

การศึกษาระบบไซคลิกแอกติเวเต็ดสตัคซ์ในการกำจัด
ซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส

นางสาวกนกวรรณ เหลืองศรีชัย



สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-605-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

118814000

**A STUDY OF THE CYCLIC ACTIVATED SLUDGE SYSTEM
FOR COD, NITROGEN, AND PHOSPHORUS REMOVAL**



Miss Kanokwan Luengsrichai

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering**

Department of Environmental Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-331-605-1

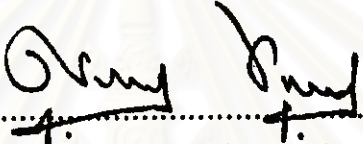
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาระบบไซคลิกแอกติเวเต็ดสแตคค์ง์ในการกำจัดซีไอดี ในโครเจน และฟอสฟอรัส

โดย นางสาวกนกวรรณ เหลืองศรีรัช

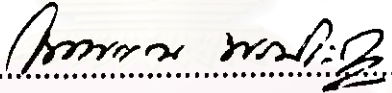
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

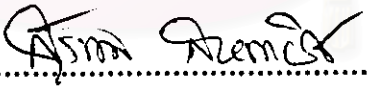
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช


บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

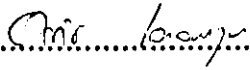

.....คณะบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์นายแพทย์ สุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไทพรพร ทพประภา)


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


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุทธิรักษ์ สุจริตตานนท์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

กนกวรรณ เหลืองศรีรัช : การศึกษาระบบไซคลิกแอกทีเวตเต็ดสลัดจ์ในการกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจน และ ฟอสฟอรัส (A STUDY OF THE CYCLIC ACTIVATED SLUDGE SYSTEM FOR COD, NITROGEN, AND PHOSPHORUS REMOVAL) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร.สุรพล สาขานิช, 151 หน้า. ISBN 974-331-605-1

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัด ซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสในน้ำเสีย ซึ่งจะทำให้การแปรค่าอายุตะกอน 4 ค่า ได้แก่ 5 10 16 และ 25 วันตามลำดับ โดยที่ค่าอายุตะกอนแต่ละค่าจะเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการทำงานของระบบเป็น 4 6 และ 8 ชม./รอบ ตามลำดับ การทดลองจะควบคุมอัตราการเติมน้ำเสียเท่ากับร้อยละ 50 ของปริมาณรวมทั้งหมด และควบคุมอัตราการเวียนกลับตะกอนเท่ากับร้อยละ 20 ของอัตราการป้อนน้ำเสียเข้าระบบ น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 300 มก./ล. ทีเคอน์ 30 มก./ล. และฟอสฟอรัส 8 มก./ล.

ผลการวิจัยพบว่า ระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีที่ค่าอายุตะกอน 5, 10, 16 และ 25 วัน และมีวัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 90.23, 93.77, 90.72 , 97.97 ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 90.64, 91.29, 94.06 , 95.71 และที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 89.04, 96.58, 94.35, 97.18 ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดที่วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 76.25, 81.14, 85.54, 66.23 ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 70.17, 71.99, 76.18, 73.53 และที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 75.16, 79.34, 76.13, 77.87 ตามลำดับ และประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสที่วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 80.44, 77.13, 76.76, 52.34 ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 81.16, 85.13, 87.52, 82.50 และที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ เท่ากับร้อยละ 86.00, 84.27, 88.66, 77.32 ตามลำดับ ค่าอายุตะกอนจะไม่แสดงผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบ แต่ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดจะแปรผันตามค่าอายุตะกอน ในขณะที่ประสิทธิภาพในการกำจัดฟอสฟอรัสมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าอายุตะกอนเพิ่มขึ้น และสามารถสรุปได้ว่าค่าอายุตะกอนที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียนี้ควรอยู่ในช่วง 10-16 วัน ที่อายุตะกอนค่าเดียวกันพบว่าระบบที่มีวัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ จะมีความสามารถในการกำจัดซีโอดี ไนโตรเจน และฟอสฟอรัสสูงที่สุด ที่วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ ระบบจะมีความสามารถในการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมดสูงที่สุด และที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ ระบบจะมีความสามารถในการกำจัดฟอสฟอรัสสูงที่สุด

การควบคุมการทำงานของระบบให้มีประสิทธิภาพคือควบคุมที่ค่าออกซิเจนละลายน้ำและโออาร์ที โดยควบคุมให้มีค่าระหว่าง 0-2 มก./ล. และ -200 ถึง 50 มิลลิวัตต์ ตามลำดับ

ค่าพารามิเตอร์จลน์สำหรับกระบวนการกำจัดสารอาหารของระบบ มีดังนี้ ค่า Y_T เท่ากับ 0.49 มก. MLVSS/มก.COD ค่า k_d เท่ากับ 0.09 วัน⁻¹ ค่า k เท่ากับ 0.45 วัน⁻¹ ค่า K_s เท่ากับ 2.43 มก./ล. และค่า μ_{max} เท่ากับ 0.22 วัน⁻¹ ส่วนค่าพารามิเตอร์จลน์สำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน มีดังนี้ ค่า Y_N เท่ากับ 0.2 มก.MLVSS/มก.NH₃-N ค่า k_d เท่ากับ 0.06 วัน⁻¹ และ ค่าอัตราส่วนของแบคทีเรียไนตริฟาย เท่ากับ 0.0344 ตามลำดับ

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา.....
สาขาวิชา.....
ปีการศึกษา.....
วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
2541

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่อคณาจารย์ที่ปรึกษา.....

C817905 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: CYCLIC ACTIVATED SLUDGE SYSTEM / NITROGEN REMOVAL / PHOSPHORUS REMOVAL

KANOKWAN LUENGRICHAI : A STUDY OF THE CYCLIC ACTIVATED SLUDGE SYSTEM FOR COD, NITROGEN,
AND PHOSPHORUS REMOVAL. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. SURAPOL SAIPANICH, Dr. Ing., 151 pp.

ISEN 974-331-605-1

The objective of this research is to study the efficiency of the Cyclic Activated Sludge System for COD, nitrogen and phosphorus removal. Sludge Retention Time (SRT) varies at 5, 10, 16 and 25 days. At the same SRT, cycle time varies at 4, 6 and 8 hours, respectively. Fill ratio and return sludge were controlled at 50 percent of the total react volume and 20 percent of the influent flowrate. Synthetic wastewater with COD, TKN and Phosphorus concentrations of 300, 30 and 8 mg/l, respectively, was used in the experiments. The experiment results are described below.

The efficiency of COD removal at SRT 5, 10, 16, 25 days and the cycle time 4 hours was 90.23, 93.77, 90.72 and 97.97 %. The cycle time 6 hours was 90.64, 91.29, 94.06 and 95.71 %. The cycle time 8 hours was 89.04, 96.58, 94.35 and 97.18 %. The efficiency of total nitrogen removal at SRT 5, 10, 16 and 25 days and the cycle time 4 hours was 76.25, 81.14, 85.54 and 66.23 %. The cycle time 6 hours was 70.17, 71.99, 76.18 and 73.53 %. The cycle time 8 hours was 75.16, 79.34, 76.13 and 77.87 %. The efficiency of phosphorus removal at SRT 5, 10, 16 and 25 days and the cycle time 4 hours was 80.44, 77.13, 76.76 and 52.34 %. The cycle time 6 hours was 81.16, 85.13, 87.52 and 82.50 %. The cycle time 8 hours was 86.00, 84.27, 88.66 and 77.32 %, respectively. The results indicated that SRT did not have any significant effect on the efficiency of COD removal. The efficiency of total nitrogen removal was proportional to the SRT while the efficiency of phosphorus removal showed an adverse trend with increasing SRT. The experiment found that the appropriate SRT for this system should be in the range of 10-16 days.

The appropriate cycle time for COD nitrogen and phosphorus removal at the same SRT was 6 hours. The cycle time of 4 hours gave the best results in total nitrogen removal, while the cycle time of 8 hours gave the best results in phosphorus removal.

Continuous monitoring of dissolved oxygen and ORP simplified the activated sludge process to meet low effluent nitrogen and phosphorus removal. The appropriate dissolved oxygen and ORP were 0-2.0 mg/l and -200-50 mV, respectively

The system kinetic parameters for substrate (COD) removal are as follows : $Y_1 = 0.49$ mg VSS / mg COD, $k_1 = 0.09$ day⁻¹, $k = 0.45$ day⁻¹, $K_s = 2.43$ mg/l, $\mu_{max} = 0.22$ day⁻¹ while the system kinetic parameter for nitrification are as follows : $Y_n = 0.2$ mg VSS/mg NH₃-N, $k_n = 0.06$ day⁻¹ and nitrifier fraction = 3.44 %, respectively

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา..... 2541

ลายมือชื่อนิติกร..... *Am Am*

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *Surapol Saipanich*

ลายมือชื่อคณาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ



วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างค้ำจุนของ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล ศาขานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้แนะนำแนวทางและข้อคิดเห็นต่าง ๆ แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับจากทุนอุดหนุนงานวิจัยของมูลนิธิ ชิน ไสภพานิช และทุนอุดหนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ จึงขอขอบพระคุณผู้ให้ทุนอุดหนุนงานวิจัยดังกล่าวมา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ-คุณแม่ ผู้มีพระคุณสูงสุดต่อผู้วิจัย ซึ่งให้การสนับสนุนด้านการเงินและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	3
2.1 กระบวนการป้อนน้ำเกลือแบบแอกคิวลิตีคัล.....	3
2.1.1 การเกิดแอกคิวลิตีคัล.....	3
2.2 การกำจัดไนโตรเจน.....	4
2.3 กระบวนการ ในครีทีเคชั่น.....	7
2.3.1 หลักการพื้นฐาน.....	7
2.3.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการ ในครีทีเคชั่น.....	8
2.3.3 จลศาสตร์ของกระบวนการ ในครีทีเคชั่น.....	13
2.4 กระบวนการดีไนโตรฟิเคชั่น.....	15
2.4.1 หลักการพื้นฐาน.....	15
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดีไนโตรฟิเคชั่น.....	17
2.4.3 จลศาสตร์ของกระบวนการดีไนโตรฟิเคชั่น.....	19
2.5 การกำจัดฟอสฟอรัส.....	20
2.5.1 หลักการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	21
2.5.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัส.....	24
2.5.3 จลศาสตร์ของการกำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	28

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.6 การกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสด้วยวิธีทางชีวภาพ.....	31
2.7 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ ไชคติกแอกติเวเต็ดสลัดจ์.....	35
2.7.1 ถึงปฏิกิริยาแบบคาสต์.....	35
2.7.2 การทำงานของระบบ.....	37
2.7.3 การกำจัดไนโตรเจน.....	40
2.7.4 การกำจัดฟอสฟอรัส.....	40
2.7.5 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	41
บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินงานวิจัย.....	54
3.1 แผนการทดลอง.....	54
3.1.1 ตัวแปรคงที่.....	54
3.1.2 ตัวแปรอิสระ.....	55
3.1.3 ตัวแปรตาม.....	56
3.1.4 แผนการทดลอง.....	56
3.2 วัฏจักรการทำงานของระบบ.....	57
3.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	58
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง.....	59
3.5 การเก็บตัวอย่างน้ำและการวิเคราะห์.....	61
3.6 การดูแลรักษาและควบคุมระบบ.....	62
3.6.1 การควบคุมอัตราการไหล.....	63
3.6.2 การควบคุมค่าอายุตะกอน.....	63
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ผล.....	65
4.1 การดำเนินการทดลอง.....	65
4.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล.....	68
4.2.1 ความคงตัวของระบบ.....	68
4.2.2 ซีไอดี.....	71
4.2.3 ไนโตรเจน.....	76
4.2.3.1 ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ.....	76

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.2.3.2 อัตราการเกิดในครีฟิเคชันจำเพาะ.....	78
4.2.2.3 อัตราการเกิดคลิโนครีฟิเคชันจำเพาะ.....	79
4.2.4 ฟอสฟอรัส.....	81
4.2.4.1 การคายฟอสฟอรัส.....	81
4.2.4.2 การจับใช้ฟอสฟอรัส.....	85
4.2.5 การควบคุมระบบ.....	88
4.2.5.1 ค่าพีเอช สภาพค่าง และกรดอินทรีย์ระเหยง่าย.....	88
4.2.5.2 อุณหภูมิ.....	89
4.2.5.3 ค่าดีไอและไออาร์พี.....	89
4.2.5.4 ค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอส.....	90
4.2.5.5 ค่า SV_{30} และ SVI.....	91
4.2.6 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ	92
4.2.6.1 วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ.....	93
4.2.6.2 วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	100
4.2.6.3 วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ.....	106
บทที่ 5 การหาค่าพารามิเตอร์จลน์	112
5.1 พารามิเตอร์จลน์ของกระบวนการกำจัดสารอาหาร	112
5.1.1 การหาค่า Y_r และ k_d	112
5.1.2 การหาค่า K_s , k และ μ_{max}	114
5.2 พารามิเตอร์จลน์ของกระบวนการกำจัดไนโตรเจนทั้งหมด	116
5.2.1 การหาค่า Y_n และ k_n	116
5.2.2 การหาค่า Nitrifier fraction.....	118
บทที่ 6 ความสำคัญของงานวิจัยในทางวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....	120
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	127
รายการอ้างอิง.....	130
ภาคผนวก.....	134
ประวัติผู้เขียน.....	151

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ช่วงความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรดัดที่เป็นพิษต่อ ไนโตรแบคทีเรียที่ค่าพีเอชต่าง ๆ (อุณหภูมิ 20 °C).....	10
ตารางที่ 2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD5/TKN กับ Nitrifier Fraction.....	11
ตารางที่ 2.3 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดโคจําเพาะสูงสุดของไนตริไฟเออร์.....	12
ตารางที่ 2.4 แสดงค่าคงที่จลศาสตร์ของกระบวนการไนตริฟิเคชัน.....	14
ตารางที่ 2.5 แสดงค่าคงที่ทางจลศาสตร์สำหรับกระบวนการไนตริฟิเคชัน.....	20
ตารางที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการคายและการจับใช้ฟอสฟอรัส ที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ.....	29
ตารางที่ 2.7 แสดงขั้นตอนในการทำงานของคาสต์.....	38
ตารางที่ 2.8 ข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบคาสต์.....	48
ตารางที่ 3.1 แสดงการดำเนินการทดลอง.....	56
ตารางที่ 3.2 แสดงวัฏจักรการทำงานของระบบ.....	57
ตารางที่ 3.3 พารามิเตอร์และความดีที่จะวิเคราะห์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง.....	61
ตารางที่ 3.4 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์.....	62
ตารางที่ 3.5 แสดงอัตราการระบายตะกอนในการทดลอง.....	64
ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณอัตราการใช้สารอาหารจําเพาะและค่าซีโอดีของน้ำออก ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	71
ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการกำจัดซีโอดีที่วัฏจักรการทำงานและค่าอายุตะกอนต่าง ๆ.....	73
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบของดังปฏิกิริยาส่วนที่ 1 ที่ค่าอายุตะกอนและวัฏจักรการทำงานต่าง ๆ.....	74
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพในการกำจัดไนโตรเจนที่ค่าอายุตะกอนและวัฏจักรการทำงานต่าง ๆ	76
ตารางที่ 4.5 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจําเพาะที่ค่าอายุตะกอนและวัฏจักรการทำงานต่าง ๆ.....	77
ตารางที่ 4.6 อัตราการเกิดคิไนตริฟิเคชันจําเพาะในช่วง FI ภายในดังปฏิกิริยาส่วนที่ 3	80
ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราการคายฟอสฟอรัสในดังปฏิกิริยาส่วนที่ 1	82

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.8 อัตราส่วนปริมาณการดูดซึมสารอาหารต่อปริมาณฟอสฟอรัสที่คายออก ในถังปฏิกริยาส่วนที่ 1 ในช่วงหยุดเติมอากาศ.....	83
ตารางที่ 4.9 อัตราการคายฟอสฟอรัสจำเพาะในถังปฏิกริยาส่วนที่ 3.....	84
ตารางที่ 4.10 อัตราการจับใช้ฟอสฟอรัสจำเพาะในถังปฏิกริยาส่วนที่ 3.....	86
ตารางที่ 4.11 ประสิทธิภาพการกำจัดฟอสฟอรัสที่ค่าอายุตะกอนและวัฏจักรการทำงานต่าง ๆ.....	87
ตารางที่ 4.12 สรุปค่าเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลเอสเอสในถังปฏิกริยาส่วนที่ 3 วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	90
ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองค่า SV_{30} และ SVI จากถังปฏิกริยาส่วนที่ 3.....	91
ตารางที่ 5.1 ผลการคำนวณอัตราการใช้สารอาหารจำเพาะที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ.....	113
ตารางที่ 5.2 ค่าสัมประสิทธิ์ยึดค้ำและอัตราการสลายตัวจำเพาะ.....	114
ตารางที่ 5.3 ค่า K_d , k และ μ_{max}	115
ตารางที่ 5.4 อัตราการเกิดไนตริฟิเคชันจำเพาะที่ค่าอายุตะกอนต่าง ๆ.....	117
ตารางที่ 6.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบระบบ.....	126

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 กระบวนการในการเปลี่ยนรูปไนโตรเจน.....	6
รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการกำจัดฟอสฟอรัสภายใต้สภาพแอนแอโรบิก และแอนแอโรบิก.....	23
รูปที่ 2.3 กระบวนการกำจัดไนโตรเจน และฟอสฟอรัส.....	33
รูปที่ 2.4 แสดงถึงปฏิกรณณ์แบบคาสต์.....	37
รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานของระบบคาสต์.....	39
รูปที่ 2.6 แสดงการทำงานของระบบคาสต์.....	46
รูปที่ 2.7 แสดงระบบบำบัดน้ำเสียแบบคาสต์ที่ใช้กับโรงบำบัดน้ำเสีย GroBarl.....	47
รูปที่ 2.8 แสดงค่า ORP และ DO ตลอดการทำงานของระบบ.....	49
รูปที่ 2.9 แสดงโปรไฟล์ของไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	51
รูปที่ 2.10 แสดงโปรไฟล์ของไนโตรเจนและค่าออกซิเจนละลายน้ำ.....	52
รูปที่ 2.11 แสดงผลของอุณหภูมิและค่าอายุตะกอนในการกำจัดแอมโมเนีย ไนโตรเจน.....	53
รูปที่ 3.1 แสดงขนาดของถังปฏิกริยาแบบไซคลิกแอกติเวเต็ดสแตจค์ ที่ใช้ในการทดลอง.....	55
รูปที่ 3.2 แสดงวัฏจักรการทำงานของระบบ.....	57
รูปที่ 3.3 แสดงการติดตั้งเครื่องมือ และอุปกรณ์การทดลอง.....	60
รูปที่ 4.1 แสดงสมมูลย์มวลของระบบ.....	67
รูปที่ 4.2 กราฟผลการทดลองหาค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลทีเอสเอสของถังปฏิกริยา ส่วนที่ 3 ที่ระดับน้ำค้ำที่สุดและสูงที่สุด, วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	69
รูปที่ 4.3 กราฟผลการทดลองค่าซีไอดีของน้ำเข้าและออกจากระบบ ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	70
รูปที่ 4.4 กราฟผลการทดลองค่าทีเคเอ็นของน้ำเข้าและออกจากระบบ ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	70
รูปที่ 4.5 กราฟผลการทดลองค่าฟอสฟอรัสของน้ำเข้าและออกจากระบบ ที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	70
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า U และ Se.....	72

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 ผลการทดลองค่าเอ็มแอลเอสเอส และเอ็มแอลวีเอสเอสของดังปฏิกิริยาส่วนที่ 3 กับค่าอายุตะกอน.....	91
รูปที่ 4.8 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ อายุตะกอน 5 วัน.....	96
รูปที่ 4.9 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ อายุตะกอน 10 วัน.....	97
รูปที่ 4.10 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ อายุตะกอน 16 วัน.....	98
รูปที่ 4.11 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 4 ชม./รอบ อายุตะกอน 25 วัน.....	99
รูปที่ 4.12 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ อายุตะกอน 5 วัน.....	102
รูปที่ 4.13 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ อายุตะกอน 10 วัน.....	103
รูปที่ 4.14 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ อายุตะกอน 16 วัน.....	104
รูปที่ 4.15 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ อายุตะกอน 25 วัน.....	105
รูปที่ 4.16 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ อายุตะกอน 5 วัน.....	108
รูปที่ 4.17 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ อายุตะกอน 10 วัน.....	109
รูปที่ 4.18 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ อายุตะกอน 16 วัน.....	110
รูปที่ 4.19 กราฟผลการทดลองที่วัฏจักรการทำงาน 8 ชม./รอบ อายุตะกอน 25 วัน.....	111
รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_r กับ $1/\theta_c$ ที่ค่าวัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	113
รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/U_r$ กับ $1/Se$	115
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง U_u กับ $1/\theta_c$ ที่ค่าวัฏจักรการทำงาน 6 ชม./รอบ.....	117
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $1/\theta_c$ กับ U_u ที่ทำการปรับแก้แล้ว.....	119