

ผลของสังกะสีที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและการบอนอินทรีย์
จากน้ำเสียโดยกระบวนการแอกทีเวเต็ดสลัดจ์
แบบแอนีออกซิก-ออกซิก



นางสาวปวีญรัตน์ ผลพฤษา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-267-5

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF ZINC ON THE NITROGEN AND ORGANIC CARBON REMOVAL
FROM WASTEWATER BY THE ANOXIC-OXIC
ACTIVATED SLUDGE PROCESS**

Miss Panyarat Polprucksa

**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

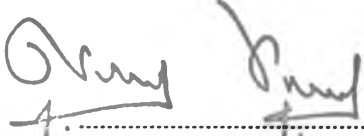
Chulalongkorn University

Academic Year 1997

ISBN 974-638-267-5

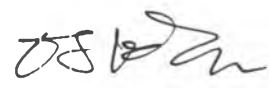
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของสังกะสีที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและอินทรีย์คาร์บอนจากน้ำเสีย
โดยกระบวนการแยกทิวเต็ดสลัดจ์แบบแอนีออกซิก - ออกซิก
โดย นางสาว ปัญญรัตน์ ผลพุกษา
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร. ชงชัย พรรณสวัสดิ์

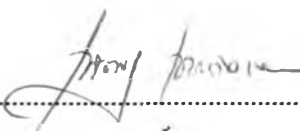
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ชงชัย พรรณสวัสดิ์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เขาวงกตเจริญ)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

ปัญญารัตน์ ผลพุกญา : ผลของสังกะสีที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและคาร์บอนอินทรีย์จากน้ำเสียโดยกระบวนการแยกทิวเทคสลิคจ์แบบแอน็อกซิก-ออกซิก (Effects of Zinc on the Nitrogen and Organic Carbon Removal from Wastewater by the Anoxic-Oxic Activated Sludge Process) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ธงชัย พรหมสวัสดิ์, 368 หน้า. ISBN 974-638-267-5.

งานทดลองวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสังกะสีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนและอินทรีย์คาร์บอน โดยกระบวนการแยกทิวเทคสลิคจ์แบบแอน็อกซิก-ออกซิก การศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ชุดทดลอง โดยชุดทดลองที่ 1 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีไอดี 500 มก./ล. ไนโตรเจน 40 มก./ล. และฟอสฟอรัส 10 มก./ล. เดินระบบที่เฮสอาร์ที 10 วัน และเอชอาร์ที 13.2 ชม. และชุดทดลองที่ 2 ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีไอดี 3500 มก./ล. ไนโตรเจน 175 มก./ล. และฟอสฟอรัส 40 มก./ล. เดินระบบที่เฮสอาร์ที 10 วัน และเอชอาร์ที 2.50 วัน ทั้ง 2 ชุดทดลองมีการแปรค่าสังกะสีเข้าสู่ระบบเท่ากับ 0 (ควบคุม), 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้วทำการชื้อระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. เป็นเวลา 4 วัน จากนั้นกลับมาเติมสังกะสีด้วยความเข้มข้นเดิมเท่ากับก่อนที่จะทำการชื้อ

การทดลองแปรค่าสังกะสีตั้งแต่ 0 ถึง 50 มก./ล. พบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรองทั้งชุดทดลองที่ใช้น้ำเสียซีไอดี 500 มก./ล. และ น้ำเสียซีไอดี 3,500 มก./ล. ซึ่งมีประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรองอยู่ในช่วงร้อยละ 95 ถึง 96 และ ร้อยละ 99 ตามลำดับ แต่ในขณะที่เดียวกันกลับมีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลองที่ใช้น้ำเสียซีไอดี 500 มก./ล. โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเป็นร้อยละ 83.4, 80.7, 79.3, 77.7 และ 67.1 ตามลำดับ ส่วนชุดทดลองที่ใช้น้ำเสียซีไอดี 3,500 มก./ล. พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของแต่ละการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยการทดลองที่สังกะสี 0, 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเป็นร้อยละ 85.1, 83.7, 83.6, 84.5 และ 82.3 ตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เพราะระบบชุดทดลองที่ 1 มีภาระมากกว่าชุดทดลองที่ 2 นั่นเอง เมื่อชื้อระบบด้วยสังกะสี 300 มก./ล. พบว่าไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรองของชุดทดลองที่ใช้น้ำเสียซีไอดี 500 มก./ล. ยกเว้นชุดควบคุม(สังกะสี 0 มก./ล.) ที่ประสิทธิภาพได้ลดลงอย่างมาก ส่วนชุดทดลองที่ใช้น้ำเสียซีไอดี 3,500 มก./ล. เมื่อชื้อระบบมีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีกรองลดลงเพียงเล็กน้อยทุกการทดลอง ในขณะที่เดียวกันพบว่ามีการลดประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของทั้ง 2 ชุดทดลอง โดยชุดทดลองที่ใช้น้ำเสีย 500 มก./ล. และชุดทดลองที่ใช้น้ำเสีย 3500 มก./ล. ที่การทดลองที่สังกะสี 0, 10, 25, 35 และ 50 มก./ล. ประสิทธิภาพลดลงการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเหลือร้อยละ 36.5, 50.6, 59.4, 54.0 และ 48.3 ตามลำดับ และร้อยละ 79.2, 81.8, 77.7, 79.4 และ 80.8 ตามลำดับ แสดงถึงการชื้อระบบมีผลต่อชุดทดลองที่ใช้น้ำเสีย 500 มก./ล. มากกว่า (เพราะรับภาระมากกว่า) และเมื่อเข้าสู่ภาวะการฟื้นตัวพบว่าชุดทดลองน้ำเสียซีไอดี 3500 มก./ล. สามารถฟื้นตัวได้เร็วและดีกว่าชุดทดลองน้ำเสียซีไอดี 500 มก./ล. ด้วยเหตุผลเดียวกัน

สรุปได้ว่าระบบที่มีอัตราส่วนซีไอดีต่อสังกะสีที่มากกว่าจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนทั้งหมดได้ดีกว่า อีกทั้งสามารถทนต่อสภาพการชื้อระบบได้มากและฟื้นตัวได้เร็วกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิติ *.....*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *.....*
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C717953 : MAJOR ENIRONMMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: ZINC / ANOXIC-OXIC / NITROGEN REMOVAL

PANYARAT POLPRUCKSA : EFFECTS OF ZINC ON THE NITROGEN AND ORGANIC CARBON REMOVAL FROM WASTEWATER BY THE ANOXIC-OXIC ACTIVATED SLUDGE PROCESS. THESIS ADVISOR : PROF. THONGCHAI PANSWAD, Ph.D. 368 pp. ISBN 974-638-267-5.

This research was to study the effect of zinc on the nitrogen and organic carbon removal efficiency by an anoxic-oxic activated sludge process. There were two sets of experiment using different synthetic wastewaters, i.e., Case I: COD 500, nitrogen 40 and phosphorus 10 mg/l, with solids retention time (θ_c) = 10 days and hydraulic retention time (HRT) = 13.2 hrs; Case II: COD 3500, nitrogen 175 and phosphorus 40 mg/l, with θ_c = 10 days and HRT = 2.5 days. The zinc concentration in the influent varied from 0 (control) to 10, 25, 35 and 50 mg/l, respectively. After having reached the steady state, each system was shocked with 300 mg/l of zinc and was allowed to recover by going back to the same feeding condition before the shock.

The variation of zinc concentration had no effect on the filtrate COD removal for both cases. The removal efficiency was in the range of 95-96 and 99 percent, respectively. But it had an effect on the total nitrogen removal efficiency, it dropped in the first set from 83.4 to 80.7, 79.3, 77.7 and 67.1 percent, respectively, and from 85.1 to 83.7, 83.6, 84.5 and 82.3 percent in the second set, respectively. This was because there was high zinc load compared to the volume of reactor and the COD load to the system in Case I than that in Case II. When the systems were shocked with 300 mg/l of zinc for 4 days, there was no effect on the COD removal efficiency of the first case except on the control (0 mg/l Zn) system in which the efficiency dropped considerably whereas the COD removal efficiency slightly decreased for the second case. But there were significant effects on the total nitrogen removal efficiency, which in the first set was 36.5, 50.6, 59.4, 54.0 and 48.3 percent and in the other set 79.2, 81.8, 77.7, 79.4 and 80.8 percent, respectively. More effect on the first set was then evident.

In conclusion, the systems with the higher COD:Zinc ratio could get higher organic carbon and total nitrogen removal efficiencies. In addition, they had much more resistance to the shocked condition and could much faster recover.

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

ปีการศึกษา..... 2540.....

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ท่านได้กรุณาให้คำแนะนำและอบรมสั่งสอน ทั้งทางด้านวิชาการและการดำเนินชีวิต โดยให้ข้อคิดต่าง ๆ และมอบโอกาสความก้าวหน้าในทุก ๆ ด้านแก่ผู้วิจัยตลอดมาอย่างไม่เห็นแก่เหน็ดเหนื่อย จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) โดยทุนเมธีวิจัยอาวุโส ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ ที่ให้การสนับสนุนมอบทุนแก่งานวิจัยนี้และส่งเสริมให้ผู้วิจัยได้มีโอกาสเสนอบทความผลงานวิจัยในการประชุมทางวิชาการทั้งในและต่างประเทศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ไพพรรณ พรประภา รองศาสตราจารย์ ดร.พีเชรพร เชาวกิจเจริญ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรทัย ขวาลภาฤทธิ์ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาทางวิชาการแก่ผู้วิจัย อาจารย์ชัยพร ภูประเสริฐ ที่ให้คำแนะนำในขั้นตอนต่าง ๆ ของการทำงานวิจัย คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทความรู้แก่ผู้วิจัย เจ้าหน้าที่ทางภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวก

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ C7 และน้อง ๆ C8 ที่ให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลืออย่างดีที่สุดตลอดการวิจัย

ท้ายที่สุดขอกราบแทบเท้า บิดา มารดา และพี่ชาย ที่ได้ทุ่มเทความรักและกำลังใจ ช่วยเหลือในทุกสิ่งทุกอย่าง และขอขอบพระคุณครอบครัวเหียนประภาสิทธิ์ ที่กรุณาดูแลเอาใจใส่ตลอดมา ความดีและประโยชน์ทั้งปวงของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบแด่ครอบครัวของผู้วิจัยทุกประการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ธ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
2 ทบทวนเอกสาร.....	3
2.1 การกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสียโดยกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....	3
2.1.1 บทนำ.....	3
2.1.2 กระบวนการแอสซิเมิลชัน.....	3
2.1.3 กระบวนการไนตริฟิเคชัน.....	4
2.1.4 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	18
2.2 การกำจัดไนโตรเจนด้วยกระบวนการแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ แบบแอนีอกซิก - ออกซิก.....	26
2.2.1 ระบบสลัดจ์เดี่ยว.....	28
2.2.2 ระบบสองสลัดจ์.....	32
2.2.3 ระบบสามสลัดจ์.....	32
2.3 การศึกษาที่ผ่านมา.....	34
2.4 ตัวอย่างโรงงานอุตสาหกรรมที่มีสังกะสีปนเปื้อนในน้ำเสียปริมาณมาก.....	47
2.4.1 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการผลิต.....	48
2.4.2 ขั้นตอนการผลิตยางยืด.....	48
2.4.3 ลักษณะน้ำเสียของโรงงานผลิตยางยืด.....	50
3 แผนการทดลองและการดำเนินวิจัย.....	53
3.1 แผนการทดลอง.....	53

สารบัญ(ต่อ)

บทที่

3.2	ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง.....	56
3.3	การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	56
3.4	เครื่องมือและอุปกรณ์.....	57
3.4.1	ถังปฏิกิริยา	58
3.4.2	ถังตกตะกอน.....	62
3.4.3	อุปกรณ์การกวนน้ำในถังแอน็อกซิกและถังออกซิก.....	62
3.4.4	เครื่องเติมอากาศและหัวเติมอากาศ.....	63
3.4.5	เครื่องสูบน้ำเสียเข้าระบบ.....	63
3.4.6	เครื่องสูบล้างกลับและเครื่องสูบน้ำกลับ.....	64
3.4.7	ถังพักน้ำเสีย.....	64
3.4.8	ถังพักน้ำทิ้ง.....	64
3.5	การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์.....	64
3.6	การควบคุมและการดูแลรักษาระบบ.....	65
4	ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	71
4.1	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลชุดทดลองที่ 1.....	72
4.1.1	อุณหภูมิ	72
4.1.2	ค่าเอสวี30และค่าเอสวีไอ.....	72
4.1.3	ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอส.....	76
4.1.4	ค่าไออาร์พี.....	82
4.1.5	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ.....	86
4.1.6	อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะ.....	90
4.1.7	ค่าพีเอช.....	93
4.1.8	ค่าสภาพด่าง.....	96
4.1.9	ค่าซีโอดี.....	101
4.1.10	ค่าไนโตรด.....	109
4.1.11	ค่าไนเตรด.....	112

สารบัญ(ต่อ)

4.1.12	ค่าแอมโมเนีย.....	116
4.1.13	ค่าทีเคเอ็น.....	119
4.1.14	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด.....	123
4.1.15	อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....	125
4.1.16	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....	128
4.1.17	สังกะสี.....	130
4.2	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลชุดทดลองที่ 2	140
4.2.1	อุณหภูมิ	140
4.2.2	ค่าเอสเอสวี30และค่าเอสวีไอ.....	137
4.2.3	ค่าของแข็งแขวนลอยและของแข็งแขวนลอยในน้ำตะกอน.....	144
4.2.4	ค่าไออาร์พี.....	148
4.2.5	ค่าออกซิเจนละลายน้ำ.....	154
4.2.6	อัตราการไหลออกซิเจนจำเพาะ.....	157
4.2.7	ค่าพีเอช.....	161
4.2.8	ค่าสภาพด่าง.....	165
4.2.9	ค่าซีไอดี.....	168
4.2.10	ค่าไนโตรด.....	172
4.2.11	ค่าไนเตรด.....	178
4.2.12	แอมโมเนีย.....	182
4.2.13	ทีเคเอ็น	185
4.2.14	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด	189
4.2.15	อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะ	190
4.2.16	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....	193
4.2.17	สังกะสี.....	195
4.3	เปรียบเทียบผลของสังกะสีที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆของชุดการทดลองที่1	203
	และชุดการทดลองที่2	
4.3.1	ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าเอสวี 30 และค่าเอสวีไอ.....	203

สารบัญ(ต่อ)

4.3.2 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าของแข็งแขวนลอยในน้ำทิ้ง.....	205
และเอ็มแอลเอสเอส	
4.3.3 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าไออาร์พี.....	205
4.3.4 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าออกซิเจนละลายน้ำ.....	207
4.3.5 ผลของสังกะสีที่มีต่ออัตราการไหลออกซิเจนจำเพาะ.....	207
4.3.6 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าพีเอช.....	210
4.3.7 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าสภาพด่าง.....	210
4.3.8 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าซีโอดี.....	214
4.3.9 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าไนโตรด.....	214
4.3.10 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าไนเตรด.....	214
4.3.11 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าแอมโมเนีย.....	217
4.3.12 ผลของสังกะสีที่มีต่อค่าทีเคเอ็น.....	217
4.3.13 ผลของสังกะสีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด.....	220
4.3.14 ผลของสังกะสีที่มีต่ออัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....	223
4.3.15 ผลของสังกะสีที่มีต่ออัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....	225
4.3.16 ผลของสังกะสีที่มีต่อการสะสมของสังกะสีในระบบ.....	226
5 สรุปผลการทดลอง.....	229
5.1 ผลของสังกะสีที่มีต่อการกำจัดอินทรีย์คาร์บอน.....	229
5.2 ผลของสังกะสีที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด.....	230
5.3 ผลของอัตราส่วนซีโอดีต่อสังกะสี.....	230
5.4 ผลของเอ็มแอลเอสเอสในระบบ.....	231
6 ขอนแนะนำสำหรับทำการวิจัยเพิ่มเติม.....	232
รายการอ้างอิง.....	233
ภาคผนวก ก.....	239
ภาคผนวก ข.....	241
ภาคผนวก ค.....	303
ภาคผนวก ง.....	365

สารบัญ(ต่อ)

ประวัติผู้เขียน.....	368
----------------------	-----

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1	ค่าขีดของกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน.....7
ตารางที่ 2-2	ค่าขีดรวมของกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน.....7
ตารางที่ 2-3	ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดในกระบวนการ ไนตริฟิเคชัน.....14
ตารางที่ 2-4	ช่วงความเข้มข้นของแอมโมเนียไนโตรเจนและไนไตรต์ไนโตรเจน.....18 ที่เป็นพิษต่อไนโตรแบกเทอร์ โดยแปรตามลำดับของพีเอช
ตารางที่ 2-5	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันจำเพาะที่อุณหภูมิต่างๆ.....25
ตารางที่ 2-6	ผลของเอสอาร์ทีที่มีต่ออัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....27
ตารางที่ 2-7	ผลของเอสอาร์ทีที่มีต่ออัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะ.....28
ตารางที่ 2-8	ความเข้มข้นของสังกะสีในน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท.....35
ตารางที่ 2-9	ผลของสังกะสีและความเข้มข้นของเอ็มแอลเอสเอสทีที่มีต่ออัตราการ ออกซิไดซ์.....44
ตารางที่ 2-10	สารเคมีที่ใช้ในการผลิตขายึด.....49
ตารางที่ 2-11	ลักษณะน้ำเสียของโรงงานฟิลาเท็กซ์.....52
ตารางที่ 3-1	ตัวแปรกำหนดที่ใช้ในการวิจัย.....55
ตารางที่ 3-2	รายละเอียดระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง.....57
ตารางที่ 3-3	ส่วนประกอบของน้ำเสี้ยงสังเคราะห์.....58
ตารางที่ 3-4	พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์.....66
ตารางที่ 3-5	วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์.....67
ตารางที่ 4-1	ค่าอุณหภูมิของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....73
ตารางที่ 4-2	ค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....76
ตารางที่ 4-3	ค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....76
ตารางที่ 4-4	ค่าของแฉ่งแวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 1.....78 ในช่วงสถานะคงตัว
ตารางที่ 4-5	ค่าของแฉ่งแวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 1.....80 ที่ภาวะช็อก

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 4-6	ระยะเวลาการฟื้นตัวเมื่อใช้ค่าของแข็งแวนลอยและเอ็มแอลเอสเอส.....82 ของชุดทดลองที่ 1 ที่ตำแหน่งต่างๆของระบบเป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-7	ค่าไออาร์พีของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....83
ตารางที่ 4-8	ค่าไออาร์พีของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....85
ตารางที่ 4-9	ระยะเวลาการฟื้นตัวของค่าไออาร์พีของชุดทดลองที่ 1.....86 ที่ถึงแอนีออกซิกเป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-10	ค่าออกซิเจนละลายน้ำของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....87
ตารางที่ 4-11	ค่าออกซิเจนละลายน้ำของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....89
ตารางที่ 4-12	อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของไนโตรออกซิกของชุดทดลองที่ 1.....91 ที่สภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4-13	อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเมื่อแปรค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อ.....91 มวลจุลชีพ
ตารางที่ 4-14	อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเมื่อแปรค่าอัตราส่วนแอมโมเนียต่อ.....92 มวลจุลชีพ
ตารางที่ 4-15	ค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....95
ตารางที่ 4-16	ค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....97
ตารางที่ 4-17	ระยะเวลาการฟื้นตัวเมื่อใช้ค่าพีเอชที่ถึงออกซิกของชุดทดลองที่ 1.....97 เป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-18	ค่าสภาพด่างของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....99
ตารางที่ 4-19	ค่าสภาพด่างของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....102
ตารางที่ 4-20	ระยะเวลาการฟื้นตัวเมื่อใช้ค่าสภาพด่างในถึงออกซิกของ.....102 ชุดทดลองที่ 1 เป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-21	ค่าซีโอดีชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....103
ตารางที่ 4-22	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองและซีโอดีทั้งหมด.....104 ของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว
ตารางที่ 4-23	ค่าซีโอดีชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....106
ตารางที่ 4-24	ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีกรองและซีโอดีทั้งหมดของ.....107 ชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 4-25	ระยะเวลาการฟื้นตัวของค่าซีโอดีของชุดทดลองที่ 1 ในน้ำทิ้ง.....107 เป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-26	ค่าไนโตรคของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว109
ตารางที่ 4-27	ค่าไนโตรคของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....110
ตารางที่ 4-28	ระยะเวลาการฟื้นตัวเมื่อใช้ค่าไนโตรคของชุดทดลองที่ 1112 ในถังออกซิเจนเป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-29	ค่าไนเทรคของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....113
ตารางที่ 4-30	ค่าไนเทรคของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....115
ตารางที่ 4-31	ระยะเวลาการฟื้นตัวเมื่อใช้ค่าไนเทรคของชุดทดลองที่ 1116 ที่ถังออกซิเจนเป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-32	ค่าแอมโมเนียของชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....116
ตารางที่ 4-33	ค่าแอมโมเนียของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....118
ตารางที่ 4-34	ระยะเวลาการฟื้นตัวเมื่อใช้ค่าแอมโมเนียในถังออกซิเจนของ.....119 ชุดทดลองที่ 1 เป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-35	ค่าที่เคเอ็นชุดทดลองที่ 1 ในช่วงสถานะคงตัว.....120
ตารางที่ 4-36	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว.....120
ตารางที่ 4-37	ค่าที่เคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....122
ตารางที่ 4-38	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นกรองของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก.....122
ตารางที่ 4-39	ระยะเวลาการฟื้นตัวเมื่อใช้ค่าที่เคเอ็นในน้ำทิ้งของชุดทดลองที่ 1123 เป็นเกณฑ์
ตารางที่ 4-40	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของชุดทดลองที่ 1 ในช่วง.....123 สภาวะต่างๆ
ตารางที่ 4-41	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะต่างๆ.....126
ตารางที่ 4-42	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของกระบวนการแยกที่เวเต็คสลัดจ์เมื่อ.....127 แปรค่าแอสอาร์ที
ตารางที่ 4-43	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะต่างๆ.....129
ตารางที่ 4-44	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของกระบวนการแยกที่เวเต็คสลัดจ์เมื่อ.....130 แปรค่าแอสอาร์ที

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 4-45	ความเข้มข้นสังกะสีในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....	132
ตารางที่ 4-46	อัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสในถังแอนีอิกซิกและ..... ถึงออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ	134
ตารางที่ 4-47	การคำนวณการสะสมสังกะสีในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....	137
ตารางที่ 4-48	ค่าอุณหภูมิของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว.....	141
ตารางที่ 4-49	ค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว.....	142
ตารางที่ 4-50	ค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะซีด.....	144
ตารางที่ 4-51	ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 2..... ในช่วงสถานะคงตัว	146
ตารางที่ 4-52	ค่าของแข็งแขวนลอยและเอ็มแอลเอสเอสโดยเฉลี่ยของชุดทดลองที่ 2..... ที่ภาวะซีด	148
ตารางที่ 4-53	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าของแข็งแขวนลอยและ..... เอ็มแอลเอสเอสของชุดทดลองที่ 2 ของระบบเป็นเกณฑ์	150
ตารางที่ 4-54	ค่าโออาร์ทีของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว.....	151
ตารางที่ 4-55	ค่าโออาร์ทีของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะซีด.....	153
ตารางที่ 4-56	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าโออาร์ทีในถังแอนีอิกซิกของ..... ชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์	153
ตารางที่ 4-57	ค่าออกซิเจนละลายน้ำของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว.....	154
ตารางที่ 4-58	ค่าออกซิเจนละลายน้ำของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะซีด.....	156
ตารางที่ 4-59	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าออกซิเจนละลายน้ำใน..... ถึงออกซิกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์	157
ตารางที่ 4-60	อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสภาวะต่างๆ.....	158
ตารางที่ 4-61	อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเมื่อแปรค่าอัตราส่วนสารอาหารต่อ..... มวลจุลชีพ	160
ตารางที่ 4-62	อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะเมื่อแปรค่าอัตราส่วนแอมโมเนียต่อ..... มวลจุลชีพ	160
ตารางที่ 4-63	ค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว.....	162
ตารางที่ 4-64	ค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะซีด.....	164

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 4-65	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าพีเอชในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2	165
ตารางที่ 4-66	ค่าสภาพค่างของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว	166
ตารางที่ 4-67	ค่าสภาพค่างของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก	169
ตารางที่ 4-68	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าสภาพค่างในถังแอนีออกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์	169
ตารางที่ 4-69	ค่าซีไอดีของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว	171
ตารางที่ 4-70	ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว	171
ตารางที่ 4-71	ค่าซีไอดีของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก	173
ตารางที่ 4-72	ประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีทั้งหมดและซีไอดีกรองของชุดทดลองที่ 2 ในขณะเกิดภาวะช็อก	174
ตารางที่ 4-73	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าซีไอดีของชุดทดลองที่ 2 ที่ตำแหน่งต่างๆของระบบเป็นเกณฑ์	175
ตารางที่ 4-74	ค่าไนโตรคของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว	176
ตารางที่ 4-75	ค่าไนโตรคของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก	178
ตารางที่ 4-76	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าไนโตรคในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์	179
ตารางที่ 4-77	ค่าไนเตรคของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว	179
ตารางที่ 4-78	ค่าไนเตรคของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก	181
ตารางที่ 4-79	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ค่าไนเตรคในถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์	182
ตารางที่ 4-80	ค่าแอมโมเนียของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว	182
ตารางที่ 4-81	ค่าแอมโมเนียของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก	184
ตารางที่ 4-82	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ประสิทธิภาพการกำจัดค่าที่เคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์	185
ตารางที่ 4-83	ค่าที่เคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสถานะคงตัว	187
ตารางที่ 4-84	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว	187

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ 4-85	ค่าที่เคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก.....	188
ตารางที่ 4-86	ประสิทธิภาพการกำจัดที่เคเอ็นของชุดทดลองที่ 2 เมื่อเกิดภาวะช็อก.....	188
ตารางที่ 4-87	ระยะเวลาการฟื้นตัวของระบบเมื่อใช้ประสิทธิภาพการกำจัดค่าที่เคเอ็น ของชุดทดลองที่ 2 เป็นเกณฑ์	188
ตารางที่ 4-88	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของชุดทดลองที่ 2 ในช่วง..... สภาวะต่างๆ	189
ตารางที่ 4-89	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสภาวะต่างๆ.....	192
ตารางที่ 4-90	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของกระบวนการแยกทิวเด็คสลัดจ์..... เมื่อแปรค่าเอสอาร์ที	192
ตารางที่ 4-91	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2 ในช่วงสภาวะต่างๆ.....	194
ตารางที่ 4-92	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของกระบวนการแยกทิวเด็คสลัดจ์..... เมื่อแปรค่าเอสอาร์ที	195
ตารางที่ 4-93	ความเข้มข้นสังกะสีในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ	197
ตารางที่ 4-94	อัตราส่วนของสังกะสีต่อเอ็มแอลเอสเอสในถังแอนีออกซิกและถังออกซิก..... ของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ	199
ตารางที่ 4-95	การคำนวณการสะสมสังกะสีในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....	200

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2-1	ขั้นตอนการแปลงรูปไนโตรเจนในกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ.....	4
รูปที่ 2-2	ความสัมพันธ์ของความเข้มข้นไนโตรเจนรูปแบบต่างๆกับระยะเวลาที่..... เปลี่ยนไป	6
รูปที่ 2-3	ผลของพีเอชที่มีต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน.....	12
รูปที่ 2-4	ผลของพีเอชที่มีต่อการออกซิเดชันแอมโมเนีย.....	12
รูปที่ 2-5	ผลของพีเอชที่มีต่อแบคทีเรียชนิดไนโตรโซโมนัสและไนโตรแบกเทอร์.....	13
รูปที่ 2-6	ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของไนตริฟายอิง..... แบคทีเรีย	15
รูปที่ 2-7	ผลของเอสอาร์ทีหรืออายุสลัดจ์ที่มีต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน.....	16
รูปที่ 2-8	ลักษณะของจุลินทรีย์ในระบบเมื่อเอสอาร์ทีและอัตราส่วนของอาหาร..... ต่อมวลจุลินทรีย์ที่ต่างกัน	16
รูปที่ 2-9	ผลของซีโอดีที่มีต่อการออกซิเดชันของแอมโมเนีย.....	18
รูปที่ 2-10	ผลของพีเอชที่มีต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน.....	23
รูปที่ 2-11	ผลของออกซิเจนละลายน้ำที่มีต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน.....	24
รูปที่ 2-12	ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	25
รูปที่ 2-13	ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	26
รูปที่ 2-14	ผลของเอสอาร์ทีในถังแอน็อกซิกที่มีต่ออัตราดีไนตริฟิเคชัน.....	27
รูปที่ 2-15	กระบวนการ Wuhrmann สำหรับการกำจัดไนโตรเจน.....	29
รูปที่ 2-16	กระบวนการ Ludzack - Etinger สำหรับการกำจัดไนโตรเจน.....	30
รูปที่ 2-17	กระบวนการ Modified Ludzack - Etinger สำหรับการกำจัดไนโตรเจน.....	30
รูปที่ 2-18	กระบวนการ Bardenpho สำหรับการกำจัดไนโตรเจน.....	31
รูปที่ 2-19	กระบวนการคววนเวียน สำหรับการกำจัดไนโตรเจน.....	31
รูปที่ 2-20	กระบวนการสองสลัดจ์ สำหรับการกำจัดไนโตรเจน.....	33
รูปที่ 2-21	กระบวนการสามสลัดจ์ สำหรับการกำจัดไนโตรเจน.....	33
รูปที่ 2-22	แหล่งกำเนิดของโลหะหนักและเส้นทางของโลหะที่เข้าสู่ระบบ..... บำบัดน้ำเสีย	36
รูปที่ 2-23	การสะสมสังกะสีในสลัดจ์จุลินทรีย์ต่อระยะเวลา.....	37

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 2-24 ผลของระดับสังกะสีที่มีต่อเอสอาร์ทีในกระบวนการแยกทิวเต็ดสลัดจ์.....37

รูปที่ 2-25 ผลของสังกะสีที่มีต่อการลดการสร้างฟล็อกในกระบวนการ.....38
แยกทิวเต็ดสลัดจ์

รูปที่ 2-26 ผลของการลดการสร้างฟล็อกสูงสุดของแต่ละความเข้มข้นของสังกะสี.....38

รูปที่ 2-27 ค่าดัชนีปริมาตรสลัดจ์ในระบบของแต่ละความเข้มข้นของสังกะสี.....38

รูปที่ 2-28 กราฟแสดงการคูดซึ่ม โลหะของสลัดจ์ต่อระยะเวลา.....39

รูปที่ 2-29 ผลของการแปรค่าเอสอาร์ทีที่มีต่อความสามารถในการคูดซึ่ม โลหะของสลัดจ์.....39

รูปที่ 2-30 ผลของการแปรค่าเอสอาร์ทีที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะ.....40

รูปที่ 2-31 อิทธิพลร่วมของตะกั่วกับสังกะสีที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี.....41

รูปที่ 2-32 ร้อยละของการแปรรูปแอมโมเนียของแต่ละเอสอาร์ที.....41

รูปที่ 2-33 ความเข้มข้นของไนเตรดในน้ำทิ้งของแต่ละเอสอาร์ที.....41

รูปที่ 2-34 ความเข้มข้นของไนเตรดต่อระยะเวลา.....42

รูปที่ 2-35 ร้อยละของการเกิดรีดักชันของไนเตรดกับความเข้มข้นของโลหะบางชนิด.....43

รูปที่ 2-36 อัตราส่วนของปริมาณสังกะสีในสลัดจ์ต่อสังกะสีในน้ำทิ้งกับเอสอาร์ที.....43

รูปที่ 2-37 ผลของสังกะสีที่มีต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....44

รูปที่ 2-38 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการคูดซึ่ม โลหะของสลัดจ์ต่างชนิดที่เวลาต่างๆ.....45

รูปที่ 2-39 ผลของเอสอาร์ทีที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสารอาหาร.....46
เปรียบเทียบระหว่างเมื่อมีการเติมและไม่เติมทองแดงและสังกะสี

รูปที่ 2-40 ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งของแต่ละเอสอาร์ทีในขณะที่น้ำเสียไม่มีทองแดง.....46
และสังกะสี

รูปที่ 2-41 ค่าซีโอดีในน้ำทิ้งของแต่ละเอสอาร์ทีในขณะที่น้ำเสียมีทองแดง.....47
และสังกะสี

รูปที่ 2-42 กราฟแสดงค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ซีโอดีค่าต่างๆ.....47
เปรียบเทียบระหว่างเมื่อมีการเติมทองแดงและสังกะสีในน้ำเสีย

รูปที่ 2-43 ขั้นตอนการผลิตยางยืดโดยวิธีฉีด (extrusion) ของโรงงานแห่งหนึ่งใน.....51
ประเทศไทย

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 3-1	ขั้นตอนการศึกษาวิจัยผลของสังกะสีที่มีต่อการกำจัดไนโตรเจนและอินทรีย์คาร์บอนในน้ำเสียโดยกระบวนการแยกที่เวต์เซลล์จัดแบบแอนีออกซิก-ออกซิก.....54
รูปที่ 3-2	แผนผังการติดตั้งเครื่องมือที่ใช้ในชุดทดลองที่ 1 และชุดทดลองที่ 2.....58
รูปที่ 3-3	ถังแอนีออกซิกที่ใช้ในชุดทดลองที่ 1.....60
รูปที่ 3-4	ถังออกซิกที่ใช้ในชุดทดลองที่ 1.....60
รูปที่ 3-5	ถังแอนีออกซิกที่ใช้ในชุดทดลองที่ 2.....61
รูปที่ 3-6	ถังออกซิกที่ใช้ในชุดทดลองที่ 2.....61
รูปที่ 3-7	ถังตกตะกอน.....62
รูปที่ 4-1	ขั้นตอนการสรุปและวิเคราะห์ผล.....71
รูปที่ 4-2	ค่าเอสวี30 และเอสวีไอภายในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....74
รูปที่ 4-3	ค่าของแข็งแขวนลอยภายในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....79
รูปที่ 4-4	ค่าไออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....84
รูปที่ 4-5	ค่าออกซิเจนละลายน้ำที่ตำแหน่งต่างๆในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....88
รูปที่ 4-6	กราฟแสดงอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....94
รูปที่ 4-7	ค่าพีเอชในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....94
รูปที่ 4-8	ค่าสภาพด่างในระบบของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....100
รูปที่ 4-9	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....105
รูปที่ 4-10	ค่าไนโตรเจนภายในถังแอนีออกซิกและถังออกซิเจนของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....111
รูปที่ 4-11	ค่าไนโตรเจนภายในถังแอนีออกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....114
รูปที่ 4-12	ค่าแอมโมเนียภายในถังแอนีออกซิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....117
รูปที่ 4-13	ค่าทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะต่างๆ.....121

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ 4-14	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....124
รูปที่ 4-15	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....124
รูปที่ 4-16	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 ที่สภาวะต่างๆ.....124
รูปที่ 4-17	ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอเนอโรบิก ถึงออกซิก และสลัดจ์133 ของชุดทดลองที่ 1 ที่สถานะคงตัว
รูปที่ 4-18	ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอเนอโรบิก ถึงออกซิก และสลัดจ์133 ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะช็อก
รูปที่ 4-19	ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอเนอโรบิก ถึงออกซิก และสลัดจ์133 ของชุดทดลองที่ 1 ที่ภาวะการฟื้นตัว
รูปที่ 4-20	การควบคุมสังกะสีทั้งระบบของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....135
รูปที่ 4-21	ค่าเอสวี30และเอสวีไอภายในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ.....143
รูปที่ 4-22	ค่าของแข็งแขวนลอยภายในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ.....146
รูปที่ 4-23	ค่าโออาร์พีในระบบของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ.....152
รูปที่ 4-24	ค่าออกซิเจนละลายน้ำในระบบของชุดทดลองที่ 2 สภาวะต่างๆ.....155
รูปที่ 4-25	กราฟแสดงอัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของชุดทดลองที่ 2159 ที่สภาวะต่างๆ
รูปที่ 4-26	ค่าพีเอชในระบบของชุดทดลองที่ 2 สภาวะต่างๆ.....159
รูปที่ 4-27	ค่าสภาพด่างในระบบของชุดทดลองที่ 2 สภาวะต่างๆ.....167
รูปที่ 4-28	ค่าซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดของชุดทดลองที่ 2170 ที่สภาวะต่างๆ
รูปที่ 4-29	ค่าไนโตรเจนภายในถังแอเนอโรบิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2177 ที่สภาวะต่างๆ
รูปที่ 4-30	ค่าไนเตรตภายในถังแอเนอโรบิกและถังออกซิกของชุดทดลองที่ 2180 ที่สภาวะต่างๆ
รูปที่ 4-31	ค่าแอมโมเนีย-ไนโตรเจนภายในถังแอเนอโรบิกและถังออกซิก.....183 ของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ
รูปที่ 4-32	ค่าทีเคเอ็นและประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็น.....186 ของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ

สารบัญญรูป(ต่อ)

รูปที่ 4-33	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด.....191 ของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ
รูปที่ 4-34	อัตราไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ.....189
รูปที่ 4-35	อัตราดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 2 ที่สภาวะต่างๆ.....189
รูปที่ 4-36	ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และสลัดจ์198 ของชุดทดลองที่ 2 ที่สถานะคงตัว
รูปที่ 4-37	ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และสลัดจ์198 ของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะช็อก
รูปที่ 4-38	ปริมาณสังกะสีในเซลล์ภายในถังแอน็อกซิก ถังออกซิก และสลัดจ์198 ของชุดทดลองที่ 2 ที่ภาวะการฟื้นตัว
รูปที่ 4-39	ผลการทดลองค่าเอสวี30และเอสวีไอของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....204
รูปที่ 4-40	ผลการทดลองค่าเอ็มแอลเอสเอสและของแข็งแขวนลอย.....206 ของชุดทดลองที่ 1 และ 2
รูปที่ 4-41	ผลการทดลองของค่าไออาร์พีของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....208
รูปที่ 4-42	ผลการทดลองของค่าออกซิเจนละลายน้ำของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....209
รูปที่ 4-43	อัตราการใช้ออกซิเจนจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....211
รูปที่ 4-44	ผลการทดลองของค่าพีเอชของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....212
รูปที่ 4-45	ผลการทดลองของค่าสภาพด่างของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....213
รูปที่ 4-46	ผลการทดลองของค่าซีไอดีของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....215
รูปที่ 4-47	ผลการทดลองของค่าไนโตรดของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....216
รูปที่ 4-48	ผลการทดลองของค่าไนเตรดของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....218
รูปที่ 4-49	ผลการทดลองของค่าแอมโมเนียของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....219
รูปที่ 4-50	ผลการทดลองของค่าทีเคเอ็นของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....221
รูปที่ 4-51	ประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....222
รูปที่ 4-52	อัตราการไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....224
รูปที่ 4-53	อัตราการดีไนตริฟิเคชันจำเพาะของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....227
รูปที่ 4-54	ผลการทดลองของค่าสังกะสีของชุดทดลองที่ 1 และ 2.....228