

การศึกษาการกำจัดไนโตรเจนด้วยถังกรอง
ชนิดสารกรองเคลื่อนที่และถังปฏิกรณ์ชนิดฟลูอิดไดซ์เบด

นาย รัชพล สุทธาโรจน์



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

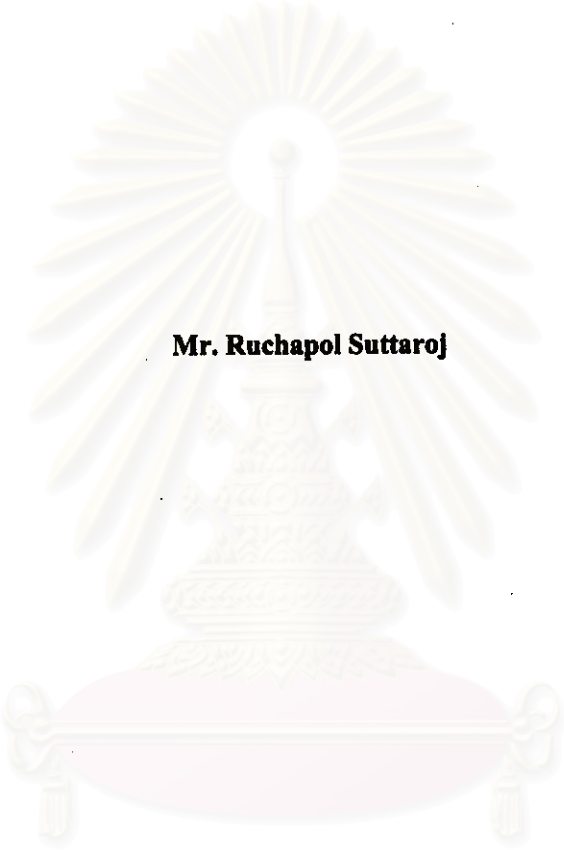
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-283-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A STUDY OF NITROGEN REMOVAL USING
A MOVING BED FILTER AND
A FLUIDIZED BED REACTOR**

Mr. Ruchapol Suttaroj



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering
Department of Environmental Engineering**

**Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997
ISBN 974-638-283-7**

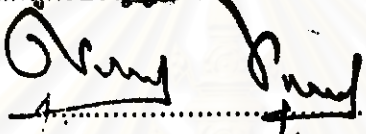
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาการกำจัดไนโตรเจนด้วยถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่
และถังปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดซ์เบด

โดย นาย รัชพล สุทธาโรจน์

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)


.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

รัชพล สุทธาโรจน์ : การศึกษาการกำจัดไนโตรเจนด้วยถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่และถังปฏิกรณ์ชนิดฟลูอิดไดซ์เบด (A STUDY OF NITROGEN REMOVAL USING A MOVING BED FILTER AND A FLUIDIZED BED REACTOR)

อ.ที่ปรึกษา: รศ.ดร.สุรพล สายพานิช, 149 หน้า, ISBN 974-638-283-7.

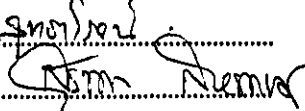
การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ และประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจน ด้วยถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่ (AMBF) และ ถังปฏิกรณ์ชนิดฟลูอิดไดซ์เบด (FBR) โดยทำการแปรค่าภาระบรรทุกทางอินทรีย์ 4 ค่าได้แก่ 1.02, 1.70, 2.39 และ 3.08 กก.ซีโอดี/ม.³(ตัวกลางในถังปฏิกรณ์ทั้งหมด) - วัน และ ค่าภาระบรรทุกทางที่เคเอ็น 4 ค่าได้แก่ 0.09, 0.15, 0.22 และ 0.28 กก. ทีเคเอ็น /ม.³(ตัวกลางในถังปฏิกรณ์ทั้งหมด) - วัน ตามค่าภาระบรรทุกทางอินทรีย์ตามลำดับ ในการทดลองควบคุมให้ มีอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียเท่ากับ 190 ลิตร/วัน อัตราการสูบน้ำทิ้งกลับเข้าถัง FBR เท่ากับ 3.5 เท่าของน้ำเสียเข้า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถัง AMBF และถัง FBR เท่ากับ 150 และ 39 มม. ตามลำดับ ตัวกลางใช้ แอนทราไซต์ ขนาด 0.85 มม. มีปริมาณตัวกลางในถัง AMBF และ ถัง FBR เท่ากับ 30 และ 0.8 ลิตร ตามลำดับ เวลาเก็บกักในถัง AMBF เท่ากับ 4 ชม. 28 นาที(เทียบกับปริมาตรที่ไม่มีตัวกลาง) และในถัง FBR เท่ากับ 22 นาที (เทียบกับปริมาตรที่ไม่มีตัวกลาง) อัตราหมุนเวียนการล้างตัวกรองในถัง AMBF ทำทุก 8 ชม. เท่ากับ ร้อยละ 100 ต่อวัน อัตราหมุนเวียนการล้างตัวกรองในถัง FBR ทำสัปดาห์ละ 1 ครั้ง เท่ากับร้อยละ 100 ต่อสัปดาห์ ซึ่งผลการวิจัยมีดังนี้

ที่ค่าบรรทุกทางอินทรีย์ 1.05, 1.75, 2.46 และ 3.17 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 95.1, 95.8, 96.0 และ 95.5% ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 82.1, 83.3, 80.3 และ 64.9% ตามลำดับ จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าค่าภาระบรรทุกทางอินทรีย์ที่ 3.17 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบยังมีประสิทธิภาพ แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด จะมีประสิทธิภาพลดลงมาก และสามารถสรุปได้ว่า ค่าบรรทุกทางอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบนี้ ควรอยู่ในช่วง 1.0 ถึง 2.4 กก.ซีโอดี/ม.³-วัน ที่ทำให้ทั้งการกำจัดซีโอดี และไนโตรเจนทั้งหมดมีประสิทธิภาพที่ยอมรับได้

อัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชัน (NI) สูงสุดในการวิจัยนี้ เท่ากับ 0.15 กก.NH₃-N/ม.³(ปริมาตรตัวกลางในถัง AMBF) -วัน และมีความสัมพันธ์กับค่าภาระบรรทุกทีเคเอ็น (TL) ดังนี้ $NI = -0.5948TL^2 + 0.6359TL + 0.0104$ โดย TL มีค่าในช่วง 0.11 ถึง 0.94 กก. ทีเคเอ็น /ม.³-วัน

อัตราการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (DN) สูงสุดในการวิจัยนี้ เท่ากับ 13.99 กก.NO_x⁻-N/ม.³(ปริมาตรตัวกลางในถัง FBR) -วัน และมีความสัมพันธ์กับค่าภาระบรรทุกทีเคเอ็น (TL) ดังนี้ $DN = 0.0009TL^3 - 0.0632TL^2 + 1.0932TL - 1.3209$ โดย TL มีค่าในช่วง 3.76 ถึง 20.61 กก. ทีเคเอ็น /ม.³-วัน

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อผู้ผลิต สุรพล สุทธาโรจน์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา 
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C 717994 MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD:

NITROGEN REMOVAL / AERATED MOVING BED FILTER / FLUIDIZED BED REACTOR /
NITRIFICATION / DENITRIFICATION

MR. RUCHAPOL SUTTAROJ : A STUDY OF NITROGEN REMOVAL USING A MOVING BED FILTER
AND A FLUIDIZED BED REACTOR. THESIS

ADVISOR : ASSO. PROF. SURAPOL SAIPANICH , Dr.Eng. , 149 pp. ISBN 974-638-283-7.

The objectives of this study were to study the feasibility and efficiency for the application of the Aerated Moving Bed Filter (AMBF) and Fluidized Bed Reactor (FBR) to remove nitrogen. Organic loadings were varied at 1.02, 1.70, 2.39 and 3.08 kg.COD /m.³(total media in all reactor)-day and Total Kjeldahl Nitrogen (TKN) loadings were varied at 0.09, 0.15, 0.22 and 0.28 kg.TKN /m.³(total media in all reactor)-day , respectively with organic loadings. Experiments were controlled the influent wastewater at 190 litres/day ,the return rate from an effluent tank to FBR was 3.5 times of influent wastewater and the return rate of recirculation in AMBF was 4.5 times of influent wastewater. The sizing of reactor were 150 and 39 mm. diameter in AMBF and FBR , respectively. The filter media for biomass attachment was anthracite with effective size in 0.85 mm. and the volume of media used were 30 and 0.8 litres in AMBF and FBR , respectively. The Hydraulic Retention Time (HRT) in AMBF was kept constant at 2 hours and 28 minutes (empty bed contact time) while in the HRT in FBR was kept constant 22 minutes (empty bed contact time). Washing media was performed every 8 hours for the turn over rate of 1 day in AMBF while in FBR using once a week for the turn over rate of 1 week. The experimental results were described below.

At organic loading 1.05, 1.75, 2.46 and 3.17 kg.COD /m.³-day , the COD removal efficiency of this system was 95.1, 95.8, 96.0 and 95.5% , respectively and the total nitrogen removal efficiency was 82.1, 83.3, 80.3 and 64.9% , respectively. The result of experiments indicated that at organic loading 3.17 kg.COD /m.³-day the COD removal was still effective but the total nitrogen removal was not effective. The experiments can be concluded that the appropriate organic loading for this system in acceptably effective removal of COD and TKN should be in the range of 1.0-2.4 kg.COD /m.³-day

The maximum nitrification rate is 0.15 kg.NH₃-N /m.³(media in AMBF tank) -day and the relation between TKN loading (TL) and nitrification rate (NI) is an exponential equation which can be written as ; $NI = -0.5948TL^2 + 0.6359TL + 0.0104$, where NI is between 0.11 to 0.94 kg.NH₃-N /m.³-day

The maximum denitrification rate is 13.99 kg.NO_x⁻-N /m.³(media in FBR tank) -day and the relation between TKN loading (TL) and denitrification rate (DN) is an exponential equation which can be written as ; $DN = 0.0009TL^3 - 0.0632TL^2 + 1.0932TL - 1.3209$, where DN is between 3.76 to 20.61 kg.NO_x⁻-N /m.³-day

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต *สุพจน์ สุตตารอจ*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *สุพจน์ สุตตารอจ*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ชี้แนะ แนะนำแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ผู้ซึ่งชี้แนะถึงปัญหาและข้อบกพร่องให้แก่ผู้วิจัย เพื่อมีแนวทางการทำวิจัยได้ชัดเจน และถูกต้องมากขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัยสามารถใช้ประโยชน์ร่วมในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณ วีระพันธ์ วัฒนวิเศษ และคุณ บุญไท นิธิพงศ์สกุล ที่ให้คำแนะนำและให้คำปรึกษา ในขั้นตอนของการทำงานตั้งแต่เตรียมการวิจัย ไปตลอดจนถึงการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขอขอบคุณ คุณ กัทธา ชื่นเจริญ ผู้ให้กำลังใจและความช่วยเหลืออย่างมาก ในการทำการวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกท่าน ที่ให้กำลังใจ และความช่วยเหลือ ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ขอแสดงความขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งช่วยอุดหนุนทุนสนับสนุนการวิจัย จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ คุณความดี หรือประโยชน์ทั้งหมด ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อมมอบให้แก่ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุดของผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฒ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวความคิด	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	3
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบจุลินทรีย์ยึดติดตัวกลาง	3
2.1.1 กระบวนการที่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์	4
2.1.2 กระบวนการที่ไม่ใช้ออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์	6
2.2 การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย	7
2.2.1 กระบวนการกำจัดไนโตรเจน	7
2.2.1.1 กระบวนการทางชีวภาพ	7
2.2.1.2 กระบวนการทางเคมี	9
2.2.1.3 กระบวนการทางกายภาพ	10
2.3 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification Processes)	12
2.3.1 จลนศาสตร์ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน	12
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน	14
2.4 รายงานและผลการวิจัยที่เกี่ยวกับระบบไนตริฟิเคชันแบบถังกรองชีวภาพเติมอากาศ	20
2.5 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification Processes)	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.1 กระบวนการ Assimilation	27
2.5.2 กระบวนการ Denitrification	27
2.5.3 จลนศาสตร์ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	29
2.5.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	30
2.6 รายงานและผลการวิจัยที่เกี่ยวกับระบบดีไนตริฟิเคชันแบบฟลูอิด ไคซ์เบค	33
2.7 การกำจัดไนโตรเจนด้วยถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่และถังปฏิกรณ์แบบ ฟลูอิด ไคซ์เบค	38
บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินการวิจัย	39
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์	41
3.1.1 ขนาดปริมาณการไหลของเครื่องสูบน้ำต่างๆ	44
3.1.2 ขนาดและลักษณะของตัวกลางแอนทราไซต์	44
3.2 แผนการวิจัย	44
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง	46
3.4 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ	47
3.5 การเดินระบบและการดูแลควบคุม	49
3.5.1 การเดินระบบ	49
3.5.2 การดูแลควบคุม	50
3.5.3 การล้างตัวกลาง	51
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการวิจัย	52
4.1 การเริ่มดำเนินการทดลอง	52
4.2 ลักษณะของชุดการทดลองทั้ง 5 ชุด	54
4.3 ผลการทดลอง	57
4.4 วิเคราะห์ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	81

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4.1 ค่าซีไอดี	81
4.4.2 ค่าแอมโมเนีย ค่าอินทรีย์ไนโตรเจน และค่าทีเคเอ็น	84
4.4.3 ค่าไนโตรทและไนเตรท	93
4.4.4 ค่าไนโตรเจนรวม	97
4.4.5 ค่าความเป็นด่าง	98
4.4.6 ค่าความเป็นกรด ต่าง	101
4.4.7 ค่าออกซิเจนละลาย	102
4.4.8 ค่าไออาร์พี	102
4.4.9 ค่าอุณหภูมิ	103
4.4.10 ค่าตะกอนแขวนลอย	104
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบรทุกทีเคเอ็นกับกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน และดีไนตริฟิเคชัน	105
 บทที่ 5 ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	 107
 บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	 110
6.1 สรุปผลการวิจัย	110
6.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการวิจัย	113
 รายการอ้างอิง	 114
 ภาคผนวก ตารางแสดงข้อมูลการทดลอง	 118
 ประวัติผู้เขียน	 149

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีต่างๆ	11
ตารางที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD/TKN ต่อจำนวนของไนโตรไฟอิง	18
ตารางที่ 2.3	ปริมาณแอมโมเนียและไนโตรที่ที่ยับยั้งจุลินทรีย์ไนโตรแบคเตอร์ ที่ pH ต่างๆ	18
ตารางที่ 2.4	ชนิดและปริมาณของสารประกอบอินทรีย์ที่สามารถยับยั้งกระบวนการ ไนตริฟิเคชันไนตริฟิเคชัน	19
ตารางที่ 2.5	ค่าอัตราการใช้สารอาหารสูงสุดของระบบชนิดต่างๆ	20
ตารางที่ 2.6	ลักษณะของตัวกลางที่ใช้	25
ตารางที่ 2.7	ความเร็วของน้ำและของอากาศ	26
ตารางที่ 3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง	39
ตารางที่ 3.2	ขนาดปริมาณการไหลของเครื่องสูบน้ำต่างๆ	44
ตารางที่ 3.3	ลักษณะน้ำเสียในทั้ง 4 ชุดการทดลอง	46
ตารางที่ 3.4	ส่วนประกอบทั้งหมดของน้ำเสียสังเคราะห์ค่อน้ำประปา 190 ลิตร	47
ตารางที่ 3.5	ลักษณะสมบัติ, จุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์	48
ตารางที่ 3.6	วิธีวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย	48
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลอง ทั้ง 4 ชุด ในช่วงการทดลองทั้งหมด	58
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการทดลอง ทั้ง 4 ชุด ในช่วงสภาวะคงตัว	60
ตารางที่ 4.3	ค่าพารามิเตอร์ตามความลึกของชั้นกรองในถังกรอง	62
ตารางที่ 4.4	ค่าพารามิเตอร์ในชุดการทดลองที่ 5	64
ตารางที่ 4.5	สรุปค่าซีไอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวพร้อมประสิทธิภาพ โดยรวมของระบบ	81
ตารางที่ 4.6	ค่าซีไอดี ณ จุดเข้าและจุดออกของถังปฏิกรณ์และถังกรอง	82
ตารางที่ 4.7	สรุปค่าแอมโมเนียในโตรเจนและทีเคเอ็นในแต่ละตำแหน่งของระบบที่ สภาวะคงตัวและค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8	สรุปค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังกรอง 86
ตารางที่ 4.9	ค่าแอมโมเนีย, ไนเตรท และไนไตรท์รอบถังกรอง 88
ตารางที่ 4.10	การเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและการสร้างเซลล์ใหม่ 88
ตารางที่ 4.11	การกำจัดซีโอติและอัตราส่วนการใช้ซีโอติต่อการใช้แอมโมเนียในการสร้าง เซลล์ในถังกรอง 90
ตารางที่ 4.12	การใช้แอมโมเนียในการสร้างเซลล์ในถังปฏิกรณ์ 91
ตารางที่ 4.13	การกำจัดซีโอติในถังปฏิกรณ์และอัตราส่วนการใช้ซีโอติต่อแอมโมเนีย 92
ตารางที่ 4.14	สรุปค่าไนเตรท ไนไตรท์ในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 93
ตารางที่ 4.15	ค่าระดับและร้อยละของตัวกลางในถังปฏิกรณ์เมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลอง ชุดที่ 2 ในรูปของไนเตรทและไนไตรท์ 94
ตารางที่ 4.16	การเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์ 96
ตารางที่ 4.17	การเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์ที่ค่าระดับตัวกลางต่างกัน 96
ตารางที่ 4.18	สรุปค่าไนโตรเจนรวมในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวและ ประสิทธิภาพโดยรวม 97
ตารางที่ 4.19	สรุปค่าความเป็นด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 98
ตารางที่ 4.20	ค่าความเป็นด่าง ณ จุดเข้าและจุดออกของถังปฏิกรณ์และถังกรอง 100
ตารางที่ 4.21	ค่าความเป็นด่างในกระบวนการไนตริฟิเคชัน(ถังกรอง)และดีไนตริฟิเคชัน (ถังปฏิกรณ์)ต่อการกำจัดแอมโมเนียและไนเตรท ไนไตรท์100
ตารางที่ 4.22	ค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 101
ตารางที่ 4.23	ค่าออกซิเจนละลายในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 102
ตารางที่ 4.24	ค่าไออาร์พีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 103
ตารางที่ 4.25	ค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว 103
ตารางที่ 4.26	ค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว104
ตารางที่ 4.27	ค่าการบรรทุทที่เคเอ็น กับกระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน105

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	กระบวนการเคลื่อนย้ายภายในผิวชั้นฟิล์มชีวภาพแบบหลายพันธ์	3
รูปที่ 2.2	แสดงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของการย่อยสลายสารอินทรีย์ทั่วในชั้น ของเหลวและชั้นฟิล์มชีวภาพ	5
รูปที่ 2.3	แสดงค่าระดับออกซิเจนในชั้นของเหลวและชั้นฟิล์มชีวภาพอโตโทรบ เฮเทอโรโทรบภายใต้ความเร็วในการไหลที่แตกต่างกัน	5
รูปที่ 2.4	ปฏิกิริยาของกระบวนการแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนในการย่อยสลายสารอินทรีย์	6
รูปที่ 2.5	กระบวนการเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนทางชีวภาพ	8
รูปที่ 2.6	การเปลี่ยนแปลงรูปของไนโตรเจนในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	8
รูปที่ 2.7	แบบจำลองทางทฤษฎีของชีวฟิล์มจุลินทรีย์	14
รูปที่ 2.8	ผลกระทบจากค่าความเป็นกรด ต่างต่ออัตราไนตริฟิเคชัน	16
รูปที่ 2.9	ผลกระทบจากค่าความเป็นด่างต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน	17
รูปที่ 2.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราไนตริฟิเคชันกับอุณหภูมิ	32
รูปที่ 2.11	การกำจัด ไนเตรทที่ร้อยละ 95 โดยเปรียบเทียบระหว่างความสูงชั้นกับ ความเร็วในการไหล	35
รูปที่ 2.12	แสดงค่าต่างๆตามความสูงของถังปฏิกรณ์	37
รูปที่ 3.1	รายละเอียดในการเดินระบบ	41
รูปที่ 3.2	รายละเอียดของถังกรองชนิดสารกรองเคลื่อนที่	42
รูปที่ 3.3	รายละเอียดของถังปฏิกรณ์ชนิดฟลูอิด ไคซ์เบด	43
รูปที่ 3.4	แผนผังการทำงานของระบบ	45
รูปที่ 4.1	แสดงการสมดุลมวลของระบบ	56
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 1	66
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 2	69
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 3	72
รูปที่ 4.5	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 4	75
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองที่ 5	78

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7	การเกิดจุลินทรีย์ชนิดเส้นใยในถังกรองของชุดการทดลองที่ 4	83
รูปที่ 4.8	จุลินทรีย์ชนิดเส้นใยที่เกิดในชุดการทดลองที่ใช้อัตราการเวียนล้างสารกรอง ในถังกรองเท่ากับ 2 วัน ทำให้ระบบอุดตันและล้มเหลว	83
รูปที่ 4.9	การแยกส่วนถังกรองออกจากระบบรวมเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัด แอมโมเนีย	86
รูปที่ 4.10	การแยกส่วนถังปฏิกรณ์ออกจากระบบรวมเพื่อหาการใช้แอมโมเนีย	91
รูปที่ 4.11	แสดงการส่วนถังปฏิกรณ์ออกจากระบบรวมเพื่อหาอัตราการเกิด ดีไนตริฟิเคชันในถังปฏิกรณ์	95
รูปที่ 4.12	แผนผังของระบบเพื่อหาความเป็นต่าง	99
รูปที่ 4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการะบรทุกทีเคเอ็น กับอัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน	105
รูปที่ 4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการะบรทุกทีเคเอ็น กับอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน	106

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย