

ผลของเวลากักแวนแวนโรบิกและความเข้มสีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรีนออกที่พษนิต  
อะไซท์มีโครงสร้างทางเคมีต่างกันโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแวนแวนโรบิก-แวนโรบิก



นายปรีชาวิทย์ รอดรัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2543

ISBN 974-346-597-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

๒๖ ส.ค. 2544

I 19615340

EFFECTS OF ANAEROBIC RETENTION TIME AND COLOR INTENSITY ON COLOR  
REMOVAL EFFICIENCY OF AZO REACTIVE DYES WITH DIFFERENT CHEMICAL  
STRUCTURES BY AN ANAEROBIC-AEROBIC SBR PROCESS.

Mr. Preechawit Rodrat

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

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University


Academic Year 2000

ISBN 974-346-597-9

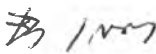
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลของเวลาพักแอนแอโรบิกและความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรี  
แอกที่พชนิดอะไซที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกันโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบ  
แอนแอโรบิก-แอโรบิก  
โดย นายปรีชาวิทย์ รอดรัตน์  
ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
อาจารย์ที่ปรึกษา ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์

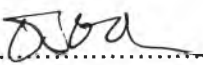
---


คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของ  
การศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

  
.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรอต)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.มันสิน ตันทุลเวศม์)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์ :ผลของเวลากักแวนแอโรบิกและความเข้มสีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟชนิดอะโซที่มีโครงสร้างทางเคมีต่างกันโดยกระบวนการเอสปีอาร์แบบแวนแอโรบิก-แอโรบิก

(Effects of Anaerobic Retention Time and Color Intensity on Color Removal Efficiency of Azo Reactive Dyes with Different Chemical Structures by an Anaerobic-Aerobic SBR Process.)

อ.ที่ปรึกษา: ศ.ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์, 179 หน้า, ISBN 974-346-597-9

กระบวนการเอสปีอาร์แบบแวนแอโรบิก-แอโรบิกที่ใช้ในที่นี้มีปริมาตรทำงาน (work volume) 12 ลิตร มีอัตราส่วนน้ำที่เติม ( $V_p$ ) ต่อน้ำค้างถัง ( $V_0$ ) เท่ากับ 2:1 การทดลองนี้ใช้น้ำเสียสีสังเคราะห์ โดยใช้แป้งมันเป็นสารอาหารรวม 1,400 มก./ล.ซีไอดีเท่ากันทุกการทดลอง สีย้อมที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด คือสีย้อมรีแอคทีฟที่มีโครงสร้างโมโนอะโซและไดอะโซ ตามลำดับ งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกทำการทดลองโดยกระบวนการเอสปีอาร์ 6 ชุดการทดลอง โดยทำกับสีย้อมดังกล่าวรวมกับการแปรผันเวลากักแวนแอโรบิก 3 ค่า คือ 10, 18 และ 30 ชั่วโมง โดยมีเวลากักแวนแอโรบิกคงที่ 5 ชั่วโมง ดังนั้นเวลาวัฏจักรซึ่งเท่ากับ เวลากักแวนแอโรบิก+เวลากักแวนแอโรบิก+ตกตะกอน เท่ากับ 10+5+1, 18+5+1 และ 30+5+1 ชั่วโมง ตามลำดับ และทุกชุดการทดลองมีอายุสัปดาห์เท่ากับ 7.2 วัน และความเข้มสีของน้ำเข้า 400 มก./ล. เมื่อระบบเข้าสู่สถานะคงตัวพบว่าทุกชุดการทดลองมีค่า F/M เท่ากับ 0.28 -0.32 วัน<sup>-1</sup> และชุดการทดลองที่มีเวลากักแวนแอโรบิก 10, 18 และ 30 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมโมโนอะโซ เท่ากับ 35.1, 60.8 และ 73.4% ในหน่วยเอสยู และเท่ากับ 39.0, 71.8 และ 86.3% ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมไดอะโซ เท่ากับ 59.6, 80.1 และ 80.7% ในหน่วยเอสยู และเท่ากับ 72.0, 88.8 และ 87.5% ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ตามลำดับ และสีส่วนใหญ่ถูกกำจัดในสภาวะแวนแอโรบิก

ส่วนในขั้นตอนที่ 2 ทำการทดลองแบบแบตช์ 8 ชุด โดยทำกับสีย้อม 2 ชนิดและมีการแปรผันความเข้มสีของน้ำเข้า 4 ค่า คือ 50, 200, 400 และ 600 มก./ล. โดยใช้สัปดาห์จากชุดการทดลองในขั้นตอนแรกหลังจากระบบเข้าสู่สถานะคงตัวแล้ว และเลือกเวลากักแวนแอโรบิกคงที่เท่ากับ 18 ชั่วโมง พบว่าแต่ละชุดการทดลองมีอัตราการลดสีจำเพาะ 2 อัตรา โดยใน 5 ชั่วโมงแรกเกิดการลดสีอย่างรวดเร็ว และหลังจากนั้นอัตราการลดสีจะลดลง และเมื่อความเข้มสีเพิ่มขึ้น (50-600 มก./ล.)จะมีผลทำให้อัตราการลดสีจำเพาะเพิ่มขึ้นในอัตราคงที่ และมีแนวโน้มทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการลดสีเพิ่มขึ้น แต่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ลดลง กล่าวคือชุดการทดลองแบบแบตช์ ที่มีความเข้มของสีย้อมโมโนอะโซ 50, 200, 400 และ 600 มก./ล. มีประสิทธิภาพการกำจัดสีเท่ากับ 49.3, 61.0, 60.3 และ 54% ในหน่วยเอสยู และเท่ากับ 68.2, 78.9, 78.1 และ 71.5% ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ตามลำดับ ส่วนชุดการทดลองที่มีความเข้มสีไดอะโซ 50, 200, 400 และ 600 มก./ล. มีประสิทธิภาพการลดสีเท่ากับ 46.2, 55.2, 65.8 และ 70% ในหน่วยเอสยู และเท่ากับ 58.8, 76.3, 79.8 และ 82.6% ในหน่วยเอดีเอ็มไอ ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2543

ลายมือชื่อนิสิต... *ปรีชาวิทย์ รอดรัตน์* .....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา... *[ลายมือ]* .....

##4070337121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORDS : decolorization/SBR/azo dyes/anaerobic-aerobic/ADMI/co-metabolism

PREECHAWIT RODRAT: EFFECTS OF ANAEROBIC RETENTION TIME AND COLOR INTENSITY ON COLOR REMOVAL EFFICIENCY OF AZO REACTIVE DYES WITH DIFFERENT CHEMICAL STRUCTURES BY AN ANAEROBIC-AEROBIC SBR PROCESS.

THESIS ADVISOR : PROF. THONGCHAI PANSWAD, Ph.D. ,178pp. ISBN 974-346-597-9

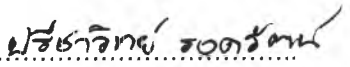
The study consisted of two main experiments, i.e. anaerobic-aerobic SBR experiments and subsequent batch tests. In the initial SBR experiments, the 12 litre reactors with influent volume ( $V_i$ ) : retaining volume ( $V_o$ ) ratio of 2:1, were fed with synthetic wastewaters which were composed reactive dyes and starch.(as carbon source) The COD concentration of 1,400 mg/l and dye concentration of 400 mg/l in the influent were used in these experiments. Three anaerobic retention times, i.e. 10, 18 and 30 hours, with 5 hours aerobic time and settling time of 1 hour were used for each dye chemical structure, resulting in anaerobic+aerobic+settling cycle time of 10+5+1, 18+5+1 and 30+5+1 hours, respectively. The sludge age was controlled at 7.2 days. It was found that the F/M ratio were in the range of 0.28 – 0.32 day<sup>-1</sup> and the color removal efficiency increased when the anaerobic time increased. Both dyes were mainly removed in the anaerobic condition. For the anaerobic time of 10, 18 and 30 hours, the efficiencies of color removal, for the monoazo experiments, were 35.1, 60.8 and 73.4% in terms of SU, and were 39.0, 71.8 and 86.3% in terms of ADMI, respectively. The higher efficiencies were observed in the diazo dye experiments, i.e., 59.6, 80.1 and 80.7% in SU unit, and 72.0, 88.8 and 87.5% in ADMI unit at 10, 18 and 30 hours anaerobic time, respectively.


Sludge from the steady state SBR system of 18 hours anaerobic time was taken to run the anaerobic batch tests. In the batch experiments, 50, 200, 400 and 600 mg/l dye concentrations were applied. Rapid decolorization was observed in the first five hours; and the lower specific decolorization rates were found late. The SDR increased with the influent dye concentration. In the monoazo dye experiments, the decolorization efficiencies were 49.3, 61.0, 60.3 and 54% in terms of SU and 68.2, 78.9, 78.1 and 71.5% in terms of ADMI; and in the diazo dye case, the color removal efficiency of 46.2, 55.2, 65.8 and 70% in SU terms and 58.8, 76.3, 79.8 and 82.6% in ADMI terms were found for the scenarios of 50, 200, 400 and 600 mg/l dye concentration, respectively.

Department Environmental Engineering

Field of study Environmental Engineering

Academic year 2000

Student's signature.....

Advisor's signature.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณต่อผู้ที่ให้ความอนุเคราะห์ดังต่อไปนี้

ศาสตราจารย์ ดร.ธงชัย พรรณสวัสดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ได้ให้คำปรึกษาและแนะนำในเรื่องต่างๆมากมาย ไม่ว่าในแง่ทางด้านวิชาการ หรือหลักการในการทำงานแก่ผู้วิจัย ซึ่งเป็นส่วนสำคัญมากที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สำนักกองทุนสนับสนุนการวิจัย(สกว.) ซึ่งได้ให้ทุนอุดหนุนในงานวิจัยนี้

คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้

คุณจันทวรรณ เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการปริญญาโท ที่ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกตลอดระยะเวลาที่ทำการวิจัย

พี่ๆ น้องๆ และเพื่อนๆ ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจตลอดการทำวิจัย

ท้ายที่สุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา และพี่ของผู้วิจัย ซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจเสมอจนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	ท
บทที่	
1. บทนำ .....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	2
2. ทบทวนเอกสาร.....	4
2.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อม.....	4
2.1.1 การเตรียมผ้าสำหรับการย้อม.....	4
2.1.2 การย้อมสี.....	7
2.2 สีย้อม.....	10
2.2.1 การเกิดของสีย้อม.....	10
2.2.2 การจำแนกสีย้อม.....	11
2.3 สีย้อมรีแอกทีฟ.....	17
2.3.1 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ.....	17
2.3.2 กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสี.....	18
2.3.3 กลุ่มรีแอกทีฟ.....	20
2.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียแบบเอสบีอาร์.....	21
2.4.1 หลักการทำงานของระบบเอสบีอาร์.....	22
2.4.2 ข้อดีข้อเสียของระบบเอสบีอาร์.....	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 ระบบเอสปีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	24
2.5 กลุ่มจุลชีพต่างๆในกระบวนการแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	24
2.5.1 กลุ่มจุลชีพเฮเทอโรโทรฟิก.....	24
2.5.2 กลุ่มจุลชีพออโทโทรฟิก.....	25
2.5.3 กลุ่มจุลชีพสะสมฟอสฟอรัส.....	25
2.5.4 กลุ่มจุลชีพสะสมกลัยโคเจน.....	26
2.6 การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม.....	27
2.6.1 การบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีการทางกายภาพ.....	27
2.6.2 การลดสีโดยกระบวนการเคมี.....	28
2.6.3 การลดสีโดยกระบวนการทางชีวภาพ.....	30
2.7 การศึกษาที่ผ่านมา.....	33
3. แผนการทดลอง.....	43
3.1 แผนการทดลอง.....	43
3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	46
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	47
3.4 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์.....	48
3.4.1 การเก็บตัวอย่าง.....	48
3.4.2 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	50
3.5 การวัดสี.....	50
4. ผลการทดลองและการวิจารณ์.....	52
4.1 พารามิเตอร์ทั่วไป.....	54
4.1.1 อุณหภูมิ.....	54
4.1.2 ออกซิเจนละลาย.....	63
4.1.3 ไออาร์พี.....	63
4.1.4 พีเอช.....	69
4.1.5 สภาพต่าง.....	73



สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.6 กรดไขมันระเหยง่าย.....	77
4.1.7 เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และเอสเอส.....	80
4.1.8 ซีไอดี.....	86
4.1.9 ทีเคเอ็น.....	90
4.1.10 ฟอสฟอรัส.....	93
4.2 สีเอสยูและเอตีเอ็มไอ.....	96
4.2.1 ผลของเวลากักแวนแเอโรบิกต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	101
4.2.2 ผลของโครงสร้างสีต่อประสิทธิภาพการลดสี.....	112
4.2.3 ผลของความเข้มข้นต่อการลดสี.....	112
4.2.3.1 ผลของความเข้มข้นต่ออัตราการลดสีจำเพาะ.....	112
4.2.3.2 ผลของความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการลดสี.....	115
4.2.3.3 ผลของความเข้มข้นต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดี.....	118
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	120
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	121
รายการอ้างอิง.....	122
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. ข้อมูลดิบของชุดการทดลองต่างๆ.....	127
ภาคผนวก ข. การคำนวณปริมาณสารอาหารที่ใช้ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์.....	162
ภาคผนวก ค. การคำนวณดุลคาร์บอนในระบบเปิด.....	165
ภาคผนวก ง. การคำนวณหาปริมาณสลัดจ์ส่วนเกิน.....	167
ภาคผนวก จ. ปริมาณบีไอดีเข้า(BOD load) ของแต่ละชุดการทดลอง.....	169
ภาคผนวก ฉ. วิธีการหาอัตราการลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะ.....	170
ภาคผนวก ช. วิธีการหาซีไอดีของสีย้อม.....	173
ภาคผนวก ซ. การหาปริมาณสารอาหารรวมที่มีปริมาณมากเกินไปต่อการลดสี..	174
ภาคผนวก ฅ. ผลการทดลองของชุดการทดลองที่ใช้สีย้อมชนิดโพลิอะโซ.....	175
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	177

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ประเภทสีที่ใช้กับเส้นใยแต่ละชนิด.....	8
ตารางที่ 2.2 กลุ่มอะตอมออกซิโครม.....	11
ตารางที่ 2.3 การจำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี .....	12
ตารางที่ 2.4 เปอร์เซ็นต์กลุ่มโครโมฟอร์ที่มีโครงสร้างต่างๆของสีรีแอกทีฟ.....	19
ตารางที่ 2.5 ผลการทดลองการกำจัดสีที่มีโครงสร้างต่างๆด้วยกระบวนการย่อยแบบแอนแอโรบิก .....	35
ตารางที่ 2.6 ประสิทธิภาพการลดสีของชุดการทดลองที่มีระยะเวลาแอนแอโรบิกและความเข้มต่างกัน.....	40
ตารางที่ 2.7 ผลการลดสีของระบบที่มีโครงสร้างสีและความเข้มสีต่างกัน.....	41
ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองในส่วนที่ 1.....	43
ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของแต่ละชุดการทดลองในส่วนที่ 2.....	45
ตารางที่ 3.3 ปริมาณของสารต่างๆที่ใช้ในการสังเคราะห์น้ำเสีย.....	46
ตารางที่ 3.4 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและความถี่ของพารามิเตอร์ต่างๆที่ต้องวิเคราะห์...	49
ตารางที่ 3.5 วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	50
ตารางที่ 4.1 ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด.....	53
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 1 (M-ANA10).....	55
ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 2 (M-ANA18).....	56
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 3 (M-ANA30).....	57
ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 4 (D-ANA10).....	58
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 5 (D-ANA18).....	59
ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยข้อมูลชุดการทดลองที่ 6 (D-ANA30).....	60
ตารางที่ 4.8 ค่าพีเอชเฉลี่ยในชุดการทดลองต่างๆ.....	69
ตารางที่ 4.9 ค่าสภาพต่างเฉลี่ยในแต่ละชุดการทดลอง.....	73
ตารางที่ 4.10 เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส และเอสเอสของชุดการทดลองต่างๆ.....	81
ตารางที่ 4.11 ซีโอดีเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ.....	86
ตารางที่ 4.12 ทีเคเอ็นเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ.....	90
ตารางที่ 4.13 ฟอสฟอรัสเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ.....	93
ตารางที่ 4.14 ความเข้มสีเฉลี่ยของชุดการทดลองต่างๆ.....	96

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.15 อัตราลดสีและอัตราการลดสีจำเพาะของทุกชุดการทดลอง.....	114

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมที่ใช้ในงานวิจัยนี้.....	3
รูปที่ 2.1 ลักษณะการเรียงตัวของเซลล์โลสภายในเส้นใย.....	8
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างสีย้อมที่ฟที่มีโครงสร้างแบบ Unmetallised Azo.....	18
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างสีย้อมที่ฟที่มีโครงสร้างแบบ Metal-Complex Azo.....	18
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสีย้อมที่มีโครงสร้างแบบ Anthraquinone.....	19
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสีย้อมที่มีโครงสร้างแบบ Phthalocyanine.....	19
รูปที่ 2.6 ปฏิกริยาแบบ Nucleophilic Substitution.....	21
รูปที่ 2.7 ปฏิกริยาแบบ Nucleophilic Addition.....	21
รูปที่ 2.8 การทำงานของกระบวนการเอสบีอาร์.....	22
รูปที่ 2.9 ระบบเอสบีอาร์แบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก.....	24
รูปที่ 2.10 กลไกการทำงานของจุลชีพที่สะสมฟอสฟอรัส.....	26
รูปที่ 2.11 กลไกการทำงานของจุลชีพที่สะสมกลัยโคเจน.....	26
รูปที่ 2.12 สารต่างๆที่เกิดการลดสี C.I. Reactive Red 141.....	34
รูปที่ 3.1 การติดตั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ระบบเอสบีอาร์.....	48
รูปที่ 4.1 อุณหภูมิในวัฏจักรต่างๆของแต่ละชุดการทดลอง.....	61
รูปที่ 4.2 ออกซิเจนละลายในวัฏจักรต่างๆของแต่ละชุดการทดลอง.....	64
รูปที่ 4.3 โพรไฟล์ออกซิเจนละลายของแต่ละชุดการทดลอง.....	66
รูปที่ 4.4 ไออาร์พีในวัฏจักรต่างๆของแต่ละชุดการทดลอง.....	67
รูปที่ 4.5 โพรไฟล์ไออาร์พีของแต่ละชุดการทดลอง.....	69
รูปที่ 4.6 พีเอชในวัฏจักรต่างๆของแต่ละชุดการทดลอง.....	71
รูปที่ 4.7 โพรไฟล์พีเอชของแต่ละชุดการทดลอง.....	73
รูปที่ 4.8 สภาพต่างของชุดการทดลองต่างๆ.....	74
รูปที่ 4.9 โพรไฟล์สภาพต่างของชุดการทดลองต่างๆ.....	76
รูปที่ 4.10 กรดไขมันระเหยง่ายในวัฏจักรต่างๆของแต่ละชุดการทดลอง.....	78
รูปที่ 4.11 โพรไฟล์กรดไขมันระเหยง่ายของชุดการทดลองต่างๆ.....	80
รูปที่ 4.12 เอ็มแอลเอสเอส, เอ็มแอลวีเอสเอส, เอสเอส และเอสวีไอของชุดการทดลอง ต่างๆ	82
รูปที่ 4.13 ซีไอดีของชุดการทดลองต่างๆ.....	87

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.14 โพรไฟล์ซีไอทีของชุดการทดลองต่างๆ.....	89
รูปที่ 4.15 ทีเคเอ็นของชุดการทดลองต่างๆ.....	91
รูปที่ 4.16 ฟอสฟอรัสของชุดการทดลองต่างๆ.....	94
รูปที่ 4.17 ความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอตีเอ็มไอของชุดการทดลอง M-ANA10.....	97
รูปที่ 4.18 ความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอตีเอ็มไอของชุดการทดลอง M-ANA18.....	97
รูปที่ 4.19 ความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอตีเอ็มไอของชุดการทดลอง M-ANA30.....	98
รูปที่ 4.20 ความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอตีเอ็มไอของชุดการทดลอง D-ANA10.....	98
รูปที่ 4.21 ความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอตีเอ็มไอของชุดการทดลอง D-ANA18.....	99
รูปที่ 4.22 ความเข้มข้นในหน่วยเอสยูและเอตีเอ็มไอของชุดการทดลอง D-ANA30.....	99
รูปที่ 4.23 โพรไฟล์ความเข้มข้นของชุดการทดลองต่างๆ.....	100
รูปที่ 4.24 ประสิทธิภาพการลดสีของชุดการทดลองที่ใช้สีย้อมโมโนอะโซที่เวลากักแวน แอโรบิกต่างๆ.....	102
รูปที่ 4.25 ประสิทธิภาพการลดสีของชุดการทดลองที่ใช้สีย้อมไดอะโซที่เวลากักแวนแอ โรบิกต่างๆ.....	102
รูปที่ 4.26 ค่าแอบซอเบแนนซ์ของชุดการทดลองต่างๆ.....	109
รูปที่ 4.27 โพรไฟล์การลดสีในชุดการทดลองแบบแบคทีเรีย.....	113
รูปที่ 4.28 โพรไฟล์ซีไอทีในชุดการทดลองแบบแบคทีเรีย.....	114
รูปที่ 4.29 อัตราการลดสีจำเพาะของชุดการทดลองแบบแบคทีเรีย.....	116
รูปที่ 4.30 ปริมาณสีที่ถูกกำจัดของชุดการทดลองแบบแบคทีเรียที่ความเข้มข้นน้ำเข้าต่างๆ...	117
รูปที่ 4.31 ประสิทธิภาพการลดสีของชุดการทดลองแบบแบคทีเรียที่ความเข้มข้นน้ำเข้าต่างๆ.	117
รูปที่ 4.32 ซีไอทีของน้ำออกและประสิทธิภาพการกำจัดซีไอทีของชุดการทดลองแบบ แบคทีเรียที่ความเข้มข้นน้ำเข้าต่างๆ.....	119

## สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบวนการเอสบีอาร์.....	52
ภาพที่ 4.2 การติดตั้งชุดการทดลองแบบเบตซ์.....	53
ภาพที่ 4.3 ลักษณะจุลชีพเมื่อมองด้วยกล้องจุลทรรศน์.....	85
ภาพที่ 4.4 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง M-ANA10.....	103
ภาพที่ 4.5 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง M-ANA10 เจือจาง 25 เท่า.....	103
ภาพที่ 4.6 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง M-ANA18.....	104
ภาพที่ 4.7 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง M-ANA18 เจือจาง 25 เท่า.....	104
ภาพที่ 4.8 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง M-ANA30.....	105
ภาพที่ 4.9 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง M-ANA30 เจือจาง 25 เท่า.....	105
ภาพที่ 4.10 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง D-ANA10.....	106
ภาพที่ 4.11 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง D-ANA10 เจือจาง 25 เท่า.....	106
ภาพที่ 4.12 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง D-ANA18.....	107
ภาพที่ 4.13 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง D-ANA18 เจือจาง 25 เท่า.....	107
ภาพที่ 4.14 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง D-ANA30.....	108
ภาพที่ 4.15 สีในสภาวะต่างๆของชุดการทดลอง D-ANA30 เจือจาง 25 เท่า.....	108