การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เครื่องกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด

นายวรชัย วงศ์กิจรุ่งเรือง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-2519-1
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I20880443

DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT USING MULTIPLE LAYER MEDIA FILTER

Mr. Worrachai Wongkitrungruang

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 974-17-2519-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เครื่องกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด
โดย	นายวรชัย วงศ์กิจรุ่งเรือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเธียร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรชัย วงศ์กิจรุ่งเรือง : การบำบัดน้ำเสียชุมชนโดยใช้เครื่องกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด (Domestic Wastewater Treatment using Multiple Layer Media Filter)
อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุธา ขาวเธียร, อ. ที่ปรึกษาร่วม : รศ.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์, 156 หน้า. ISBN 974-17-2519-1.

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์เครื่องกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิดสำหรับใช้บำบัดน้ำเสียชุมชน โดยน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียจริงจากชุมชนร่วมกันสร้าง การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ทำการแปรค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3 ค่า คือ 0.38, 0.67 และ 0.97 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ถังกรองที่ใช้มีขนาด 1.0 x 5.0 x 1.2 ม. แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย เศษขวดพลาสติก เศษไม้ เศษคอนกรีต ถ่านเคลือบไคโตแซน เศษเปลือกหอย และถ่านไม้ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเศษวัสดุเหลือใช้ที่หาได้ง่ายตามชุมชน

ผลการทดลองพบว่าที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.38, 0.67 และ 0.97 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 83.21, 70.26 และ 56.15% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีเท่ากับ 90.48, 81.07 และ 78.15% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 89.85, 75.89 และ 75.14% ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นเท่ากับ 71.28, 2.84 และ 5.13% ตามลำดับ จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นได้ว่าที่ค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.67 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบยังคงกำจัดซีโอดีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนจะลดลงมาก จึงสามารถสรุปได้ว่าค่าภาระบรรทุกสารอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบนี้ คือที่ 0.38 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ระบบมีอัตราการทิ้งของแข็ง (Observed Yield) ประมาณ 0.17 - 0.19 กก.เอสเอส/กก.ซีโอดีที่ถูกกำจัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียทั้งหมด 5.06 บาท/ลบ.ม. ในขณะที่ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบคือ 1.52 บาท/ลบ.ม. ซึ่งใกล้เคียงกับค่าดำเนินการของระบบบำบัดน้ำเสียอื่น.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4270514021 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: WASTEWATER / BIOFILTRATION / AERATED FILTER / ACTIVATED CARBON

WORRACHAI WONGKITRUNGRUANG : DOMESTIC WASTEWATER TREATMENT USING MULTIPLE LAYER MEDIA FILTER. THESIS ADVISOR : DR. SUTHA KHAODHIAR, Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. ORATHAI CHAVALPARIT, M.Sc., 156 pp. ISBN 974-17-2519-1.

The purpose of this study was to investigate the applications of multiple layer media filter for treating domestic wastewater. Wastewater at Ruamkansang village, Bangkapi Bangkok, was used in this research. This research was divided into 3 experimental sets by varying organic loading rates of 0.38, 0.67 and 0.97 kg.COD/m^3-day, respectively. The filter had 1.0x5.0x1.2 m. in size and splited into 5 parts. The media were pierced small PET bottles, leaves and dead trees, concrete rubbish, chitosan-coated charcoal, oyster shell and ordinary charcoal

The experimental results showed that for the operation of the multiple layer media filter system at organic loading rate of 0.38, 0.67 and 0.97 kg.COD/m^3-day, the COD removal efficiency was 83.21, 70.26 and 56.15%, respectively. The BOD removal efficiency was 90.48, 81.07 and 78.15%, respectively. The SS removal efficiency was 89.85, 75.89 and 75.14%, respectively. The TKN removal efficiency was 71.28, 2.84 and 5.13%, respectively. The result of experiments indicated that at organic loading 0.67 kg.COD/m^3-day the COD removal still effective but the nitrogen removal was not effective. The experiment can be concluded that the appropriate organic loading for this system in effective removal of COD and TKN should be 0.38 kg.COD/m^3-day. Observed Yield was in the range of 0.17-0.19 kg.SS/kg.COD-removal. Total wastewater treatment cost was 5.06 baht/m^3 and operating cost was 1.52 baht/m^3 that closed to other wastewater treatment system.

Department Environmental Engineering
Field of Study Environmental Engineering
Academic year 2002

Student's signature .....Worrachai Wongkitrungruang.....
Advisor's signature .....
Co-Advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเธียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งเป็นผู้ชี้แนะแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ผู้ซึ่งชี้แนะถึงปัญหาและข้อบกพร่องให้แก่ผู้วิจัย เพื่อมีแนวทางการทำวิจัยได้ชัดเจน และถูกต้องมากขึ้น รวมทั้งคณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยสามารถใช้ประโยชน์ร่วมในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณกัลยา สุนทรวงศ์สกุล และพี่ๆ น้องๆ ที่สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความช่วยเหลือในทุกด้าน ตั้งแต่การติดตั้งระบบ จนถึงอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ คุณธนพล ผู้นำชุมชนร่วมกันสร้าง รวมทั้ง คุณทวี และคุณถวัลย์ ที่ให้ความช่วยเหลือด้านสถานที่ และให้ความร่วมมืออย่างมากในด้านต่างๆ มาโดยตลอด

ขอขอบคุณ ปุ๋ย ที่ให้กำลังใจ และคำปรึกษาในด้านการทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ชวน ตี๋ ตุล และ ใหม่ สำหรับคำปรึกษาทางด้านวิชาการ และขอขอบคุณ ต๋อย หนุ่ย ก้อง โอ แอร์ และน้องๆ ทุกคน ที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ตลอดจนผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามไว้ ณ ที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลืออย่างมากในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอแสดงความขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชินโสภณพนิช ที่สนับสนุนเงินทุนในการทำวิทยานิพนธ์

ท้ายสุดนี้ คุณความดี หรือประโยชน์ทั้งหมด ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมมอบให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุดของผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูป ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฐ

บทที่ 1. บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

บทที่ 2. ทบทวนเอกสาร 3

2.1 น้ำเสียชุมชน 3

2.2 ถังกรองไร้อากาศ 3

2.3 ถังกรองชีวภาพเติมอากาศ 11

2.4 ระบบบำบัดร่วมถังกรองแบบแอนแอโรบิกและแอโรบิก 18

2.5 แนวความคิดของระบบการกรองแบบผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด 20

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 28

บทที่ 3. วิธีดำเนินการวิจัย 32

3.1 แผนการวิจัย 32

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย 33

3.3 การเก็บตัวอย่างและการตัวอย่าง 39

3.4 วิธีการวิเคราห์ 40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 4. ผลการทดลองและวิจารณ์ 41
4.1 การดำเนินการทดลอง 41
4.2 การเริ่มต้นเดินระบบ 41
4.3 ลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง 42
4.4 ผลการทดลอง 42
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง 61
4.6 อัตราการทิ้งของแข็ง 82
4.7 ค่าอายุตะกอน 83
4.8 การหาค่ายิลด์ 84
4.9 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบ 86

บทที่ 5. ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม 88

บทที่ 6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ 90
6.1 สรุปผลการทดลอง 90
6.2 ข้อเสนอแนะ 91

รายการอ้างอิง 93
บรรณานุกรม 98
ภาคผนวก 100
ภาคผนวก ก การหาคุณสมบัติของตัวกลาง 101
ภาคผนวก ข ตารางแสดงข้อมูลผลการทดลอง 104
ภาคผนวก ค ภาพประกอบ 152
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 156

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 3.1 แสดงลักษณะทางกายภาพของตัวกลาง 32

ตารางที่ 3.2 การแปรค่าภาระบรรทุกชลศาสตร์ โดยการควบคุมอัตราการจ่ายน้ำเสีย เข้าสู่ถังกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด 33

ตารางที่ 3.3 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียชุมชน จากบ่อพักน้ำเสียรวม ชุมชนร่วมกันสร้าง เขตบางกะปิ 36

ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์ต่างๆ 39

ตารางที่ 3.5 แสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของตัวอย่างน้ำเสีย 40

ตารางที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพที่สำคัญของตัวกลาง 42

ตารางที่ 4.2 แสดงพื้นที่ผิวตัวกลาง และค่าภาระบรรทุกในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1 43

ตารางที่ 4.3 แสดงพื้นที่ผิวตัวกลาง และค่าภาระบรรทุกในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2 44

ตารางที่ 4.4 แสดงพื้นที่ผิวตัวกลาง และค่าภาระบรรทุกในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3 45

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่างๆในชุดการทดลองที่ 1 46

ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่างๆในชุดการทดลองที่ 2 51

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่างๆในชุดการทดลองที่ 3 56

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 61

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 62

ตารางที่ 4.10 สรุปค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 63

ตารางที่ 4.11 สรุปค่าสภาพด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 64

ตารางที่ 4.12 สรุปค่าของแข็งแขวนลอย และ VSS/SS ในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 66

ตารางที่ 4.13 สรุปค่าซีโอดีทั้งหมด และค่าซีโอดีกรอง ในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 67

ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีกรอง ในแต่ละตำแหน่งของระบบ 70

ตารางที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและค่าบีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ 70

หน้า

ตารางที่ 4.16 สรุปค่าบีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 71
ตารางที่ 4.17 สรุปค่าแอมโมเนีย อินทรีย์ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และไนเตรท ในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 73
ตารางที่ 4.18 สรุปค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังปฏิกรณ์ 75
ตารางที่ 4.19 การเกิด Assimilation 76
ตารางที่ 4.20 การกำจัดบีโอดีและอัตราส่วนบีโอดีต่อแอมโมเนีย ในการสร้างเซลล์ในถังปฏิกรณ์ 77
ตารางที่ 4.21 การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน 79
ตารางที่ 4.22 การเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังกรอง 81
ตารางที่ 4.23 สรุปค่าฟอสฟอรัสในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 81
ตารางที่ 4.24 แสดงค่าอัตราการทิ้งของแข็งต่อการกำจัดซีโอดีของทุกชุดการทดลอง 83
ตารางที่ 4.25 แสดงการคำนวณหาค่าอายุตะกอนของทุกชุดการทดลอง 84
ตารางที่ 4.26 แสดงผลการคำนวณค่า U ตามอายุตะกอน 85
ตารางที่ 4.27 ค่าใช้จ่ายในการบำบัดของระบบ 86
ตารางที่ 4.28 ขั้นตอนการคำนวณ และผลการประเมินต้นทุนค่าใช้จ่าย 87
ตารางที่ 5.1 แสดงค่าซีโอดีเทียบต่อค่าไนโตรเจนในแต่ละตำแหน่งของระบบ 89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 ถังกรองไร้อากาศ 4

รูปที่ 2.2 ถังกรองชีวภาพเติมอากาศ 11

รูปที่ 2.3 กระบวนการบำบัดน้ำเสียร่วมถังกรองแบบแอนแอโรบิกและแอโรบิก 19

รูปที่ 2.4 ประสิทธิภาพบำบัดน้ำเสียของระบบถังกรองแบบไร้อากาศและใช้อากาศ 20

รูปที่ 2.5 จุลชีพในโพรงของถ่านเคลือบไคโตแซน 28

รูปที่ 3.1 แสดงภาพตัดของ ถังกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด 34

รูปที่ 3.2 แสดงรายละเอียดการติดตั้งตัวกลาง 38

รูปที่ 4.1 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ พีเอช และสภาพด่าง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 47

รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าซีโอดี ซีโอดกรอง บีโอดี และบีโอดีกรอง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 48

รูปที่ 4.3 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอย แอมโมเนียไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจน ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 49

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงค่าเจดาห์ลไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 50

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ พีเอช และสภาพด่าง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2 52

รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าซีโอดี ซีโอดกรอง บีโอดี และบีโอดีกรอง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2 53

รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอย แอมโมเนียไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจน ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2 54

รูปที่ 4.8 กราฟแสดงค่าเจดาห์ลไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2 55

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายน้ำ อุณหภูมิ พีเอช และสภาพด่าง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 57

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงค่าซีโอดี ซีโอดกรอง บีโอดี และบีโอดีกรอง ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 58

บทที่ หน้า

รูปที่ 4.11 กราฟแสดงค่าของแข็งแขวนลอย แอมโมเนียไนโตรเจน และอินทรีย์ไนโตรเจน ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 59
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าเจดาห์ลไนโตรเจน ไนเตรทไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ที่ระยะเวลาต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 60
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละตำแหน่งของระบบ 62
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ 63
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบ..... 64
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าสภาพด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ..... 65
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าของแข็งแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ 66
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ของแต่ละชุดการทดลอง 68
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ..... 69
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีโอดีและค่าบีโอดีของน้ำเสียเข้าระบบ..... 70
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าบีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ 72
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงค่าแอมโมเนียไนโตรเจน อินทรีย์ไนโตรเจน ทีเคเอ็น และไนเตรท ในแต่ละตำแหน่งของระบบ 74
รูปที่ 4.23 การแยกส่วนถังปฏิกรณ์ออกจากระบบรวมเพื่อหาประสิทธิภาพ การกำจัดแอมโมเนีย 75
รูปที่ 4.24 สมดุลมวลไนโตรเจนเพื่อหา Assimilation 76
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างภาระบรรทุกสารอินทรีย์กับ Assimilation 77
รูปที่ 4.26 สมดุลมวลทีเคเอ็นรอบถังปฏิกรณ์..... 78
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ของการเกิดไนตริฟิเคชันกับภาระบรรทุกสารอินทรีย์..... 79
รูปที่ 4.28 การแยกถังกรองออกจากระบบ เพื่อหาอัตราการเกิดดิไนตริฟิเคชัน..... 80
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงฟอสฟอรัสทั้งหมดในแต่ละตำแหน่งของระบบ..... 82
รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนกลับอายุตะกอน ($1/\theta_c$) กับอัตราการใช้สารอาหารเทียบกับมวลจุลชีพทั้งหมดในถังกรอง (U) 85

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า

ภาพที่ 3.1 ถังกรองผสมชั้นตัวกลางหลายชนิด บันทึกภาพจากสถานที่จริง 35
ภาพที่ 3.2 ถ่านเคลือบไคโตแซน ที่ใช้เป็นตัวกลาง 37
ภาพที่ ค 1.1 ถังพักน้ำเสีย 153
ภาพที่ ค 1.2 แสดงเศษคอนกรีตที่ใช้เป็นตัวกลาง 153
ภาพที่ ค 1.3 แสดงเศษพลาสติกที่ใช้เป็นตัวกลาง 154
ภาพที่ ค 1.4 แสดงถ่านเคลือบไคโตแซนที่ใช้เป็นตัวกลาง 154
ภาพที่ ค 1.5 แสดงเศษเปลือกหอยที่ใช้เป็นตัวกลาง 155
ภาพที่ ค 1.6 แสดงถ่านไม้ที่ใช้เป็นตัวกลาง 155

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย