ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อระบบแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ

นาย ชัยพร ภู่ประเสริฐ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พ.ศ.2538
ISBN 974 - 632 - 864 - 6
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I16884255

Effect of COD : Nitrogen Ratio on Nitrogen Removal from Domestic Low Strength Wastewater by Using Activated Sludge Process

Mr. Chaiyaporn Phuprasert

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
1995

ISBN 974 - 632 - 864 - 6

Effect of COD : Nitrogen Ratio on Nitrogen Removal from Domestic Low Strength Wastewater by Using Activated Sludge Process

Mr. Chaiyaporn Phuprasert

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
1995

ISBN 974 - 632 - 864 - 6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อระบบแอ็กติเวเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ
โดย	นาย ชัยพร ภู่ประเสริฐ
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาตราจารย์ ดร.สันติ ถุงสุวรรณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาตราจารย์ ดร.มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ประแสง มงคลศิริ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชัยพร ภู่ประเสริฐ : ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อระบบแอ็กติเวตเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ (EFFECT OF COD : NITROGEN RATIO ON NITROGEN REMOVAL FROM DOMESTIC LOW STRENGTH WASTEWATER BY USING ACTIVATED SLUDGE PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ , 199 หน้า , ISBN 974 - 632 - 864 - 6

งานทดลองวิจัยนี้ เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ และพฤติกรรมของระบบแอ็กติเวตเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำและมีค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนประมาณ 10 นอกจากนี้ยังได้ทำการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนของน้ำเสียชุมชนที่เข้าสู่ระบบ โดยควบคุมค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนให้เท่ากับ 6 , 9 , 12 และ 15

ระบบแอ็กติเวตเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนในงานวิจัยนี้ เป็นระบบเชื้อผสมชนิดดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อนซึ่งประกอบด้วย ถังแอนนอกซิก ถังแอโรบิก และถังตกตะกอน อย่างละ 1 ถัง เรียงกันตามลำดับ อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียมีค่าคงที่ในทุกการทดลองและเท่ากับ 30 ลิตรต่อวัน ถังแอนนอกซิกและถังแอโรบิกมีเวลากักน้ำเท่ากับ 5 ชั่วโมงเท่ากันทั้ง 2 ถัง ค่าอายุตะกอนของทั้งระบบเท่ากับ 10 วัน และอัตราการเวียนกลับของตะกอนสลัดจ์เท่ากับ 500% ของอัตราการไหลเข้า

น้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียชุมชนจริงจากโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาของกรุงเทพมหานคร การแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนทำโดยการเติมน้ำตาลและยูเรียให้กับน้ำเสีย

ผลการทดลองปรากฏว่า เมื่ออัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนเท่ากับ 6 , 9 , 12 , 15 และ 10 นั้น ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบมีค่าประมาณ 93% , 88% , 94% , 95% และ 76% ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนนั้นมีค่าประมาณ 35% , 25% , 57% , 95% และ 7% ตามลำดับ กระบวนการไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ดีในทุกการทดลอง ส่วนกระบวนการดีไนตริฟิเคชันนั้นเกิดได้มากขึ้นเมื่อมีค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนสูงขึ้น และสามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ที่ค่าอัตราส่วนดังกล่าวเท่ากับ 15

สาเหตุที่กระบวนการดีไนตริฟิเคชันไม่สามารถเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากค่าออกซิเจนละลายในถังแอนนอกซิกมีค่าสูงเกินไป อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15 ซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นสูงเพียงพอที่จะใช้ออกซิเจนละลายให้หมดไปได้ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายในถังแอนนอกซิกเหลือน้อยมากจนกระทั่งกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ดี

โดยสรุปแล้ว จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนด้วยระบบแอ็กติเวตเต็ดสลัดจ์แบบเชื้อผสมชนิดดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน อาจไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากน้ำเสียมีค่าซีโอดีต่ำเกินไป

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C517430 : MAJOR SANITARY ENGINEERING
KEY WORD: DOMESTIC WASTEWATER / NITRIFICATION / DENITRIFICATION / ACTIVATED SLUDGE PROCESS
CHAIYAPORN PHUPRASERT : EFFECT OF COD:NITROGEN RATIO ON NITROGEN REMOVAL FROM DOMESTIC LOW STRENGTH WASTEWATER BY USING ACTIVATED SLUDGE PROCESS. THESIS ADVISOR : ASSO.PROF.MUNSIN TUNTOOLAVEST, Ph.D. 199 pp. ISBN 974-632-864-6

This experimental research was aimed to study the applicability and behavior of an activated sludge process used in removing nitrogen from low strength domestic wastewater with COD:N ratio of approximately 10:1. Four more experimental runs were also studied with different COD:N ratio of 6 , 9 , 12 and 15 to obtain the same objective.

The activated sludge system used in this research was a single sludge pre-denitrification system which consists of a series of an anoxic tank , an aeration tank and a sedimentation tank respectively. The influent flowrate was kept constant at 30 liters per day , resulting in 5 hours of hydraulic retention time in both anoxic and aerobic tanks. The pilot plant had been operated at SRT 10 days in all experimental runs. The sludge in the bottom of the sedimentation tank was returned at a recycle ratio of 500% to the anoxic tank in all experiments.

The raw domestic wastewater used in this study was collected from Sipraya wastewater treatment plant. When necessary , sugar and urea were added in order to keep the COD:N ratio at the required level.

Results showed that at the COD:N ratio 6, 9, 12, 15 and 10, COD removal efficiencies were 93%, 88%, 94%, 95% and 76% respectively. And nitrogen removal efficiencies were 35%, 25%, 57%, 95% and 7% respectively. In all runs high nitrification had been observed. It was also found that the higher the COD:N ratio was , the better the denitrification was obtained. However , complete denitrification were not observed unless at the highest COD:N ratio of 15.

The complete denitrification could not be obtained due to too high DO content in the anoxic tank. However , at the highest COD:N ratio of 15 , the COD concentration was high enough for the COD oxidation to consume most DO content in the anoxic tank , resulting in low DO in anoxic tank and then the complete denitrification could be obtained.

Conclusively all the results showed that it might not be possible to remove nitrogen from low strength domestic wastewater by using sirgle sludge pre-denitrification system because the COD concentration in wastewater was too low.

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2538 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่างๆ เพื่อให้ผู้วิจัยสามารถทำการทดลองวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีและถูกต้อง

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประแสง มงคลศิริ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้มอบความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทางภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท แชน อี 68 คอนซัลติ้ง เอ็นจิเนียร์ จำกัด ที่ได้กรุณาเอื้อเฟื้อถังปฏิกิริยา ที่ใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณกองควบคุมน้ำเสีย สำนักการระบายน้ำ และเจ้าหน้าที่ของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาทุกท่าน ที่อนุญาตและช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสีย

ขอขอบคุณ คุณปรีดี หวังชิงชัย,คุณพิเชฐ ยงชัยตระกูล,คุณพัชรินทร์ ลิขิตวัฒนเศรษฐ, คุณปริยา ชัยรัตน์อุทัย และคุณวรรณา หงษ์ทอง ที่ช่วยเหลือในการพิมพ์วิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังใจและกำลังกาย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดต้องขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา หากวิทยานิพนธ์นี้พอมีคุณประโยชน์อยู่บ้าง ก็ขอมอบความดีนั้นกลับไปให้ครอบครัวของผู้วิจัยได้รับไว้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฐ

สารบัญรูป ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2. วัตถุประสงค์ 2

1.3. ขอบเขตการวิจัย 2

บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร 4

2.1. ความสำคัญของการกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชน 4

2.1.1 ที่มาของไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชน 4

2.1.2 ลักษณะสมบัติ ปริมาณ ของไนโตรเจนในน้ำเสียชุมชน 5

2.1.3 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในการปล่อยไนโตรเจนลงสู่แหล่งรับน้ำ 8

2.2. วิธีการกำจัดไนโตรเจน 9

2.2.1. วิธีการทางฟิสิกส์ 9

2.2.2. วิธีการทางเคมี 10

2.2.3. วิธีการทางชีวะภาพ 10

2.3. วิธีการกำจัดไนโตรเจน โดยใช้กระบวนการไนตริฟิเคชันและดีไนตริฟิเคชัน 11

2.3.1. กระบวนการ Ammonification 12

2.3.2. กระบวนการ Assimilation 12

2.3.3. กระบวนการ ไนตริฟิเคชัน (Nitrification) 14

2.3.4. กระบวนการ ดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification) 15

2.4. สตอยชิโอเมตริกและจลศาสตร์ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน 18

2.4.1. สตอยชิโอเมตริกของกระบวนการไนตริฟิเคชัน 18

2.4.2. จลศาสตร์ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน 20

2.5. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน 22
2.5.1. ค่าออกซิเจนละลาย 22
2.5.2. ค่าพีเอช 22
2.5.3. อุณหภูมิ 23
2.5.4. ปัจจัยอื่นๆ 23
2.6. สตอยชิโอเมตริกและจลศาสตร์ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 25
2.6.1. สตอยชิโอเมตริกของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 25
2.6.2. จลศาสตร์ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 29
2.7. ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 32
2.7.1. ปริมาณไนเตรทไนโตรเจน 32
2.7.2. ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน 32
2.7.3. ค่าพีเอช 32
2.7.4. ค่าออกซิเจนละลาย 33
2.8. การใช้ระบบแอ็คติเวตเต็ดด์สลัดจ์ในการกำจัดไนโตรเจน 34
2.8.1. ระบบแยกเชื้อ (Separate culture system) 34
2.8.2. ระบบเชื้อผสม (Combine Culture System) 35
2.8.3. ข้อดีและข้อเสียของระบบแยกเชื้อและระบบเชื้อผสม 38
2.9. ตัวอย่างระบบแอ็คติเวตเต็ดด์สลัดจ์ในการกำจัดไนโตรเจน 40
2.9.1. ระบบ WUHRMANN 40
2.9.2. ระบบ LUDZACK ETTINGER 41
2.9.3. ระบบ BARDENPHO 42
2.9.4. ระบบ SEQUENCING BATCH REACTOR 44
2.9.5. ระบบ OXIDATION DITCH 44
2.10. ความสำคัญของสารอินทรีย์คาร์บอนในระบบแอ็คติเวตเต็ดด์สลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจน 47
2.10.1. ชนิดของสารอินทรีย์คาร์บอน 47
2.10.2. ปริมาณของสารอินทรีย์คาร์บอน 48
2.11. การศึกษาที่ผ่านมา 49

บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินงานวิจัย 51
3.1. ระบบที่ใช้ในการทดลอง 51
3.2. การวิเคราะห์ลักษณะน้ำเสียชุมชน 52
3.3. แผนการทดลอง 54
3.3.1. การทดลองชุดที่ 1 55
3.3.2. การทดลองชุดที่ 2 55
3.3.3. การทดลองชุดที่ 3 56
3.3.4. การทดลองชุดที่ 4 56
3.3.5. การทดลองชุดที่ 5 56
3.4. ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง 59
3.5. เครื่องมือและอุปกรณ์ 61
3.5.1. ถังปฏิกริยา 61
3.5.2. อุปกรณ์การกวนน้ำในถังแอนนอกซิก 61
3.5.3. เครื่องสูบน้ำเสีย 61
3.5.4. เครื่องสูบตะกอนหมุนเวียน 61
3.5.5. ถังพักน้ำเสีย 61
3.5.6. ถังพักน้ำออก 62
3.6. การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 67
3.7. การเดินระบบ 70
3.7.1. การเริ่มเดินระบบ 70
3.7.2. การเดินระบบต่อเนื่อง 71
3.7.3. การดูแลรักษาและควบคุมระบบ 72
3.7.3.1. การควบคุมการไหล 72
3.7.3.2. การควบคุมอายุตะกอน 73
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 74
4.1. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล การทดลองชุดที่ 1 74
4.2. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล การทดลองชุดที่ 2 87
4.3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล การทดลองชุดที่ 3 99
4.4. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล การทดลองชุดที่ 4 111

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล การทดลองชุดที่ 5 123
4.6. ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนกับพารามิเตอร์ต่างๆ 135
4.7. ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อกระบวนการที่เกิดขึ้น
ในระบบแอ็คติเวดเต็ดด์สลัดจ์ 138
4.8. ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์
คาร์บอนและไนโตรเจนของระบบ 145
4.9. ผลของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อลักษณะซองตะกอนแขวนลอย
ในระบบ 147
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 152
บทที่ 6 ข้อแนะนำสำหรับการวิจัยเพิ่มเติม 154
รายการอ้างอิง 155
ภาคผนวก 158
ประวัติผู้เขียน 199

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1 แสดงค่าผลวิเคราะห์น้ำเสียชุมชน และค่าที่ใช้ในการออกแบบโรงบำบัดน้ำเสียยานนาวา 6
ตารางที่ 2-2 แสดงสมการและพลังงานที่จุลินทรีย์ให้ ต่อ 1 โมลกลูโคส 25
ตารางที่ 2-3 แสดงค่าคงที่ทางจลศาสตร์สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ โดยใช้เมธานอลเป็นแหล่งคาร์บอน 31
ตารางที่ 2-4 แสดงข้อดีและข้อเสียของระบบแยกเชื้อและระบบเชื้อผสมทั้ง 2 แบบ 39
ตารางที่ 3-1 แสดงค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียชุมชนดิบ ที่วัดในเดือนกันยายน 2537 53
ตารางที่ 3-2 แสดงแผนการทดลองทั้ง 5 ชุด 57
ตารางที่ 3-3 แสดงตัวแปรคงที่ต่างๆในระบบแอ็คติเวตเต็ดด์สลัดจ์แบบเชื้อผสมชนิดดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อนที่ใช้ในงานวิจัย 58
ตารางที่ 3-4 แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ของพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ 68
ตารางที่ 3-5 แสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของตัวอย่างน้ำ 69
ตารางที่ 4-1 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 1 74
ตารางที่ 4-2 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 2 87
ตารางที่ 4-3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 3 99
ตารางที่ 4-4 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 4 111
ตารางที่ 4-5 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตราฐานของพารามิเตอร์ที่ทำการวัดในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 5 123

สารบัญรูป

รูปที่ 1-1 แสดงส่วนประกอบของระบบแอ็คติเวตเต็ดด์สลัดจ์แบบเชื้อผสมชนิดดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน....3

รูปที่ 2-1 แสดงวัฏจักรไนโตรเจน....7

รูปที่ 2-2 แสดงเส้นทางการแปลงรูปและกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจน....13

รูปที่ 2-3 แสดงผลของพีเอชที่มีต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน....24

รูปที่ 2-4 แสดงผลของพีเอชที่มีต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน....33

รูปที่ 2-5 แสดงระบบกำจัดไนโตรเจนแบบแยกเชื้อ....34

รูปที่ 2-6 แสดงระบบกำจัดไนโตรเจนแบบเชื้อผสม ก. ดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน ข. ดีไนตริฟิเคชันเกิดทีหลัง....36

รูปที่ 2-7 แสดงรายละเอียดของระบบ WUHRMANN....40

รูปที่ 2-8 แสดงรายละเอียด ก. LUDZAK ETTINGER ข. MODIFIED LUDZAK ETTINGER....42

รูปที่ 2-9 แสดงรายละเอียดของระบบ BARDENPHO....43

รูปที่ 2-10 แสดงรายละเอียดของระบบ OXIDATION DITCH....45

รูปที่ 2-11 แสดงรายละเอียดของระบบ ORBAL SIMPRE....46

รูปที่ 3-1 แสดงรูปแบบของระบบกำจัดไนโตรเจนแบบเชื้อผสมชนิดดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน....51

รูปที่ 3-2 แสดงแผนการทดลองและระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง....60

รูปที่ 3-3 แสดงแผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์....63

รูปที่ 3-4 แสดงรายละเอียดของระบบและอุปกรณ์ต่างๆขณะเดินระบบจริง....64

รูปที่ 3-5 แสดงรายละเอียดของถังปฏิกริยา....65

รูปที่ 3-6 แสดงขนาดของใบกวนน้ำและรายละเอียด....66

รูปที่ 4-1 กราฟแสดงค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1....78

รูปที่ 4-2 กราฟแสดงค่าทีเคเอ็นในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1....78

รูปที่ 4-3 กราฟแสดงค่าไนเตรทในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1....78

รูปที่ 4-4 กราฟแสดงค่าไนไตรท์ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1....78

รูปที่ 4-5 กราฟแสดงค่าความเป็นด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....81
รูปที่ 4-6 กราฟแสดงค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....81
รูปที่ 4-7 กราฟแสดงค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....84
รูปที่ 4-8 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....84
รูปที่ 4-9 กราฟแสดงค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....84
รูปที่ 4-10 กราฟแสดงค่าโออาร์พีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....86
รูปที่ 4-11 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....86
รูปที่ 4-12 กราฟแสดงค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....90
รูปที่ 4-13 กราฟแสดงค่าทีเคเอ็นในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....90
รูปที่ 4-14 กราฟแสดงค่าไนเตรทในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....90
รูปที่ 4-15 กราฟแสดงค่าไนไตรท์ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....93
รูปที่ 4-16 กราฟแสดงค่าความเป็นด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....93
รูปที่ 4-17 กราฟแสดงค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....93
รูปที่ 4-18 กราฟแสดงค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....96
รูปที่ 4-19 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....96
รูปที่ 4-20 กราฟแสดงค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....96
รูปที่ 4-21 กราฟแสดงค่าโออาร์พีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....98
รูปที่ 4-22 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 2.....98
รูปที่ 4-23 กราฟแสดงค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....102
รูปที่ 4-24 กราฟแสดงค่าทีเคเอ็นในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....102
รูปที่ 4-25 กราฟแสดงค่าไนเตรทในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....102
รูปที่ 4-26 กราฟแสดงค่าไนไตรท์ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....105

รูปที่ 4-27 กราฟแสดงค่าความเป็นด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....105
รูปที่ 4-28 กราฟแสดงค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....105
รูปที่ 4-29 กราฟแสดงค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....108
รูปที่ 4-30 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....108
รูปที่ 4-31 กราฟแสดงค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....108
รูปที่ 4-32 กราฟแสดงค่าโอ่อาร์พีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....110
รูปที่ 4-33 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 3.....110
รูปที่ 4-34 กราฟแสดงค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....114
รูปที่ 4-35 กราฟแสดงค่าทีเคเอ็นในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....114
รูปที่ 4-36 กราฟแสดงค่าไนเตรทในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....114
รูปที่ 4-37 กราฟแสดงค่าไนไตรท์ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....117
รูปที่ 4-38 กราฟแสดงค่าความเป็นด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....117
รูปที่ 4-39 กราฟแสดงค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....117
รูปที่ 4-40 กราฟแสดงค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....120
รูปที่ 4-41 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....120
รูปที่ 4-42 กราฟแสดงค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....120
รูปที่ 4-43 กราฟแสดงค่าโออาร์พีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....122
รูปที่ 4-44 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 4.....122
รูปที่ 4-45 กราฟแสดงค่าซีโอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....126
รูปที่ 4-46 กราฟแสดงค่าทีเคเอ็นในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....126
รูปที่ 4-47 กราฟแสดงค่าไนเตรทในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....126
รูปที่ 4-48 กราฟแสดงค่าไนไตรท์ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....129

รูปที่ 4-49 กราฟแสดงค่าความเป็นด่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....129
รูปที่ 4-50 กราฟแสดงค่าตะกอนแขวนลอยในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....129
รูปที่ 4-51 กราฟแสดงค่าพีเอชในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....132
รูปที่ 4-52 กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....132
รูปที่ 4-53 กราฟแสดงค่า V_{30} ในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....132
รูปที่ 4-54 กราฟแสดงค่าโออาร์พีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....134
รูปที่ 4-55 กราฟแสดงค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....134
รูปที่ 4-56 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน ที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ.....136
รูปที่ 4-57 แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจน ที่มีต่อ ค่าซีโอดี ค่าทีเคเอ็น ค่าไนเตรท ค่าไนไตรท์ และค่าออกซิเจนละลาย.....140
รูปที่ 4-58 แสดงรูปขยายตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 1.....148
รูปที่ 4-59 แสดงรูปขยายตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 2.....148
รูปที่ 4-60 แสดงรูปขยายตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 3.....149
รูปที่ 4-61 แสดงรูปขยายตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 4.....149
รูปที่ 4-62 แสดงรูปขยายตะกอนแขวนลอย การทดลองชุดที่ 5.....151

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย