู่ผนังถังปฏิกรณ์ถือว่าน้อยมาก ความร้อนที่เกิดขึ้นมีผลให้ปริมาณน้ำในตัวกลางระเหยออก และอุณหภูมิของอากาศที่ออกจะสูงกว่าอากาศที่เข้าความร้อนของอากาศที่เกิดขึ้น สามารถคำนวณปริมาณพลังงานที่ถูกใช้ไปในการทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ผลรวมของความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยกับความร้อนที่ทำให้อากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น คือ

ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นเนื่องมาจากการย่อยสลายทางชีวภาพ โดยความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถเปรียบเทียบกับความร้อนจากการเผาไหม้ของสารมลพิษที่บำบัด เพื่อคำนวณปริมาณสารมลพิษที่ถูกย่อยสลายไป ดังนั้นสมมูลความร้อนสามารถคำนวณได้โดยไม่เกี่ยวข้องกับอัตราการเกิดของมวลชีวภาพ

2.3.5 ข้อดีของเครื่องกรองชีวภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

- 1) เป็นเทคโนโลยีที่ไม่เป็นอันตรายและไม่ก่อให้เกิดมลพิษข้างเคียงอื่นๆ
- 2) วัสดุที่ใช้ เช่น กาบมะพร้าว เศษไม้ ปุ๋ยคอก เป็นของที่หาได้ง่าย
- 3) ค่าใช้จ่ายในการทำงานของระบบบำบัดกลิ่นต่ำ
- 4) เป็นวิธีการทางธรรมชาติที่ปลอดภัย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน
- 5) มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดสารมลพิษทางอากาศต่างๆ ไป รวมถึงสารประกอบจำพวก VOC และ Inorganic compounds
- 6) ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากไม่ต้องใช้สารเคมี และเป็นการเลี้ยงจุลินทรีย์ในระบบปิด ซึ่งมีการควบคุมความชื้น อุณหภูมิ และค่า pH ดังนั้นจุลินทรีย์ จะไม่สามารถเจริญเติบโตได้ภายนอกระบบหรือบรรยากาศทั่วไปได้

2.3.6 ข้อจำกัดของเครื่องกรองชีวภาพ (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

- 1) ค่อนข้างจะอ่อนไหวต่อความเปลี่ยนแปลงของสารปนเปื้อน หากมีสารพิษเข้ามาในระบบมาก ระบบอาจจะล้มเหลวได้
- 2) ใช้เวลาในช่วงแรกก่อนที่จะบำบัดอย่างมีประสิทธิภาพนานกว่าระบบอื่น เนื่องจากต้องรอจนมีปริมาณของจุลินทรีย์เพียงพอ
- 3) ความเข้มข้นของกลิ่นต้องไม่สูงมาก

2.3.7 หลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสม (เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร, 2551)

Devinny และคณะ (1999) ได้เสนอแนะหลักเกณฑ์ในการเลือกตัวกลางที่เหมาะสมกับเครื่องกรองชีวภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) ปริมาณธาตุอาหารอินทรีย์

ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม และซัลเฟตในปริมาณที่สูงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการก่อให้เกิดจุลินทรีย์ที่หนาแน่น ในเวลานี้มีข้อมูลน้อยมากเกี่ยวกับปริมาณ

ธาตุอาหารและวัฏจักรการให้ธาตุอาหารของระบบเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะมีแต่เพียงการเติมธาตุอาหาร โดยใช้การสเปรย์น้ำที่มีธาตุอาหารลงบนตัวกลาง แต่ใช้เพียงแค่ตอนเริ่มต้นของการเดินระบบเท่านั้น อย่างไรก็ตามในบางกรณีจะมีการเติมธาตุอาหารในระหว่างการดำเนินงานด้วย โดยทั่วไปสำหรับตัวกลางที่ใช้ปุ๋ยหมัก การเติมสารอาหารในช่วงเริ่มต้นจะมีสัดส่วนของ N : P : K อยู่ในช่วง 0.4 : 0.15 : 0.15% โดยน้ำหนัก

2) ปริมาณสารอินทรีย์

ในหลายกรณีเครื่องกรองชีวภาพจะมีการบำบัดมลพิษแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากการปลดปล่อยหมุนเวียนตัวกลางหรือหยุดทำงานในช่วงสุดสัปดาห์ มวลชีวภาพและสารอินทรีย์ที่คูดซึ่มได้อื่นๆ จะเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ในช่วงหยุดระบบ ปกติแล้ววัสดุตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะมีปริมาณสารอินทรีย์มาก ดังนั้นตัววัสดุตัวกลางชนิดนี้จึงไม่ต้องการเติมมวลสารอินทรีย์เข้าไปในระบบอีกเมื่อหยุดการทำงานของระบบ

3) สารเติมแต่งทางเคมีและสารเฉื่อยปฏิบัติ (Chemical and inert additives)

สารเฉื่อยปฏิบัติจะถูกเติมลงไปเพื่อวัตถุประสงค์เฉพาะ เพื่อประโยชน์ในการป้องกันการกัดตัวของตัวกลางหลักและลดค่าความดันลดยของระบบ สารเฉื่อยปฏิบัติที่นิยมใช้ได้แก่ เม็ดโพลีสไตรีน เศษไม้ เปลือกไม้ เศษแก้วกลม หินภูเขาไฟ เป็นต้น ส่วนสารเติมแต่งทางเคมีถูกเติมลงไปเพื่อรักษาระดับ pH ให้เหมาะสม เช่น การเติมปูนขาวและเปลือกหอยเพื่อป้องกันสภาพที่เกิดกรดในตัวกลาง

4) ปริมาณน้ำ (Water content)

ตัวกลางควรมีความสามารถในการกักเก็บน้ำอยู่ภายในเพื่อให้จุลินทรีย์สามารถอาศัยอยู่ได้ โดยทั่วไปตัวกลางที่มีความสามารถในการกักเก็บน้ำสูง ได้แก่ตัวกลางอินทรีย์จะมีปริมาณน้ำประมาณ 40–80% โดยน้ำหนัก

5) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

เมื่อพิจารณาถึงการย่อยสลายทางชีวภาพแล้ว pH ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 6-8 แม้ว่าในบางกรณีการบำบัดสารประกอบที่มีซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจะทำให้พีเอชลดต่ำประมาณ 2–4 แต่ประสิทธิภาพการกำจัดไม่ได้ลดลง

6) ลักษณะการดูดซับและความพรุน

การดูดซับสารมลพิษไปยังวัสดุตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ วัสดุตัวกลางที่ใช้ควรมีสมบัติในการดูดซับสารมลพิษได้อย่างเพียงพอ และยังสามารถบำบัดสารมลพิษได้อย่างต่อเนื่องภายใต้สภาวะความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบมีการผันแปร กระบวนการดูดซับสารมลพิษไปยังตัวกลางควรจะมีบทบาทสำคัญในการลดความเข้มข้นของสารมลพิษที่สูงให้เจือจางลง

โดยส่วนมากแล้วตัวกลางที่เป็นเนื้อเดียวกัน ควรจะมีความพรุนหรือปริมาตรช่องว่างประมาณ 40-80% เพื่อทำให้มั่นใจได้ว่าอากาศจะเคลื่อนที่ได้ดีและความดันลดที่เกิดขึ้นน้อยลง การบรรจุตัวกลางควรจะทำให้เกิดพื้นที่ผิวสัมผัสมากสำหรับให้จุลินทรีย์อาศัยอยู่ได้และมีการถ่ายเทสารมลพิษเกิดขึ้นได้

7) การยึดเกาะของแบคทีเรีย

วัสดุตัวกลางที่ใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ ควรจะมีสมบัติในการยึดเกาะจุลินทรีย์ จากงานวิจัยได้พบว่าตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพควรจะมีผิวขรุขระ มีความพรุน และเก็บกักน้ำไว้ได้ เพื่อที่จะทำให้จุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ พื้นที่ผิวขรุขระเป็นสมบัติที่สำคัญที่ตัวกลางควรมีเพื่อที่จะเป็นการป้องกันจุลินทรีย์จากแรงเฉือนทางชลศาสตร์ (Hydraulic shear) สำหรับตัวกลางที่เป็นวัสดุสังเคราะห์บางครั้งอาจมีการใช้สารเคมีทำการชะล้าง เพื่อป้องกันการเจริญเติบโตของเมือกจุลินทรีย์ (Slime growth) ที่เป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดการอุดตัน

8) สมบัติทางกลศาสตร์

วัสดุที่ใช้เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพควรจะใช้ได้นาน ไม่เกิดการอุดตัน และหดตัว โดยสมบัติสำคัญที่เป็นตัวกำหนดความแข็งแรงของโครงสร้างตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ คือ ความหนาแน่นของวัสดุตัวกลาง กล่าวคือเมื่อวัสดุตัวกลางมีความหนาแน่นมากจะเป็นนัยสำคัญว่าวัสดุดังกล่าวจะมีโครงสร้างที่แข็งแรง ในทางกลับกันถ้าวัสดุมีความหนาแน่นน้อยจะแสดงให้เห็นว่าวัสดุนั้นไม่แข็งแรง ดังนั้นวัสดุตัวกลางที่แข็งแรงจึงสามารถสร้างเครื่องกรองชีวภาพที่มีความสูงมากๆ ได้ ด้วยเหตุนี้ถึงปฏิกิริยาจึงมีปริมาณมากขึ้นรวมทั้งสามารถทำให้การก่อสร้างในพื้นที่จำกัดได้ จึงเป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างระบบลดลง ปกติแล้ววัสดุตัวกลางประเภทปุ๋ยหมักจะมีความหนาแน่นอยู่ที่ประมาณ $300-500 \text{ kg m}^{-3}$ ส่วนวัสดุตัวกลางที่เป็นดินจะมีความหนาแน่นประมาณ $1,000-5,000 \text{ kg m}^{-3}$

9) ปัญหาเรื่องกลิ่นจากตัวกลางที่ใช้บรรจุ (Odor of the packing)

วัสดุตัวกลางที่นำมาใช้ประกอบไปด้วยอินทรีย์วัตถุและมวลจุลินทรีย์ซึ่งอาจจะมีกลิ่น โดยปกติค่าของกลิ่นที่ออกมาจากระบบประมาณ 20-100 Odor unit (อัตราการเจือจางจนถึงระดับที่ไม่ได้กลิ่น หรือ Threshold odor) ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้เครื่องกรองชีวภาพบำบัดมลพิษอากาศภายในอาคารที่ไม่มีการระบายอากาศออกสู่ภายนอก

10) ค่าใช้จ่ายของวัสดุตัวกลางและอายุการใช้งาน

วัสดุตัวกลางที่ใช้ควรสามารถใช้งานได้อย่างน้อย 2-4 ปี ก่อนที่จะถึงเวลากำจัด และราคาตัวกลางควรจะน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในด้านอื่น รวมถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินการควรต่ำ การเปลี่ยนตัวกลางใหม่เป็นสิ่งจำเป็นเมื่อประสิทธิภาพการกำจัดต่ำลงกว่าค่าที่ยอมรับได้ และเมื่อค่าความดันลดยุติสูงมาก

11) การกำจัดตัวกลางที่หมดอายุการใช้งาน

วัสดุตัวกลางที่ใช้แล้วไม่ควรที่จะเป็นขยะอันตรายและควรที่จะกำจัดได้ด้วยวิธีที่ง่ายและเสียค่าใช้จ่ายน้อย เช่น การผสมกับดิน (Land farming)

2.3.8 ประเภทตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ (ณัฐพล รัตนमुखย์, 2549)

1) ตัวกลางดิน (Soil bed)

ดินนับเป็นตัวกลางแบบแรกที่ถูกนำมาใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ ดินที่มีความเหมาะสมที่สุดในระบบบำบัดกลิ่น หรือสารอินทรีย์ระเหยง่ายควรจะเป็นดินที่อุดมสมบูรณ์ (Loam) ส่วนดินเหนียวไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ

2) ตัวกลางวัสดุหมัก (Compost material)

ตัวกลางวัสดุหมัก เช่น ปุ๋ยหมักเป็นตัวกลางที่นิยมใช้ในเครื่องกรองชีวภาพ เนื่องจากเป็นวัสดุราคาถูกและมีจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่ในตัวแล้วยังมีธาตุอาหาร (Nutrients) ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์อยู่ในปริมาณมาก วัสดุหมักมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี และมีความพรุนทำให้อากาศถ่ายเทได้ดี แต่มีข้อเสียคือสามารถสลายตัวได้ตามธรรมชาติ ทำให้ต้องมีการเปลี่ยนตัวกลางใหม่อยู่เสมอ

3) ตัวกลางสารอนินทรีย์ (Inorganic material)

สารอนินทรีย์ที่นิยมใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ระบบที่ใช้ถ่านกัมมันต์ จะมีข้อดีกว่าระบบที่ใช้วัสดุหมักในด้านอายุการใช้งานของตัวกลางและมีประสิทธิภาพในการดูดซับมากกว่า ทำให้สามารถลดขนาดของระบบลงได้ แต่ข้อเสียคือ ราคาค่อนข้างแพง

4) ตัวกลางสังเคราะห์ (Synthetic material)

ตัวกลางสังเคราะห์ที่ใช้กันทั่วไปจะทำจากวัสดุ เช่น พลาสติก โพลีโพรพิลีน ตัวกลางชนิดนี้จะมีสมบัติที่โครงสร้างของตัวกลางมีความแข็งแรง อายุการใช้งานยาวนาน แต่มีข้อด้อยอยู่ที่ตัวกลางชนิดนี้จะไม่มีความสามารถในการกักเก็บน้ำ และธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ ดังนั้นตัวกลางประเภทนี้จึงต้องมีการเติมน้ำและธาตุอาหารให้ระบบอย่างสม่ำเสมอ จึงเป็นผลให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของระบบค่อนข้างสูง

คุณสมบัติที่ต้องพิจารณา คือ อัตราส่วนระหว่าง คาร์บอนกับไนโตรเจน (C/N Ratio) ที่เหมาะสมกับแบคทีเรีย C/N Ratio ควรอยู่ระหว่าง 1: 20-1 : 50 สำหรับแบคทีเรียทั่วไปและความสามารถในการดูดซับน้ำควรอยู่ระหว่าง 40-60% โดยน้ำหนัก มีรูพรุนเพื่อให้มีความคั่งคั่งน้อย

ตารางที่ 2-3 คุณสมบัติของตัวกลาง

คุณลักษณะ	ตัวกลางแต่ละชนิด					
	Compost	Peat	Soil	Activated carbon	Synthetic material	Composite material
จำนวนจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโต	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	-	-	ปานกลาง-สูง
พื้นที่ผิวสัมผัส	ปานกลาง	สูง	ต่ำ-ปานกลาง	สูง	สูง	ปานกลาง
อากาศซึมผ่าน	ปานกลาง	สูง	ต่ำ	ปานกลาง-สูง	สูงมาก	สูง
สารอาหาร	สูง	ปานกลาง-สูง	สูง	-	-	สูง
ความสามารถในการดูดซับสารมลพิษ	ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง	ต่ำ-สูง	ไม่มี-สูง	ปานกลาง-สูง
อายุการใช้งาน	2-4 ปี	2-4 ปี	มากกว่า 30 ปี	มากกว่า 5 ปี	มากกว่า 15 ปี	มากกว่า 4 ปี
ราคา	ต่ำ	ต่ำ	ต่ำมาก	ปานกลาง-สูง	สูงมาก	ต่ำ
การใช้งานทั่วไป	ง่ายคุ้มค่าต่อการลงทุน	ปานกลางมีปัญหาในการควบคุมน้ำ	เหมาะกับระบบที่มีการระบายน้ำ	ต้องเติมสารอาหารที่จำเป็นและมีราคาแพง	ใช้กับ Biotrickling filter หรือ Prototype	ง่ายและค่าลงทุนเริ่มต้นต่ำ

ที่มา : Deviny et al., 1999

2.3.9 พารามิเตอร์ในการควบคุมและออกแบบระบบ (เสาวลักษณ์ ภูณภำพร, 2551)

Schnelle และ Brown (2002) ได้กล่าวว่าการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพสามารถออกแบบได้หลายรูปแบบ แต่หน้าที่การทำงานจะเหมือนกัน เครื่องกรองชีวภาพสามารถออกแบบได้ทั้งแบบปิดและเปิด หรือเป็นแบบติดตั้งด้วยการขุดเปิดหน้าดิน หรือเป็นแบบถังปฏิบัติการ โดยทั่วไปส่วนประกอบหลักของเครื่องกรองชีวภาพจะประกอบด้วย ชั้นตัวกลาง (Media packed bed) ระบบกระจายอากาศ (Air distribution system) เครื่องทำความชื้น (Humidifier) และเครื่องจ่ายอากาศ (Blower) ส่วนอุปกรณ์ทางเลือกเสริมของเครื่องกรองชีวภาพนั้น ประกอบด้วย อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchange chamber) เพื่อปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับระบบ และระบบกระจายน้ำ (Water sprinkler system) ซึ่งใช้ในการควบคุมความชื้นของพื้นผิวชั้นตัวกลาง (ณัฐพลรัตน์มุษย์, 2549)

1) ความลึกของชั้นตัวกลางเครื่องกรองชีวภาพ (Depth of biofilter bed)

ความลึกของชั้นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ โดยทั่วไปจะมีความลึกอยู่ที่ 0.5 ถึง 2.5 m ซึ่งปกติในการออกแบบจะกำหนดความลึกอยู่ที่ประมาณ 1 m เพื่อเป็นการป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกลาง

2) จุลินทรีย์ (Microbial)

ในเครื่องกรองชีวภาพ จุลินทรีย์จะทำหน้าที่ย่อยสลายสารมลพิษให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่ไม่เป็นอันตราย เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ พลังงาน และ มวลชีวภาพที่เกิดขึ้นใหม่แบคทีเรียและราเป็นจุลินทรีย์หลักที่อยู่ในฟิล์มชีวภาพ ข้อดีของแบคทีเรียคือ สามารถใช้สารอาหารและเติบโตได้อย่างรวดเร็วในสภาวะที่เหมาะสม ส่วนราจะเติบโตช้าและมีขนาดใหญ่กว่าแบคทีเรีย ทำให้รามี้อัตรารวบรวมระหว่างพื้นที่ผิวต่อปริมาตรน้อยกว่าแบคทีเรียและราทนต่อสภาวะต่างๆ ได้ดี ที่สำคัญราจะสร้างเส้นใยที่ซับซ้อนซึ่งจะขัดขวางการไหลของอากาศ และยังเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างตัวกลาง หากราเติบโตมากขึ้นจะทำให้ค่าความดันลดยิ่งขึ้น

โดยทั่วไปตัวกลางที่เป็นปุ๋ยหมักไม่จำเป็นต้องมีการเพาะเชื้อจุลินทรีย์ เนื่องจากภายในตัวกลางมีจุลินทรีย์หลากหลายชนิดอยู่แล้ว แต่อย่างไรก็ตามการเติมเชื้อจุลินทรีย์ก็ยังเป็นสิ่งที่ควรปฏิบัติ เพราะจะทำให้ระยะเวลาในการเริ่มเดินระบบลดลง และยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ ปกติแล้วหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มเดินระบบของเครื่องกรองชีวภาพจะใช้ตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated sludge)

3) การป้อนอากาศ (Air supply)

ออกซิเจนเป็นปัจจัยสำคัญในการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในเครื่องกรองชีวภาพ ปกติแล้วจะทำการป้อนอากาศให้กับเครื่องกรองชีวภาพในสัดส่วน อัตราไหลอากาศต่ออัตราไหล

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

4) ปริมาณความชื้น (Moisture content)

ปกติความชื้นของก๊าซควรมีค่าประมาณ 95 % การเพิ่มปริมาณความชื้นให้กับระบบสามารถทำได้ 2 ทาง คือ การเพิ่มความชื้นแก่ก๊าซก่อนเข้าระบบ และการเพิ่มความชื้นโดยตรงที่บริเวณผิวหน้าของชั้นกรอง วิธีการนี้ควรระมัดระวังเรื่องขนาดของหยดน้ำเพราะถ้าหยดน้ำมีขนาดใหญ่เกินไป อาจจะทำให้เกิดการอุดตันของชั้นตัวกลาง และเกิดการก่อตัวของจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนเกิดขึ้น ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้จะไม่สามารถบำบัดสารมลพิษได้และจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็น (Quinlan *et al.*, 1999) ปกติขนาดของหยดน้ำที่ใช้ควรมีขนาดเล็กกว่า 1 mm ภาวะบรรทุกน้ำสูงสุดจะอยู่ที่ $0.021 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$

5) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อจุลินทรีย์ในการทำงานและเจริญเติบโตอยู่ที่ประมาณ 10–40°C ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้จะเป็นผลให้จุลินทรีย์ถูกทำลาย (Williams *et al.*, 1992) ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิต่ำเกินไปจะเป็นผลให้จุลินทรีย์ทำงานลดลง ดังนั้นในฤดูหนาวจึงจำเป็นต้องมีการทำความร้อนให้กับก๊าซที่เข้าระบบเพื่อเพิ่มอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ส่วนในกรณีที่ก๊าซเข้าระบบมีอุณหภูมิสูงเกินไป ควรจะทำให้ก๊าซนั้นเย็นก่อนที่จะเข้าระบบ

6) ภาวะบรรทุก (Mass loading rate)

ภาวะบรรทุกของเครื่องกรองชีวภาพเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้ในการหาขนาดของระบบ โดยภาวะบรรทุกนี้สามารถใช้ในการหาพารามิเตอร์อื่นๆ ได้ คือ อัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นกรอง เวลาพักพักก๊าซ และอัตราการกำจัด อัตราไหลของก๊าซผ่านชั้นกรอง ปกติอยู่ในช่วง $0.3\text{-}1.6 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$

ภาวะบรรทุกของสารมลพิษ (Contaminant load) คือ มวลของสารมลพิษที่ปล่อยเข้าเครื่องกรองชีวภาพต่อเวลาต่อปริมาตร เป็นปัจจัยที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อระบบกรองทางชีวภาพ ประสิทธิภาพการบำบัดจะดีขึ้นเมื่อภาวะบรรทุกต่ำ อัตราการไหลอากาศต่ำ

7) เวลาพักพัก (Empty bed residence time-EBRT)

เวลาพักพัก คือ เวลาที่ก๊าซใช้ในการสัมผัสกับวัสดุตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อทำให้เกิดการดูดซับ (Adsorption) และดูดซึม (Absorption) เวลาพักพักโดยทั่วไปจะขึ้นอยู่กับชนิดก๊าซมลพิษและวัสดุตัวกลาง เช่น เวลาพักพักในการกำจัดก๊าซอินทรีย์ (Organic gas) วัสดุ

ตัวกลางที่เป็นปฏิกิริยาและดินจะใช้เวลากักพักอย่างต่ำสุดเท่ากับ 30 วินาที และ 1 นาที ตามลำดับ ส่วนเวลากักพักของก๊าซอนินทรีย์ (Inorganic gas) จะใช้เวลานานขึ้นกว่านี้

8) ความดันลด (Pressure drop)

ความดันลดในเครื่องกรองชีวภาพจะขึ้นอยู่กับประเภทตัวกลาง ความพรุนปริมาณน้ำ และการอัดตัวของตัวกลาง เมื่อทำการเดินระบบเป็นเวลานาน จะทำให้ความพรุนของตัวกลางลดลง ซึ่งเป็นผลมาจากการอัดตัวของชั้นตัวกรอง ดังนั้นการเปลี่ยนตัวกลางเมื่อครบอายุการใช้งานจะเป็นการป้องกันการอัดตัว และการเกิดความดันลดสูงได้ การเกิดความดันลดสูงๆนั้นเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ต้องใช้พลังงานสูงในการเพิ่มความดันอากาศเข้ามาในระบบ ปกติเครื่องกรองชีวภาพจะเกิดแรงดันลดประมาณ 1-3 inH₂O และใช้พลังงานในการขับเคลื่อนอากาศประมาณ 1.8-2.5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อหนึ่งพันลูกบาศก์เมตร ความดันลดยังมีความสัมพันธ์กับภาระบรรทุกทุกพื้นที่ผิว (Surface loading) ในการกำจัดสารปนเปื้อนและประเภทของตัวกลาง (Devinsky *et al.*, 1999, Leson *et al.*, 1991)

2.4 การตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.4.1 ผลการวิจัยเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Ottengraf *et al.*, (1983) ได้สร้างแบบจำลองอันดับศูนย์ (Zero order) ภายใต้สภาวะ Diffusion rate limitation และอันดับหนึ่ง (First order) ภายใต้สภาวะ Reaction rate limitation โดยสภาวะ Reaction rate limitation จะเกิดขึ้นเมื่อแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์ทั้งหมดปกคลุมพื้นที่ผิวของตัวกลางได้ทำหน้าที่กำจัดมลพิษ (Active) ณ สภาวะนี้อัตราการกำจัดมลพิษจะแปรผันตามอัตราการเร่งของการทำปฏิกิริยาของจุลินทรีย์ และแปรผกผันกับระยะเวลาสัมผัส (Contact time) และที่สภาวะ Diffusion rate limitation จะเกิดขึ้นเมื่อความเข้มข้นของมลพิษในอากาศที่เข้ามามีค่าต่ำกว่า จนสามารถถูกกำจัดไปได้หมดก่อนที่จะแพร่เข้าไปทั่วพื้นที่ของแผ่นฟิล์มจุลินทรีย์ ดังนั้นในกรณีนี้บางส่วนของแผ่นฟิล์มเท่านั้นที่จะทำหน้าที่กำจัดมลพิษ อัตราการกำจัดมลพิษในกรณีนี้จะ เป็นฟังก์ชันของเวลาสัมผัส อัตราการแพร่ และความเข้มข้นของสารตั้งต้น

Allen *et al.*, (1991) พบว่า แบบจำลองของระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพที่ใช้ตัวกลางเป็น Compost materia ซึ่งใช้ในการกำจัด H₂S จะมีลักษณะเป็นสมการอันดับหนึ่ง เมื่อความเข้มข้นของ H₂S ในอากาศเข้าต่ำกว่า 200 ppm และจะเป็นสมการอันดับศูนย์เมื่อความเข้มข้นของ H₂S มากกว่า 400 ppm นอกจากนี้ผู้วิจัยยังแนะนำให้มีการทดลองกำจัดกลิ่นด้วยระบบต้นแบบสาธิตก่อนดำเนิน โครงการก่อสร้างระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพจริงๆด้วย

Devinny *et al.*, (1991) พบว่าแบบจำลองของระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพที่ใช้ตัวกลางเป็น Granular activated carbon และ Diatomite ซึ่งใช้ในการกำจัดไอน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องบิน จะมีลักษณะเป็นสมการอันดับหนึ่ง แต่ใช้ตัวกลางเป็นดินจะมีลักษณะเป็นสมการอันดับศูนย์

Baltzis *et al.*, (1996) ได้สร้างแบบจำลองอันดับสูงกว่าหนึ่งโดยนำค่า Oxygen diffusion และ Oxygen uptake มาคิดด้วย พบว่า กรณีอากาศประกอบด้วยมลพิษเพียง 1 ชนิด เช่น เมธานอล แบบจำลองที่ทำขึ้นจะให้ผลตรงกับการทดลองจริง สามารถใช้ในการคำนวณออกแบบระบบได้ และพบว่า ถ้ามีออกซิเจนในอากาศเสียที่เข้าระบบอยู่ในปริมาณมาก จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดสูงขึ้นเนื่องจากออกซิเจนเป็นตัวกำหนดอัตราการทำปฏิกิริยาในระบบ และยิ่งก๊าซที่ปนเปื้อนสามารถระเหยได้ดีเท่าไรก็จะต้องใช้ระบบกำจัดกลิ่นที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

Ergas *et al.*, (1994) พบว่า แบบจำลองของระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพที่ใช้ตัวกลางเป็น Compost material ในการกำจัด Dichloromethane จะมีลักษณะเป็นสมการอันดับหนึ่ง (First order leinatic equation)

2.4.2 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับชนิดของตัวกลาง

Lopez *et al.*, (2003) ทำการศึกษาคุณสมบัติของเศษวัสดุจากการเกษตรพบว่า เปลือกถั่วลิสงมีศักยภาพในการนำมาใช้เป็นตัวกรองชีวภาพมากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง ความหนาแน่นรวม (Bulk density) ต่ำ pH เป็นกลาง มีจำนวนจุลชีพมาก มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้มาก มีปริมาณธาตุอาหารที่เพียงพอสำหรับแบคทีเรียไม่มีผลต่อการอุดตัน และค่าการสูญเสียความดัน (Pressure drop) ต่ำ นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม ในเปลือกถั่วลิสง พบว่า อัตราส่วนระหว่าง ไนโตรเจน:ฟอสฟอรัส:โปแตสเซียม มีค่า 100:1:13 ซึ่งโดยทั่วไปเซลล์แบคทีเรียมีองค์ประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม 5%, 1% และ 0.6% โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จากคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้น แสดงให้เห็นว่าเปลือกถั่วลิสงสามารถใช้เป็นแหล่งอาหารและแหล่งไนโตรเจนสำหรับแบคทีเรียได้

Liu *et al.*, (2005) ได้ทดลองใช้ตัวกลางผสม Compost, Lava และดิน ในระบบเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อบำบัด Ethyacetate, Isopropanol และ Toluene พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด 100% ที่ภาวะบรรทุก Ethyacetate $200 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ และ Isopropanol $120 \text{ g m}^{-3} \text{ h}^{-1}$ ระยะเวลาที่เก็บ 45 และ 90 วินาที สำหรับ Toluene ประสิทธิภาพในการบำบัด 40-100% ที่ความเข้มข้นขาเข้า 0.5 g m^{-3}

Chen *et al.*, (2006) ได้ใช้ Lava และ Carbon foam ขนาด 24 pores/cm (PPC) และ 18 PPC เป็นตัวกลางในระบบเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อบำบัด Nitric oxide พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดสูงถึง 93.8%, 79.4% และ 58.6% สำหรับ Carbon foam 24 PPC, Carbon foam 18 PPC และ Lava ตามลำดับ และ Pressure drops ของ Carbon foam มีค่าไม่เกิน 11 mmH₂O ซึ่ง Pressure drops มีค่าต่ำจะช่วยแก้ปัญหาการอุดตันและการเกิดโพรงหรือช่องในช่วงการเดินระบบได้

Gabriel *et al.*, (2007) ได้ทดลองใช้ Coconut fibre ในระบบเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อใช้ในการบำบัด Ammonia พบว่า ความเข้มข้น Ammonia ขาเข้า 45-300 ppm ระยะเวลาพักเก็บ 19-36 วินาที ความสามารถในการบำบัด Ammonia สูงสุด 12 g m⁻³ h⁻¹ และประสิทธิภาพการบำบัด 80%

Singh *et al.*, (2010) ได้ทดลองใช้ Wood charcoal เป็นตัวกลางในระบบเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อบำบัดอากาศที่มี Toluene พบว่า ที่ความเข้มข้นของ Toluene ในช่วง 0.04-4.5 g m⁻³ อัตราการระบรทุกในช่วง 30.6-1104.5 g m⁻³ h⁻¹ ประสิทธิภาพในการบำบัด อยู่ในช่วง 70-95.5% และที่การระบรทุก 1104.5 g m⁻³ h⁻¹ ค่าความสามารถในการกำจัดสูงสุด 872.5 g m⁻³ h⁻¹ ดังนั้น Wood charcoal สามารถกำจัด Toluene ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Filho *et al.*, (2010) ได้ทดลองใช้ตัวกลาง 3 ชนิดคือ Polyurethane foam, Sugarcane bagasse และ Coconut fibre ในเครื่องกรองชีวภาพ เพื่อบำบัด H₂S โดยใช้แหล่งกำเนิดจุลินทรีย์จาก Aerated submerged biofilter และ Activated sludge พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 100% หลังจากการเดินระบบเพียง 2 วัน ระยะเวลาพักเก็บ 49 วินาที ความเข้มข้นขาเข้าของ H₂S อยู่ในช่วง 184-644 ppmv หลังการทดลอง 100 วัน พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดสูงถึง 99.3% ความสามารถในการบำบัดของ Polyurethane foam, Sugarcane bagasse และ Coconut fibre อยู่ใน ช่วง 17.8-66.6, 18.9-68.8 และ 18.7-72.9 g m⁻³ h⁻¹ ตามลำดับ

2.4.3 ผลงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้เครื่องกรองชีวภาพบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย

Otten *et al.*, (2002) ได้ใช้เครื่องกรองชีวภาพ ศึกษาประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid ใน Laboratory scale ความเข้มข้นของสิ่งเจือปน 25 และ 50 ppmv ใช้ตัวกลางคือ Compost และ Compost : Perlite โดยอัตราส่วน Compost : Perlite คือ 3 : 1 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid เข้าใกล้ 100% ทั้ง Compost และ Compost : Perlite เวลาที่ใช้ในการทดลอง 2,000 h

Sheridan *et al.*, (2003) ได้ศึกษาการใช้เครื่องกรองชีวภาพสำหรับการบำบัดกลิ่น เพื่อลด n-Butyric acid โดยเปลี่ยนเงื่อนไขการดำเนินการที่แตกต่างกันและใช้ Wood chip เป็น

ตัวกลางเพื่อรักษาความชื้น ซึ่งความเข้มข้นของ n-Butyric acid อยู่ระหว่าง 0.13-3.1 g [n-Butyric acid] m⁻³ [air] พบว่า ระบบมีความสามารถในการกำจัด n-Butyric acid สูงสุด 100% ที่ Superficial gas velocities 38.2, 76.4, และ 114.6 mh⁻¹ ความสามารถในการบำบัดสูงสุด 148, 113 และ 34.4 g m³h⁻¹ ค่าความดันลด 30, 78 และ 120 Pa การทดลองใช้เวลา 120 วัน ระบบดำเนินการที่อุณหภูมิของ Column 23-27°C, Gas flow rates 0.3-0.9 m³h⁻¹, EBRT ranged 46-15 วินาที และ Humidity 98%

Yun *et al.*, (2004) ได้ใช้ระบบ Trickling biofilter ศึกษาการกำจัด Aqueous volatile fatty acids (VFA) ในน้ำและอาหารเสีย โดยใช้ Immobilized Rhodococcus sp. B261 พบว่า สามารถกำจัด n-Valeric acid (0.5%) ซึ่งเป็นสารประกอบหลักที่ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นได้ใน 25 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะที่สารละลายมี pH 8.0 อัตราการไหลของอากาศ 0.2 l min⁻¹ ความเร็ว 0.96 h⁻¹ และอุณหภูมิ 37°C

Schlegelmilch *et al.*, (2005) ศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดกลิ่นโดยใช้ทางเลือกที่เหมาะสม โดยส่วนใหญ่กระบวนการที่มักจะนำมาใช้ในการบำบัดกลิ่น ได้แก่ กระบวนการทางกายภาพ กระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางชีวภาพ โดยที่กระบวนการดูดซับจะใช้สารดูดซับต่างชนิดกัน เช่น Activated carbon, Activated alumina, Silica gels และ Zeolites เป็นต้น กระบวนการดูดซึม ได้แก่ กระบวนการดูดซึมทางกายภาพและกระบวนการดูดซึมทางเคมี กระบวนการบำบัดกลิ่นทางชีวภาพ ได้แก่ Bioscrubbers biotrickling filter และ Biofilters การบำบัดกลิ่นโดยใช้ความร้อน ได้แก่ Thermal afterburners catalytic incinerator และ Regeneration thermal oxidation (RTO) กระบวนการออกซิเดชันแบบไม่ใช้ความร้อน ได้แก่ Ozone UV และ non-Thermal plasma การทดสอบระบบกลิ่น 2 ระบบ ได้แก่ Static test system เป็นระบบที่ใช้ถุงพลาสติกที่ใช้ใน Olfactometry กับ Treatment media เช่น Adsorbent scrubbing liquids และ biofilter และ Dynamic test system ใช้ในกระบวนการบำบัดกลิ่นที่ประกอบด้วย unit ต่างๆ เช่น Test units, Air pump, Recirculation pumps, Flowmeters การจัดการกลิ่นสามารถสรุปได้เป็น Odour problem, Odour management handbook, Odour assessment, Chemical analysis, Data base, Test system, Test plant และ Full scale plant

Tsang *et al.*, (2007) ได้ศึกษา Fibrous bioreactor เพื่อพัฒนาการบำบัดกลิ่นจากสิ่งเจือปนในอากาศ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่ การทดลองใช้ Fibrous bioreactor ในการกำจัด VFA พบว่า Mass loadings 22.4 gm⁻³h⁻¹ มีประสิทธิภาพการบำบัด VFA 95% หลังจากนั้น ใช้ตัวกลาง Synthetic fibrous packing สำหรับ Trickling biofilter เพื่อศึกษาความเข้มข้นขาเข้าของ VFA และ EBRT พบว่า ที่ Mass loadings 32 gm⁻³h⁻¹ จะเริ่มมีการสะสมของ VFA ใน Recirculation liquid และมีประสิทธิภาพการบำบัด 99% การทดลองใช้เวลา 4 เดือน

Sáenz *et al.*, (2008) ได้ศึกษาการใช้ระบบการกรองทางชีวภาพ ในการกำจัด VFA ในกระแสก๊าซจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ตัวกลางที่ใช้คือ Lava rock ที่ EBRT 120 วินาที พบว่า Inlet loadings acetic acid 7.8–15.2 $\text{gm}^{-3}\text{h}^{-1}$ และ Propionic acid 6.1–24.5 $\text{gm}^{-3}\text{h}^{-1}$ สามารถกำจัดได้สมบูรณ์ 99%

สมทิพย์ และคณะ (2550) ศึกษากระบวนการกรองทางชีวภาพในการบำบัดกรดไขมันระเหยในเทอมของ กรดอะซิติก กรดพอฟิโอนิก กรดไอโซบิวทริก กรดบิวทริก และกรดวาเลริก ในก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบยางของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ใช้สารตัวกรองที่ทำมาจากเปลือกมะพร้าวและวัสดุขุยมะพร้าวสำหรับเป็นตัวกรองทางชีวภาพในระบบ เงื่อนไขในการเดินระบบคือ Gas loading สัดส่วนการผสมของตัวกรองชีวภาพ การเติมสารอาหารให้กับตัวกรองชีวภาพ และแหล่งกำเนิดก๊าซที่ใช้ทดสอบในระบบตัวกรองชีวภาพ ระบบให้ประสิทธิภาพการบำบัดในเทอมของกรดอะซิติก กรดพอฟิโอนิก กรดไอโซบิวทริก กรดบิวทริก และกรดวาเลริก มีค่าในช่วง 26–63%, 0.1–16%, 2–10%, 8–35% และ 5–35% ตามลำดับ และเมื่อทดสอบกับก๊าซที่ระบายออกมาจากระบบดักจับแบบเปียกของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ประสิทธิภาพการบำบัดในเทอมของกรดอะซิติก กรดบิวทริก และกรดไอโซวาเลริก มีค่าในช่วง 29–65%, 42–59% และ 50% ตามลำดับ

2.5 สรุปข้อมูลที่ได้จากการค้นคว้า

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าพบว่าก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบแห้งยางแท่งจะมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นกรดไขมันระเหยง่าย โดยเฉพาะกรดไขมันระเหยที่มีมวลโมเลกุลต่ำๆ ซึ่งได้แก่ Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid เป็นต้น และกระบวนการกรองชีวภาพสามารถบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งประสิทธิภาพ และความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญดังนี้ เวลาพักเก็บ ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบ และชนิดของตัวกลางที่เลือกใช้ หากตัวกลางที่เลือกใช้ไม่เหมาะสม แม้ว่าจะดำเนินงานที่ความเข้มข้นของสารมลพิษน้อย เวลาเก็บพักของระบบยาวนานขึ้น ก็จะส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพและความสามารถในการบำบัดลดลง ซึ่งปัจจัยสำคัญเหล่านี้ต้องควบคุม รวมถึงดำเนินงานให้ถูกต้องเหมาะสม จึงเป็นสาเหตุสำคัญให้งานวิจัยนี้ ที่คำนึงถึงปัจจัยของเวลาพักเก็บ ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบ และชนิดของตัวกลางเพื่อให้ออกแบบการทดลองของเครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ และทดลองใช้จริงในการบำบัดกลิ่นที่เกิดจากกระบวนการอบแห้งยางแท่งของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางแท่ง

บทที่ 3

วิธีการวิจัย

3.1 แผนการวิจัย

การวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 การทดลองคือ (1) การทดลองหาอัตราส่วนการผสมตัวกลางที่เหมาะสมของเปลือกมะพร้าวต่อปุ๋ยคอก (2) การทดลองศึกษาเวลากักเก็บที่เหมาะสมและความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย และ (3) การประยุกต์ใช้เครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม ที่บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด

3.1.1 การทดลองหาอัตราส่วนการผสมตัวกลางที่เหมาะสมระหว่างเปลือกมะพร้าวกับปุ๋ยคอกของเครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Bench scale

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนการผสมเปลือกมะพร้าวกับปุ๋ยคอกที่เหมาะสม เพื่อนำอัตราส่วนของตัวกลางผสมที่เหมาะสมไปดำเนินการทดลองศึกษาเวลากักเก็บที่เหมาะสมและความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย เพื่อเป็นเกณฑ์ในการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพขนาด Pilot scale ต่อไป

3.1.2 การทดลองศึกษาเวลากักเก็บที่เหมาะสมและความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเวลากักเก็บที่เหมาะสม และความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย โดยใช้อัตราส่วนการผสมตัวกลางที่เหมาะสมจากหัวข้อ 3.1.1

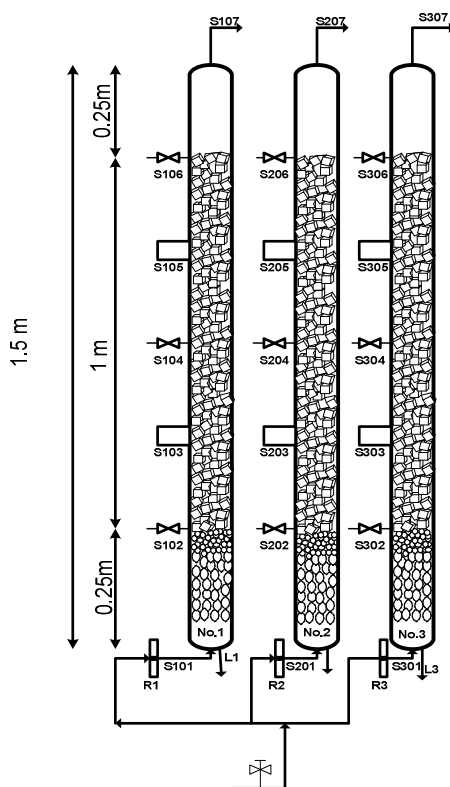
3.1.3 การประยุกต์ใช้เครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม ที่บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด

การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำผลการทดลองที่ได้จาก Bench scale มาประยุกต์ใช้จริงในโรงงานอุตสาหกรรมผลิตยางแท่ง โดยทดลองใช้ร่วมกับระบบดักจับแบบเปียก ซึ่งเป็นระบบบำบัดกลิ่นของโรงงานที่มีอยู่แล้ว เพื่อให้โรงงานอุตสาหกรรมได้รับประโยชน์จริง และคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพราะการวิจัยนี้สนใจที่จะแก้ปัญหของภาคอุตสาหกรรม

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ชุดเครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Bench scale

Bench scale ทำจากท่อ Acrylic ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 cm ยาว 1.5 m ปิดหัวท้ายด้วยปลั๊ก PVC บรรจุตัวกลางสูง 1 m ตลอดความยาวของท่อ Acrylic จะเจาะรูเพื่อต่อท่อเก็บตัวอย่างอากาศ จำนวน 5 ช่อง ห่างกันช่องละ 25 cm ด้านล่างของท่อเป็นชั้นกรวดเพื่อใช้กระจายอากาศเสียเข้าสู่ชั้นตัวกลาง ใช้รองรับชั้นตัวกลางและระบายน้ำออกจากระบบ การปรับอัตราการไหลของอากาศเสียที่เข้าระบบ จะทำโดยการ By pass อากาศบางส่วนออกสู่บรรยากาศ อัตราการไหลของอากาศเสียเข้าสู่ระบบจะถูกวัดโดย เครื่องวัดอัตราการไหลแบบ Rotameter ความดันลดของชั้นตัวกลางจะตรวจสอบโดยการใช้มาโนมิเตอร์ โดยลักษณะและส่วนประกอบของเครื่องกรองชีวภาพ ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพประกอบ 3-1



ภาพประกอบ 3-1 แสดงไดอะแกรมของชุดทดลองสำหรับการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ด้วยเครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Bench scale



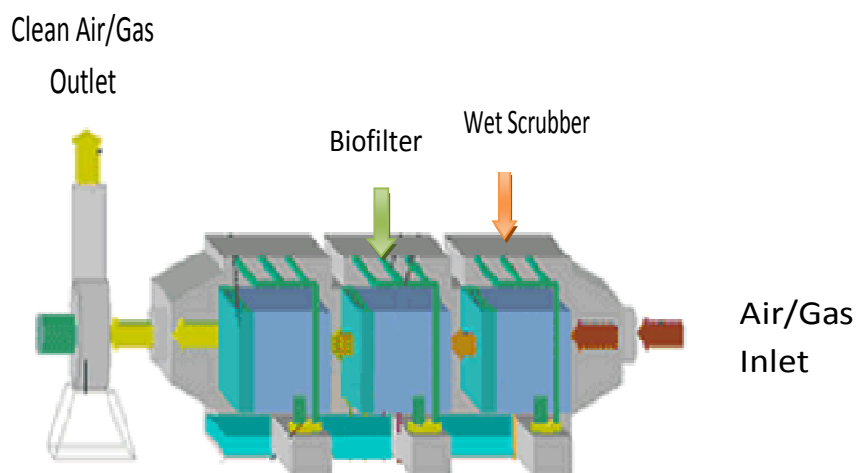
ภาพประกอบ 3-2 เครื่องกรองชีวภาพระดับห้องปฏิบัติการ ติดตั้งที่
บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด

3.2.2 ชุดเครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด

ระบบดักจับแบบเปียกของ บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ดังภาพประกอบ 3-3 มีขนาดกว้าง 3.6 m ยาว 2 m และสูง 2 m จากข้อมูลการออกแบบของโรงงาน พบว่าก๊าซเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนที่ความเร็วรอบ 1500 rpm ผ่านท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.2 m หรืออัตราการไหลของก๊าซเสีย $6390 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ และภายในระบบดักจับแบบเปียกแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังภาพประกอบ 3-4 ส่วนแรกบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ด้วยระบบดักจับแบบเปียกซึ่งทางโรงงานใช้เดินระบบบำบัดกลิ่นที่เกิดจากการอบยาง ขณะทำการผลิตยางแท่ง STR20 โดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม ส่วนที่สองประยุกต์ใช้เครื่องกรองชีวภาพ เพื่อบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายหลังจากผ่านการบำบัดด้วยระบบดักจับแบบเปียก



ภาพประกอบ 3-3 แสดงหอดูดซึมแบบเป็ยกในแนวนอน (Cross flow absorber) ที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง บริษัท สยามอินโด รับเบอร์ จำกัด



ภาพประกอบ 3-4 แสดงการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม

3.3 วิธีการทดลอง

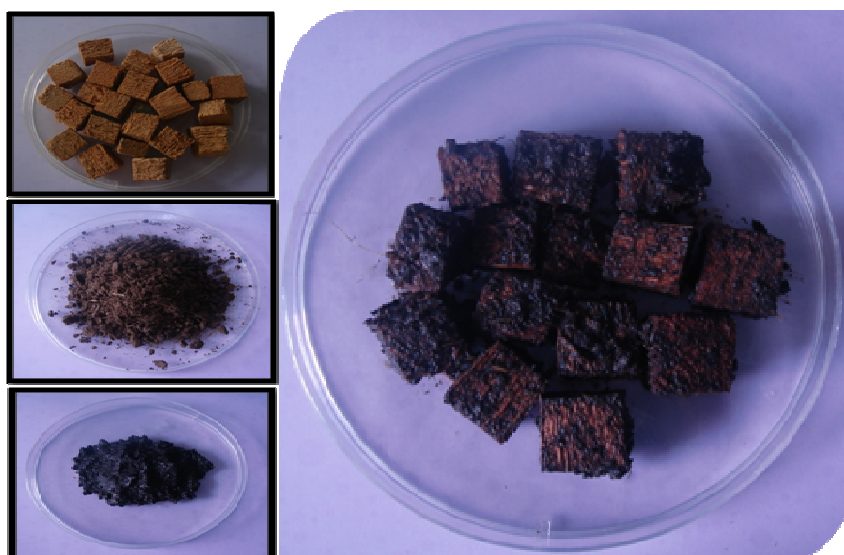
3.3.1 การเตรียมตัวกลางผสม

ตัวกลางที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว ปุ๋ยคอก และตะกอนน้ำเสียจากโรงบำบัดน้ำเสียของบริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด โดยตัวกลางแต่ละชนิดมีคุณลักษณะดังนี้

เปลือกมะพร้าว เป็นตัวกลางหลักที่ใช้ในการทดลอง เป็นวัสดุธรรมชาติที่หาง่าย ราคาถูก มีความสามารถในการอุ้มน้ำได้ดี มีความพรุนสูง และค่อนข้างมีความคงตัว

ปุ๋ยคอก ทำหน้าที่ในการปรับความพรุนในตัวกลางให้เหมาะสมและทำหน้าที่เป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในตัวกลาง เมื่อมีการหยุดเดินระบบ

ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย ทำหน้าที่เป็นแหล่งกำเนิดจุลินทรีย์ในระบบบำบัดกลิ่น เพื่อให้สามารถเริ่มเดินระบบได้ง่าย และช่วยในการปรับความพรุนของตัวกลาง วัสดุตัวกลางที่ใช้เป็นตัวกลางผสมของเครื่องกรองชีวภาพแสดงได้ดังภาพประกอบ 3-5



ภาพประกอบ 3-5 วัสดุตัวกลางผสม

3.3.3 การบรรจุตัวกลางลงในเครื่องกรองชีวภาพ

1) เครื่องกรองชีวภาพขนาด Bench scale

การวิจัยระดับ Bench scale เลือกใช้ส่วนผสมของตัวกลาง เปลือกมะพร้าวเป็นวัสดุตัวกลางหลัก ตะกอนจุลินทรีย์จากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเพื่อเป็นแหล่งจุลินทรีย์ และเติมปุ๋ยคอกเพื่อเป็นแหล่งธาตุอาหารแก่จุลินทรีย์ โดยแปรผันอัตราส่วนผสมตัวกลาง เปลือกมะพร้าว: ปุ๋ยคอก: ตะกอนจุลินทรีย์ จำนวน 3 ชุดการทดลอง รายละเอียดดังตารางที่ 3-1 ให้อัตราส่วนผสมตะกอนจุลินทรีย์คงที่ 5 % โดยปริมาตร แปรผันอัตราส่วนผสมเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก ได้แก่ ชุดเปลือกมะพร้าว 65 %, 75 % และ 85 %

จากการศึกษาข้อมูล พบว่าสารที่ก่อให้เกิดกลิ่นที่เป็นองค์ประกอบหลักในอากาศเสียจากกระบวนการอบยางแท่ง ได้แก่ Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid ดังนั้นในการทดลองจะมีการตรวจวัดความเข้มข้นของสารดังกล่าว และพารามิเตอร์หลักที่จะทำการศึกษาประกอบด้วย ชนิดของตัวกลางหลัก ภาวะบรรทุกของระบบ และระยะเวลาที่เก็บ การทดลองเครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Bench scale มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมเครื่องกรองชีวภาพ จำนวน 3 ชุด บรรจุตัวกลางต่างๆ ตามตารางที่ 3-1 ปริมาตรตัวกลางทุกชนิดจะเป็นปริมาตรที่ไม่ผ่านการบดอัดใดๆ

ตารางที่ 3-1 ส่วนผสมของตัวกลางที่บรรจุในเครื่องกรองชีวภาพ

No.	ตัวกลางหลัก	ส่วนผสม (% By Volume)		
		ตัวกลางหลัก	ปุ๋ยคอก	ตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสีย
1	เปลือกมะพร้าว	65	30	5
2	เปลือกมะพร้าว	75	20	5
3	เปลือกมะพร้าว	85	10	5

2) นำตัวกลางทุกชนิดมาผสมกัน พร้อมทั้งเติมน้ำลงไปในส่วนผสม เพื่อให้มีความชื้นประมาณ 60%

3) บรรจุตัวกลางที่ผสมกันดีแล้วลงในเครื่องกรองชีวภาพจะใช้วิธีเทตัวกลางลงในกระบอกลบโดยไม่มีกรบอัด

4) เตรียมอุปกรณ์ตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ อัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ระบบ ความดันลดของตัวกลาง อุณหภูมิของอากาศเสียที่เข้าและออกจากระบบ และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย

5) เริ่มทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเริ่มเดินระบบ และช่วงดำเนินการทดลอง มีการตรวจวัดความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายทุก 2 วัน เพื่อดูประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย เมื่อประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบค่อนข้างคงที่ แสดงว่าจุลินทรีย์เจริญเติบโตอยู่ในตัวกลางและกลุ่มจุลินทรีย์เหล่านั้นเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว ระบบจะมีความพร้อมในการทดลองต่อไป

2) เครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด มีขั้นตอนดังนี้

1) เตรียมเครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม จำนวน 1 ชุด บรรจุตัวกลางตามอัตราส่วนระหว่างเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก ที่เหมาะสม ที่ได้จากการทดลอง โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพขนาด Bench scale

2) นำตัวกลางทุกชนิดมาผสมกัน พร้อมทั้งเติมน้ำลงไปในส่วนผสม เพื่อให้มีความชื้นประมาณ 60%

3) บรรจุตัวกลางที่ผสมกันดีแล้วลงในเครื่องกรองชีวภาพ จะใช้วิธีเทตัวกลางลงในถังโดยไม่มีกรบอัด

4) เตรียมอุปกรณ์ตรวจวัดพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่

- ความดันลดของตัวกลาง จะทำการตรวจวัดโดยใช้มาโนมิเตอร์
- ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย จะตรวจวัดที่ทางเข้าและทางออกของระบบเครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม
- ความชื้นของตัวกลางจะถูกตรวจวัดที่บริเวณผิวด้านบนของชั้นตัวกลางและที่จุดเก็บตัวอย่างที่เจาะไว้ที่ด้านข้างของระบบเครื่องกรองชีวภาพขนาดอุตสาหกรรม
- pH จะทำการตรวจวัดเพื่อดูแนวโน้มการเปลี่ยนแปลง pH เทียบกับเวลา เพื่อนำไปตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่าง pH กับประสิทธิภาพการบำบัดและกลุ่มจุลินทรีย์ โดยจะเก็บตัวอย่างที่บริเวณผิวด้านบนของชั้นตัวกลาง

5) เริ่มทำการทดลองโดยแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงเริ่มเดินระบบ และช่วงดำเนินการทดลอง และมีการตรวจวัดความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าและออกจาก

ระบบอย่างต่อเนื่อง ทุกๆ 2 วัน เพื่อดูประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของเครื่องกรองชีวภาพ

3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.1 สารเคมี

- 1) เอทิลอะซิเตรท (AR grade, 95%)
- 2) เอทานอล (Commercial grade, 95%) ผลิตโดย Sigma-aldrich
- 3) อะซีโตน
- 4) สารละลายมาตรฐานกรดไขมันระเหยง่าย (Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid)

3.4.2) อุปกรณ์สำหรับการเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

อุปกรณ์สำหรับการเก็บตัวอย่างประกอบด้วย

- 1) Sorbent tube (Coconut charcoal, SKC)
- 2) ปัมป์เก็บอากาศ (Air sampling pump)
- 3) สายยางซิลิโคน

อุปกรณ์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ ประกอบด้วย

- 1) ปีเปต
- 2) บีกเกอร์
- 3) ขวดเก็บตัวอย่าง
- 4) เครื่องวัดค่าพีเอช
- 5) เครื่อง Gas Chromatography (model 6890, Hewlett Packard)
- 6) นาฬิกาจับเวลา (Stop watch)
- 7) ตู้ควัน (Hood)
- 8) Syringe ขนาด 1ul
- 9) Syring filter (nylon) ขนาดรูพรุน 0.45 um
- 10) Micro pipette ขนาด 10-1000 ul
- 11) Ultrasonic bath

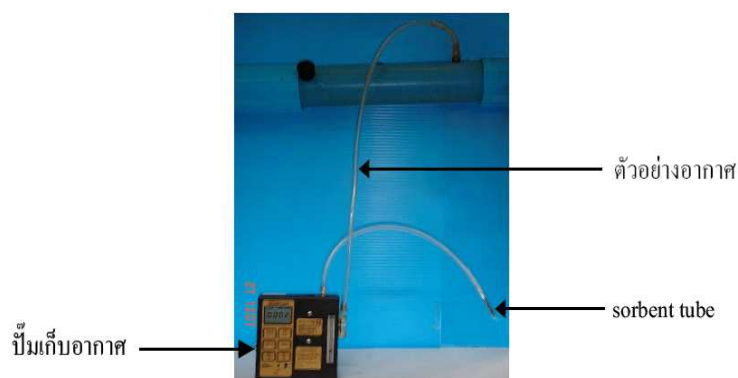
ขั้นตอนการเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์พารามิเตอร์ในการวิจัยแสดงดังตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือ	วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย	จุดตรวจ	ความถี่
Sorbent tube	เก็บตัวอย่างก๊าซที่เข้าและออก เพื่อหาความเข้มข้น	S01 และ S07	ทุก 2 วัน
โฟลมิเตอร์	วัดอัตราการไหลของอากาศ	R1, R2 และ R3	ทุกวัน
เครื่องวัดความชื้น	วัดความชื้นของอากาศที่เข้าและออกจากระบบ	S01 และ S07	ทุก 2 วัน
พีเอชมิเตอร์	วัดความเป็นกรด-ด่างภายในชั้นตัวกลาง	S03 และ S05	ทุก 2 วัน
เครื่องวัดอุณหภูมิ	วัดอุณหภูมิที่เข้าและออกจากระบบ	S01 และ S07	ทุก 2 วัน
มาโนมิเตอร์	วัดความดันลดของตัวกลาง	S01 และ S07	ทุก 2 วัน
เครื่องวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์	วัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดขึ้น	S01 และ S07	ทุก 2 วัน

3.4.3) การเก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างอากาศที่เข้าและออกจาเครื่องกรองชีวภาพ ทุกๆ 2 วัน ด้วย Sorbent tube โดยหักปลายทั้งสองด้านของ Sorbent tube ออก และต่อปลายด้านทางเข้ากับปั๊มเก็บอากาศ ตั้งค่าอัตราการไหลของอากาศในการเก็บตัวอย่างเป็น 1 l min^{-1} ทำการเก็บตัวอย่างอากาศเป็นเวลา 60 min โดยวิธีการเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบ 3-3 จากนั้นปิดปลายทั้งสองของ Sorbent tube ด้วยฝาพลาสติกให้สนิท



ภาพประกอบ 3-6 แสดงวิธีการเก็บตัวอย่างด้วยปั๊มเก็บอากาศ และ Sorbent tube

3.4.4) การวิเคราะห์ตัวอย่าง

1) การหาประสิทธิภาพของ Sorbent tube

การหาประสิทธิภาพของ Sorbent tube ที่ใช้ในการทดลองจะทำให้ทราบปริมาณของตัวอย่างที่แท้จริง ที่มีอยู่ใน Sorbent tube ซึ่งวิธีการหาประสิทธิภาพของ Sorbent tube ทำโดยนำ Sorbent tube มาตัดปลายทางเข้าและทางออก นิดสารละลายมาตรฐานกรดไขมันระเหยง่าย ลงบนใยแก้วที่ส่วนหัวของหลอดดูดซับด้วยปริมาณ 2 μl ทำการเป่าอากาศผ่านปลายส่วนหัวของหลอดดูดซับด้วยปั๊มอากาศที่อัตราการไหล 1 l min^{-1} เป็นเวลา 5 min เมื่อเสร็จแล้วปิดปลายทางเข้าและออกของหลอดดูดซับด้วยฝาพลาสติก ห่อด้วยถุงพลาสติกเก็บในตู้เย็นที่ 4 °C เป็นเวลา 1 วัน (MDHS 33/2, 1997) นำถ่านกัมมันต์ในหลอดดูดซับที่ได้จากส่วนหัวและส่วนหางไปทำการสกัดด้วยสารละลายผสม ที่ประกอบด้วย เอทิลอะซิเตรท : เอทานอล : น้ำ ในอัตราส่วน 5:1:0.5 โดยปริมาตร นำตัวอย่างไปสกัดใน Ultrasonic bath ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 min จากนั้นทิ้งให้เย็น เติมอะซิโตนเข้มข้น 0.05% by volume (Internal standard) 10 μl และกรองตัวอย่างผ่าน Syringe filter จนได้สารละลายใส เก็บตัวอย่างไว้ในขวดปิดสนิท เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย โดยใช้เครื่อง GC

2) การสกัดตัวอย่าง

ตัวอย่างที่เก็บใน Sorbent tube ก่อนนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย จะต้องมีการสกัดกรดไขมันระเหยง่าย ที่ถูกดูดซับไว้ด้วยผงคาร์บอน โดยเขี่ยผงคาร์บอนส่วนหางเข้าของ Sorbent tube ออกให้หมด ละลายผงคาร์บอนด้วยตัวทำละลายผสม ประกอบด้วย เอทิลอะซิเตรท : เอทานอล : น้ำ ในอัตราส่วน 5:1:0.5 โดยปริมาตร นำตัวอย่างไป

สกัดใน Ultrasonic bath ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 min จากนั้นทิ้งให้เย็น เติมอะซิโตนเข้มข้น 0.05% by volume (Internal standard) 10 μ l และกรองตัวอย่างผ่าน Syringe filter จนได้สารละลายใส เก็บตัวอย่างไว้ในขวดปิดสนิท เพื่อนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย โดยใช้เครื่อง GC

3) การหาค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย

กราฟมาตรฐานของกรดไขมันระเหยง่าย

เตรียมสารละลายมาตรฐานกรดไขมันระเหยง่าย ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยละลายในตัวทำละลายผสม จากนั้นเติม Internal standard 10 μ l และทำการวิเคราะห์หาพื้นที่ใต้กราฟของสารละลายมาตรฐานแต่ละความเข้มข้นด้วยเครื่อง GC โดยมีสภาวะดำเนินการของเครื่อง GC ได้แก่

Inlet Temperature	: 260°C
Oven Temperature	: 80°C (1 min), 120°C (10°C/min), 240°C (15°C/min), 240°C (2 min)
Detector Temperature	: 260°C
Column	: HP-FFAP, 25 m, 0.32 mm, 0.5 μ m
Carrier Gas Flow	: Helium @ 10.8 psi (42 cm/s), Constant Flow
Split Ratio	: 20/1
Inject Sample	: 1 μ l

กราฟมาตรฐานที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารละลายกรดไขมันระเหยง่ายต่อ Internal standard

ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายในตัวอย่าง

ตัวอย่างอากาศที่ผ่านการสกัดด้วยตัวทำละลายผสมจะถูกนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายโดยใช้เครื่อง GC ภายใต้สภาวะเดียวกับการเตรียมกราฟมาตรฐาน ซึ่งอัตราส่วนพื้นที่ใต้กราฟของกรดไขมันระเหยง่ายต่อ Internal standard ที่ได้จะถูกนำมาเทียบกับกราฟมาตรฐาน เพื่อคำนวณค่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายในตัวอย่าง

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติตัวกลาง

การวิจัยครั้งนี้ใช้วัสดุตัวกลางผสม 3 ชนิด ประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว ปุ๋ยคอก และตะกอนน้ำเสีย ซึ่งได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของวัสดุตัวกลางที่นำมาใช้งานกับเครื่องกรองชีวภาพ โดยส่งวัสดุตัวกลางผสมวิเคราะห์คุณสมบัติทางกายภาพที่หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ มีผลการทดสอบดังตารางที่ 4-1 และตารางที่ 4-2 วิธีการทดสอบแสดงดังภาพผนวก ก

ตารางที่ 4-1 แสดงคุณสมบัติของตัวกลาง

	ความชื้นของ ตัวกลาง (%)	ความหนาแน่น (kg m ⁻³)	ความพรุน (%)	pH
เปลือกมะพร้าว	30.21	0.0717	64.25	-
ปุ๋ยคอก	47.59	0.4382	62.22	7.1
ตะกอนน้ำเสีย	42.38	0.5793	20.34	7.13

ตารางที่ 4-2 แสดงปริมาณธาตุอาหารและคุณสมบัติทางเคมีที่พบในปุ๋ยคอก

วัสดุ	ไนโตรเจน(N)	ฟอสฟอรัส(P)	โพแทสเซียม(K)	เหล็ก(Fe)	C/N Ratio
ปุ๋ยคอก	1.06%	0.21%	0.14%	0.03%	19.9

ความชื้นเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญ เนื่องจากน้ำเป็นตัวดูดซับมลพิษและธาตุอาหารสำหรับจุลินทรีย์ในการดำรงชีวิต ความชื้นของตัวกลางที่เหมาะสมมีค่าประมาณ 40-80% (Devinny *et al.*, 1999) ผลการวิเคราะห์ตัวกลางพบว่ามีความชื้นต่ำกว่า 60% ดังนั้นก่อนทำการเดินระบบจึงต้องทำการเติมน้ำให้แก่ตัวกลาง เพื่อให้มีความชื้นอยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณ 60%

ความเป็นกรด-ด่าง จะมีผลต่อการดำรงชีวิตของจุลินทรีย์ เพราะจุลินทรีย์จะเจริญเติบโตได้ดีในสภาพเป็นกลาง ค่า pH ปกติควรอยู่ในช่วง 6-8 (Devinny *et al.*, 1999) ถ้า pH ต่ำหรือสูงกว่านี้จะทำให้จุลินทรีย์ทำงานได้น้อยลง จากผลการวิเคราะห์พบว่า ตัวกลางมี pH อยู่ในช่วงที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นวัสดุตัวกลาง

ความพรุนเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการกระจายตัวของอากาศ ซึ่งวัสดุที่มีความพรุนสูง ข้อดีคือทำให้มีการกระจายตัวของอากาศได้ดี ทำให้มลพิษเกิดการสัมผัสกับฟิล์มชีวภาพได้สูงขึ้น และทำให้เกิดการสูญเสียความดันน้อย ข้อเสียคืออาจมีการอุดตันในภายหลัง งานวิจัยที่ผ่านมาแนะนำให้เลือกใช้ตัวกลางที่มีความพรุนประมาณ 40-80% (Devinny *et al.*, 1999) จากผลการวิเคราะห์พบว่าตัวกลางประเภท เปลือกมะพร้าว และปุยคอก มีความพรุนเท่ากับ 64.25% และ 62.22%ตามลำดับ ดังนั้นเปลือกมะพร้าวและปุยคอกจึงเป็นตัวกลางที่เหมาะสม

อาหารหลักที่จำเป็นสำหรับจุลินทรีย์ คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม (N, P, K) ควรมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 0.4% 0.15% และ 0.15%ตามลำดับ (Devinny *et al.*, 1999) พบว่าปุยคอกมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ

สรุปจากการศึกษาสมบัติของตัวกลางพบว่า โดยทั่วไปมีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ แต่ต้องมีการปรับปรุงสมบัติตัวกลางด้านความชื้น โดยต้องทำการเติมน้ำเพื่อควบคุมระดับความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสม

4.2 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการทดลอง

พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกรองชีวภาพ ซึ่งใช้ในการออกแบบประกอบด้วย เวลาพักเก็บ (Empty bed residence time; EBRT) ภาระบรรทุก (Mass loading) ประสิทธิภาพการบำบัด (Removal efficiency) ความสามารถในการกำจัด (Elimination capacity) มวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางต่อหน่วยเวลา (PCO₂)

$$EBRT = \frac{V_f}{Q} \quad (3.1)$$

$$\text{mass loading} = \frac{QC_{Gi}}{V_f} \quad (3.2)$$

$$\text{Removal efficiency (RE)} = \frac{(C_{Gi} - C_{Go})100}{C_{Gi}} \quad (3.3)$$

$$\text{Elimination capacity (EC)} = \frac{(C_{G_i} - C_{G_o})Q}{V_f} 100 \quad (3.4)$$

$$\text{Elimination capacity} = \text{massload} \times \text{RE} \quad (3.5)$$

$$\text{PCO}_2 = \frac{Q}{V_f} (C_{\text{CO}_2, \text{o}} - C_{\text{CO}_2, \text{i}}) \quad (3.6)$$

โดยที่ EBRT = เวลาเก็บ (วินาที) V_f = ปริมาตรตัวกลางในเครื่องกรองชีวภาพ (m^3) Q = อัตราไหลอากาศ ($\text{m}^3 \text{h}^{-1}$) C_{G_i} = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่เข้าระบบ (g m^{-3}), C_{G_o} = ความเข้มข้นของสารมลพิษที่ออกจากระบบ (g m^{-3}) $C_{\text{CO}_2, \text{o}}$ = ความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่ออกจากระบบ (g m^{-3}) $C_{\text{CO}_2, \text{i}}$ = ความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่เข้าระบบ (g m^{-3})

4.2.1) เวลาเก็บ

ค่า EBRT ที่คำนวณได้จะมากกว่าเวลาสำหรับการบำบัดที่เกิดขึ้นจริง ทั้งนี้เพราะในปริมาตรทั้งหมดของชั้นตัวกลาง มีปริมาตรเหลือเพียงบางส่วนเท่านั้นที่เป็นช่องว่างที่อากาศสามารถไหลผ่านได้ เวลาสำหรับการเกิดกลไกต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น Absorbion Adsorption Diffusion Cell uptake Exoenzymatic degradation จึงน้อยกว่าเวลาที่คำนวณได้ อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงก๊าซบางส่วนที่ต้องการกำจัดก็มีโอกาสตกค้างอยู่ตามช่องว่าง ทำให้มีเวลาสัมผัสนานขึ้น

การคำนวณค่า EBRT เป็นสิ่งที่ทำได้ง่ายกว่าการหาเวลาที่อากาศอยู่ในชั้นตัวกลางตามที่เป็นจริง เพราะไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาค่าความพรุนของตัวกลางเพื่อนำมาใช้ในการคำนวณด้วย อย่างไรก็ตาม EBRT สามารถแสดงถึงผลของความพรุนที่ลดลงต่อเวลาเก็บได้เช่นกัน ทั้งนี้โดยการควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้คงที่ประกอบกับการตรวจวัดปริมาตรของตัวกลางอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งสามารถทำได้ง่ายในทางปฏิบัติด้วยการวัดความสูงของตัวกลางที่ลดลงตามระยะเวลาอันเนื่องมาจากการอัดทับด้วยน้ำหนักของตัวกลางเองหรือน้ำที่ถูกเติมลงมา หรือตัวกลางบางส่วนที่ถูกย่อยสลายไป

สิ่งที่จะทำให้ค่า EBRT ที่คำนวณได้คลาดเคลื่อนไปมากกว่าความเป็นจริงก็คือ โพรงอากาศภายในชั้นตัวกลาง ซึ่งอาจเกิดจากการกระจายไม่ทั่วถึงของน้ำที่เติมลงไป เพื่อควบคุมความชื้นของตัวกลาง ทำให้ตัวกลางยุบตัวไม่เท่ากัน นอกจากนี้หากมีน้ำค้างอยู่ระหว่างตัวกลางก็จะลดปริมาตรที่แท้จริงลงไปอีก

4.2.2) อัตราการะบรทุก

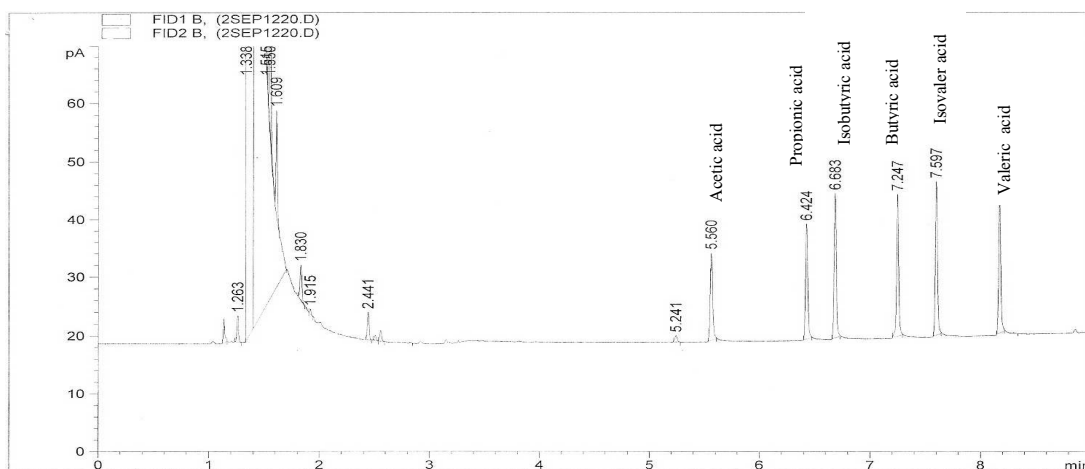
จากสมการที่ 3.2 อัตราการะบรทุกที่เกิดขึ้นระหว่างทำการทดลองมีค่าไม่คงที่ และอยู่นอกเหนือการควบคุม เพราะมีเพียงอัตราการไหลของอากาศเท่านั้นที่สามารถควบคุมได้ในขณะที่ปริมาตรของชั้นตัวกลางมีการลดลง และไม่มีการควบคุมความเข้มข้นของสารในอากาศที่เข้าระบบ อัตราการะบรทุกที่แสดงอยู่ในผลการทดลองจึงเป็นค่าที่เกิดขึ้น ณ เวลาที่ทำการวัด

4.2.3) ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ

ประสิทธิภาพเทียบกับความเข้มข้นของสารมลพิษเข้าและออกจากระบบ เป็นการหาประสิทธิภาพที่แสดงสัดส่วนคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของสารมลพิษที่ถูกกำจัดออกไปในเครื่องกรองชีวภาพ โดยใช้สมการที่ 3.3

4.2.4) ความสามารถในการกำจัดสารมลพิษ

ความสามารถในการกำจัดสารมลพิษของระบบที่คำนวณมาได้ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลการบำบัดระหว่างชุดการทดลองที่มีขนาดและอัตราการไหลของอากาศต่างกันได้ในขณะที่ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเป็นเพียงการแสดงสมรรถนะของระบบ ณ เวลาที่ทำการพิจารณาเท่านั้น จึงไม่เป็นค่าที่บอกความสามารถของระบบได้อย่างสมบูรณ์ เพราะการที่ระบบจะทำงานได้ดีหรือไม่ ขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายอย่างอันได้แก่ ความเข้มข้นของมลพิษ อัตราการไหลของอากาศ ขนาดของระบบ และสภาวะของตัวกลาง



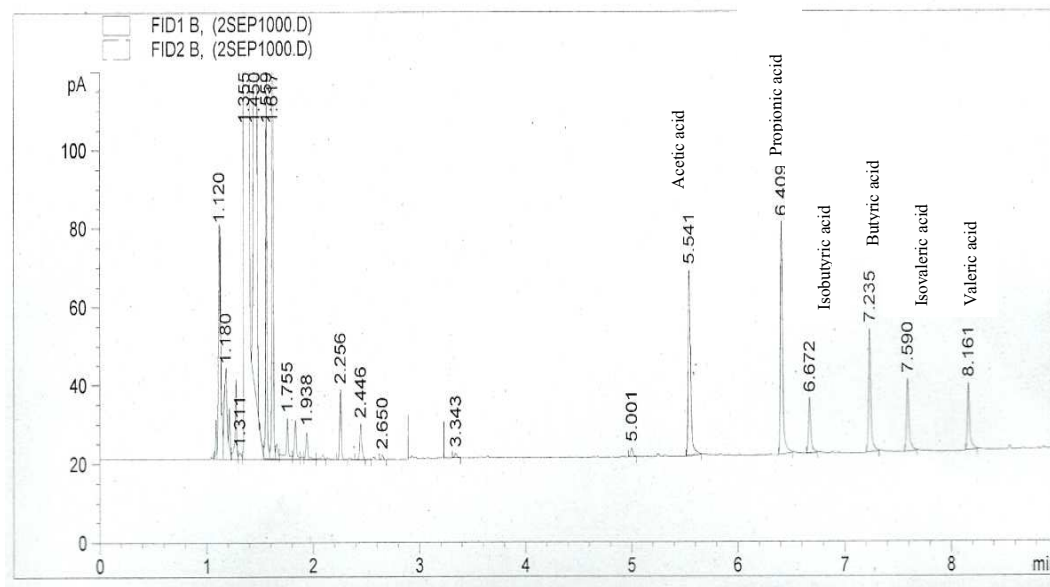
ภาพประกอบ 4-1 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐานของกรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่อง GC-6890

การดำเนินการวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อบ่งชี้กรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของกลิ่นจากโรงงานยางแท่ง 6 ชนิดประกอบด้วย Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 4-1

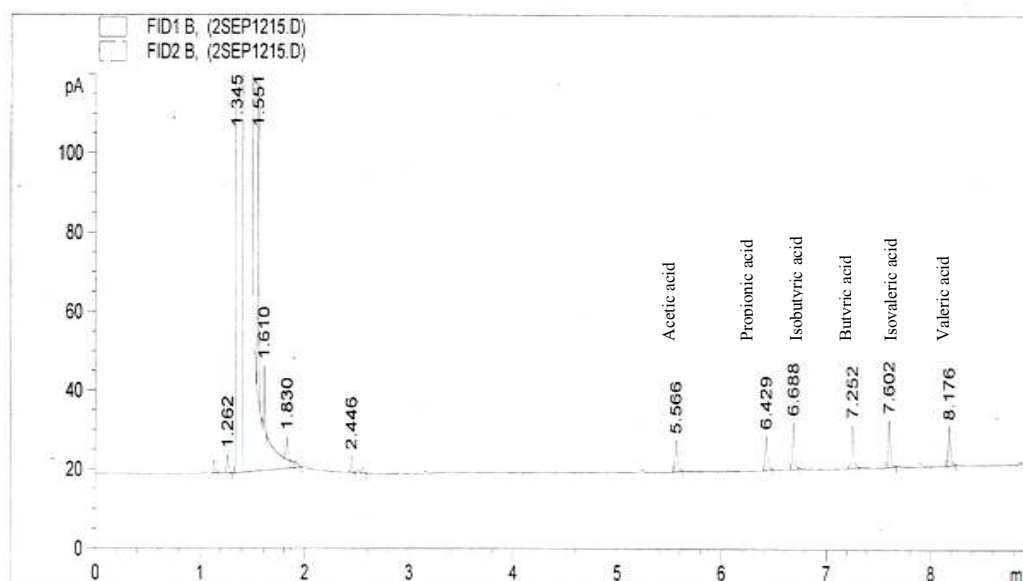
4.3 ผลการทดลองหาอัตราส่วนการผสมตัวกลางที่เหมาะสมระหว่างเปลือกมะพร้าวกับปุ๋ยคอกของเครื่องกรองชีวภาพ ขนาด Bench scale

4.3.1 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย ที่เข้าและออกจากเครื่องกรองชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์ก๊าซเสียที่ออกจากกระบวนการอบแห้งยางแท่ง STR 20 โดยใช้เครื่อง GC พบว่าก๊าซเสียก่อนเข้าเครื่องกรองชีวภาพแสดงดังภาพประกอบ 4-2 และก๊าซเสียหลังจากผ่านการบำบัดทางชีวภาพออกจากระบบแสดงดังภาพประกอบ 4-3



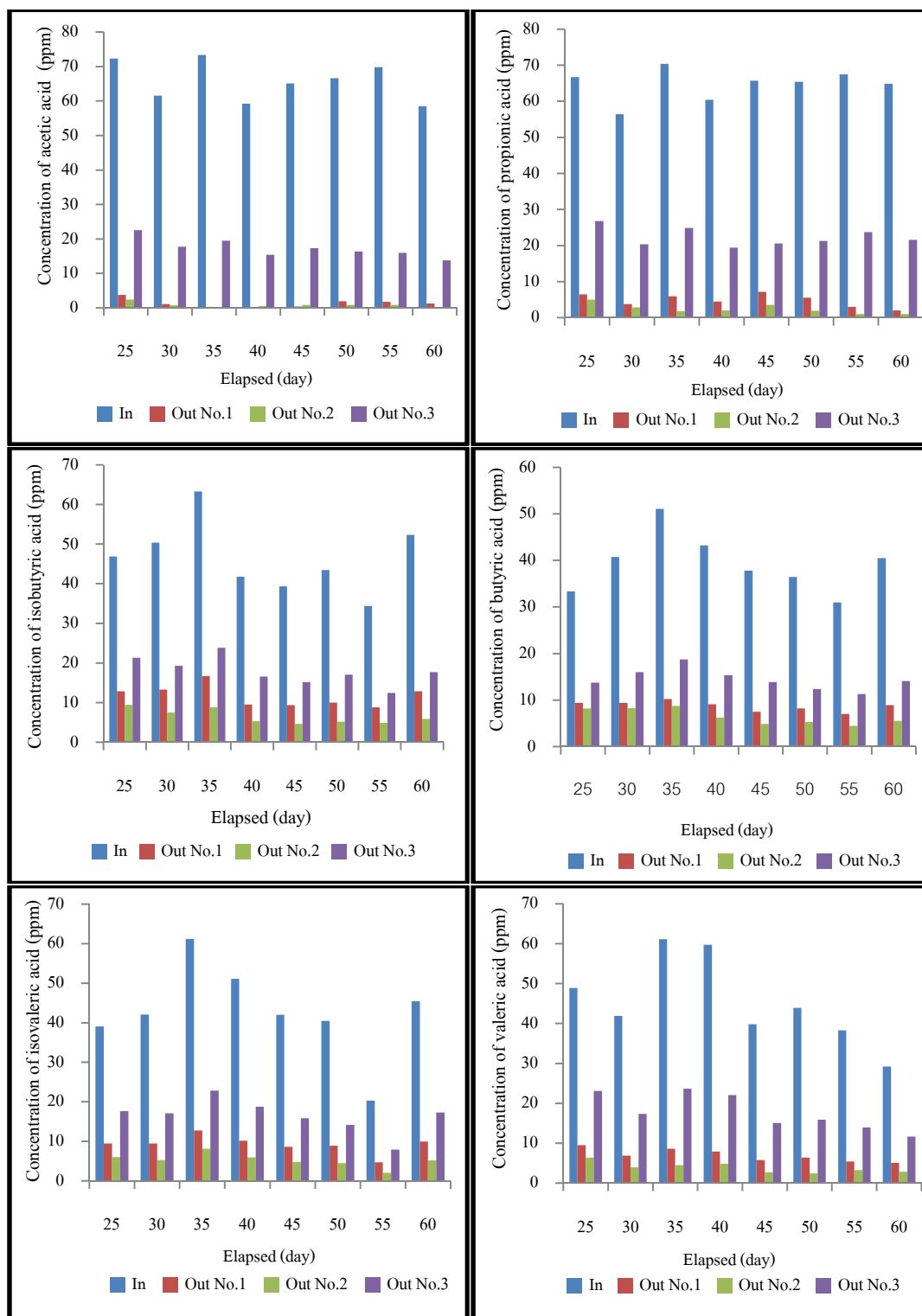
ภาพประกอบ 4-2 แสดงผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ด้วยเครื่อง GC-6890



ภาพประกอบ 4-3 แสดงผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจากเครื่องกรองชีวภาพ ด้วยเครื่อง GC-6890

จากภาพประกอบ 4-2 และ 4-3 พบว่าก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบแห้งยางแท่ง STR 20 มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นสารประกอบอินทรีย์จำพวกกรดไขมันระเหยง่ายที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำประกอบด้วย Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid ซึ่งยากันด้วยและยางแผ่นเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตยางแท่ง STR 20 โดยสัดส่วนผสมระหว่างยางกันด้วยและยางแผ่นเท่ากับ 4:1 จึงอาจกล่าวได้ว่ายางกันด้วยเป็นวัตถุดิบหลักของการผลิตยางแท่ง STR20 (สมทิพย์ และคณะ 2550) โดยภายในยางกันด้วยจะมีการย่อยสลายทางชีวภาพ ด้วยปฏิกิริยา Hydrolysis ของจุลินทรีย์ทำให้เกิดกรดไขมันระเหยง่ายและ Peptide (Hasma *et al.*, 1990)

จากภาพประกอบ 4-2 และ 4-3 เมื่อพิจารณา Peak area ของกราฟ พบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจากเครื่องกรองชีวภาพมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับความเข้มข้นก่อนเข้าเครื่องกรองชีวภาพ เนื่องจากสารมลพิษที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและมีโครงสร้างพันธะง่าย ๆ สามารถบำบัดโดยวิธีทางชีวภาพได้ (Sheridan *et al.*, 2003) ซึ่งความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าและออกจากเครื่องกรองชีวภาพ ตลอดช่วงระยะเวลาที่ทำการศึกษา มีความผันแปรค่อนข้างสูง ดังแสดงไว้ในภาพประกอบ 4-4 อัตราส่วนของตัวกลางผสม เปลือกมะพร้าว: ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 65:30:5 (No.1) 75:20:5 (No.2) และ 85:10:5 (No.3)



ภาพประกอบ 4-4 ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าและออกจากเครื่องกรองชีวภาพ

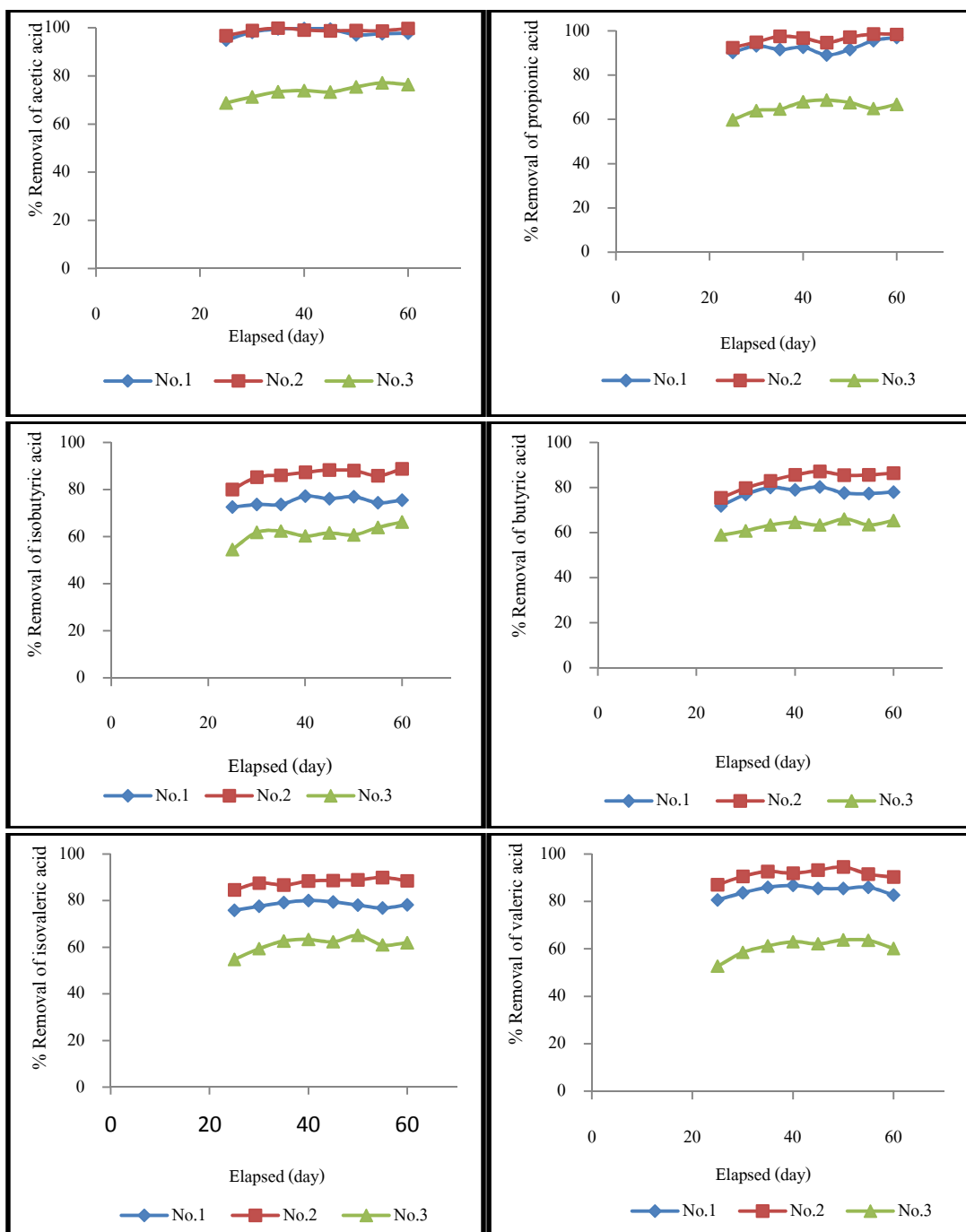
ภาพประกอบ 4-4 แสดงความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิด พบว่าความเข้มข้นที่วัดได้ไม่คงที่ เนื่องจากในการทดลองได้นำระบบเครื่องกรองชีวภาพไปติดตั้งที่โรงงานผลิตยางแท่ง STR 20 เพื่อทดลองใช้เครื่องกรองชีวภาพกับสภาวะจริงในโรงงาน โดยในกระบวนการอบยางที่อุณหภูมิ 110-130°C ทางโรงงานจะตั้งอุณหภูมิ 40-60°C จากการอบยางที่เตาสุดท้ายมาได้ความชื้นจากเนื้อยางที่เตาแรก ความชื้นและกรดไขมันระเหยง่ายจะถูกระเหยออกมา ดังนั้นความเข้มข้นของกรดไขมันจึงไม่สามารถที่จะควบคุมให้คงที่ได้ โดยความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายขึ้นกับการย่อยสลายของส่วนที่ไม่ใช่ยาง ซึ่งเป็นอินทรีย์สารที่ย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ที่เป็นแบคทีเรียได้

4.3.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ

ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบเมื่อเทียบกับความเข้มข้นเริ่มต้นของกรดไขมันระเหยง่ายตลอดระยะเวลาการดำเนินการทดลอง ดังแสดงในภาพประกอบ 4-5 พบว่าเครื่องกรองชีวภาพ สามารถบำบัด Acetic acid ได้อย่างมีประสิทธิภาพทั้ง 3 อัตราส่วน เนื่องจาก Acetic acid มีมวลโมเลกุลต่ำที่สุด เมื่อเทียบกับกรดไขมันระเหยชนิดอื่น สารที่มีมวลโมเลกุลต่ำจะสามารถย่อยสลายง่ายโดยจุลินทรีย์ และเครื่องกรองชีวภาพ No.1 ที่อัตราส่วนผสมเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก 65:30 มีประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายโดยเฉลี่ย 84% ส่วนเครื่องกรองชีวภาพ No.2 ที่อัตราส่วนผสมเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก 75:20 มีประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายโดยเฉลี่ย 90% และเครื่องกรองชีวภาพ No.3 ที่อัตราส่วนผสมเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก 85:10 มีประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายโดยเฉลี่ย 64% จึงสามารถสรุปได้ว่า เครื่องกรองชีวภาพ No.2 มีประสิทธิภาพในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายได้สูงที่สุด

ในการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพเมื่อเริ่มต้นเดินระบบกลไกหลักของระบบ คือ การดูดซับและการดูดซับภายในชั้นตัวกลางซึ่งตัวกลางที่ใช้ต้องมีพื้นที่ผิวสัมผัสมากทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้เป็นที่อยู่อาศัย เมื่อพิจารณาอัตราส่วนอัตราส่วนผสมเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก 65:30 พบว่ามีพื้นที่ผิวให้จุลินทรีย์อาศัยอยู่น้อยกว่า ส่งผลให้จำนวนจุลินทรีย์ที่ใช้ย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายน้อยกว่า ประสิทธิภาพจึงต่ำกว่าเครื่องกรองชีวภาพ No.2 ที่อัตราส่วนผสมเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก 75:20

เครื่องกรองชีวภาพ No.3 มีประสิทธิภาพต่ำสุด อาจเป็นเพราะมีแหล่งอาหารอยู่น้อยสุด และในช่วงการทดลองเดินระบบ ระบบทำงานไม่ต่อเนื่อง มีการหยุดทำงานในช่วงสุดสัปดาห์ ประกอบกับในช่วงเดินระบบไม่มีการเติมสารอาหารเพิ่มให้กับจุลินทรีย์ในระบบ จึงทำให้ปริมาณสารอาหารอินทรีย์ไม่เพียงพอต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์



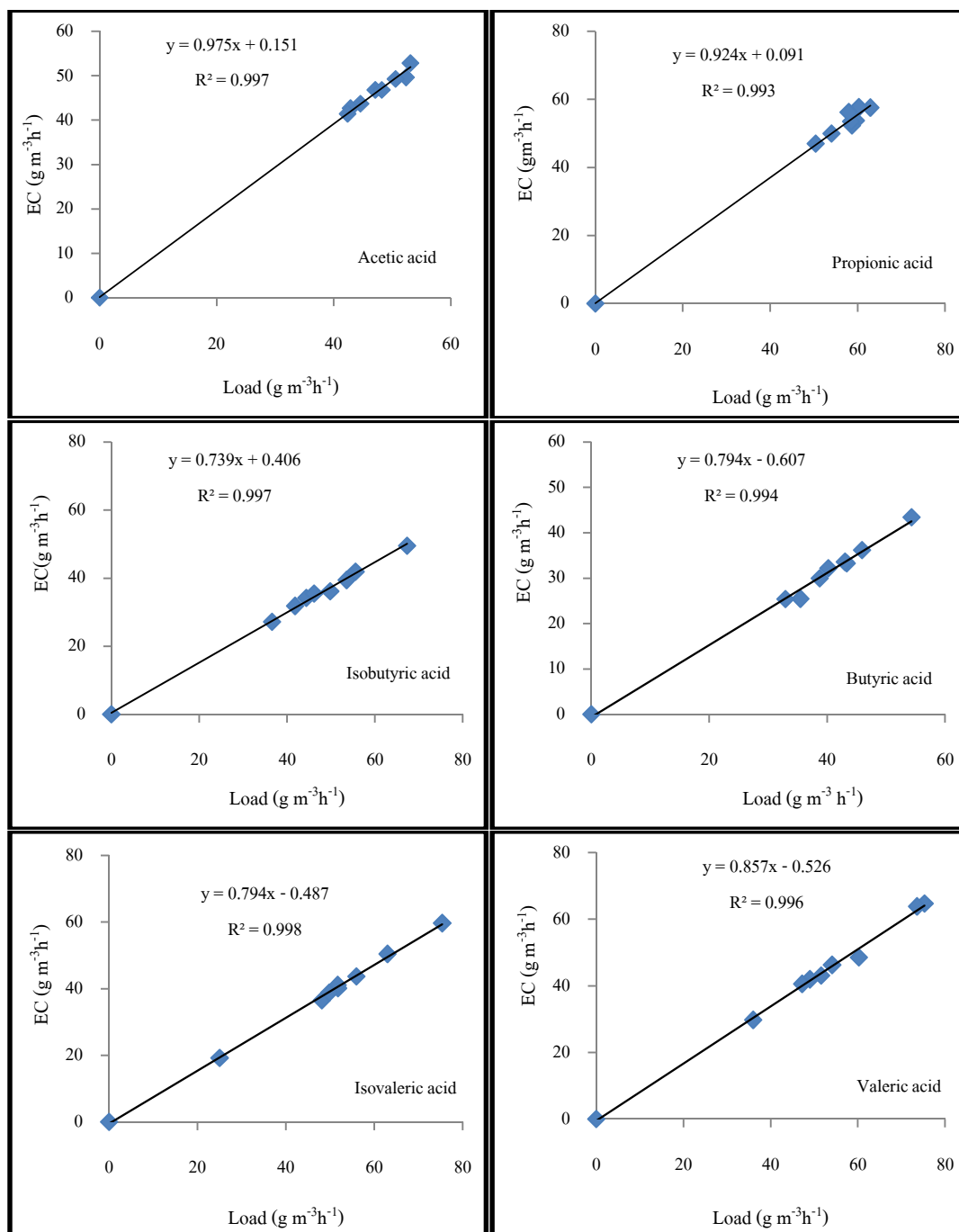
ภาพประกอบ 4-5 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย อัตราการไหล 8 l/min EBRT 12 วินาที อัตราส่วนของตัวกลางผสมประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสียของ โรงงาน 65:30:5 (No.1) 75:20:5 (No.2) 85:10:5 (No.3)

4.3.3 อัตราภาระบรรทุก (Mass loading rate)

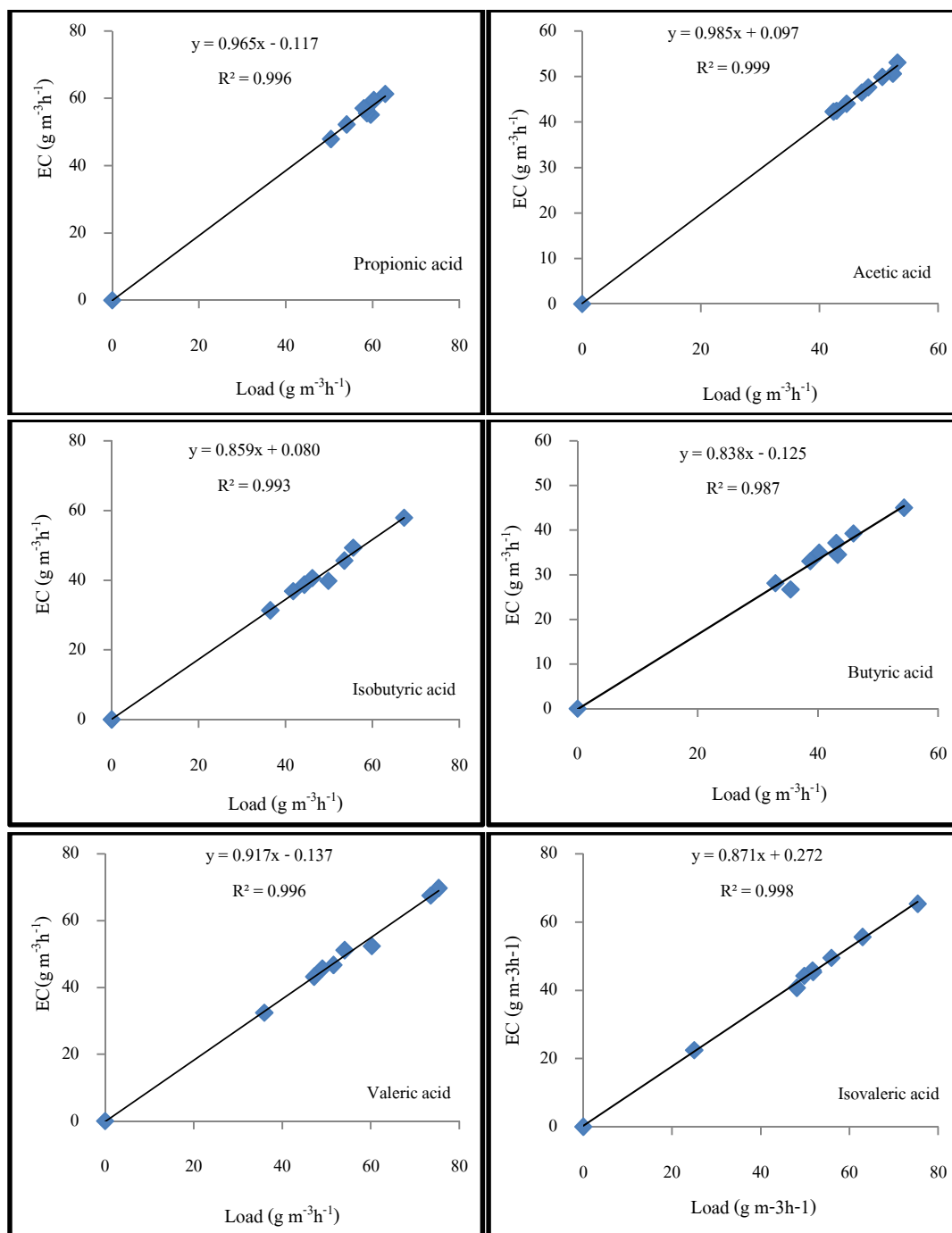
อัตราภาระบรรทุกกรดไขมันระเหยง่าย หมายถึง มวลของกรดไขมันระเหยง่ายที่ถูกนำเข้าสู่เครื่องกรองชีวภาพ ต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางต่อหน่วยเวลา ซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีหน่วยเป็น $g\ m^{-3}\ h^{-1}$ ดังนั้นอัตราภาระบรรทุกของระบบจึงขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้นของก๊าซ ปริมาตรของตัวกลาง และเวลากักเก็บ อัตราภาระบรรทุกของระบบในการดำเนินการทดลองนี้จึงเป็นตัวแปรที่ไม่อยู่ภายใต้การควบคุม เพราะไม่มีการปรับความเข้มข้นของก๊าซก่อนเข้าระบบ ค่าอัตราภาระบรรทุกนี้ ทำการคำนวณมาเพื่อใช้เป็นขอบเขตหรือช่วงการทำงานของระบบที่ทำการวิจัย การนำผลการวิจัยหรือเกณฑ์การทดลองที่ได้จากการวิจัยไปใช้จะต้องตรวจสอบว่าอัตราภาระบรรทุกอยู่ในช่วงที่ทำการทดลองนี้หรือไม่

ความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของระบบหมายถึง มวลของกรดไขมันระเหยง่าย ที่ถูกกำจัดไป ต่อหน่วยปริมาตรของตัวกลางต่อหน่วยเวลา ซึ่งในที่นี้กำหนดให้มีหน่วย $gm^{-3}h^{-1}$ ประโยชน์ของการคำนวณหาความสามารถในการบำบัดคือ ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ ที่ปริมาตรของตัวกลาง เวลากักเก็บ และความเข้มข้นของก๊าซเข้าระบบต่างกันได้

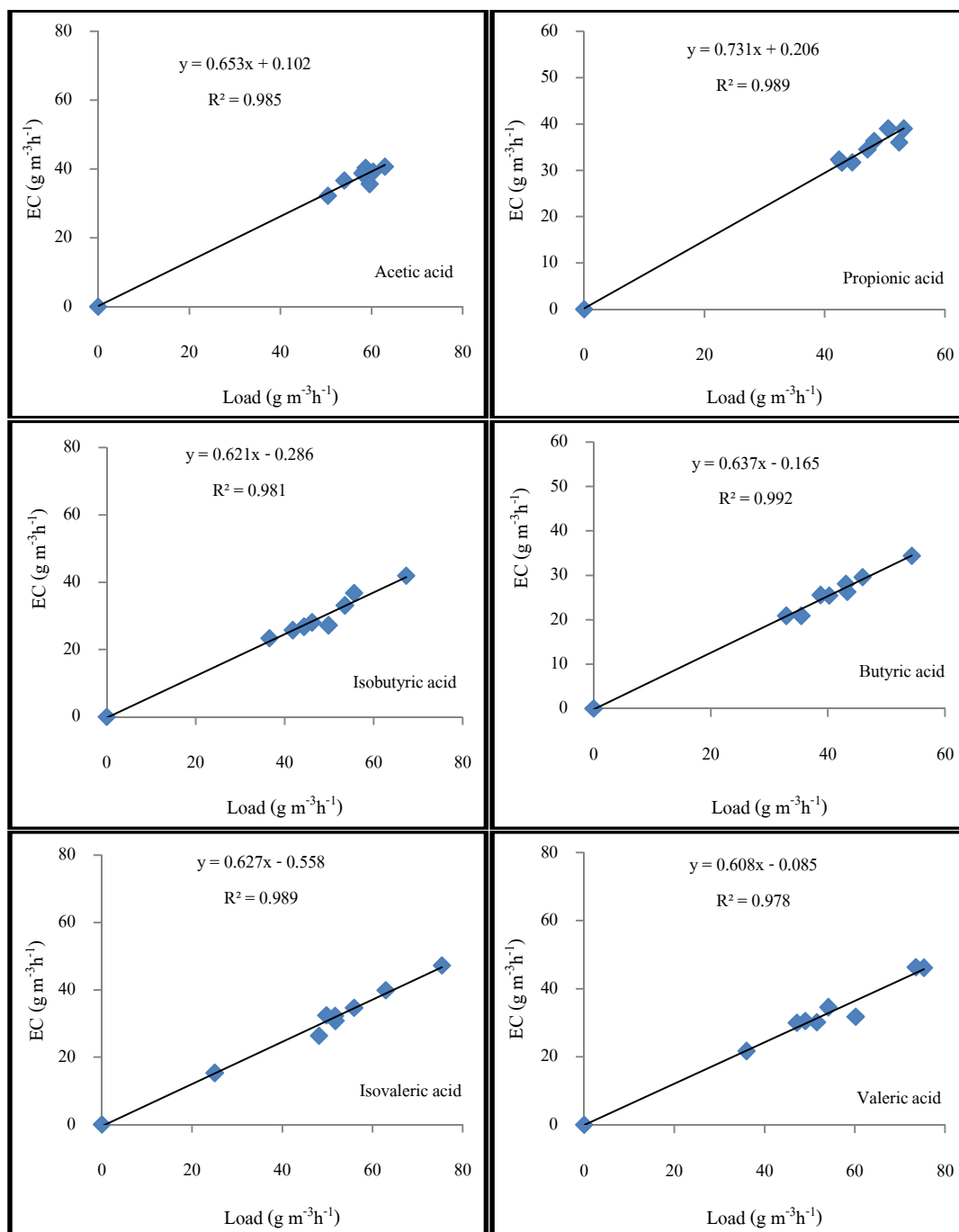
ผลการทดลองความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอกต่างกัน แสดงดังภาพประกอบ 4-6 ถึงภาพประกอบ 4-8 ซึ่งเป็นรูปภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกและความสามารถในการกำจัดของระบบ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกและความสามารถในการกำจัดของเครื่องกรองชีวภาพ เป็นเส้นตรงมีความชันใกล้เคียง 1 แสดงว่ามลพิษที่เข้าระบบถูกกำจัดเกือบทั้งหมด ดังนั้นที่ภาระบรรทุกดังกล่าว ยังมีค่าน้อยกว่าความสามารถสูงสุดที่ระบบจะกำจัดได้ ซึ่งเมื่อเพิ่มค่าภาระบรรทุกจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ไม่สามารถย่อยสลายเพิ่มได้อีก ความสามารถในการกำจัดที่ค่าสูงสุดนี้ เรียกว่า ความสามารถในการกำจัดสูงสุด(Maximum elimination capacity; Max. EC) และในการทดลองไม่ได้มีการเพิ่มหรือควบคุมความเข้มข้นที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ จากภาพประกอบ 4-4 จะเห็นว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายอยู่ในช่วง 20-80 ppm ซึ่งเป็นความเข้มข้นที่ไม่สูงมากนัก ดังนั้น ค่าปริมาณสารมลพิษที่เข้าระบบยังไม่มีค่ามากพอที่จะทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่าความสามารถในการบำบัดสารมลพิษ



ภาพประกอบ 4-6 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดและอัตราภาระบรรทุกกรดไขมันระเหยง่าย ที่อัตราส่วนประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสียของ โรงงาน 65:30:5 ที่เวลากักเก็บ 12 วินาที



ภาพประกอบ 4-7 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดและอัตราภาระบรรจุกรดไขมันระเหยง่าย ที่อัตราส่วนประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสียของโรงงาน 75:20:5 ที่เวลาพักเก็บ 12 วินาที



ภาพประกอบ 4-8 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดและอัตราภาระบรรทุกกรดไขมันระเหยง่าย ที่อัตราส่วนประกอบด้วย เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสียของ โรงงาน 85:10:5 ที่เวลาพักเก็บ 12 วินาที

4.3.4 ผลกระทบของเวลากักเก็บต่อประสิทธิภาพการบำบัด

จากผลการศึกษาผลกระทบของเวลากักเก็บต่อประสิทธิภาพในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ความสูงของตัวกลาง 1 m อัตราการไหลของอากาศเข้าระหว่าง 6-8 $l \text{ min}^{-1}$ ระยะเวลาเก็บนาน 12 วินาที และควบคุมความชื้นของตัวกลางให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดความลึกของตัวกลาง 60 % โดยน้ำหนัก พบว่าที่ระยะเวลาดังกล่าวอาจยังไม่เพียงพอที่จะเกิดกลไกการย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายอย่างสมบูรณ์ของจุลินทรีย์ โดยพิจารณาจากภาพประกอบ 4-5 จะเห็นว่าประสิทธิภาพสูงสุดในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายมีค่าประมาณ 90% ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5 ซึ่งมีประสิทธิภาพต่ำกว่างานวิจัยที่ผ่านมา (Yun *et al.*, 2004; Sheridan *et al.*, 2003; Tsang *et al.*, 2007)

การที่ตัวกลางมีความชื้นไม่พอ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในบริเวณส่วนล่างที่อากาศถูกปล่อยเข้ามาสัมผัสกับตัวกลาง จะทำให้ไม่เกิดการดูดซับ การแพร่ของสารเข้าสู่จุลินทรีย์ ดังนั้นเวลากักเก็บและสภาพของตัวกลางจึงเป็นปัจจัยควบคู่กันที่จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการบำบัดของระบบ

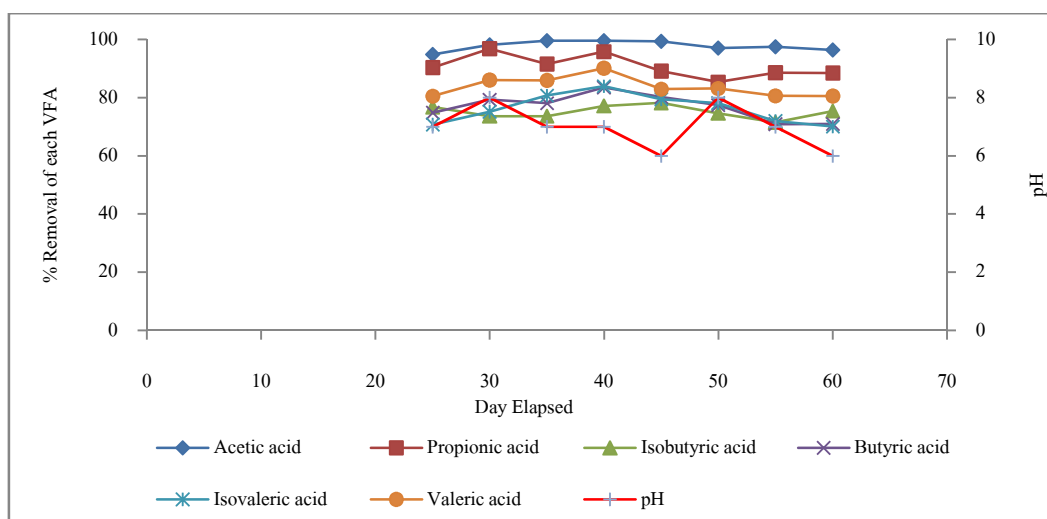
4.3.5 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

ระหว่างดำเนินการทดลอง อุณหภูมิแวดล้อมที่ตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 30-35°C ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศที่เข้าระบบวัดได้ในช่วง 30-40°C ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้ ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบยังคงสูงมากกว่า 80% โดยเฉลี่ย จะเห็นว่าอุณหภูมิในช่วงนี้เป็นช่วงที่เหมาะสมกับจุลินทรีย์ชนิด Mesophilic bacteria (Tezuka *et al.*, 2003) ในขณะที่อุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่านี้จะเหมาะสมกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ไม่หลากหลายสายพันธุ์เท่ากับช่วงอุณหภูมิ 20-45°C นอกจากนี้ยังพบว่า อัตราการเกิดปฏิกิริยาโดยจุลินทรีย์และกลไกการแพร่จะเพิ่มสูงขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดยกลไกการทำงานของจุลินทรีย์จะเร็วขึ้นเป็น 2 เท่า ทุกๆ 10°C ที่เพิ่มขึ้น (Deviny *et al.*, 1999) อย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิกลับมีผลน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงจากก๊าซเป็นสารละลาย (Phase transfer) และกลไกการดูดซับหรือดูดซึม (Sorption) ดังนั้นอาจสรุปได้ว่า ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 40°C อุณหภูมิจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพไม่มากนัก

รายงานการศึกษาของ Allen และ Yang (1994) ได้อธิบายว่าการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในตัวกลาง (ศึกษาใช้ปุ๋ยคอกเป็นตัวกลาง) จะมีความสำคัญมากขึ้นที่ภาระบรรทุกสูงๆ โดยอุณหภูมิของตัวกลางที่เพิ่มสูงขึ้นนี้จะทำให้อากาศที่เข้ามาสามารถพาความชื้นออกจากตัวกลางได้มากขึ้น อันเป็นผลให้เกิดการสูญเสียน้ำออกไปจากตัวกลาง

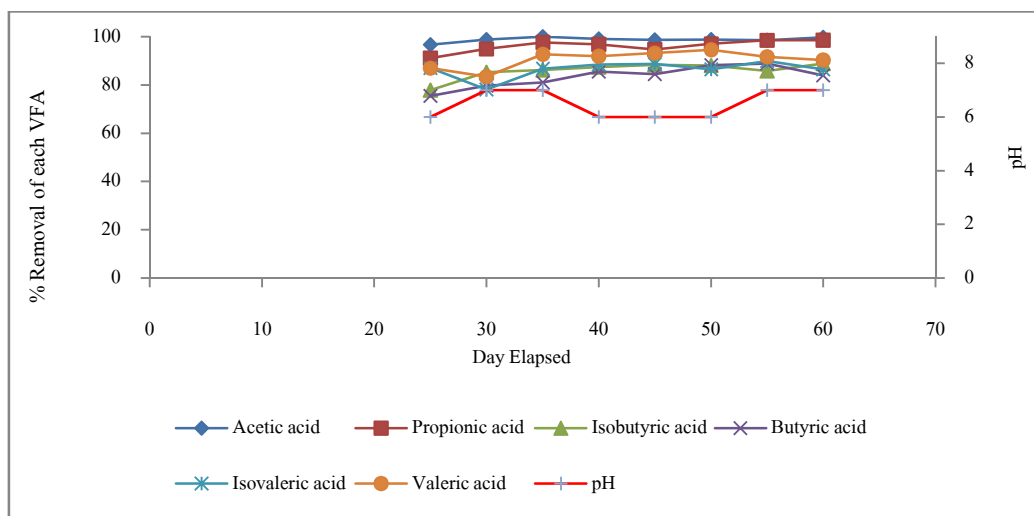
4.3.6 ผลกระทบของ pH ต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

ตัวกลางที่ทำการศึกษามีส่วนผสมเพียง 3 ชนิด คือ เปลือกมะพร้าว ปุ๋ยคอกและตะกอนน้ำเสีย โดยไม่มีการผสมสารเพื่อเพิ่ม Buffer capacity โดยเฉพาะให้แก่ตัวกลาง จากการตรวจวัด pH ของตัวกลาง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของ pH ค่อนข้างน้อย คือ โดยปกติวัดได้ระหว่าง 6-8 จากการศึกษาข้อมูล พบว่าช่วง pH ดังกล่าวเป็น pH ที่เครื่องกรองชีวภาพ มีแนวโน้มที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การที่ pH ของตัวกลางเปลี่ยนแปลงน้อย ทำให้สรุปได้ว่าในอากาศเสียจากกระบวนการอบของโรงงานผลิตยางแท่งไม่มีสารซึ่งเมื่อผ่านกลไกหรือปฏิกิริยาใดๆในเครื่องกรองชีวภาพแล้วจะได้สารสุดท้ายที่มีคุณสมบัติเป็นกรด (Zicari, 2003) หรือหากมีก็ในปริมาณที่น้อยมาก สรุปได้ว่า pH ค่าดังกล่าวไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการบำบัด

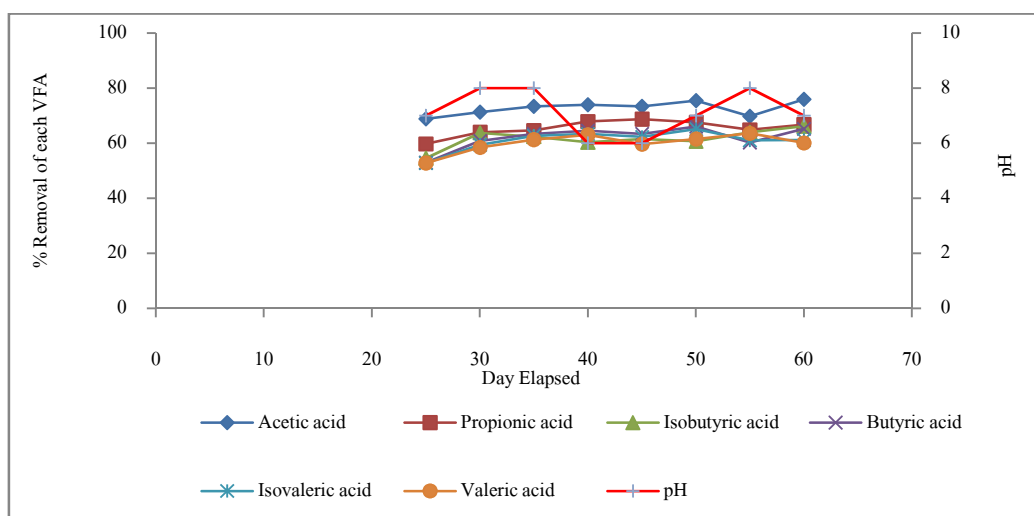


ภาพประกอบ 4-9 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ pH ของตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ

65:30:5 (No.1)



ภาพประกอบ 4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ pH ของตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ 75:30:5 (No.2)

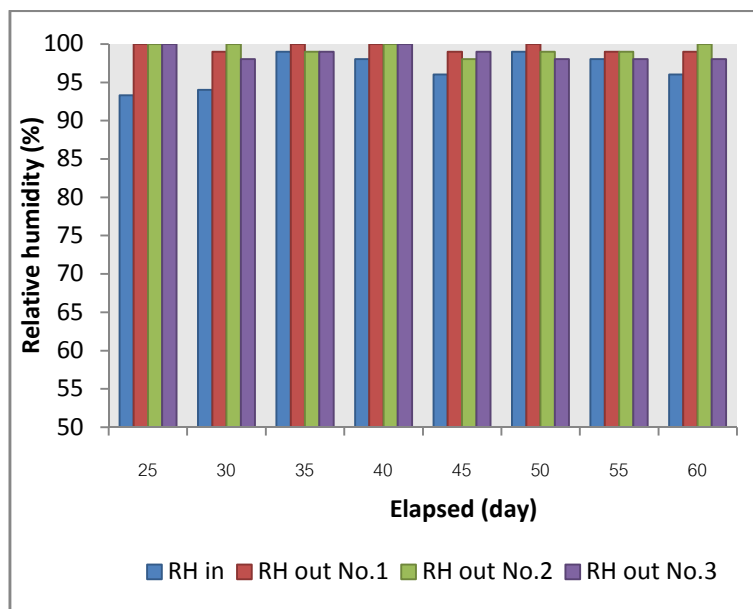


ภาพประกอบ 4-11 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพกับ pH ของตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ 85:30:5 (No.3)

4.3.6 ผลกระทบของความชื้นของตัวกลางต่อประสิทธิภาพในการบำบัด

จากการวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าและออกจากระบบ พบว่าอากาศหลังการบำบัดมีความชื้นมากกว่าก่อนการบำบัด ดังแสดงในภาพประกอบ 4-12 แสดงว่าอากาศที่ผ่านระบบ

จะดึงความชื้นออกไปจากตัวกลาง ทำให้ตัวกลางแห้งและมีความชื้นลดลงเรื่อยๆ และทำให้อากาศออกมีความชื้นมากขึ้น



ภาพประกอบ 4-12 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเข้าและออกจากเครื่องกรองชีวภาพ

4.3.7 ความดันสูญเสียของตัวกลาง

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของความดันสูญเสียผ่านตัวกลาง (Head loss) ในการทดลองตัวแปรซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมคือ อัตราการไหลของอากาศ อย่างไรก็ตามยังมีตัวแปรที่อยู่นอกเหนือการควบคุมคือ การอัดตัวของตัวกลาง และการเปลี่ยนแปลงสภาพของตัวกลาง ทั้งในลักษณะของการถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ด้วยกระบวนการธรรมชาติ ทำให้เกิดการอุดตันโดยอนุภาคขนาดเล็ก การจับตัวเป็นกลุ่มก้อนของตัวกลางเมื่อมีความชื้นสูง หรือการยุบลงด้วยน้ำหนักของตัวกลางเอง การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวนี้จึงจัดเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่ใช้ในการกำหนดอายุการใช้งานของตัวกลาง

ความดันลดในระบบที่เกิดขึ้นเป็นพารามิเตอร์ที่มีอิทธิพลต่อค่าใช้จ่ายในเรื่องกำลังไฟฟ้าสำหรับการอัดอากาศผ่านชั้นตัวกลางของเครื่องกรองชีวภาพ โดยค่าความดันลดที่

เกิดขึ้นจะเป็นฟังก์ชันของขนาดอนุภาคของตัวกลาง ความหนาแน่น ความชื้นภายในตัวกลาง เวลา กักเก็บ ความลึกของชั้นตัวกลาง ความเร็วที่ผิวหน้า และภาวะบรรทุกของระบบ (Ryu *et al.*, 2009)

จากการศึกษาเครื่องกรองชีวภาพ No.1 มีค่าความดันสูญเสียประมาณ 5 mmH₂O เครื่องกรองชีวภาพ No.2 มีค่าความดันสูญเสียประมาณ 3 mmH₂O และเครื่องกรองชีวภาพ No.3 มีค่าความดันสูญเสียประมาณ 2 mmH₂O

4.4 การทดลองศึกษาเวลากักเก็บที่เหมาะสมและความสามารถสูงสุดในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย

4.4.1 ความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ที่เวลากักเก็บ 30 วินาที

การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้พิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย และความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้น (ผลต่างความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ณ จุดที่ก๊าซ ออกจากเครื่องกรองชีวภาพกับความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ณ จุดที่ก๊าซเข้าเครื่องกรองชีวภาพ) ที่เวลากักเก็บ 30 วินาที

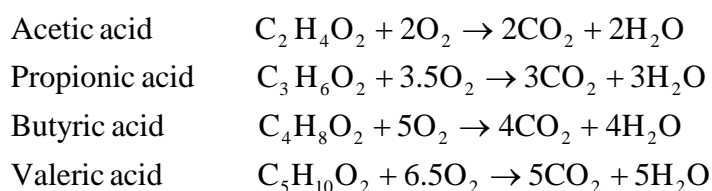
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-13 พบว่าที่เวลากักเก็บ 30 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 85-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 85-99% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 60-98% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 95-99% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 58-97% และประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 74-99%

ผลการทดลองภาพประกอบ 4-14 ซึ่งเป็นรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาวะบรรทุกและความสามารถในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างภาวะบรรทุกและความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของเครื่องกรองชีวภาพ ยังคงเป็นเส้นตรงมีความชันใกล้เคียง 1 ซึ่งแสดงว่ามลพิษที่เข้าระบบถูกกำจัดเกือบทั้งหมด

ผลการทดลองภาพประกอบ 4-15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง โดยปริมาณก๊าซ CO₂ ที่ออกจากระบบทุกความเข้มข้นมีค่ามากกว่าปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เข้าระบบ แสดงว่าระบบมีการย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายทางชีวภาพ ซึ่งกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้า

เครื่องกรองชีวภาพมีความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้ปริมาณก๊าซ CO₂ สูงขึ้นด้วย ผลที่ได้นี้เป็นการยืนยันประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้นของเครื่องกรองชีวภาพ (Jorio *et al.*, 2000)

เมื่อกรดไขมันระเหยง่ายเกิดปฏิกิริยาการออกซิเดชันอย่างสมบูรณ์ จะทำให้ได้ก๊าซ CO₂ และน้ำเท่านั้น ซึ่งจะนำไปตามสมการดังต่อไปนี้ (Sáenz *et al.*, 2008)



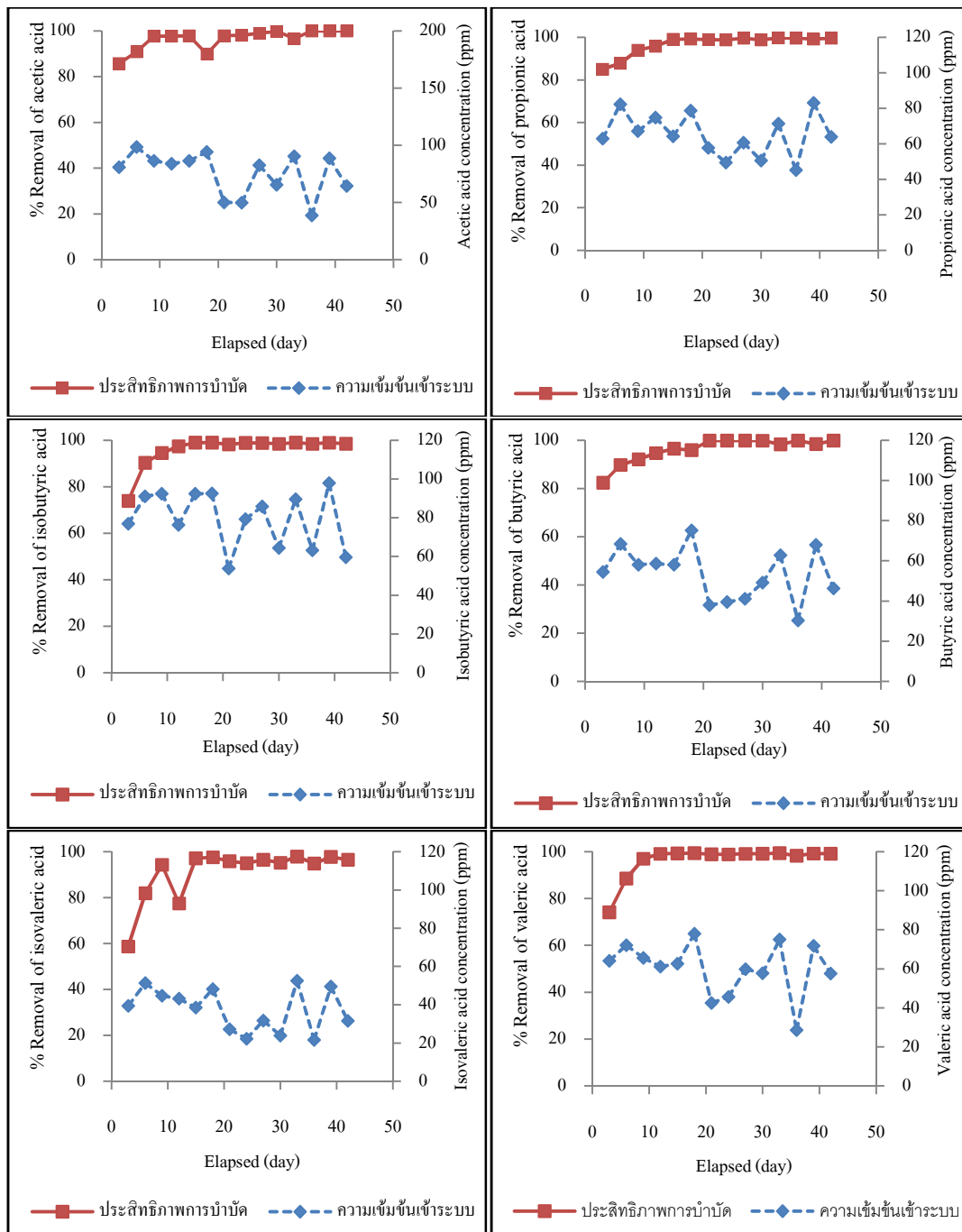
แต่ในการย่อยสลายทางชีวภาพของสารประกอบอินทรีย์ จุลินทรีย์จะใช้ก๊าซ CO₂ ส่วนหนึ่งในการเจริญเติบโตเป็นไปตามสมการ (Jorio *et al.*, 2000)



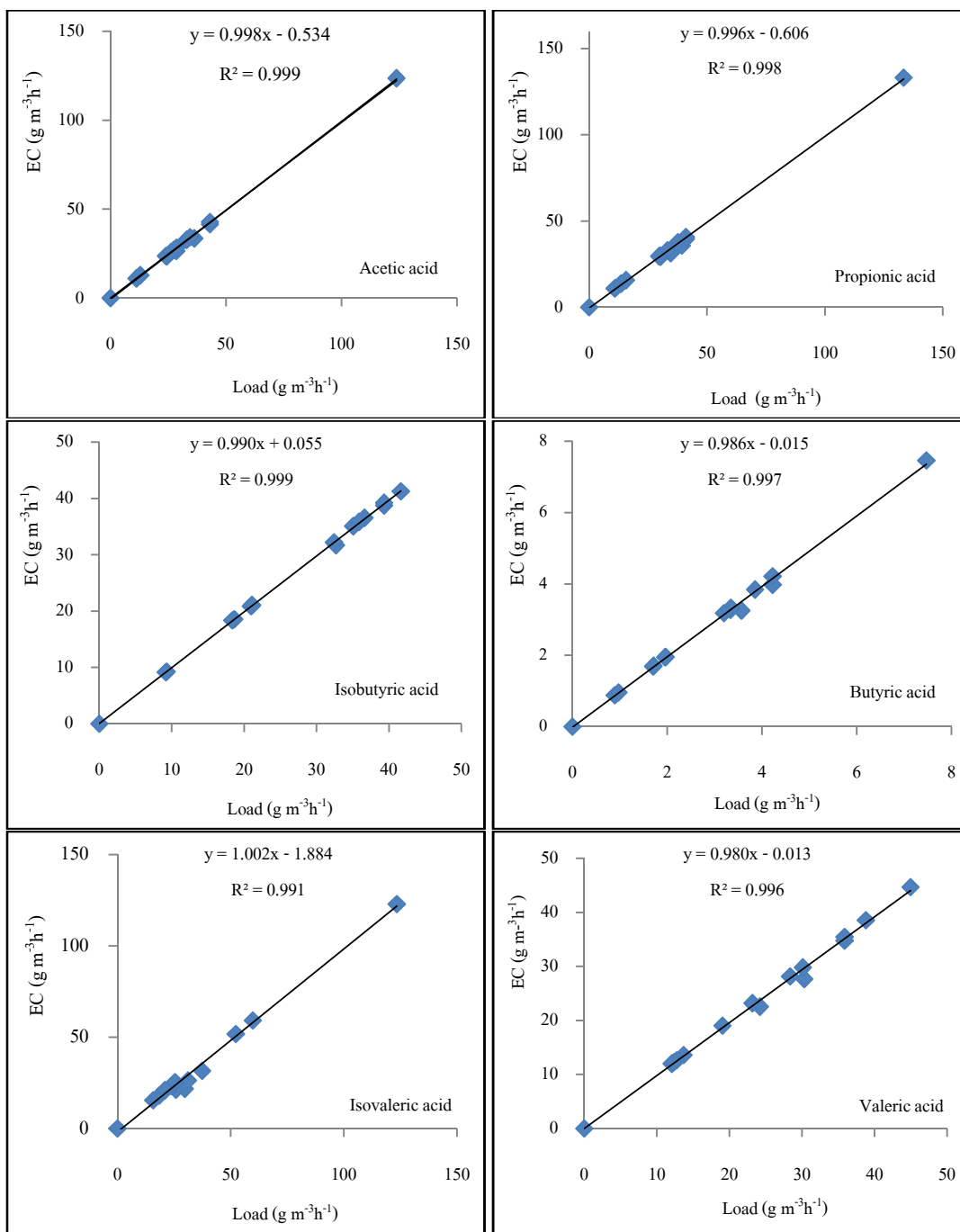
ซึ่งในเครื่องกรองชีวภาพทั่วไปจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการข้างต้น เนื่องจากการบำบัดในระบบเครื่องกรองชีวภาพใช้หลักการทำงานของจุลินทรีย์

Stoichiometric reaction ของกรดไขมันระเหยง่ายดังสมการที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าอัตราส่วนมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของ Acetic acid เท่ากับ 1.47 Proionic acid เท่ากับ 2 Isobutyric acid และ Butyric acid เท่ากับ 2 Isovaleric acid และ Valeric acid เท่ากับ 2.16

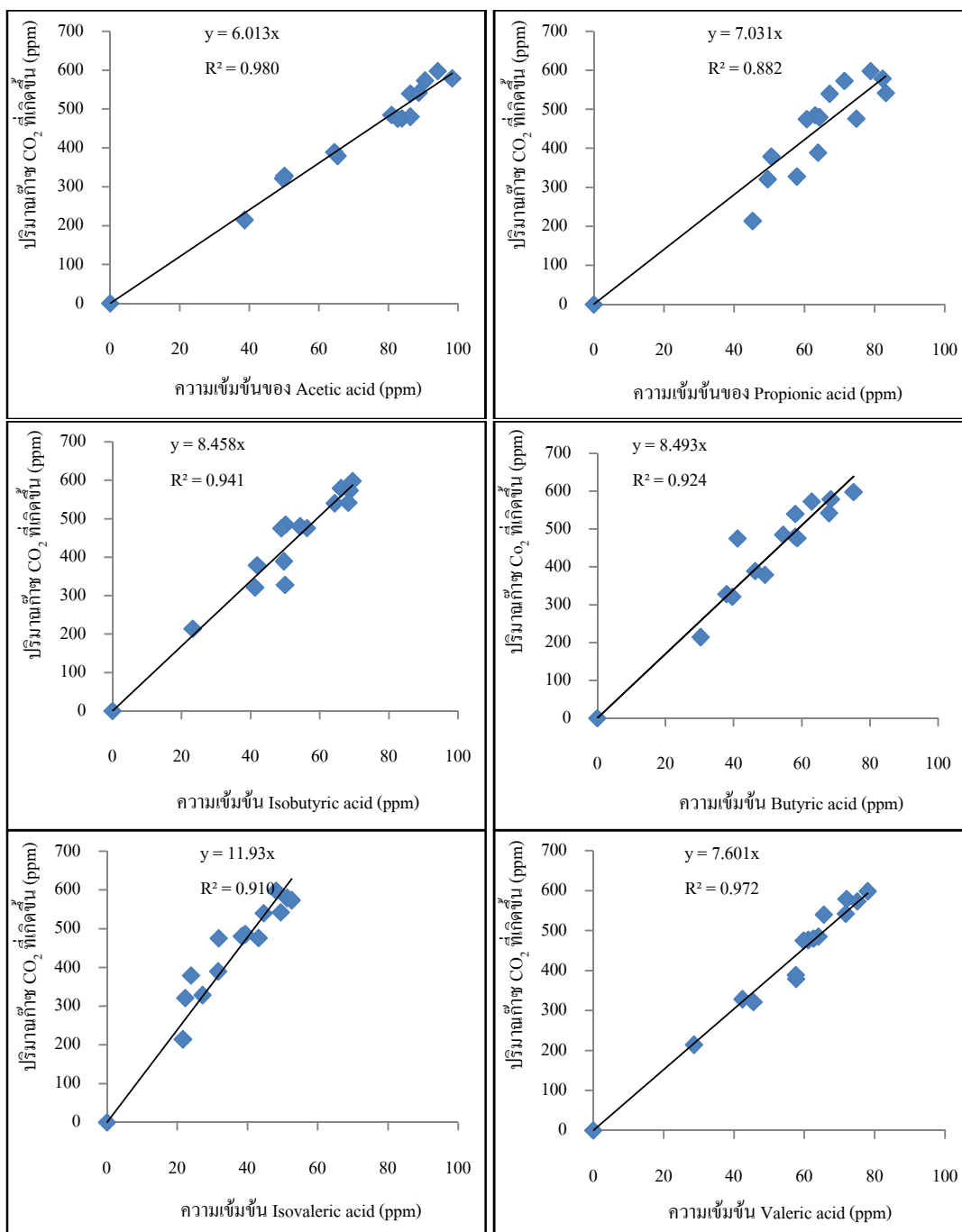
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัดมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ความชันของกราฟคืออัตราส่วนมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิด โดยความชันของกราฟ Acetic acid เท่ากับ 1.298 Proionic acid เท่ากับ 1.783 Isobutyric acid เท่ากับ 1.824 Butyric acid เท่ากับ 1.70 Isovaleric acid เท่ากับ 1.972 และ Valeric acid เท่ากับ 2.005 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากการคำนวณ Stoichiometric reaction เนื่องจากก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นในเครื่องชีวภาพมีบางส่วนสะสมในไบโอฟิล์มในรูปของ HCO₃⁻, H₂CO₃ และ CO₃²⁻ (Delhoménie *et al.*, 2002)



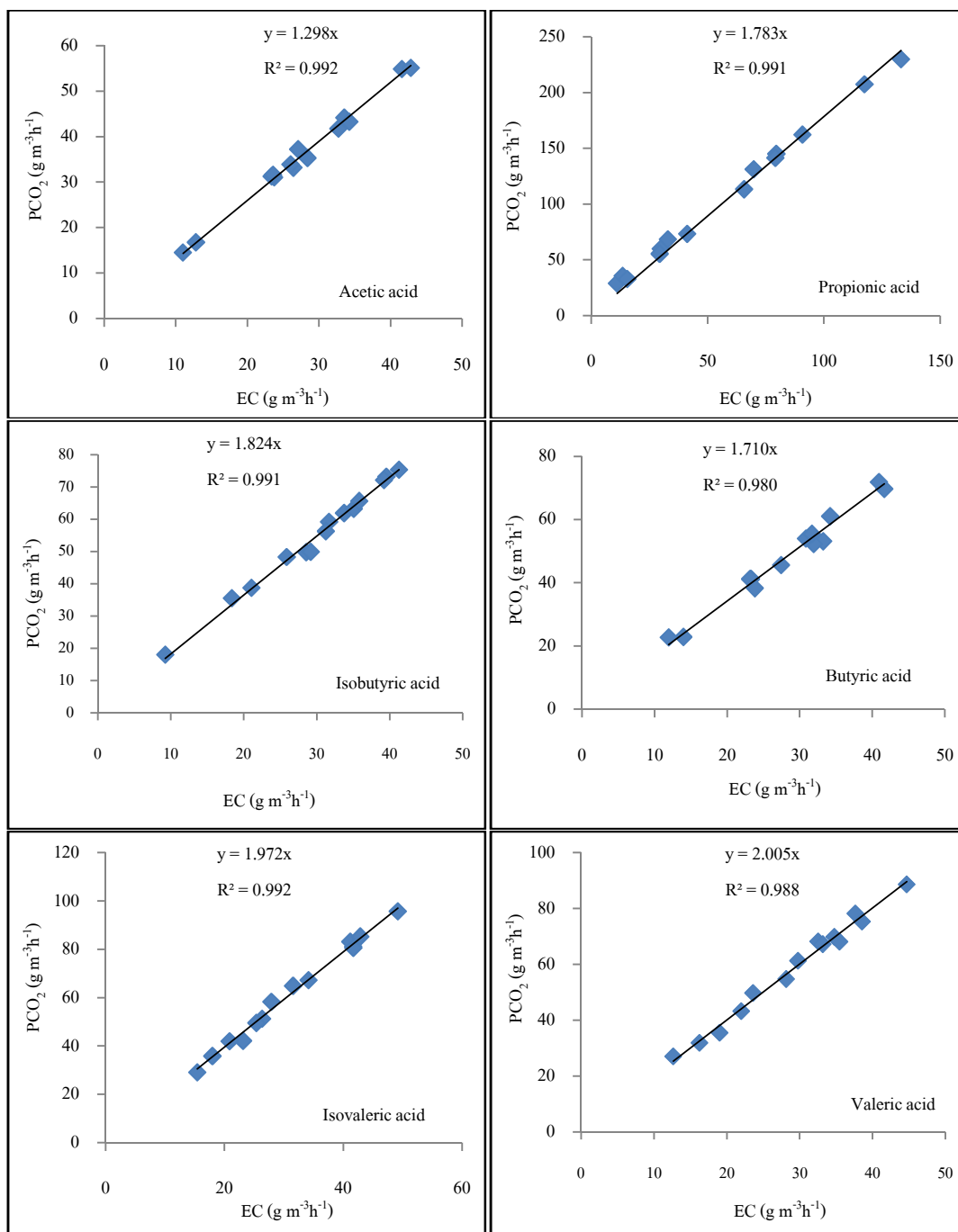
ภาพประกอบ 4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย ที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลากักเก็บเท่ากับ 30 วินาที



ภาพประกอบ 4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการบำบัดและอัตรากระบวนการกรดไขมันระเหยง่าย ที่เวลาพักเก็บเท่ากับ 30 วินาที



ภาพประกอบ 4-15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลาพักเก็บ 30 วินาที



ภาพประกอบ 4-16 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัด ที่เวลากักเก็บ 30 วินาที

4.4.2 ความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ที่เวลาพักเก็บ 60 วินาที

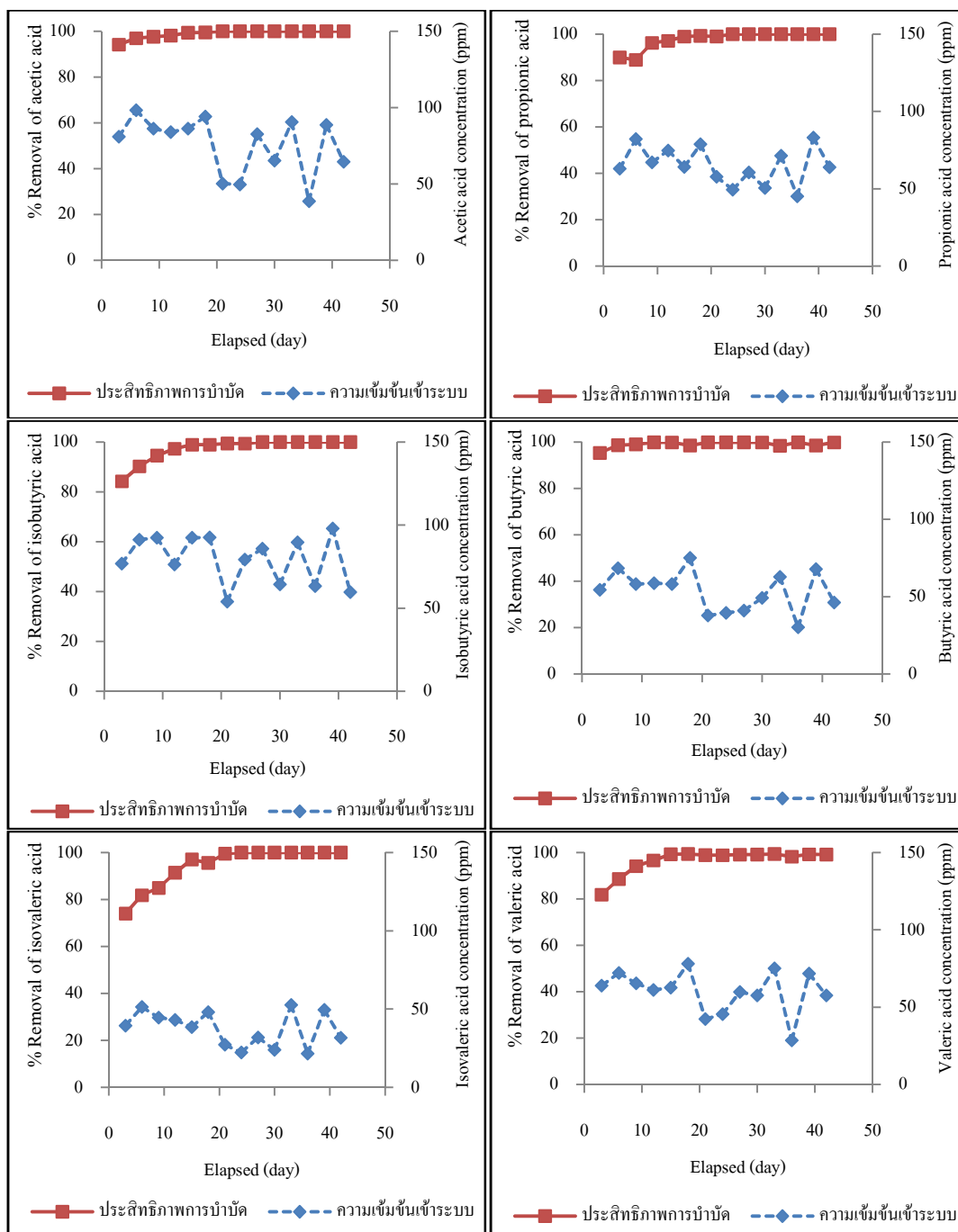
การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้พิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย และความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้น (ผลต่างความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ณ จุดที่ก๊าซออกจากเครื่องกรองชีวภาพกับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ณ จุดที่ก๊าซเข้าเครื่องกรองชีวภาพ) ภาพประกอบ 4-17 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย ที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ภาพประกอบ 4-18 แสดงความสามารถในการบำบัดและอัตราการระบรทุกกรดไขมันระเหยง่าย และภาพประกอบ 4-19 แสดงปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย ที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ

ผลการทดลองภาพประกอบ 4-17 พบว่าที่เวลาพักเก็บ 60 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 94-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 89-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 84-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 95-99% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 74-100% และประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 81-99%

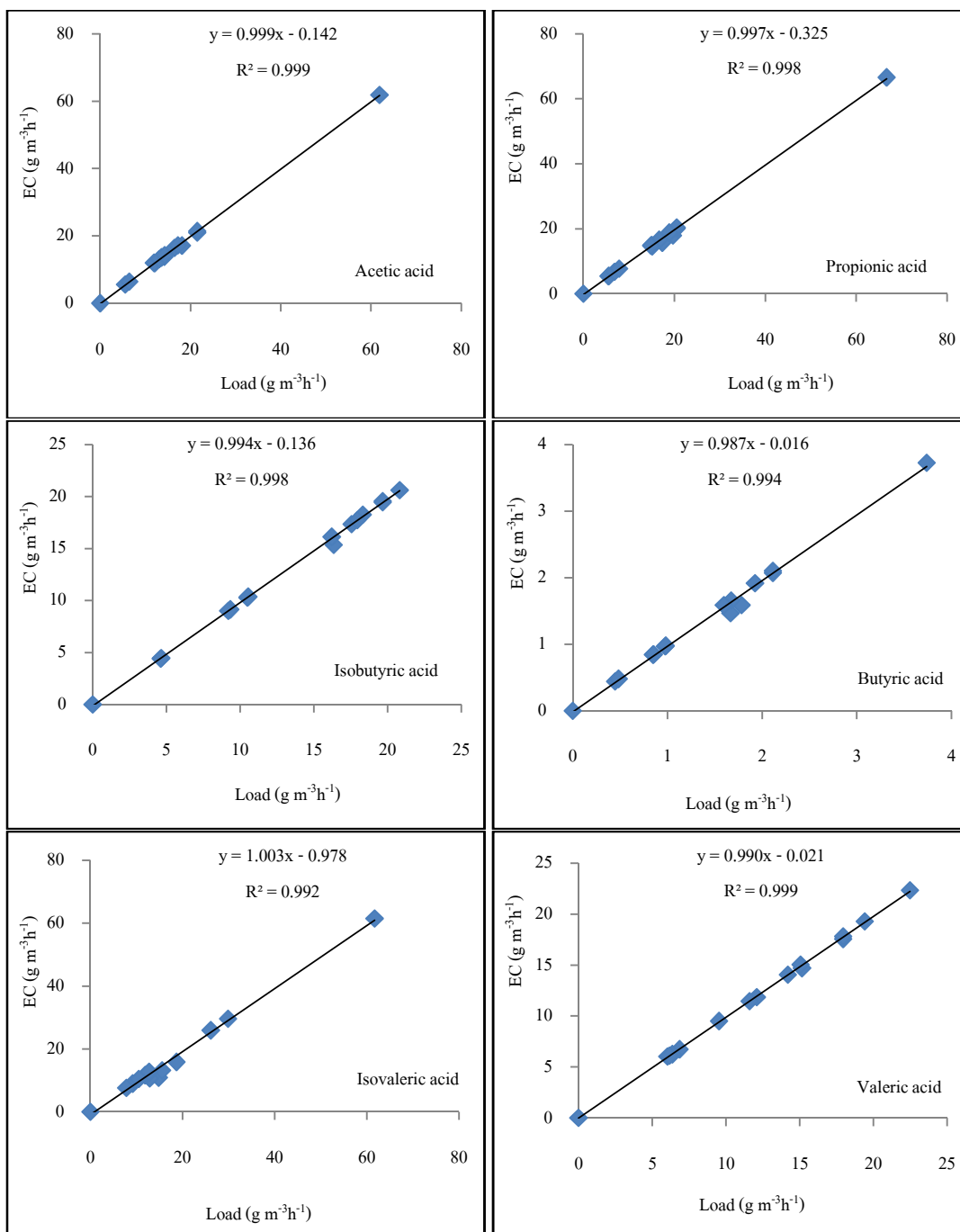
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-18 ซึ่งเป็นรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบรทุกและความสามารถในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบรทุกและความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของเครื่องกรองชีวภาพยังคงเป็นเส้นตรง อธิบายตามภาพประกอบ 4-14

ผลการทดลองภาพประกอบ 4-19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง อธิบายตามภาพประกอบ 4-15

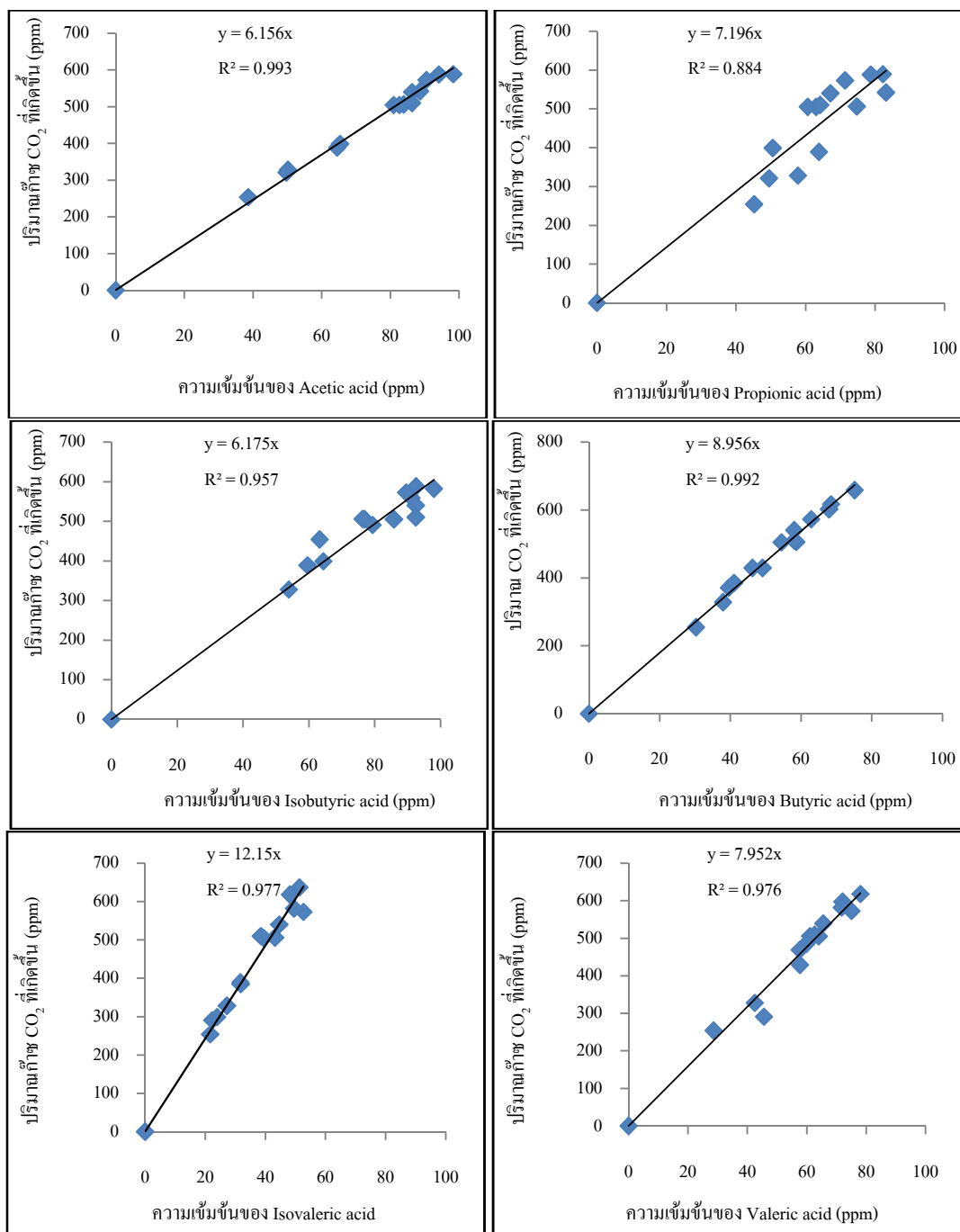
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัดมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ความชันของกราฟคืออัตราส่วนมวลของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิด โดยความชันของกราฟ Acetic acid เท่ากับ 1.407 Proionic acid เท่ากับ 1.689 Isobutyric acid เท่ากับ 1.751 Butyric acid เท่ากับ 1.154 Isovaleric acid เท่ากับ 1.582 และ Valeric acid เท่ากับ 2.047 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนมวลของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากการคำนวณ Stoichiometric reaction อธิบายตามภาพประกอบ 4-16



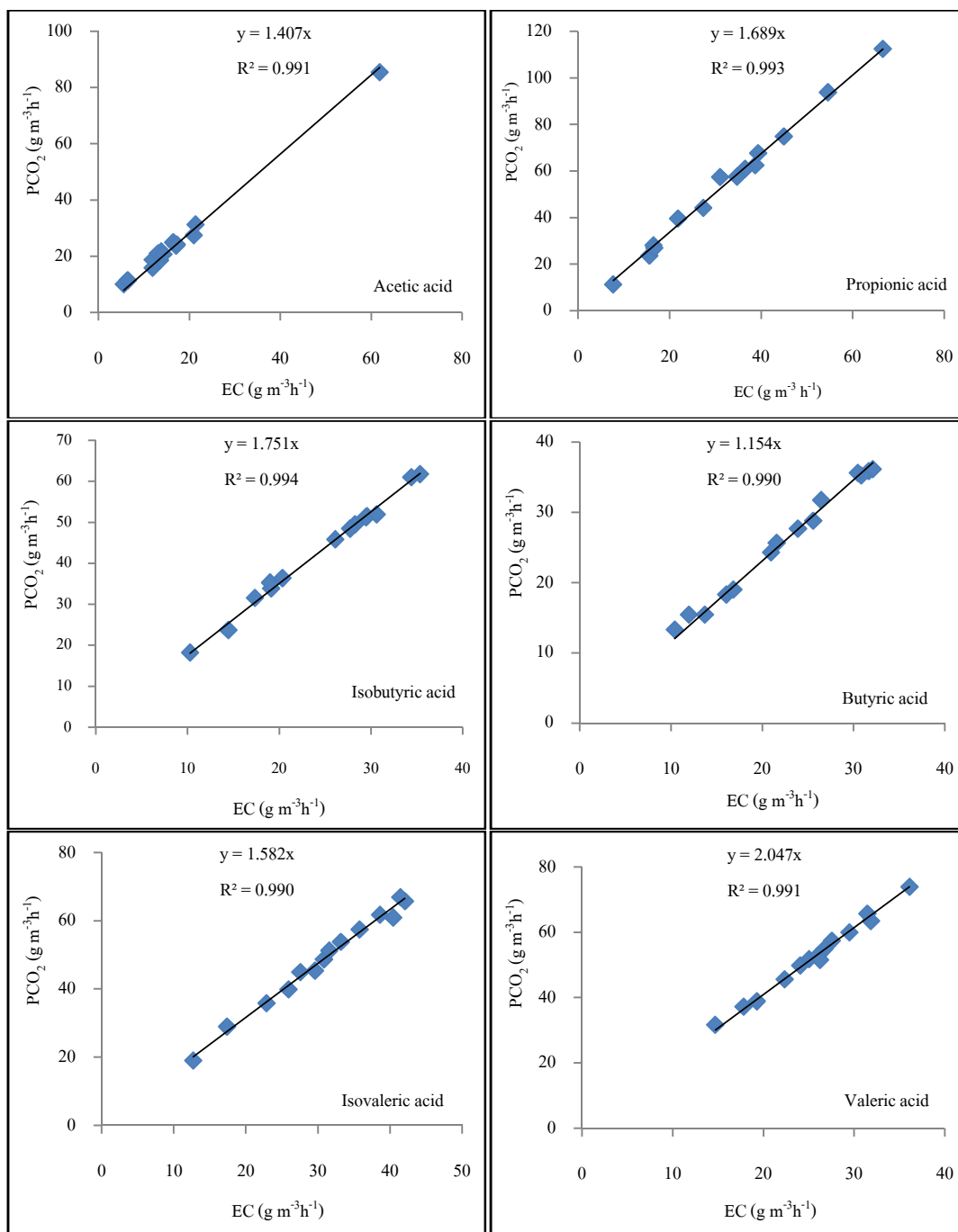
ภาพประกอบ 4-17 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลาพักเก็บเท่ากับ 60 วินาที



ภาพประกอบ 4-18 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการบำบัดและอัตรากระบวนการกรดไขมันระเหยง่าย ที่เวลาพักเก็บเท่ากับ 60 วินาที



ภาพประกอบ 4-19 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลาพักเก็บ 60 วินาที



ภาพประกอบ 4-20 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัดที่เวลากักเก็บ 60 วินาที

4.4.3 ความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหย ที่เวลาพักเก็บ 90 วินาที

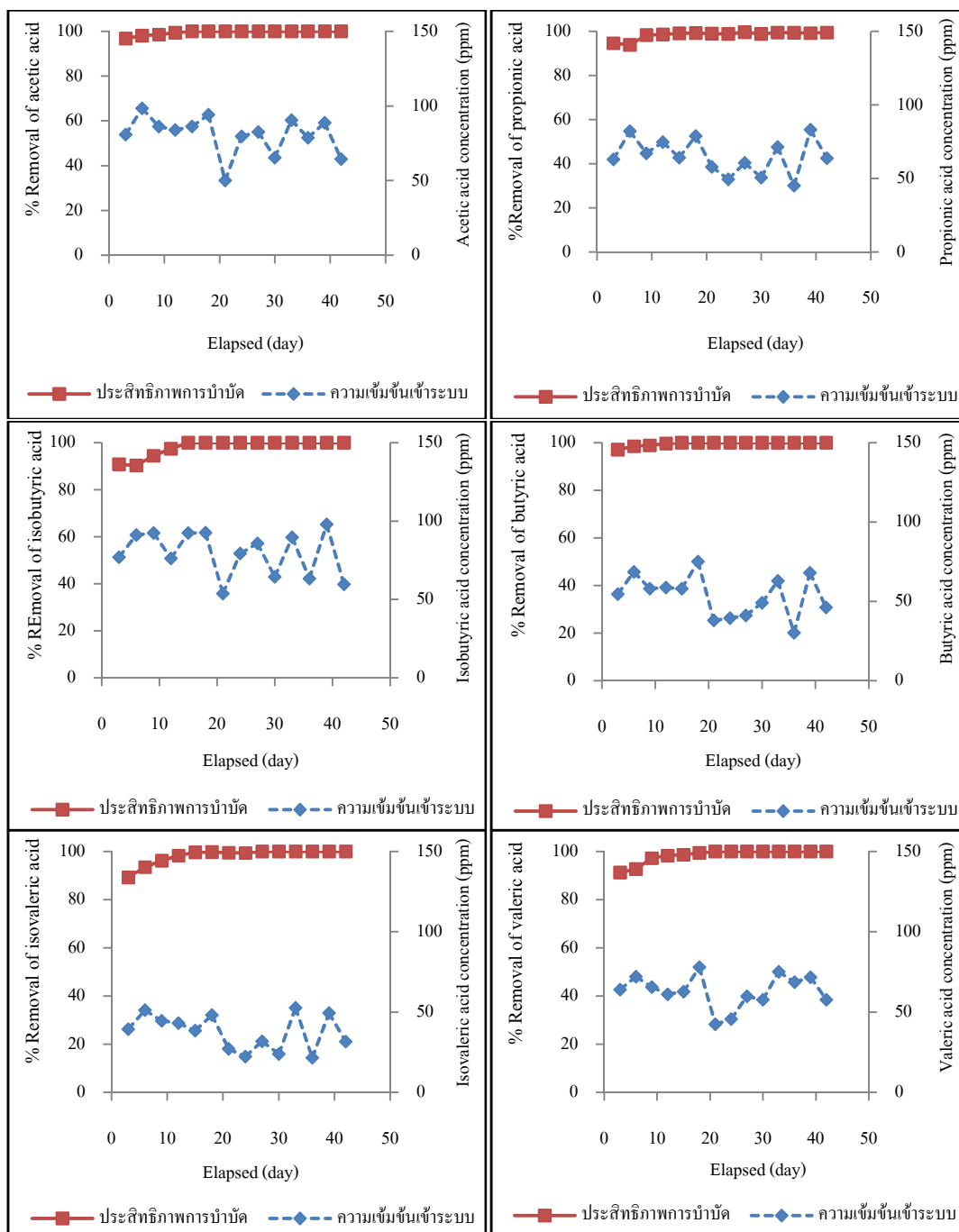
การวิเคราะห์ผลการทดลองนี้พิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย และความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้น (ผลต่างความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ณ จุดที่ก๊าซ ออกจากเครื่องกรองชีวภาพกับความเข้มข้นของก๊าซ CO₂ ณ จุดที่ก๊าซ เข้าเครื่องกรองชีวภาพ) ภาพประกอบ 4-21 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย ที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ภาพประกอบ 4-22 แสดงความสามารถในการบำบัดและอัตราการระบรทุกกรดไขมันระเหยง่าย และภาพประกอบ 4-23 แสดงปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย ที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ

ผลการทดลองภาพประกอบ 4-21 พบว่าที่เวลาพักเก็บ 90 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 96-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 94-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 90-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 97-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 89-100% และประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 91-100%

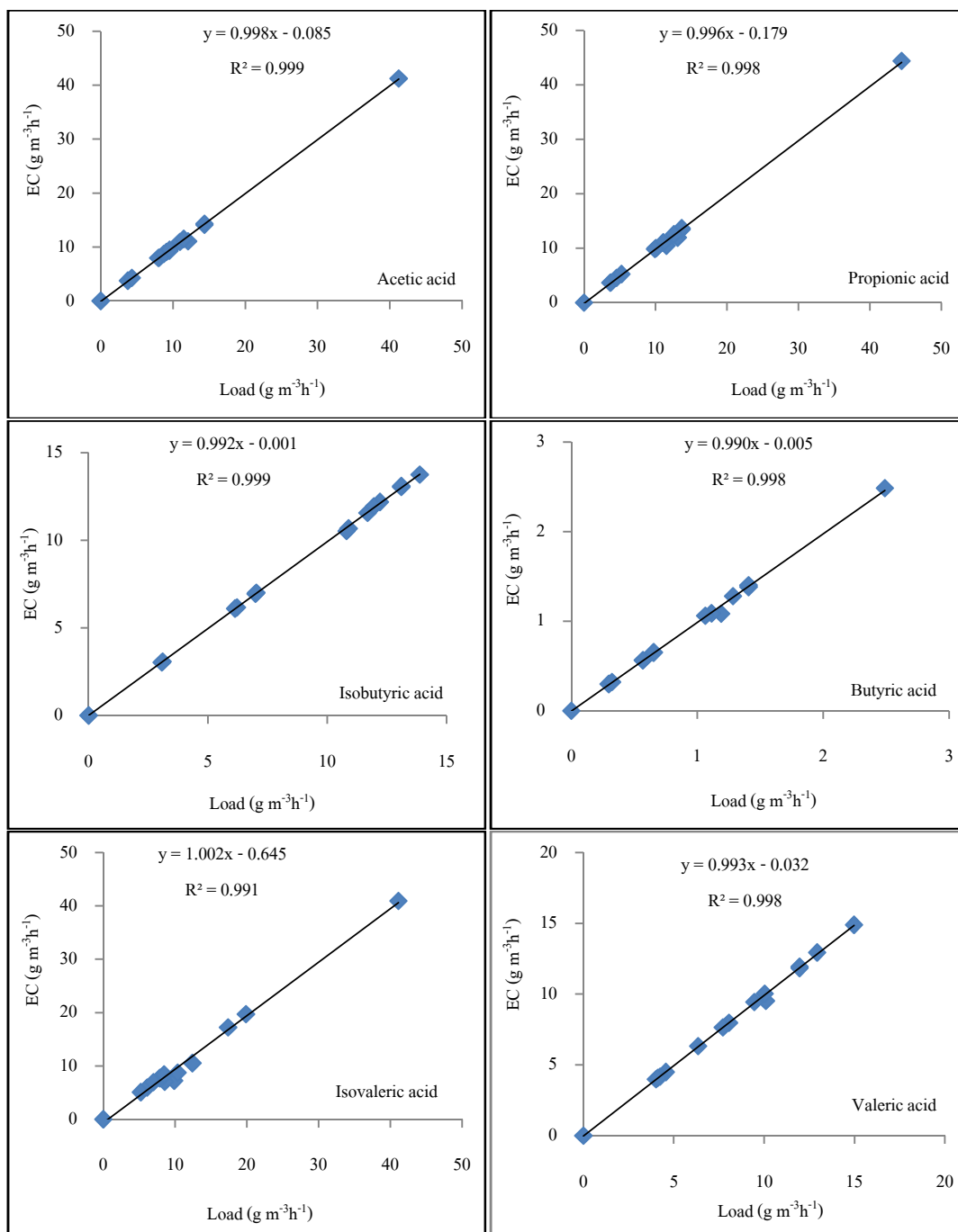
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-22 ซึ่งเป็นรูปกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบรทุกและความสามารถในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการระบรทุกและความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของเครื่องกรองชีวภาพ ยังคงเป็นเส้นตรง อธิบายตามภาพประกอบ 4-14

ผลการทดลองภาพประกอบ 4-23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง อธิบายตามภาพประกอบ 4-15

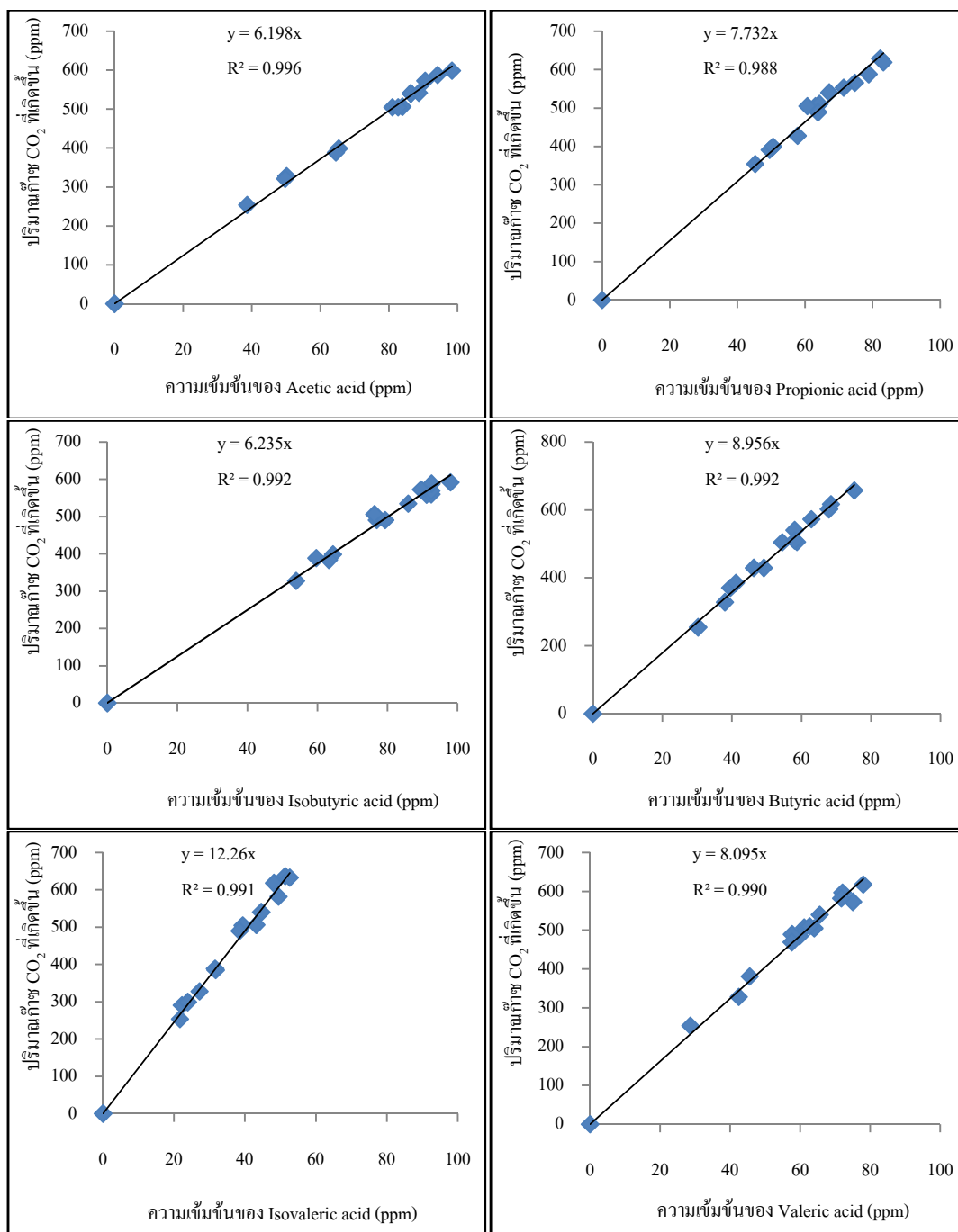
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัด พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัดมีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ความชันของกราฟคืออัตราส่วนมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิด โดยความชันของกราฟ Acetic acid เท่ากับ 1.414 Proionic acid เท่ากับ 1.501 Isobutyric acid เท่ากับ 1.461 Butyric acid เท่ากับ 1.358 Isovaleric acid เท่ากับ 1.347 และ Valeric acid เท่ากับ 1.435 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากการคำนวณ Stoichiometric reaction อธิบายตามภาพประกอบ 4-16



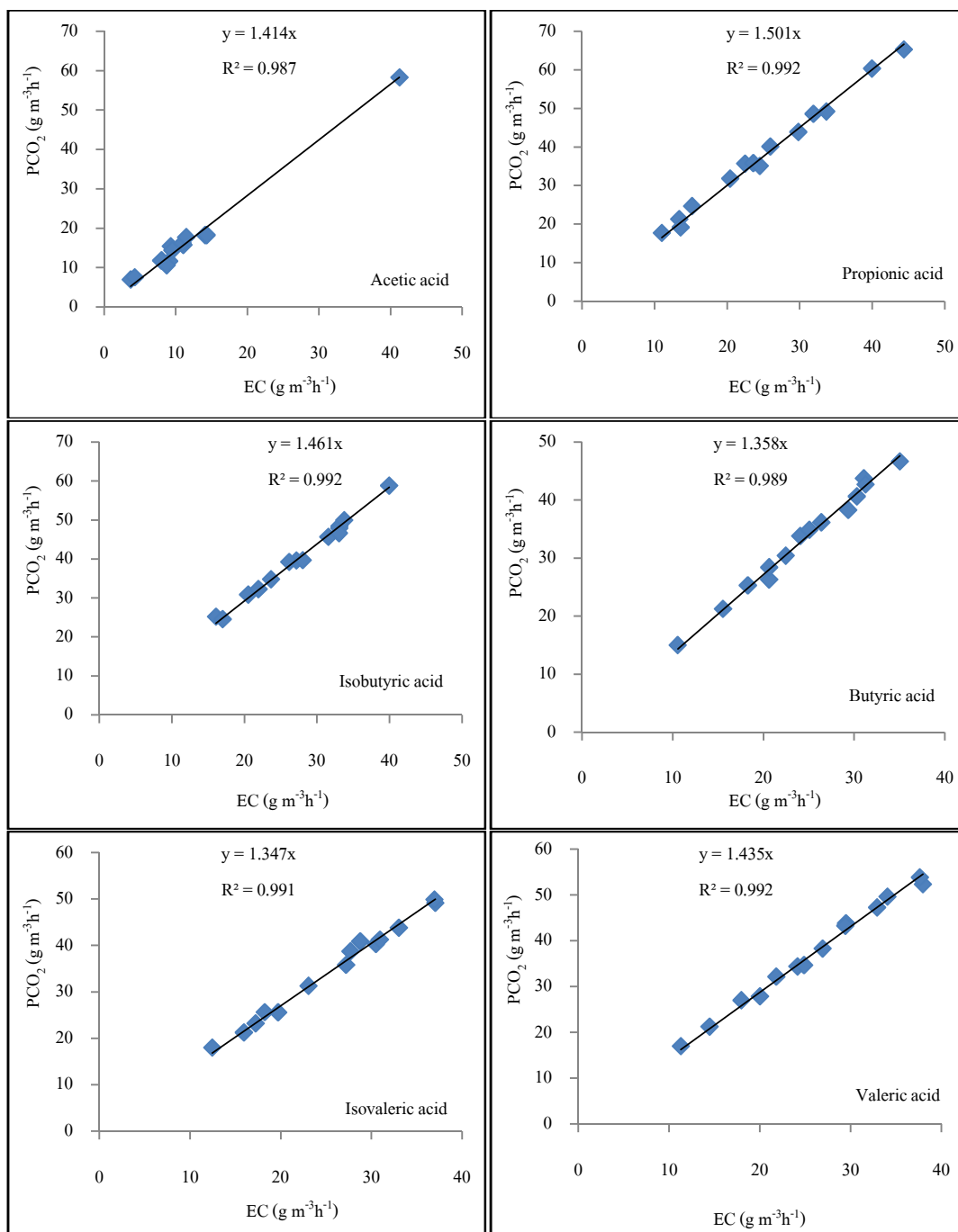
ภาพประกอบ 4-21 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัด และความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ที่เวลาพักเก็บเท่ากับ 90 วินาที



ภาพประกอบ 4-22 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการบำบัดและอัตราภาระบรรทุกกรดไขมันระเหยง่าย ที่เวลากักเก็บเท่ากับ 90 วินาที



ภาพประกอบ 4-23 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพที่เวลากักเก็บ 90 วินาที



ภาพประกอบ 4-24 ความสัมพันธ์ระหว่างมวลของก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความสามารถในการบำบัดที่เวลากักเก็บ 90 วินาที

สรุปผลการทดลองดังภาพประกอบ 4-14, 4-18 และภาพประกอบ 4-22 พบว่าที่เวลากักเก็บเท่ากับ 30, 60 และ 90 วินาที สามารถบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ที่เข้าเครื่องกรอง

ชีวภาพได้เกือบทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้จากความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกและความสามารถในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพยังคงเป็นเส้นตรงมีความชันใกล้เคียง 1 ระยะเวลาเก็บที่น้อยทำให้กรดไขมันระเหยง่าย มีเวลาในการแพร่เข้าสู่ฟิล์มชีวภาพได้น้อย ระยะเวลาเก็บที่ยาวนานขึ้นส่งผลให้กรดไขมันระเหยง่าย สามารถแพร่เข้าสู่ฟิล์มชีวภาพที่อยู่ใกล้ชิดกับวัสดุตัวกลาง และจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายได้อย่างสมบูรณ์โดยไม่ถูกกำจัดด้วยเวลาในการทำปฏิกิริยาดังนั้นที่เวลากักเก็บ 90 วินาที จึงมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่เวลากักเก็บ 60 และ 30 วินาที ตามลำดับ ดังภาพประกอบ 4-13, 4-17 และภาพประกอบ 4-21 อัตราส่วนมวลของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายแต่ละชนิดทุกเวลากักเก็บมีค่าต่ำกว่าอัตราส่วนมวลของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นต่อความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ได้จากการคำนวณ Stoichiometric reaction

4.4.5 ค่าความดันลดที่เกิดขึ้น

ผลการดำเนินการทดลองชุดที่ 1 พบว่า ค่าความดันลดที่เกิดขึ้นในระบบมีสาเหตุมาจากความชื้นภายในชั้นตัวกลางที่มากเกินไป เนื่องจากก๊าซที่เข้าระบบเอาความชื้นจากเนื้อเยื่อมาด้วย และอัตราส่วนการผสมที่มีปุ๋ยคอกในสัดส่วนสูง มีแนวโน้มทำให้ความดันลดของระบบเพิ่มสูงขึ้น และหลังจากดำเนินการทดลองชุดที่ 2 พบว่าความดันลดที่เกิดขึ้นในระบบมีสาเหตุมาจากเวลากักเก็บของระบบคือ เมื่อเวลากักเก็บของระบบเพิ่มขึ้นจาก 30, 60 และ 90 วินาที ทำให้ค่าความดันลดของระบบเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 12, 24 และ 35 mmH_2O ตามลำดับ จากผลของเวลากักเก็บที่มากขึ้นส่งผลให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตเพิ่มขึ้น (Jorio *et al.*, 2000) ซึ่งเมื่อจุลินทรีย์ในระบบเพิ่มขึ้นทำให้จุลินทรีย์เหล่านี้ไปกักกันและขัดขวางหรือไปเชื่อมประสานช่องว่างภายในวัสดุตัวกลางส่งผลให้อากาศภายในเครื่องกรองชีวภาพเคลื่อนที่ไม่สม่ำเสมอตลอดความสูงของตัวกลาง

4.4.6 ค่าความเป็นกรด-ด่างภายในชั้นตัวกลาง

ผลการทดลองพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างภายในชั้นตัวกลางที่เวลากักเก็บ 30, 60 และ 90 วินาที อยู่ในช่วง 6.8-7.6, 6.6-7.5 และ 6.4-7.3 ตามลำดับ โดยการลดลงของค่าความเป็นกรด-ด่างภายในชั้นตัวกลางมีความสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหย คือ ค่าความสามารถในการบำบัดที่มากขึ้นส่งผลให้ปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นบางส่วนจะละลายภายในชั้นตัวกลางที่มีความชื้น โดยอยู่ในรูปของ HCO_3^- , H_2CO_3 และ CO_3^{2-} (Delhoménie *et al.*, 2002) ซึ่งจะมีผลโดยตรงทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง

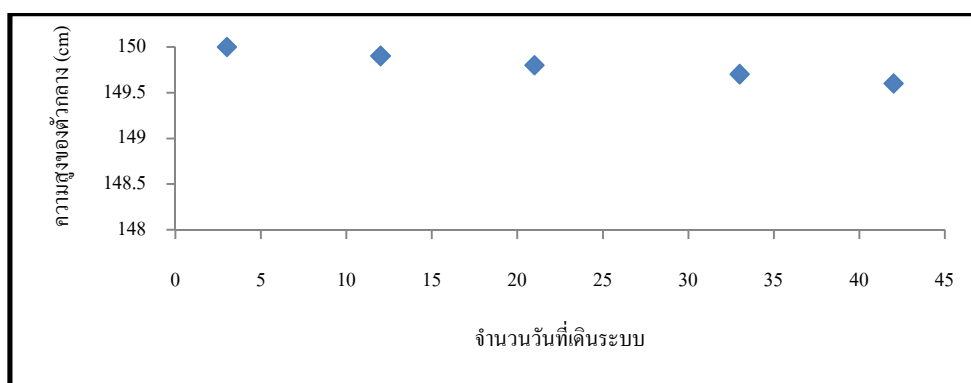
ภายในชั้นตัวกลางลดลงจนกระทั่งต่ำกว่า 6 หากไม่มีการเติมบัฟเฟอร์ให้กับระบบ และที่ pH เท่ากับ 7-8.6 เหมาะกับการเติบโตของแบคทีเรียไนตริไฟเออร์ (Wheaton *et al.*, 1994)

4.4.7 อุณหภูมิภายในชั้นตัวกลาง

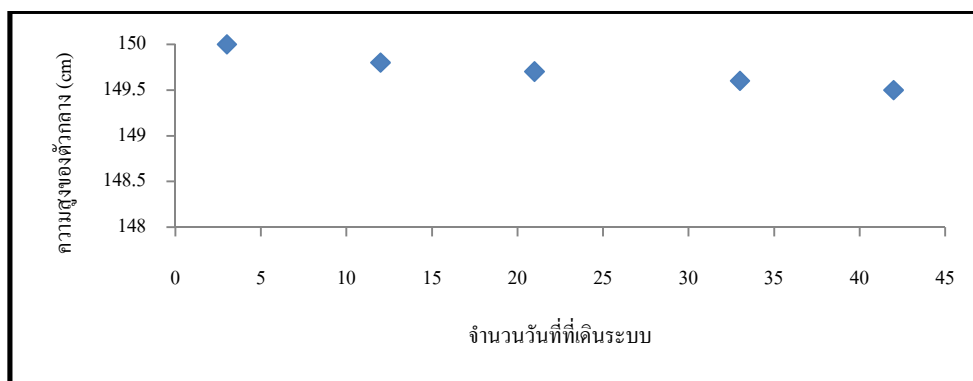
ผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิภายในชั้นตัวกลางที่เวลากักเก็บ 30, 60 และ 90 วินาที อยู่ในช่วง 27.2-32.3°C, 27.2-32.1°C และ 27.2-32.5°C โดยอุณหภูมิอยู่ในช่วง 20-40°C ซึ่งเป็นช่วงที่จุลินทรีย์ในระบบเจริญเติบโตได้ดีทำให้กิจกรรมการย่อยสลายสารมลพิษมากขึ้น (Tezuka *et al.*, 2003)

4.4.9 การทรุดตัวของตัวกลาง

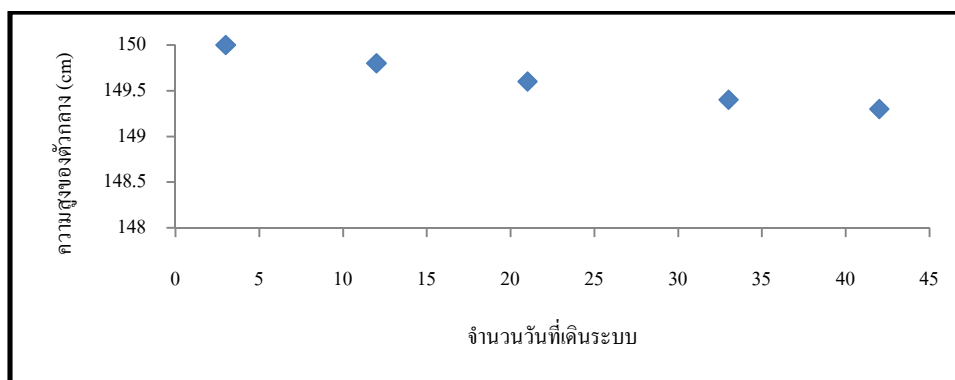
ภายหลังดำเนินการทดลองชุดที่ 1 พบว่าการทรุดตัวของตัวกลางที่เกิดขึ้นในระบบ มีสาเหตุมาจากความชื้นภายในชั้นตัวกลางที่มากเกินไป และอัตราส่วนการผสมที่มีปุ๋ยคอกในสัดส่วนสูง มีแนวโน้มทำให้การทรุดตัวของตัวกลางเพิ่มสูงขึ้น และหลังจากดำเนินการทดลองชุดที่ 2 พบว่าการทรุดตัวของตัวกลางที่เกิดขึ้นในระบบมีสาเหตุมาจากเวลากักเก็บของระบบคือ เมื่อเวลากักเก็บของระบบเพิ่มขึ้นจาก 30, 60 และ 90 วินาที ทำให้การทรุดตัวของตัวกลางของระบบเพิ่มขึ้น ดังภาพประกอบ 4-25 ถึงภาพประกอบ 4-27



ภาพประกอบ 4-25 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวกลางและจำนวนวันที่เดินระบบ สำหรับเครื่องกรองชีวภาพ ที่มีเวลากักเก็บ 30 วินาที



ภาพประกอบ 4-26 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวกลางและจำนวนวันที่เดินระบบ สำหรับเครื่องกรองชีวภาพ ที่มีเวลากักเก็บ 60 วินาที



ภาพประกอบ 4-27 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของตัวกลางและจำนวนวันที่เดินระบบ สำหรับเครื่องกรองชีวภาพที่มีเวลากักเก็บ 90 วินาที

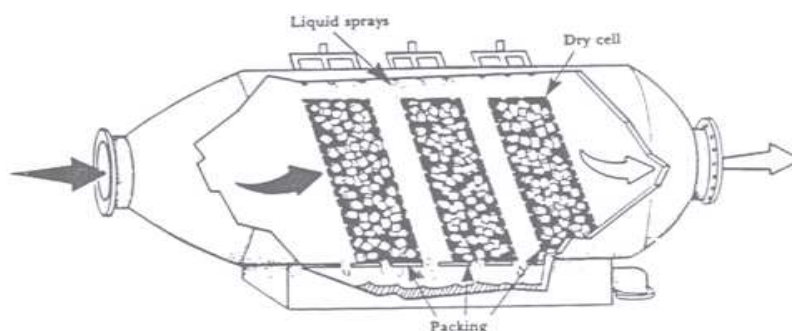
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-25 ถึงภาพประกอบ 4-27 พบว่าการทรุดตัวของตัวกลางที่มีเวลากักเก็บเท่ากับ 30, 60 และ 90 วินาที เกิดขึ้นเท่ากับ 0.4 cm, 0.5 cm และ 0.7 cm ตามลำดับ ค่าการทรุดตัวที่ต่างกัน เพราะเวลากักเก็บที่มากขึ้นทำให้การย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายสมบูรณ์มากขึ้น ซึ่งในขณะที่หยุดเดินระบบจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์จากเปลือกมะพร้าวและปุ๋ยคอก เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารส่งผลให้เกิดการสลายของตัวกลาง จึงเป็นเหตุให้เกิดการทรุดตัวของตัวกลาง โดยค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นทั้งหมดถือว่าน้อยมาก ดังนั้นเปลือกมะพร้าวจึงเป็นตัวกลางที่เหมาะสม

4.5 การประยุกต์ใช้ระบบและสภาวะของเครื่องกรองชีวภาพกับหอดูดซึมแบบเปียก ขนาดอุตสาหกรรม ที่บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด

หอดูดซึมแบบเปียกที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 เพื่อควบคุมปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดจากเตาอบยาง เป็นระบบที่อาศัยหลักการดูดซึมเพื่อดูดซึมสารมลพิษในอากาศเสียที่ปล่อยจากเตาอบยางโดยใช้น้ำเป็นสารดูดซึม ใส่ตัวกลาง (Packing) ไว้ภายในเพื่อเพิ่มผิวของการสัมผัสระหว่างก๊าซและของเหลว ตัวกลางที่ใช้ในบริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด มีลักษณะเป็นตัวกลางพลาสติกประเภท Pall ring หอดูดซึมแบบเปียกของโรงงานแสดงดังภาพประกอบ 4-28 เป็นหอดูดซึมสแตนเลส มีขนาดกว้าง 3.6 m ยาว 2 m และสูง 2 m อากาศไหลเข้าและออกในแนวนอน (Cross flow) สเปรย์น้ำจากด้านบนโดยในปัจจุบันระบบแนวนอนได้รับความนิยมมากขึ้น เพราะมีปัญหาการอุดตันน้อยและความสูงไม่มากนัก



ภาพประกอบ 4-28 แสดงหอดูดซึมแบบเปียกในแนวนอน (Cross flow absorber) ที่ใช้ในการบำบัดกลิ่นจากก๊าซเสียที่ปล่อยออกจากเตาอบยาง บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด



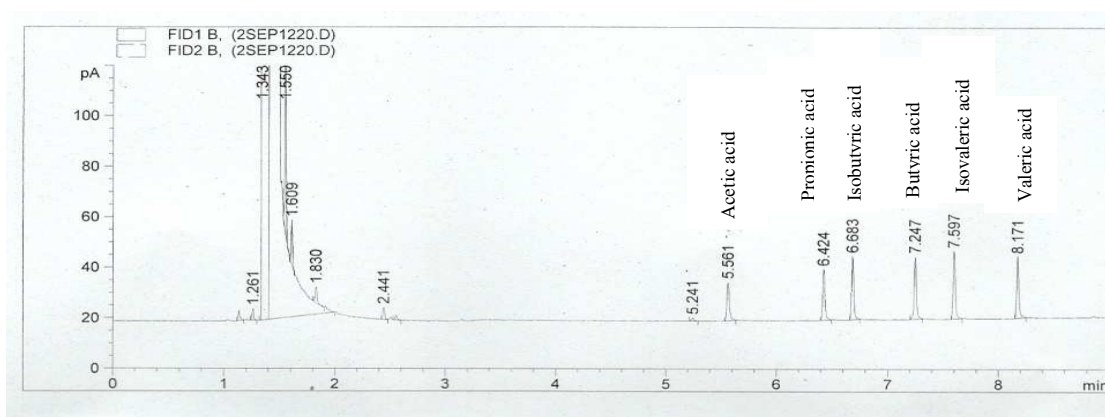
ภาพประกอบ 4-29 ระบบดูดซึมแบบเปียก Three bed cross flow packed tower
ที่มา : http://www.pcd.go.th/info_serv/Datasmell/design_scrubing.htm

4.5.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของระบบดักจับแบบเปียกที่ใช้น้ำเป็นสารดูดซึม

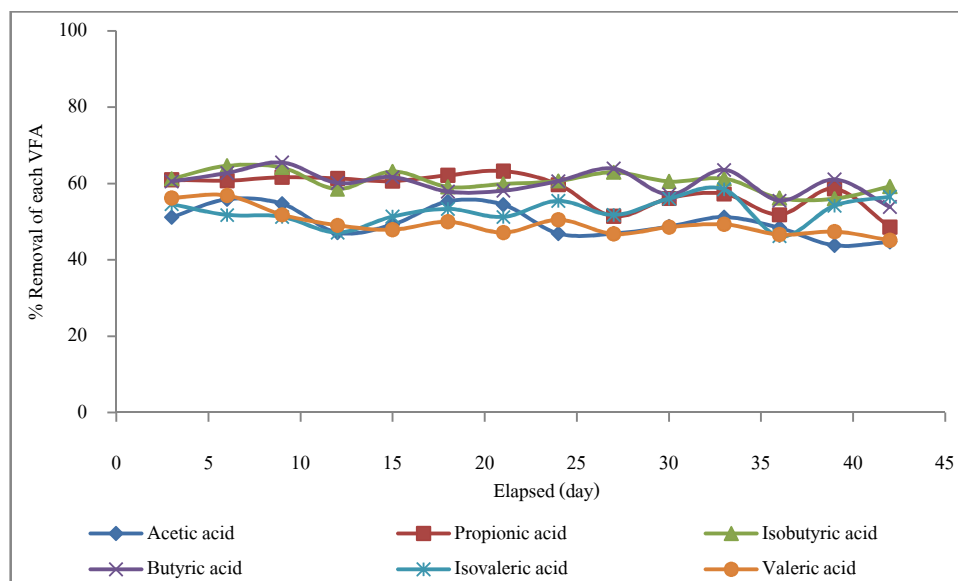
ระบบดักจับแบบเปียกที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR 20 ใช้น้ำเป็นสารดูดซึมในการบำบัดกลิ่น ในการเก็บตัวอย่างก๊าซทางโรงงานให้ความอนุเคราะห์ช่วยเจาะระบบดูดซึมแบบเปียก เพื่อให้สามารถเก็บตัวอย่างก๊าซได้ ผลการทดลองวัดความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่ทางออกของหอดูดซึมแบบเปียก แสดงดังภาพประกอบ 4-30 ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณกรดไขมันระเหยง่ายที่ทางออกของหอดูดซึมด้วย GC และมีประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย เมื่อใช้น้ำเป็นสารดูดซึม แสดงดังภาพประกอบ 4-31 ซึ่งจะมีประสิทธิภาพในการบำบัดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 55%

ภาพประกอบ 4-31 ผลที่ได้จากการศึกษาถึงความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายในตัวอย่างก่อนและออกจากระบบดูดซึมแบบเปียก พบว่า ประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 41-55% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 48-63% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 56-64% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 53-65% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 46-56% และ ประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 45-56% ซึ่งมีผลทำให้เกิดปัญหากลิ่นเหม็นเนื่องจากประสิทธิภาพการบำบัดต่ำ จึงมีความจำเป็นในการพัฒนาระบบบำบัดกลิ่นที่เหมาะสมเพิ่มเติม

เนื่องจากภายในหอดูดซึมแบบเปียกของโรงงานมี 2 Bed แต่ใช้น้ำดูดซึมหักลิ่นเพียง Bed แรก ดังนั้นจึงได้ขอความอนุเคราะห์ทางโรงงานบรรจุตัวกรองชีวภาพใน Bed ที่สอง เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพร่วมกับระบบดูดซึม



ภาพประกอบ 4-30 แสดงผลการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมันระเหยง่าย ที่ออกจากหอดูดซึมแบบเปียก ด้วยเครื่อง GC-6890

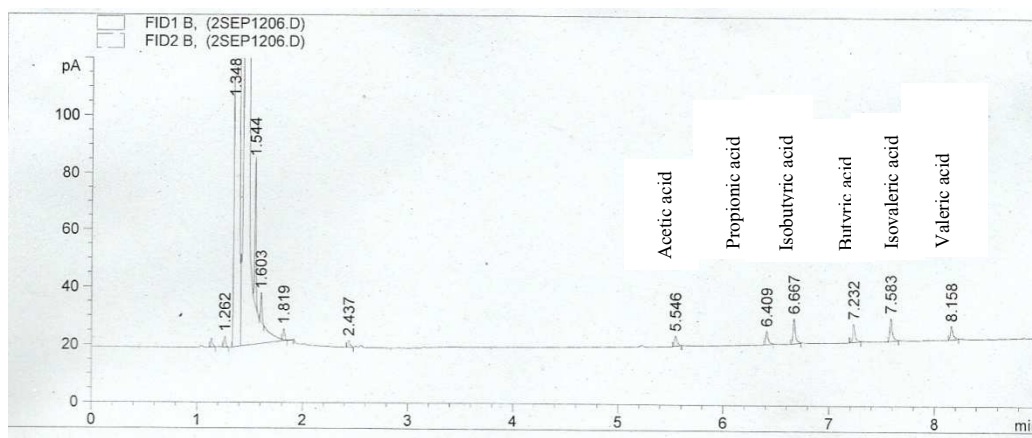


ภาพประกอบ 4-31 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ของระบบระบบดูดซึมแบบเปียก บริษัท สยามอิน โคร็บเบอร์ จำกัด

4.5.2 ความสามารถในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของเครื่องกรองชีวภาพ

ผลการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจากเครื่องกรองชีวภาพ ด้วย GC แสดงดังภาพประกอบ 4-32 พบว่าความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายมีค่าลดลง และถ้าพิจารณาเปรียบเทียบกับผลของหอดูดซึมแบบเปียกโดยดูจาก Peak area จะเห็นได้ว่า Peak area ของกรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจากระบบดูดซึมแบบเปียก (ภาพประกอบ 4-30) มีค่ามากกว่า Peak area ของกรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจากเครื่องกรองชีวภาพ (ภาพประกอบ 4-32)

การวิเคราะห์ผลการทดลองการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายด้วยเครื่องกรองชีวภาพนี้จะพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัดที่ความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย และความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้น (ผลต่างความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ณ จุดที่ก๊าซออกจากเครื่องกรองชีวภาพกับความเข้มข้นของก๊าซ CO_2 ณ จุดที่ก๊าซเข้าเครื่องกรองชีวภาพ) ภาพประกอบ 4-33 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ ภาพประกอบ 4-34 แสดงความสามารถในการบำบัดและอัตราการบรรทุกกรดไขมันระเหยง่าย และภาพประกอบ 4-35 แสดงปริมาณก๊าซ CO_2 ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ



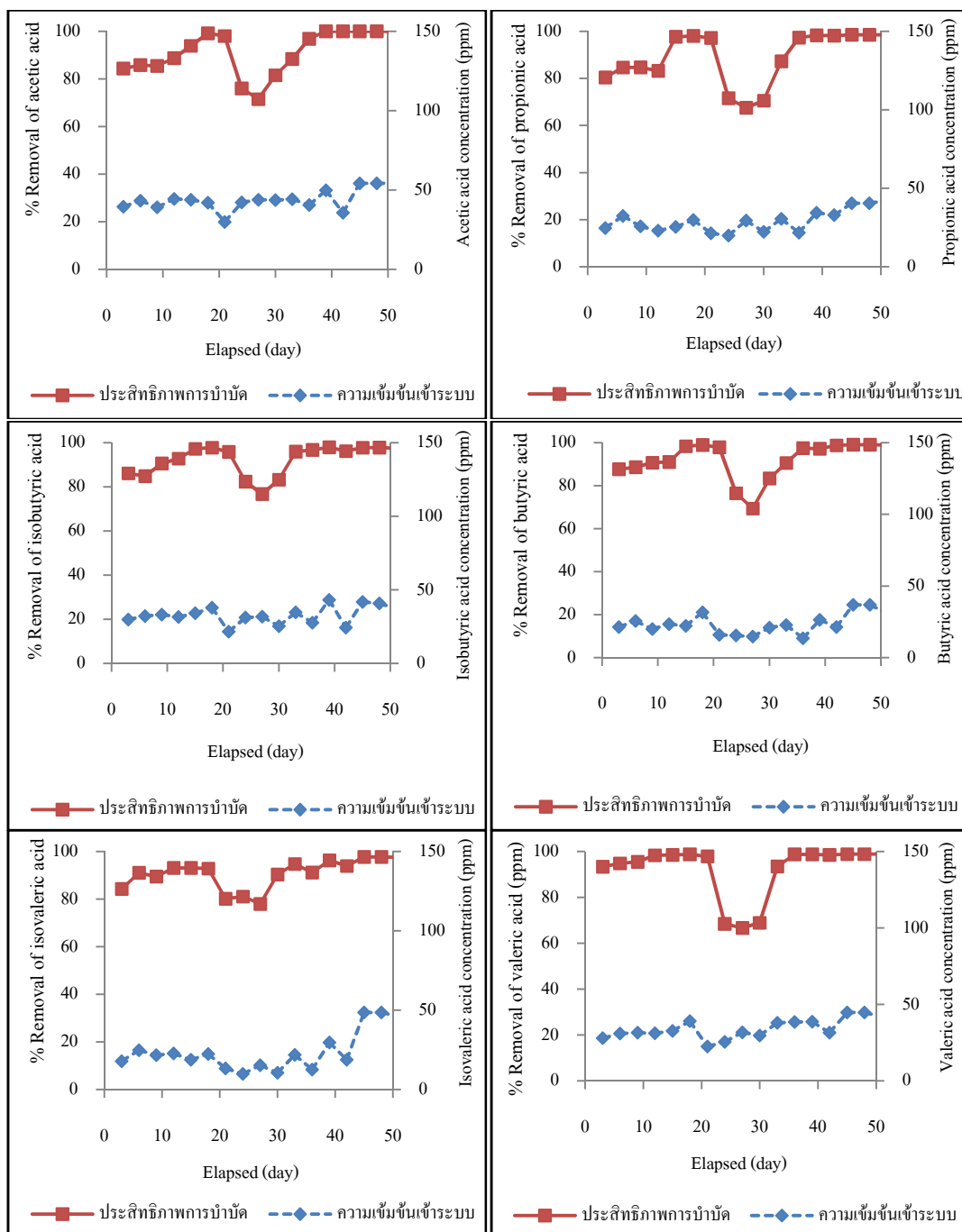
ภาพประกอบ 4-32 แสดงผลการวิเคราะห์ชนิดของกรดไขมันระเหยง่าย ที่ออกจากเครื่องกรองชีวภาพ ด้วยเครื่อง GC-6890

ผลการทดลองจากภาพประกอบ 4-33 พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 77-98% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 67-98% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 76-97% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 69-99% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 77-99% และประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 71-99% และจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการบำบัดของระบบในช่วงประมาณ 20 วันแรก โดยเฉลี่ยสูงกว่า 80% หลังจากนั้นประสิทธิภาพในการบำบัดลดลงอย่างชัดเจน เนื่องจากการทรุดตัวของตัวกลางประมาณ 10 cm อันเกิดจากน้ำหนักของตัวกลาง ละอองน้ำและความชื้นจากระบบดูดซึม ซึ่งการทรุดตัวของตัวกลางทำให้เกิดโพรง ก๊าซที่ไหลเข้าและออกในแนวนอนจึงทะลุผ่านตัวกลางไปโดยไม่ผ่านการบำบัด แต่เมื่อได้แก้ไขโดยการเติมตัวกลางพลาสติกประเภท Pall ring ซึ่งเป็นพลาสติกประเภท Polyethylene และไม่ทำปฏิกิริยากับก๊าซเสียที่เข้าระบบ เพื่อเพิ่มความพรุนและป้องกันการอัดตัวของชั้นตัวกลาง โดยปริมาณตัวกลางพลาสติกที่ผสมลงไปในครั้งนี้คิดเป็น 10% โดยปริมาตรของตัวกลางเดิม หลังจากได้เพิ่มตัวกลางลงไปใหม่พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเข้าสู่สภาวะคงตัวในวันที่ 10 หลังบรรจุตัวกลางลงไป แสดงภาพประกอบ 4-33

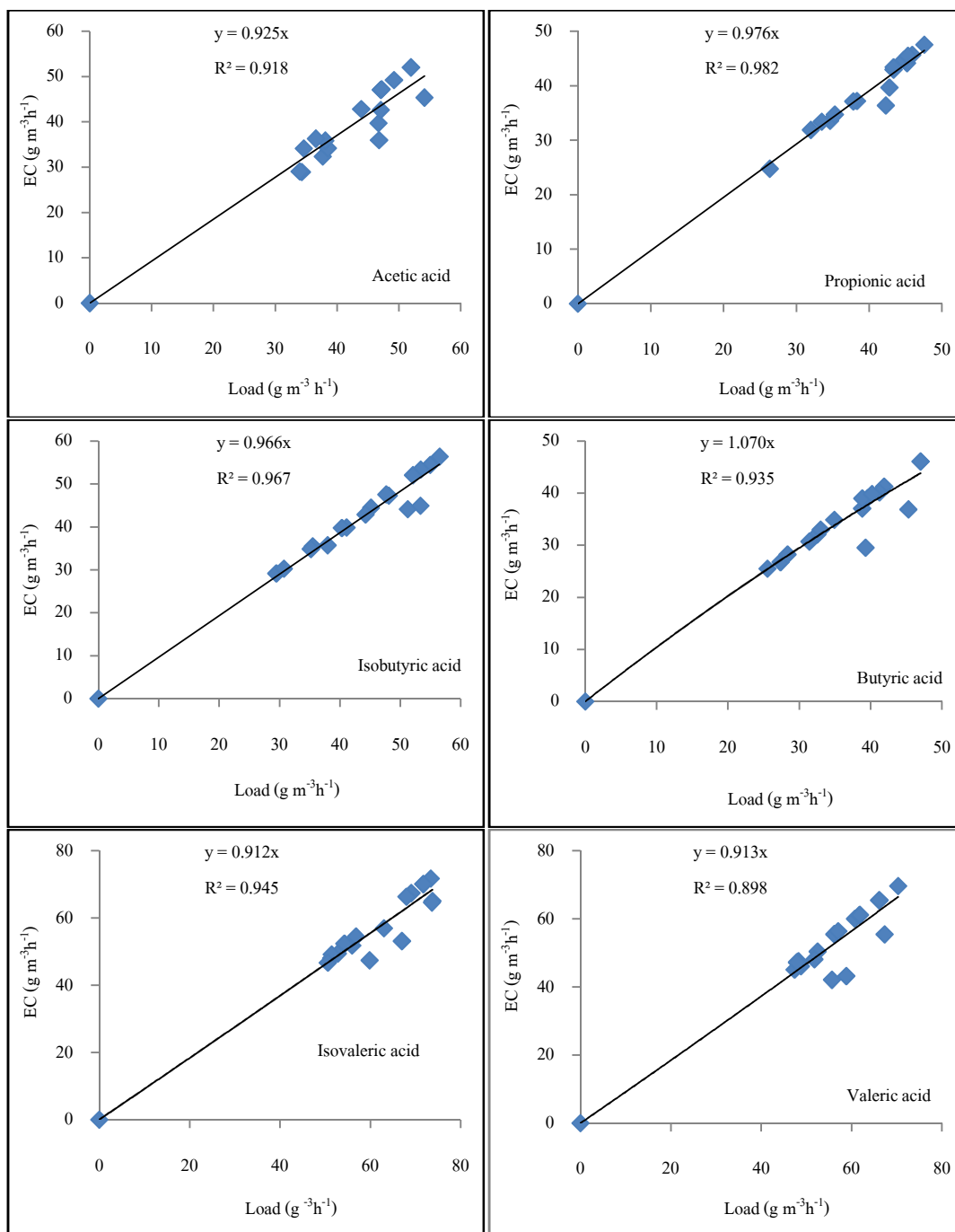
ดังนั้นสรุปได้ว่าเครื่องกรองชีวภาพมีความสามารถบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายได้มีประสิทธิภาพไม่น้อยกว่า 90% แม้ในสภาวะที่สารมลพิษเข้าระบบแบบไม่สม่ำเสมอ ทั้งนี้ต้องดูแลไม่ให้ตัวกลางเกิดการทรุดตัว เพื่อคงประสิทธิภาพของระบบไว้ให้ต่อเนื่องตลอดเวลา

ภาพประกอบ 4-34 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกและความสามารถในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ จะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกและความสามารถในการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพยังคงเป็นเส้นตรงมีความชันใกล้เคียง 1 ซึ่งแสดงว่ามลพิษที่เข้าระบบถูกกำจัดเกือบทั้งหมด แสดงว่า Loading rate ดังกล่าว ยังมีค่าน้อยกว่าความสามารถสูงสุดที่ระบบจะกำจัดได้ (Maximum elimination capacity) และอัตราการบรรทุกของระบบแปรผันตามความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ กล่าวคือถ้ากรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าระบบมีความเข้มข้นสูงก็จะส่งผลให้อัตราภาระบรรทุกของระบบมีค่าสูงขึ้นด้วย

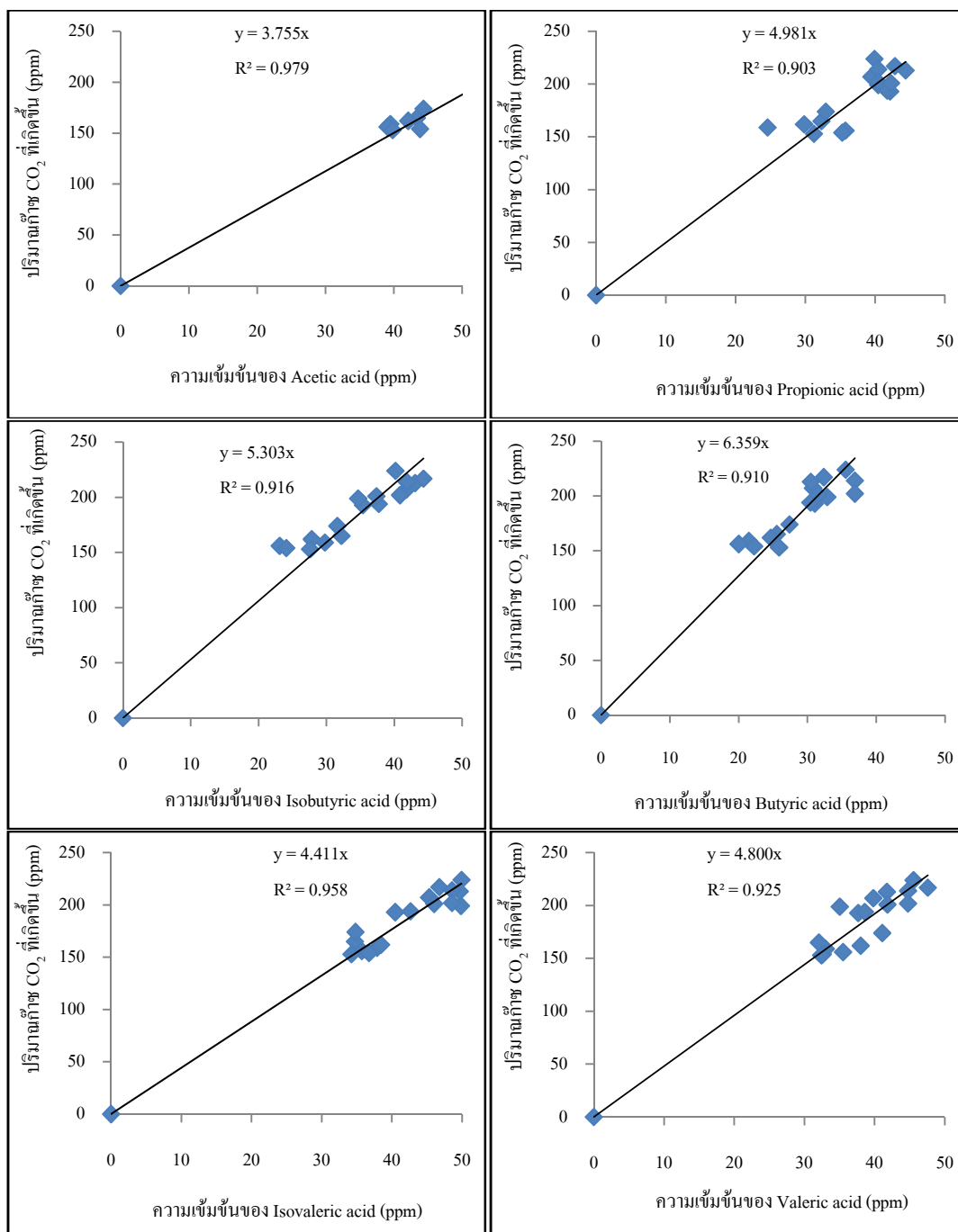
ผลการทดลองภาพประกอบ 4-35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย เข้าเครื่องกรองชีวภาพ พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย มีแนวโน้มเป็นเส้นตรง ความชันคืออัตราส่วนปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นต่อความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย แต่ละชนิดที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพมีค่าคงที่ โดยปริมาณก๊าซ CO₂ ที่ออกจากระบบทุกความเข้มข้นมีค่ามากกว่าปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เข้าระบบ แสดงว่าแสดงว่ามีการย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่ายทางชีวภาพ กรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพมีความเข้มข้นสูงจะส่งผลให้ปริมาณก๊าซ CO₂ สูงขึ้นด้วย ผลที่ได้นี้เป็นที่ยืนยันประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงขึ้นของเครื่องกรองชีวภาพ (Jorio *et al.*, 2000)



ภาพประกอบ 4-33 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการบำบัดและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ



ภาพประกอบ 4-34 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการบำบัดและอัตราภาระบรรทุกกรดไขมันระเหยง่าย



ภาพประกอบ 4-35 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณก๊าซ CO₂ ที่เกิดขึ้นและความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่ายที่เข้าเครื่องกรองชีวภาพ

4.5.3 ค่าความดันลดที่เกิดขึ้น

ค่าความดันลดที่เกิดขึ้นในระบบมีสาเหตุมาจากความชื้นภายในชั้นตัวกลางที่มากเกินไป โดยมีค่าเท่ากับ 4 cmH₂O ความดันลดที่เพิ่มขึ้นนี้ นอกจากจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วของอากาศโดยตรงแล้ว ยังได้รับผลกระทบจากความพรุนของตัวกลางที่ลดลงตามระยะเวลาเนื่องมาจากการที่ตัวกลางถูกกดทับด้วยน้ำหนักของตัวกลางเองและน้ำหนักของละอองน้ำที่ผ่านระบบดูดซึมแบบเปียกก่อนเข้าเครื่องกรองชีวภาพ

4.5.4 ค่าความเป็นกรด-ด่างภายในชั้นตัวกลาง

จากการตรวจวัด pH ของตัวกลาง พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของ pH ค่อนข้างน้อย โดยปกติวัดได้ระหว่าง 6-8 จากการศึกษาข้อมูลการออกแบบเครื่องกรองชีวภาพ พบว่าช่วง pH ดังกล่าว เป็น pH ที่เครื่องกรองชีวภาพ มีแนวโน้มที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

4.5.5 อุณหภูมิภายในชั้นตัวกลาง

ระหว่างดำเนินการทดลอง อุณหภูมิแวดล้อมที่ตรวจวัดได้อยู่ระหว่าง 27-36°C ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศที่ถูกดูดจากเตาอบยางแห้งเพื่อเข้าระบบดูดซึมแบบเปียกและเครื่องกรองชีวภาพตามลำดับ วัดได้ต่างกันเล็กน้อย โดยอยู่ในช่วง 27-32°C ในช่วงอุณหภูมิดังกล่าวนี้ ประสิทธิภาพการบำบัดของระบบยังคงสูงมากกว่า 90% อย่างไรก็ตาม ในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมยางแห้งทั่วไป จะมีระบบดูดซึมแบบเปียก ทำหน้าที่เป็นระบบบำบัดกลิ่น ซึ่งประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายของระบบดูดซึมแบบเปียกของ บริษัทสยามอินโดรับเบอร์ จำกัด จากภาพประกอบ 4-31 อยู่ในช่วง 50-60% ดังนั้นการประยุกต์ใช้เครื่องกรองชีวภาพกับโรงงานอุตสาหกรรมยางแห้ง สามารถช่วยลดกรดไขมันระเหยง่ายที่ออกจากระบบดูดซึมแบบเปียกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้ไม่จำเป็นต้องติดตั้งระบบลดอุณหภูมิอากาศ และระบบเพิ่มความชื้นก่อนเข้าเครื่องกรองชีวภาพ เพราะอากาศที่ออกจากหอดูดซึมอุณหภูมิไม่สูง แต่มีความชื้นสูง ซึ่งเหมาะสมกับระบบบำบัดกลิ่นทางชีวภาพ

4.5.6 ปริมาณจุลินทรีย์

ปริมาณจุลินทรีย์ เป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่ใช้อธิบายถึงสภาวะการทำงานของเครื่องกรองชีวภาพ โดยปริมาณจุลินทรีย์นี้เป็นค่าที่นับได้จากจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ค่าปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 10⁷ ถึง 10⁹ CFU gram⁻¹ (Devinny *et al.*, 1999) จากผลการนับปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนและหลังเดินระบบแสดงดังตารางที่ 4-3 พบว่าก่อนเดินระบบตัวกลางทั้ง 4 ชุด

มีปริมาณจุลินทรีย์ที่เหมาะสมและเมื่อนับปริมาณจุลินทรีย์หลังเดินระบบเป็นระยะเวลา 40 วัน พบว่ามีค่าลดลง สาเหตุอาจเนื่องมาจากจุลินทรีย์ไม่ชอบย่อยสลายกรดไขมันระเหยง่าย ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นไอกรด จึงมีจุลินทรีย์บางส่วนที่ตายไปและมีจุลินทรีย์ส่วนใหญ่ปรับตัวให้เข้ากับระบบ จึงสามารถเจริญเติบโตได้ต่อไป แม้ว่าจำนวนจุลินทรีย์จะลดลง แต่ก็ไม่ได้ส่งผลต่อประสิทธิภาพการบำบัดของเครื่องกรองชีวภาพ ซึ่งปริมาณจุลินทรีย์มากหรือน้อยไม่สำคัญเท่ากับระยะเวลากักเก็บในเครื่องกรองชีวภาพ เพราะระยะเวลากักเก็บเป็นเวลาที่เกิดกลไกในการย่อยสลายสารมลพิษ

ตารางที่ 4-3 ปริมาณจุลินทรีย์ในช่วงก่อนและหลังเดินระบบ

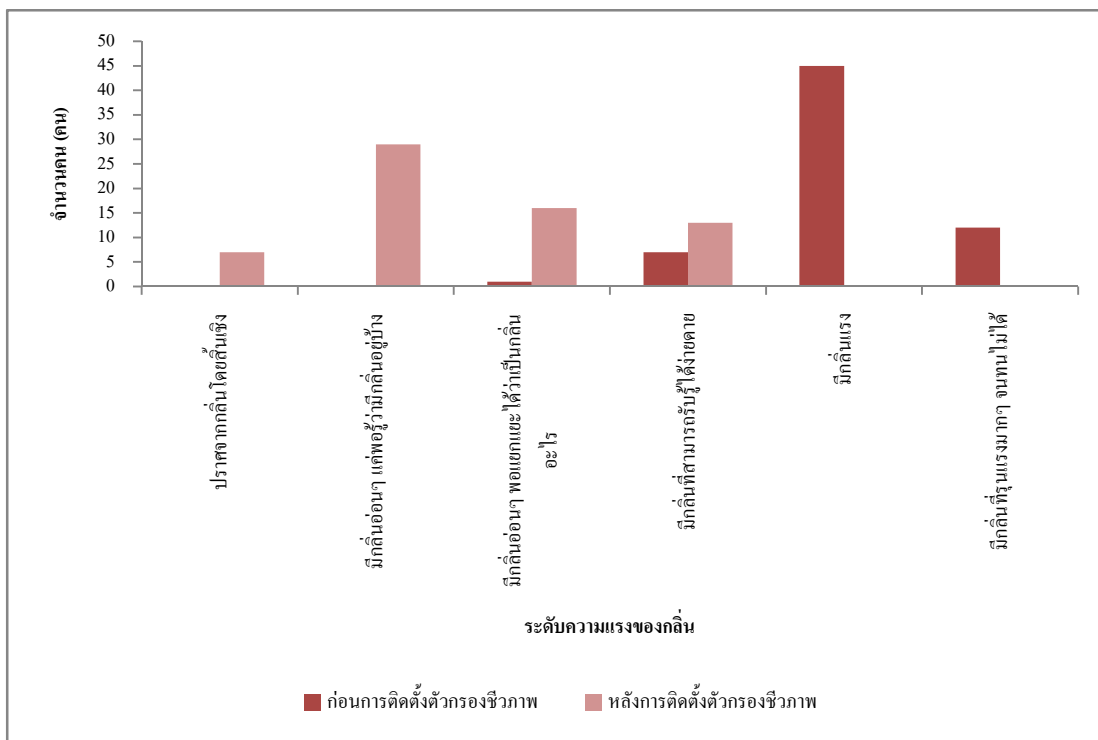
การวิเคราะห์	ปริมาณจุลินทรีย์ (CFU gram ⁻¹)
ก่อนการเดินระบบ	3.1x10 ⁷
หลังเดินระบบ Bench scale ระยะเวลากักเก็บ 30 วินาที	1.2x10 ⁷
หลังเดินระบบ Bench scale ระยะเวลากักเก็บ 60 วินาที	1.4x10 ⁷
หลังเดินระบบ Bench scale ระยะเวลากักเก็บ 90 วินาที	1.4x10 ⁷
หลังเดินระบบขนาดอุตสาหกรรม	1.1x10 ⁷

หมายเหตุ : ส่งวิเคราะห์ที่ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

4.6 การสำรวจและสอบถามความคิดเห็นของพนักงาน บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด ต่อระดับความรุนแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดกลิ่น และมีการบำบัดกลิ่นโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ

ในการสำรวจและสอบถามความคิดเห็นต่อระดับความรุนแรงของกลิ่นกรณีที่ไม่ได้มีการบำบัดและมีการบำบัดโดยใช้ตัวกรองชีวภาพ การศึกษาทำโดยการแจกแบบสอบถามให้กับพนักงาน บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด จำนวน 65 คน โดยแบ่งจำนวนแบบสอบถามที่จะทำ

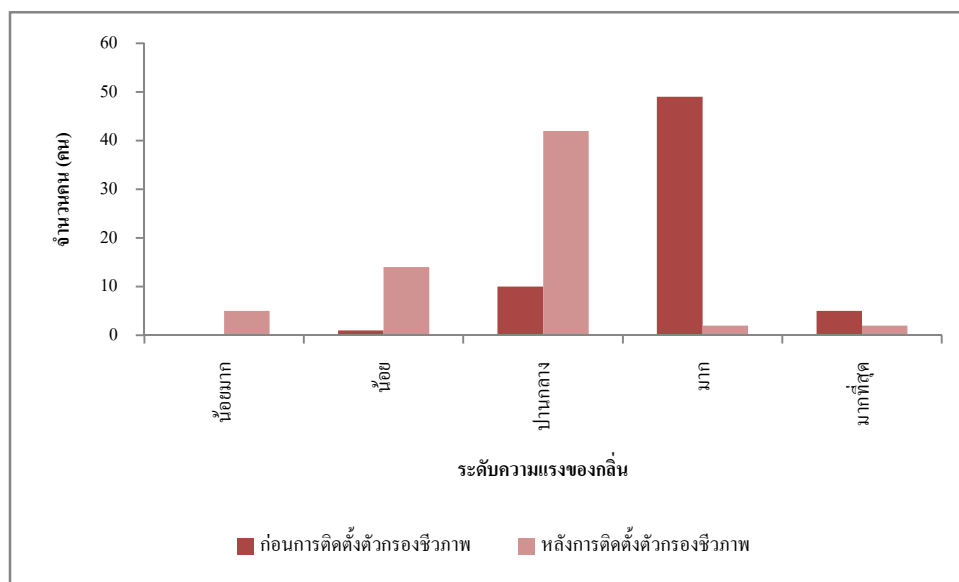
การสำรวจในพื้นที่ปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน เพื่อให้มีการกระจายตัวของข้อมูลตามความหนาแน่นของประชากรที่เป็นจริง ได้ผลการสำรวจดังภาพประกอบ 4-36 ถึงภาพประกอบ 4-38



ภาพประกอบ 4-36 กราฟแสดงความคิดเห็นระดับความแรงของกลิ่นก่อนและหลังการบำบัดโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ

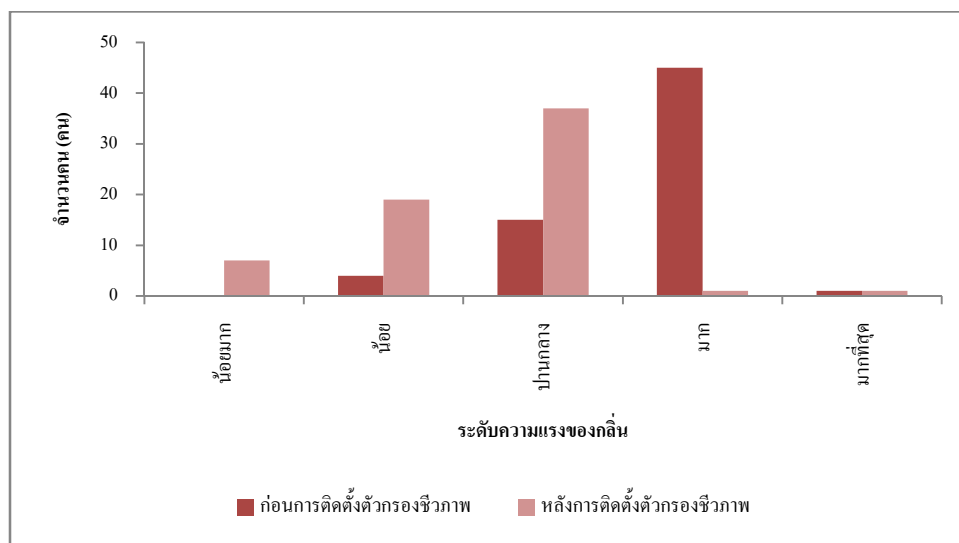
จากภาพประกอบ 4-36 จากการสอบถามความคิดเห็นของพนักงานที่ทำการสำรวจ 65 คน ที่ปฏิบัติงานในพื้นที่ต่างกัน พบว่าความคิดเห็นของพนักงานต่อระดับความแรงของกลิ่นที่ยังไม่ได้บำบัดคือพนักงาน 69.23% ระบุว่ามิกลิ้นแรง 18.46% ระบุว่ามิกลิ้นที่รุนแรงจนทนไม่ได้ 10.77% ระบุว่ามิกลิ้นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย และ 1.54% ระบุว่ามิกลิ้นอ่อนๆ พอแยกแยะได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร โดยไม่ปรากฏความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่มีกลิ่นอ่อนๆ แต่พอรู้ว่ามิกลิ้นอยู่บ้างและปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง แต่หลังจากได้บำบัดกลิ่นด้วยเครื่องกรองชีวภาพ เป็นระยะเวลา 40 วัน พบว่าความคิดเห็นของพนักงานส่วนใหญ่ 44.62% เห็นว่าระดับความแรงของกลิ่นคือ มีกลิ่นอ่อนๆแต่พอรู้ว่ามิกลิ้นอยู่บ้าง พนักงาน 24.62% ระบุว่ามิกลิ้นอ่อนๆ พอแยกแยะได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร 20% ระบุว่ามิกลิ้นสามารถรับรู้ได้ง่ายดาย และพนักงาน 10.77% ระบุ

ว่าปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง โดยไม่ปรากฏความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่มีกลิ่นแรง และมีกลิ่นที่รุนแรงมากจนทนไม่ได้



ภาพประกอบ 4-37 กราฟแสดงความคิดเห็นระดับความแรงของกลิ่นที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน ก่อนและหลังการบำบัดโดยใช้ เครื่องกรองชีวภาพ

ภาพประกอบที่ 4-37 พบว่าก่อนการบำบัดกลิ่น โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ พนักงานของบริษัทมีความคิดเห็นต่อระดับความแรงของกลิ่นที่มีผลต่อชีวิตประจำวันดังนี้ เห็นว่าความแรงของกลิ่นมีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันระดับมาก คิดเป็น 75.38% ปานกลาง 15.38 % มากที่สุด 7.69% และน้อย 1.54% โดยไม่มีความคิดเห็นว่าการความแรงของกลิ่นมีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันในระดับน้อยมาก แสดงว่าความแรงของกลิ่นมีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันของพนักงาน หลังจากติดตั้งเครื่องกรองชีวภาพผ่านไปนาน 40 วันพบว่าความแรงของกลิ่นมีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันระดับปานกลาง คิดเป็น 64.62% น้อย 21.54% น้อยมาก 7.69% มากและมากที่สุด 3.08% จึงสรุปได้ว่าเครื่องกรองชีวภาพสามารถช่วยลดระดับความแรงของกลิ่นที่มีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันของพนักงานของบริษัทได้



ภาพประกอบ 4-38 กราฟแสดงความคิดเห็นระดับความแรงของกลิ่นที่ส่งผลกระทบต่อชีวิตการทำงาน ก่อนและหลังการบำบัดโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ

ภาพประกอบ 4-38 แสดงความคิดเห็นของพนักงานต่อระดับความแรงของกลิ่นที่ส่งผลกระทบต่อการทำงาน พบว่าก่อนการบำบัดกลิ่นโดยใช้เครื่องกรองชีวภาพ ความแรงของกลิ่นมีผลกระทบต่อการทำงานมาก คิดเป็น 69.23% ปานกลาง 23.08% น้อย 6.15% และมากที่สุด 1.54% โดยไม่มีความคิดเห็นต่อความแรงของกลิ่นมีผลกระทบต่อชีวิตการทำงานในระดับน้อยมาก แสดงว่าความแรงของกลิ่นมีผลกระทบต่อชีวิตการทำงานของพนักงาน และหลังจากติดตั้งเครื่องกรองชีวภาพ ผ่านไปนาน 40 วันพบว่าความแรงของกลิ่นมีผลกระทบต่อการทำงานปานกลาง คิดเป็น 56.92% น้อย 29.23% น้อยมาก 10.77% มากและมากที่สุด 1.54%

สรุปได้ว่าการติดตั้งเครื่องกรองชีวภาพ ช่วยลดความแรงของกลิ่นที่มีผลกระทบต่อชีวิตประจำวันและการทำงานในความคิดเห็นของพนักงานส่วนใหญ่ได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ข้อสรุปผลวิจัย

การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมีในก๊าซเสียที่เกิดจากการอบแห้งยางแท่งของโรงงานอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 บริษัท สยามอินโดรับเบอร์ จำกัด โดยทำการวิเคราะห์ด้วย GC พบว่ามีองค์ประกอบของกรดไขมันระเหยง่ายมวลโมเลกุลต่ำ คือ Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid และ Valeric acid

จากการศึกษาหาอัตราส่วนผสมตัวกลางที่เหมาะสมและเวลาพักเก็บ ประสิทธิภาพการบำบัด รวมถึงความสามารถในการบำบัดสูงสุด โดยใช้เครื่องกรองชีวภาพที่มีตัวกลางหลักคือเปลือกมะพร้าว สามารถสรุปได้ดังนี้

อัตราส่วนการผสมเปลือกมะพร้าว:ปุ๋ยคอก:ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75:20:5 โดยปริมาตร เป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยเข้าระบบเท่ากับ 65.79 ppm มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 98.8% Propionic acid ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยเข้าระบบ 64.68 ppm มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 96.31% Isobutyric acid ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยเข้าระบบเท่ากับ 46.48 ppm มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 96.18% Butyric acid ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยเข้าระบบเท่ากับ 39.27 ppm มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 83.49% Isovaleric acid ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยเข้าระบบเท่ากับ 42.69 ppm มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 87.91% และ Valeric acid ที่ความเข้มข้นเฉลี่ยเข้าระบบเท่ากับ 45.36 ppm มีประสิทธิภาพการบำบัดเท่ากับ 91.44% ซึ่งมีค่าความดันสูญเสียประมาณ 3 mmH₂O

เวลาพักเก็บ 30 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 85-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 85-99% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 60-98% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 95-99% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 58-97% และประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 74-99%

เวลากักเก็บ 60 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 94-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 89-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 84-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 95-99% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 74-100% และประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 81-99%

เวลากักเก็บ 90 วินาที ประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 96-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 94-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 90-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 97-100% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 89-100% และประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 91-100%

การเพิ่มเวลากักเก็บจะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะมีเวลาเพียงพอสำหรับการเกิดกลไกต่างๆ

เวลากักเก็บของระบบเพิ่มขึ้นจาก 30, 60 และ 90 วินาที ทำให้ค่าความดันลดของระบบเพิ่มขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 12, 24 และ 35 mmH₂O ตามลำดับ

เมื่อเวลากักเก็บของระบบเพิ่มขึ้นจาก 30, 60 และ 90 วินาที ทำให้การหลุดตัวของตัวกลางของระบบเพิ่มขึ้น โดยเกิดขึ้นเท่ากับ 0.4 cm, 0.5 cm และ 0.7 cm ตามลำดับ

การประยุกต์ใช้เครื่องกรองชีวภาพขนาดโรงงานอุตสาหกรรมแห่ง STR 20 บริษัท สยามอินโดรรับเบอร์ จำกัด พบว่าประสิทธิภาพการบำบัด Acetic acid มีค่าประมาณ 77-98% ประสิทธิภาพการบำบัด Propionic acid มีค่าประมาณ 67-98% ประสิทธิภาพการบำบัด Isobutyric acid มีค่าประมาณ 76-97% ประสิทธิภาพการบำบัด Butyric acid มีค่าประมาณ 69-99% ประสิทธิภาพการบำบัด Isovaleric acid มีค่าประมาณ 77-99% และประสิทธิภาพการบำบัด Valeric acid มีค่าประมาณ 71-99% ความดันลด 40 mm H₂O การหลุดตัวของตัวกลาง 1.50 cm

เปลือกมะพร้าวเป็นวัสดุที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นตัวกลางสำหรับเครื่องกรองชีวภาพในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย ที่เกิดจากระบวนการอบยางแท่ง เนื่องจากมีประสิทธิภาพการบำบัดและมีค่าความสามารถในการกำจัดสูง ขณะที่มีความดันลดและการหลุดตัวต่ำ

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับตัวกรองชีวภาพ
- 2) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการบำบัดกรดไขมันระเหยง่าย
- 3) การประยุกต์ในโรงงานอุตสาหกรรม ควรมีการเพิ่มวัสดุอินทรีย์ เช่น พลาสติก เซรามิกต์ หรือแก้ว เพื่อให้เครื่องกรองชีวภาพมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น
- 4) ควรมีการสำรวจระดับความรุนแรงของกลิ่นจากชุมชนรอบข้างโรงงาน ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องกรองชีวภาพ

เอกสารอ้างอิง

- กรมควบคุมมลพิษ. 2544. รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีการจัดการและควบคุมมลพิษในอากาศ (ระบบกำจัดกลิ่นแบบชีวภาพ)
- ณัฐพล รัตนมุขย์. 2549. การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์โดยเครื่องกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ธีรภัทร์ ตันกุลโรจน์. 2552. การบำบัดกลิ่นในก๊าซเสียที่เกิดจากกระบวนการอบยางแท่งโดยการดูดซับด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และ โมโนเอทานอลเอมีนในคอลัมน์บรรจุ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- สมทิพย์ คำานธีวณีย์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง และสุวลักษณ์ วิสุนทร. 2550. ประเด็นสิ่งแวดล้อมในปัจจุบันของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ในภาคใต้ของไทย. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี: 1-13.
- สมทิพย์ คำานธีวณีย์ ไก่วัส ราญญูร พรทิพย์ ศรีแดง และสุวลักษณ์ วิสุนทร. 2550. สารมลพิษที่สกัดจากยางกันด้วยซึ่งเป็นวัตถุอันตรายในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 พิจารณาจากสวนยางถึงโรงงาน. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี: 14-24.
- สมทิพย์ คำานธีวณีย์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และพิมพ์พิมล เพ็ญจรรย์ส. (2550). การจำแนกสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของกลิ่นเหม็นในอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี: 25- 35.
- สมทิพย์ คำานธีวณีย์ สุนิดา ย่องเหล่ายุ่ง พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และพิมพ์พิมล เพ็ญจรรย์ส. (2550). การตรวจสอบเบื้องต้นของการบำบัดกรดไขมันระเหยในระบบดักจับแบบเปียกของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี: 36-45.

สมทิพย์ ด้านชีวนิย เณิมพงศ์ อินทร์แก้ว พรทิพย์ ศรีแดง สุวลักษณ์ วิสุนทร และพิมพ์พิมล เพ็ญจำรัส.(2550). การบำบัดกรดไขมันระเหยจากก๊าซที่ระบายออกมาจากที่อบยางกันด้วยของอุตสาหกรรมยางแท่ง STR20 ด้วยระบบตัวกรองทางชีวภาพ. โครงการวิจัยปัญหามลพิษสิ่งแวดล้อมและแนวทางการลดปัญหาจากการใช้ยางกันด้วยเพื่อผลิตยางแท่ง คณะเทคโนโลยีและการจัดการ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ เขตการศึกษาสุราษฎร์ธานี: 46-57.

เสาวลักษณ์ ภู่นภาอำพร. 2551. ประสิทธิภาพการกำจัดก๊าซแอมโมเนียโดยเครื่องกรองชีวภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
เอกชัย เลิศผดุงวิทย์. 2547. การกำจัดไซลีนด้วยเครื่องกรองชีวภาพที่ใช้ตัวกลางผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Alexander, M., 1994. Biodegradation and Bioremediation. New York : Academic Press.

Ali, N., Lu, C., Masel, R., 2000. Catalytic oxidation of odorous organic acids. Catalysis Today 62 : 347–353.

Allen, E.R. and Yang, Y., 1991. Biofiltration Control of Odorous Emissions in Wastewater Treatment Plants. Presented at Symposium on Biotechnology for Wastewater Treatment-II, Division of Environmental Chemistry, 201st American Chemical Society National Meeting, Atlanta, GA, April 14-19.

Amann, M., 2001. Emission inventories emission control options and control strategies: An overview of recent developments, Water Air Soil Poll, vol. 130, no. 1, pp. 43–50.

Amirhor, P., Kuter, G.A., Andrade, M.D., 1994. Performance Evaluation of Biofilter at Dartmouth, Mass., Biosolids Composting Facility. Presented at the 67th Annual Conference & Exposition of the Water Environment Federation, Chicago, Illinois, October 15-19.

Andreoni, V., Origgi, G., Colombo, M., Calcaterra, E , Colombi, A., 1997. Characterization of a biofilter treating toluene contaminated air, Biodegradation, vol. 7, pp. 397-404.

Ardjmand, M., Safekordi, A., Farjadfard, S., 2005. Simulation of biofilter used for removal of air contaminants (ethanol). Int. J. Environ. Sci. Tech. Vol. 2, No. 1, pp. 69-82.

Arulneyam, D., Swaminathan, T., 2000. Biodegradation of ethanol vapour in a biofilter, Bioproc Eng, vol. 22, pp. 63-67.

- Baltzis, B. C., Tsangaris, D. M., Wang, K. W., 1996. Utilization of substitutable substrates in a bioreactor under cycling: A study on process dynamics and optimization. *Chem. Eng. Sci.*, 51-15:3801–3811.
- Baquerizo, G., Maestre, J. P., Sakuma, T., Deshusses, M. A., Gamisans, X., Gabriel, D. and Lafuente, J., (2005). A detailed model of biofilter for ammonia: Model parameters analysis and model validation. *Chem. Eng. J.*, 113 (2-3): 205-214.
- Bohn, H., 1992. Consider biofiltration for decontaminating gases, *Chem Eng Prog*, vol.88, pp. 34–40.
- Burgess, J.E., Parsons, S.A., Richard M. Stuetz, R.M., 2001. Developments in odour control and waste gas treatment biotechnology: a review. *Biotechnology Advances* 19 : 35-63.
- Chan, W.C., Lu, M.C., 2005. A New Type Synthetic Filter Material for Biofilter–Preparation and its Characteristic Analysis,”*J Polym Environ*, vol. 13, no.1, pp. 7-17.
- Chan, W.C., and Chang, L.Y., 2006. Effects of Temperature and Inlet Concentration on Acetone Biofiltration in a Composite Bead Biofilter,” *J Polym Environ*, DOI 10.1007/s 10924-006-0046
- Chen, Y.X., Yin, J., Wang, K.W. 2006. Long-term operation of biofilters for biological removal of ammonia. *Journal of chemosphere*. 58 : 1023–1030.
- Chen,J., Wu, C., Wang, J., Ma, J., 2006. Performance evaluation of biofilters packed with carbon foam and lava for nitric oxide removal. *Journal of Hazardous Materials B137* :172–177.
- Cox, H.H.J., Magielsen, F.J., Doddema H.J., Harder, W., 1996. Influence of the water content and water activity on styrene degradation by *Exophiala jeanselmei* in biofilters, *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 45, pp. 851-856.
- Delhoménie, M., Bibeau, L., Bredina, N., Royb, S., Broussaub, S., Brzezinskib, R., Kugelmassc, J.L., Heitza, M., 2002. Biofiltration of air contaminated with toluene on a compost-based bed., *Advances in Environmental Research*.
- Devinny, J.S., Medina, V.F., and Hodge, D.S., 1991. Bench testing of fuel vapor treatment by Biofiltration, National Research and Development Conference on the Control of Hazardous Materials, Hazardous Control Research Institute, Anaheim, California, February 20-22.

- Devinny, J.S., and Hodge, D.S., 1995. Formation of acidic and toxic intermediates in overloaded ethanol biofilter. *Journal of the Air & Waste Management Association* 45(2) : 125-133.
- Devinny, J.S., Deshusses, M.A., Webster, T., 1999. *Biofiltration for air pollution control*, New York: Lewis publishers.
- Devinny, J.S., and Ramesh, J., 2005. A phenomenological review of biofilter models. *Chemical Engineering Journal* 113 :187–196.
- Ergas, S.J., Kinney, K., Fuller, M.E., Scow, K.M., 1994. Characterization of a Compost Biofiltration System Degrading Dichloromethane. *Biotechnology and Bioengineering* 44 (9) : 1048-1054.
- Fehsenfeld, F., Calvert, J., Fall, R., Goldan, P., Guenther, A. B., Hewitt, C.N., Lamb, B., Liu, S., Trainer, M., Westberg, H., Zimmerman, P., 1992. Emissions of volatile organic compounds from vegetation and the implications for atmospheric chemistry, *Global Biogeochem Cy*, vol. 6, no. 4, pp. 389–430.
- Filho, J.L.R.P., Sader, L.T., Damianovic, M.H.R.Z., Foresti, E., Silva, E.L., 2010. Performance evaluation of packing materials in the removal of hydrogen sulphide in gas-phase biofilters: Polyurethane foam, sugarcane bagasse, and coconut fibre. *Chemical Engineering Journal* 158 : 441–450.
- Fouhy, K., 1992. *Cleaning waste gas, naturally*, Chem.Eng, NY.
- Furia, T.E., Bellanca, N., 1975. *Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients*, Second Edition, Vol. 2, CRC Press, Cleveland, OH, USA.
- Gabriel, D., Maestre, J.P., Marti'n, L., Gamisans, X., Lafuente, J., 2007. Characterisation and performance of coconut fibre as packing material in the removal of ammonia in gas-phase biofilters. *Bio Systems Engineering* 97 :481 – 490.
- Grady, C. P., Daigger, G. T., and Lim, H. C. 1999. *Biological Wastewater Treatment*. New York :Marcel Dekker
- Hasma, H., Othman, A.B., 1990. Role of non-rubber constituents on thermal oxidative ageing of natural rubber. *J. Nat. Rubb. Res*, 5(1): 1-8.
- Hesketh, H. E., and Cross, F. L. 1989. *Odor control Including Hazardous Toxic Odors*. Technomic Publishing Co., Inc., USA.

- Iranpour, R., Cox, H. H. J., Deshusses, M. A., Schroeder, E. D., 2005. Literature review of air pollution control biofilters and biotrickling filters for odor and volatile organic compound removal, *Environ Prog*, vol. 24, no.3, pp. 254–267.
- Jang, J.H., Hirai, M., Shoda, M., 2004. Styrene degradation by *Pseudomonas* sp. SR-5 in biofilters with organic and inorganic packing materials, *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 65, pp. 349–355.
- Jorio, H., Bibeau, L, Viel, G., and Heitz, M. 2000. Effects of Gas Flow Rate and Inlet Concentration on Xylene Vapors Biofiltration Performance. *Chemical Engineering Journal* 76 : 209-221.
- Kapse, V., Mathur, A.K., Majumder, C.B., 2004. Studies on the biodegradability of BTX compounds in the compost bed biofilter. In J. S. Devinny, editor, in *Proceedings of the 2004 USC-CRC-TRG Conference on Biofiltration*, USC-CSC, Redondo Beach, California.
- Kibazohi, O., Yun, S-Il., Anderson, W.A., 2004. Removal of hexane in biofilters packed with perlite and a peat–perlite mixture, *World J Microbiol Biotechnol*, vol. 20, pp. 337-343.
- Langolf, B.M., Kleinheinz, G.T., 2006. A lava rock-based biofilter for the treatment of alpha-pinene. *Bioresource Technology* 97, 1951–1958.
- Leson, G., Winer, A.M., 1991. Biofiltration: an innovative air pollution control technology for VOC emissions, *J Air & Waste Manag Assoc*, vol. 41, no. 8, pp. 1045–1052.
- Leson, M. C., and Winer, A. M. 1999. Biofiltration an innovation air pollution control technology for VOC emission. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 4 : 1045–1054.
- Li, G. W., Hu, H. Y., Hao J. M., Fujie, K., 2002. Use of biological activated carbon filter to treat mixed gas of toluene and benzene in biofilter, *Environ Technol*, vol. 23, pp. 467–477.
- Lim, K.H., 2003. Biofilter Modeling for Waste Air Treatment: Comparisons of Inherent Characteristics of Biofilter Models. *Korean J. Chem. Eng.*, 20(2), 315-327.
- Liu, Y.L., Quan, X., Zhao, Y., Chen, S., Zhao, H., 2005. Removal of ternary VOCs in air streams at high loads using a compost-based biofilter. *Biochemical Engineering Journal* Volume 23, Issue 1, March 2005, Pages 85-95.

- Lopez, G., Flores, I., Galvez, A., Quirasco, M., and Farres, A., 2003. Development of a liquid nutritional supplement using a *Sesamum indicum* L. Protein isolate. *Lebensm.-Wiss.-Technol.*, 36: 67-74.
- Mallakin, A., Ward, O.P., 1996. "Degradation of BTEX compounds in liquid media and in peat biofilters," *J Indus Microbiol*, vol. 16, pp. 309-318.
- McCabe, W. and Smith, C. 1967. *Unit operations of Chemical Engineering*. New York: McGraw Hill,
- Mohseni, M., Allen, D.G., 2000. Biofiltration of mixtures of hydrophilic and hydrophobic volatile organic compounds, *Chem Eng Sci*, vol. 55, pp. 1545-1558.
- Oh, Y.S., Bartha, R., 1997. Removal of nitrobenzene vapors by a trickling air biofilter, *J Indus Microbiol Biotechnol*, vol. 18, pp. 293-296.
- Ortiz, I., Revah, S., Uria, R., 2003. Effects of packing material on the biofiltration of benzene, toluene and xylene vapours, *Environ Technol*, vol. 24, pp. 265-275.
- Otten, L., Afzala, M.T., Mainvilleb, D.M., 2002. Biofiltration of odours: laboratory studies using butyric acid. *Advances in Environmental Research* 8 : 397-409.
- Ottengraf, S.P.P., 1984. Exhaust gas purification. In: Rehm, H.J., Reed, G.(Eds.), *Biotechnology*, Vol. 8. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, Germany, pp. 426-452.
- Ottengraf, S.P.P., van Den Oever, A.H.C., 1993. Kinetics of organic compound removal from waste gases with a biological filter. *Biotechnol. Bioeng.* 25, 3089-3102.
- Pomeroy, R.D., 1957. De-odorizing of gas streams by the use of microbial growths. U.S. Patent 2,793,096.
- Prado, Ó.J., Mendoza, J.A., Veiga, M.C., Kennes, C., 2002. Optimization of nutrient supply in a downflow gas-phase biofilter packed with an inert carrier, *Apply Microbiol Biotechnol*, vol, 59, pp.567-573.
- Quinlan, C., Strevett, K., Ketcham, M., Grego, J., 1999. VOC Elimination in a Compost Biofilter Using a Previously Acclimated Bacterial Inoculum. *J. Air & Waste Manage.Assoc.* 49 : 544-553.
- Ryu, H.W., Cho, K., Chung, D.J., 2010. Relationships between biomass, pressure drop, and performance in a polyurethane biofilter. *Bioresource Technology* 101 1745-1751.

- Sáenz, D., Segura, P.B., Barajas, C., Pena, E.I., 2008. H₂S and volatile fatty acids elimination by biofiltration: Clean-up process for biogas potential use. *Journal of Hazardous Materials* 163 1272–1281.
- Schelle, K.B., Brown, C.A., 2002. *Air Pollution Control Technology Handbook*. New York: CRC Press.
- Schlegelmilch, M., Streese, J., Stegmann, R., 2005. Odour management and treatment technologies: An overview. *Waste Management* 25 : 928–939.
- Schroeder, E. D., 2002. Trends in application of gasphase bioreactors, *Rev Environ Sci Biotechnol*, vol. 1, no. 1, pp. 65–74.
- Sheridan, B.A., Curran, T.P., Dodd, V.A., 2003. Biofiltration of n-butyric acid for the control of odour. *Bioresource Technology* 89 : 199–205.
- Sigma-Aldrich Catalog of Flavorrs&Fragrances, Domestic Edition, 2003-2004, Milwaukee, WI, USA.
- Singh, K., Singh, R.S., Rai, B.N., Upadhyay ,S.N., 2010. Biofiltration of toluene using wood charcoal as the biofilter media, *Bioresource Technology* 101 : 3947–3951.
- Smet, E., Van Langenhove, H., Verstraete, W., 1996., Long-term stability of a biofilter treating dimethyl sulphide, *Appl Microbiol Biotechnol*, vol. 46, pp. 191-196.
- Syu, M.J., Wang, Y.W., 1999. Immobilization materials mixed with activated sludge as column biofilters for the treatment of gaseous stream containing benzene and toluene, *Bioproc Eng*, vol. 21, pp. 239-244.
- Swanson, W.J., Loehr, R.C., 1997. Biofiltration: fundamentals, design and operations principles, and applications, *J Environ Eng*, vol. 123, pp. 538–546.
- Tezuka, Y., Ishii, N., Kasuya, K., Mitomo, H., 2004. Degradation of poly (ethylene succinate) by mesophilic bacteria., *Polymer Degradation and Stability* 84 115–121.
- Tsang, Y.F., Chua, H., Sin, S.N., Chan, S.Y., 2007. Treatment of odorous volatile fatty acids using a biotrickling Wlter. *Bioresource Technology* 99 : 589–595.
- Wani, A. H., Branion, R. M. R., Lau, A. K., 1997. Biofiltration: a promising and costeffective control technology for odors, VOCs and air toxics, *J Environ Sci Health*, vol. A32, pp. 2027–2055.

- Wheaton, F.W., Hochheimer, J.N., Kaiser, G.E., Krones, M.J., Libey, G.S., Easter, C.C., 1994. Nitrification filter principles. In: Timmons, M.B., Losordo, T.M. (Eds.), *Aquaculture Water Reuse Systems: Engineering Design and Management*. Elsevier, Amsterdam, p. 101.
- Woertz, J.R., Kinney, K.A., Kraakman, N.J.R., van Heiningen, W.N.M., van Eckert, M.H.A., van Groenestijn, J.W. 2002. Mite growth on fungus under various environmental conditions and its potential application to biofilters, *Exp Appl Acarol*, vol. 27, pp. 265–276.
- Wolstenholme, P., Finger, R., 1994. Long-term Odor and VOC Performance Tests on Biofilters Presented at the 67th Annual Conference & Exposition of the Waster Environment Federation, Chicago, Illinois, October 15-19.
- Williams, T. O., Miller, F.C., 1992. Biofilters and facility operations : Part II. *Biocycle* 33 (11) : 75-79.
- Yang, C., Chen, H., Zeng, G., Yu, G., Liu, X., Zhang, X., 2008. Modeling variations of medium porosity in rotating drum biofilter, *Chemosphere* 74 : 245–249.
- Yun, S.-I., Ohta, Y., 2004. Removal of volatile fatty acids with immobilized *Rhodococcus* sp. B261. *Bioresource Technology* 96 : 41–46.
- Zicari, S.T., 2003. Removal of Hydrogen Sulfide from Biogas Uding Cow-manure Compost. A Thesis Presented to the Faculty of the Graduate School of Cornell University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุตัวกลาง

ขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติตัวกลาง

1. การหาค่าความพรุนของตัวกลาง (ATSM C373-88)

- 1) ใส่ตัวอย่างลงในกระบอกตวงจนเกือบเต็ม กระแทกกันกระบอกตวงบนแผ่นยางจนกระทั่งระดับในกระบอกตวงคงที่ ถ้าระดับที่คงที่ไม่เท่ากับปริมาตรที่ต้องการให้ตักตัวอย่างเข้าหรือออกจากกระบอกตวงแล้ว กระแทกกันกระบอกตวงใหม่ จนกว่าจะให้ระดับที่คงที่ตรงกับปริมาตรที่ต้องการ
- 2) บันทึกน้ำหนักของตัวอย่างพร้อมกระบอกตวงเป็น X_1
- 3) เติมน้ำลงในกระบอกตวงเพื่อให้ น้ำเข้าไปแทนที่ช่องว่างภายในตัวกลาง โดยการกระแทกกันกระบอกตวง
- 4) เมื่อน้ำลงไปแทนที่ช่องว่างจนถึงปริมาตรที่ต้องการ แล้วนำไปชั่งน้ำหนักเป็น X_2

$$\text{ความพรุน (\%)} = (X_2 - X_1) / (\text{ความหนาแน่นของน้ำ/ปริมาตรของตัวกลาง})$$

2. วิธีการปรับความชื้นของตัวกลางเป็น 60%

ตัวอย่างคำนวณ เช่น แกลบหนัก 220.88 กรัมมีความชื้น 27.34%

$$\text{ค่าร้อยละความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} - \text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}) \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก}}$$

$$\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง} = \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างเปียก} \times (1 - \text{ค่าร้อยละความชื้นของตัวอย่าง})}{100}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{220.88 (1 - 27.34)}{100} \\ &= 160.49 \text{ กรัม} \end{aligned}$$

น้ำหนักรจริง

ดังนั้นแกลบที่มีน้ำหนักแห้ง 160.49 กรัมถ้าต้องการความชื้นที่ 60% จึงควรมี

$$= \frac{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}}{(1 - \text{ค่าร้อยละความชื้นในตัวอย่าง})}$$

100


$$= \frac{160.49}{(1 - 60/100)}$$

$$= 401.22 \text{ กรัม}$$

ต้องเติมน้ำเพิ่ม $401.22 - 220.88 = 180.34$ กรัมจึงจะทำให้แกลบที่เดิมมี

ความชื้น 27.34% กลายเป็นแกลบที่มีความชื้น 60 %

3. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของเปลือกมะพร้าว



หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่
ตู้ ปณ.3 ดอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112.
โทรศัพท์ (074) 288058-9 โทรสาร (074) 558850
<http://ced.sci.psu.ac.th>


หน้า 4 / 4

รายงานผลวิเคราะห์/ทดสอบ

หมายเลขรายงานผล	:	0154/54
ชื่อผู้ส่งตัวอย่าง	:	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
ที่อยู่	:	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้วิเคราะห์/ทดสอบ	:	นายบุญสิทธิ์ วัฒนไทย
ประเภทตัวอย่าง	:	กากมะพร้าว จำนวน 1 ตัวอย่าง
ชื่อตัวอย่าง	:	กากมะพร้าว
รายละเอียดตัวอย่าง	:	บรรจุในถุงพลาสติก
เลขที่ใบส่งตัวอย่าง	:	540145
รหัสปฏิบัติการ	:	54-0605
วันที่รับตัวอย่าง	:	2 พฤศจิกายน 2553
วันที่วิเคราะห์/ทดสอบ	:	8 พฤศจิกายน 2553 - 12 พฤศจิกายน 2553

รายการวิเคราะห์	วิธีทดสอบ	หน่วย	ปริมาณ
ความหนาแน่น	-	g/cm ³	0.0717
ความชื้น	Dried at 103-105 °C	% w/w	30.21


หมายเหตุ - รับรองผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น
- รายงานผลการวิเคราะห์/ทดสอบ ต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งหมด โดยไม่ได้รับความยินยอม
เป็นลายลักษณ์อักษรจากหน่วยเครื่องมือกลาง



(นายบุญสิทธิ์ วัฒนไทย) (นางสาวมุสตี มุหะหมัด)
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ 8 หัวหน้าหน่วยเครื่องมือกลาง
15 พฤศจิกายน 2553

F-5.10-1
(11/01/53)

4. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของปุ๋ยคอก



**หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่**
ตู้ ปณ.3 ดอหงส์ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112.
โทรศัพท์ (074) 288058-9 โทรสาร (074) 558850
<http://ced.sci.psu.ac.th>


หน้า 1 / 4

รายงานผลวิเคราะห์/ทดสอบ

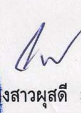
หมายเลขรายงานผล	:	0154/54
ชื่อผู้ส่งตัวอย่าง	:	ภาคิณีวิศวกรรมเคมี
ที่อยู่	:	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้วิเคราะห์/ทดสอบ	:	นายบุญสิทธิ์ วัฒนไทย
ประเภทตัวอย่าง	:	ซีวีวี จำนวน 1 ตัวอย่าง
ชื่อตัวอย่าง	:	ซีวีวี
รายละเอียดตัวอย่าง	:	บรรจุในถุงพลาสติก
เลขที่ใบส่งตัวอย่าง	:	540145
รหัสปฏิบัติการ	:	54-0602
วันที่รับตัวอย่าง	:	2 พฤศจิกายน 2553
วันที่วิเคราะห์/ทดสอบ	:	8 พฤศจิกายน 2553 - 12 พฤศจิกายน 2553

รายการวิเคราะห์	วิธีทดสอบ	หน่วย	ปริมาณ
ความหนาแน่น	-	g/cm ³	0.4382
ความชื้น	Dried at 103-105 °C	% w/w	47.59
N	Photometric Method	% w/w	1.06
P ₂ O ₅	Photometric Method	% w/w	0.21
K ₂ O	ICP-OES	% w/w	0.14
Fe	ICP-OES	% w/w	0.03


หมายเหตุ - รับรองผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น
- รายงานผลการวิเคราะห์/ทดสอบ ต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งหมด โดยไม่ได้รับความยินยอม
เป็นลายลักษณ์อักษรจากหน่วยเครื่องมือกลาง



(นายบุญสิทธิ์ วัฒนไทย)
นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ 8
15 พฤศจิกายน 2553



(นางสาวมุสตี มุหะหมัด)
หัวหน้าหน่วยเครื่องมือกลาง



F-5.10-1
(11/01/53)

5. ผลการวิเคราะห์คุณสมบัติของตะกอนน้ำเสีย



**หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่**
 ตู้ ปณ.3 ดอทองสี่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90112.
 โทรศัพท์ (074) 288058-9 โทรสาร (074) 558850
<http://ced.sci.psu.ac.th>


หน้า 2 / 4

รายงานผลวิเคราะห์/ทดสอบ

หมายเลขรายงานผล	:	0154/54
ชื่อผู้ส่งตัวอย่าง	:	ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
ที่อยู่	:	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ผู้วิเคราะห์/ทดสอบ	:	นายบุญสิทธิ์ วัฒนไทย
ประเภทตัวอย่าง	:	ตะกอนน้ำเสีย จำนวน 1 ตัวอย่าง
ชื่อตัวอย่าง	:	ตะกอนน้ำเสีย
รายละเอียดตัวอย่าง	:	บรรจุในถุงพลาสติก
เลขที่ใบส่งตัวอย่าง	:	540145
รหัสปฏิบัติการ	:	54-0603
วันที่รับตัวอย่าง	:	2 พฤศจิกายน 2553
วันที่วิเคราะห์/ทดสอบ	:	8 พฤศจิกายน 2553 - 12 พฤศจิกายน 2553

รายการวิเคราะห์	วิธีทดสอบ	หน่วย	ปริมาณ
ความหนาแน่น	-	g/cm ³	0.5793
ความชื้น	Dried at 103-105 °C	% w/w	42.38

หมายเหตุ - รับรองผลเฉพาะกับตัวอย่างที่นำมาทดสอบเท่านั้น
 - รายงานผลการวิเคราะห์/ทดสอบ ต้องไม่ถูกทำสำเนาเฉพาะเพียงบางส่วน ยกเว้นทำทั้งหมด โดยไม่ได้รับความยินยอม
 เป็นลายลักษณ์อักษรจากหน่วยเครื่องมือกลาง




(นายบุญสิทธิ์ วัฒนไทย) (นางสาวสุสดี มุหะหมัด)
 นักวิทยาศาสตร์ชำนาญการ 8 หัวหน้าหน่วยเครื่องมือกลาง
 15 พฤศจิกายน 2553

F-5.10-1
(11/01/53)

6. ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ของตะกอนน้ำเสีย



Department of Microbiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University

Hat Yai, Songkhla 90112, THAILAND. Tel. 074-288342 Fax. 074-288342, 446661

Microbiological examination of organisms

Report no.3/2011O

17 March, 2011

Product : ตะกอนน้ำเสีย

Sampling : ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มอ. หาดใหญ่ จ. สงขลา

Techniques : Microbial count was performed using Standard Plate Count method (FDA,2001)

No.	Lab code.	ชื่อตัวอย่าง	Total bacterial Count. (cfu/gm)
1.	54-005O	ตะกอนน้ำเสีย	3.7×10^6

Received date 14-03-2554

Testing date 15-03-2554

Test conducted by:

Lumdoun Chitmanee


(Mrs. Lumdoun Chitmanee)

Test approved by:

Duangporn Kantachote

(Assoc. Prof. Dr. Duangporn Kantachote)

7. ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ก่อนและหลังเดินระบบ



Department of Microbiology, Faculty of Science, Prince of Songkla University
Hat Yai, Songkhla 90112, THAILAND. Tel. 074-288342 Fax. 074-288342, 446661

Microbiological examination of organisms

Report no.7/2011O
12 October, 2011

Product : วัสดุผสม

Sampling : นางสาวปราณี ชูขะปะ โศภาควิทยาวิศวกรรมเคมี มอ. หาดใหญ่ จ. สงขลา

Techniques : Microbial count were performed using Standard Plate Count method (FDA,2001)

No.	Lab code.	ชื่อตัวอย่าง	Total bacterial Count. (cfu/gm)
1.	54-031O	วัสดุผสม No.1	1.2×10^7
2.	54-032O	วัสดุผสม No.2	1.4×10^7
3.	54-033O	วัสดุผสม No.3	1.4×10^7
4.	54-034O	วัสดุผสมก่อนแพ็คคอสมัน	3.1×10^7

Received date 07-10-2554 Testing date 10-10-2554

Test conducted by: *Lumdoun Chitmanee*
(Mrs. Lumdoun Chitmanee)

Test approved by: *Duangporn Kantachote*
(Assoc. Prof. Dr. Duangporn Kantachote)

Report no.7/2011Page1/1

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างรายการคำนวณที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

รายการคำนวณ

แบบจำลองระดับห้องปฏิบัติการ

$$\begin{aligned} \text{เส้นผ่านศูนย์กลาง (d)} &= 0.05 \text{ m} \\ \text{ความสูงของตัวกลาง (h)} &= 1 \text{ m} \\ \text{ปริมาตรของตัวกลาง} &= (\pi d^2/4) \cdot h \\ &= 0.00166 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

อัตราภาระบรรทุก (Mass loading) ของระบบ

เช่น ความเข้มข้นของ Acetic acid ที่ระบบ = 911.09 ppm

แปลงหน่วยความเข้มข้น ppm ให้อยู่ในรูป g/m^3 (air) โดยใช้สมการ

$$\text{g/m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{molecular weight (g/mol)}}{0.0821 \times 303 \times 1000}$$

$$\text{มวลโมเลกุลของ Acetic acid} = 60.05 \text{ g/mol}$$

$$\text{ดังนั้น Mass concentration ของ Acetic acid} = 2.199 \text{ g/m}^3 \text{ (air)}$$

คำนวณหาเวลากักเก็บ (EBRT) ตามขนาดของ Biofilter ที่เลือกใช้

$$\begin{aligned} \text{EBRT} &= \text{Media volume} / Q_{\text{air}} \\ &= [0.00166 \text{ m}^3 / 0.0001333 \text{ (m}^3/\text{s)}] \\ &= 12 \text{ s} \end{aligned}$$

คำนวณหาอัตราภาระบรรทุกของระบบจากสมการ

$$\text{Mass loading (volumetric)} = \frac{\text{Mass concentration (g/m}^3) \times 3,600}{\text{EBRT (sec)}}$$

(sec/hr)

EBRT (sec)

$$\text{Acetic acid mass loading ของระบบ} = 52.35 \text{ g./m}^3\text{-hr}$$

การคำนวณประสิทธิภาพการกำจัด (Removal Efficiency; RE)

$$\text{RE} = \frac{C_{\text{in}} - C_{\text{out}}}{C_{\text{in}}} \times 100$$

เช่น ความเข้มข้นของ Acetic acid ที่ออกจากระบบ = 148.6 ppm

$$RE = [(911.09-148.6)/911.09] \times 100$$

$$= 83.69 \%$$

การคำนวณหาความสามารถในการกำจัดสารมลพิษ (Elimination Capacity ;EC)

$$EC = \text{Mass Loading} \times RE$$

$$= 52.35 \times 0.8369$$

$$= 43.81 \text{ g.(Acetic acid)/m}^3\text{-hr}$$

ภาคผนวก ค

รายละเอียดวิธีการการวิเคราะห์กรดไขมันระเหยง่าย

1. การทำ Calibration curve ของกรดไขมันระเหยง่าย

สารละลายมาตรฐานกรดไขมันระเหยง่าย ประกอบด้วย Acetic acid, Propionic acid, Isobutyric acid, Butyric acid, Isovaleric acid, Valeric acid 0.1 weight percent of each VFA in water

วิธีการทำ Calibration curve จะใช้วิธี Internal standardization ซึ่งทำการเตรียมสารมาตรฐาน กรดไขมันระเหยง่าย ใน Ethyl acetate และ Ethanol ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยมี 0.05% Acetone in water เป็น Internal standard

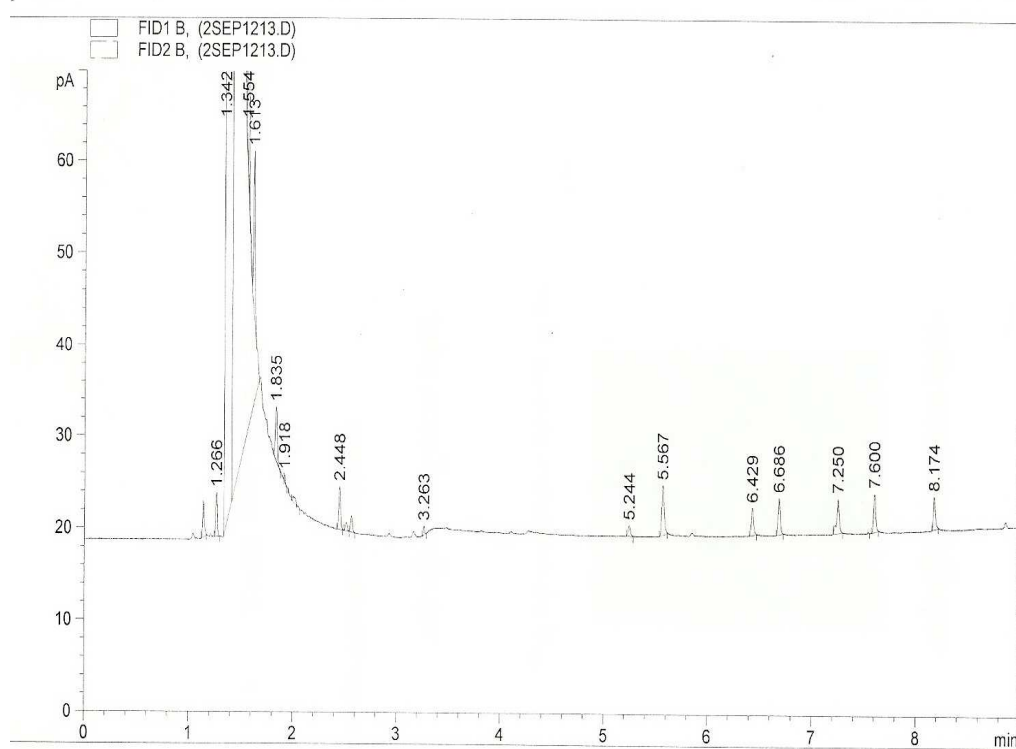
- 1) เตรียมสารละลายกรดไขมันระเหยง่าย ที่ความเข้มข้นต่างๆกัน โดยให้ครอบคลุมช่วงความเข้มข้นที่ต้องการใช้ ในการทดลองครั้งนี้จะใช้ช่วงความเข้มข้นที่ 10-100 ppm
- 2) ทำการเตรียม 0.05% Acetone in water ซึ่งเป็น Internal standard เพื่อนำมาใช้ในการผสมกับกรดไขมันระเหยง่าย ที่ได้เตรียมไว้ ก่อนหน้านี้
- 3) นำสารละลายมาตรฐานผสมทั้ง 6 ชนิด ไปหากราฟมาตรฐาน (Standard solution curve) ดังแสดงในภาพประกอบภาคผนวก ค-1 ถึง ภาพประกอบภาคผนวก ค-4 เพื่อใช้เปรียบเทียบหาความเข้มข้นของกรดไขมันระเหยง่าย แต่ละชนิดในตัวอย่างที่นำไปวิเคราะห์

สภาวะดำเนินการของ GC ได้แก่

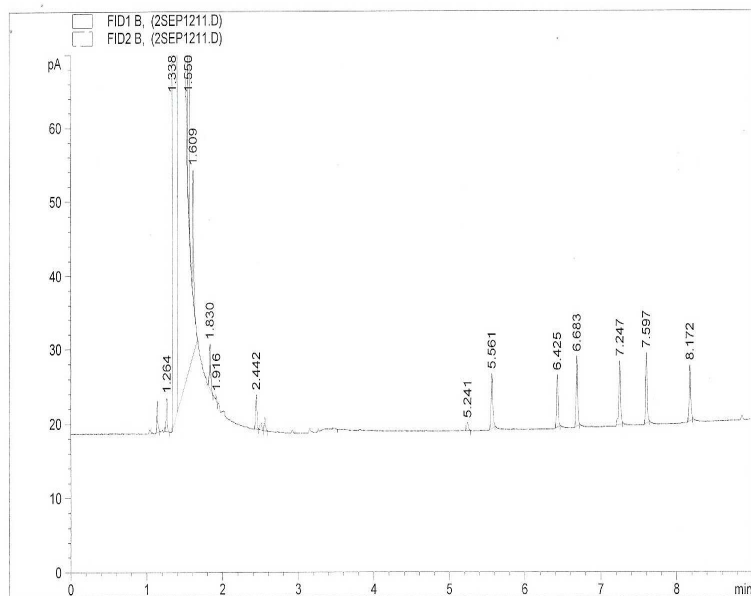
Inlet Temperature	: 260 °C
Oven Temperature	: 80 °C (1 min), 120 °C (10 °C /min), 240 °C (15 °C /min), 240 °C (2 min)
Detector Temperature	: 260 °C
Column	: HP-FFAP, 25 m, 0.32 mm, 0.5 um
Carrier Gas Flow	: Helium @ 10.8 psi (42 cm/s), Constant Flow
Split Ratio	: 20/1
Inject Sample	: 1 µl

กราฟมาตรฐานที่ได้จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของสารละลาย VFA ต่อ Internal standard

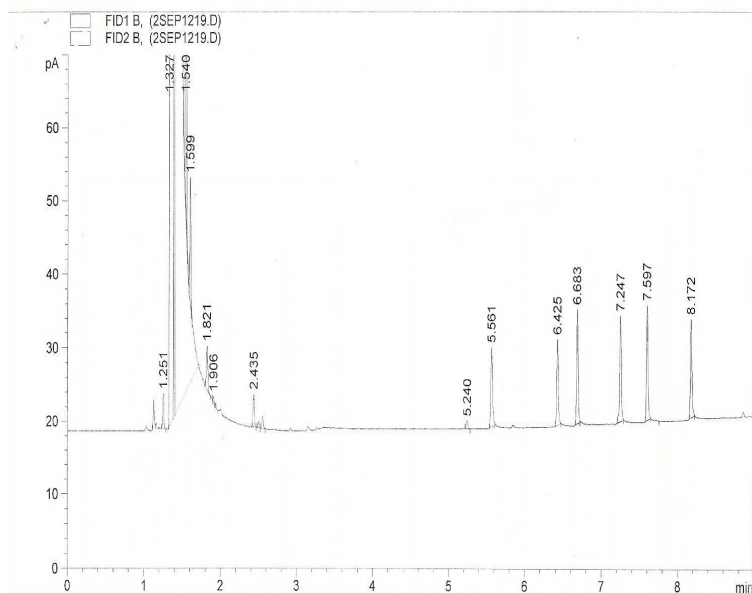
1.263	Acetone	6.663	Isobutyric acid
1.338	Ethyl acetate	7.247	Butyric acid
1.413	Ethanol	7.597	Isovaleric acid
5.560	Acetic acid	8.171	Valeric acid
6.424	Propionic acid		



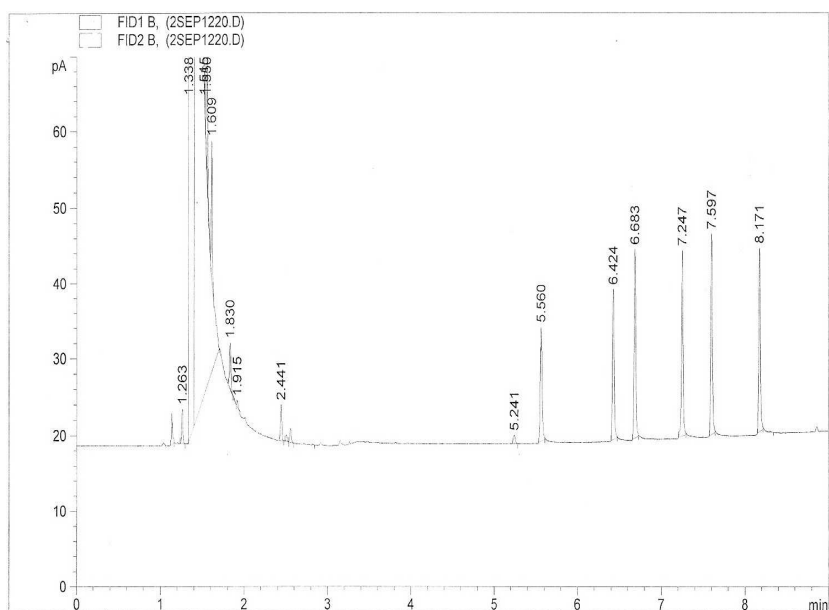
ภาพประกอบภาคผนวก ค-1 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นกรดไขมัน
ระเหยง่าย 15.17 mg/l



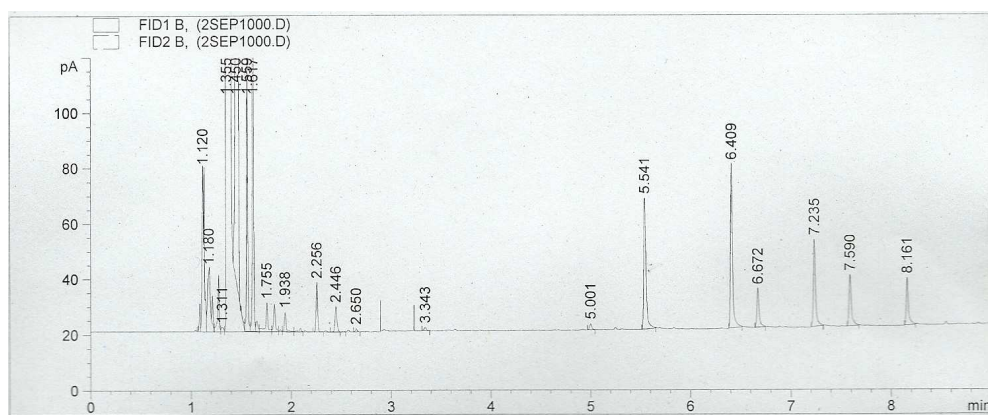
ภาพประกอบภาคผนวก ค-2 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นกรดไขมัน
ระเหยง่าย 38.01 mg/l



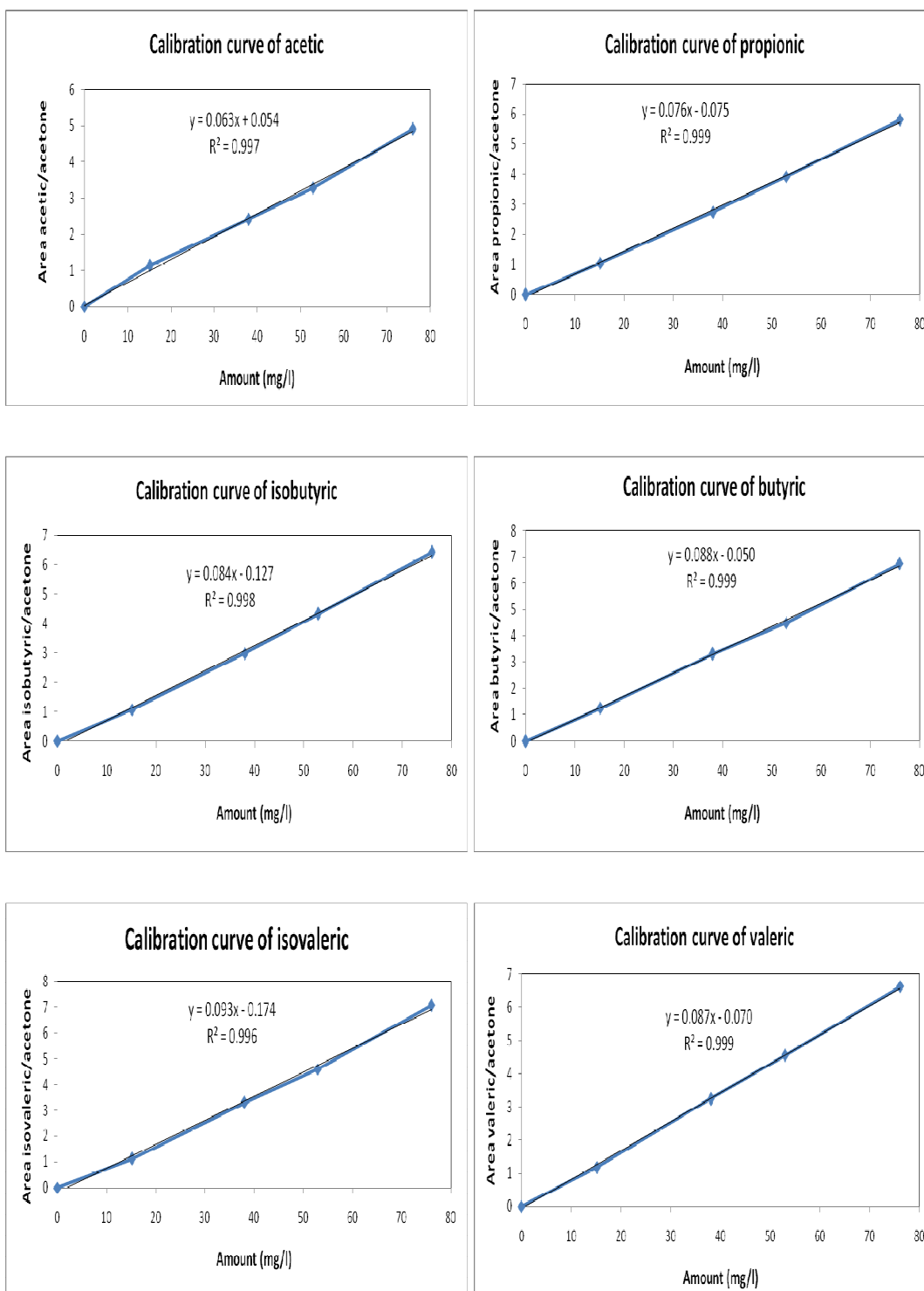
ภาพประกอบภาคผนวก ค-3 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นกรดไขมัน
ระเหยง่าย 52.93 mg/l



ภาพประกอบภาคผนวก ค-4 แสดงผลการวิเคราะห์สารละลายมาตรฐาน ที่ความเข้มข้นกรดไขมัน
ระเหยง่าย 76.02 mg/l



ภาพประกอบภาคผนวก ค-5 แสดงผลการวิเคราะห์กรดไขมันง่ายที่ออกจากเตาอบยางแท่ง เข้า
เครื่องกรองชีวภาพ



ภาพประกอบภาคผนวก ค-6 กราฟสารละลายมาตรฐานของกรดไขมันระเหยง่าย

ภาคผนวก ง

ผลการทดลองจากอัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75:20:5

ตารางภาคผนวก ง-1 ผลการทดลองจากอัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5 ที่ระยะเวลาพักเก็บ 30 วินาที

ว/ค/ป	จำนวน วัน	เวลา พักเก็บ (วินาที)	pH			อุณหภูมิภายในชั้นตัวกลาง (°C)				ความชื้น ภายในชั้น ตัวกลาง (%)		การ ทรุดตัว ของ ตัวกลาง (cm)	ความ ดัน ลด (mm H ₂ O)
			In	S03	S06	In	S03	S06	Out	S03	S06		
เริ่ม start up 29/07/54			In	S03	S06	In	S03	S06	Out	S03	S06		
01/08/54	3	30	7	7	7.1	29.7	30.1	31	31.2	60	58	0	0
04/08/54	6	30	6.9	7	7.5	27.2	27.5	27.5	29.1	60	56	0	0
07/08/54	9	30	7	7.1	7.6	30.2	30.3	30.5	31.1	60	57	0	0
10/08/54	12	30	7	7	7.4	31.1	31.4	31.2	31.3	60	57	0	0
13/08/54	15	30	7.1	7.1	7.3	31.1	31.3	31.5	31.9	60	58	0	0
16/08/54	18	30	6.9	7.2	7.4	30.2	30.5	30.4	30.5	60	59	0	0
19/08/54	21	30	7	7.3	7.6	30.3	30.9	31.1	30.1	60	56	0	0
22/08/54	24	30	7	7	7.5	29.2	29.4	29.8	30.5	62	56	0.1	0
25/08/54	27	30	6.9	6.9	7.2	29.6	29.7	29.8	30.8	62	59	0.1	2
28/08/54	30	30	6.9	7	7.2	29.8	30.1	30.6	31.1	62	60	0.2	2
31/08/54	33	30	6.9	7	7.1	28.4	28.5	28.7	29.5	61	59	0.3	2
03/09/54	36	30	6.9	7.1	7.5	27.4	27.8	28.1	29.8	60	57	0.3	2
06/09/54	39	30	6.9	7.2	7.4	28.4	28.5	28.6	29.7	61	58	0.4	2
09/09/54	42	30	6.9	7	7.6	29.2	29.5	29.7	29.9	60	59	0.4	2

ตารางภาคผนวก ง-2 ผลการทดลองจากอัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ
75 : 20 : 5 ที่ระยะเวลาเก็บเก็บ 60 วินาที

ว/ด/ป	จำนวน วัน	เวลา เก็บกัก (วินาที)	pH			อุณหภูมิภายในชั้นตัวกลาง (°C)				ความชื้น ภายในชั้น ตัวกลาง (%)		การ ทรุดตัว ของ ตัวกลาง (cm)	ความดัน ลด (mmH ₂ O)
			In	S03	S06	In	S03	S06	Out	S03	S06		
เริ่ม start up 29/07/54			In	S03	S06	In	S03	S06	Out	S03	S06	(cm)	
01/08/54	3	60	7	7	7	29.7	29.7	30	30.3	60	60	0	0
04/08/54	6	60	7	7	7	27.2	28.5	28.7	30	60	59	0	0
07/08/54	9	60	7	7	7	30.2	31.8	31.8	31.9	60	59	0	0
10/08/54	12	60	7	7	7.1	31.1	31.4	31.5	31.7	60	59	0	0
13/08/54	15	60	7	7.1	7.3	31.1	31.5	31.7	31.9	60	60	0	0
16/08/54	18	60	7	7	7.2	30.2	31.1	31.5	31.7	60	59	0	0
19/08/54	21	60	6.9	6.9	7.1	30.3	31.1	31.3	31.9	60	59	0	0
22/08/54	24	60	6.9	6.9	7	29.2	30.4	30.7	31.1	62	59	0	0
25/08/54	27	60	6.9	6.9	7	29.6	30.3	30.7	31.1	62	59	0.1	0
28/08/54	30	60	6.9	6.9	7.1	29.8	30.3	30.6	30.9	62	60	0.1	0
31/08/54	33	60	6.9	7	7.2	28.4	29.7	29.9	31.2	61	59	0.2	1
03/09/54	36	60	6.9	6.9	7.1	27.4	28.1	28.3	28.9	60	59	0.3	1
06/09/54	39	60	6.9	7	7.3	28.4	28.7	28.9	29.3	61	59	0.4	1
09/09/54	42	60	7	7	7.2	29.2	29.6	29.8	30.1	60	59	0.5	1

ตารางภาคผนวก ง-3 ผลการทดลองจากอัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ
75 : 20 : 5 ที่ระยะเวลาพักเก็บ 90 วินาที

ว/ด/ป	จำนวน วัน	เวลา พักเก็บ (วินาที)	pH			อุณหภูมิภายในชั้นตัวกลาง (°C)				ความชื้น ภายในชั้น ตัวกลาง (%)		การ ทรุดตัว ของ ตัวกลาง (cm)	ความดัน ลด (mmH ₂ O)
			In	S03	S06	In	S03	S06	Out	S03	S06		
เริ่ม start up 29/07/54			In	S03	S06	In	S03	S06	Out	S03	S06	(cm)	
01/08/54	3	90	7	7	7	29.7	29.8	30.1	30.4	60	60	0	0
04/08/54	6	90	7	7	7	27.2	27.6	27.9	28	60	60	0	0
07/08/54	9	90	7	7	7	30.2	30.4	30.7	30.9	60	60	0	0
10/08/54	12	90	7	7	7	31.1	31.5	31.8	31.9	60	60	0	0
13/08/54	15	90	6.9	7	7	31.1	31.5	31.6	31.8	60	60	0	0
16/08/54	18	90	6.9	7	7	30.2	30.3	30.8	30.9	60	59	0	0
19/08/54	21	90	6.9	7	7	30.3	30.5	30.7	30.9	60	59	0	0
22/08/54	24	90	6.9	7	7.1	29.2	29.5	29.7	29.9	62	59	0.1	0
25/08/54	27	90	6.9	7	7.1	29.6	29.9	30.2	30.5	62	59	0.1	0
28/08/54	30	90	6.9	7.1	7.2	29.8	30	30.3	30.5	62	60	0.2	0
31/08/54	33	90	6.9	7.1	7.3	28.4	28.5	28.7	28.9	61	59	0.3	0
03/09/54	36	90	6.9	7.2	7.3	27.4	27.8	27.9	28.2	60	59	0.4	0
06/09/54	39	90	6.8	7.1	7.3	28.4	28.6	28.7	28.9	61	58	0.6	1
09/09/54	42	90	6.8	7.2	7.3	29.2	29.5	29.7	29.9	60	59	0.7	1

ตารางภาคผนวก ง-4 ประสิทธิภาพบำบัดของ Acetic acid ที่อัตราส่วนเปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5

ว/ด/ป	ลักษณะของอากาศ ที่เข้า		ลักษณะของอากาศ ที่ออก		ประสิทธิภาพ บำบัด (%)	ภาระบรรทุก (g cm ⁻³ h ⁻¹)			ความสามารถในการ บำบัด (g cm ⁻³ h ⁻¹)		
	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)		No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)	No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)
01/08/54	80.9437	98	11.61325	99	85.6527	36.2	18.1	12.0	33.5	17.1	11.0
04/08/54	98.3576	99	8.996665	99	90.85311	28.4	14.2	9.49	26.4	13.8	9.31
07/08/54	86.3369	99	2.043576	99	97.63302	43.0	21.5	14.3	41.6	20.9	14.1
10/08/54	83.9171	98	1.9543	99	97.67116	24.3	12.1	8.10	23.4	11.9	8.05
13/08/54	86.3369	97	1.90037	99	97.79889	43.0	21.5	14.3	42.8	21.3	14.3
16/08/54	94.1795	99	9.548655	100	89.86123	27.2	13.6	9.09	27.1	13.5	9.09
19/08/54	50.168	100	1.011	100	97.98481	32.9	16.4	10.9	32.7	16.4	10.9
22/08/54	49.7262	99	0.9488	100	98.09196	34.4	17.2	11.4	34.2	17.2	11.4
25/08/54	82.6549	99	0.84439	99	98.97842	23.9	11.9	7.98	23.7	11.9	7.98
28/08/54	65.3881	98	0.09488	99	99.8549	123.	61.8	41.2	123.	61.8	41.2
31/08/54	90.5296	97	3.089681	99	96.5871	26.2	13.1	8.74	26.0	13.1	8.74
03/09/54	38.6420	100	0	99	100	11.1	5.59	3.73	11.0	5.59	3.73
06/09/54	88.6977	99	0	100	100	28.5	14.2	9.53	28.4	14.2	9.53
09/09/54	64.513	99	0	100	100	12.8	6.44	4.29	12.8	6.44	4.29

ตารางภาคผนวก ง-5 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Propionic acid ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ย
คอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5

ว/ด/ป	ลักษณะของอากาศ ที่เข้า		ลักษณะของอากาศ ที่ออก		ประสิทธิภาพ การ บำบัด (%)	ภาระบรรทุก (g cm ⁻³ h ⁻¹)			ความสามารถในการ บำบัด (g cm ⁻³ h ⁻¹)		
	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)		No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)	No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)
01/08/54	63.029	98	9.335837	99	85.1880	34.6	17.3	11.5	31.3	15.6	10.4
04/08/54	82.263	99	10.04138	99	87.7936	39.35	19.6	13.1	35.7	17.8	11.9
07/08/54	67.163	99	3.945701	99	94.1251	41.02	20.5	13.6	39.6	20.0	13.4
10/08/54	74.777	98	3.079439	99	95.8818	30.2	15.1	10.0	29.1	14.5	9.96
13/08/54	64.233	97	0.592105	100	99.0782	41.02	20.5	13.6	40.8	20.4	13.6
16/08/54	78.812	99	0.592105	100	99.2487	37.70	18.8	12.5	37.4	18.7	12.4
19/08/54	57.822	100	0.592105	100	98.9759	30.16	15.0	10.0	29.9	14.9	9.98
22/08/54	49.518	99	0.592105	100	98.8042	33.26	16.6	11.0	33.0	16.5	11.0
25/08/54	60.644	99	0.192105	99	99.6832	10.95	5.47	3.65	10.8	5.36	3.62
28/08/54	50.567	98	0.592105	100	98.8290	133.3	66.6	44.4	13.3	66.5	44.3
31/08/54	71.382	97	0.192105	100	99.7308	11.21	5.60	3.73	11.1	5.50	3.70
03/09/54	45.227	100	0.192105	100	99.5752	13.66	6.83	4.55	13.5	6.72	4.51
06/09/54	83.171	99	0.592105	100	99.2880	29.72	14.8	9.90	29.5	14.7	9.83
09/09/54	63.871	99	0.192105	99	99.6992	15.67	7.83	5.22	15.6	7.73	5.19

ตารางภาคผนวก ง-6 ประสิทธิภาพบำบัดของ Isobutyric acid ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5

ว/ด/ป	ลักษณะของอากาศ ที่เข้า		ลักษณะของอากาศ ที่ออก		ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	การบรรทุก (g cm ⁻³ h ⁻¹)			ความสามารถในการ บำบัด (g cm ⁻³ h ⁻¹)		
	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)		No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)	No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)
01/08/54	76.909	98	20.05293	99	73.92657	32.6	16.3	10.8	31.6	15.3	10.6
04/08/54	91.162	99	8.79666	99	90.35056	36.6	18.3	12.2	36.5	18.2	12.1
07/08/54	92.514	99	5.048568	100	94.54293	39.3	19.6	13.1	38.7	19.5	13.0
10/08/54	76.286	98	1.966918	99	97.42167	32.4	16.2	10.8	32.2	16.1	10.5
13/08/54	92.514	97	0.907143	99	99.01946	39.3	19.6	13.1	39.2	19.4	13.0
16/08/54	92.559	99	0.907143	100	99.01994	35.0	17.5	11.6	35.0	17.3	11.5
19/08/54	53.874	100	0.907143	100	98.31619	18.6	9.32	6.21	18.5	9.13	6.17
22/08/54	79.332	99	0.907143	100	98.85654	20.9	10.4	6.98	20.8	10.2	6.9
25/08/54	85.869	99	0.907143	99	98.94358	9.29	4.64	3.09	9.24	4.45	3.08
28/08/54	64.393	98	0.907143	99	98.59125	35.8	17.9	11.9	35.8	17.7	11.9
31/08/54	89.639	97	0.907143	99	98.98801	9.19	4.59	3.06	9.16	4.40	3.03
03/09/54	63.272	97	0.907143	99	98.56629	18.3	9.19	6.13	18.3	9.00	6.10
06/09/54	97.985	99	0.907143	99	99.0742	41.6	20.8	13.8	41.2	20.6	13.7
09/09/54	59.624	99	0.907143	99	98.47858	21.0	10.5	7.03	21.0	10.3	7.015

ตารางภาคผนวก ง-7 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Butyric acid ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ย
คอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5

ว/ค/ป	ลักษณะของอากาศ ที่เข้า		ลักษณะของอากาศ ที่ออก		ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ภาวะบรรทุก (g cm ⁻³ h ⁻¹)			ความสามารถในการ บำบัด (g cm ⁻³ h ⁻¹)		
	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)		No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)	No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)
01/08/54	54.512	98	9.589519	99	82.408567	3.56	1.78	1.18	3.24	1.59	1.08
04/08/54	68.504	99	6.935815	99	89.875440	3.33	1.66	1.11	3.27	1.46	1.09
07/08/54	58.099	99	4.588012	99	92.103122	4.22	2.11	1.40	3.97	2.07	1.38
10/08/54	58.686	98	3.056533	99	94.791761	3.34	1.67	1.11	3.32	1.66	1.08
13/08/54	58.099	97	2.034091	99	96.498926	4.22	2.11	1.40	4.21	2.10	1.40
16/08/54	75.201	99	3.034091	99	95.965405	3.19	1.59	1.06	3.18	1.59	1.06
19/08/54	37.956	100	0.034091	99	99.910185	1.70	0.85	0.56	1.68	0.84	0.56
22/08/54	39.573	99	0.034091	99	99.913855	1.95	0.97	0.65	1.94	0.97	0.64
25/08/54	41.099	99	0.034091	99	99.917052	0.89	0.48	0.29	0.88	0.44	0.29
28/08/54	49.166	98	0.034091	99	99.930662	7.47	3.73	2.49	7.45	3.72	2.48
31/08/54	62.877	97	1.034091	99	98.355384	0.97	0.48	0.32	0.95	0.47	0.32
03/09/54	30.297	100	0.034091	99	99.887481	1.71	0.85	0.57	1.69	0.84	0.56
06/09/54	67.967	99	1.034091	99	98.47855	3.85	1.92	1.28	3.83	1.91	1.27
09/09/54	46.289	99	0.034091	100	99.926352	1.96	0.98	0.65	1.95	0.97	0.65

ตารางภาคผนวก ง-8 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Isovaleric acid ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ย
คอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5

ว/ด/ป	ลักษณะของอากาศ ที่เข้า		ลักษณะของอากาศ ที่ออก		ประสิทธิภาพ การบำบัด (%)	ภาวะบรรทุก (g cm ⁻³ h ⁻¹)			ความสามารถในการ การบำบัด (g cm ⁻³ h ⁻¹)		
	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)		No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)	No.1 (30 s)	No.2 (60 s)	No.3 (90 s)
01/08/54	39.419	98	16.23946	99	58.80375	29.6	14.8	9.89	21.6	10.8	7.22
04/08/54	51.317	99	9.287763	99	81.90124	25.7	12.8	8.59	21.1	10.5	7.06
07/08/54	44.646	99	2.487071	100	94.4294	37.3	18.6	12.4	31.5	15.7	10.5
10/08/54	43.194	98	9.694668	99	77.55563	31.1	15.5	10.3	26.3	13.1	8.78
13/08/54	38.500	97	1.122581	99	97.08423	23.6	11.8	7.89	23.1	11.5	7.71
16/08/54	48.153	99	1.122581	99	97.66876	24.7	12.3	8.23	24.1	12.0	8.05
19/08/54	27.199	100	1.122581	99	95.87284	18.3	9.19	6.12	17.9	8.91	5.94
22/08/54	22.282	99	1.122581	100	94.96201	25.3	12.6	8.44	24.9	12.3	8.25
25/08/54	31.803	99	1.122581	99	96.47021	15.6	7.83	5.22	15.4	7.55	5.07
28/08/54	23.906	98	1.122581	99	95.30434	52.2	26.1	17.4	51.6	25.8	17.2
31/08/54	52.624	97	1.122581	99	97.8668	20.9	10.4	6.99	20.8	10.4	6.97
03/09/54	21.658	100	1.122581	100	94.81693	25.4	12.7	8.48	25.3	12.7	8.46
06/09/54	49.481	99	1.122581	99	97.73129	123.	61.7	41.1	122.	61.4	40.9
09/09/54	31.638	99	1.122581	100	96.45187	59.7	29.8	19.9	59.1	29.5	19.7

ตารางภาคผนวก ง-9 ประสิทธิภาพการบำบัดของ Valeric acid ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ย
คอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5

ว/ด/ป	ลักษณะของอากาศ ที่เข้า		ลักษณะของอากาศ ที่ออก		ประสิทธิภาพ การ บำบัด (%)	ภาระบรรทุก (g cm ⁻³ h ⁻¹)			ความสามารถในการ บำบัด (g cm ⁻³ h ⁻¹)		
	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)	ความ เข้มข้น (ppm)	ความชื้น สัมพัทธ์ (% RH)		NO.1 (30 s)	NO.2 (60 s)	NO.3 (90 s)	NO.1 (30 s)	NO.2 (60 s)	NO.3 (90 s)
01/08/54	64.038	98	16.57632	100	74.11517	30.31	15.1	10.1	27.6	14.6	9.51
04/08/54	72.085	99	8.253749	99	88.55006	24.18	12.0	8.06	22.5	11.8	7.97
07/08/54	65.534	99	1.892973	99	97.11148	35.88	17.9	11.9	34.7	17.5	11.9
10/08/54	61.109	98	0.482759	99	99.21002	30.10	15.0	10.0	29.7	15.0	10.0
13/08/54	62.657	97	0.482759	98	99.22953	35.88	17.9	11.9	35.4	17.8	11.8
16/08/54	78.031	99	0.482759	99	99.38133	23.17	11.5	7.72	23.1	11.4	7.64
19/08/54	42.435	100	0.482759	100	98.86237	13.68	6.84	4.56	13.5	6.72	4.48
22/08/54	45.575	99	0.482759	99	98.94074	12.06	6.03	4.02	11.9	6.02	3.98
25/08/54	59.838	99	0.482759	99	99.19324	12.72	6.36	4.24	12.6	6.24	4.16
28/08/54	57.687	98	0.482759	99	99.16314	44.93	22.4	14.9	44.6	22.3	14.8
31/08/54	75.062	97	0.482759	98	99.35686	12.34	6.17	4.11	12.2	6.11	4.08
03/09/54	28.626	100	0.482759	100	98.31361	19.02	9.51	6.34	19.0	9.49	6.32
06/09/54	71.773	99	0.482759	98	99.32739	38.80	19.4	12.9	38.5	19.2	12.9
09/09/54	57.604	99	0.482759	100	99.16194	28.37	14.1	9.45	28.1	14.0	9.43

ตารางภาคผนวก ง-10 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ระยะเวลาเก็บเก็บต่างๆ ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5

Acetic acid			Propionic acid		
No.1 (30 วินาที)	No.2 (60 วินาที)	No.3 (90 วินาที)	No.1 (30 วินาที)	No.2 (60 วินาที)	No.3 (90 วินาที)
92.5438	94.30068	91.52358	90.37129	90.37129	90.37129
92.84104	97.05497	98.092	90.88222	90.88222	90.88222
96.73659	97.63302	98.55638	96.56298	97.8696	98.13092
96.33038	98.16415	99.35581	96.36764	96.36764	98.72675
99.60124	99.37386	100	99.48423	99.48423	99.48423
99.3713	99.53218	100	99.43877	99.43877	99.43877
99.47884	100	100	99.29867	99.29867	99.29867
99.50188	100	100	99.36394	99.36394	99.36394
99.28364	100	100	99.37312	98.06782	99.30785
99.86143	100	100	99.84133	99.84133	99.84133
99.34595	100	100	99.38787	98.11328	99.00549
98.46772	100	100	99.49747	98.45112	99.20973
99.40008	100	100	99.28809	99.28809	99.28809
99.56843	100	100	99.56212	98.65036	99.33418

ตารางภาคผนวก ง-10 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ระยะเวลาเก็บเก็บต่างๆ ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5 (ต่อ)

Isobutyric acid			Butyric acid		
No.1 (30 วินาที)	No.2 (60 วินาที)	No.3 (90 วินาที)	No.1 (30 วินาที)	No.2 (60 วินาที)	No.3 (90 วินาที)
96.92657	93.92657	97.92657	91.06586	89.154	91.06586
99.7906	99.7906	99.7906	98.07953	88.07953	98.07953
98.54293	99.54293	99.54293	94.08615	98.08615	98.08615
99.42167	99.42167	97.42167	99.28154	99.28154	97.50233
99.70599	99.01946	99.84188	99.65714	99.65714	99.55656
99.90123	98.90123	98.90123	99.54667	99.54667	99.50678
99.52787	97.93241	99.29995	99.1479	99.1479	99.1479
99.58011	98.16118	99.37741	99.25957	99.25957	99.25957
99.51009	95.85209	99.51009	98.38429	98.38429	99.33217
99.87304	98.9251	99.87304	99.80608	99.80608	99.80608
99.66992	95.80797	99.04277	98.50984	98.50984	99.38407
99.83493	97.90364	99.5213	99.15403	99.15403	99.15403
99.0742	99.0742	99.0742	99.62397	99.62397	99.62397
99.78409	98.172	99.78836	99.26353	99.26353	99.26353

ตารางภาคผนวก ง-10 ประสิทธิภาพการบำบัดกรดไขมันระเหยง่ายที่ระยะเวลาเก็บเก็บต่างๆ ที่อัตราส่วน เปลือกมะพร้าว : ปุ๋ยคอก : ตะกอนน้ำเสีย เท่ากับ 75 : 20 : 5 (ต่อ)

Isovaleric acid			Valeric acid		
No.1 (30 วินาที)	No.2 (60 วินาที)	No.3 (90 วินาที)	No.1 (30 วินาที)	No.2 (60 วินาที)	No.3 (90 วินาที)
73.038	73.038	73.038	91.1871	96.96151	94.1871
82.24718	82.24718	82.24718	93.18496	97.98496	98.98496
84.53189	84.53189	84.53189	96.88946	97.8457	99.8457
84.65893	84.65893	84.65893	98.89182	99.95454	99.99182
97.66573	97.66573	97.66573	98.86379	99.33721	98.92533
97.76172	97.76172	97.76172	99.97355	98.97355	98.97355
97.79617	96.99242	97.02189	99.34192	98.26167	98.26167
98.39972	97.81609	97.81609	99.2538	99.92891	99.02891
98.61456	96.47021	97.16197	99.2927	98.13166	98.13166
98.88449	98.94215	98.94215	99.47072	99.47072	99.41072
99.47024	99.36634	99.71242	99.2708	99.07381	99.2708
99.76271	99.82692	99.76271	99.96797	99.7502	99.6697
99.5519	99.5519	99.5519	99.38716	99.38716	99.98716
99.07415	99.07415	99.07415	99.16194	99.16194	99.76194

ภาคผนวก จ

แบบสำรวจความคิดเห็นและความพึงพอใจต่อระดับของกลิ่นจากการบำบัดกลิ่นโดยใช้ระบบการกรองทางชีวภาพ

1. คำชี้แจง

แบบสอบถามนี้จัดทำขึ้นมาเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลความพึงพอใจและความคิดเห็นต่อระดับของกลิ่นจากการบำบัดกลิ่นโดยใช้ระบบการกรองทางชีวภาพ ความคิดเห็นของท่านจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาปรับปรุงระบบการบำบัดกลิ่นต่อไป

2. พื้นที่ปฏิบัติงาน.....

3. ระดับของกลิ่น

3.1 ความหมายของระดับความแรงของกลิ่นตั้งแต่ 0-5

0 = ปราศจากกลิ่นโดยสิ้นเชิง

1 = มีกลิ่นอ่อนๆ แค่พอรู้ว่ามีกลิ่นอยู่บ้าง

2 = มีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร

3 = มีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย

4 = มีกลิ่นแรง

5 = มีกลิ่นที่รุนแรงมากๆ จนทนไม่ได้

3.2 ผลการสำรวจ

โปรดระบุระดับของกลิ่นที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านลงในตารางข้างล่าง

ระดับของกลิ่นก่อนการติดตั้งตัวกรองทางชีวภาพ	ระดับของกลิ่นหลังการติดตั้งตัวกรองทางชีวภาพ

3.3 ผลกระทบของกลิ่นต่อชีวิตประจำวันและการปฏิบัติงาน

โปรดทำเครื่องหมายแสดงผลกระทบของกลิ่นต่อชีวิตประจำวันและการปฏิบัติงาน ของท่านในระดับที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านให้มากที่สุด

3.3.1 ผลกระทบของกลิ่นก่อนการติดตั้งตัวกรองทางชีวภาพ

รายละเอียด	น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด
1.ระดับความแรงของกลิ่นส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน					
2.ระดับความแรงของกลิ่นส่งผลกระทบต่อการทำงาน					

3.3.1 ผลกระทบของกลิ่นหลังการติดตั้งตัวกรองทางชีวภาพ

รายละเอียด	น้อยมาก	น้อย	ปานกลาง	มาก	มากที่สุด
1.ระดับความแรงของกลิ่นดังกล่าวส่งผลกระทบต่อชีวิตประจำวัน					
2.ระดับความแรงของกลิ่นดังกล่าวส่งผลกระทบต่อการทำงาน					

4.ข้อเสนอแนะ (ถ้ามี)

.....

.....

ตารางภาคผนวก จ-1 ข้อคำถามต่อกลิ่นก่อนและหลังการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ (จำนวน 65 คน)

ระดับของกลิ่น	ก่อนการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ	หลังการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ
ปราศจากกลิ่น โดยสิ้นเชิง	0	7
มีกลิ่นอ่อนๆ แค่พอรู้ว่า มีกลิ่นอยู่บ้าง	0	29
มีกลิ่นอ่อนๆ พอแยกแยะได้ว่าเป็นกลิ่นอะไร	1	16
มีกลิ่นที่สามารถรับรู้ได้ง่ายดาย	7	13
มีกลิ่นแรง	45	0
มีกลิ่นที่รุนแรงมากๆ จนทนไม่ได้	12	0

ตารางภาคผนวก จ-2 ผลกระทบจากกลิ่นต่อชีวิตประจำวัน (จำนวน 65 คน)

ระดับความรุนแรง	ก่อนการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ	หลังการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ
น้อยมาก	0	5
น้อย	1	14
ปานกลาง	10	42
มาก	49	2
มากที่สุด	5	2

ตารางภาคผนวก จ-3 ผลกระทบจากกลิ่นต่อการทำงาน (จำนวน 65 คน)

ระดับความรุนแรง	ก่อนการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ	หลังการติดตั้งตัวกรองชีวภาพ
น้อยมาก	0	7
น้อย	4	19
ปานกลาง	15	37
มาก	45	1
มากที่สุด	1	1

