การนำกลับน้ำเสียจากอาคารสูงมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนแบบจมตัว

นาย อริยะ เตกษณานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-13-0016-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- 5 มี.ค. 2546

I19849110

HIGH-RISE BUILDING WASTEWATER RECLAMATION USING THE SUBMERGED TYPE MF. - MEMBRANE BIOREACTOR SYSTEM

Mr . Ariya Tekasananont

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2000

ISBN 974-13-0016-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การนำกลับน้ำเสียจากอาคารสูงมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนแบบจมตัว

โดย นาย อริยะ เตกษณานนท์

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

อริยะ เตกษณานนท์ : การนำกลับน้ำเสียจากอาคารสูงมาใช้ใหม่โดยใช้ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนแบบจมตัว (High-rise Building Wastewater Reclamation Using The Submerged Type MF.-Membrane Bioreactor System.) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล, 188 หน้า. ISBN 974-13-0016-6

งานวิจัยนี้ดำเนินการโดยใช้ ไมโครฟิลเทรชันเมมบรนติดตั้งจมตัวในถังปฏิกรณ์ระบบเอ.เอส.เพื่อการนำกลับน้ำเสียจากอาคารสูงมาใช้ในกิจกรรมการอุปโภค เช่น การชำระโถส้วม ระบบหล่อเย็นปรับอากาศ การป้องกันอัคคีภัย และชำระชะล้างต่างๆ ฯลฯ โดยศึกษาความคงตัวในการทำงานของเมมเบรน ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษ ความเหมาะสมด้านคุณภาพน้ำและประเมินต้นทุนในการบำบัด พบว่า

การควบคุมระบบให้ค่าฟลักซ์คงที่ ความดันสูญเสียในระบบการกรองจะเป็นตัวบ่งบอกความคงตัวในการทำงานของเมมเบรน ค่าฟลักซ์ ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพที่เพิ่มสูงจะส่งผลกระทบต่อความดันสูญเสีย โดยมีระบบการสร้างแรงเฉือนต่อผิวหน้าเมมเบรนคือ การเติมและฉีดพ่นอากาศ และปั๊มหมุนเวียนน้ำภายใน ช่วยในการขจัดและชลอการสะสมตัวของสลัดจ์ที่ผิวหน้าเมมเบรน

ระบบสามารถกำจัดสารอินทรีย์ และไนโตรเจน ด้วยถังปฏิกรณ์เพียงถังเดียว โดยการเติมอากาศเป็นช่วงๆสร้างสภาวะสลับแอโรบิค และแอนนอกซิค โดยพบว่าเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเฉลี่ย 94-98% รอบเวลาการเติมอากาศ 120 นาที ให้ผลในการกำจัดไนโตรเจนสูงกว่าที่ 90 นาที และประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชั่น 41-93% แปรผันกับค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสีย 2.1-6.2 ผลต่างการสะสมเพิ่มของค่าทีเคเอ็น ไนเตรท ช่วงแอนนอกซิค แอโรบิค จากการถูกจำกัดปฏิกิริยาไนตริและดีไนตริฟิเคชันตามลำดับ จะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบเล็กน้อย ขึ้นอยู่กับรอบเวลาการเติมอากาศ ค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ และภาระบรรทุกทีเคเอ็น

ระบบสามารถกำจัดความขุ่น และของแข็งแขวนลอยได้มากกว่า 99% กำจัดซีโอดี 90% และไนโตรเจน 40-90% มีค่าสีเฉลี่ยในน้ำออก 0.9 SU. และไม่สามารถตรวจพบ ฟีคัลโคไลฟอร์มแบคทีเรีย ทำให้น้ำมีความปลอดภัยและมีสุนทรีย์ภาพในการใช้ ซึ่งเข้าเกณฑ์มาตราฐานคุณภาพน้ำนำกลับมาใช้เพื่อการอุปโภคของหน่วยงานที่มีผลการศึกษาที่น่าเชื่อถือของประเทศ สหรัฐฯ และญี่ปุ่น

ต้นทุนในการบำบัดต่อหน่วยปริมาตรมีค่าสูง เนื่องจากราคาเมมเบรนต่อหน่วยการบำบัดตลอดอายุใช้งาน และอุปกรณ์ประกอบมีต้นทุนแรกเริ่มสูงไม่ได้สัดส่วนกับกำลังผลิต ต้นทุนค่าพลังงานระบบเติมอากาศเป็นช่วงๆมีค่าสูง แต่มีต้นทุนค่าสารเคมีต่ำลงหลายเท่าตัว เทียบกับระบบเติมอากาศต่อเนื่อง

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต _____

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ปีการศึกษา 2543

##4070508121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : water reclamation / MBR. / nitrogen removal / intermittent aeration / anoxic-aerobic

ARIYA TEKASANANONT : HIGH-RISE BUILDING WASTEWATER RECLAMATION USING THE SUBMERGED TYPE MF.-MEMBRANE BIOREACTOR SYSTEM.

THESIS ADVISOR : ASSIST.PROF. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D.,188 pp.

ISBN 974-13-0016-6

This study is on the microfiltration membrane installed in the AS. system reactor for the use in high-rise building wastewater reclamation system. Treated water is intended for nonpotable uses, such as toilet flushing , cooling tower , fire fighting water reservoir ,washing purposes, etc. The experiment investigates the stability of the membrane process, the treatment efficiency , the quality of treated water and the approximate cost of treatment.

Keeping the flux constant, the pressure loss in the filtration system will indicate the stability of membrane process. When the flux , the organic load or MLVSS increases, pressure loss will be affected. The agitation creating shear force at the membrane's surface are made by aerator, jet aeration and internal circulation pump will help prevent or reduce the sludge deposit on the surface of the membrane.

The system can remove the organic and nitrogen only by single reactor. The intermittent aeration is applied to make possible the switching between the aerobic and anoxic condition. Findings are that the nitrification efficiency is 94-98%; 120 min. intermittent aeration period gives better result of nitrogen removal than of 90 min. ; the denitrification efficiency is 41-93% varied with COD/TKN ratio of 2.1-6.2 The accumulated differential of TKN and NO3 in anoxic and aerobic period resulted from nitrification and denitrification reaction-limited respectively, would slightly affect the efficiency of the system, depending on the aeration period , the retention time and TKN loading.

The system can remove higher than 99% of the turbudity and SS , 90% COD and 40-90% of nitrogen. Treated water has the average color intensity of 0.9 SU. and fecal coliform bacteria is not detectable. This makes it safe and aesthetic that have reached the standard quality of reclaimed water for nonpotable uses of the organizations having reliable study results in the environmental field in the US. and Japan.

The treatment cost per unit volume is very high because of high membrane cost per treatment capacity through its life time and the high initial cost of equipment that is not in a good match with the treatment volume. The intermittent aeration operating also makes the cost of the energy consumption higher, but makes the cost of chemical many times lower comparing to the continuous aeration operating.

Department of Environmental Engineering Student's signature _____

Field of study in Environmental Engineering Advisor's signature _____

Academic year 2000

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินงานวิจัย ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาตรวจสอบ และให้คำชี้แนะวิทยานิพนธ์จนสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณบริษัท มิตซูบิชิ เรยอนด์ (Mitsubishi Rayon CO.,LTD) ที่ให้การสนับสนุนผลิตภัณฑ์ไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนในงานวิจัย และ Mr.Taro Ishii ที่ช่วยประสานงานติดต่อติดตาม

ขอขอบพระคุณบริษัท เจ.ดี. ไทย เอ็นเทอร์ไพรส์ จำกัด (J.D.THAI ENTERPRISE CO.,LTD) ที่ให้การสนับสนุน เครื่องมืออุปกรณ์บางส่วน ช่างเทคนิค และพาหนะขนส่ง

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย กองทุนมูลนิธิ ชิน โสภณพานิช และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ช่วยสนับสนุนเงินทุนอุดหนุนงานวิจัยวิทยานิพนธ์บางส่วน

ขอขอบพระคุณกองงานอาคารคณะวิศวกรรมศาสตร์ บุคคลากรและแผนกช่างประจำอาคาร 4 วิศวกรรมศาสตร์ทุกท่าน ที่อำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่ชั้นใต้ดิน และให้คำปรึกษาต่างๆ

ขอขอบพระคุณศูนย์รักษาความปลอดภัยจุฬาลงกรณ์ และเจ้าหน้าที่รปภ.คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่อำนวยความสะดวก และรักษาความปลอดภัยเครื่องมือ อุปกรณ์ต่างๆ

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่อบรบสั่งสอน และให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณ เพื่อน รุ่นพี่และน้องทุกคน ที่ให้คำแนะนำ ช่วยเหลือ ห่วงใยซึ่งกันและกัน ตลอดการทำงาน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญเรื่อง ..... ช
สารบัญตาราง ..... ญ
สารบัญภาพ ..... ฒ
บทที่ 1 : บทนำ 1
1.1 วัตถุประสงค์ 3
1.2 ขอบเขตของงานวิจัย 3
บทที่ 2 : ทบทวนเอกสาร
2.1 การนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ (Wastewater Reclamation) 5
2.1.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสียกับการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ 5
2.1.2 เทคนิคการจัดการและการวางแผนระบบนำกลับน้ำเสีย มาใช้ใหม่ 7
2.1.3 ประเภทของกิจการที่ใช้น้ำจากการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ 9
2.1.4 การนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ในอาคารสูง 11
2.1.5 กระบวนการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ในอาคารสูง 14
2.2 การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการเอ.เอส. (Activated Sludge Process) 16
2.2.1 องค์ประกอบการทำงานของระบบเอ.เอส 16
2.2.2 หลักการออกแบบระบบเอ.เอส. 17
2.2.3. ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการทำงานของระบบเอ.เอส. 18
2.3 การกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสีย (Nitrogen Removal) 20
2.3.1 กระบวนการกำจัดไนโตรเจน 20
2.3.2 กระบวนการไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) 21
2.3.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น (Denitrification). 22
2.3.4 การประยุกต์กระบวนการเอ.เอส.ในการกำจัดไนโตรเจน 24
2.4 กระบวนการเมมเบรน (Membrane process) 26
2.4.1 เมมเบรนเทคโนโลยี 26
2.4.2 โมดูลชนิดต่างๆในกระบวนการเมมเบรน 28
2.4.3 กลไกการทำงานของเมมเบรน 32
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน 32
2.4.5 การพัฒนาเทคโนโลยีเมมเบรนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ 33

หน้า

2.5 ระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพที่มีไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนแบบจมตัว 37
(The Submerged Type MF - Membrane Bioreactor System (SMF.-MBR.))
2.5.1 หลักการและองค์ประกอบการทำงานของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ 37
2.5.2 ปัจจัยทางเทคนิคที่มีผลต่อการทำงานของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ 38
2.5.3 หลักการออกแบบระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ 39
2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 42
บทที่ 3 : แผนการทดลองและดำเนินการวิจัย 50
3.1 แผนการวิจัย 50
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 51
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองและแผนการเก็บน้ำเสีย 53
3.4 ส่วนประกอบและการควบคุมระบบ 54
3.5 ตัวแปรต่างๆในการทดลอง 57
3.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 58
3.7 พารามิเตอร์ที่จะทำการวิเคราะห์และการเก็บตัวอย่าง 60
3.8 ระยะเวลาในการดำเนินงานทั้งหมด 61
3.9 การประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียต่อหน่วยปริมาตรน้ำ 56
บทที่ 4 : ผลการทดลอง และบทวิเคราะห์ 57
4.1 แหล่งกำเนิด และผลการวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียจากอาคารสูง 57
4.2 ผลของค่าฟลักซ์และความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพต่อสถานะคงตัว (Steady state) 59
4.2.1 ค่าฟลักซ์ของไมโครฟิลเทรชันเมมเบรน 59
4.2.2 ความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพในถังปฏิกรณ์ 60
4.3 ผลของตัวแปรในการทดลอง ต่อการทำงานของไมโครฟิลเทรชันเมมเบรน 64
4.3.1 ผลของค่าเวลากักเก็บ และความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ 67
4.3.2 ผลของการเติมอากาศ ฉีดพ่นอากาศ ปั๊มหมุนเวียนน้ำภายใน และ 68
รอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆ
4.4 การบำบัดน้ำเสียอาคารสูงด้วยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์แบบเติมอากาศต่อเนื่อง 71
4.4.1 อุณหภูมิ และพีเอช 72
4.4.2 การกำจัดของแข็งแขวนลอย และ ความขุ่น 74
4.4.3 การกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของ ซีโอดี 77
4.4.4 ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น และการทำสมดุลมวลทีเคเอ็น 79

หน้า

4.5 การบำบัดน้ำเสียอาคารสูงด้วยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์แบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ 82
4.5.1 อุณหภูมิและพีเอช 84
4.5.2 การกำจัดของแข็งแขวนลอย และ ความขุ่น 90
4.5.3 การกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี 95
4.5.4 กลไกการกำจัดไนโตรเจนของระบบ 100
4.5.5 สมดุลมวลของไนโตรเจนทั้งหมด 103
4.5.6 ผลของรอบเวลาการเติมอากาศเป็นช่วงๆต่อการกำจัดไนโตรเจน 105
(การทดลองที่ 2 และ 3)
4.5.7 ผลของค่าเวลากักเก็บในถังปฏิกรณ์ ต่อการกำจัดไนโตรเจน 115
(การทดลองที่ 3 และ 4)
4.5.8 ผลของความเข้มข้นซีโอดีในน้ำเสียเข้า ต่อการกำจัดไนโตรเจน 124
(การทดลองที่ 4 และ 5)
4.5.9 ลักษณะของฟล็อคจุลชีพ และนิเวศน์โปรโตซัวในถังปฏิกรณ์ 133
4.5.10 การกำจัดฟีคัลโคไลฟอร์มแบคทีเรีย 135
4.5.11 จลศาสตร์สำหรับการออกแบบระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ 136
4.6 การนำน้ำทิ้งจากระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์กลับมาใช้เพื่อการอุปโภคในอาคารสูง 137
4.6.1 คุณภาพของน้ำทิ้งที่ระบบสามารถบำบัดได้ 138
4.6.2 มาตรฐานคุณภาพ และความเหมาะสมในการใช้น้ำ 138
4.7 การประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียด้วยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ 145
บทที่ 5 : สรุปผลงานวิจัย 148
5.1 บทสรุป 148
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยครั้งต่อไป 153
รายการอ้างอิง 154
ภาคผนวก 157
ภาคผนวก ก 158
ภาคผนวก ข 180
ภาคผนวก ค 182
ภาคผนวก ง 186
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 188

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ลักษณะของน้ำเสียจากอาคารประเภทต่างๆในกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล 6
2.2 ประเภทกิจการที่ใช้น้ำจากการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ 10
2.3 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์ของ ยูเอส.อีพีเอ. 13
2.4 มาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ในอาคารสูง ของประเทศญี่ปุ่น..... 13
2.5 หลักการออกแบบ (Design Criteria) สำหรับกระบวนการเอ.เอส..... 19
2.6 ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมระบบ เปรียบเทียบระหว่างระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ 41
คอนเวนชั่นนัล และ เอ็กเท็นด์ แอเรชั่น เอ.เอส.
2.7 รายละเอียดของอาคารพาณิชย์ที่มีการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ 47
2.8 ประสิทธิภาพของระบบนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ในกรณีศึกษา 49
3.1 รูปแบบการควบคุมการทำงานของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ในงานวิจัยนี้ 56
3.2 ลำดับขั้นในการดำเนินการทดลอง 60
3.3 รายละเอียดค่าพารามิเตอร์ที่จะทำการตรวจวิเคราะห์ 61
4.1 ลักษณะน้ำเสียจากอาคารสูง (อาคาร 4 วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย) 59
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ แรงดันในการกรอง และความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ 64
4.3 สรุปผลการทดลองที่ 1 ค่าเฉลี่ยที่สถานะคงตัว..... 71
4.4 ผลการเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิ ออกซิเจนละลาย และพีเอช ระหว่างการทดลอง 84
4.5 ผลวิเคราะห์ค่าของแข็งแขวนลอย และความขุ่น เฉลี่ยตลอดการทดลอง 90
4.6 ผลการทดลองการกำจัดสารอินทรีย์ในรูปของซีโอดี เฉลี่ยที่สถานะคงตัว 95
4.7 สรุปกลไกการกำจัดไนโตรเจนของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์แบบเติมอากาศเป็นช่วงๆ 101
4.8 สรุปผลการกำจัดไนโตรเจน การทดลองที่ 2 และ 3 เฉลี่ยที่สถานะคงตัว 105
4.9 ก. ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งออกตลอดรอบการทำงาน (Effluent Profile) การทดลองที่ 2 (มก./ล.) 111
4.9 ข. ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งออกครบรอบการทำงาน (Effluent Profile) การทดลองที่ 3 (มก./ล.) 114
4.10 สรุปผลการกำจัดไนโตรเจน การทดลองที่ 3 และ 4 เฉลี่ยที่สถานะคงตัว..... 116
4.11 ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งออกตลอดรอบการทำงาน (Effluent Profile) การทดลองที่ 4 (มก./ล.) 122
4.12 สรุปผลการกำจัดไนโตรเจน การทดลองที่ 4 และ 5 เฉลี่ยที่สถานะคงตัว..... 124
4.13 ผลวิเคราะห์น้ำทิ้งออกตลอดรอบการทำงาน (Effluent Profile) การทดลองที่ 5 (มก./ล.) 130
4.14 อัตราปฏิกิริยาการกำจัดซีโอดี ไนตริ-ดีไนตริฟิเคชั่น และการใช้ออกซิเจนของจุลชีพ 137
4.15 คุณภาพน้ำเฉลี่ย ที่ผ่านการบำบัดโดยระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์เพื่อการนำกลับมาใช้ใหม่ 138
4.16 แนวทางกำหนดคุณภาพน้ำขั้นต้น (Tentative Guidelines) ในการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ 139
4.17 ก. แนวทางพื้นฐานกำหนดคุณภาพน้ำ (Basic Guidelines) การนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ 139
4.17 ข. คุณภาพน้ำจากการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ เมืองโตเกียวและโอซาก้า (ญี่ปุ่น) 139

ตารางที่ หน้า

4.18 มาตรฐานคุณภาพน้ำชั่วคราว (Temporary standard) สำหรับการนำกลับน้ำเสียมาใช้ชำระ 140
โถส้วมเฉพาะอาคารเดี่ยว
4.19 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ (Criteria) การนำกลับน้ำเสียมาใช้ภายในอาคาร และคอมเพลกซ์ ... 140
4.20 คุณภาพน้ำทางเคมี การนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ในอาคารสูง แคลิฟอร์เนียร์ สหรัฐอเมริกา 140
4.21 หลักการกำหนดคุณภาพน้ำ (Criteria) และกระบวนการบำบัดสำหรับการนำกลับน้ำเสียมาใช้ ... 141
เพื่อการอุปโภค รัฐแคลิฟอร์เนีย และฟลอริดาร์ สหรัฐอเมริกา
4.22 รายการประเมินต้นทุนประกอบสร้าง และการทำงาน ชุดทดลองระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ ... 145
(ต้นแบบใช้งานจริง ไม่รวมส่วนที่เสียหาย ทิ้ง ยกเลิกไม่ใช้ ช่วงทดสอบการทำงานเบื้องต้น)
4.23 ขั้นตอนการคำนวณ และผลการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายบำบัดต่อหน่วยปริมาตรน้ำ 146
5.1 สรุปผลการทดลองเฉลี่ยที่สถานะคงตัว ประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษในน้ำเสียอาคารสูง ... 149

สารบัญภาพ

รูปที่ หน้า

2.1 ทางเลือกของระบบนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ 7
2.2 โครงข่ายของระบบสูบจ่ายน้ำที่นำกลับมาใช้ใหม่ในกิจกรรมต่างๆ 10
2.3 ระบบการใช้น้ำภายในอาคารสูงที่มีการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ 12
2.4 กระบวนการนำกลับน้ำเสียมาใช้ใหม่ในอาคาร 15
2.5 แผนผังการทำงานของระบบเอ.เอส. (Activated Sludge Process) 19
2.6 การกำจัดไนโตรเจนด้วย กระบวนการสลัดจ์ 3 และ 2 ขั้น (Triple & Dual Sludge Process) 24
2.7 ตัวอย่างกระบวนการกำจัดไนโตรเจนแบบรวม 25
2.8 ชนิดของเมมเบรนและช่วงขนาดอนุภาคสารต่างๆที่สามารถกักแยกได้ 27
2.9 โมดูลเมมเบรนชนิดท่อ (Tubular Membrane Module) 29
2.10 โมดูลเมมเบรนชนิดแผ่น (Plate and Frame Membrane Module) 29
2.11 โมดูลเมมเบรนชนิดม้วน (Spiral Wound Membrame Module) 30
2.12 ก. ลักษณะผิวของเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวง (Hollow Fiber) 30
2.12 ข. โมดูลเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงแบบติดตั้งในท่ออัด (Pressure Vessel) 31
2.12 ค. โมดูลเมมเบรนชนิดเส้นใยกลวงแบบติดตั้งจมใต้น้ำ (ไม่มีท่ออัด) 31
2.13 การกรองแนวตรง และแนวขวาง (Dead End and CrossFlow (Agitation) - Filtration) 34
2.14 การประยุกต์ใช้งาน ไมโครและอัลตร้า ฟิลเทรชันในการบำบัดน้ำเสีย 35
2.15 ตัวอย่างการออกแบบโมดูลยูนิต ,ท่อจ่ายอากาศ และการจัดวางในถังเติม 41
อากาศของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์
3.1 ส่วนประกอบ เมมเบรนโมดูลยูนิต ของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 53
3.2 ภาพแสดงชุดทดลองระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 55
3.3 ภาพแสดงถังปฏิกรณ์ของระบบเอสเอ็มเอฟ-เอ็มบีอาร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ 57
4.1 ก.-จ. การแปรเปลี่ยนความเข้มข้นสลัดจ์จุลชีพ (MLSS./MLVSS.) การทดลองที่ 1-5 62
4.2 ก.-จ. ฟลักซ์ และความดันสูญเสียรวมของไมโครฟิลเทรชันเมมเบรนการทดลองที่ 1-5. 65
4.3 การเปลี่ยนแปรค่าอุณหภูมิ และออกซิเจนละลายในถังปฏิกรณ์ การทดลองที่ 1 73
4.4 การแปรเปลี่ยนค่าพีเอชใน น้ำเสียเข้า ถังปฏิกรณ์ และน้ำทิ้ง การทดลองที่ 1 73
4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย การทดลองที่ 1 76
4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น การทดลองที่ 1 76
4.7 ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ การทดลองที่ 1 78
4.8 ประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น การทดลองที่ 1 (Continuous aeration). 78
4.9 สัดส่วนมวลของทีเคเอ็นภายในเซลล์จุลชีพ 81

รูปที่ หน้า

4.10 การกำจัดไนโตรเจนรวม(ทีเคเอ็นที่ถูกเซลล์ใช้ไป) การทดลองที่ 1 81
4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ช่วงเปลี่ยนสภาวะจากการเติมอากาศแบบต่อเนื่องมาเป็นช่วงๆ 83
4.12 ประสิทธภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น ช่วงเปลี่ยนสภาวะจากการเติมอากาศต่อเนื่องมาเป็นช่วงๆ ... 83
4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน ช่วงเปลี่ยนสภาวะจากการเติมอากาศแบบต่อเนื่องมาเป็นช่วงๆ. 83
4.14 ก.-ง. การแปรเปลี่ยนค่าอุณหภูมิ และดีโอ.ในถังปฏิกรณ์ การทดลองที่ 2-5 85
4.15 ก.-ง. การแปรเปลี่ยนค่าพีเอชใน น้ำเสียเข้า , ถังปฏิกรณ์ และน้ำทิ้ง การทดลองที่ 2-5 88
4.16 ก.-ง. ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอย การทดลองที่ 2-5 91
4.17 ก.-ง. ประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น การทดลองที่ 2-5 93
4.18 ก.-ง. ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ การทดลองที่ 2-5 97
4.19 ตัวอย่างรูปแบบผลวิเคราะห์ติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พี และดีโอ 102
ครบรอบการทำงาน 120 นาที
4.20 ตัวอย่างรูปแบบผลวิเคราะห์ติดตามการเปลี่ยนแปรค่า ทีเคเอ็น และไนเตรท 102
ครบรอบการทำงาน 120 นาที
4.21 ก.,ข. ประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น การทดลองที่ 2 ,3 รอบเวลา 90 120 นาที 106
4.22 ก.,ข. สัดส่วนมวลของทีเคเอ็นภายในเซลล์จุลชีพ การทดลองที่ 2 ,3 107
4.23 ก.,ข. ประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น และการกำจัดไนโตรเจนรวม การทดลองที่ 2 ,3 108
รอบเวลา 90 และ 120 นาที
4.24 ก.,ข. อัตรส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน การทดลองที่ 2,3 รอบเวลา 90,120 นาที 109
4.25 ก. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า โออาร์พี และออกซิเจนละลาย ครบรอบการทำงาน 112
การทดลองที่ 2 รอบเวลา 90 นาที เวลาักักเก็บ 24 ชม.
4.25 ข. ผลวิเคราะห์ค่าทีเคเอ็น และไนเตรท ในน้ำทิ้งครบรอบการทำงาน 112
การทดลองที่ 2 รอบเวลา 90 นาที เวลาักักเก็บ 24 ชม.
4.26 ก. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า โออาร์พี และออกซิเจนละลาย ครบรอบการทำงาน 113
การทดลองที่ 3 รอบเวลา 120 นาที เวลาักักเก็บ 24 ชม.
4.26 ข. ผลวิเคราะห์ค่าทีเคเอ็น และไนเตรท ในน้ำทิ้งครบรอบการทำงาน 113
การทดลองที่ 3 รอบเวลาเติมอากาศ 120 นาที เวลาักักเก็บ 24 ชม.
4.27 ก,ข. ประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น การทดลองที่ 3,4 เวลาักักเก็บ 24,16 ชม. 117
4.28 ก.,ข. ประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น และการกำจัดไนโตรเจนรวม 118
การทดลองที่ 3,4 รอบเวลา 120 นาที เวลาักักเก็บ 24,16 ชม.
4.29 สัดส่วนทีเคเอ็นภายในเซลล์จุลชีพ การทดลองที่ 4 118
4.30 ก.,ข. อัตรส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน การทดลองที่ 3,4 เวลาักักเก็บ 24,16 ชม. 119

รูปที่ หน้า

4.31 ก. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า โออาร์พี และออกซิเจนละลาย ครบรอบการทำงาน 121
การทดลองที่ 4 รอบเวลา 120 นาที เวลากักเก็บ 16 ชม.
4.31 ข. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปรค่า ทีเคเอ็น และไนเตรท ครบรอบการทำงาน 121
การทดลองที่ 4 รอบเวลา 120 นาที เวลากักเก็บ 16 ชม.
4.32 ก.,ข. ประสิทธิภาพปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น การทดลองที่ 4,5 ซีโอดีต่อทีเคเอ็น สูงและต่ำ 126
4.33 ก.,ข. ประสิทธิภาพปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น และการกำจัดไนโตรเจนรวม 127
การทดลองที่ 4,5 ซีโอดีต่อทีเคเอ็น สูงและต่ำ
4.34 สัดส่วนไนโตรเจนภายในเซลล์จุลชีพ การทดลองที่ 5 128
4.35 ก.,ข. อัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน การทดอลงที่ 4,5 ซีโอดีต่อทีเคเอ็น สูงและต่ำ 128
4.36 ก. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่า โออาร์พี และออกซิเจนละลาย ครบรอบการทำงาน 129
การทดลองที่ 5 ซีโอดีต่อทีเคเอ็นต่ำ
4.36 ข. ผลวิเคราะห์การเปลี่ยนแปรค่า ทีเคเอ็น และไนเตรท ครบรอบการทำงาน 129
การทดลองที่ 5 ซีโอดีต่อทีเคเอ็นต่ำ
4.37 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสีย และประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชั่น ... 132
สถานะคงตัวการทดลองที่ 4 และ 5 (รอบเวลาการเติมอากาศ 120 นาที ,เวลากักเก็บ 16 ชม.)
4.38 แนวโน้มสัดส่วนจุลชีพไนตริไฟอิ้งค์ ที่อัตราส่วนซีโอดีต่อทีเคเอ็นในน้ำเสียค่าต่างๆ 132
เปรียบเทียบระหว่างข้อมูลจาก "Metcalf" และผลการทดลองระบบ "MBR."
4.39 ลักษณะเม็ดฟล็อคการทดลองที่ 4 (เหมือนดังเช่นการทดลองที่ 5) 134
ก. โปรโตซัว "Stalked ciliate" ข. โรติเฟอร์ "Philodina roseola"
4.40 การเปรียบเทียบสี ความใส จากการสังเกตุ หลอดหมายเลข 1) น้ำเสีย 2)น้ำในถังปฏิกรณ์ 144
3) น้ำออก (น้ำนำกลับไปใช้ใหม่) 4) น้ำประปาผ่านกระบวนการรีเวอร์สออสโมซิส