


การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูป



นางสาวลินดา เกษมสุข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6959-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COMPARISON OF NITROGEN REMOVAL EFFICIENCY FOR
ON-SITE WASTEWATER TREATMENT



Miss. Linda Kasemsuk

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 2004

ISBN 974-17-6959-8

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัด
น้ำเสียแบบสำเร็จรูป

โดย

นางสาวลินดา เกษมสุข

สาขาวิชา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม


อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์

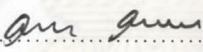
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

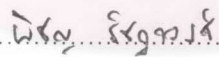
ดร.วรางคณา พรรณรัตนศิลป์


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.ดีเอก ลาวันย์ศิริ)

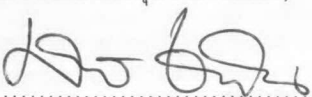
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการสอบ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิ้มปเสนีย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.วรางคณา พรรณรัตนศิลป์)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุธา ขาวเขียว)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ศรัณย์ เตชะเสน)

ลินดา เกษมสุข : การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูป (COMPARISON OF NITROGEN REMOVAL EFFICIENCY FOR ON-SITE WASTEWATER TREATMENT) อ. ที่ปรึกษา : ดร.พิชญ รัชฎาวงศ์, อ. ที่ปรึกษาร่วม : ดร.วรางคณา พรรณรัตน์ศิลป์, 166 หน้า. ISBN 974-17-6959-8.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการกำจัดไนโตรเจนด้วยระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูป เพื่อใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูปที่ใช้ทำการกำจัดไนโตรเจนในงานวิจัยนี้ เป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปชนิดเติมอากาศ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 ชุดการทดลอง การทดลองชุดแรก ทำการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนที่มีสภาพแอโรบิก และควบคุมอัตราไหลเข้าของน้ำเสีย เท่ากับ 30 ลิตร/วัน การทดลองชุดที่สอง เป็นการเดินระบบแบบแอนอกซิก-แอโรบิก โดยมีสัดส่วนของแอนอกซิก 40% และแอโรบิกเท่ากับ 60% ตามลำดับ การทดลองชุดที่สาม เพิ่มอัตราไหลเข้าของน้ำเสีย เท่ากับ 60 ลิตร/วัน และการทดลองชุดที่สี่ ทำการใส่ตัวกลางเข้าไปในชุดการทดลอง ในการทดลองทั้ง 4 ชุด ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 300 มก./ล. ทีเคเอ็น 30 มก./ล. และทำการเดินระบบต่อเนื่อง โดยควบคุมอายุตะกอนเท่ากับ 10 วัน อัตราการสูบน้ำทิ้งกลับเข้าสู่ถังแอนนออกซิก และ อัตราการสูบน้ำตะกอนเวียนกลับภายในระบบ เท่ากับ 1 เท่าของน้ำเสียเข้า

ผลการทดลองที่ได้พบว่า การทดลองทั้งสี่ชุด มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี เท่ากับ 92.48, 97.18, 95.40 และ 96.85 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 77.51, 83.30, 91.16 และ 92.75 % ตามลำดับ จากการทดลองจะเห็นได้ว่า การเพิ่มในส่วนของแอนนออกซิกและการเพิ่มตัวกลางเข้าไปในระบบ ไม่ได้แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี แต่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจน กระบวนการไนตริฟิเคชันเกิดได้ดีในทุกชุดการทดลอง ส่วนกระบวนการดีไนตริฟิเคชันไม่เกิดขึ้นในชุดการทดลองแรก เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมในการกำจัดไนโตรเจนของทุกชุดการทดลอง โดยพิจารณาจากค่าไนโตรเจนทั้งหมด อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะ และอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ สามารถสรุปได้ว่า ชุดการทดลองที่สี่ เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนสูงสุด โดยมีอัตราการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันและอัตราการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน เท่ากับ 0.164 มก. NH₃/มก. MLVSS-วัน และ 0.31 มก. NO₃/มก. MLVSS-วัน ตามลำดับ

ดังนั้นจากงานวิจัยจะเห็นได้ว่า การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปที่มีอยู่เดิมให้สามารถกำจัดไนโตรเจนได้นั้น ทำได้โดยการดัดแปลงระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปที่มีการเติมอากาศ โดยนำมาจนถึงให้มีส่วนของถังแอนนออกซิกเพิ่มเข้ามาในระบบ ติดตั้งไบโพดกวนในถัง และติดตั้งเครื่องเครื่องสูบน้ำตะกอนหมุนเวียนภายใน เพื่อทำให้เกิดสภาพแอนนออกซิกและเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่อผู้ผลิต..... ลินดา เกษมสุข
สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... พิศน รัชฎาวงศ์
ปีการศึกษา.....2547.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... วรางคณา พรรณรัตน์ศิลป์

4570509221 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD : NITROGEN REMOVAL / ON-SITE TREATMENT / NITRIFICATION / DENITRIFICATION

LINDA KASEMSUK: COMPARISON OF NITROGEN REMOVAL EFFICIENCY FOR ON-SITE
WASTEWATER TREATMENT. THESIS ADVISOR: PICHAYA RACHDAWONG, Ph.D.,

THESIS COADVISOR: WARANGKANA PANRATTANASIN, Ph.D., 166 pp. ISBN 974-17-6959-8.

The objective of the research is to compare the efficiency of nitrogen removal for on-site wastewater treatment in order to improve the recent system. The wastewater treatment system used in this research was the aerobic on-site package system. The experiment was divided into 4 phases. Phase 1, research was conducted under aerobic nitrogen removal and a maintenance of influent wastewater at the rate of 30 liters per day. Phase 2, the experiment was focused on the anoxic-aerobic system with a capacity of 40% for anoxic and 60% for aerobic. Phase 3, the experiment was set to increase the flow rate of wastewater up to 60 liters per day. Phase 4, additional of the media to 50% of tank volume was used. The synthetic wastewater with COD of 300 mg/l and TKN 30 mg/l were used for all experiments. Sludge Retention Time (SRT) was controlled at 10 days. The rate of return sludge and internal MLSS return flow rates were equal to that of the influent wastewater.

Results indicated that the COD removal efficiency of this system in phase 1 to 4 were 92.48%, 97.18%, 95.40% and 96.85 %, respectively, and the total nitrogen removal efficiency were 77.51%, 83.30%, 91.16% and 92.75 %, respectively. The results also indicated that the addition of the anoxic zone and addition of media to the system led to an insignificant impact on the efficiency of the COD removal. However, it affected the nitrogen removal from the system while the nitrification process was not inhibited in all phases, and a denitrification process did not occur in the first phase. Based on the total nitrogen removal, result showed that the most effective mean of nitrogen removal was found in phase 4 through maximum nitrification rate and maximum denitrification rate of 0.164 mg. $\text{NH}_3\text{-N/mg. MLVSS-day}$ and 0.31 mg. $\text{NO}_3\text{-N/mg. MLVSS-day}$, respectively.

In conclusion, results suggested that modification of the recent system could be conducted by additional of an anoxic aerobic portion along with setting up the paddle and recycle pump to the system in order to increase anoxic condition and stimulate denitrification of the process.

Department.....Environmental Engineering.....Student's Signature *Linda kasemsuk*
Field of study....Environmental Engineering.....Advisor's Signature *Pichaya R.*
Academic year....2004.....Co-advisor's Signature *Warangkana*

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ดร. วรางคณา พรรณรัตนศิลป์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้ความรู้ แนะนำแนวทาง และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย ผู้วิจัยจึงต้องขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ผู้ซึ่งช่วยชี้แนะปัญหา และข้อบกพร่องต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย เพื่อให้ผู้วิจัยมีแนวทางการทำวิจัยได้ถูกต้อง อีกทั้งช่วยตรวจทานวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ คุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ขอขอบพระคุณ ครูปองที่กรุณาให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือ ในการทดลองทดลองงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่มอบทุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้ จนสามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ บริษัทพราวเอเชีย ที่ให้ความอนุเคราะห์มอบถังบำบัดน้ำเสียเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือในการทำงานวิจัยตลอดมา

ขอขอบคุณ คุณปาริชาติ ชาวสนิท ที่เป็นเพื่อนที่ดี คอยให้คำปรึกษาในทุกเรื่อง และเป็นกำลังใจให้แก่กันและกัน

ขอขอบคุณ คุณสมพร ฤทธิ ที่ช่วยเหลือและเป็นเพื่อนที่ดีตลอดมา ขอขอบคุณ คุณปกาสิต จิรศักดิ์ ที่เป็นห่วงและทำให้ผู้วิจัยสามารถผ่านอุปสรรคต่างๆ ไปได้อย่างราบรื่น

ท้ายสุดนี้ คุณความดี หรือประโยชน์ทั้งหมด ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอโน้มมอบให้กับผู้ที่มีความสำคัญที่สุดในชีวิต และมีพระคุณสูงสุดคือ คุณพ่อ คุณแม่ และทุกคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจและมอบความรักตลอดการทำวิจัย จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 แนวความคิด.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย.....	4
2.2 ลักษณะและการทำงานของระบบบำบัดน้ำเสียแบบติดอยู่กับ.....	5
2.2.1 ระบบดักขยะและปอดักไขมัน.....	5
2.2.2 ระบบบ่อเกรอะ.....	5
2.2.3 ระบบบ่อซึม.....	6
2.2.4 ลานซึม.....	6
2.2.5 ระบบกรองไร้อากาศ.....	6
2.2.6 ระบบเอเอส.....	7
2.2.7 ระบบแผ่นหมุนชีวภาพหรืออาร์บีซี.....	7
2.3 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปชนิดเติมอากาศ.....	8
2.4 มาตรฐานควบคุมของการระบายน้ำทิ้งจากอาคารบางประเภท และบางขนาด.....	8

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 การกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ.....	11
2.5.1 แอมโมเนียฟิเคชัน (Ammonification).....	11
2.5.2 การสังเคราะห์เซลล์.....	13
2.5.3 ไนตริฟิเคชัน (Nitrification).....	14
2.5.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน.....	16
2.5.5 ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification).....	25
2.5.6 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	26
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	29
บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินการวิจัย	
3.1 แผนการวิจัย.....	33
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ในการทดลอง.....	37
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	41
3.4 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	42
3.5 วิธีการวิเคราะห์ขั้นตอน.....	43
3.6 การเดินระบบและการควบคุมระบบ	
3.6.1 การเดินระบบ.....	43
3.6.2 การดูแลระบบ.....	44
บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิจารณ์	
4.1 การดำเนินการทดลอง.....	46
4.2 วิเคราะห์ผลและวิจารณ์การทดลอง.....	80
4.2.1 การกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอน.....	80
4.2.2 การกำจัดแอมโมเนีย, ทีเคเอ็น และค่าอินทรีย์ไนโตรเจน.....	82
4.2.3 การกำจัดไนโตรทและไนเตรท.....	88
4.2.4 การกำจัดไนโตรเจนรวม.....	94
4.2.5 ค่าพีเอช.....	95
4.2.6 ค่าออกซิเจนละลาย.....	96

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.7 ค่าไออาร์พี	98
4.2.8 ค่าอุณหภูมิ (Temperature).....	100
4.2.9 ค่าตะกอนแขวนลอย และตะกอนแขวนลอยระเหย.....	102
4.2.10 ค่า V_{30}	104
4.3 แนวทางการออกแบบถึงปฏิกิริยาสำหรับกระบวนการ พรีดีไนตริฟิเคชัน.....	105
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	110
5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และการนำไปใช้ประโยชน์.....	111
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	112
รายการอ้างอิง.....	114
ภาคผนวก.....	117
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	166

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่ามาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากอาคาร
บางประเภทและบางขนาด..... 9

ตารางที่ 2.2 สรุปประเภทของอาคารเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่จะต้องถูกควบคุม
การปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ หรือออกสู่สิ่งแวดล้อม..... 10

ตารางที่ 2.3 ค่าสัมประสิทธิ์อิ่มตัวของออกซิเจนละลายน้ำ 17

ตารางที่ 2.4 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่มีผลต่อการเกิดกระบวนการ
ไนตริฟิเคชัน 18

ตารางที่ 2.5 ผลของพีเอชต่อกระบวนการเกิดไนตริฟิเคชัน..... 20

ตารางที่ 2.6 สัดส่วนของไนตริไฟอิงในระบบ เมื่อมีบีโอดีต่อที่เคเอ็นต่างๆกัน 21

ตารางที่ 2.7 ปริมาณโลหะที่ยับยั้งไนตริฟิเคชัน..... 22

ตารางที่ 2.8 สารอินทรีย์บางชนิดที่ยับยั้งไนตริฟิเคชัน..... 22

ตารางที่ 2.9 สารอินทรีย์ที่มีผลยับยั้งไนตริฟิเคชัน..... 23

ตารางที่ 2.10 อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่อายุสลัดจ์และอุณหภูมิต่างกัน 28

ตารางที่ 3.1 สรุปตัวแปรต่างๆ ในระบบบำบัดน้ำเสียแบบสำเร็จรูปที่ใช้ในงานวิจัย..... 33

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบกระบวนการกำจัดไนโตรเจน..... 35

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 37

ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์..... 42

ตารางที่ 3.5 วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ของน้ำเสีย..... 43

ตารางที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงการทดลองทั้งหมดของ
ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ..... 52

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงตัว (Steady State)
ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ..... 54

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.3	สรุปค่าซีไอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัวพร้อม ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ	81
ตารางที่ 4.4	สรุปค่าแอมโมเนีย, อินทรีย์ไนโตรเจนและทีเคเอ็นในแต่ละตำแหน่งของถังที่ สภาวะคงตัวและประสิทธิภาพโดยรวมในการกำจัดแอมโมเนีย, ทีเคเอ็น และอินทรีย์ไนโตรเจน	83
ตารางที่ 4.5	สรุปค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังแอโรบิก	85
ตารางที่ 4.6	อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะในแต่ละชุดการทดลอง.....	86
ตารางที่ 4.7	สรุปค่าไนโตรทและไนเตรทในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว	91
ตารางที่ 4.8	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะในถังแอนน็อกซิก.....	93
ตารางที่ 4.9	สรุปค่าไนโตรเจนรวมในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว และประสิทธิภาพโดยรวม.....	94
ตารางที่ 4.10	ค่าพีเอชในตำแหน่งต่างๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว.....	96
ตารางที่ 4.11	ค่าออกซิเจนละลายในตำแหน่งต่างๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว.....	100
ตารางที่ 4.12	ค่าโออาร์พี ในตำแหน่งต่างๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว.....	100
ตารางที่ 4.13	ค่าอุณหภูมิ ในตำแหน่งต่างๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว.....	101
ตารางที่ 4.14	สรุปค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอย และตะกอนแขวนลอยระเหย ในแต่ละตำแหน่งของระบบที่สภาวะคงตัว.....	103
ตารางที่ 4.15	เปรียบเทียบขนาดถังที่นำมาใช้จริงในการทดลองและที่ได้จากการ คำนวณทางทฤษฎี.....	109

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ.....	12
รูปที่ 2.2	ปริมาณไนโตรเจนในเซลล์ (ในรูปวีเอสเอส).....	14
รูปที่ 2.3	ผลกระทบของพีเอชต่อค่า f_{pH} สำหรับไนตริฟิเคชัน.....	19
รูปที่ 2.4	ผลของพีเอชต่ออัตราดีไนตริฟิเคชันสูงสุด.....	26
รูปที่ 2.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันที่พีเอชต่างกัน.....	27
รูปที่ 2.6	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้สารอาหารต่างกัน.....	28
รูปที่ 3.1	สรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป.....	36
รูปที่ 3.2	การเดินระบบที่ใช้ในการทดลองที่ 1.....	38
รูปที่ 3.3	การเดินระบบที่ใช้ในการทดลองที่ 2, 3 และ 4.....	38
รูปที่ 3.4	รายละเอียดของระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ขณะเดินระบบจริง.....	39
รูปที่ 3.5	รายละเอียดของระบบของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัย (ด้านบน).....	40
รูปที่ 3.6	รายละเอียดของระบบของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัย (ด้านข้าง).....	40
รูปที่ 3.7	รายละเอียดของระบบของถังตกตะกอนที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
รูปที่ 4.1	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าซีไอดี การทดลองชุดที่ 1.....	48
รูปที่ 4.2	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 1.....	48
รูปที่ 4.3	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าซีไอดี การทดลองชุดที่ 2.....	49
รูปที่ 4.4	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 2.....	49
รูปที่ 4.5	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าซีไอดี การทดลองชุดที่ 3.....	50
รูปที่ 4.6	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 3.....	50
รูปที่ 4.7	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าซีไอดี การทดลองชุดที่ 4.....	51
รูปที่ 4.8	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 4.....	51
รูปที่ 4.9	ค่าซีไอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	56
รูปที่ 4.10	ค่าซีไอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....	56
รูปที่ 4.11	ค่าซีไอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....	57
รูปที่ 4.12	ค่าซีไอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....	57

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.41 ค่าคุณภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	72
รูปที่ 4.42 ค่าคุณภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....	72
รูปที่ 4.43 ค่าคุณภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....	73
รูปที่ 4.44 ค่าคุณภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....	73
รูปที่ 4.45 ค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	74
รูปที่ 4.46 ค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....	74
รูปที่ 4.47 ค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....	75
รูปที่ 4.48 ค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....	75
รูปที่ 4.49 ค่าตะกอนแขวนลอยระเหยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	76
รูปที่ 4.50 ค่าตะกอนแขวนลอยระเหยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....	76
รูปที่ 4.51 ค่าตะกอนแขวนลอยระเหยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....	77
รูปที่ 4.52 ค่าตะกอนแขวนลอยระเหยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....	77
รูปที่ 4.53 ค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	78
รูปที่ 4.54 ค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....	78
รูปที่ 4.55 ค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....	79
รูปที่ 4.56 ค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....	79
รูปที่ 4.57 การแยกส่วนถึงแอโรบิก ออกจากระบบรวมเพื่อหาประสิทธิภาพในการ กำจัดแอมโมเนีย.....	85
รูปที่ 4.58 การแยกส่วนถึงแอนน็อกซิก ออกจากระบบรวมเพื่อหาอัตราการเกิด ดีไนตริฟิเคชัน	92

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทางชีวภาพ.....	12
รูปที่ 2.2	ปริมาณไนโตรเจนในเซลล์ (ในรูปวีเอสเอส).....	14
รูปที่ 2.3	ผลกระทบของพีเอชต่อค่า f_{pH} สำหรับไนตริฟิเคชัน.....	19
รูปที่ 2.4	ผลของพีเอชต่ออัตราดีไนตริฟิเคชันสูงสุด.....	26
รูปที่ 2.5	เปรียบเทียบประสิทธิภาพดีไนตริฟิเคชันที่พีเอชต่างกัน.....	27
รูปที่ 2.6	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ เมื่อใช้สารอาหารต่างกัน.....	28
รูปที่ 3.1	สรุปขั้นตอนการดำเนินการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ของระบบบำบัดน้ำเสียสำเร็จรูป.....	36
รูปที่ 3.2	การเดินระบบที่ใช้ในการทดลองที่ 1.....	38
รูปที่ 3.3	การเดินระบบที่ใช้ในการทดลองที่ 2, 3 และ 4.....	38
รูปที่ 3.4	รายละเอียดของระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ขณะเดินระบบจริง.....	39
รูปที่ 3.5	รายละเอียดของระบบของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัย (ด้านบน).....	40
รูปที่ 3.6	รายละเอียดของระบบของถังปฏิกิริยาที่ใช้ในงานวิจัย (ด้านข้าง).....	40
รูปที่ 3.7	รายละเอียดของระบบของถังตกตะกอนที่ใช้ในงานวิจัย.....	41
รูปที่ 4.1	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าซีโอดี การทดลองชุดที่ 1.....	48
รูปที่ 4.2	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 1.....	48
รูปที่ 4.3	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าซีโอดี การทดลองชุดที่ 2.....	49
รูปที่ 4.4	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 2.....	49
รูปที่ 4.5	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าซีโอดี การทดลองชุดที่ 3.....	50
รูปที่ 4.6	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 3.....	50
รูปที่ 4.7	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าซีโอดี การทดลองชุดที่ 4.....	51
รูปที่ 4.8	การเข้าสู่สภาวะคงตัวของค่าตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 4.....	51
รูปที่ 4.9	ค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	56
รูปที่ 4.10	ค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....	56
รูปที่ 4.11	ค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....	57
รูปที่ 4.12	ค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....	57