

ผลของโครงสร้างทางเคมีของดีเอ็นเอที่พ้องการลดสี
โดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก



นายวรวิทย์ เหลืองติลล

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-331-538-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

26 ธ.ค. 2545

I 1665 6A 3A

**EFFECTS OF CHEMICAL STRUCTURES OF REACTIVE DYE
ON THE COLOR REMOVAL BY AN ANAEROBIC-AEROBIC SBR PROCESS**



Mr. WORRAVIT LUANGDILOK

**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 974-331-538-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟต่อการลดสีในกระบวนการ
 การเอสมิอาร์แบบแอนไอโรบิก-แอโรบิก
โดย นายวรวิทย์ เหลืองคิลก
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์

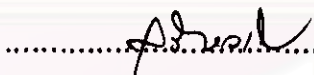
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต



..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

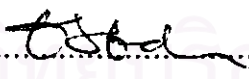
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุตินวงค์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



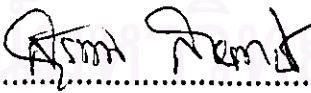
..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเขียว)



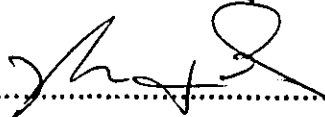
..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ศาสตราจารย์ ดร. ธงชัย พรรณสวัสดิ์)



..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช)



..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

วรวีทย์ เหลืองติดก : ผลของโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอคทีฟที่ต่อการลดสีโดยกระบวนการแอนแอโรบิกแบบ
แอนแอโรบิก-แอโรบิก (EFFECTS OF CHEMICAL STRUCTURES OF REACTIVE DYE ON THE COLOR
REMOVAL BY AN ANAEROBIC-AEROBIC SBR PROCESS) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์,
176 หน้า. ISBN 974-331-538-1

ผู้วิจัยได้ศึกษาความเป็นไปได้ของการบำบัดน้ำเสียสีรีแอคทีฟฟีนอลีนที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกันด้วย
ระบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก โดยมีกลูโคสและกรดอะซิติก(1000 มก./ล.ซีไอดี)เป็นแหล่งคาร์บอน ได้เลือก
โครงสร้างทางเคมีของสีต่างกัน คือ สี Cl. Reactive Black 5 (โครงสร้าง disazo vinylsulphonyl), สี Cl. Reactive Blue
19 (โครงสร้าง anthraquinone vinylsulphonyl), สี Cl. Reactive Blue 5 (โครงสร้าง anthraquinone
monochlorotriazinyle) และ สี Cl. Reactive Blue 198 (โครงสร้าง oxazine) โดยศึกษาที่ความเข้มข้นสี 20 และ 100
มก./ล.

ผู้วิจัยพบว่า ที่ความเข้มข้นสี 20 มก./ล. ระบบสามารถลดสีในหน่วย SU ลงได้ 63, 64 และ 66% สำหรับสีสาม
ชนิดแรกตามลำดับ และที่ความเข้มข้นสี 100 มก./ล. ระบบสามารถลดสีได้ 58, 32 และ 41% ตามลำดับ นั่นคือความ
สามารถในการกำจัดสีจะลดลงเมื่อเข้มข้นสูงขึ้นโดยเฉพาะสีสองประเภทหลัง ทั้งนี้ลักษณะการลดสีเป็นไปในรูปแบบที่
แตกต่างกัน คือสี Cl. Reactive Black 5 (สีไดโซอะโซ) มีอัตราการลดสี 2 อัตราภายใน 2 ชั่วโมงแรกของกระบวนการแอน
แอโรบิกได้เกิดการลดสีอย่างมาก หลังจากนั้นจะเป็นแบบค่อยเป็นค่อยไป ส่วนสี Cl. Reactive Blue 19 และสี Cl.
Reactive Blue 5 (สีแอน ทราควิโนน 1 และ 2)มีอัตราการลดสีเพียงอัตราเดียว ซึ่งใกล้เคียงกับอัตราการลดสีของสี Cl.
Reactive Black 5 (สีไดโซ อะโซ)ในช่วงที่สอง สำหรับสีที่ 4 หรือ Cl. Reactive Blue 198 (สีออกซาซีน) พบว่าสีที่ปรากฏ
ให้เห็นด้วยตา(visually detected)ในถังปฏิกรณ์ในช่วงแอนแอโรบิกมีการลดลงอย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อตักน้ำออกมาจาก
ถังปฏิกรณ์แล้วนำไปกรอง ปรากฏว่าน้ำที่กรองได้กลับมีสีเข้มขึ้นมากขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่อธิบายไม่ได้ จึงไม่สามารถ
สรุปอัตราการลดสีของสีนี้ได้ สำหรับการกำจัดฟอสฟอรัสที่ความเข้มข้นสี 20 มก./ล. ได้ผลเป็น 78, 52, 41 และ 96% ตาม
ลำดับ และที่ความเข้มข้นสี 100 มก./ล. ได้ 48, 48, 48 และ 42% ตามลำดับ แสดงว่าความเข้มข้นของสีมีอิทธิพลต่อ PAO
หรือจุลินทรีย์สะสมฟอสฟอรัส และสีต่างชนิดกันก็มีผลกระทบต่างกันด้วย

นอกจากนี้จากการทดลองแบบแบตช์ยังพบว่าสภาวะแวดล้อมต่างกันมีผลต่อการลดสีด้วย โดยอุณหภูมิที่สูงขึ้น
และสภาวะที่มีแสงแดดส่งผลให้อัตราการลดสีสูงขึ้น และการลดสีจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีจุลชีพที่มีชีวิตอยู่ในระบบด้วย

คาดว่าเกิดการลดสีของสีโครงสร้างอะโซโดยใช้กระบวนการรีดักชันและทำให้พันธะอะโซแตกเป็นหลัก ส่วนสี
โครงสร้างแอนทราควิโนนจะใช้การดูดซับบนฟล็อกเป็นหลัก สำหรับสีโครงสร้างออกซาซีนยังไม่สามารถสรุปกลไกหลักใน
การลดสีได้ เนื่องจากสมบัติทางเคมีที่แปลกของสีนี้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา 2541

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

** C818098 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: DECOLORIZATION / BIOLOGICAL NUTRIENT REMOVAL (BNR) / REACTIVE DYES / ENHANCED BIOLOGICAL PHOSPHORUS REMOVAL (EBPR) / SEQUENCING BATCH REACTOR (SBR)

WORRAVIT LUANGDILOK : EFFECTS OF CHEMICAL STRUCTURES OF REACTIVE DYE ON THE COLOR REMOVAL BY AN ANAEROBIC-AEROBIC SBR PROCESS. THESIS ADVISOR : PROF. THONGCHAI PANSWAD, Ph.D. 176 pp. ISBN 974-331-538-1

Reactive dyes have been identified as problematic compounds in textile wastewaters as they are water-soluble and cannot be easily removed by conventional aerobic biological wastewater treatment systems; the anaerobic systems could, however, reduce the color intensity more satisfactorily than the aerobic processes. The intermediate products are, however, carcinogenic aromatic amines which need to be further decomposed by an aerobic treatment. An Anaerobic/Aerobic SBR system was chosen for this study, using a synthetic wastewater with the glucose and acetic acid (1000 mg/l COD) as carbon sources together with 20 and 100 mg/l of four types of blue reactive dyes of different chemical structures, i.e., disazo vinylsulphonyl (CI. Reactive Black 5), anthraquinone vinylsulphonyl (CI. Reactive Blue 19), anthraquinone monochlorotriazinyle (CI. Reactive Blue 5) and oxazine (CI. Reactive Blue 198).

The color removal efficiencies of the first three (3) dyes at the 20 mg/l dye concentration were 63, 64 and 66%, respectively, and at 100 mg/l dye concentration 58, 32 and 41%, respectively, i.e, the color removal decreased with the dye concentration, especially for the anthraquinone dyes. There were different patterns of decolorization. For the disazo - CI Reactive Black 5 dye, two color removal rates were evident, with the initial rate in the first two hours of the anaerobic stage higher than the latter and then smoothed out gradually. But for the CI Reactive Blue 19 and CI Reactive Blue 5 (anthraquinone I and II) dyes, only one rate of color removal was seen, and this rate was close to the second rate of the CI reactive Black 5 dye. For the CI Reactive 198 (oxazine) dye, a high decolorization was visually obvious in the reactor but when samples were drawn and filtered for the subsequent color analysis, certain actions happened and the re-colorization took place and the color re-appeared for unexplainable reasons. The decolorizing rate and mechanism could not therefore be postulated. The phosphorus removal efficiency was found to be 78, 52, 41 and 96% for the four scenarios of 20 mg/l case, respectively, while the corresponding numbers for the 100 mg/l condition were 48, 48, 48 and 42%, respectively. That is, the dye concentration had adverse effects on the Polyphosphate Accumulating Organisms (PAOs) normally found in the anaerobic-aerobic process, and different types of dyes had different impact on the phosphorus removal performance.

A high temperature and exposure to sunlight could increase the decolorisation rate, while the decolorisation was not possible if viable organisms were not present in the system. The disazo reactive dye was decolorized by the reductive reaction, which resulted in the cleavage of the azo bond. Meanwhile, the anthraquinone dyes decolorization was supposedly through the direct adsorption of dyes on the floc materials.

ภาควิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา.....วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา.....2541

ลายมือชื่อนิสิต.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย พรรณสวัสดิ์ เป็นอย่างสูง ในฐานะที่ท่านได้ให้โอกาสแก่ผู้วิจัยโดยการรับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยเองได้รับความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ การวางแผนการทำงาน วิธีในการคิด การแก้ไขปัญหา นอกจากนี้ท่านยังได้อบรมสั่งสอนแม้กระทั่งมรรยาทในการรับประทานอาหารฝรั่งกับคนต่างชาติเพื่อประโยชน์แก่ตัวผู้วิจัยเองในอนาคต มีหลายคนเคยกล่าวไว้ว่าจะหาอาจารย์ในมหาวิทยาลัยที่ใส่ใจลูกศิษย์เสมือนครูในชั้นมัธยมได้ยาก แต่ตัวผู้วิจัยเองได้พบแล้ว และถือเป็นเกียรติในชีวิตของผู้วิจัยอย่างสูงที่ได้มีโอกาสทำงานวิจัยร่วมกับท่าน

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อมร เพชรสม ที่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาในการวิเคราะห์ผลจากเครื่อง HPLC แก่ผู้วิจัย ทั้งที่ผู้วิจัยเองก็ไม่ได้เป็นลูกศิษย์ในสาขาวิชาของท่าน แต่ท่านก็ให้ความเมตตาผู้วิจัยไม่ต่างกับลูกศิษย์ของท่านเองเลย

ขอขอบพระคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยที่ให้ทุนอุดหนุนในงานวิจัยครั้งนี้จนเสร็จสิ้นลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ บริษัทยูเนี่ยนอุตสาหกรรมสิ่งทอ จำกัด และคุณเปรี๊ชา นิลถาวรกุล หัวหน้าส่วนควบคุมคุณภาพ ที่ได้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับชนิดและปริมาณในการใช้สรีร์แอกทีฟในกระบวนการย้อมผ้าของโรงงาน นอกจากนี้ยังได้ให้ความรู้แก่ผู้วิจัยเกี่ยวกับกระบวนการย้อมผ้า และยังได้มอบสรีร์แอกทีฟที่ต้องนำมาใช้ในงานวิจัยด้วย

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำแนะนำต่างๆ และช่วยแก้ไขให้วิทยานิพนธ์นี้มีข้อบกพร่องน้อยลง รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดลอมที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้วิจัย ที่จะลืมนิได้และต้องขอขอบคุณก็คือเจ้าหน้าที่ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดลอมที่ได้ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวบิดามารดา ที่ได้ให้โอกาส กำลังใจ และให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 ที่มาของโครงการ.....	2
1.3 วัตถุประสงค์.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
บทที่ 2 ทบทวนเอกสาร.....	5
2.1 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์.....	5
2.1.1 ลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์.....	5
2.1.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสบีอาร์.....	6
2.2 การกำจัดธาตุอาหารทางชีวภาพ.....	7
2.2.1 การกำจัดไนโตรเจน.....	9
2.2.2 การกำจัดฟอสฟอรัส.....	13
2.3 สีย้อม.....	15
2.3.1 การเกิดของสีย้อม.....	15
2.3.2 การจำแนกสีย้อม.....	16
2.3.3 สีย้อมรีแอกทีฟ.....	24
2.4 กระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	25
2.5 งานวิจัยที่ผ่านมาที่เกี่ยวกับการกำจัดสีในน้ำเสียโดยใช้ระบบชีวภาพ.....	27
บทที่ 3 แผนงานและการดำเนินการวิจัย.....	32
3.1 แผนการทดลอง.....	32
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	36
3.2.1 ถังเก็บน้ำเสีย.....	36
3.2.2 ถังปฏิกรณ์.....	36

3.2.3 เครื่องกวน.....	36
3.2.4 เครื่องเติมอากาศ.....	36
3.2.5 ไมโครไพโรเซสเซอร์.....	37
3.2.6 อุปกรณ์อื่นๆ.....	37
3.3 การติดตั้งเครื่องมือและการทำงาน.....	37
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	39
3.4.1 การเก็บตัวอย่างน้ำ.....	39
3.4.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ.....	39
3.5 การวัดสี.....	40
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	41
4.1 ผลการทดลองขั้นตอนแรกจากระบบเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	42
4.1.1 พารามิเตอร์ทั่วไป.....	43
4.1.1.1 อุณหภูมิ.....	43
4.1.1.2 ค่าดีไอ.....	44
4.1.2 พารามิเตอร์ที่ไม่มีความแตกต่างกันจากผลของโครงสร้างตี.....	45
4.1.2.1 พีเอชและสภาพต่าง.....	45
4.1.2.2 โออาร์พี.....	47
4.1.2.3 เอ็มแอลเอสเอสและเอสเอส.....	48
4.1.2.4 ซีโอดี.....	50
4.1.2.5 ทีเคเอ็น.....	51
4.1.3 พารามิเตอร์ที่กระทบได้โดยโครงสร้างตี.....	52
4.1.3.1 ค่าซีเอสยูและค่าซีเอทีเอ็มไอ.....	52
4.1.3.2 ฟอสฟอรัสละลาย.....	55
4.1.3.3 ค่าVSS/TSS(%), ค่า SV.30, ค่า SVI.....	56
4.1.3.4 ค่าวีเอฟเอ.....	57
4.1.4 สรุปผลการทดลองในชุดความเข้มข้น 20 มก./ล.....	58
4.2 ปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อการลดสี.....	58
4.2.1 ผลของไนเตรต.....	59
4.2.2 ผลของซัลเฟต.....	61
4.2.3 ผลของสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน.....	63
4.2.4 เปรียบเทียบผลของจุลชีพที่มีชีวิตกับไม่มีชีวิต.....	66
4.2.5 ผลของอุณหภูมิ.....	68
4.2.6 สรุปผลการทดลองแบบแบคซ์.....	70

4.3 อิทธิพลของความเข้มข้นต่อการลดสี.....	71
4.3.1 ผลของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นต่อการกำจัดซีโอติ.....	71
4.3.2 ผลของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นต่อการลดสี.....	72
4.3.3 ผลของความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้นต่อการกำจัดฟอสฟอรัส.....	73
4.4 อิทธิพลของโครงสร้างสีต่อลักษณะการลดสี.....	74
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	85
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	85
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม.....	85
รายการอ้างอิง.....	87
ภาคผนวก.....	91
ภาคผนวก ก. การคำนวณปริมาณสารที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	92
ภาคผนวก ข. การหาค่า ADMI โดยการใช้เครื่อง Single Beam Spectrophotometer.....	95
ภาคผนวก ค. ข้อมูลดิบชุดการทดลองความเข้มข้น 20 มก./ล.....	104
ภาคผนวก ง. ข้อมูลดิบของโพรไฟล์ชุดการทดลองความเข้มข้น 20 มก./ล.....	121
ภาคผนวก จ. บันทึกการทดลองของผู้วิจัย.....	139
ภาคผนวก ฉ. ข้อมูลดิบของชุดการทดลองความเข้มข้น 100 มก./ล.....	144
ภาคผนวก ช. ข้อมูลดิบของชุดการทดลองแบบแบตช์.....	157
ภาคผนวก ซ. สไลด์ที่ใช้ในการนำเสนอผลงานวิจัย.....	168
ประวัติผู้เขียน.....	176

สารบัญญัตินำ

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี.....	18
ตารางที่ 2.2	การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน.....	22
ตารางที่ 2.3	เปอร์เซ็นต์โครงสร้างทางเคมีของสีที่แบ่งตามโทนสี.....	25
ตารางที่ 3.1	พารามิเตอร์ ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง และความถี่ที่ต้องวิเคราะห์ สำหรับ กระบวนการเอสมีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	35
ตารางที่ 3.2	วิธีการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	39
ตารางที่ 4.1	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ($^{\circ}\text{C}$)ในช่วงสถานะคงตัว.....	43
ตารางที่ 4.2	ค่าเฉลี่ยของดีไอ(มก./ล.) ในช่วงสถานะคงตัว.....	44
ตารางที่ 4.3	ค่าเฉลี่ยของพีเอชในช่วงสถานะคงตัว.....	46
ตารางที่ 4.4	ค่าเฉลี่ยของสภาพต่าง(มก./ล.ในรูป CaCO_3) ในช่วงสถานะคงตัว.....	46
ตารางที่ 4.5	ค่าเฉลี่ยของไออาร์พี(มิลลิโวลท์)ในช่วงสถานะคงตัว.....	47
ตารางที่ 4.6	MLSS และ SS (มก./ล.) ในช่วงสถานะคงตัว.....	48
ตารางที่ 4.7	ซีไอดี (มก./ล.) ในช่วงสถานะคงตัว.....	50
ตารางที่ 4.8	ทีเคเอ็น (มก./ล.ในรูปไนโตรเจน) ในช่วงสถานะคงตัว.....	51
ตารางที่ 4.9	ค่าสีในหน่วยเอสยู(SU) และเอดีเอ็มไอ(ADMI) ในช่วงสถานะคงตัว.....	53
ตารางที่ 4.10	ค่าฟอสฟอรัส (มก./ล.ในรูป P) ในช่วงสถานะคงตัว.....	55
ตารางที่ 4.11	ค่าVSS/TSS(%), ค่า SV30 และค่า SVI ในช่วงสถานะคงตัว.....	57
ตารางที่ 4.12	ค่าวีเอฟเอ (มก./ล.ในรูป CaCO_3) ในช่วงสถานะคงตัว.....	58
ตารางที่ 4.13	ผลของไนเตรดต่อการลดสี.....	59
ตารางที่ 4.14	ผลของซัลเฟตต่อการลดสี.....	63
ตารางที่ 4.15	ค่าสีและซีไอดี เมื่อสภาวะแวดล้อมต่างกัน.....	64
ตารางที่ 4.16	ค่าสีและซีไอดี เมื่อมีเซลล์จุลชีพที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต.....	68
ตารางที่ 4.17	ค่าสีและซีไอดี ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	70
ตารางที่ 4.18	ผลการกำจัดซีไอดี (มก./ล.) ที่ความเข้มข้น 20 และ 100 มก./ล.....	71
ตารางที่ 4.19	ค่าสีในหน่วยเอสยู(SU) ที่ความเข้มข้นของสี 20 และ 100 มก./ล.....	72
ตารางที่ 4.20	การกำจัดฟอสฟอรัส (หน่วย มก./ล.ในรูปของP) ที่ความเข้มข้น 20 และ 100 มก./ล.....	73
ตารางที่ 4.21	ความแตกต่างที่พบระหว่างสีอะโซ และสีแอนทราควิโนน 1, 2.....	83
ตาราง ข1	ตารางการคำนวณค่า C.I.E. Tristimulus.....	98

ตาราง ข2	ผลการวัดลึที่ dilution ต่าง ๆ กัน.....	99
ตาราง ข3	ผลจากการคูณ factor ของน้ำตัวอย่าง C (จากตาราง ข2).....	99
ตาราง ค1	อุณหภูมิที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	102
ตาราง ค2	ค่าดีไอที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	103
ตาราง ค3	ค่าพีเอชที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	104
ตาราง ค4	ค่าสภาพต่างที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	105
ตาราง ค5	ค่าไออาร์พีที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	106
ตาราง ค6	ค่าเอ็มแอลเอสเอสของระบบขที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	107
ตาราง ค7	ค่าเอสเอสในน้ำทิ้งที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	108
ตาราง ค8	ค่าซีไอทีที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	109
ตาราง ค9	ค่าทีเคเอ็นที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	110
ตาราง ค10	ค่าลีสเอสยูที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	111
ตาราง ค11	ค่าลีสเอตีเอ็มไอที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	112
ตาราง ค12	ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	113
ตาราง ค13	ค่า VSS/TSS(%) ที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	114
ตาราง ค14	ค่า SV30 ที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	115
ตาราง ค15	ค่า SVI ที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	116
ตาราง ค16	ค่าวีเอฟเอที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	117
ตาราง ง1	โพรไฟล์อุณหภูมิในช่วงสถานะคงตัวที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	119
ตาราง ง2	โพรไฟล์ดีไอในช่วงสถานะคงตัวที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	123
ตาราง ง3	โพรไฟล์ไออาร์พีในช่วงสถานะคงตัวที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	127
ตาราง ง4	โพรไฟล์ซีไอทีในช่วงสถานะคงตัวที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	131
ตาราง ง5	โพรไฟล์ทีเคเอ็นในช่วงสถานะคงตัวที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	132
ตาราง ง6	โพรไฟล์ลีสเอสยูในช่วงสถานะคงตัวที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	133
ตาราง ง7	โพรไฟล์ลีสเอตีเอ็มไอในช่วงสถานะคงตัวที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	134
ตาราง ง8	โพรไฟล์ฟอสฟอรัสละลายน้ำในช่วงสถานะคงตัวที่ความเข้มข้น 20 มก./ล.....	135
ตาราง ฉ1	ค่าดีไอที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.....	142
ตาราง ฉ2	ค่าพีเอชที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.....	143
ตาราง ฉ3	ค่าสภาพต่างที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.....	144
ตาราง ฉ4	ค่าไออาร์พีที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.....	145
ตาราง ฉ5	ค่าเอ็มแอลเอสเอส, VSS/TSS(%), เอสเอส และ SV30 ที่ความ เข้มข้น 100 มก./ล.....	146

ตาราง ฉ6	ค่าซีไอดีที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.	147
ตาราง ฉ7	ค่าบีไอดีที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.	148
ตาราง ฉ8	ค่าทีไอซีที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.	149
ตาราง ฉ9	ค่าทีเคเอ็นที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.	150
ตาราง ฉ10	ค่าซีเอสยูที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.	151
ตาราง ฉ11	ค่าฟอสฟอรัสละลายที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.	152
ตาราง ฉ12	ค่าวีเอฟเอที่ความเข้มข้น 100 มก./ล.	153
ตาราง ซ1	การทดลองแบบแบบตซ์ชุดผลของไนเตรต	155
ตาราง ซ2	การทดลองแบบแบบตซ์ชุดผลของซัลเฟต	157
ตาราง ซ3	การทดลองแบบแบบตซ์ชุดผลของสภาวะแวดล้อมที่ต่างกัน	159
ตาราง ซ4	การทดลองแบบแบบตซ์ชุดเปรียบเทียบผลของจุลชีพที่มีชีวิตกับไม่มีชีวิต	161
ตาราง ซ5	การทดลองแบบแบบตซ์ชุดผลของอุณหภูมิ	163

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	ลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์.....	6
รูปที่ 2.2	ระบบบีเอนอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	9
รูปที่ 2.3	การเปลี่ยนรูปของไนโตรเจนในกระบวนการทางชีวภาพ.....	10
รูปที่ 2.4	อัตราการเกิดดีไนตริฟิเคชัน.....	12
รูปที่ 2.5	กลไกการกำจัดฟอสฟอรัส.....	14
รูปที่ 2.6	การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในกระบวนการบีเอนอาร์.....	14
รูปที่ 2.7	สมบัติของสีย้อม.....	24
รูปที่ 2.8	ขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	26
รูปที่ 2.9	สเปกตรัมของสีที่ใช้ในการทดลองที่เวลาบ่มต่างกัน.....	31
รูปที่ 3.1	โมเดลการติดตั้งเครื่องมือในการทดลอง สำหรับกระบวนการ เอสบีอาร์แบบเอพู/โอ.....	38
รูปที่ 3.2	เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	38
รูปที่ 4.1	โพรไฟล์อุณหภูมิ.....	43
รูปที่ 4.2	โพรไฟล์ดีไอ.....	44
รูปที่ 4.3	โพรไฟล์ไออาร์พี.....	47
รูปที่ 4.4	ค่าเอ็มแอลเอสเอสของระบบฯตลอดการทดลอง.....	49
รูปที่ 4.5	ค่าเอสเอสของน้ำทิ้งตลอดการทดลอง.....	49
รูปที่ 4.6	โพรไฟล์ซีไอดี.....	50
รูปที่ 4.7	โพรไฟล์ทีเคเอ็น.....	52
รูปที่ 4.8	โพรไฟล์ค่าสีในหน่วยเอสยู (SU).....	53
รูปที่ 4.9	โพรไฟล์ค่าสีในหน่วยเอดีเอ็มไอ (ADMI).....	54
รูปที่ 4.10	การกลับมาของสีอีอกซาซีน.....	55
รูปที่ 4.11	โพรไฟล์ค่าฟอสฟอรัส.....	56
รูปที่ 4.12	ค่าซีไอดีและค่าสีเอสยูในชุดการทดลองการบ่มวนการกำจัดสีด้วยไนเตรด.....	60
รูปที่ 4.13	ผลของซีไอดีและค่าสีเอสยูในชุดการทดลองการบ่มวนการกำจัดสี ด้วยซัลเฟต.....	62
รูปที่ 4.14	ผลของซีไอดีและค่าสีเอสยู เมื่อสภาวะแวดล้อมต่างกัน.....	65
รูปที่ 4.15	ผลของซีไอดีและค่าสีเอสยู เมื่อมีเซลล์จุลชีพที่มีชีวิตและไม่มีชีวิต.....	67

รูปที่ 4.16	ผลของซีไอดีและค่าสีเอสยู ที่อุณหภูมิต่างกัน.....	69
รูปที่ 4.17	สเปกตรัมที่เวลาต่างกันของสีอะไซ (สี1).....	76
รูปที่ 4.18	สเปกตรัมที่เวลาต่างกันของสีแอนทราควิโนน 1 (สี2).....	77
รูปที่ 4.19	สเปกตรัมที่เวลาต่างกันของสีแอนทราควิโนน 2 (สี3).....	78
รูปที่ 4.20	สเปกตรัมที่เวลาต่างกันของสีออกซาซิน (สี4).....	79
รูปที่ 4.21	ผลการฉีดตัวอย่างน้ำของสีอะไซ(สี1)จากเครื่อง HPLC.....	80
รูปที่ 4.22	ผลการฉีดตัวอย่างน้ำของสีแอนทราควิโนน 1 (สี2) จากเครื่อง HPLC.....	81
รูปที่ 4.23	ผลการฉีดตัวอย่างน้ำของสีแอนทราควิโนน 2 (สี3) จากเครื่อง HPLC.....	81
รูปที่ 4.24	ผลการฉีดตัวอย่างน้ำของสีออกซาซิน (สี4) จากเครื่อง HPLC.....	82
รูป ข1	ตัวอย่างกราฟระหว่างค่า DE กับ APHA.....	97
รูป ข2	ความสัมพันธ์ระหว่าง SU กับ ADMI.....	100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย