

การกำจัดสี้อมผ้ายูนิเซทเรดสองปีโดยกระบวนการเคมีไฟฟ้า

นางสาวสุกัญญา สิ้นสมบูรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-3513-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UNISET RED 2B DYE REMOVAL BY ELECTROCHEMICAL PROCESS

Miss. Sukanya Sinsomboon

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

(Interdisciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

ISBN 974-14-3513-4

Copyright of Chulalongkorn University

490312

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การกำจัดสีย้อมผ้าขนีเซทเรดสองปีโดยกระบวนการเคมีไฟฟ้า
โดย นางสาว สุกัญญา สิ้นสมบูรณ์
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ม.ร.ว. กัลยา ดิงศรัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฉมิตานนท์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุธา ขาวเขียว)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มะลิ หุ่นสม)

สุกัญญา สิ้นสมบุญ : การกำจัดสีข้อมผ้ายูนิเซทเรดสองปีโดยกระบวนการเคมีไฟฟ้า
(UNISET RED 2B DYE REMOVAL BY ELECTROCHEMICAL PROCESS)
อ. ที่ปรึกษา: ผศ.ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ 113 หน้า. ISBN 974-14 -3513 -4

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพในการกำจัดสีข้อมผ้า และค่าซีไอดีด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี ทำการศึกษาการออกแบบการทดลองด้วยวิธี 2^k แฟกทอเรียล ทำการทดลองตัวอย่างละ 2 ชั่วโมง เพิ่มจุดศูนย์กลาง 5 จุด และการทดลองตามแนวแกนอีก 6 จุด ทำการศึกษาวิจัยเชิงทดลองแบบกะ เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการบำบัด ซึ่งทำการทดลองที่ภาวะต่างๆ กัน คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เวลาในการเกิดปฏิกิริยา และความเข้มข้นของสีข้อม

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เวลาในการเกิดปฏิกิริยา ความเข้มข้นของสีข้อม เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี และซีไอดี โดยเมื่อเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าจาก 10 - 30 mA/cm² หรือเพิ่มเวลาในการเกิดปฏิกิริยาจาก 5-15 นาที ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี และซีไอดีเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางตรงกันข้าม เมื่อความเข้มข้นของสีข้อมเพิ่มขึ้น จาก 50- 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จะทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสี และซีไอดีลดลง นอกจากนี้ยังพบความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ตัวแปร คือ ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเวลาในการเกิดปฏิกิริยา ซึ่งมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี และซีไอดีเช่นกัน

ภาวะที่เหมาะสมจากการคำนวณ จะได้ภาวะที่เหมาะสมทั้งหมด 2 ภาวะ สำหรับการกำจัดสี และซีไอดีจากการใช้ขั้วไฟฟ้าทั้งสองชนิด โดยคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมีค่าของสี และ ซีไอดี ไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรม

ระยะเวลาในการตกตะกอนพบว่า ขั้วเหล็ก และขั้วอะลูมิเนียมจะใช้ระยะเวลาประมาณ 15 และ 30 นาที ตามลำดับ น้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดด้วยขั้วเหล็กจะมีช่วงสีเป็นสีดำถึงสีเขียวอ่อน และขั้วอะลูมิเนียมน้ำจะมีความใส

สาขาวิชา..... วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม..... ลายมือชื่อนิสิต..... สุกัญญา..... สิ้นสมบุญ.....
ปีการศึกษา..... 2549..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... ผศ.ดร.....

#4789147120 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORD: PROCESS ELECTROCHEMICAL / ACID DYE / FACTORIAL EXPERIMENTAL DESIGN

SUKANYA SINSOMBOON: UNISET RED 2B DYE REMOVAL BY ELECTROCHEMICAL PROCESS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. PICHAYA RACHADAWONG, Ph.D, 113 pp. ISBN 974-14-3513 -4.

The objective of this research was to study the relation between variables and the efficiency of decolorization and COD from UNISET RED 2B dyeing wastewater by electrochemical process. The experiments were statistically designed and carried out according to 2^k full factorial design with two replicates and five center points. This design was extended with six additional axial points. A laboratory scale with a batch mode was used to determine the optimum treatment condition by varying current density, reaction time and concentration dye.

Results indicated that the current density, reaction time and concentration dye, were the important factors influencing the treatment efficiency. The study showed that when current density increased from 10 to 30 mA/cm² or reaction time increased from 5 to 15 minutes, the color and COD removal efficiencies were significantly increased. On the other hand, the increment of the dye concentration from 50 to 200 mg/L caused a decrease in the color and COD removal efficiencies. And the relation of the two-factor interaction between current density and reaction time affected removal efficiency of color and COD from synthetic wastewater.

The optimum treatment condition to computed. It was found that there were two optimum conditions for color removal and COD using two metal electrodes. Under the optimum condition, the color and the COD in the effluent all met the required effluent standards stipulated by the Ministry of Industry of Thailand.

The settling time for iron electrode and aluminium electrode was 15 and 30 minutes respective. The treated wastewater using iron electrode was black to light green and it was clear for aluminium electrode.

Field of Study..... Environmental Science..... Student's Signature *Sukanya Sinsomboon*
 Academic Year..... 2006..... Advisor's Signature *Pichaya R.*

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณา และความช่วยเหลือจากบุคคลหลายท่าน ณ โอกาสนี้ผู้วิจัยขอสำนึกในพระคุณของท่านทั้งหลายเหล่านี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิชญ์ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลาคอยให้ความรู้ คำแนะนำ ปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ และข้อคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งช่วยเหลือและสนับสนุนจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร. ชาญวิทย์ โหมยदानนท์, ผศ.ดร. สุธา ขาวเขียร และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผศ.ดร. มะลิ หุ่นสม ที่ให้ความรู้ และข้อมูลอันเป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ เพื่อนน้อย และโลมา ที่ให้ความช่วยเหลือในเรื่องของสีย้อม สมบัติของน้ำเสียดีย้อมจากโรงงานอุตสาหกรรม และรายละเอียดเกี่ยวกับสีย้อม ขอขอบคุณ น้องศิ และน้องกีฟท์ ที่คอยช่วยเหลือในการติดต่อเรื่องสีย้อมเช่นกัน

ขอบคุณเพื่อนๆ จาก ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ รุ่นที่ 25 ที่คอยเป็นกำลังใจ คอยช่วยเหลือ ปรารถนาใจ เวลามีปัญหา และอุปสรรคต่างๆ รวมทั้งการที่พาไปพักผ่อนในที่ต่างๆ ด้วย ที่ทำให้มีกำลังใจในการทำงานต่อไป โดยเฉพาะ เพื่อนเพ็ท ชี จู๊บ โก้ มู ค๊ะ เฟ็ง และจ๊ะ

ขอบคุณ พี่อร พี่เจ๊ียบ แอ้ม และพี่เอิร์ท พี่สาวและพี่ชายใจดีในห้องแล็บ พี่ท๊อป พี่สาว กุ๊กไก่ และเพื่อนๆที่ๆ ภาควิชาสิ่งแวดล้อม ทุกคนที่อยู่เรียนกันมา คอยช่วยเหลือกันตลอดเวลา คอยเป็นกำลังใจให้กันเสมอมา และไม่ทอดทิ้งกัน ขอขอบคุณมากค่ะ

ท้ายสุด ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณพ่อ เลิศศักดิ์ คุณแม่สิริกาญจน์ พี่ชายปิยะ น้องชานนิพนธ์ พี่พร หลานไอซ์ และญาติทุกๆ คนที่คอยสนับสนุนด้านการศึกษา เป็นกำลังใจที่แสนอบอุ่น และอยู่เคียงข้างเสมอ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กระบวนการฟอกย้อม.....	4
2.2 การมองเห็นสี.....	6
2.3 มลพิษในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม.....	16
2.4 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากการย้อมผ้า.....	18
2.5 วิธีเคมีไฟฟ้า.....	20
2.6 การออกแบบการทดลอง.....	28
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	34
3. แผนการทดลองและวิธีดำเนินการวิจัย.....	38
3.1 แผนการทดลอง.....	38
3.2 อุปกรณ์และสารเคมีสำหรับการทดลอง.....	38
3.3 ปัจจัยที่ทำการศึกษา.....	40
3.4 วิธีการทดลอง.....	41
3.5 วิธีการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	45
4. การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	46
4.1 ความสามารถในการกำจัดสี และลดค่าซีไอที โดยขั้วอะลูมิเนียม และขั้วเหล็ก.....	46
4.2 ผลของตัวแปรที่มีผลต่อการกำจัดสี และการลดค่าซีไอทีด้วยวิธีไฟฟ้าเคมี.....	52
4.3 อิทธิพลของค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยจากการใช้ขั้วไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด.....	81
4.4 ภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสี และการลดค่าซีไอที โดยขั้วอะลูมิเนียม และขั้วเหล็ก.....	84

บทที่	หน้า
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	88
รายการอ้างอิง.....	92
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก. ผลการทดลอง.....	96
ภาคผนวก ข. แสดงวิธีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง.....	109
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	113

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 ลักษณะโครงสร้างทางเคมี และชนิดเส้นใยของสีย้อมผ้า.....	13
2.2 สารเคมีที่เจือปนในน้ำเสียจากการย้อมสี.....	17
2.3 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน.....	33
3.1 การกำหนดปัจจัย และค่าจริงที่ทำการแปลรหัสที่ระดับต่างๆ.....	41
3.2 ตารางแสดงภาวะของตัวแปรอิสระที่ทำการทดลอง.....	43
3.3 ตารางแสดงวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนอง.....	45
4.1 ผลการทดลองของขั้วอะลูมิเนียม และขั้วเหล็กที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	47
4.2 ผลการทดลองของขั้วอะลูมิเนียม และขั้วเหล็กที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดี.....	48
4.3 ผลการทดลองของขั้วอะลูมิเนียมจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k	49
4.4 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	53
4.5 ผลการทดสอบสมมติฐานของการกำจัดสีโดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม.....	54
4.6 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการกำจัดสีโดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม.....	54
4.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการลดค่าซีไอดีเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	61
4.8 ผลการทดสอบสมมติฐานของตัวแปรในการลดค่าซีไอดี.....	61
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการลดค่าซีไอดีโดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม.....	62
4.10 ผลการทดลองของขั้วเหล็กจากการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2^k	67
4.11 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการกำจัดสีเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	68
4.12 ผลการทดสอบสมมติฐานของการกำจัดสีเมื่อใช้เหล็กเป็นอิเล็กโทรด.....	68
4.13 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการกำจัดสีโดยใช้ขั้วเหล็ก.....	69
4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการลดค่าซีไอดีเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	76
4.15 ผลการทดสอบสมมติฐานของตัวแปรในการลดค่าซีไอดี.....	77
4.16 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการลดค่าซีไอดีโดยใช้ขั้วเหล็ก.....	77
4.17 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการกำจัดสีโดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม และขั้วเหล็ก.....	82
4.18 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของการลดค่าซีไอดีโดยใช้ขั้วอะลูมิเนียม และขั้วเหล็ก.....	83
4.19 ภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสีโดยขั้วอะลูมิเนียม.....	85
4.20 ภาวะที่เหมาะสมของการลดค่าซีไอดีโดยขั้วอะลูมิเนียม.....	85
4.21 ภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสีโดยขั้วเหล็ก.....	86
4.22 ภาวะที่เหมาะสมของการลดค่าซีไอดีโดยขั้วเหล็ก.....	87

ตาราง	หน้า
5.1 ลักษณะของน้ำเสียก่อน และหลังการบำบัด.....	91
ก-1 APHA Pt-Co Color Standard Preparation.....	95
ก-2 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียม.....	100
ก-3 ค่าการดูดกลืนแสงเมื่อใช้ขั้วเหล็ก.....	102
ก-4 ค่าซีโอดีที่คำนวณ โดยการไทเทรตเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียม.....	104
ก-5 ค่าซีโอดีที่คำนวณ โดยการไทเทรตเมื่อใช้ขั้วเหล็ก.....	106
ก-6 ภาวะที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมร่วมของการกำจัดซีโอดีโดยขั้วอะลูมิเนียม.....	108
ก-7 ภาวะที่มีประสิทธิภาพเหมาะสมร่วมการลดค่าซีโอดีโดยขั้วอะลูมิเนียม.....	108
ข-1 มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	112

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินการวิจัย.....	3
2.1 ขั้นตอนการผลิตเส้นใย.....	4
2.2 ตัวอย่างกลุ่มอะตอม โคร โมฟอร์.....	6
2.3 โครงสร้างของสีย้อม Acid Blue 92.....	8
2.4 โครงสร้างของสีย้อม Basic Brown 1.....	8
2.5 โครงสร้างของสีย้อม Direct Red 14.....	9
2.6 โครงสร้างของสีย้อม Reactive Blue 4.....	9
2.7 โครงสร้างของสีย้อม Disperse Blue 14.....	9
2.8 โครงสร้างของสีย้อม Vat Orange 5.....	10
2.9 โครงสร้างของสีย้อม Solubilised Vat Orange 5.....	10
2.10 โครงสร้างของสีย้อม Mordant Black 1.....	11
2.11 ลักษณะการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับเส้นใย.....	11
2.12 โครงสร้างของสีย้อม Azoic.....	12
2.13 โครงสร้างของสีย้อม Oxidation Base 3.....	13
2.14 เซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	21
2.15 การจัดเรียงอิเล็กโทรดในแบบต่างๆ.....	23
2.16 กระบวนการ ในการเกิดตัวตกตะกอน โดยวิธีไฟฟ้าเคมี.....	28
2.17 การออกแบบรูปผสมจุดศูนย์กลาง.....	32
3.1 การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อทำการบำบัด.....	39
3.2 แผนผังสำหรับงานวิจัย.....	44
4.1 ภาพหลังการบำบัดน้ำเสียจากการใช้ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง.....	50
4.2 ภาพของการใช้ขั้วเหล็ก หลังจากทิ้งไว้เพื่อรอการตกตะกอนซึ่งใช้เวลา 10 นาที.....	51
4.3 ภาพของการใช้ขั้วอะลูมิเนียม หลังจากทิ้งไว้เพื่อรอการตกตะกอนซึ่งใช้เวลา 30 นาที.....	51
4.4 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าการ กำจัดสีเมื่อใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	55
4.5 กราฟของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนายของการกำจัดสีเมื่อใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	55
4.6 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	57
4.7 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	57

ภาพประกอบ	หน้า
4.8 ผลของความเข้มข้นของสีย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	58
4.9 ผลของอันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อ ค่าการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด.....	59
4.10 ผลของอันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของสีย้อมที่มีต่อ ค่าการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด.....	59
4.11 ผลของอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสีย้อมที่มีต่อ ค่าการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นอิเล็กโทรด.....	60
4.12 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า การลดค่าซีไอดีเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	62
4.13 กราฟของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนายของลดค่าซีไอดีเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นขั้ว อิเล็กโทรด.....	63
4.14 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อการลดค่าซีไอดี.....	64
4.15 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดี	64
4.16 ผลของความเข้มข้นของสีย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีไอดี.....	65
4.17 ผลของอันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มี ต่อประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีเมื่อใช้ขั้วอะลูมิเนียมเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	66
4.18 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้างในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า การกำจัดสีเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	70
4.19 กราฟของส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกทำนายของการกำจัดสีเมื่อใช้เหล็ก เป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	70
4.20 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วเหล็ก.....	71
4.21 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วเหล็ก.....	72
4.22 ผลของความเข้มข้นของสีย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	73
4.23 ผลของอันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มี ต่อค่าการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วเหล็กเป็นอิเล็กโทรด.....	74
4.24 ผลของอันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับความเข้มข้นของสีย้อมที่มี ต่อค่าการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วเหล็กเป็นอิเล็กโทรด.....	74
4.25 ผลของอันตรกิริยาระหว่างเวลาในการเกิดปฏิกิริยากับความเข้มข้นของสีย้อมที่มี ต่อค่าการกำจัดสีเมื่อใช้ขั้วเหล็กเป็นอิเล็กโทรด.....	75

ภาพประกอบ	หน้า
4.26 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตค้ำงในการวิเคราะห์ความแปรปรวน ของการกำจัดซีโอดีเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	78
4.27 กราฟของส่วนตค้ำงกับค่าที่ถูกทำนายการกำจัดซีโอดีเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วอิเล็กโทรด.....	78
4.28 ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี.....	79
4.29 ผลของเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มีต่อประสิทธิภาพการลดค่าซีโอดี.....	80
4.30 ผลของความเข้มข้นของสีย้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการกำจัดสี.....	80
4.31 ผลของอันตรกิริยาระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ากับเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่มี ต่อค่าการลดค่าซีโอดีเมื่อใช้ขั้วเหล็กเป็นอิเล็กโทรด.....	81
ก-1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับหน่วยสี(Pt-Co Unit).....	98