ผลของความเค็มที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบฟอรีดอกซ์ 3 ขั้นตอน

นางสาวชฎารัตน์ อนันต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-971-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 17886554

EFFECTS OF SALINITY ON THE NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL OF A 3-STAGE PHOREDOX ACTIVATED SLUDGE PROCESS

Miss Chadarut Anan

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 974-637-971-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของความเค็มที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบฟอรีดอกซ์ 3 ขั้นตอน
โดย	นางสาวชฎารัตน์ อนันต์
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

... ...

ชฎารัตน์ อนันต์ : ผลของความเค็มที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสของกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบฟอริดอกซ์ 3 ขั้นตอน (EFFECTS OF SALINITY ON THE NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL OF A 3- STAGE PHOREDOX ACTIVATED SLUDGE PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ , 218 หน้า. ISBN 974-637-971-2

งานทดลองวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงผลของความเค็มที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส โดยใช้กระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์แบบฟอริดอกซ์ 3 ขั้นตอน การทดลองแบ่งเป็น 2 ชุดทดลองด้วยกันคือชุดทดลองที่ 1 ใช้หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์มาก่อน โดยนำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนที่ไม่มีคลอไรด์ในระบบ และชุดทดลองที่ 2 ใช้หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์มาก่อน โดยนำหัวเชื้อนั้นมาจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกหนังซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีความเค็มสูง และนำหัวเชื้อนั้นมาเลี้ยงในห้องปฏิบัติการแบบแบตช์ เติมอาหารและความเค็มในรูปของเกลือโซเดียมคลอไรด์ จากนั้นเริ่มทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของทั้งสองระบบโดยแปรค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์จากระบบควบคุม (0 ก./ล.) สำหรับชุดทดลองที่ใช้หัวเชื้อไม่ชินต่อคลอไรด์โดยเฉพาะเป็น 5, 10, 20 และ 30 ก./ล. ตามลำดับ ทั้งสองชุดทดลอง ในแต่ละการทดลองเมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวและเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เรียบร้อยแล้ว ระบบจะถูกช็อกด้วยคลอไรด์ความเข้มข้นสูงถึง 70 ก./ล. เป็นเวลา 4 วัน เพื่อศึกษาความสามารถในการรับสภาพช็อกของแบคทีเรียในระบบ ก่อนที่จะกลับมาเติมคลอไรด์ด้วยความเข้มข้นเดิมอีกครั้ง เพื่อสังเกตความสามารถในการฟื้นตัวของระบบ

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า เมื่อความเข้มข้นของคลอไรด์เพิ่มขึ้น ในระบบที่ใช้หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์นั้นความสามารถในการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ในรูปของซีโอดีลดลงจากร้อยละ 96.5 เป็น 84.7, 84.0, 73.6 และ 60.0 ส่วนการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดลดลงจากร้อยละ 87.8 เป็น 80.4, 75.8, 69.5 และ 66.9 เมื่อเกลือโซเดียมคลอไรด์เพิ่มจาก 0-30 ก./ล. ตามลำดับ ส่วนในระบบที่ใช้หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์นั้นระบบกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ในรูปของซีโอดีลดลงจากร้อยละ 96.5 เป็น 87.1, 84.0 และ 73.6 โดยที่การกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดลดลงจากร้อยละ 88.8 เป็น 86.1, 72.5 และ 71.2 ตามลำดับ ส่วนผลของการวัดอัตราไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันจำเพาะก็สอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนที่พบ กล่าวคืออัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชันจำเพาะก็ลดลงเช่นกันเมื่อคลอไรด์เพิ่มขึ้น แต่สำหรับอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ(SOUR)นั้นกลับมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งคาดว่าเกิดจากความเข้มข้นของเกลือภายในและภายนอกเซลล์ที่แตกต่างกันมาก จึงเป็นผลให้เซลล์ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในการรักษาสภาพเซลล์ สำหรับการกำจัดฟอสฟอรัสนั้นทำได้น้อยและผลที่ได้ไม่ชัดเจนซึ่งอาจเกิดจากโพลี-พีแบคทีเรียที่เกิดขึ้นในระบบมีน้อย ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่ได้เมื่อความเค็มมีค่าเพิ่มขึ้นไม่แตกต่างกันมากนัก นอกจากนี้สิ่งหนึ่งที่แตกต่างเนื่องจากการใช้หัวเชื้อที่แตกต่างกันก็คือระยะเวลาในการที่จะเข้าสู่สถานะคงตัวซึ่งเป็นระยะเวลาที่จุลชีพปรับตัวให้ชินกับสภาพคลอไรด์ในระบบ กล่าวคือเมื่อคลอไรด์เพิ่มขึ้นหัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์นั้นต้องใช้เวลาในการเข้าสู่สถานะคงตัวจาก 15 วัน เป็น 12, 10 และ 8 ตามลำดับ ซึ่งใช้เวลาน้อยลงเนื่องจากหัวเชื้อนั้นเคยชินกับคลอไรด์ความเข้มข้นสูงมาก่อน ส่วนหัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์นั้นเมื่อค่าคลอไรด์เพิ่มขึ้นจะใช้เวลามากขึ้นในการเข้าสู่สถานะคงตัวโดยใช้เวลาจาก 10 วันสำหรับระบบควบคุม เป็น 15, 20, 20 และ 20 วันตามลำดับ อนึ่งในสภาวะที่ความเข้มข้นของคลอไรด์เริ่มต้นสูงกว่าและเมื่อระบบถูกช็อกด้วยคลอไรด์ความเข้มข้นสูง ระบบก็สามารถรับสภาพช็อกได้ดีกว่า การไหลออกของเซลล์น้อยกว่า ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบหัวเชื้อทั้งสองพบว่าหัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์จะรับสภาพช็อกได้ดีกว่าและใช้เวลาในการฟื้นสภาพหลังช็อกน้อยกว่า กล่าวคือหัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์จะใช้เวลาในการฟื้นสภาพจาก 7 วันเป็น 6, 4 และ 4 วัน ส่วนหัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์นั้นจะใช้เวลาในการฟื้นสภาพจาก 10 วันเป็น 8, 6, 5 และ 5 วัน ตามลำดับ

สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของระบบสำหรับระบบที่ใช้หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์มาก่อนนั้นจะสามารถทำงานได้ดีกว่า เร็วกว่าและรับสภาพช็อกได้ดีกว่าด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต ชฎารัตน์ อนันต์

สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C717836 : : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: NITROGEN REMOVAL / PHOSPHORUS REMOVAL / BNR / BPR / 3- STAGE PHOREDOX / SALINITY
CHADARUT ANAN : EFFECTS OF SALINITY ON THE NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL OF A 3-STAGE PHOREDOX ACTIVATED SLUDGE PROCESS. THESIS ADVISOR : PROF. THONGCHAI PANSWAD, Ph.D.
218 pp. ISBN 974-637-971-2

The objective of this research was to study the effects of salinity on nitrogen and phosphorus removal in a 3-Stage PHOREDOX (anaerobic/anoxic/aerobic) activated sludge process. Two sets of model were established. The first was run without inoculated halophilic bacteria from a non-chloride domestic wastewater treatment plant and other was run with inoculation halophilic bacteria from tannery wastewater treatment plant which had high salinity characteristics. The latter seed was fed with nutrients and sodium chloride (NaCl) using the batch process. Both models were tested to compare the efficiencies by varying the NaCl concentration from the control condition (0 g/l) for the first model to 5, 10, 20, and 30 g/l, respectively, for both models. After each system had reached the steady state and all data had been completely collected, it was further shocked with a very high amount of 70 g/l of NaCl for four consecutive days to study the capability of bacteria before being allowed to return to the original stage.

When the salinity increased from 0 to 30 g/l , the chemical oxygen demand (COD) removal efficiency of the non-acclimatized bacteria decreased from 96.5 to 84.7, 84.0, 73.6, and 60.0 percent, and the total nitrogen removal efficiency decreased from 87.7 to 80.4, 75.8, 69.5, and 66.9 percent, respectively. For the NaCl-acclimatized system, the COD removal efficiency decreased from 96.5 to 87.1, 84.0, and 73.6 percent, and the total nitrogen removal decreased from 88.8 to 86.1, 72.5, and 71.2 percent as the salinity increased form 5 to 30 g/l, respectively. The decrease in specific nitrification and denitrification rates (SNRs and SDNRs) of each run supported the phenomena of decrease in the total nitrogen removal efficiency. On the contrary, the specific oxygen uptake rates (SOURs) increased as the salinity increased since the high difference of salt concentrations between inside and outside cells forced them to use more energy to maintain cytoplasmic membrane. The phosphorus removal in this study was not as high as reported elsewhere, probably because of the sensitivity of poly-P bacteria to the high salt concentration. And the phosphorus removal efficiencies when the salinity increased were not so much different. The objective of working with the different seeds was to compare how much time they took to reach the steady state. When the salinity increased form 5 to 30 g/l, the acclimated seed system took from 15 to 12, 10, and 8 days, respectively, but the non-acclimated seed system took more time, from 10 days of the control system (0 g/l) to 15, 20, 20, and 20 days, respectively. For experiments of higher initial chloride condition when the systems were shocked, the system could get better efficiencies with barely cells washed out. The NaCl-acclimatized bacteria needed less time to recuperate (from 5 to 6, 4, and 4 days) than the non-acclimatized bacteria (which needed from 10 days of control system to 8, 6, 5 and 5 days, respectively). This indicates the acclimatization to salinity of microorganism in the reactor.

We can conclude that the NaCl-acclimatized system had higher removal efficiencies, higher rates of treatment, higher ability to work when shocked with the high chloride dose and took less time to recover.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากบุคคลสำคัญยิ่งท่านหนึ่ง คือศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ ซึ่งได้ให้ความกรุณาเสนอแนะหัวข้อวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ นอกจากนี้ยังได้ให้ข้อคิดเห็น คำแนะนำ ตลอดจนสนับสนุนให้เกิดความก้าวหน้าอย่างยิ่งในเชิงวิชาการและการดำเนินตนเป็นนักวิจัยที่ดี รวมถึงการจัดหาทุนในการวิจัย ให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งสิ้นสุด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ให้ทุนในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่ได้ให้ความรู้อันมีค่ายิ่งแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนรุ่น C7 และ C8 ของหลักสูตร วศ.ม. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ทุกคนที่กรุณาให้ความช่วยเหลืออำนวยความสะดวก เสียสละเวลาและแรงกาย รวมถึงกำลังใจที่มอบให้

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณบุคคลสำคัญในชีวิต คือคุณพ่อ คุณแม่ ผู้ที่ให้กำลังใจและช่วยเหลือตลอดเวลา จนกระทั่งการเรียนครั้งนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฐ
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	4
2.1 ความสำคัญของค่าความเค็มในน้ำเสีย	4
2.1.1 สภาพความเค็ม	4
2.1.2 ชนิดของความเค็ม	5
2.1.3 การศึกษาที่ผ่านมา	6
2.2 กระบวนการกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ (Biological Nutrient Removal)	9
2.3 การกำจัดไนโตรเจน	15
2.3.1 แหล่งกำเนิดของไนโตรเจนในน้ำเสีย	15
2.3.2 การแปลงรูปของไนโตรเจนในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ	15
2.3.3 กระบวนการไนตริฟิเคชัน	16
2.3.4 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	22
2.4 การกำจัดฟอสฟอรัส	26
2.4.1 รูปแบบฟอสฟอรัส	26
2.4.2 หลักการพื้นฐาน	27
2.4.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัส	31

หน้า

บทที่ 3 แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย 34
3.1 แผนการทดลอง 34
3.1.1 ตัวแปรคงที่ 34
3.1.2 ตัวแปรอิสระ 34
3.1.3 ตัวแปรตาม 34
3.2 การดำเนินการทดลอง 35
3.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 37
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 37
3.4.1 ถังปฏิกิริยา 37
3.4.2 เครื่องสูบน้ำและเครื่องสูบสลัดจ์ 38
3.4.3 ถังตกตะกอน 38
3.4.4 เครื่องอัดอากาศ 39
3.4.5 เครื่องกวนผสม 39
3.5 การติดตั้งเครื่องมือและการควบคุมระบบ 39
3.5.1 การติดตั้งเครื่องมือ 39
3.5.2 การควบคุมระบบ 39
3.6 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย 41
3.6.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ 41
3.6.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 42
บทที่ 4 ผลการทดลอง 45
4.1 บทนำ 45
4.2 ผลการทดลอง 45
4.2.1 ออกซิเจนละลายน้ำ 45
4.2.2 โออาร์พี (oxidation-reduction potential, ORP) 69
4.2.3 อุณหภูมิ 72
4.2.4 สภาพด่าง 75
4.2.5 พีเอช 80
4.2.6 เอ็มแอลเอสเอส (MLSS) 83
4.2.7 เอสวี30 และเอสวีไอ 88

หน้า

4.2.8 ค่าซีโอดี 93
4.2.9 ค่าทีเคเอ็น 98
4.2.10 ค่าไนไทรต์และไนเทรต 102
4.2.11 ค่าฟอสฟอรัส 108
4.2.12 ค่าคลอไรด์ 112
4.3 การวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล 115
4.3.1 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 115
4.3.2 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจน 118
4.3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัส 122
4.3.4 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ (SOUR) 125
4.3.5 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะ (SNR) 127
4.3.6 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ (SDNR) 128
4.3.7 เวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สถานะคงตัวและฟื้นสภาพ 130
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 132
5.1 สรุปผลการทดลอง 132
5.2 ข้อเสนอแนะ 133
รายการอ้างอิง 134
ภาคผนวก 141
ภาคผนวก ก. การคำนวณขนาดและจำนวนรอบของการกวนผสม 142
ภาคผนวก ข. การหาอัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน ดีไนตริฟิเคชัน และการใช้ออกซิเจนจำเพาะ 144
ภาคผนวก ค. ผลของความเค็มที่มีต่อการวิเคราะห์ค่าซีโอดีและฟอสฟอรัส 146
ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการทดลอง 148
ภาคผนวก จ. อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 216
ประวัติผู้เขียน 218

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ปริมาณเกลือในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	4
ตารางที่ 2.2	ส่วนประกอบของน้ำทะเล	5
ตารางที่ 2.3	ฟอสฟอรัสในน้ำเสียจากแหล่งชุมชน	26
ตารางที่ 3.1	ตัวแปรที่ควบคุมให้คงที่ตลอดการทดลอง	34
ตารางที่ 3.2	ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์	37
ตารางที่ 3.3	พารามิเตอร์และความถี่ที่จะเก็บตัวอย่างและทำการวิเคราะห์	42
ตารางที่ 3.4	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์	43
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวของชุดควบคุม (0 ก.ล. NaCl) ของชุดทดลองที่ 1	58
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวที่ 5 ก.ล. NaCl ของชุดทดลองที่ 1	59
ตารางที่ 4.3	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวที่ 10 ก.ล. NaCl ของชุดทดลองที่ 1	60
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวที่ 20 ก.ล. NaCl ของชุดทดลองที่ 1	61
ตารางที่ 4.5	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวที่ 30 ก.ล. NaCl ของชุดทดลองที่ 1	62
ตารางที่ 4.6	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวที่ 5 ก.ล. NaCl ของชุดทดลองที่ 2	63
ตารางที่ 4.7	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวที่ 10 ก.ล. NaCl ของชุดทดลองที่ 2	64
ตารางที่ 4.8	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวที่ 20 ก.ล. NaCl ของชุดทดลองที่ 2	65
ตารางที่ 4.9	ค่าเฉลี่ยในช่วงสถานะคงตัวที่ 30 ก.ล. NaCl ของชุดทดลองที่ 2	66
ตารางที่ 4.10	การสร้างและใช้สภาพด่างในแต่ละถังปฏิกิริยาในช่วงสถานะคงตัว	77
ตารางที่ 4.11	ค่าเฉลี่ยเอ็มแอลเอสเอสของระบบ	86
ตารางที่ 4.12	ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยที่ออกจากระบบ	87
ตารางที่ 4.13	ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอของระบบ	88
ตารางที่ 4.14	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของถังแอนแอโรบิกและระบบในช่วงสถานะคงตัว	96
ตารางที่ 4.15	ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของระบบในช่วงสถานะคงตัว	98
ตารางที่ 4.16	สรุปค่าเฉลี่ยของไนไทรต์และไนเทรตของแต่ละถัง	105
ตารางที่ 4.17	ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสของระบบในช่วงสถานะคงตัว	111

หน้า

ตารางที่ 4.18 ค่าความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ของน้ำเสียที่เข้าและออกจากระบบ 112
ตารางที่ 4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของระบบ 113
ตารางที่ 4.20 ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของระบบในช่วงสถานะคงตัว 119
ตารางที่ 4.21 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของชุดทดลองที่ 1 และ 2 128
ตารางที่ 4.22 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของงานวิจัยอื่น 129
ตารางที่ 4.23 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของชุดทดลองที่ 1 และ 2 130
ตารางที่ 4.24 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของงานวิจัยอื่น 131
ตารางที่ 4.25 เวลาในการเข้าสู่สถานะคงตัวของพารามิเตอร์ต่างๆ 132
ตารางที่ ก-1 ผลการวิเคราะห์และความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ซีโอดีที่มีความเข้ม 146
ตารางที่ ก-2 ผลการวิเคราะห์และความคลาดเคลื่อนของการวิเคราะห์ฟอสฟอรัสที่มีความเข้ม 147
ตารางที่ ง-1 ผลการทดลองชุดควบคุม (0 ก./ล.NaCl)สำหรับชุดทดลองที่ 1 (หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์) 149
ตารางที่ ง-2 ผลการทดลองที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 ก./ล.NaCl สำหรับชุดทดลองที่ 1 (หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์)..... 155
ตารางที่ ง-3 ผลการทดลองที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 ก./ล.NaCl สำหรับชุดทดลองที่ 1 (หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์) 162
ตารางที่ ง-4 ผลการทดลองที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 20 ก./ล.NaCl สำหรับชุดทดลองที่ 1 (หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์) 167
ตารางที่ ง-5 ผลการทดลองที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 30 ก./ล.NaCl สำหรับชุดทดลองที่ 1 (หัวเชื้อที่ไม่ชินต่อคลอไรด์) 173
ตารางที่ ง-6 ผลการทดลองที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 ก./ล.NaCl สำหรับชุดทดลองที่ 2 (หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์) 179
ตารางที่ ง-7 ผลการทดลองที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 ก./ล.NaCl สำหรับชุดทดลองที่ 2 (หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์) 185

หน้า

ตารางที่ ง-8 ผลการทดลองที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 20 ก./ล.NaCl
สำหรับชุดทดลองที่ 2 (หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์) 192
ตารางที่ ง-9 ผลการทดลองที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 30 ก./ล.NaCl
สำหรับชุดทดลองที่ 2 (หัวเชื้อที่ชินต่อคลอไรด์) 197
ตารางที่ ง-10 ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ความเค็มต่างๆของชุดทดลองที่ 1 203
ตารางที่ ง-11 ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ความเค็มต่างๆของชุดทดลองที่ 2 204
ตารางที่ ง-12 ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ความเค็มต่างๆของชุดทดลองที่ 1 205
ตารางที่ ง-13 ปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ความเค็มต่างๆของชุดทดลองที่ 2 206
ตารางที่ ง-14 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 0 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 1 207
ตารางที่ ง-15 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 1 208
ตารางที่ ง-16 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 1 209
ตารางที่ ง-17 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 20 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 1 210
ตารางที่ ง-18 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 30 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 1 211
ตารางที่ ง-19 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 5 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 2 212
ตารางที่ ง-20 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 10 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 2 213
ตารางที่ ง-21 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 20 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 2 214
ตารางที่ ง-22 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะที่เกลือโซเดียมคลอไรด์ 30 ก./ล.
ของชุดทดลองที่ 2 215

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบสลัดจ์เดี่ยวที่มีการเวียนตะกอนกลับ และคลองวนเวียน 10
รูปที่ 2.2 ระบบกำจัดไนโตรเจนแบบสลัดจ์คู่ 11
รูปที่ 2.3 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเดียว 12
รูปที่ 2.4 กระบวนการ 3-stage Phoredox หรือเอทู/โอ 13
รูปที่ 2.5 กระบวนการ Five-Stage Bardenpho 14
รูปที่ 2.6 กระบวนการยูซีที 14
รูปที่ 2.7 กระบวนการวีไอพี 15
รูปที่ 2.8 เส้นทางและกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจน 16
รูปที่ 2.9 กระบวนการแปลงรูปไนโตรเจนทางชีวภาพ 17
รูปที่ 2.10 ผลของพีเอชที่มีต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชันสูงสุด 19
รูปที่ 2.11 ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน 20
รูปที่ 2.12 กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสภายใต้สภาวะแอนแอโรบิกและแอโรบิก 29
รูปที่ 2.13 ผลของบีโอดีละลาย(soluble BOD)และฟอสฟอรัสที่เกิดขึ้นในระบบ 30
รูปที่ 3.1 ลักษณะการดำเนินการทดลองของทั้งสองชุดทดลอง 36
รูปที่ 3.2 ถังตกตะกอนขั้นที่สอง 37
รูปที่ 3.3 การติดตั้งเครื่องมือทดลอง 42
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย 45
รูปที่ 4.1 ผลโดยรวมทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 47
รูปที่ 4.2 ผลโดยรวมทั้งหมดของชุดทดลองที่ 2 53
รูปที่ 4.3 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 68
รูปที่ 4.4 ค่าออกซิเจนละลายน้ำในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 69
รูปที่ 4.5 ค่าโออาร์พีในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 71
รูปที่ 4.6 ค่าโออาร์พีในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 72
รูปที่ 4.7 ค่าอุณหภูมิในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 74
รูปที่ 4.8 ค่าอุณหภูมิในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 75
รูปที่ 4.9 ดุลมวลของแต่ละถังปฏิกิริยา 77
รูปที่ 4.10 สภาพด่างในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 79

หน้า

รูปที่ 4.11 สภาพด่างในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 80
รูปที่ 4.12 ค่าพีเอชในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 82
รูปที่ 4.13 ค่าพีเอชในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 83
รูปที่ 4.14 เอ็มแอลเอสเอสและของแข็งแขวนลอยในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 85
รูปที่ 4.15 เอ็มแอลเอสเอสและของแข็งแขวนลอยในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 86
รูปที่ 4.16 เอสวี 30 ในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 90
รูปที่ 4.17 เอสวี 30 ในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 91
รูปที่ 4.18 เอสวีไอในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 92
รูปที่ 4.19 เอสวีไอในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 93
รูปที่ 4.20 ค่าซีโอดีในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 95
รูปที่ 4.21 ค่าซีโอดีในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 96
รูปที่ 4.22 ค่าซีโอดีในแต่ละถังปฏิกิริยาของชุดทดลองที่ 1 97
รูปที่ 4.23 ค่าซีโอดีในแต่ละถังปฏิกิริยาของชุดทดลองที่ 2 97
รูปที่ 4.24 ค่าทีเคเอ็นในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 99
รูปที่ 4.25 ค่าทีเคเอ็นในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 100
รูปที่ 4.26 ค่าทีเคเอ็นในแต่ละถังปฏิกิริยาของชุดทดลองที่ 1 101
รูปที่ 4.27 ค่าทีเคเอ็นในแต่ละถังปฏิกิริยาของชุดทดลองที่ 2 101
รูปที่ 4.28 ไนไทรต์ในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 103
รูปที่ 4.29 ไนไทรต์ในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 104
รูปที่ 4.30 ไนเทรตในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 105
รูปที่ 4.31 ไนเทรตในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 106
รูปที่ 4.32 ฟอสฟอรัสในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 1 109
รูปที่ 4.33 ฟอสฟอรัสในแต่ละถังของชุดทดลองที่ 2 110
รูปที่ 4.34 ความเข้มข้นของคลอไรด์ของชุดทดลองที่ 1 113
รูปที่ 4.35 ความเข้มข้นของคลอไรด์ของชุดทดลองที่ 2 113
รูปที่ 4.36 ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ของชุดทดลองที่ 1..... 114
รูปที่ 4.37 ความเข้มข้นของเกลือโซเดียมคลอไรด์ของชุดทดลองที่ 2..... 114
รูปที่ 4.38 ซีโอดีในน้ำเสียออกแลประสิทธิภาพที่กำจัดได้ในช่วงสถานะคงตัว 116
รูปที่ 4.39 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้งสองชุดทดลองเมื่อถูกชือก 116

หน้า

รูปที่ 4.40 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของทั้งสองชุดทดลองภายหลังฟื้นสภาพ 117
รูปที่ 4.41 ไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำออกและประสิทธิภาพการกำจัดที่สถานะคงตัว 118
รูปที่ 4.42 ทีเคเอ็น ไนไทรต์ และไนเทรตในน้ำเสียออกในช่วงสถานะคงตัว 121
รูปที่ 4.43 ทีเคเอ็น ไนไทรต์ และไนเทรตในน้ำเสียออกที่ภาวะช็อก 121
รูปที่ 4.44 ทีเคเอ็น ไนไทรต์ และไนเทรตในน้ำเสียออกภายหลังฟื้นสภาพ 122
รูปที่ 4.45 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสทั้งหมดของทั้งสองชุดทดลอง 124
รูปที่ 4.46 ฟอสฟอรัสภายในเซลล์ของทั้งสองชุดทดลอง 124
รูปที่ 4.47 อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะในแต่ละสภาวะ 126
รูปที่ 4.48 อัตราการเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันของชุดทดลองที่ 1 และ 2 128
รูปที่ 4.49 อัตราการเกิดปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชันของชุดทดลองที่ 1 และ 2 130

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย