

**ประสิทธิภาพการกำจัดของดีรีแอกทีฟชนิดอะโซโดยระบบเอตปีอาร์แบบแอโรบิก
และแอนแอโรบิก-แอโรบิกภายใต้ภาวะการปฏิบัติการที่ต่างกัน**

นายอำพล เตโชวานิชย์



**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541
ISBN 974-331-407-5
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**COLOR REMOVAL EFFICIENCY OF A REACTIVE AZO DYE BY
AEROBIC AND ANAEROBIC-AEROBIC SBR SYSTEMS
UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS**



Mr Ampol Techovanich

**สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย**

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

Department of Environmental Engineering

Graduate School

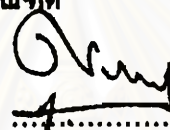
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

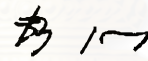
ISBN 974-331-407-5


หัวข้อวิทยานิพนธ์ ประสิทธิภาพการกำจัดสีของสีรีแอกทีฟชนิดอะโซโดยระบบเอสบีอาร์
แบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก-แอโรบิกภายใต้ภาวะการปฏิบัติการที่
ต่างกัน
โดย นายอำพล เตโชวาณิช
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์

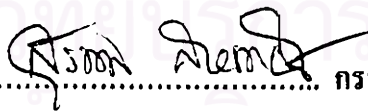
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



.....
(ศาสตราจารย์นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอด)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรพล สายพานิช)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรทัย ขวาลภาฤทธิ์)

อำพล เตโชวานิชย์ : ประสิทธิภาพการกำจัดสีของสีย้อมที่ฟอสฟอรัสโดยระบบแอสบิอาร์แบบ
แอโรบิกและแอนแอโรบิก-แอโรบิกภายใต้ภาวะการปฏิบัติการที่ต่างกัน (Color Removal Efficiency of
a Reactive Azo Dye by Aerobic and Anaerobic-aerobic SBR Systems under Different Operating
Conditions) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ชงชัย พรหมสวัสดิ์, 175 หน้า. ISBN 974-331-407-5.

การทดลองนี้เป็นการศึกษาถึงผลของระยะเวลาแอนแอโรบิก, ความเข้มข้นของดีเอ็นเอและชนิดสารอาหารที่มี
ต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี คาร์บอนอินทรีย์ และฟอสฟอรัส ด้วยแบบจำลองแบบแอสบิอาร์ขนาดโต๊ะทดลอง
ปริมาตรถึง 16 ลิตร อายุสัปดาห์รวม 8 วัน และเวลาวัฏจักรของระบบ 12 ชั่วโมง ปรับระยะเวลาแอนแอโรบิก
+แอโรบิกในแต่ละระบบเป็น 0+11 (เป็นระบบแอโรบิก), 2+9, 4+7 และ 8+3 ชั่วโมง(ตามชุดหลังเป็นระบบแอน-
แอโรบิก+แอโรบิกหรืออิมปีอาร์ โดยในช่วงแอนแอโรบิกมีชั้นคอนแอนออกซิเจนเกิดขึ้นก่อนหน้าด้วย) เวลาตก
ตะกอน 1 ชั่วโมง ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มี ซีไอดี 500 มก./ล. ไนโตรเจน 50 มก./ล. ฟอสฟอรัส 15 มก./ล.(อัตรา
ส่วน 100:10:3) สีที่ใช้ทดสอบคือสีย้อมที่ฟอสเฟอ Remazol Black B ที่ความเข้มข้น 10, 40 และ 80 มก./ล.
ประสิทธิภาพการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ทั้งของระบบแอโรบิกและระบบอิมปีอาร์ที่มีระยะเวลาแอนแอโรบิก 2, 4
และ 8 ชั่วโมงค่อนข้างใกล้เคียงกันกล่าวคือที่สี 10 มก./ล. การลดซีไอดีเท่ากับร้อยละ 96.3, 96.1, 96.9 และ 95.9
สำหรับทั้งสี่กรณีตามลำดับ และที่สี 40 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 93.0, 94.6 และ 93.6 สำหรับชุดแอโรบิกและแอน-
แอโรบิก 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ และที่สี 80 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 88.6 สำหรับชุดแอนแอโรบิก 4 ชั่วโมง
แสดงว่าปริมาณสีที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์เล็กน้อย ประสิทธิภาพการกำจัดที่เฉลี่ยที่สี 10 มก.
/ล. เท่ากับร้อยละ 97.7, 97.7, 97.8 และ 97.3 ตามลำดับ และที่สี 40 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 96.2, 95.8 และ 95.8
สำหรับชุดแอโรบิกและแอนแอโรบิก 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ และที่สี 80 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 93.3 สำหรับชุด
แอนแอโรบิก 4 ชั่วโมง จึงได้ข้อสรุปเช่นเดียวกับกรณีการกำจัดคาร์บอนอินทรีย์ ส่วนประสิทธิภาพการกำจัด
ฟอสฟอรัสที่สี 10 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 59.2, 98.7, 98.7 และ 98.0 ตามลำดับ และที่สี 40 มก./ล. เท่ากับร้อยละ
58.8, 97.4 และ 99.3 สำหรับชุดแอโรบิกและแอนแอโรบิก 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ และที่สี 80 มก./ล. เท่ากับ
ร้อยละ 97.4 สำหรับชุดแอนแอโรบิก 4 ชั่วโมง แสดงว่าระบบแอโรบิกกำจัดฟอสฟอรัสได้ไม่ดี แต่ดีกว่าระบบ
แอโรบิกปกติ ส่วนระบบอิมปีอาร์ลดฟอสฟอรัสได้ดี รวมทั้งความเข้มข้นสีในช่วงที่ศึกษาไม่มีผลต่อจุดรีฟเทโอไอ
มากนัก ประสิทธิภาพการกำจัดสีในหน่วยแอสบิอาร์ที่สี 10 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 18.3, 36.8, 62.8 และ 62.5 ตามลำดับ
และที่สี 40 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 14.6, 35.2 และ 52.7 สำหรับชุดแอโรบิกและแอนแอโรบิก 2 และ 4 ชั่วโมงตาม
ลำดับ และที่สี 80 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 54.5 สำหรับชุดแอนแอโรบิก 4 ชั่วโมง ประสิทธิภาพการกำจัดสีในหน่วย
เอเอ็มไอที่สี 10 มก./ล. เท่ากับร้อยละ 19.6, 40.9, 59.1 และ 59.6 ตามลำดับ และที่สี 40 มก./ล. เท่ากับร้อยละ
20.7, 50.3 และ 58.8 สำหรับชุดแอโรบิกและแอนแอโรบิก 2 และ 4 ชั่วโมงตามลำดับ และที่สี 80 มก./ล. เท่ากับ
ร้อยละ 52.5 สำหรับชุดแอนแอโรบิก 4 ชั่วโมง เห็นได้ว่าระบบแอนแอโรบิก+แอโรบิกกำจัดสีได้ดีกว่าระบบ
แอโรบิกและระยะเวลาแอนแอโรบิกมีผลต่อการกำจัดสีด้วย โดยระยะเวลาแอนแอโรบิกที่นานขึ้นทำให้
ประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงขึ้น ส่วนความเข้มข้นสีมีผลในทางกลับกันคือ ความเข้มข้นสีที่มากขึ้นทำให้
ประสิทธิภาพการกำจัดสีลดลง ทั้งมีระบบที่กำจัดฟอสฟอรัสได้เท่ากันไม่จำเป็นต้องกำจัดสีได้เท่ากันแม้จะกำจัด
สีได้ดีกว่าระบบแอโรบิกก็ตาม นั่นคือจุดรีฟเทโอไอไม่ใช่จุดรีฟหลักในการกำจัดสีในน้ำเสียนี้

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

ลายมือชื่อนิสิต..... อ.พล เตโชวานิชย์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ชงชัย -
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -

C817853 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
: MAJOR

KEY WORD: reactive dye/ color removal/ textile wastewaters/ BPR/ PAO/ anaerobic-aerobic process

AMPOL TECHOVANICH: COLOR REMOVAL EFFICIENCY OF A REACTIVE AZO DYE BY AEROBIC AND ANAEROBIC-AEROBIC SBR SYSTEMS UNDER DIFFERENT OPERATING CONDITIONS. THESIS ADVISOR: PROF. THONGCHAI PANSWAD , Ph.D. 175 pp. ISBN 974-331-407-5

In this research, the effects of color intensity, anaerobic time and type of substrate on the organic carbon, phosphorus and color removal were studied by using three SBR bench scale models with 16 L tank capacity. The systems were operated at 8-day total sludge age and 12-hour cycle time with different anaerobic+aerobic times of 0+11 (aerobic process), 2+9, 4+7 and 8+3 hrs. (which were anoxic+anaerobic+aerobic process with predenitrification process taking part in the early stage of the anaerobic step). The synthetic wastewaters were prepared to have 500 mg/l COD, 50 mg/l nitrogen, 15 mg/l phosphorus (100:10:3) as well as 10, 40 and 80 mg/l reactive diazo Remazol Black B dye. The COD removal efficiency of the aerobic and EBPR systems at 2, 4 and 8 hour anaerobic times was 96.3, 96.1, 96.9 and 95.9 percent, respectively, at the 10 mg dye/l condition and 93.0, 94.6 and 93.6 percent for the aerobic and 2 and 4 hour anaerobic system at 40 mg dye/l condition and 88.6 percent for the 4 hour anaerobic system at 80 mg dye/l condition. This showed that the color intensity had very little effect on the organic carbon removal. The TKN removal efficiency was 97.7, 97.7, 97.8 and 97.3 percent, respectively, at the 10 mg dye/l condition and 96.2, 95.8 and 95.8 percent for the aerobic and 2 and 4 hour anaerobic system at 40 mg dye/l condition and 93.3 percent for the 4 hour anaerobic system at 80 mg dye/l condition; the dye effect was therefore similar to the COD scenario. The phosphorus removal efficiency was 59.2, 98.7, 98.7 and 98.0 percent, respectively, at the 10 mg dye/l condition and 58.8, 97.4 and 99.3 percent for the aerobic and 2 and 4 hour anaerobic system at 40 mg dye/l condition and 97.4 percent for the 4 hour anaerobic system at 80 mg dye/l condition. This demonstrated that the aerobic system, as expected, could not satisfactorily reduce color while the BPR process could. Also, the dye concentration up to 80 mg/l, or the color intensity, did not have much effect on the PAO. The color removal efficiency in SU unit was 18.3, 36.8, 62.8 and 62.5 percent, respectively, at the 10 mg dye/l condition and 14.6, 35.2 and 52.7 percent for the aerobic and 2 and 4 hour anaerobic system at 40 mg dye/l condition and 54.5 percent for the 4 hour anaerobic system at 80 mg dye/l condition. The anaerobic+aerobic systems had obviously a better color removal than the aerobic system. High decolorization level could be achieved with long anaerobic time, while it decreased with the dye concentrations. It is not necessary that the systems with the same phosphorus removal efficiency had to decolorize at the same degree, i.e., PAO were not the sole primary decolorizing organisms.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

ลายมือชื่อนิสิต.....อ.ทศพร เตชะวิเศษ.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....ดร.ดร.ดร.....

ปีการศึกษา.....2541.....

ลายมือชื่อคณาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....-.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัย ด้วยดีมาตลอด และขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ที่ได้ให้การสนับสนุนทุนอุดหนุนการวิจัยมาตลอด ขอขอบคุณกำลังใจและความห่วงใยจากเพื่อน ๆ นิสิตปริญญาโทภาควิชาสิ่งแวดล้อมทุกท่าน และท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ได้ให้การสนับสนุนทุก ๆ ด้านจนสำเร็จเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ผ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
2. ทบทวนเอกสาร.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 ทฤษฎีการกำจัดไนโตรเจน.....	5
2.2.1 กระบวนการแอสทิมิเลชัน.....	8
2.2.2 กระบวนการไนตริฟิเคชัน.....	9
2.2.3 กระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	14
2.2.3.1 ไคเนติกส์ของกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	16
2.2.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการดีไนตริฟิเคชัน.....	17
2.3 ทฤษฎีการกำจัดฟอสฟอรัส.....	20
2.3.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟอสฟอรัส.....	22
2.4 ทฤษฎีการบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์.....	26
2.4.1 หลักการทำงานของระบบเอสบีอาร์.....	26
2.4.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสบีอาร์.....	27
2.5 การประยุกต์กระบวนการเอสบีอาร์ในการกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	29
2.5.1 การกำจัดไนโตรเจนอย่างเคียว.....	29
2.5.2 การกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเคียว.....	30

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.3 การกำจัดทั้งไนโตรเจนและฟอสฟอรัส.....	30
2.6 สีย้อม (Dyes).....	32
2.6.1 การเกิดของสีย้อม.....	33
2.6.2 การจำแนกสีย้อม.....	34
2.6.3 สีย้อมรีแอกทีฟ.....	40
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการใช้ระบบชีวภาพในการกำจัดสี.....	42
2.7.1 ระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์.....	42
2.7.2 ระบบแอนแอโรบิก.....	42
2.7.3 ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	48
3. แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย.....	50
3.1 แผนการทดลอง.....	50
3.1.1 ตัวแปรกำหนด.....	50
3.1.2 ตัวแปรอิสระ.....	51
3.1.3 ตัวแปรตาม.....	52
3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	52
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	53
3.4 การควบคุมการทำงาน.....	55
3.5 การเดินระบบ เก็บตัวอย่างและวิเคราะห์น้ำ.....	56
3.5.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ.....	56
3.5.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	56
4. ผลการทดลองและวิเคราะห์.....	59
4.1 อุณหภูมิ.....	85
4.2 ดีไอ.....	85
4.3 โออาร์พี.....	86
4.4 พีเอช.....	88
4.5 สภาพค่าง.....	92
4.6 เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีวีเอสเอส, อัตราส่วนเอ็มแอลวีเอสเอสต่อเอ็มแอลเอสเอส..	94

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7 เอสเอสน้ำออก, เอสวี 30, เอสวีไอ.....	95
4.8 ซีไอดี.....	96
4.9 ทีเคเอ็น.....	99
4.10 ฟอสฟอรัส.....	102
4.11 พีเอชเอ.....	104
4.12 ปริมาณฟอสฟอรัสในสลักซ์.....	106
4.13 ที เอสยูและเอเคเอ็มไอ.....	107
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	117
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	117
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	118
รายการอ้างอิง.....	119
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลองรายวัน.....	126
ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลองโพรไฟล์.....	154
ภาคผนวก ค. การคำนวณความเข้มข้นของส่วนประกอบน้ำเสียดังเคราะห์.....	164
ภาคผนวก ง. การเพาะเชื้อ PAOs.....	167
ภาคผนวก จ. การวัดพีเอชเอ.....	168
ภาคผนวก ฉ. บันทึกผลการทดลอง.....	169
ภาคผนวก ช. การปรับแก้ค่า ADMI.....	171
ภาคผนวก ซ. การคำนวณค่าไอเคอาร์และเอสเคอาร์.....	174
ประวัติผู้เขียน.....	175

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ลักษณะของน้ำเสียชุมชนจากบ้านพักอาศัย.....	4
ตารางที่ 2.2 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดในการบวนการในทวีพีเคชั่น	12
ตารางที่ 2.3 ช่วงความเข้มข้นของแอมโมเนียและไนโตรเจนที่เป็นพิษต่อไนโตรแบคทีเรีย ที่ค่าพีเอชต่างๆ.....	14
ตารางที่ 2.4 รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของระบบกำจัดไนโตรเจนอย่างเคียว.....	29
ตารางที่ 2.5 รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของระบบกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเคียว.....	30
ตารางที่ 2.6 รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของระบบกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแบบ ดีไนตริฟิเคชั่นเกิดก่อน.....	31
ตารางที่ 2.7 รายละเอียดขั้นตอนการทำงานของระบบกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแบบ ดีไนตริฟิเคชั่นเกิดทีหลัง.....	31
ตารางที่ 2.8 การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี.....	35
ตารางที่ 2.9 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน.....	38
ตารางที่ 2.10 เปรอร์เซ็นต์โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมที่แบ่งตามโทนสี.....	41
ตารางที่ 2.11 งานวิจัยความสามารถในการกำจัดสีของจุลินทรีย์ต่างๆ.....	43
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดแต่ละชุดการทดลอง.....	51
ตารางที่ 3.2 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์.....	53
ตารางที่ 3.3 ลำดับการทำงานและช่วงเวลาในการทำงานของระบบ.....	55
ตารางที่ 3.4 พารามิเตอร์และค่าที่ดีที่จะวิเคราะห์ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง.....	57
ตารางที่ 3.5 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	58
ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองแต่ละชุดทดลอง.....	60
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 1(AER-GL-10).....	61
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 2 (AER-GL-40).....	62
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 3 (ANA2-GL-10).....	63
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 4 (ANA2-SA-10).....	64
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 5 (ANA2-GL-40).....	65
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 6 (ANA4-SA-10).....	66
ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 7 (ANA4-SA-40).....	67

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 8 (ANA4-SA-80).....	68
ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 9 (ANA8-SA-10).....	69
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 1 (AER-GL-10).....	127
ตารางที่ ก.2 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 2 (AER-GL-40).....	130
ตารางที่ ก.3 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 3 (ANA2-GL-10).....	133
ตารางที่ ก.4 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 4 (ANA2-SA-10).....	136
ตารางที่ ก.5 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 5 (ANA2-GL-40).....	139
ตารางที่ ก.6 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 6 (ANA4-SA-10).....	142
ตารางที่ ก.7 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 7 (ANA4-SA-40).....	145
ตารางที่ ก.8 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 8 (ANA4-SA-80).....	148
ตารางที่ ก.9 ข้อมูลรายวันของชุดการทดลองที่ 9 (ANA8-SA-10).....	151
ตารางที่ ข.1 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 1 (AER-GL-10).....	155
ตารางที่ ข.2 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 2 (AER-GL-40).....	156
ตารางที่ ข.3 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 3 (ANA2-GL-10).....	157
ตารางที่ ข.4 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 4 (ANA2-SA-10).....	158
ตารางที่ ข.5 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 5 (ANA2-GL-40).....	159
ตารางที่ ข.6 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 6 (ANA4-SA-10).....	160
ตารางที่ ข.7 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 7 (ANA4-SA-40).....	161
ตารางที่ ข.8 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 8 (ANA4-SA-80).....	162
ตารางที่ ข.9 ข้อมูลตามเวลา(โพรไฟล์)ของชุดการทดลองที่ 9 (ANA8-SA-10).....	163
ตารางที่ ช.1 ค่าตัวคูณปรับแก้สำหรับค่าอดีเอ็ม ไอในแต่ละช่วง.....	172
ตารางที่ ซ.1 ค่าไอคิอาร์และเอสคิอาร์แต่ละชุดทดลอง.....	174

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การเปลี่ยนรูปไนโตรเจนโดยกระบวนการทางชีวภาพ.....	6
รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนเทียบกับเวลาโดยวิธีทางชีวภาพ.....	7
รูปที่ 2.3 ผลของพีเอชต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชันสูงสุด.....	10
รูปที่ 2.4 ผลของพีเอชต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน.....	11
รูปที่ 2.5 ผลของออกซิเจนละลายต่ออัตราการเกิดไนตริฟิเคชัน.....	11
รูปที่ 2.6 ผลของอุณหภูมิที่มีต่ออัตราการเติบโตจำเพาะสูงสุดของไนตริฟายอิงแบคทีเรีย...	13
รูปที่ 2.7 ผลของพีเอชต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน.....	18
รูปที่ 2.8 ผลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน.....	19
รูปที่ 2.9 กลไกการกำจัดฟอสฟอรัสแบบชีวภาพ.....	21
รูปที่ 2.10 การเปลี่ยนแปลงของฟอสฟอรัสและบีโอดีในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ กำจัดฟอสฟอรัสทางชีวภาพ.....	22
รูปที่ 2.11 ผลของเวลากักน้ำในช่วงแอนแอโรบิกต่อการกำจัดฟอสฟอรัส.....	24
รูปที่ 2.12 การทำงานของกระบวนการเอสปีอาร์.....	26
รูปที่ 2.13 วงจรการทำงานของระบบเอสปีอาร์แบบหลายถังชนิดหนึ่ง.....	27
รูปที่ 2.14 ระบบกำจัดไนโตรเจนอย่างเดี่ยว.....	29
รูปที่ 2.15 ระบบกำจัดฟอสฟอรัสอย่างเดี่ยว.....	30
รูปที่ 2.16 ระบบกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแบบดีไนตริฟิเคชันเกิดก่อน.....	32
รูปที่ 2.17 ระบบกำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสแบบดีไนตริฟิเคชันเกิดทีหลัง.....	32
รูปที่ 2.18 สมบัติของสีซีโอม.....	40
รูปที่ 3.1 สูตรโครงสร้างของสี Remazol Black B.....	51
รูปที่ 3.2 การติดตั้งเครื่องมือในแต่ละชุดการทดลอง.....	54
รูปที่ 4.1 ข้อมูลรายวันของอุณหภูมิ.....	70
รูปที่ 4.2 ข้อมูลรายวันของดีไอ.....	71
รูปที่ 4.3 ข้อมูลรายวันของโออาร์พี.....	72
รูปที่ 4.4 ข้อมูลรายวันของพีเอช.....	73
รูปที่ 4.5 ข้อมูลรายวันของสภาพค่า.....	74
รูปที่ 4.6 ข้อมูลรายวันของซีโอดี.....	75

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.7 ข้อมูลรายวันของทีเคเอ็น.....	76
รูปที่ 4.8 ข้อมูลรายวันของฟอสฟอรัส.....	77
รูปที่ 4.9 ข้อมูลรายวันของดี(เอสยู).....	78
รูปที่ 4.10 ข้อมูลรายวันของดี(เอคิเอ็ม ไอ).....	79
รูปที่ 4.11 ข้อมูลรายวันของเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอส.....	80
รูปที่ 4.12 ข้อมูลรายวันของร้อยละอัตราส่วนของเอ็มแอลเอสเอสต่อเอ็มแอลวีเอสเอส.....	81
รูปที่ 4.13 ข้อมูลรายวันของเอสเอสน้ำออก.....	82
รูปที่ 4.14 ข้อมูลรายวันของเอสวี 30.....	83
รูปที่ 4.15 ข้อมูลรายวันของเอสวีไอ.....	84
รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่ปลายแอนแอโรบิกและแอโรบิก.....	85
รูปที่ 4.17 ค่าเฉลี่ยดีไอที่ปลายแอโรบิก.....	86
รูปที่ 4.18 โพรไฟล์ค่าดีไอเทียบกับตามเวลา.....	87
รูปที่ 4.19 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีที่ปลายแอนแอโรบิกและแอโรบิก.....	88
รูปที่ 4.20 โพรไฟล์ค่าโออาร์พีเทียบกับตามเวลา.....	89
รูปที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยพีเอชที่น้ำเข้า, ปลายแอนแอโรบิก, ปลายแอโรบิกและน้ำออก.....	90
รูปที่ 4.22 โพรไฟล์ค่าพีเอชเทียบกับตามเวลา.....	91
รูปที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยสภาพค่างที่น้ำเข้า, ปลายแอนแอโรบิก, ปลายแอโรบิกและน้ำออก.....	92
รูปที่ 4.24 โพรไฟล์ค่าสภาพค่างเทียบกับตามเวลา.....	93
รูปที่ 4.25 ค่าเฉลี่ยเอ็มแอลเอสเอสและเอ็มแอลวีเอสเอสที่ปลายแอโรบิก.....	94
รูปที่ 4.26 ค่าเฉลี่ยเอสเอสที่น้ำออก.....	96
รูปที่ 4.27 ค่าเฉลี่ยเอสวี 30 ที่ปลายแอโรบิก.....	96
รูปที่ 4.28 ค่าเฉลี่ยเอสวีไอที่ปลายแอโรบิก.....	96
รูปที่ 4.29 ค่าเฉลี่ยซีไอดีที่น้ำเข้า, ปลายแอนแอโรบิก, ปลายแอโรบิกและน้ำออก.....	97
รูปที่ 4.30 โพรไฟล์ค่าซีไอดีเทียบกับตามเวลา.....	98
รูปที่ 4.31 ค่าเฉลี่ยทีเคเอ็นที่น้ำเข้า, ปลายแอนแอโรบิก, ปลายแอโรบิกและน้ำออก.....	100
รูปที่ 4.32 โพรไฟล์ค่าทีเคเอ็นเทียบกับตามเวลา.....	101

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.33 ค่าเฉลี่ยฟอสฟอรัสที่น้ำเข้า,ปลาขแอนแอโรบิก,ปลาขแอโรบิกและน้ำ ออก.....	102
รูปที่ 4.34 โพรไฟล์ค่าฟอสฟอรัสเทียบกับเวลา.....	103
รูปที่ 4.35 โพรไฟล์ค่าพีเอชเทียบกับเวลา.....	105
รูปที่ 4.36 ค่าเฉลี่ยปริมาณฟอสฟอรัสในสลัดจ์ที่ปลาขแอโรบิก.....	107
รูปที่ 4.37 ค่าเฉลี่ยดี(เอสยู)ที่น้ำเข้า, ปลาขแอนแอโรบิก, ปลาขแอโรบิกและน้ำออก.....	108
รูปที่ 4.38 โพรไฟล์ค่าดี(เอสยู)เทียบกับเวลา.....	109
รูปที่ 4.39 ค่าเฉลี่ยดี(เอคิเอ็ม ไอ)ที่น้ำเข้า, ปลาขแอนแอโรบิก, ปลาขแอโรบิกและน้ำออก....	110
รูปที่ 4.40 โพรไฟล์ค่าดี(เอคิเอ็ม ไอ)เทียบกับเวลา.....	111
รูปที่ 4.41 ค่าเอชชอบแบบซ์ของดีตามความยาวคลื่น.....	116
รูปที่ ข.1 ค่าเอคิเอ็ม ไอที่ความเข้มข้น 0-10 มก/ล.	173
รูปที่ ข.2 ค่าเอคิเอ็ม ไอที่ความเข้มข้น 10-80 มก/ล.	173
รูปที่ ข.3 ค่าเอคิเอ็ม ไอทั้งเก่าและคำนวณใหม่ที่ความเข้มข้น 10-80 มก/ล. และตัวคูณปรับแก้	173