การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา

นายภาศัลย์ ใจรังษี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-7001-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

28 มิ.ย. 2549
I22208628

APPICATION OF MICROFILTRATION MEMBRANE BIOREACTOR FOR TREATMENT OF DISTILLERY WASTEWATER

Mr.Pasal Jairungsee

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-7001-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียโรงงานสุรา
โดย	นายภาศัลย์ ใจรังษี
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร.ชัยพร ภู่ประเสริฐ)

ภาศัลย์ ใจรังษี : การประยุกต์ใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพสำหรับบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา. (APPICATION OF MICROFILTRATION MEMBRANE BIOREACTOR FOR TREATMENT OF DISTILLERY WASTEWATER) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 297 หน้า. ISBN 974-17-7001-4.

งานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานสุรา โดยใช้ไมโครฟิลเตรชันเมมเบรนซึ่งจมตัวอยู่ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ โดยเน้นที่น้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่น ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ดำเนินการทดลองในสัดส่วนของระบบทดลอง ซึ่งออกแบบ และสร้างขึ้นใหม่ น้ำเสียที่เข้าสู่ระบบนำมาจาก น้ำกากส่าที่ออกจากหอกลั่น แล้วนำมาเจือจางด้วยน้ำประปา 227 200 และ 133 เท่า สำหรับค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22 0.25 และ 0.375 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน ตามลำดับ

ในการวิจัยแบ่งเป็น 3 การทดลอง คือ การทดลองที่ 1 ศึกษารอบการเติมอากาศที่ 60 นาที และ 90 นาที ผลปรากฏว่า การกำจัดซีโอดี ฟอสฟอรัส และสี มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน แต่รอบการเติมอากาศ 90 นาที สามารถกำจัดไนโตรเจนได้ดีกว่าเล็กน้อย คุณภาพน้ำที่ออกจากระบบผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงสรุปได้ว่า รอบการเติมอากาศที่ 60 นาทีเพียงพอ ต่อการดำเนินการในงานวิจัยนี้ การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของภาระสารอินทรีย์ที่มีต่อระบบ ซึ่งใช้ค่าภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22 0.25 และ 0.375 กก.บีโอดี/กก.เอ็มแอลวีเอสเอส-วัน สามารถสรุปได้ว่าภาระสารอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ ไม่ส่งผลกระทบต่อการดำเนินการของระบบ คุณภาพน้ำออกในแต่ละชุดการทดลองผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม การทดลองที่ 3 ศึกษาผลของอายุสลัดจ์ที่มีต่อระบบ ผลปรากฏว่า อายุสลัดจ์ที่ 50 วัน ระบบมีประสิทธิภาพในการดำเนินการมากกว่า โดยที่คุณภาพน้ำใกล้เคียงกัน และผ่านมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม จากทั้ง 3 การทดลองสรุปได้ว่าระบบที่เหมาะสมคือ รอบการเติมอากาศ 60 นาที และควบคุมอายุสลัดจ์ที่ 50 วัน ซึ่งสามารถกำจัดซีโอดีได้ 96.67 % กำจัดไนโตรเจนได้ 87.77 % กำจัดฟอสฟอรัสได้ 98.32 % และลดสีได้ 32.39% และมีค่าใช้จ่ายโดยไม่รวมค่าเสื่อมราคา 220 บาท/ลบ.ม.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2547

4470456521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: MBR / MICROFILTRATION / DISTILLERY SLOP / MEMBRANE / INTERMITTENT

PASAL JAIRUNGSEE : APPICATION OF MICROFILTRATION MEMBRANE BIOREACTOR FOR TREATMENT OF DISTILLERY WASTEWATER.

THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF.CHAVALIT RATANATAMSAKUL, Ph.D,

297 pp. ISBN 974-17-7001-4.

This research aims at investigating distillery wastewater treatment efficiency of microfiltration membrane submerged in bioreactor. The experiment made in Environmental engineering's laboratory. In this study, the system operated in the pilot scale which newly designed and built. The wastewater for this system is distillery slop came from distillers and got dilute by tap water, which dilute at 227, 200 and 133 times for organic loading between 0.22, 0.25, 0.375 kg.BOD/kg.MLVSS-day, respectively.

For this research, the work was conducted in to 3 experiments. The first experiment studied effect of intermittent aeration period between 60 and 90 minutes period. This experiment summarize the 60 minutes intermittent aeration period was good enough to treat this wastewater The second experiment studied effect of organic loading between 0.22, 0.25, 0.375 kg.BOD/kg.MLVSS-day. The result indicated all of the organic loading did not have effect to the system. The third experiment studied effect of sludge age between 25 and 50 days that indicated the 50 days sludged age was able to increase the microorganism's quality. For 3 experiment, the most optimum system for this research is the 60 minutes intermittent aeration period under 50 days sludged. The removal efficiency is 96.67%COD, 87.77%TKN, 98.32%TP and reducing color 32.39%. the effluent was under the standard of the department of industry work the cost of this system without depreciation cost is 220 baht/m^3

Department of Environmental Engineering Student's signature.....Pasal Jairungsee.....

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature.....Chavalit Rttl.....

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้ให้ความรู้ คำแนะนำ รวมถึงการดูแลจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้**อย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน อาจารย์ประจำ**ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม รวมถึง รศ.ดร วรวุฒิ จุฬาลักษณานุกูล และดร.จิตรตรา เพียภูเขียว อาจารย์ประจำภาควิชาพฤกษศาสตร์ สำหรับข้อคิดและคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์ คุณโกศล ใจรังษี คุณสิริวิภา ใจรังษี สำหรับคำแนะนำ ความรู้ และความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณ กองทุนสุรา กรมโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับเงินทุนในการ**ดำเนินการวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบพระคุณ บริษัท สุราแสงโสม จำกัด บริษัท อาหารสัตว์ จำกัด** บริษัทคลาสเบิร์ก (ไทยแลนด์) จำกัด และบริษัท ท็อปเทค จำกัด สำหรับการเอื้อเฟื้อส่วนต่างๆ ที่นำมาประกอบเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ **ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการวิศวกรรม**สิ่งแวดล้อมทุกท่าน โดยเฉพาะคุณจันทรวรรณ ตันเจริญ ที่ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือเสมอมา รวมไปถึงพนักงานทุกบริษัท ที่ช่วยให้การทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอขอบคุณกำลังใจและจากครอบครัว พี่ เพื่อน น้องที่ภาควิชาวิศวกรรม**สิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้แลกเปลี่ยนความรู้ ข้อคิดเห็น และกำลังใจ ขอขอบคุณกำลังใจจาก**ครอบครัว ที่ช่วยให้มีพลังในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ขอขอบคุณทุกคำพูด ทุกข้อความ ทุกกำลังใจ**ที่ส่งมาเพื่อให้สามารถดำเนินวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ **ขอขอบคุณ นางสาวสิริกาญจน์ ติรเศรษฐ์** สำหรับกำลังใจ และ ความช่วยเหลือในการทำการทดลอง และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณ นางสาวเมทินี วัฒนเมธานนท์ สำหรับการค้นคว้าข้อมูล และความช่วยเหลือต่างๆ ในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

บทที่ หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูป ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ 4

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้ 4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย 6

2.1.1 โรงงานสุรา 6

2.1.2 กรรมวิธีการผลิตสุรา 7

2.1.3 ลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานสุรา 10

2.1.4 การบำบัดน้ำกากส่า 12

2.1.5 การบำบัดน้ำกากส่าในประเทศไทย 16

2.2 ระบบเอเอส 22

2.2.1 กลไกการทำงาน 23

2.2.2 องค์ประกอบในการทำงานของระบบเอเอส 25

2.2.3 จุลชีววิทยาของระบบเอเอส 26

2.2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบ 27

2.2.5 หลักการในการออกแบบระบบเอเอส 31

2.2.6 ข้อดีและข้อเสีย 32

บทที่ หน้า

2.3 เมมเบรนเทคโนโลยี 33
2.3.1 กระบวนการเมมเบรน 34
2.3.2 ประเภทของเมมเบรน 38
2.3.3 ชนิดของเมมเบรน 41
2.3.4 กระบวนการแยกสารของเมมเบรน 42
2.3.5 วัสดุและการผลิตแผ่นเมมเบรนสังเคราะห์ 44
2.3.6 โมดูลชนิดต่างๆ 46
2.3.7 การใช้งาน 50
2.3.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน 51
2.3.9 ข้อดีและข้อจำกัดของกระบวนการเมมเบรน 53
2.4 ไมโครฟิลเตรชั่นเมมเบรน 55
2.4.1 หลักการพื้นฐานของไมโครฟิลเตรชั่นเมมเบรน 55
2.4.2 ไมโครฟิลเตรชั่นในการบำบัดน้ำเสียและงานสุขาภิบาล 57
2.5 เมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ 57
2.5.1 ขั้นตอนของระบบ 58
2.5.2 ข้อดีของกระบวนการเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ 59
2.5.3 ตัวแปรควบคุมในระบบเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ 60
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 61
2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกำจัดสีในน้ำกากส่า 61
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับไมโครฟิลเตรชั่นเมมเบรน 64
2.6.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเมมเบรนในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ 64
2.6.4 ความรู้จากงานวิจัยที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ 67

บทที่ 3 แผนการดำเนินการวิจัย 69
3.1 แผนการวิจัย 69
3.1.1 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย 70
3.1.2 ลักษณะของเชื้อจุลินทรีย์ 70
3.1.3 การเตรียมการทดลอง 71
3.1.4 การดำเนินการทดลอง 72

บทที่ หน้า

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 72
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองและแผนการเก็บน้ำเสีย 79
3.4 ส่วนประกอบและการควบคุมการทำงานของระบบ 79
3.4.1 ระบบจ่ายน้ำเข้า และนำน้ำออกจากถังปฏิกรณ์ 79
3.4.2 ระบบการทำงานของถังปฏิกรณ์ 80
3.5 ค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลอง 81
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 82
3.6.1 ขั้นตอนเริ่มทำงานของระบบ 82
3.6.2 ขั้นตอนในการดำเนินการทดลอง 82
3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์และเก็บตัวอย่าง 84
3.8 การดูแลรักษาระบบ 86
3.9 การควบคุมระบบ 86
3.9.1 การควบคุมรอบการเติมอากาศ 86
3.9.2 การควบคุมอายุสลัดจ์ 87

บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 88
4.1 คุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบ 88
4.2 ผลการทดลองทดสอบการเดินระบบ 89
4.2.1 ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ 89
4.2.2 ค่าอัตราสารอินทรีย์ต่อมวลชีวภาพ 90
4.2.3 การตกตะกอนของจุลินทรีย์ในระบบ 91
4.2.4 ความเข้มข้นของซีโอดีในระบบ 92
4.2.5 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในระบบ 94
4.2.6 การกำจัดสีของระบบทดลอง 95
4.3 ผลของรอบการเติมอากาศ 96
4.3.1 ผลของรอบการเติมอากาศต่อสภาวะในระบบ 96
4.3.2 ผลของรอบการเติมอากาศต่อจุลินทรีย์ในระบบ 105
4.3.3 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดมลสาร 109
4.3.4 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย 115

บทที่ หน้า

4.3.5 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดซีโอดี 116
4.3.6 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดไนโตรเจน 122
4.3.7 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดฟอสฟอรัส 124
4.3.8 ผลของรอบการเติมอากาศต่อการกำจัดสี 126
4.3.9 สรุปผลของรอบการเติมอากาศ 130
4.4 ผลของภาระสารอินทรีย์ 130
4.4.1 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อสภาวะในระบบ 130
4.4.2 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อจุลินทรีย์ในระบบ 138
4.4.3 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดมลสารในระบบ 141
4.4.4 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย 144
4.4.5 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดซีโอดี 145
4.4.6 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดไนโตรเจน 148
4.4.7 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดฟอสฟอรัส 151
4.4.8 ผลของภาระสารอินทรีย์ต่อการกำจัดสี 152
4.4.9 สรุปผลของภาระสารอินทรีย์ 155
4.5 ผลของอายุสลัดจ์ในการวิจัย 155
4.5.1 ผลของอายุสลัดจ์ต่อสภาวะในระบบ 156
4.5.2 ผลของอายุสลัดจ์ต่อจุลินทรีย์ในระบบ 161
4.5.3 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดมลสารในระบบ 164
4.5.4 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดของแข็งแขวนลอย 172
4.5.5 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดซีโอดี 173
4.5.6 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดไนโตรเจน 177
4.5.7 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดฟอสฟอรัส 179
4.5.8 ผลของอายุสลัดจ์ต่อการกำจัดสี 180
4.5.9 สรุปผลของอายุสลัดจ์ 184
4.6 ผลของระบบต่อการทำงานของเมมเบรน 184
4.6.1 อัตราการกรองน้ำของไมโครฟิลเตรชั่นเมมเบรน 184
4.6.2 ความเข้มข้นของสลัดจ์จุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์และสลัดจ์สะสมที่ผิวหน้าเมมเบรน 185

บทที่ หน้า

4.6.3 ผลของตัวแปรในการทดลองต่อการทำงานของไมโครฟิลเตรชั่นเมมเบรน 186
4.7 การดำเนินการควบคุมระบบ 190
4.8 ค่าใช้จ่ายของระบบบำบัด 191

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 195
5.1 สรุปผลการทดลอง 194
5.2 ข้อสังเกตที่ได้จากการทำวิจัย 197
5.3 ข้อเสนอแนะ 197

รายการอ้างอิง 198
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง 206
ภาคผนวก ข การคำนวณหาค่ายิลด์และอัตราการสลายตัวของระบบ 267
ภาคผนวก ค สมดุลมวลซีโอดี 270
ภาคผนวก ง การหาอัตราการจับใช้ออกซิเจนจำเพาะ 273
ภาคผนวก จ ความสัมพันธ์ของแข็งละลายกับค่าสี 278
ภาคผนวก ฉ การทดลองแบบทีละเท 280
ภาคผนวก ช ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) 285
ภาคผนวก ซ การทดลองหาค่าความสัมพันธ์ของซีโอดี และสี กับอายุสลัดจ์ 290
ภาคผนวก ฌ ไนโตรเจนในเซลล์ 293
ภาคผนวก ญ ลำดับการดำเนินการวิจัย 295
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 297

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงจำนวนโรงงาน เงินลงทุน และคนงานรวมของโรงงานสุราแต่ละประเภท 6

ตารางที่ 2.2 คุณภาพของน้ำเสียประเภทต่างๆ ของโรงงานต้มกลั่นสุรา 32 แห่ง 11

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบราคาค่าใช้จ่ายในการกำจัดน้ำกากส่าโดยวิธีต่างๆ พร้อมกับ แสดงข้อดีและข้อเสีย 17

ตารางที่ 2.4 หลักการออกแบบสำหรับระบบเอเอส 32

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของโพลีเมอร์ที่ใช้ทำเมมเบรน 41

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติต่าง ๆ ของโมดูลชนิดต่าง ๆ 47

ตารางที่ 2.7 การใช้งานเมมเบรน 51

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณลักษณะของน้ำกากส่าสดของโรงงานสุราแสงโสม 70

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดค่าพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวิเคราะห์ 85

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบ การทดลองที่ 1 88

ตารางที่ 4.2 คุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบ การทดลองที่ 2 89

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบ การทดลองที่ 3 89

ตารางที่ 4.4 ค่าพีเอชในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 1 - 4 98

ตารางที่ 4.5 ค่าโออาร์พีในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 1 - 4 100

ตารางที่ 4.6 ค่าความเป็นด่างในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 1 – 4 101

ตารางที่ 4.7 อุณหภูมิในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 1 – 4 103

ตารางที่ 4.8 ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ของชุดการทดลองที่ 1 – 4 105

ตารางที่ 4.9 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบระหว่างรอบการเติม อากาศ 60นาที และ 90 นาที ด้วย T-test 114

ตารางที่ 4.10 ของแข็งแขวนลอย ของชุดการทดลองที่ 1 – 4 116

ตารางที่ 4.11 ค่าซีโอดีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 3 และ4 117

ตารางที่ 4.12 ค่าทีเคเอ็นและไนเตรท ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 3 และ4 122

ตารางที่ 4.13 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของ ชุดทดลองที่ 3 และ4 125

ตารางที่ 4.14 ค่าความเข้มสีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของ ชุดทดลองที่ 3 และ4 126

ตารางที่ 4.15 ค่าพีเอชในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ6 132

ตาราง หน้า

ตารางที่ 4.16 ค่าโออาร์พีในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 133
ตารางที่ 4.17 ค่าความเป็นด่างในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 135
ตารางที่ 4.18 อุณหภูมิในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 136
ตารางที่ 4.19 ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 138
ตารางที่ 4.20 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบ ระหว่างภาระสารอินทรีย์ที่ 0.22 0.25 และ 37.5 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ด้วย T-test 143
ตารางที่ 4.21 ของแข็งแขวนลอย ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 144
ตารางที่ 4.22 ค่าซีโอดีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 2 4 และ 6 145
ตารางที่ 4.23 ค่าทีเคเอ็นและไนเตรตที่สภาวะคงตัวของทุกชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 149
ตารางที่ 4.24 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดจากส่วนต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 2 4 และ 6 151
ตารางที่ 4.25 ค่าความเข้มสีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของชุดทดลองที่ 2 4 และ 6 152
ตารางที่ 4.26 ค่าพีเอชในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 5 และ6 156
ตารางที่ 4.27 ค่าโออาร์พีในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 157
ตารางที่ 4.28 ค่าความเป็นด่างในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 159
ตารางที่ 4.29 อุณหภูมิในส่วนต่างๆ ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 160
ตารางที่ 4.30 ค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอส ของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 161
ตารางที่ 4.31 การทดสอบทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์เปรียบเทียบระหว่างค่าอายุสลัดจ์ 50 วันและค่าอายุสลัดจ์ 25 วัน ด้วย T-test 172
ตารางที่ 4.32 ของแข็งแขวนลอย ของชุดการทดลองที่ 2 4 และ 6 173
ตารางที่ 4.33 ค่าซีโอดีในจากจุดเก็บตัวอย่างต่างๆ ที่สภาวะคงตัวของทุกการทดลอง 174
ตารางที่ 4.34 ค่าทีเคเอ็นของแต่ละจุดในระบบของทุกชุดการทดลองที่ 5 และ 6 177
ตารางที่ 4.35 ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดของแต่ละจุดในระบบของชุดการทดลองที่ 5 และ 6 179
ตารางที่ 4.36 ค่าสีของแต่ละจุดในระบบของทุกชุดการทดลอง 180
ตารางที่ 4.37 ขั้นตอนการคำนวณและผลการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่าย 193

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 แผนภูมิสถิติปริมาณที่เสียภาษีสุรา 7

รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา 9

รูปที่ 2.3 แผนผังการทำงานของระบบตะกอนเร่ง 23

รูปที่ 2.4 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบไม่ต่อเนื่อง 24

รูปที่ 2.5 ลักษณะโมดูลของเมมเบรนเส้นใยกลวง 35

รูปที่ 2.6 การจำแนกกระบวนการแยกตามขนาดของโมเลกุล/อนุภาค 36

รูปที่ 2.7 ตัวอย่างโมเลกุล/อนุภาคที่สามารถแยกได้โดยการใช้กระบวนการเมมเบรนและการกรอง 37

รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบการกรองน้ำผ่านแผ่นกรองธรรมดากับแผ่นเมมเบรน 38

รูปที่ 2.9 การแบ่งประเภทของเมมเบรนตามโครงสร้างของเมมเบรน 40

รูปที่ 2.10 หลักการทำงานของกระบวนการเมมเบรน 43

รูปที่ 2.11 การแบ่งชนิดของแผ่นเมมเบรน 45

รูปที่ 2.12 โมดูลแบบแผ่น 48

รูปที่ 2.13 โมดูลแบบท่อ 49

รูปที่ 2.14 (ก) โมดูลแบบเสนใยกลวง (ข) เมมเบรนเส้นใยกลวง 49

รูปที่ 2.15 โมดูลแบบม้วน 50

รูปที่ 2.16 สองรูปแบบหลักของการใช้งาน 58

รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์ที่ติดตั้งเรียบร้อยแล้ว 69

รูปที่ 3.2 สภาพเชื้อจากบ่อเวียนกลับ ระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานคาร์ลเบิร์ก 71

รูปที่ 3.3 ส่วนประกอบของชุดเมมเบรนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 73

รูปที่ 3.4 ถังปฏิกรณ์ชีวภาพ 73

รูปที่ 3.5 ถังพักน้ำเสีย 74

รูปที่ 3.6 ถังรับน้ำทิ้งจากระบบ 74

รูปที่ 3.7 มอเตอร์ใบกวน 75

รูปที่ 3.8 ใบกวน 75

รูปที่ 3.9 ปั๊มรีดสาย 76

รูปที่ 3.10 ปั๊มเติมอากาศ 77

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 3.11 ตู้ควบคุมระบบ 78
รูปที่ 3.12 ระบบไฟฟ้าควบคุม 78
รูปที่ 3.13 แผนภาพการทำงานของระบบทดลอง 81
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความเปลี่ยนแปลงของปริมาณจุลินทรีย์ 90
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ของค่าอาหารต่อชีวมวลที่เข้าสู่ระบบ 90
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของค่า SV30 และ SVI 91
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นซีโอดีที่เข้า ในถังปฏิกรณ์และออกระบบในแต่ละวัน 92
รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการบำบัดของชุดการทดลองทดสอบระบบ 94
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเข้มสีของระบบ 96
รูปที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิและพีเอชในแต่ละช่วงเวลาที่เติมอากาศ 97
รูปที่ 4.8 ค่าพีเอชในชุดการทดลอง 99
รูปที่ 4.9 ค่าความเป็นด่างในชุดการทดลอง 102
รูปที่ 4.10 อุณหภูมิในชุดการทดลอง 104
รูปที่ 4.11 ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และ อัตราส่วนอาหารต่อมวลชีวภาพ ในชุดการทดลอง 106
รูปที่ 4.12 ปริมาณ MLVSS และ FSS ในรอบการเติมอากาศ 109
รูปที่ 4.13 ค่าออกซิเจนละลาย ซีโอดี และสีในแต่ละช่วงเวลาที่เติมอากาศ 110
รูปที่ 4.14 เปรียบเทียบผลของรอบการเติมอากาศต่อซีโอดี 117
รูปที่ 4.15 เปรียบเทียบร้อยละการกำจัดซีโอดีของรอบการเติมอากาศ 121
รูปที่ 4.16 เปรียบเทียบผลการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสจากรอบการเติมอากาศ 124
รูปที่ 4.17 ผลของการกำจัดสีจากส่วนต่างๆ ของรอบการเติมอากาศ 127
รูปที่ 4.18 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 3 127
รูปที่ 4.19 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 4 128
รูปที่ 4.20 เปรียบเทียบผลของรอบการเติมอากาศต่อความเข้มสี 129
รูปที่ 4.21 ค่าพีเอชในชุดการทดลอง 131
รูปที่ 4.22 ค่าความเป็นด่างในชุดการทดลอง 133
รูปที่ 4.23 อุณหภูมิในชุดการทดลอง 137
รูปที่ 4.24 ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และ อัตราส่วนอาหารต่อมวลชีวภาพ ในชุดการทดลอง 139

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.25 ปริมาณ MLVSS และ FSS ของแต่ละภาระสารอินทรีย์ 141
รูปที่ 4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในส่วนต่างๆ ของระบบ สำหรับค่าภาระสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนไป 146
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนมวลชีวภาพต่อซีโอดีเข้า กับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 147
รูปที่ 4.28 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น ในแต่ละค่าภาระสารอินทรีย์ 150
รูปที่ 4.29 ผลของการกำจัดสีจากส่วนต่างๆ ของรอบการเติมอากาศ 153
รูปที่ 4.30 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 2 154
รูปที่ 4.31 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 4 154
รูปที่ 4.32 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 6 155
รูปที่ 4.33 ค่าพีเอชในชุดการทดลอง 157
รูปที่ 4.34 ค่าความเป็นด่างในชุดการทดลอง 158
รูปที่ 4.35 อุณหภูมิในชุดการทดลอง 160
รูปที่ 4.36 ค่าเอ็มแอลเอสเอส เอ็มแอลวีเอสเอส และ อัตราส่วนอาหารต่อมวลชีวภาพ ในชุดการทดลอง 162
รูปที่ 4.37 ปริมาณ MLVSS และ FSS ของแต่ละอายุสลัดจ์ 164
รูปที่ 4.38 ค่าออกซิเจนละลาย ซีโอดี และสีในแต่ละช่วงเวลาที่เติมอากาศ 165
รูปที่ 4.39 ค่าการใช้ออกซิเจนจำเพาะของจุลินทรีย์ 168
รูปที่ 4.40 ผลการทดลองเลี้ยงเชื้อในแบบทีละเท 170
รูปที่ 4.41 เปรียบเทียบค่าคงที่ปฏิกิริยาของการย่อยสลายซีโอดี 171
รูปที่ 4.42 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในส่วนต่างๆ เนื่องจากอายุสลัดจ์ 175
รูปที่ 4.43 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสเนื่องจากค่าอายุสลัดจ์ 179
รูปที่ 4.44 เปรียบประสิทธิภาพการกำจัดสี ที่มีผลมาจากอายุสลัดจ์ 181
รูปที่ 4.45 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 5 182
รูปที่ 4.46 สีของน้ำในชุดการทดลองที่ 6 182
รูปที่ 4.47 เปรียบเทียบผลของอสยุสลัดจ์ต่อการกำจัดสี 183
รูปที่ 4.48 ความสัมพันธ์ของความดันผ่านเมมเบรนในชุดการทดลองต่างๆ 188
รูปที่ 4.49 ค่าความต้านทานอัตราการกรองของเมมเบรนในระบบ 190