

การประยุกต์กระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลาย
ในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส

นายบุญไท นิธิพงศ์สกุล



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-780-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

71771711X

**APPLICATIONS OF THE CONTACT-STABILIZATION ACTIVATED SLUDGE PROCESS
FOR NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL**

Mr.Boontai Nithipongsakul

A Thesis Submitted in Partial Fullfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Environmental Engineering

Graduate School

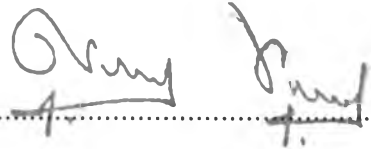
Chulalongkorn University

Academic Year 1996

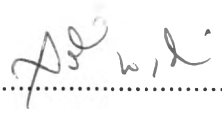
ISBN 974-635-780-8

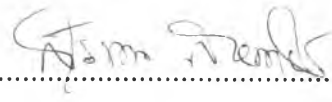
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การประยุกต์กระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลายในการกำจัด
ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส
โดย นายบุญไท นิธิพงศ์สกุล
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช

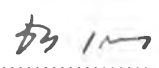
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโท

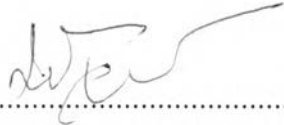

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเขียร)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)


.....กรรมการ
(อาจารย์ บุญยง โล่ห้วงศ์วัฒน์)

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิจัยวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

บุญโท นิธิพงศ์สกุล : การประยุกต์กระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลายในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส (APPLICATIONS OF THE CONTACT-STABILIZATION ACTIVATED SLUDGE PROCESS FOR NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร.สุรพล สายพานิช, 236 หน้า . ISBN 974-635-780-8.

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงความเป็นไปได้และประสิทธิภาพ รวมทั้งการหาค่าพารามิเตอร์จลนของการประยุกต์กระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลายในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย โดยจะทำการแปรค่าอายุตะกอนของระบบ 4 ค่า ได้แก่ 3, 6, 10 และ 16 วัน ในการทดลองจะควบคุมให้มีอัตราการไหลเข้าของน้ำเสียและอัตราการหมุนเวียนตะกอนเท่ากับ 35 ลิตร/วัน ส่วนอัตราการหมุนเวียนน้ำตะกอนภายในเท่ากับ 105 ลิตร/วัน เวลาเก็บกักในถัง สเตบิลไลเซชัน, แอนน็อกซิก 2, แอนแอโรบิก, แอนน็อกซิก 1 จะถูกควบคุมให้คงที่เท่ากับ 2 ชั่วโมง ส่วนเวลาเก็บกักในถังคอนแทคจะเท่ากับ 4 ชั่วโมง น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 600 มก./ล. ทีเคเอ็น 30 มก./ล. และฟอสฟอรัส 10 มก./ล. ซึ่งผลการวิจัยมีดังนี้

ที่ค่าอายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเท่ากับ 94.3 , 94.7 , 97.0 และ 97.0 % ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดเท่ากับ 66.96 , 75.83, 80.40 และ 84.70 % ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสเท่ากับ 38.70 , 73.20 , 63.20 และ 65/30 % ตามลำดับ จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าค่าอายุตะกอนจะไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบ แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจะแปรผันตามค่าอายุตะกอน ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้น และสามารถสรุปได้ว่า ค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบนี้ควรอยู่ในช่วง 10-16 วัน

ค่าพารามิเตอร์จลนสำหรับกระบวนการกำจัดสารอาหารของระบบ มีดังนี้ ค่า Y_T 0.464 มก.เซลล์/มก.ซีโอดี ค่า k_d 0.0712 วัน⁻¹ ค่า K_{OT} 21.14 วัน⁻¹ ค่า γ_T 21.61 วัน⁻¹ และค่า K_{ST} มีความสัมพันธ์กับอายุตะกอนดังสมการ $K_{ST} = 589.58 \theta_C^{0.3391}$ ส่วนค่าพารามิเตอร์จลนสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน มีดังนี้ ค่า Y_N 0.2 มก.เซลล์/มก.แอมโมเนีย ค่า k_{dn} 0.05 วัน⁻¹ ค่า Nitrifier Fraction 3.36 % และค่า μ_{NC} มีความสัมพันธ์กับอายุตะกอนดังสมการ $\mu_{NC} = 1.9575 \theta_C^{-0.8563}$

อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนน็อกซิก 1 มีค่าอยู่ในช่วง 0.042-0.053 มก.ไนเตรท/มก.เซลล์-วัน และมีความสัมพันธ์กับอายุตะกอนดังสมการ $U_{DN1} = 0.0633 \theta_C^{-0.1413}$ และสำหรับของถังแอนน็อกซิก 2 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.003 มก.ไนเตรท/มก.เซลล์-วัน โดยมีความสัมพันธ์กับอายุตะกอนดังสมการ $U_{DN2} = 0.0031 \ln \theta_C - 0.0051$ อัตราการคายฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิกที่ค่าอายุตะกอน 3, 6, 10 และ 16 วัน เท่ากับ 136, 193, 205 และ 206% ของความเข้มข้นฟอสฟอรัสในน้ำเสียเข้า ตามลำดับ ในขณะที่อัตราการจับฟอสฟอรัสในถังคอนแทคเท่ากับ 55.1 , 86.1 , 82.1 และ 83.1% ของความเข้มข้นฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิก ตามลำดับ

ค่าพารามิเตอร์จลน และสมการทางคณิตศาสตร์ต่างๆ ที่ทำได้จากการวิจัยนี้ สามารถนำไปใช้คำนวณเพื่อออกแบบกระบวนการได้ โดยผลการคำนวณที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองที่เกิดขึ้นจริง

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิสิต *[Signature]*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา *[Signature]*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C617415 MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: CONTACT-STABILIZATION ACTIVATED SLUDGE PROCESS / NITRIFICATION / DENITRIFICATION / PHOSPHORUS RELEASE / PHOSPHORUS UPTAKE

MR. BOONTAI NITHIPONGSAKUL : APPLICATIONS OF THE CONTACT-STABILIZATION ACTIVATED SLUDGE PROCESS FOR NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL. THESIS ADVISOR: ASSO. PROF. SURAPOL SAIPANICH, Dr. Ing., 236 pp. ISBN 974-635-780-8.

The objectives of this research were to study the feasibility, efficiency and to determine kinetic parameters for the applications of the contact-stabilization activated sludge process for nitrogen and phosphorus removal. Sludge Retention Time (SRT) was varied at 3, 6, 10 and 16 days. Influent wastewater, sludge return and internal MLSS return flowrates were controlled at 35, 35 and 105 litres/day, respectively. The Hydraulic Retention Time (HRT) in the stabilization, anoxic 2, anaerobic, anoxic 1 tanks were kept constant at 2 hours while the HRT in the contact tank was controlled at 4 hours. Synthetic wastewater with the COD, TKN, and phosphorus concentrations of 600, 30 and 10 mg/l, respectively, were used in the experiments. The experimental results were described below.

At SRT 3, 6, 10 and 16 days, the COD removal efficiency of this system was 94.3, 94.7, 97.0 and 97.0%, respectively, the total nitrogen removal efficiency was 66.9, 75.8, 80.4 and 84.7%, respectively, and the phosphorus removal efficiency was 38.7, 73.2, 63.2 and 65.3%, respectively. The results of the experiments indicated that SRT did not have any significant effect on the system's COD removal efficiency. The total nitrogen removal efficiency was proportional to the SRT while the phosphorus efficiency showed an adverse trend with increasing SRT. The experiments can be concluded that the appropriate SRT for this system should be in the range of 10-16 days.

The system kinetic parameters for substrate (COD) removal were as follows: Y_T 0.464 mg.MLVSS/mg.COD, k_d 0.0712 day⁻¹, K_{OT} 21.14 day⁻¹, γ_T 21.61 day⁻¹. And K_{ST} was related to SRT as shown in the following equation, $K_{ST} = 589.58 \theta_c^{0.3391}$. While the system kinetic parameters for nitrification were as follows: Y_N 0.2 mg.NVSS/mg.NH₃-N, k_{dn} 0.05 day⁻¹, Nitrifier Fraction 3.36%. And μ_{NC} was related to SRT as shown in the following equation, $\mu_{NC} = 1.9575 \theta_c^{-0.8563}$.

Denitrification rates in anoxic 1 tank (U_{DN1}) were in the range of 0.042-0.053 mg.NO₃⁻/mg.MLVSS-day and the rate was related to SRT as shown in the following equation: $U_{DN1} = 0.0633 \theta_c^{-0.1413}$. While denitrification rates in anoxic 2 tank (U_{DN2}) had the average value of 0.003 mg.NO₃⁻/mg.MLVSS-day and the rate was related to SRT as shown in the following equation: $U_{DN2} = 0.0031 \ln \theta_c - 0.0051$. At SRT 3, 6, 10 and 16 days, the phosphorus release rates in anaerobic tank were 136, 193, 205 and 206% of the influent phosphorus concentration, respectively, and the phosphorus uptake rates in contact tank were 55.1, 86.1, 82.1 and 83.1% of the phosphorus concentration in anaerobic tank, respectively.

The kinetic parameters and mathematical equations from this research can be used for process design calculation. The calculation results approximated to the results obtained from the experiments.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสุขาภิบาล

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... *Boontai Nithipongsakul*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Surapol Saipanich*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์ผู้แนะนำแนวทาง และข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน ผู้ชี้แนะปัญหาและข้อบกพร่อง ให้แก่ผู้วิจัยให้มีแนวทางการทำวิจัยได้ชัดเจนขึ้น

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านผู้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้ให้ผู้วิจัยสามารถใช้ประโยชน์ร่วมในการวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ชัยพร ภูประเสริฐ ที่ให้คำแนะนำในขั้นตอนต่างๆ ในการ ทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณพี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ให้ความสนใจและความช่วยเหลือใน การทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

ขอแสดงความขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งช่วยอุดหนุนทุน ใช้จ่ายแก่ผู้วิจัยสามารถใช้เป็นค่าใช้จ่ายดำเนินการวิจัยให้สามารถสำเร็จลุล่วงโดยดี

สุดท้ายนี้คุณงามความดีหรือประโยชน์ทั้งหมดของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอน้อม มอบให้แก่คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นผู้มีพระคุณสูงสุดของผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฐ
สารบัญรูป	ด
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร	3
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง	3
2.1.1 การเกิดตะกอนเร่ง	4
2.2 กระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลาย	5
2.2.1 กลไกการทำงานของกระบวนการ.....	6
2.3 การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย	6
2.3.1 กระบวนการกำจัดไนโตรเจน	8
2.3.1.1 วิธีทางฟิสิกส์	8
2.3.1.2 วิธีทางเคมี	8
2.3.1.3 วิธีทางชีวภาพ	9
2.3.2 กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัส	11
2.3.3 ผลดีของการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสทางชีวภาพ	12
2.4 กระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification)	14
2.4.1 จลน์ศาสตร์ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน	16
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน	18
2.5 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน (Denitrification)	24
2.5.1 จลน์ศาสตร์ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	26
2.5.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	28
2.6 การประยุกต์กระบวนการตะกอนเร่งในการกำจัดไนโตรเจน	31
2.6.1 การกำจัดแบบแยก (Separate System)	32
2.6.2 การกำจัดแบบรวม (Combined System)	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7	กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ 36
2.7.1	กลไกในการกำจัด 36
2.7.2	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ 38
2.8	การกำจัดไนโตรเจนร่วมกับฟอสฟอรัสด้วยวิธีทางชีวภาพ 46
2.9	การประยุกต์กระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลายในการกำจัด ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสในน้ำเสีย 49
บทที่ 3	แผนงานและการดำเนินการวิจัย 51
3.1	แผนการวิจัย 51
3.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ 53
3.3	น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 57
3.4	การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 58
3.5	การดูแลรักษาและควบคุมระบบ 59
3.5.1	การควบคุมอัตราการไหล 60
3.5.2	การควบคุมอายุตะกอน 60
บทที่ 4	ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล 62
4.1	การดำเนินการทดลอง 62
4.2	ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล 87
4.2.1	ค่า pH 87
4.2.2	อุณหภูมิ (Temperature) 88
4.2.3	ออกซิเจนละลาย (Dissolved Oxygen : DO) 88
4.2.4	ค่า ORP (Oxidation-Reduction Potential) 89
4.2.5	ค่าความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยและตะกอนแขวนลอยระเหย (MLSS & MLVSS) 90
4.2.6	ค่า SV ₃₀ และ SVI 92
4.2.7	ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD) 93
4.2.8	แอมโมเนีย, ทีเคเอ็น, และค่าไนโตรเจนทั้งหมด (NH ₃ -N, TKN & TN) 95
4.2.8.1	ประสิทธิภาพในการกำจัด NH ₃ -N, TKN และ TN ของระบบ 96
4.2.8.2	ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังคอนแทค 98
4.2.8.3	ประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถัง สเตบิลไลเซชัน 99

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2.8.4	การใช้แอมโมเนียเป็นอาหารเสริมในการสร้างเซลล์ (Assimilation)	102
4.2.9	ค่าไนเตรทและไนไตรท์ ($\text{NO}_3\text{-N}$ & $\text{NO}_2\text{-N}$)	106
4.2.9.1	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนน็อกซิก 1 (U_{DN1})	107
4.2.9.2	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนน็อกซิก 2 (U_{DN2})	110
4.2.10	ค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)	112
4.2.11	ค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus, TP)	113
4.2.11.1	การคายฟอสฟอรัส (Phosphorus Release)	114
4.2.11.2	การจับฟอสฟอรัส (Phosphorus Uptake)	120
บทที่ 5	การหาค่าพารามิเตอร์จลน์และแบบจำลองคณิตศาสตร์	128
5.1	แบบจำลองสำหรับกระบวนการกำจัดสารอาหาร	130
5.1.1	สมมูลย์ของปริมาณจุลินทรีย์ในถังแอนแอโรบิก	130
5.1.2	สมมูลย์ของสารอาหารในถังแอนแอโรบิก	131
5.1.3	แบบจำลองทางคณิตศาสตร์	131
5.2	แบบจำลองสำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน	135
5.2.1	สมมูลย์ของแอมโมเนียรอบถังคอนแทคสมมุติ	137
5.2.2	สมมูลย์ของแอมโมเนียรอบถังสเตบิลิเซชัน	138
5.3	พารามิเตอร์จลน์ของกระบวนการกำจัดสารอาหาร	141
5.3.1	พารามิเตอร์จลน์ของกระบวนการกำจัดสารอาหารของระบบทั้งหมด	141
5.3.1.1	การหาค่า Y_T และ k_d	142
5.3.1.2	การหาค่า K_{OT} และ γ_T	144
5.3.1.3	การหาค่า K_{ST}	146
5.3.2	พารามิเตอร์จลน์ของกระบวนการกำจัดสารอาหารในถังแอนแอโรบิก	147
5.3.2.1	การหาค่า Y_{AN} และ k_{dAN}	147
5.3.2.2	การหาค่า K_{OAN} และ γ_{AN}	148
5.3.2.3	การหาค่า K_{SAN}	150
5.4	พารามิเตอร์จลน์ของกระบวนการไนตริฟิเคชันของระบบทั้งหมด	151
5.4.1	การหาค่า Yield และ ส.ป.ส. อัตราการตายของ Nitrifier ในระบบ (Y_N & k_{dn})	152
5.4.2	การหาสัดส่วนของ Nitrifier ในระบบ (Nitrifier Fraction)	154
5.4.3	การหาค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ Nitrifier ในถังคอนแทค (μ_{NC})	156

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.4.4 การหาปริมาณแอมโมเนียที่เข้าสู่ถังคอนแทค	158
5.5 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (U_{DN})	161
5.5.1 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนนออกซิก 1 (U_{DN1})	161
5.5.2 อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนนออกซิก 2 (U_{DN2})	163
5.6 การหาค่าฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิกและถังคอนแทค	165
5.6.1 ความเข้มข้นฟอสฟอรัสในถังแอนแอโรบิก (P_{AN})	166
5.6.2 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในถังคอนแทค (P_C)	169
5.7 การหาค่ามวลของจุลินทรีย์ในถังปฏิกรณ์ต่างๆ	173
บทที่ 6 วิธีการและขั้นตอนการออกแบบ	177
6.1 ขั้นตอนการออกแบบ	179
6.1.1 การออกแบบถังแอนแอโรบิก	179
6.1.2 การออกแบบถังคอนแทค และถังสเตบิลไลเซชัน	180
6.1.3 การออกแบบถังแอนนออกซิก 1	183
6.1.4 การออกแบบถังแอนนออกซิก 2	184
6.2 การเปรียบเทียบผลการคำนวณจากสมการต่างๆ กับผลการทดลองจริง	187
บทที่ 7 ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	193
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการวิจัย	195
8.1 สรุปผลการวิจัย	195
8.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติมในการวิจัย	200
รายการอ้างอิง	201
ภาคผนวก ตารางแสดงข้อมูลการทดลอง	205
ประวัติของผู้เขียน	236

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1	แสดงค่าคงที่ทางจลนศาสตร์ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน 17
ตารางที่ 2.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD ₅ /TKN กับ Nitrifier Fraction 18
ตารางที่ 2.3	ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเจริญเติบโตสูงสุดจำเพาะของ Nitrifier 19
ตารางที่ 2.4	แสดงความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนและไนโตรที่ที่สามารถยับยั้ง กระบวนการไนตริฟิเคชัน 22
ตารางที่ 2.5	แสดงสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ที่สามารถยับยั้งการเกิดไนตริฟิเคชัน 23
ตารางที่ 2.6	แสดงค่าคงที่ทางจลนศาสตร์สำหรับกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน 27
ตารางที่ 3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในการทดลอง 53
ตารางที่ 3.2	แสดงลักษณะสมบัติของน้ำเสีย, จุดเก็บตัวอย่าง และความถี่ในการวิเคราะห์ 58
ตารางที่ 3.3	แสดงวิธีการวิเคราะห์ค่าลักษณะสมบัติต่าง ๆ ของน้ำเสีย 59
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงการทดลองทั้งหมดของค่า พารามิเตอร์ต่าง ๆ 64
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในช่วงสภาวะคงตัว (Steady State) ของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ 67
ตารางที่ 4.3	สรุปค่า pH ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 87
ตารางที่ 4.4	สรุปค่าอุณหภูมิ ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 88
ตารางที่ 4.5	สรุปค่าออกซิเจนละลายในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 88
ตารางที่ 4.6	สรุปค่า ORP ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 89
ตารางที่ 4.7	สรุปค่า MLSS และ MLVSS ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 90
ตารางที่ 4.8	สรุปค่าอัตราส่วน MLVSS ต่อ MLSS ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ ที่สภาวะคงตัว 91
ตารางที่ 4.9	สรุปค่า SV ₃₀ และ SVI ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 92
ตารางที่ 4.10	สรุปค่าซีโอดีในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 93
ตารางที่ 4.11	แสดงค่า NH ₃ -N และ TKN ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 95
ตารางที่ 4.12	แสดงค่าไนโตรเจนทั้งหมดในน้ำเสียเข้า และในถังคอนแทค 96
ตารางที่ 4.13	สรุปค่าประสิทธิภาพโดยรวมในการกำจัด NH ₃ -N, TKN และ TN ตามค่าอายุตะกอน 96
ตารางที่ 4.14	สรุปค่าประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังคอนแทค 99
ตารางที่ 4.15	แสดงผลการสมดุลย์มวลรอบถังสเตบิลไลเซชันของสารประกอบ ไนโตรเจนต่าง ๆ 101
ตารางที่ 4.16	แสดงประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนียในถังสเตบิลไลเซชัน ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ 102

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.17	แสดงผลการคำนวณค่า ΔN_{total} ตามค่าอายุตะกอน 105
ตารางที่ 4.18	สรุปค่าไนเตรทและไนไตรท์ในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบ ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ 106
ตารางที่ 4.19	สรุปค่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (U_{DN1}) ในถังแอนน็อกซิก 1 ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ 109
ตารางที่ 4.20	สรุปค่าอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน (U_{DN2}) ในถังแอนน็อกซิก 2 ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ 111
ตารางที่ 4.21	สรุปค่าความเป็นต่างในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่สภาวะคงตัว 112
ตารางที่ 4.22	เปรียบเทียบการลดลงของความเป็นต่างในถังคอนแทคตามทฤษฎี และจากผลการทดลอง 113
ตารางที่ 4.23	สรุปค่าฟอสฟอรัสทั้งหมดในตำแหน่งต่าง ๆ ของระบบที่อายุตะกอนต่าง ๆ 113
ตารางที่ 4.24	สรุปผลการสมดุลมวลรอบถังแอนแอโรบิกของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 115
ตารางที่ 4.25	แสดงผลการคำนวณค่า $\Delta S_{AN} / \Delta P_{AN}$ ตามค่าอายุตะกอน 116
ตารางที่ 4.26	สรุปผลการสมดุลมวลรอบถังแอนน็อกซิก 2 ของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 118
ตารางที่ 4.27	แสดงผลการคำนวณค่า $\Delta S'_{AX2} / \Delta P_{AX2}$ ในแต่ละค่าอายุตะกอน 119
ตารางที่ 4.28	แสดงประสิทธิภาพในการจับฟอสฟอรัสและประสิทธิภาพในการกำจัด ฟอสฟอรัสของระบบที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ 121
ตารางที่ 4.29	แสดงพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส ทางชีวภาพ 123
ตารางที่ 4.30	แสดงผลการคำนวณ $\Delta S_{up} / \Delta P_{up}$ ในแต่ละค่าอายุตะกอน 125
ตารางที่ 4.31	แสดงผลการคำนวณ $\Delta S_T / \Delta P_T$ ในแต่ละค่าอายุตะกอน 126
ตารางที่ 5.1	แสดงผลการคำนวณค่า U_T ตามอายุตะกอน 142
ตารางที่ 5.2	แสดงผลการคำนวณค่า $1/C_T$ และ $1/U_T$ ตามค่าอายุตะกอน 144
ตารางที่ 5.3	แสดงผลการคำนวณค่า U_{AN} ตามค่าอายุตะกอน 147
ตารางที่ 5.4	แสดงผลการคำนวณค่า $1/C_{AN}$ และ $1/U_{AN}$ ในแต่ละค่าอายุตะกอน 149
ตารางที่ 5.5	แสดงผลการคำนวณค่า U_{NT} ตามอายุตะกอน 152
ตารางที่ 5.6	สรุปค่าพารามิเตอร์จลน์สำหรับ Nitrifier..... 154
ตารางที่ 5.7	แสดงผลการคำนวณค่า μ_{NC} ตามค่าอายุตะกอน 157
ตารางที่ 5.8	แสดงผลการคำนวณค่า U_{AS} ในแต่ละอายุตะกอน 160
ตารางที่ 5.9	สรุปค่า U_{DN1} และ U_T ตามอายุตะกอน 162
ตารางที่ 5.10	สรุปค่า U_{DN2} และ U_T ตามอายุตะกอน 163

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 5.11 แสดงผลการคำนวณค่า U_{prel} ตามค่าอายุตะกอน	168
ตารางที่ 5.12 แสดงผลการคำนวณค่า U_{pup} ตามค่าอายุตะกอน	171
ตารางที่ 5.13 แสดงค่า α ในถึงปฏิกรณ์ต่าง ๆ ตามค่าอายุตะกอน	173
ตารางที่ 5.14 สรุปค่าพารามิเตอร์จลน์และสมการต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบระบบ	175
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบระบบ	177
ตารางที่ 6.2 แสดงสมการต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบระบบ	178
ตารางที่ 6.3 แสดงค่าตัวแปรและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ	187

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	แผนผังการทำงานของกระบวนการตะกอนเร่ง	4
รูปที่ 2.2	แผนผังการทำงานของกระบวนการตะกอนเร่งแบบสัมผัส-ย่อยสลาย	5
รูปที่ 2.3	แสดงการเปลี่ยนแปลงของสารประกอบไนโตรเจนในแหล่งรับน้ำ ตามระยะเวลา	7
รูปที่ 2.4	แสดงกระบวนการแปลงรูปของสารประกอบไนโตรเจน	10
รูปที่ 2.5	ผลกระทบของ pH ต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน	20
รูปที่ 2.6	ผลกระทบของ pH ต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	30
รูปที่ 2.7	ผลกระทบของอุณหภูมิต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน	31
รูปที่ 2.8	การกำจัดไนโตรเจนแบบแยก	32
รูปที่ 2.9	ตัวอย่างกระบวนการกำจัดไนโตรเจนแบบรวม	35
รูปที่ 2.10	กลไกของกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ	37
รูปที่ 2.11	แสดงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัสและบีโอดีในถังปฏิกรณ์แบบ แอนแอโรบิก และแอโรบิก	38
รูปที่ 2.12	ผลของ pH ต่อกระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ	43
รูปที่ 2.13	กระบวนการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ	45
รูปที่ 2.14	กระบวนการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส	48
รูปที่ 2.15	แผนผังการทำงานของระบบ	50
รูปที่ 3.1	แผนผังการทำงานของระบบ	52
รูปที่ 3.2	รายละเอียดในการเดินระบบ	54
รูปที่ 3.3	แสดงขนาดของถังปฏิกรณ์ต่างๆ	55
รูปที่ 3.4	แสดงขนาดของถังตกตะกอน	56
รูปที่ 4.1	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 1 (อายุตะกอน 6 วัน)	70
รูปที่ 4.2	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 2 (อายุตะกอน 16 วัน)	74
รูปที่ 4.3	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 3 (อายุตะกอน 3 วัน)	78
รูปที่ 4.4	กราฟแสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการทดลองชุดที่ 4 (อายุตะกอน 10 วัน)	82
รูปที่ 4.5	แสดงการสมดุลมวลของระบบ	86
รูปที่ 4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอายุตะกอนกับค่า MLVSS และ MLSS เฉลี่ยรวมทั้งระบบ	91
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี กับค่าอายุตะกอน	94
รูปที่ 4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนกับ ค่าอายุตะกอน	97

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.9	การแยกส่วนถังแอนนอนอกซิก 1 และถังคอนแทค จากระบบรวมเพื่อ หาประสิทธิภาพในการกำจัดแอมโมเนีย 98
รูปที่ 4.10	แสดงการสมมูลย์มวลรอบถังสเตบิลไลเซชันของสารประกอบไนโตรเจนต่าง ๆ 100
รูปที่ 4.11	แสดงการสมมูลย์มวลรอบถังแอนนอนอกซิก 2 และแอนแอโรบิก ของแอมโมเนีย 103
รูปที่ 4.12	แสดงการแยกส่วนถังแอนนอนอกซิก 1 และถังคอนแทคจากระบบรวม เพื่อหาอัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชันในถังแอนนอนอกซิก 1 107
รูปที่ 4.13	แสดงการสมมูลย์มวลรอบถังแอนนอนอกซิก 2 ของไนเตรท 110
รูปที่ 4.14	แสดงการสมมูลย์ของมวลรอบถังแอนแอโรบิกของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 115
รูปที่ 4.15	แสดงการสมมูลย์มวลรอบถังแอนนอนอกซิก 2 ของค่าฟอสฟอรัสทั้งหมด 117
รูปที่ 4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสของ ระบบตามอายุตะกอน 122
รูปที่ 4.17	แสดงสมมุติฐานในการหาค่า $\Delta S_{np}/\Delta P_{np}$ 124
รูปที่ 5.1	แสดงการสมมูลย์มวลของระบบ 129
รูปที่ 5.2	แสดงการสมมูลย์มวลรอบถังคอนแทคสมมุติและถังสเตบิลไลเซชัน ของแอมโมเนีย 137
รูปที่ 5.3	แสดงสมมุติฐานในการหาค่าพารามิเตอร์จลน์ของกระบวนการกำจัดสารอาหาร ของระบบทั้งหมด 141
รูปที่ 5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_T กับ $1/\theta_c$ 143
รูปที่ 5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C_T$ กับ $1/U_T$ 145
รูปที่ 5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K_{ST} กับ θ_c 146
รูปที่ 5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{AN} กับ $1/\theta_c$ 148
รูปที่ 5.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/C_{AN}$ กับ $1/U_{AN}$ 150
รูปที่ 5.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K_{SAN} กับ θ_c 151
รูปที่ 5.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{NT} กับ $1/\theta_c$ 153
รูปที่ 5.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/\theta_c$ กับ U'_{NT} ที่ทำการปรับแก้แล้ว 155
รูปที่ 5.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง μ_{NC} กับ θ_c 157
รูปที่ 5.13	แสดงสมมุติฐานในการหาค่า N_{AN} 158
รูปที่ 5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{AS} กับ $1/\theta_c$ 160
รูปที่ 5.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{DN1} กับ θ_c 162
รูปที่ 5.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{DN1} กับ U_T 163
รูปที่ 5.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{DN2} กับ θ_c 164

สารบัญรูป (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 5.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{DN2} กับ U_T	165
รูปที่ 5.19	แสดงสมมุติฐานในการหาค่า P_{AN}	166
รูปที่ 5.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{perl} กับ $1/\theta_c$	168
รูปที่ 5.21	แสดงสมมุติฐานในการหาค่า P_C	170
รูปที่ 5.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_{pup} กับ $1/\theta_c$	172
รูปที่ 5.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า α ในถึงปฏิกรณ์ต่างๆ ตามค่าอายุตะกอน	174
รูปที่ 6.1	แผนผังแสดงขั้นตอนการออกแบบกระบวนการ	186
รูปที่ 6.2	แสดงการเปรียบเทียบระหว่างผลการคำนวณจากสมการต่างๆ กับผลการทดลองจริง	188