กระบวนการถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่สลับกับถังกรอง

นายวิทูรย์ อึ้งประเสริฐ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2670-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I21043954

SEQUENCING MOVING BED REACTOR / FILTER PROCESS

Mr.Witoon Ungprasert

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 2002

ISBN 974-17-2670-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์	กระบวนการถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่สลับกับถังกรอง
โดย	นายวิทูรย์ อึ้งประเสริฐ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

วิทูรย์ อึ้งประเสริฐ : กระบวนการถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่สลับกับถังกรอง (SEQUENCING MOVING BED REACTOR / FILTER PROCESS)
อ.ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช, 174 หน้า.ISBN 974-17-2670-8

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้และประสิทธิภาพของการกำจัดสารอินทรีย์ของแข็งแขวนลอยและไนโตรเจนด้วยกระบวนการถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่สลับกับถังกรองซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ ประกอบด้วย 2 ถังปฏิกรณ์ ถังปฏิกรณ์แรกถูกเป่าอากาศเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ที่มีในน้ำเสีย หลังจากนั้นน้ำเสียจะเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ที่สองซึ่งไม่มีการเป่าอากาศทำหน้าที่เป็นถังกรองเพื่อไม่ให้เซลล์จุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นหลุดไปกับน้ำทิ้ง การทดลองนี้ใช้น้ำเสียจริงจาก อาคารชุดนิติบุคคล ปทุมวัน คอนโดมิเนียม เพลส เพื่อให้ได้ผลงานที่สามารถนำไปใช้งานได้ตามสภาพความเป็นจริง ในการทดลองได้ทำการแปรค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของส่วนที่เป็นถังปฏิกรณ์ 2 ค่าได้แก่ 6.67 และ 13.33 กก.ซีโอดี/ม^3.(ตัวกลางในถังปฏิกรณ์ทั้งหมด)-วัน และค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์ของส่วนที่เป็นถังกรอง 3 ค่า ได้แก่ 0.5 1.0 และ 2.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. ตามค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เปลี่ยนแปลง การทดลองนี้ประกอบด้วย 2 ถัง คือ ถังปฏิกรณ์และถังกรองมีขนาดเท่ากันปริมาณตัวกลางสารกรองที่ใช้สูงสุดเท่ากับร้อยละ 45 ของปริมาตรถังปฏิกรณ์ สารกรองที่ใช้สังเคราะห์ขึ้นจากพลาสติกชนิดโพลีไวนิลคลอไรด์(PVC) มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกกลวง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 3.9 มม. เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 7.0 มม. และความสูง 3.5 มม. การควบคุมระบบใช้ Programmable logic controller (PLC) มีระยะเวลาของรอบการทำงานเท่ากับ 4 ชม. โดยแบ่งระยะเวลาการทำงานเป็น 2 ช่วง คือ เวลาทำงานปกติ มีระยะเวลา 3 ชั่วโมง 50 นาที และ หยุดพักระบบเพื่อสลับการทำงานอีก 10 นาที มีการระบายตะกอนจุลินทรีย์ 2 ลิตร ในชั่วโมงที่ 2 ของการทำงาน

ผลการทดลองพบว่า เมื่อเดินระบบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 6.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันและภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.5 1.0และ2.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าบีโอดีไม่กรองเท่ากับ 19 18 และ 9 มก./ล.ตามลำดับ ของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 10 7และ3 มก./ล. และมีค่าทีเคเอ็นเท่ากับ 3.95 2.42และ1.29 มก./ล. ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน เมื่อเดินระบบที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 13.33 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันและภาระบรรทุกทางชลศาสตร์เท่ากับ 0.5 1.0และ2.0 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม. น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าบีโอดีไม่กรองเท่ากับ 80 48 และ 51 มก./ล.ตามลำดับ ของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 40 , 20และ 29 มก./ล. และมีค่าทีเคเอ็นเท่ากับ 13.42 21.90และ20.80 มก./ล.ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งชุมชน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต.....วิทูรย์ อึ้งประเสริฐ.....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....สุรพล สายพานิช.....
ปีการศึกษา 2545

##4270540321 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORDS : MOVING BED BIOFILM REACTOR/FIXED FILM / NITRIFICATION/ DENITRIFICATION/ NITROGEN REMOVAL

WITOON UNGPRASERT : SEQUENCING MOVING BED REACTOR/ FILTER PROCESS.

THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.SURAPOL SAIPANICH, DR.Ing.,174 pp.

ISBN 974-17-2670-8

The objective of this study was to study the feasibility and efficiency of organic carbon suspended solids and nitrogen removal by a new developed technology, Sequencing Moving Bed Reactor/Filter Process. This process consists of two reactors, i.e., the first one, called Moving Bed Reactor (MBR), is the aeration tank, responsed for organic carbon removal and the second one works as a filter to prevent biomass lost with the effluent. The experiments were devided into two parts, i.e., one is applied with organic loading rate of 6.7 kgCOD/m^3 (of media in MBR reactor) and another is 13.3 kgCOD/m^3 (of media in MBR reactor). Each of organic loading rate experiment was varied with three hydraulic loading rates of 0.5, 1.0 and 2.0 m^3/m^2-h (considered only filter reactor). All experiments were operated and fed with real domestic wastewater from Patumwan Condominium Place. Two reactors of the process had the same size and were controlled by Programmable Logic Controller (PLC). The cycle time of system was 4 hr, but the actual operation time was 3 hr 50 mins, the last 10 minutes was for switching reactors. The two litres of excess sludge was removed from the MBR reactor during the second hours of the cycle operation. The media was made of PVC and hollow cylindrical shape, it has inner diameter and outer diameter of 3.9 and 7 mm., respectively, and height of 3.5 mm.

For the organic loading rate 6.7 kgCOD/m^3(of media in MBR reactor), the results shown that the effluent BOD values of the experiments with the hydraulic loading rate of 0.5, 1.0 and 2.0 m^3/m^2-h were 19, 18 and 9 mg/l SS values were 10, 7 and 3 mg/l and TKN values were 4.0, 2.4 and 1.3 mg/l, respectively. These results were in compliance with the standard of domestic wastewater effluent. For the organic loading rate 13.3 kgCOD/m^3(of media in MBR reactor), the effluent BOD values were 80, 48 and 51 mg/l, SS values were 40, 20 and 29 mg/l and TKN values were 13.4, 21.9 and 20.8 mg/l for the hydraulic loading rate of 0.5, 1.0 and 2.0 m^3/m^2-h, respectively. These results were also in incompliant with the standard of domestic wastewater effluent.

Department Environmental Engineering Student's signature Witoon Ungprasert

Field of Study Environmental Engineering Advisor' s signature S. Saipanich

Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทาง รวมถึงข้อคิดเห็นต่างๆ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์ รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ที่ช่วยให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ขึ้น

ขอขอบคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้วิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ให้ความช่วยเหลือในระหว่างดำเนินการวิจัย

ขอขอบคุณกองทุนเพื่อการศึกษามูลนิธิชิน โสภณพนิช และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนให้ทุนในงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือด้วยดีตลอดมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา พี่และน้องสาวของผู้วิจัยซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจจนสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญ..... ช
สารบัญตาราง..... ฎ
สารบัญรูป..... ฐ
สารบัญภาพ..... ฒ
สัญลักษณ์และคำย่อต่างๆ..... ณ
บทที่
1.บทนำ..... 1
1.1ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์..... 2
1.3ขอบเขตการวิจัย..... 2
2.ทบทวนเอกสาร..... 3
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่
สลับกับถังกรอง..... 3
2.2กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบจุลินทรีย์ยึดติดตัวกลาง..... 4
2.2.1 กระบวนการที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์..... 4
2.2.2 กระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์..... 8
2.3 กลไกการกรองที่มีผลต่อถังกรองชีวภาพ..... 9
2.3.1 การดักอนุภาคแขวนลอยโดยตรง..... 9
2.3.2 การตกตะกอน..... 10
2.3.3 การกระทบเนื่องจากความเฉื่อย..... 10
2.3.4 การเคลื่อนที่แบบบราวเนี่ยน..... 11
2.3.5 โอกาสที่เกิดการสัมผัสกัน..... 11
2.3.6 การแพร่กระจาย..... 11
2.3.7 อิทธิพลของแรง แวน เดอร์วาลส์..... 11
2.3.8 อิทธิพลจากประจุไฟฟ้า..... 12

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับสมรรถนะของถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่..... 12
2.4.1 ตัวกลางกรอง.....12
2.4.2 ระบบการเติมอากาศ.....13
2.4.3 กระบวนการล้าง..... 13
2.4.4 ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์..... 14
2.4.5 ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ทางปริมาตร..... 14
2.4.6 ระยะเวลาสัมผัสน้ำเสียเมื่อไม่คิดตัวกลาง..... 14
2.5 ข้อดีและข้อเสียของระบบถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่..... 15
2.5.1 ข้อดีของระบบถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่.....15
2.5.2 ข้อเสียของระบบถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่.....16
2.6 รายงานและผลการวิจัยที่เกี่ยวกับถังกรองชีวภาพแบบเติมอากาศ..... 16
2.7 วิธีการกำจัดไนโตรเจน..... 22
2.7.1 วิธีการทางฟิสิกส์.....22
2.7.2 วิธีการทางเคมี.....22
2.7.3 วิธีการทางชีวภาพ..... 23
2.8 วิธีการกำจัดไนโตรเจนโดยใช้กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน..... 24
2.8.1 กระบวนการ Ammonification.....25
2.8.2 กระบวนการ Assimilation..... 25
2.9 กระบวนการไนตริฟิเคชัน..... 25
2.9.1 จลน์ศาสตร์ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน.....26
2.9.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน..... 28
2.10 รายงานและผลการวิจัยที่เกี่ยวกับระบบไนตริฟิเคชัน
แบบถังกรองชีวภาพเติมอากาศ.....32
2.11 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน..... 33
2.11.1 กระบวนการ Assimilation..... 33
2.11.2 กระบวนการ Dissimilation.....33
2.11.3 จลน์ศาสตร์ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน..... 35
2.11.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....36

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.12 รายงานและผลการวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน..... 39
3.แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....41
3.1 แผนการวิจัย.....41
3.2 ขั้นตอนการวิจัย 41
3.2.1 ตัวแปรกำหนด 42
3.2.2 ตัวแปรอิสระ 42
3.3.3 ตัวแปรตาม..... 42
3.3 อัตราการจ่ายน้ำเสีย.....42
3.4 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....44
3.5 เครื่องมือและอุปกรณ์.....44
3.6 ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของระบบแบบอัตโนมัติ..... 47
3.7 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์..... 50
3.7.1 การเก็บตัวอย่าง.....50
3.7.2 วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ..... 50
3.7.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างตัวกลางกรอง.....52
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 54
4.1 การดำเนินการทดลอง..... 54
4.2 อัตราการทิ้งของแข็ง 58
4.3 ค่าอายุตะกอน 58
4.4 การหาค่าพารามิเตอร์จลน์.....60
4.5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....64
4.5.1 ค่าความเป็นกรดด่าง.....64
4.5.2 ค่าอุณหภูมิ.....66
4.5.3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ.....68
4.5.4 ค่าซีโอดีและค่าบีโอดี.....70
4.5.5 ค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยระเหย..... 79
4.5.6 ค่าแอมโมเนีย, ทีเคเอ็นและไนโตรเจนรวม..... 84
4.5.7 ค่าไนไตร์ตและไนเตรต.....94

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.6 ลักษณะของแบคทีเรียที่พบในระบบ.....99
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 104
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 104
5.1.1 ถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่และประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ..104
5.1.2 ถังกรองและประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ.....105
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 105
6. ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม..... 106
รายการอ้างอิง.....108
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. 113
ภาคผนวก ข. 170
ภาคผนวก ค. 172
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....174

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD / TKN ต่อสัดส่วนของไนตริไฟอิ้ง.....31
ตารางที่ 2.2 ปริมาณแอมโมเนียมและไนไตรท์ที่ยับยั้งจุลินทรีย์ไนโตรแบคเตอร์
ที่ pH ต่างๆ..... 31
ตารางที่ 2.3 ค่าคงที่ทางจลน์ศาสตร์สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....36
ตารางที่ 3.1 ค่าภาระบรรทุกทางชลศาสตร์และค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัย.....41
ตารางที่ 3.2 อัตราการจ่ายน้ำเสียและน้ำประปา..... 44
ตารางที่ 3.3 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ของพารามิเตอร์ที่ต้องวิเคราะห์.....51
ตารางที่ 3.4 วิธีวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ.....52
ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานแต่ละชุดการทดลองในช่วงสภาวะคงตัว.....56
ตารางที่ 4.2 ค่าอัตราการทิ้งของแข็งต่อการกำจัดซีโอดีของทุกชุดการทดลอง.....59
ตารางที่ 4.3 การคำนวณหาค่าอายุตะกอนของทุกชุดการทดลอง.....61
ตารางที่ 4.4 การคำนวณค่า U ตามอายุตะกอน.....62
ตารางที่ 4.5 สรุปค่าพีเอชในตำแหน่งต่างๆของระบบที่สภาวะคงตัว..... 64
ตารางที่ 4.6 ค่าอุณหภูมิในตำแหน่งต่างๆของระบบที่สภาวะคงตัว..... 66
ตารางที่ 4.7ค่าออกซิเจนละลายน้ำในตำแหน่งต่างๆของระบบที่สภาวะคงตัว.....68
ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียเข้า(หน่วย : มก./ล.)..... 70
ตารางที่ 4.9 สรุปค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว
พร้อมประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ..... 74
ตารางที่ 4.10 สรุปค่าบีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว
พร้อมประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ..... 76
ตารางที่ 4.11 ค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบและ
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีในแต่ละถัง.....78
ตารางที่ 4.12 ค่าของแข็งแขวนลอย , ของแข็งแขวนลอยระเหย และ
อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยต่อของแข็งแขวนลอยระเหยแต่ละตำแหน่ง
ของระบบที่สภาวะคงตัว.....79
ตารางที่ 4.13 ประสิทธิภาพการกำจัดของแข็งแขวนลอยและ
ของแข็งแขวนลอยระเหยของถังกรอง..... 79

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.14 สรุปค่าแอมโมเนีย , ทีเคเอ็นและไนโตรเจนรวมในแต่ละตำแหน่ง
ของระบบที่สภาวะคงตัวและค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ.....84
ตารางที่ 4.15 สรุปค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์..... 90
ตารางที่ 4.16 สัดส่วนมวลไนโตรเจนต่อมวลจุลินทรีย์..... 91
ตารางที่ 4.17 การเกิด Assimilation 93
ตารางที่ 4.18 การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน..... 93
ตารางที่ 4.19 สรุปค่าไนไตร์ตและไนเตรตในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว.....94
ตารางที่ 4.20 การเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังกรอง.....97

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 กระบวนการเคลื่อนย้ายภายในผิวชั้นฟิล์มจุลินทรีย์แบบหลายพันธ์.....4
รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั้งในชั้นของเหลว
และชั้นฟิล์มชีวภาพ..... 5
รูปที่ 2.3 ค่าระดับออกซิเจนในชั้นของเหลวและชั้นฟิล์มจุลินทรีย์
แบบออโตโทรบ-เฮทเทอโรโทรบภายใต้ความเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน..... 6
รูปที่ 2.4 ลักษณะชั้นเมือกจุลินทรีย์ในกรณีความเข้มข้นสารอินทรีย์และออกซิเจน..... 6
รูปที่ 2.5 สภาพขาดแคลนสารอินทรีย์ และ/หรือ ออกซิเจนในระบบบำบัดน้ำเสีย
แบบใช้เมือกจุลินทรีย์.....7
รูปที่ 2.6 ปฏิกิริยาของกระบวนการแลกเปลี่ยนอิเลคตรอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์..... 8
รูปที่ 2.7 เส้นทางการแปลงรูปและกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจน.....25
รูปที่ 2.8 แบบจำลองทางทฤษฎีของผิวฟิล์มจุลินทรีย์.....28
รูปที่ 2.9 ผลกระทบจากค่าความเป็นกรดด่างต่ออัตราไนตริฟิเคชัน.....30
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดีไนตริฟิเคชันกับค่า pH.....38
รูปที่ 2.11 ผลกระทบของอุณหภูมิต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน..... 38
รูปที่ 3.1 อัตราการสูบจ่ายน้ำเสียและน้ำประปา..... 43
รูปที่ 3.2 รายละเอียดถังปฏิกรณ์/ถังกรอง..... 46
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานที่ 1 วัฏจักรของระบบ.....48
รูปที่ 4.1 ดุลย์มวลไนโตรเจนของระบบ.....57
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง $1/\theta_c$ กับ U.....63
รูปที่ 4.3 พีเอชของทุกชุดทดลองการทดลอง..... 65
รูปที่ 4.4 อุณหภูมิของทุกชุดการทดลอง.....67
รูปที่ 4.5 ออกซิเจนละลายน้ำของทุกชุดการทดลอง.....69
รูปที่ 4.6 ซีโอดีของชุดการทดลองต่างๆ..... 71
รูปที่ 4.7 บีโอดีของชุดการทดลองที่ 1-3.....72
รูปที่ 4.8 บีโอดีของชุดการทดลองที่ 4-6.....73
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างซีโอดีและบีโอดีของน้ำเสียเข้า.....74
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และ
ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์กับอัตราการกำจัดซีโอดีของระบบ.....74

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างผลของภาระบรรทุกสารอินทรีย์และ
ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์กับอัตราการกำจัดบีโอดีของระบบ.....76
รูปที่ 4.12 ของแข็งแขวนลอยของทุกชุดการทดลอง.....81
รูปที่ 4.13 ของแข็งแขวนลอยระเหยของทุกชุดการทดลอง..... 82
รูปที่ 4.14 อัตราส่วนของแข็งแขวนลอยระเหยต่อของแข็งแขวนลอย
ของทุกชุดการทดลอง.....83
รูปที่ 4.15 แอมโมเนียของทุกชุดการทดลอง.....85
รูปที่ 4.16 ทีเคเอ็นของทุกชุดการทดลอง.....86
รูปที่ 4.17 ไนโตรเจนรวมของทุกชุดการทดลอง.....87
รูปที่ 4.18 การหาประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์.....89
รูปที่ 4.19 สมดุลมวลไนโตรเจนเพื่อหาAssimilation.....92
รูปที่ 4.20 ไนไตร์ตของทุกชุดการทดลอง.....95
รูปที่ 4.21 ผลรวมของไนไตร์ตและไนเตรตของทุกชุดการทดลอง.....96
รูปที่ 4.22 การหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน.....97
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกทางชลศาสตร์และ
ภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังกรอง.....98

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 3.1 ตัวกลางสารกรอง.....47
ภาพที่ 3.2 การทำงานของระบบ.....49
ภาพที่ 4.1 ลักษณะของตัวกลางก่อนใช้งาน.....99
ภาพที่ 4.2 ลักษณะจุลินทรีย์เกาะติดตัวกลาง.....100
ภาพที่ 4.3 ลักษณะจุลินทรีย์ในน้ำตะกอน.....102

สัญลักษณ์และคำย่อต่าง ๆ

MBR	=	ถังปฏิกรณ์ชนิดสารกรองเคลื่อนที่
FIL	=	ถังกรอง
HLR	=	ภาระบรรทุกทางชลศาสตร์
OLR	=	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์
HRT	=	ระยะเวลาเก็บกัก
N	=	ความเข้มข้นของแอมโมเนีย
TN	=	ความเข้มข้นของไนโตรเจนรวม
NI	=	การเกิดไนตริฟิเคชัน
NIR	=	อัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน
DN	=	การเกิดดีไนตริฟิเคชัน
DNR	=	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน
AS	=	การใช้แอมโมเนียเป็นธาตุอาหารเสริมในการสร้างเซลล์
I	=	น้ำเสียเข้าระบบ
W	=	การทิ้งตะกอนจุลินทรีย์
Q	=	อัตราการไหล
S	=	ความเข้มข้นสารอาหาร ซีโอดี , บีโอดี
R	=	อัตราการกำจัดซีโอดี , บีโอดี
TL	=	ภาระบรรทุกทีเคเอ็น