

การใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอนนอซิกเพื่อป้องกันสลดจ์ไม่จมตัวของระบบเอเอส



นาย ยงยุทธ วงศ์ประกายวิวัฒน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

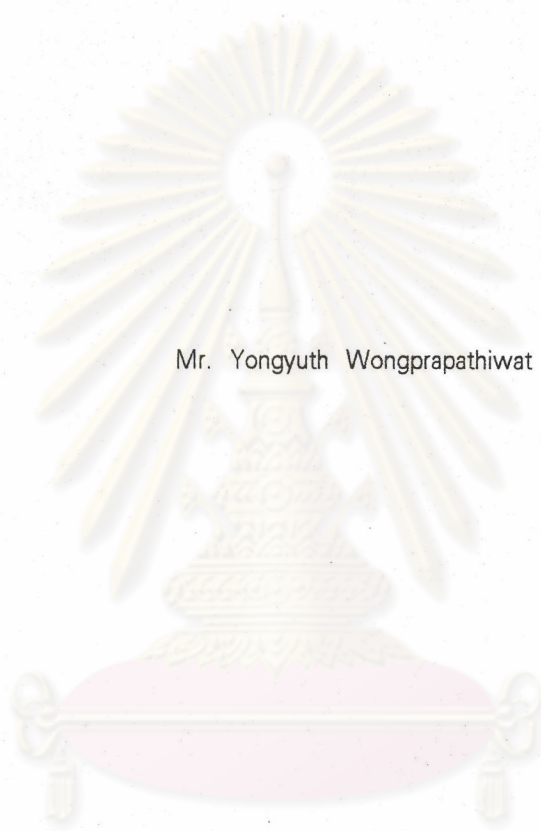
พ.ศ.2539

ISBN 974-634-006-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 1689151X

USE OF ANOXIC SELECTOR FOR PREVENTION OF SLUDGE BULKING IN THE AS SYSTEM



Mr. Yongyuth Wongprathiwat

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfilment of the Requirement  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Environmental Engineering

Graduate School  
Chulalongkorn University

1996

ISBN 974-634-006-9





## พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



ยงยุทธ วงศ์ประกายวิวัฒน์ : การใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอนน็อกซิกเพื่อป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวของระบบเอเอส ( USE OF ANOXIC SELECTOR FOR PREVENTION OF SLUDGE BULKING IN THE AS SYSTEM ) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มั่นสิน ตันจุลเวศม์ , 131 หน้า . ISBN 974-634-006-9

ความมุ่งหมายของการศึกษางานวิจัยนี้ เพื่อทดสอบวิธีป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวของระบบเอเอสโดยใช้ถังคัดพันธุ์แบบแอนน็อกซิกเปรียบเทียบกับระบบเอเอสแบบธรรมดา และหาประสิทธิภาพการกำจัดไนโตรเจนของระบบเอเอสแบบถังคัดพันธุ์แอนน็อกซิก ที่อัตราเวียนสลัดจ์ 100%, 300% และ 500% ของอัตราการป้อนน้ำเสีย

ระบบเอเอสแบบธรรมดา ประกอบด้วย ถังเติมอากาศและถังตกตะกอน ส่วนระบบเอเอสแบบถังคัดพันธุ์แอนน็อกซิกจัดเป็นระบบกำจัดไนโตรเจนเชื้อผสมชนิดดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน ประกอบด้วย ถังแอนน็อกซิก, ถังเติมอากาศและถังตกตะกอน อย่างละ 1 ถัง เรียงกันตามลำดับ อัตราการป้อนน้ำเสียมีค่าคงที่ในทุกการทดลองและเท่ากับ 20 ลิตรต่อวัน ถังแอนน็อกซิก, ถังเติมอากาศและถังตกตะกอน มีเวลากักน้ำเท่ากับ 0.5 , 8 และ 1.7 ชั่วโมงตามลำดับ ค่าอายุตะกอนของทั้งระบบเท่ากับ 20 วัน

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาของกรุงเทพมหานครนำมาเติมน้ำตาลและยูเรีย เพื่อให้มีซีโอดีประมาณ 400 มก./ล. และไนโตรเจนประมาณ 20 มก./ล.สำหรับทุกการทดลอง

ผลการทดลองปรากฏว่า ระบบเอเอสแบบธรรมดาเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวขึ้น มีค่าเอสวีไอเฉลี่ย 224 มล./ก. ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและไนโตรเจนของระบบมีค่าประมาณ 92% และ 76% ตามลำดับ ส่วนระบบเอเอสแบบถังคัดพันธุ์แอนน็อกซิกที่อัตราเวียนสลัดจ์ 100% และ 300% เกิดสลัดจ์ไม่จมตัวขึ้นโดยมีค่าเอสวีไอเฉลี่ย 706 และ 366 มล./ก.ตามลำดับ ซึ่งมีสาเหตุจากการลดลงของอุณหภูมิหรือมีค่าซีโอดีสูงเกินในถังคัดพันธุ์ โดยที่อัตราเวียนสลัดจ์ 500% สามารถป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวได้ มีค่าเอสวีไอเฉลี่ย 77 มล./ก. ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบมีค่าประมาณ 89% , 93% และ 91% ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนของระบบมีค่าประมาณ 45% , 49% และ 55% ตามลำดับ กระบวนการดีไนตริฟิเคชันเกิดได้มากขึ้นเมื่อมีอัตราเวียนสลัดจ์สูงขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมสุขาภิบาล  
ปีการศึกษา ..... 2538

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



## C517700 : MAJOR SANITARY ENGINEERING  
 KEY WORD: ANOXIC SELECTOR / SLUDGE BULKING / ACTIVATED SLUDGE SYSTEM /  
 NITRIFICATION / DENITRIFICATION  
 YONGYUTH WONGPRAPATHIWAT : USE OF ANOXIC SELECTOR FOR PREVENTION  
 OF SLUDGE BULKING IN THE AS SYSTEM. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.  
 MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 131 pp. ISBN 974-634-006-9

This experimental research was aimed to test the application of anoxic selector in the AS system compared with the conventional AS system for prevention of sludge bulking. It was also aimed to determine the efficiency of nitrogen removal by the usage of anoxic selector in the AS system with 100% , 300% and 500% return sludge rate.

The conventional AS system was consisted of an aeration tank and a sedimentation tank respectively, while the AS system with anoxic selector was consisted of a series of an anoxic tank , an aeration tank and a sedimentation tank respectively. The latter system was more or less similar to a single sludge, pre-denitrification systems. The influent flowrate was kept constant at 20 liters per day , resulting in 0.5, 8 and 1.7 hours of hydraulic retention time in the anoxic tank , the aeration tank and the sedimentation tank respectively. The pilot plant had been operated at SRT 20 days in all experimental runs

The raw domestic wastewater used in this study was collected from Sipraya wastewater treatment plant. Sugar and urea were added into the sewage in order to increase COD and TKN concentrations to approximate 400 and 20 mg/l respectively , for all experimental runs.

Results showed that sludge bulking occurred in the conventional AS system (SVI average 224 ml/g). COD and nitrogen removal efficiencies were 92% and 76% respectively. For the AS system with selector, it was found that sludge bulking occurred at the system operating at 100% and 300% return sludge rate (SVI average 706 , 366 ml/g respectively) . The sludge bulking was caused by either the decrease in ambient temperature or by the high COD content in the selector . But it did not occur at 500% return sludge rate (SVI average 77 ml/g). COD removal efficiencies were 89% , 93% and 91% respectively . Nitrogen removal efficiencies were 45% , 49% and 55% respectively. The better denitrification was obtained by increasing return sludge rate .

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต..... *Yongyuth Wongprapathiwat*

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสุขาภิบาล

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Munsin Tuntoolavest*

ปีการศึกษา..... 2538

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



## กิตติกรรมประกาศ



ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตันกุลเวศม์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่างๆ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประแส มงคลศิริ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้มอบความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทางภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท แชน อี 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียร์ จำกัด ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อถึงปฏิกิริยา ที่ใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณกองควบคุมน้ำเสีย สำนักงานระบายน้ำ และเจ้าหน้าที่ของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาทุกท่าน ที่อนุญาตและช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสีย

ขอขอบคุณ คุณชัยพร ภูประเสริฐ, คุณชำนาญ กายประสิทธิ์, คุณศิริมา ปัญญาเมธิกุล ที่ช่วยเหลือในการพิมพ์วิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังใจและกำลังกาย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดต้องขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา หากวิทยานิพนธ์นี้มีคุณประโยชน์อยู่บ้าง ก็ขอมอบความดีนั้นกลับไปให้ทุกท่านที่กล่าวไว้



## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	๖
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	๗
กิตติกรรมประกาศ.....	๘
สารบัญ.....	๙
สารบัญตาราง.....	๑๐
สารบัญภาพ.....	๑๑
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 คำนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	3
2.1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชน.....	3
2.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย.....	4
2.3 ไนโตรเจนในน้ำเสีย.....	5
2.4 การกำจัดไนโตรเจนด้วยวิธีชีววิทยา.....	7
2.4.1 การกำจัดแอมโมเนียด้วยวิธีชีวสังเคราะห์.....	7
2.4.2 การกำจัดแอมโมเนียด้วยวิธีปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน.....	7
2.4.3 การกำจัดไนไตรต์และไนเทรตด้วยวิธีดีไนตริฟิเคชัน.....	8
2.5 กระบวนการไนตริฟิเคชัน.....	9
2.5.1 สโตยซิโอมเมตริกของไนตริฟิเคชัน.....	9
2.5.2 จลนศาสตร์ของไนตริฟิเคชัน.....	10
2.5.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชัน.....	11
2.6 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	12
2.6.1 สโตยซิโอมเมตริกของดีไนตริฟิเคชัน.....	12
2.6.2 จลนศาสตร์ของดีไนตริฟิเคชัน.....	13
2.6.3 ปัจจัยที่มีผลต่อปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชัน.....	13
2.7 การใช้ระบบเอเอสกำจัดไนโตรเจนในน้ำเสีย.....	14



2.7.1 ประเภทของระบบเอเอสที่ใช้กำจัดไนโตรเจน.....	14
2.7.1.1 ระบบแยกเชื้อ.....	14
2.7.1.2 ระบบเชื้อผสม.....	15
2.7.2 ความสำคัญของชนิดและปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่มีต่อการ กำจัดไนโตรเจน.....	15
2.7.3 ข้อดีและข้อเสียของระบบกำจัดไนโตรเจนแบบแยกเชื้อและแบบ เชื้อผสม.....	16
2.7.4 สภาวะแอนน็อกซิกต่อความสามารถในการตกตะกอนของระบบ เอเอส.....	17
2.8 สลัดจ์ไม่จมตัวในระบบเอเอส.....	18
2.9 ปัญหาการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว.....	20
2.10 การควบคุมจุลินทรีย์แบบเส้นใย.....	24
2.11 หลักการสำคัญของการใช้ถังคัดพันธุ์ควบคุมสลัดจ์ไม่จมตัว.....	25
2.12 ผลของถังคัดพันธุ์.....	25
2.13 กลไกของถังคัดพันธุ์.....	25
2.14 ธรรมชาติใช้บ่งชี้การเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว.....	29
2.15 การศึกษาที่ผ่านมา.....	30
บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย.....	35
3.1 แผนการทดลอง.....	35
3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา.....	35
3.3 ลักษณะของน้ำเสีย.....	36
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	38
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	40
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	43
4.1 ผลการวิจัยของพารามิเตอร์ต่างๆ.....	44
4.1.1 อุณหภูมิ.....	44
4.1.2 เอสวี 30 และเอสวีไอ.....	46
4.1.3 เอสเอส.....	49
4.1.4 พีเอช.....	50



4.1.5 ไออาร์พี.....	54
4.1.6 ดีไอ.....	57
4.1.7 ความเป็นต่าง.....	57
4.1.8 ซีไอดี.....	63
4.1.9 ไนโตรเจนรูปต่างๆ.....	68
ก. ทีเคเอ็น.....	68
ข. ไนโตรทและไนเตรท.....	76
ค. ไนโตรเจนรวม.....	76
4.1.10 F/M.....	79
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลองชุดควบคุม.....	86
4.3 วิเคราะห์ผลการทดลองชุดที่ 1.....	88
4.4 วิเคราะห์ผลการทดลองชุดที่ 2.....	91
4.5 วิเคราะห์ผลการทดลองชุดที่ 3.....	94
4.6 ผลการป้องกันสลัดจ์ไม่จมตัวโดยใช้ถังคั้ดพันธุ์แบบแอนนอซิก.....	97
4.6.1 การเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวของระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์.....	97
4.6.2 การเกิดสลัดจ์ไม่จมตัวของระบบเอเอสที่มีถังคั้ดพันธุ์แบบแอนนอซิก.....	97
4.7 ผลของอัตราเวียนสลัดจ์ต่อการกำจัดซีไอดี.....	100
4.8 ผลของอัตราเวียนสลัดจ์ต่อการกำจัดไนโตรเจน.....	101
4.8.1 ระบบเอเอสแบบกวนสมบูรณ์.....	101
4.8.2 ระบบเอเอสที่มีถังคั้ดพันธุ์แบบแอนนอซิก.....	101
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	103
ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยเพิ่มเติม.....	104
รายการอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก.....	108
ประวัติผู้เขียน.....	131

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ลักษณะน้ำเสียชุมชนที่ใช้ในการออกแบบโรงบำบัดน้ำเสียนานา,กทม.....	4
2.2	ตัวอย่างของรายงานผลของสาเหตุการเกิดสลัดจ์ไม่จมตัว.....	23
2.3 ก.	สัญญาลักษณะ,นิยามและข้อกำหนดของถังคัดพันธุ.....	33
2.3 ข.	ผลการวิจัยการควบคุมสลัดจ์ไม่จมตัว.....	33
2.3 ค.	ผลการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย.....	34
3.1	ผลวิเคราะห์น้ำเสียชุมชนดิบจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาดิบในช่วงเดือน กันยายน ปี 2537.....	37
3.2	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของตัวอย่างน้ำ.....	40
3.3	ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์ต่างๆ.....	42
4.1	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆจากการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	44
4.2	ค่าเอสวี 30 และเอสวีไอของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	46
4.3	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นค่าความเป็นด่างของถังคัดพันธุ.....	60
4.4	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นค่าความเป็นด่างของเติมอากาศ.....	61
4.5	ตัวอย่างวิธีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงมวลความเข้มข้นของถังปฏิกริยา.....	62
4.6	เปรียบเทียบการกำจัดซีไอดีของระบบจากการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	63
4.7	ตัวอย่างวิธีการคำนวณประสิทธิภาพกำจัดซีไอดีของระบบ.....	67
4.8	ค่าไนโตรเจนรูปต่างๆของระบบจากการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	69
4.9	ประสิทธิภาพกำจัดไนโตรเจนของระบบจากการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	77
4.10	เปรียบเทียบการเกิดกระบวนการดีไนตริฟิเคชันของถังคัดพันธุ.....	80
4.11	เปรียบเทียบการเกิดกระบวนการไนตริฟิเคชันของถังเติมอากาศ.....	80
4.12	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดลองชุดควบคุม.....	84
4.13	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดลองชุดที่ 1.....	84
4.14	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดลองชุดที่ 2.....	85
4.15	ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆจากการทดลองชุดที่ 3.....	85
4.16	พารามิเตอร์และผลการทดลองของการทดลองชุดควบคุม.....	86
4.17	พารามิเตอร์และผลการทดลองของการทดลองชุดที่ 1.....	89

4.18	พารามิเตอร์และผลการทดลองของการทดลองชุดที่ 2.....	92
4.19	พารามิเตอร์และผลการทดลองของการทดลองชุดที่ 3.....	95
4.20	เปรียบเทียบผลของอัตราเวียนสลัดจ์ต่อการกำจัดซีไอดีของระบบบำบัด.....	100



ศูนย์วิทยพัทยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
รูปที่ 2.1	การเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ.....	6
รูปที่ 2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเจริญเติบโตโดยทั่วไปของจุลินทรีย์แบบเส้นใยและ จุลินทรีย์แบบไม่ใช่เส้นใยกับความเข้มข้นของสารอาหาร.....	19
รูปที่ 2.3	เปรียบเทียบการลดค่าซีไอดีของระบบเอเอสแบบถังคัดพันธุ์และแบบกวนผสม.....	26
รูปที่ 2.4	เปรียบเทียบการออกซิเจนของระบบเอเอสแบบถังคัดพันธุ์และแบบกวนผสม.....	26
รูปที่ 2.5	กลไกการกำจัดสารอาหารของระบบถังคัดพันธุ์แบบแอโรบิก.....	28
รูปที่ 2.6	กลไกการกำจัดสารอาหารของระบบถังคัดพันธุ์แบบแอนอโรบิก.....	28
รูปที่ 2.7	กลไกการกำจัดสารอาหารของระบบถังคัดพันธุ์แบบแอนแอโรบิก.....	28
รูปที่ 3.1	ไดอะแกรมระบบการทดลองชุดควบคุม.....	38
รูปที่ 3.2	ไดอะแกรมระบบการทดลองชุดถังคัดพันธุ์.....	38
รูปที่ 3.3	ขนาดของถังเติมอากาศ, ถังคัดพันธุ์และใบกวนน้ำ.....	39
รูปที่ 4.1	การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	45
รูปที่ 4.2	การเปลี่ยนแปลงค่าเอสวี 30 ของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	47
รูปที่ 4.3	การเปลี่ยนแปลงค่าเอสวีไอของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	48
รูปที่ 4.4	การเปลี่ยนแปลงค่าเอสเอสของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	51
รูปที่ 4.5	ค่าเอสเอสของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	52
รูปที่ 4.6	ค่าเอสเอสของน้ำทิ้ง.....	53
รูปที่ 4.7	การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	55
รูปที่ 4.8	การเปลี่ยนแปลงค่าไออาร์พีของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	56
รูปที่ 4.9	การเปลี่ยนแปลงค่าดีไอของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	58
รูปที่ 4.10	การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นด่างของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	59
รูปที่ 4.11	การเปลี่ยนแปลงค่าซีไอดีของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	64
รูปที่ 4.12	ค่าซีไอดีของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	65
รูปที่ 4.13	ซีไอดีในถังคัดพันธุ์และถังเติมอากาศของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	66
รูปที่ 4.14	การเปลี่ยนแปลงค่าทีเคเอ็นของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	70
รูปที่ 4.15	การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรทของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	71

รูปที่ 4.16	การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรทของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	72
รูปที่ 4.17	การเปลี่ยนแปลงค่า NOx ของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	73
รูปที่ 4.18	การเปลี่ยนแปลงค่าไนโตรเจนรวมของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	74
รูปที่ 4.19	ไนโตรเจนรวมในถังคัดพันธุ์และถังเติมอากาศของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	75
รูปที่ 4.20	การเปลี่ยนแปลงค่า F/M ของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	81
รูปที่ 4.21	ค่า F/M ของการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	82
รูปที่ 4.22	ค่า F/M ของถังเติมอากาศจากการทดลองทั้ง 4 ชุด.....	83
รูปที่ 4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองชุดควบคุม.....	87
รูปที่ 4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองชุดที่ 1.....	90
รูปที่ 4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองชุดที่ 2.....	93
รูปที่ 4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่างๆของการทดลองชุดที่ 3.....	96

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย