

ผลของค่าอัตราส่วนซีไอต่อในโตรเจนที่มีต่อระบบแอ็กติเวตเต็ดสลัดจ์
ที่ใช้ในการกำจัดในโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ



นาย ชัยพร ภูประเสริฐ

ศูนย์วิทยพัทยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

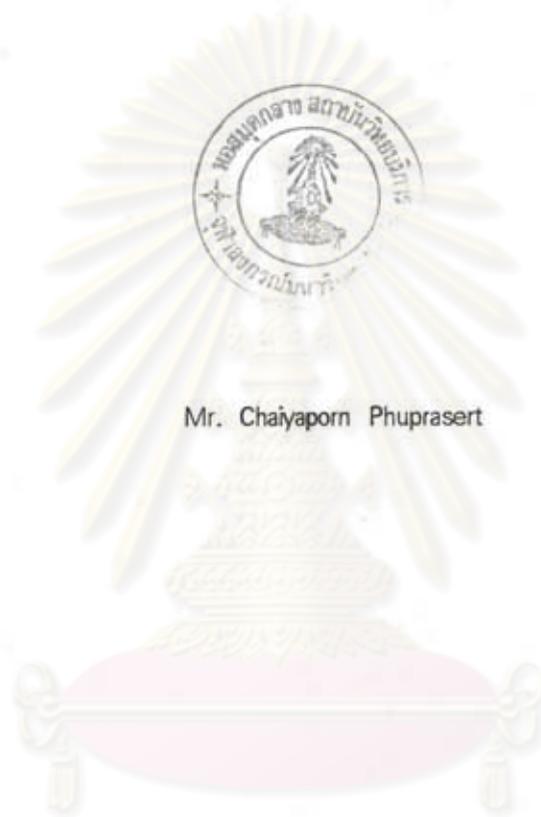
พ.ศ.2538

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

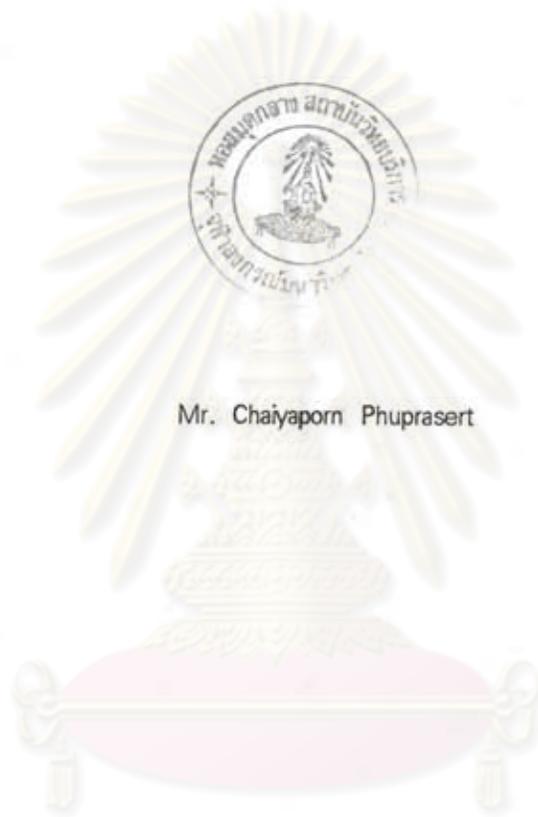
Graduate School

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

ผลของค่าอัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อระบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์
ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนออกจากรน้ำเสียชุมชนที่มีความเข้มข้นต่ำ

โดย

นาย ชัยพร ภูประเสริฐ

ภาควิชา

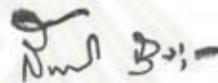
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.มันสิน ตันฑุลเวศม์



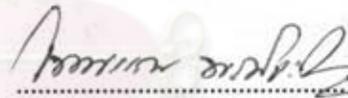
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.สันติ ฤงสูรธรรม)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



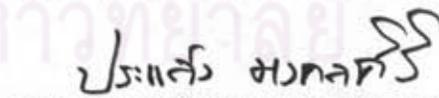
.....ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา)



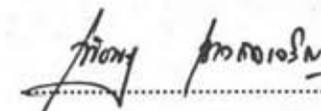
.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.มันสิน ตันฑุลเวศม์)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประแสง มงคลศิริ)



.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เพชรพร เขาวกิจเจริญ)

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว



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

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

ระบบแอ็กติเวตเต็ดสลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจนในงานวิจัยนี้ เป็นระบบเชื้อผสมชนิดดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อนซึ่งประกอบด้วย ถังแอนน็อกซิก ถังแเอโรบิก และถังตกตะกอน อย่างละ 1 ถัง เรียงกันตามลำดับ อัตราการไหลเข้าของน้ำเสียมีค่าคงที่ในทุกการทดลองและเท่ากับ 30 ลิตรต่อวัน ถังแอนน็อกซิกและถังแเอโรบิกมีเวลากักน้ำเท่ากับ 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 เนื่องจากค่าออกซิเจนละลายในถังแอนน็อกซิกมีค่าสูงเกินไป อย่างไรก็ตาม เมื่อค่าอัตราส่วนซีโอดีต่อไนโตรเจนเท่ากับ 15 ซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบมีความเข้มข้นสูงเพียงพอที่จะใช้ออกซิเจนละลายให้หมดไปได้ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายในถังแอนน็อกซิกเหลือน้อยมากจนกระทั่งกระบวนการดีไนตริฟิเคชันสามารถเกิดขึ้นได้ดี

โดยสรุปแล้ว จากการทดลองแสดงให้เห็นว่า การกำจัดไนโตรเจนออกจากน้ำเสียชุมชนด้วยระบบแอ็กติเวตเต็ดสลัดจ์แบบเชื้อผสมชนิดดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน อาจไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากน้ำเสียมีค่าซีโอดีต่ำเกินไป

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล
ปีการศึกษา 2538

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
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. ISEN 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.

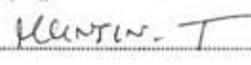
The complete denitrification could not be obtained due to too high DO content in the anoxic tank. However , at the highest COD:N ratio of 15 , the COD concentration was high enough for the COD oxidation to consume most DO content in the anoxic tank , resulting in low DO in anoxic tank and then the complete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

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ พรประภา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประแส มงคลศิริ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ ที่ช่วยกรุณาตรวจสอบวิทยานิพนธ์และให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้มอบความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ทางภาคศึกษาศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท แชน อี 68 คอนซัลติง เอ็นจิเนียร จำกัด ที่ได้กรุณาเชื้อเพื่อถึงปฏิกิริยา ที่ใช้ในการทดลอง และขอขอบคุณกองควบคุมน้ำเสีย สำนักการระบายน้ำ และเจ้าหน้าที่ของโรงบำบัดน้ำเสียสี่พระยาทุกท่าน ที่อนุญาตและช่วยอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสีย

ขอขอบคุณ คุณปรีดี หวังชิงชัย, คุณพิเชฐ ยงชัยตระกูล, คุณพัชรินทร์ ลิขิตวัฒน์เศรษฐ, คุณปรียา ชัยรัตน์อุทัย และคุณวรรณนา หงษ์ทอง ที่ช่วยเหลือในการพิมพ์วิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณพี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือทั้งในด้านกำลังใจและกำลังกาย

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้ จนทำให้สามารถทำการวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดต้องขอขอบคุณครอบครัวของผู้วิจัย ที่ให้ความช่วยเหลือทุกด้าน และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยตลอดมา หากวิทยานิพนธ์นี้พอมีคุณประโยชน์อยู่บ้าง ก็ขอมอบความดีนั้นกลับไปให้ครอบครัวของผู้วิจัยได้รับไว้



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. ความสำคัญของการกำจัดไนโตรเจนออกจากรน้ำเสียชุมชน.....	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. วิธีการทางชีวภาพ.....	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. สโตยซิโอมेटริกและจลศาสตร์ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	25
2.6.1. สโตยซิโอมेटริกของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	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. การใช้ระบบแเอคติเวตเต็ดด์สลัดจ์ในการกำจัดไนโตรเจน.....	34
2.8.1. ระบบแยกเชื้อ (Separate culture system).....	34
2.8.2. ระบบเชื้อผสม (Combine Culture System).....	35
2.8.3. ข้อดีและข้อเสียของระบบแยกเชื้อและระบบเชื้อผสม.....	38
2.9. ตัวอย่างระบบแเอคติเวตเต็ดด์สลัดจ์ในการกำจัดไนโตรเจน.....	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. ความสำคัญของสารอินทรีย์คาร์บอนในระบบแเอคติเวตเต็ดด์สลัดจ์ที่ใช้ในการกำจัดไนโตรเจน.....	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. ถังปฏิกิริยา.....	61
3.5.2. อุปกรณ์การกวนน้ำในถังแอนน็อกซิก.....	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

4.5. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล การทดลองชุดที่ 5.....	123
4.6. ความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจนกับพารามิเตอร์ต่างๆ.....	135
4.7. ผลของค่าอัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อกระบวนการที่เกิดขึ้น ในระบบแอ็คติเวตเต็ดสลัดจ์.....	138
4.8. ผลของค่าอัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ คาร์บอนและไนโตรเจนของระบบ.....	145
4.9. ผลของค่าอัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจนที่มีต่อลักษณะของตะกอนแขวนลอย ในระบบ.....	147
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	152
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยเพิ่มเติม.....	154
รายการอ้างอิง.....	155
ภาคผนวก.....	158
ประวัติผู้เขียน.....	199

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2-1	แสดงค่าผลวิเคราะห์น้ำเสียชุมชน และค่าที่ใช้ในการออกแบบ โรงบำบัดน้ำเสียนานาา.....	6
ตารางที่ 2-2	แสดงสมการและพลังงานที่จุลินทรีย์ให้ ต่อ 1 โมลกลูโคส.....	25
ตารางที่ 2-3	แสดงค่าคงที่ทางจุลศาสตร์สำหรับระบบบำบัดน้ำเสียชนิดต่างๆ โดยใช้เมธานอลเป็นแหล่งคาร์บอน	31
ตารางที่ 2-4	แสดงข้อดีและข้อเสียของระบบแยกเชื้อและระบบเชื่อมสมทั้ง 2 แบบ	39
ตารางที่ 3-1	แสดงค่าพารามิเตอร์ของน้ำเสียชุมชนดิบ ที่วัดในเดือนกันยายน 2537	53
ตารางที่ 3-2	แสดงแผนการทดลองทั้ง 5 ชุด	57
ตารางที่ 3-3	แสดงตัวแปรคงที่ต่างๆในระบบแอกติเวตเต็ดส์ลัดจ์แบบเชื่อมสมชนิด ดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อนที่ใช้ในงานวิจัย.....	58
ตารางที่ 3-4	แสดงตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ในการวิเคราะห์ ของพารามิเตอร์ที่ทำกรวิเคราะห์	68
ตารางที่ 3-5	แสดงวิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆของตัวอย่างน้ำ	69
ตารางที่ 4-1	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ทำกรวัด ในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 1	74
ตารางที่ 4-2	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ทำกรวัด ในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 2.....	87
ตารางที่ 4-3	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ทำกรวัด ในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 3.....	99
ตารางที่ 4-4	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ทำกรวัด ในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 4.....	111
ตารางที่ 4-5	แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของพารามิเตอร์ที่ทำกรวัด ในแต่ละตำแหน่งของชุดการทดลองที่ 5.....	123

สารบัญรูป

รูปที่ 1-1	แสดงส่วนประกอบของระบบแอ็คติเวตเต็ดสลัดจ์แบบเชื่อมสมชนิด ดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน.....	3
รูปที่ 2-1	แสดงวัฏจักรไนโตรเจน.....	7
รูปที่ 2-2	แสดงเส้นทางการแปลงรูปและกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบ ไนโตรเจน.....	13
รูปที่ 2-3	แสดงผลของพีเอชที่มีต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน.....	24
รูปที่ 2-4	แสดงผลของพีเอชที่มีต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน.....	33
รูปที่ 2-5	แสดงระบบกำจัดไนโตรเจนแบบแยกเชื้อ.....	34
รูปที่ 2-6	แสดงระบบกำจัดไนโตรเจนแบบเชื่อมสม 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	แสดงรูปแบบของระบบกำจัดไนโตรเจนแบบเชื่อมสมชนิด ดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน.....	51
รูปที่ 3-2	แสดงแผนการทดลองและระยะเวลาที่ใช้ในการทดลอง.....	60
รูปที่ 3-3	แสดงแผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์.....	63
รูปที่ 3-4	แสดงรายละเอียดของระบบและอุปกรณ์ต่างๆขณะเดินระบบจริง.....	64
รูปที่ 3-5	แสดงรายละเอียดของถังปฏิกริยา.....	65
รูปที่ 3-6	แสดงขนาดของไบกวนน้ำและรายละเอียด.....	66
รูปที่ 4-1	กราฟแสดงค่าซีไอดีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	78
รูปที่ 4-2	กราฟแสดงค่าทีเคเอ็นในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	78
รูปที่ 4-3	กราฟแสดงค่าไนเตรทในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	78
รูปที่ 4-4	กราฟแสดงค่าไนโตรทในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 1.....	78

รูปที่ 4-49	กราฟแสดงค่าความเป็นต่างในแต่ละตำแหน่งของระบบ 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	กราฟแสดงค่าไออาร์พีในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....	134
รูปที่ 4-55	กราฟแสดงค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งของระบบ การทดลองชุดที่ 5.....	134
รูปที่ 4-56	แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจน ที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ.....	136
รูปที่ 4-57	แสดงความสัมพันธ์ของค่าอัตราส่วนซีไอดีต่อไนโตรเจน ที่มีต่อ ค่าซีไอดี 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