การกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ ร่วมกับกระบวนไมโครฟิลเทรชั่นเมมเบรนแบบจมตัว

นางนัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4780-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COD, NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL USING BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL COUPLED WITH SUBMERGED MICROFILTRATION MEMBRANE PROCESS

Mrs. Nattakarn Prasertsung

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 2003

ISBN 974-17-4780-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ด้วยกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ ร่วมกับกระบวนการไมโครฟิลเทรชั่นเมมเบรนแบบจมตัว
โดย	นางนัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์
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.สุรพล สายพานิช)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

นัทกาญจน์ ประเสริฐสังข์ : การกำจัดซีโอดี ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ด้วยกระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ ร่วมกับกระบวนการไมโครฟิลเทรชั่นเมมเบรนแบบจมตัว. (COD NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL USING BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL COUPLED WITH SUBMERGED MICROFILTRATION MEMBRANE PROCESS)

อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล ,199 หน้า. ISBN 974-17-4780-2

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ระบบเอทรีเอ็มบีอาร์ (Anoxic-anaerobic-aerobic membrane bioreactor,A^3-MBR) บำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า ถึงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส และคุณภาพน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดเพื่อการนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญทางด้านวิศวกรรม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ในถังแอนนอกซิก ถังแอนแอโรบิก และถังแอโรบิก ดำเนินการทดลองที่ค่าอายุตะกอนคงที่ 40 วัน อัตราการแบ่งน้ำเสียเข้าถังแอนนอกซิกและแอนแอโรบิก เป็น1 ต่อ 3 อัตราการเวียนตะกอนจากถังแอโรบิกไปถังแอนนอกซิกเป็นร้อยละ 100 ค่าฟลักซ์การกรองของเมมเบรนคงที่ 15 ล./ตร.ม.-ชม.

ในงานวิจัยแบ่งออกเป็นการทดลอง 4 การทดลอง ซึ่งการทดลองที่ 1 ควบคุมระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอกซิก ถังแอนแอโรบิกและถังแอโรบิกเป็น 2, 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ การทดลองที่ 2 ควบคุมระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอกซิก ถังแอนแอโรบิกและถังแอโรบิกเป็น 1, 1 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ การทดลองที่ 3 ควบคุมระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอกซิก ถังแอนแอโรบิกและถังแอโรบิกเป็น 1, 2 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ การทดลองที่ 4 ควบคุมระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอกซิก ถังแอนแอโรบิกและถังแอโรบิกเป็น 2, 1 และ 4 ชั่วโมง ตามลำดับ

ผลการทดลองที่สภาวะคงตัว พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีร้อยละ 92-95 ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนร้อยละ 86-91 ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสร้อยละ 62-92 จากการทดลองพบว่าระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอกซิกและแอนแอโรบิกไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี แต่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส โดยที่ระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอกซิก 1 ชั่วโมง ระบบไม่สามารถกำจัดไนเตรทได้หมด ทำให้อัตราการคายฟอสฟอรัสของระบบต่ำ ขณะที่ระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิกมีผลต่อการอุดตันของเมมเบรน โดยระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอโรบิก 2 ชั่วโมง เมมเบรนมีการอุดตันมากกว่า ที่ 4 ชั่วโมง

จากการวิเคราะห์ค่าจลนศาสตร์ของแบคทีเรียพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของยิลด์ปรากฏเป็น 0.071 ก.เอ็มแอลวีเอสเอส/ก.ซีโอดี หรือเป็น 0.184 ก.เอ็มแอลวีเอสเอส/ก.บีโอดี

คุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดจากการทดลองที่ 1 มีความปลอดภัยและมีสุนทรียภาพในการใช้ชำระโถส้วมตามมาตรฐานคุณภาพน้ำนำกลับของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีค่าต้นทุนทั้งหมดต่อหน่วยปริมาตรการบำบัดเป็น 182 บาท/ลบ.ม. หากคิดเฉพาะค่าเดินระบบเป็น 67 บาท/ลบ.ม.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2546

4470369621 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : MBR / BNR / WATER REUSE / YIELD.

NATTAKARN PRASETSUNG : COD, NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL USING BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL COUPLED WITH SUBMERGED MICROFILTRATION MEMBRANE PROCESS. THESIS ADVISOR:ASSIST.PROF.CHAVALIT RATTANATAMSKUL, 199 pp. ISBN 974-17-4780-2

This research used Anoxic-anaerobic-aerobic membrane bioreactor, A^3-MBR to study the efficiencies of COD, TN and TP removal and wastewater reclamation from department-store wastewater and also to identify the engineering kinetic parameters. The objectives of this research were to reduce hydraulic detention time, HRT in anoxic, anaerobic and aerobic tank. Operated by keep sludge age for 40 days, distributed wastewater flow to anoxic : anaerobic at 1 : 3 , recycle sludge from aerobic tank to anoxic tank is 100% and keep the flux of membrane is 15 l/sq.m-h

The research was devided into 4 experiments. The first experiment is controlled by HRT in anoxic, anarobic and aerobic is 2 h., 2 h. and 4 h. respectively. The srcond experiment is controled by HRT in anoxic, anarobic and aerobic is 1 h., 1 h. and 4 h. respectively. The third experiment is controled by HRT in anoxic, anarobic and aerobic is 1 h., 2 h. and 4 h. respectively. The forth experiment is controled by HRT in anoxic, anarobic and aerobic is 2 h., 1 h. and 4 h. respectively.

The result of the experiment at steady state had shown that the effiiency of COD removal is 92-95%, the effiiency of TN removal is 86-91% and the effiiency of TP removal is 62-92%. HRT in anoxic tank and anaerobic tank is not effecttive to efficiency of COD removal. But effects on efficiency of TN and TP removal. At lower HRT for 1 h. in anoxic tank ,NO_3^- can not removed completlely. So it makes phosphorus release rate is lower. By the way, HTR in aerobic tank effecets on membrane clogging. Membrane clogging in aerobic tank that has HRT 4 h. is more slower than HRT 2 h.

Observed yield of this research is 0.071 g.MLVSS/g.COD or 0.184 g.MLVSS/g.BOD.

The effluent from experiment 1 is safety and aesthetic that have met the Japan water quality standard of reclaimed water for tiolet. The total cost per volume of wastewater treatment is 187 baht/cu.m and 67 baht /cu.m for operating cost.

Department Environmental Engineering Student's signature P. NaH.

Field of study Environmental Engineerin Advisor's signature Chavalit Rttt

Academic year 2003

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินการวิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ และทุนสนับสนุนในการทำวิจัยบางส่วน ตลอดจนถ่ายทอดความรู้จนงานวิจัยได้สำเร็จออกมา รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำสั่งสอนในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ช่วยให้การวิจัยนี้ดำเนินไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่ให้ทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ บุคลากรแผนกสุขาภิบาลและดับเพลิง ฝ่ายวิศวกรรมอาคารมาบุญครองเซ็นเตอร์ ทุกท่านที่อำนวยความสะดวก ในการใช้สถานที่ทำการวิจัย และให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ อย่างเต็มที่

ขอขอบคุณคุณนฤมล บริษัทธรรมสรณ์ จำกัด ที่ช่วยจัดหาอุปกรณ์ในการทำวิจัย ขอบคุณคุณหลินที่ช่วยพิมพ์งานวิจัย ขอบคุณรุ่นพี่และรุ่นน้องนิสิตภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่คอยกระตุ้นให้มีพลังในการต่อสู้ ขอบคุณคุณสมพร ประเสริฐสังข์ สามีที่น่ารักคอยเป็นกำลังใจและอยู่เคียงข้างผู้ทำการวิจัยเสมอมา และผู้ที่มีความสำคัญยิ่ง คือ น้องเมฆผู้ที่เป็นทั้งดวงใจและเป็นแรงใจที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินการวิจัยจนสำเร็จได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและแนวความคิด 4

2.1 ผลกระทบของไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่อสิ่งแวดล้อม 4

2.2 การกำจัดไนโตรเจน 6

2.2.1 กระบวนการไนตริฟิเคชั่น 8

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชั่น 8

2.2.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น 10

2.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น 12

2.3 การกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ 13

2.3.1 หลักการพื้นฐานการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ 13

2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ 18

2.4 การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ 33

2.4.1 รูปแบบการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ 33

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการ 37
2.5 เมมเบรนสำหรับการบำบัดน้ำเสีย 40
2.5.1 เมมเบรนเทคโนโลยี 40
2.5.2 โมดูลชนิดต่าง ๆ ในกระบวนการเมมเบรน 41
2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเมมเบรน 44
2.5.4 กระบวนการไมโครฟิลเทรชั่นชนิดจมตัวในถังปฏิกรณ์ทางชีวภาพ สำหรับการบำบัดน้ำเสีย 44
2.6 การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ 49
2.6.1 ประเภทและกิจกรรมของการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ 49
2.6.2 เทคโนโลยีการนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ 50
2.6.3 การนำน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ในห้างสรรพสินค้า 51
2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา 56
2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการใช้เมมเบรนในการบำบัดน้ำเสีย 56
2.6.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการกำจัดธาตุอาหาร 63
บทที่ 3 แผนการการทดลองและการดำเนินวิจัย 66
3.1 แผนการวิจัย 66
3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 68
3.3 หลักการทำงานของระบบ 68
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 69
3.5 การควบคุมระบบ 72
3.5.1 การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ 72
3.5.2 การควบคุมอายุตะกอนของระบบ 73

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.6 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่าง 74

บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิจารณ์ผล 77

4.1 การดำเนินการทดลอง 77

4.2 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล 98

4.2.1 ค่าพีเอช สภาพด่างและกรดไขมันระเหย 98

4.2.2 ค่าอุณหภูมิและออกซิเจนละลาย 99

4.2.3 ของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหยง่าย 100

4.3 ความเข้มข้นของจุลชีพในระบบ 101

4.4 การกำจัดซีโอดีและค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของระบบ 103

4.4.1 การกำจัดซีโอดีของระบบ 103

4.4.2 ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ (F/M Ratio) 105

4.5 การกำจัดไนโตรเจน 107

4.5.1 ปฏิกิริยาแอสซิมิเลชั่น (Assimilation) 107

4.5.2 การดุลมวลไนโตรเจนในระบบ (Mass Balance of Nitrogen) 109

4.5.3 ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่น (Nitrification) 111

4.5.4 ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น (Dinitrification) 115

4.6 การกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ 122

4.6.1 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบ 122

4.6.2 การคายฟอสฟอรัสของระบบ 122

4.6.3 การจับใช้ฟอสฟอรัสของระบบ 129

4.7 การควบคุมระบบการกรองเมมเบรน 132

4.8 การวิเคราะห์การนำน้ำทิ้งกลับไปใช้ประโยชน์ใหม่ 135

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9 การประเมินต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย 136
ด้วยระบบเอทรีเอ็มบีอาร์ (A^3-MBR)
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 141
5.1 สรุปผลการวิจัย 141
5.2 ข้อเสนอแนะในการนำข้อมูลไปใช้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย 142
5.3 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการวิจัย 143
รายการอ้างอิง 144
ภาคผนวก 151
ภาคผนวก ก วิธีหาค่าพารามิเตอร์จลน์ของระบบ 152
ภาคผนวก ข ตารางบันทึกผลการทดลอง 168
ภาคผนวก ค ขนาดฟล็อคในระบบ 185
ประวัติผู้เขียน 199

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 ผลกระทบของแหล่งคาร์บอนต่ออีบีพีอาร์ 19

2-2 ผลกระทบของแหล่งคาร์บอนต่ออีบีพีอาร์ 21

2-3 เปรียบเทียบกระบวนเมตาบอลิซึมของพีเอโอ กับ จีเอโอ 22

2-4 ผลของการลดอุณหภูมิที่มีต่อระบบอีบีพีอาร์ 25

2-5 พฤติกรรมของดีบีพี (DBP) และไม่ใช่ดีบีพี (non DBP) 29

2-6 รวบรวมอัตราส่วนประจุบวกต่อฟอสฟอรัส 32

2-7 สภาวะต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดธาตุอาหาร 33

2-8 ค่าที่ใช้ในการออกแบบกระบวนการกำจัดธาตุอาหาร 37

2-9 อัตราส่วนอาหารต่อไนโตรเจนหรือฟอสฟอรัส 38

2-10 อัตราส่วนบีโอดต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่ถูกกำจัด 39

2-11 อัตราส่วนค่าที่เหมาะสมในกระบวนการบีเอ็นอาร์ 39

2-12 ผลการกำจัดโคลิฟอร์มทั้งหมดด้วยระบบเอ็มบีอาร์ 47

2-13 แสดงลักษณะน้ำเสียจากอาคารประเภทต่าง ๆ ในกรุงเทพและปริมณฑล 51

2-14 สรุปลักษณะน้ำส้วม น้ำครัว และน้ำเสีย 52
และค่าสมมูลประชากรจากห้างสรรพสินค้า1

2-15 สรุปลักษณะน้ำส้วม น้ำครัว และน้ำเสีย (บำบัดแล้ว) 53
และค่าสมมูลประชากรจากห้างสรรพสินค้า1

2-16 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ในกิจกรรมที่สัมผัสกับมนุษย์ของยูเอสอีพีเอ 54

2-17 ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่นำกลับมาใช้ภายในอาคารของประเทศญี่ปุ่น 55

2-18 เปรียบเทียบระบบเอเอสและเอ็มบีอาร์ 58

2-19 แผนการทดลอง 59

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

2-20 คุณสมบัติน้ำเสียและการควบคุมระบบเอ็มบีอาร์ของ Chen และคณะ 63

3-1 จำนวนและรายละเอียดชุดการทดลอง 67

3-2 ขนาดถังในแต่ละชุดการทดลอง 70

3-3 การควบคุมการทำงาน 72

3-4 อายุตะกอนกับอัตราทิ้งตะกอนส่วนเกิน 74

3-5 จุดเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ตัวอย่าง 75

3-6 วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ 76

4-1 แสดงคุณสมบัติน้ำเสียเข้าระบบตลอดทั้งการวิจัย 77

4-2 ค่าพารามิเตอร์ของการทดลองที่เอชอาร์ที 78
ในถังแอนนอกซิก แอนแอโรบิก และแอโรบิก 2 ชม., 2 ชม. และ 2 ชม. ตามลำดับ

4-3 แสดงการวิเคราะห์ทางเมมเบรน 79

4-4 ค่าทางสถิติที่สำคัญของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในการทดลองที่สภาวะคงตัว 81

4-5 ค่าพีเอช สภาพด่าง และกรดไขมันระเหย ที่สภาวะคงตัวในแต่ละถัง 98

4-6 แสดงค่าอุณหภูมิ และออกซิเจนละลาย ที่สภาวะคงตัวในแต่ละถัง 99

4-7 ค่าของแข็งแขวนลอยที่เข้าระบบตลอดทั้งการวิจัย 100

4-8 ความเข้มข้นของจุลชีพที่สภาวะคงตัวในแต่ละถัง 101

4-9 ค่าความเข้มข้นของซีโอดีที่สภาวะคงตัว 103

4-10 ผลการทำสมดุลมวลของซีโอดีในระบบ 104

4-11 ค่าอัตราส่วนอาหารต่อจุลินทรีย์ของการทดลอง 106

4-12 สรุปค่าซีโอดีและทีเคเอ็นของระบบที่สภาวะคงตัว 107

4-13 แสดงผลการทำสมดุลมวลของทีเคเอ็นในปฏิกิริยาแอสซิมิเลชั่น 108

4-14 แสดงปริมาณไนโตรเจนที่หายไปจากระบบและร้อยละของของการกำจัดไนโตรเจน 110

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4-15 ค่าไนไตรท์ ไนเตรท และทีเคเอ็นที่สภาวะคงตัว 111

4-16 แสดงค่าทีเคเอ็นที่ลดลง ค่าไนไตรท์และไนเตรทที่เพิ่มขึ้นในถังแอโรบิก 113

4-17 แสดงค่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นจำเพาะ ของการทดลองแบบแบทช์ 114

4-18 ค่าสภาพด่างและทีเคเอ็นที่สภาวะคงตัว 115

4-19 สรุปค่าความเข้มข้นของไนเตรทที่สภาวะคงตัว 115

4-20 แสดงค่าไนไตรท์และไนเตรทที่ลดลงในถังแอนแอโรบิก 118

4-21 ค่าซีโอดี ไนไตรท์และไนเตรทที่ลดลงในถังแอนนอกซิกและแอยแอโรบิก 119

4-22 อัตราดีไนตริฟิเคชั่นจำเพาะในการทดลองแบบแบทช์ 120

4-23 สรุปค่าฟอสฟอรัสของระบบที่สภาวะคงตัว 122

4-24 ร้อยละของฟอสฟอรัสในเซลล์ที่สภาวะคงตัว 124

4-25 แสดงผลการทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัสในถังแอนนอกซิกและแอนแอโรบิก 126

4-26 ค่าซีโอดีและค่าฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นในถังแอนนอกซิกและแอนแอโรบิก 127

4-27 อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะ 128

4-28 แสดงการทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัสในถังแอโรบิก 130

4-29 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะ 131

4-30 คุณภาพน้ำทิ้งในงานวิจัยและมาตรฐานน้ำทิ้งที่นำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ 135

4-31 ต้นทุนค่าโครงสร้าง และวัสดุอุปกรณ์ ระบบเอทรีเอ็มบีอาร์ของการทดลองชุดที่ 1 137

4-32 ต้นทุนค่าดำเนินการระบบเอทรีเอ็มบีอาร์ของการทดลองชุดที่ 1 138

4-33 แสดงมูลค่าของเงินในปัจจุบันแยกตามรายปีที่ลงทุน 139

5-1 ค่าที่เสนอแนะในการออกแบบ ระบบบำบัดน้ำเสียจากศูนย์การค้า 142

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2-1	กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนทางชีวภาพ	7
2-2	ผลกระทบของอุณหภูมิต่ออายุตะกอนแอโรบิก	8
2-3	ผลกระทบของค่าความเป็นด่างต่อกระบวนการไนตริฟิเคชั่น	9
2-4	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดีไนตริฟิเคชั่นกับอุณหภูมิ	12
2-5	ความสัมพันธ์ระหว่างฟอสฟอรัสและสารอาหาร ในสภาวะแอนแอโรบิกและสภาวะแอโรบิกของกระบวนการบีพีอาร์	15
2-6	การเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสและบีโอดีที่เกิดขึ้น ในกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ	16
2-7	อีบีพีอาร์ตามแบบจำลองของ Comau-Wenzel	17
2-8	อีบีพีอาร์ตามแบบจำลองของ Mino	18
2-9	ผลของอัตราส่วน $TBOD_s$:TP	20
2-10	ผลของพีเอชที่มีต่ออีบีพีอาร์	26
2-11	ผลของเวลากักน้ำในสภาวะแอนแอโรบิกในระบบกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ	31
2-12	กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสต่างๆ A2/O, 5-Stage Bardenpho, UCT, VIP และ SBR	34
2-13	ชนิดของเมมเบรนและช่วงอนุภาคต่าง ๆ ที่สามารถกักแยกได้	41
2-14	Turbular Module	42
2.15	Plate and Frame	43
2-16	Hollow Fiber และ Spiral Wound Module	43
2-17	การกรองแบบอัดตัวแนวขวาง	45
2-18	ไดอะแกรมการทดลอง	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2-19 รูปแบบการทำงานของระบบเอ็มบีอาร์ 60

2-20 รูปแบบการทดลองของ Shin และ คณะ 61

2-21 ผังการทำงานในระบบเอ็มบีอาร์ของ Ahn และคณะ 62

2-22 ไดอะแกรมการทำงานของ Pai และคณะ 64

3-1 แสดง Flow Diagram ของระบบ A^3- MBR 68

3-2 ระบบที่ใช้ในงานวิจัย 68

3-3 ถังปฏิกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 70

3-4 เมมเบรนที่ใช้ในการทดลอง 71

3-5 อุปกรณ์การแบ่งน้ำเสีย 71

3-6 รูปแผงไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง 72

4-1 ค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดในการทดลอง 86

4-2 ลักษณะของตะกอนในระบบ 102

4-3 การทำสมดุลมวลของซีโอดี 103

4-4 การทำสมดุลมวลของไนโตรเจนถูกใช้ไปในปฏิกิริยาแอสซิมิเลชั่น (Assimilation) 107

4-5 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน 110
และระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์รวม

4-6 การแยกส่วนของถังแอโรบิกเพื่อทำสมดุลมวลของไนโตรเจน 112

4-7 การแยกส่วนถังแอนนอกซิกเพื่อทำสมดุลมวลของไนไตรท์และไนเตรท 116

4-8 การแยกส่วนถังแอนแอโรบิกเพื่อทำสมดุลมวลของไนไตรท์และไนเตรท 117

4-9 ความสัมพันธ์ระหว่าอัตราดีไนตริฟิเคชั่นจำเพาะ 120
กับระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์รวมของถังแอนนอกซิกและแอนแอโรบิก

4-10 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส 123
และผลรวมของระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ของถังแอนนอกซิกและแอนแอโรบิก

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4-11 การแยกส่วนถังแอนนอกซิกเพื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัส 124

4-12 การแยกส่วนถังแอนแอโรบิกเพื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัส 125

4-13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคายจำเพาะฟอสฟอรัส 128
กับระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์รวมของถังแอนนอกซิกและแอนแอโรบิก

4-14 การแยกส่วนถังแอโรบิกเพื่อทำสมดุลมวลของฟอสฟอรัส 129

4-15 ลักษณะการวางเมมเบรนตามคำแนะนำของบริษัทมิซซุบิชิเรยอน 133

4-16 ลักษณะเมมเบรนก่อนล้างและหลังล้าง 133

4-17 ค่าแรงดันของเมมเบรนตลอดทั้งการทดลอง 134

4-18 ความขุ่นของน้ำก่อนและหลังการบำบัด 136