

**การใช้สารเคมีฟันทันกำจัดเชื้อและสารอินทรีย์
ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม**



นายวุฒิ วิพันธ์พงษ์

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคณะศึกษาศาสตร์ปริญญาโท สาขาวิชาศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัย

สาขาวิชากรรมวิธีแปรรูปอาหาร ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดลอม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-637-330-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

20 ก.ค. 2544

I 17564475

**USING FENTON'S REAGENT FOR REMOVAL OF COLOR
AND ORGANIC COMPOUNDS IN DYEING WASTEWATER**

Mr. Wut Viphanphong

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 1997

ISBN 974-697-380-7

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

วุฒิ วิทยานิพนธ์ : การใช้สารเคมีเฟนตันกำจัดสีและสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม (Using Fenton's Reagent for Removal of Color and Organic Compounds in Dyeing Wastewater)
อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. มั่นสิน ตันจุลเวศม์, 190 หน้า. ISBN 974-637-330-7

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาถึงประสิทธิภาพของสารเคมีเฟนตัน (ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ + เหล็ก) ในการกำจัดสีและสารอินทรีย์จากน้ำเสียจริงที่มีสีรีแอกทีฟจากโรงงานย้อมผ้าและผ้าฝ้าย การทดลองนี้มี 2 ขั้นตอน คือ การศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางเคมี และ การศึกษาการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ

ในการศึกษาการบำบัดน้ำเสียทางเคมี พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 5 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม), 200, 500, 800, และ 1200 มก./ล., อัตราส่วนโดยโมล (R) ระหว่าง ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเหล็ก 3 ระดับ คือ $R = 5:1$, $R = 10:1$, $R = 20:1$, และเวลาสัมผัส 3 ระดับ คือ 60, 120, 180 นาที น้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองมี 4 โทนสี คือ โทนสีดำ, โทนสีม่วง, โทนสีแดง, และโทนสีน้ำตาลอ่อน ซึ่งได้รับการเตรียมให้มีค่าซีโอดีประมาณ 600 มก./ล. เท่ากันทุกโทนสี

จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 200 มก./ล. ที่อัตราส่วน $R = 5:1$ ในการบำบัดน้ำเสียโทนสีดำ, โทนสีแดง, โทนสีน้ำตาลอ่อน และที่อัตราส่วน $R = 10:1$ ในการบำบัดน้ำเสียโทนสีม่วง จะสามารถกำจัดสีได้สูงกว่า 80% และพบว่าเวลา 1 ชั่วโมง เพียงพอสำหรับการเกิดปฏิกิริยา

นอกจากนี้ ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการกำจัดสีมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าไออาร์พีที่วัดได้อย่างเห็นได้ชัด เพื่อจะให้ได้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีถึง 80% หรือมากกว่า ค่าไออาร์พีจะอยู่ในระดับสูง คือ ในช่วงประมาณ 583-614 มิลลิโวลต์ ความแตกต่างของค่าไออาร์พีในช่วงดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับโทนสีของน้ำเสียที่ใช้ อย่างไรก็ตาม การใช้สารเคมีเฟนตันปริมาณดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีเพียง 12%-42%

จากการศึกษาการย่อยสลายทางชีวภาพของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันแล้ว โดยใช้ระบบเอสบิโอาร์ ซึ่งมีรอบวัฏจักร 24 ชั่วโมง ต่อ 1 วงจร และ ไม่มีการทิ้งตะกอนสลัดจ์ พบว่าน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดทางเคมีแล้วดังกล่าว ไม่เป็นอันตรายต่อระบบเอสบิโอาร์ แต่ระบบเอสบิโอาร์นี้ไม่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ในน้ำเสียดังกล่าวได้อย่างมีนัยสำคัญ

ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และอัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กับเหล็กที่ใช้ เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสี ผลการทดลองยังแสดงให้เห็นว่า การควบคุมการเติมสารเคมีสามารถกระทำได้โดยใช้ค่าไออาร์พีที่เหมาะสม และสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสีย จะมีราคาประมาณ 6.2, 6.5, 3.6, และ 1.8 บาท / ลบ.ม. สำหรับ น้ำเสียโทนสีดำ, แดง, ม่วง, และน้ำตาลอ่อน ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
สาขาวิชา
ปีการศึกษา 2540

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C818100 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD: COLOR REMOVAL / OXIDATION / DYE / FENTON / HYDROGEN PEROXIDE

WUT VIPHANPHONG : USING FENTON'S REAGENT FOR REMOVAL OF COLOR AND ORGANIC COMPOUNDS IN DYEING WASTEWATER. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. MUNSIN TUMTOOLLAVEST, Ph.D. 190 pp. ISBN 974-637-330-7

The objective of this research was to study the color and organic removal efficiency of Fenton's chemical (hydrogen peroxide + ferrous iron (Fe^{+2})) in treating a reactive dye wastewater from a cotton dyeing plant. There were two phases of experiment: the first was chemical treatment study, and the second was biodegradability study.

In the chemical treatment study, parameters being studied were hydrogen peroxide dosages of 5 levels, i.e., 0 (as control), 200, 500, 800 and 1200 mg/l, molar ratio (R) of hydrogen peroxide and ferrous iron (Fe^{+2}) of 3 levels, i.e., R=5:1, R=10:1, and R=20:1, and the reaction time of 3 levels, i.e., 60, 120, 180 minutes. Dye wastewater under investigation had 4 different colors, namely, black, red, light brown, and purple. All wastewaters were prepared to have constant COD concentration of approximately 600 mg/l.

From the experiment, it was found that a dosage of 200 mg/l of hydrogen peroxide at R=5:1 in treating black, red and light brown wastewaters, and the same quantity of hydrogen peroxide at R=10:1 in treating purple-colored wastewater, could remove more than 80% of the color. And one hour was sufficient for the reaction to get the mentioned efficiency.

Besides, it was found that color removal efficiency was directly related to the ORP of the reaction. In order to obtain the color removal efficiency of 80% or more, high ORP level was found to be in the range of 583-614 millivolts. Differences of the values within this range depended on the color of the wastewater being used. Nevertheless, the dosage of Fenton's Reagent used in this research had the COD removal efficiency of 12-42% only.

From the biodegradability study of chemically treated wastewater (with Fenton's Reagent) using an SBR system having cycle time of 24 hours and without sludge wastage, it was found that the treated wastewater produced no harmful effects to the SBR system. However, this SBR system could not significantly remove organic substances from the wastewater.

Conclusion could be drawn from experimental results that the dosage of hydrogen peroxide and molar ratio (R) between hydrogen peroxide and ferrous iron (Fe^{+2}) were important factors affecting the color and organic removal efficiency. Additionally, the experimental results showed that control of the chemical addition could be achieved by using proper ORP value. Costs of the chemicals used in the system were approximately 6.2, 6.5, 3.6 and 1.8 Baht/m³ for black, red, purple and light brown wastewaters, respectively.

ภาควิชา..... วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ลายมือชื่อนิสิต..... *กมล วิพันพงษ์*

สาขาวิชา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *สมิ ม.*

ปีการศึกษา..... 2540

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

จุดเริ่มต้นของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เกิดจากข้อเสนอแนะของรองศาสตราจารย์ คร.มันสิน ตันจตุรเวศม์ ที่กรุณาให้แก่ผู้เขียน นอกจากนี้ท่านยังได้ให้ความรู้ทั้งภาคทฤษฎีและปฏิบัติ ตลอดจนคำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่มีประโยชน์อย่างยิ่ง ซึ่งเป็นสิ่งที่ผู้เขียนได้รับอย่างสม่ำเสมอ นับตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงแล้ว ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ต่างๆ ให้แก่ผู้เขียน

ขอขอบพระคุณ บริษัท แซนอี 68 คอนซัลติ้ง จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการเก็บน้ำเสียเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท แซนอี 68 แพล จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีบางส่วนเพื่อมาใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท อุตสาหกรรมรามาทีกซ์ไทล์(1988)จำกัด ที่อนุญาตให้นำน้ำเสียเพื่อมาใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนส่วนหนึ่งเพื่อใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณ เพื่อนๆ นิสิตปริญญาโท ที่ได้ช่วยเหลือและแนะนำในการทำงานวิจัยนี้เป็นอย่างดี

ท้ายสุดนี้ ขอขอบคุณสำหรับความรัก ความห่วงใย และความช่วยเหลืออย่างดียิ่งที่ผู้เขียนได้รับตลอดมา จากคุณพ่อ คุณแม่ และพี่ น้อง ทุกคนของผู้เขียน ซึ่งมีส่วนอย่างมากในการทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลงได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
2 ทบทวนเอกสาร	
2.1 สีย้อม.....	3
2.1.1 ลักษณะโดยทั่วไปของสีย้อม.....	3
2.1.2 การมองเห็นสี.....	3
2.1.3 การจำแนกสีย้อม.....	4
2.1.3.1 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพ.....	4
2.1.3.2 การจำแนกสีย้อมตามส่วนประกอบทางเคมี.....	4
2.1.3.3 การจำแนกสีย้อมตามลักษณะการนำไปใช้งาน.....	5
2.1.4 ปัจจัยในการทำให้สีย้อมติดกับเส้นใย.....	11
2.2 สีรีแอกทีฟ.....	11
2.2.1 ประวัติของสีรีแอกทีฟ.....	11
2.2.2 คุณสมบัติโดยทั่วไปของสีย้อมรีแอกทีฟ.....	12
2.2.3 โครงสร้างเคมีของสีรีแอกทีฟ.....	12
2.2.4 กลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีของสีรีแอกทีฟ.....	13
2.2.5 กลุ่มรีแอกทีฟ.....	15
2.2.6 สภาวะที่มีผลต่อการทำปฏิกิริยาของสีรีแอกทีฟ.....	19

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

2.2.7	อิทธิพลที่สำคัญที่จะทำให้สีรีแอกทีฟถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใย.....	19
2.3	กระบวนการย้อมสี.....	20
2.3.1	การเตรียมเส้นใยสำหรับการย้อม.....	21
2.3.2	การย้อมสี.....	23
2.4	กระบวนการเคมีคัดออกซิเจน.....	25
2.4.1	สารเคมีที่ใช้เป็นตัวออกซิเจน.....	30
2.4.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับกระบวนการออกซิเจน.....	33
2.4.2.1	ค่าไออาร์พี.....	33
2.4.2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับค่าไออาร์พี.....	35
2.5	สารเคมีฟีนตัน.....	36
2.5.1	ความเป็นมาของสารเคมีฟีนตัน.....	36
2.5.2	ลักษณะโดยทั่วไปของสารเคมีฟีนตัน.....	36
2.5.3	ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีฟีนตัน.....	37
2.5.4	การเกิดปฏิกิริยาเกิดขึ้นของสารเคมีฟีนตัน.....	40
2.5.5	การเกิดปฏิกิริยาของสารเคมีฟีนตันกับสารอินทรีย์.....	40
2.5.6	การศึกษาการใช้งานสารเคมีฟีนตันที่ผ่านมา.....	41
2.6	กระบวนการโคแอกกูเลชัน.....	43
2.7	ระบบเอกทีเวเต็คสตัคค์แบบเอสปีอาร์.....	43
๑	แผนงานและการดำเนินการวิจัย.....	45
3.1	แผนการทดลอง.....	45
3.1.1	กระบวนการกำจัดสีและสารอินทรีย์โดยใช้วิธีทางเคมี.....	45
3.1.2	เปรียบเทียบผลกระทบบของสารเคมีฟีนตันต่อปฏิกิริยา ย่อยสลายทางชีวภาพ.....	46
3.2	การเตรียมน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม.....	47
3.2.1	สีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ในการทดลอง.....	47
3.2.2	การเตรียมน้ำตัวอย่างสำหรับการทดลอง.....	48

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	49
3.4 การศึกษาเบื้องต้นของการกำจัดสีโดยใช้สารเคมีเฟนตัน.....	51
3.5 ขั้นตอนดำเนินการทดลอง.....	52
3.5.1 กระบวนการกำจัดสีและสารอินทรีย์โดยใช้วิธีทางเคมี.....	52
3.5.2 เปรียบเทียบความสามารถในการย่อยสลาย ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ.....	55
3.6 วิธีวิเคราะห์น้ำในการทดลอง.....	55
4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	57
4.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	57
4.2 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีของชุดควบคุม.....	58
4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีโดยใช้สารเคมีเฟนตัน.....	59
4.3.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	59
4.3.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน.....	66
4.3.3 การเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	74
4.3.4 การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังการบำบัดด้วย สารเคมีเฟนตัน.....	80
4.4 ค่าไออาร์พีกับประสิทธิภาพในการกำจัดสี.....	90
4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดสี กับค่าไออาร์พี.....	90
4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับสารเคมีเฟนตัน.....	98
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับประสิทธิภาพในการกำจัดสี.....	101
4.6 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์สำหรับชุดควบคุม.....	109
4.7 ประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์โดยใช้สารเคมีเฟนตัน.....	110
4.7.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้.....	110
4.7.2 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน.....	117
4.7.3 การเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา.....	122
4.7.4 การใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์หลังการบำบัดด้วย	

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

สารเคมีเฟนตัน.....	129
4.8 ปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นสำหรับการใช้สารเคมีเฟนตัน.....	132
4.9 การศึกษาความสามารถในการย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพ	
4.9.1 ลักษณะน้ำเสียก่อนเข้าระบบเอสบีอาร์.....	136
4.9.2 ระบบเอสบีอาร์.....	138
4.9.2.1 ค่าพีเอช.....	138
4.9.2.2 ค่าเอสวี 30.....	140
4.9.3 การกำจัดสารอินทรีย์ด้วยระบบเอสบีอาร์.....	142
4.9.4 อัตราการใช้ออกซิเจนต่อมวลจุลชีพ.....	142
4.9.5 ลักษณะของเซลล์จุลชีพในระบบเอสบีอาร์.....	146
4.10 ค่าใช้จ่ายในการใช้สารเคมีเฟนตันในการกำจัดสีและสารอินทรีย์ของ น้ำเสียสรีแอกทีฟ.....	146
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	149
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	149
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยเพิ่มเติม.....	150
รายการอ้างอิง.....	151
ภาคผนวก.....	155
ภาคผนวก ก การทดลองเบื้องต้น.....	155
ภาคผนวก ข ผลการทดลองจากกระบวนการเคมี.....	164
ภาคผนวก ค ผลการทดลองจากกระบวนการชีวภาพ.....	182
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณ.....	187
ประวัติผู้วิจัย.....	190

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	การจำแนกสีเชื่อมตามสูตรโครงสร้าง.....	6
ตารางที่ 2.2	เปอร์เซ็นต์การกระจายของกลุ่มอะตอม ทำให้เกิดสีของสีรีแอกทีฟแบ่งตาม โทนสีต่างๆ.....	15
ตารางที่ 2.3	กลุ่มรีแอกทีฟของสีเชื่อมรีแอกทีฟที่สำคัญที่ผลิตจากบริษัทต่างๆ.....	16
ตารางที่ 2.4	เปรียบเทียบความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาของสารออกซิแคนท์.....	28
ตารางที่ 2.5	เปรียบเทียบการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารออกซิแคนท์กับสารประกอบฟีนอล.....	29
ตารางที่ 2.6	สรุปผลการใช้สารออกซิแคนท์ในการลดความเป็นพิษและการกำจัดสารอินทรีย์.....	32
ตารางที่ 2.7	ค่า E_0 เมื่อใช้ไฮโดรเจนเป็นอิเล็กโทรดอ้างอิง.....	34
ตารางที่ 2.8	ศักย์ออกซิเคชันของอนุมูลชนิดต่างๆ โดยเปรียบเทียบกับสารออกซิแคนท์ ที่เป็นโมเลกุลปกติ.....	37
ตารางที่ 2.9	กระบวนการออกซิเคชันที่แนะนำสำหรับสีเชื่อมชนิดต่างๆ.....	42
ตารางที่ 3.1	อัตราส่วนการเตรียมน้ำเสียเพื่อใช้ในการทดลองสำหรับโทนสีต่างๆ.....	49
ตารางที่ 3.2	ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเหล็กซัลเฟตที่อัตราส่วนต่างๆ กัน.....	52
ตารางที่ 3.3	วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ.....	55
ตารางที่ 4.1	ลักษณะสมบัติของน้ำเสียสีรีแอกทีฟที่ใช้ในการทดลอง.....	57
ตารางที่ 4.2	ประสิทธิภาพของการลดสีของน้ำเสียสีรีแอกทีฟด้วยวิธีการกรอง.....	58
ตารางที่ 4.3	ประสิทธิภาพในการกำจัดสี(%) สำหรับชุดควบคุม.....	59
ตารางที่ 4.4	ปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเหล็กซัลเฟตที่อัตราส่วนต่างๆ กัน.....	60
ตารางที่ 4.5	ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้น้อยที่สุดในการลดสีให้ได้ มากกว่า 80% ในแต่ละอัตราส่วน.....	65
ตารางที่ 4.6	ค่าไออาร์พีที่ทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่า 80%.....	97
ตารางที่ 4.7	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดี(%) สำหรับชุดควบคุม.....	110
ตารางที่ 4.8	ผลกระทบของปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่มีต่อค่าซีไอดี.....	116
ตารางที่ 4.9	ประสิทธิภาพในการกำจัดซีไอดีเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการลดสี เมื่อใช้ปริมาณสารเคมีเฟนตันตามตารางที่ 4.5 ที่ทำให้สี ได้มากกว่า80%.....	117

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.10 ความเข้มข้นตะกอนที่เกิดขึ้นสำหรับน้ำเสียโทนตีต่างๆเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 500 มก./ล. ที่อัตราส่วน $R=5:1$, $R=10:1$ และ $R=20:1$ ที่เวลาทำปฏิกิริยาเท่ากับ 3 ชั่วโมง.....	135
ตารางที่ 4.11 ค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียสิรินธรที่ฟอกจากโรงฟอกย้อม.....	148



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1	กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Unmetallised Azo เป็นหลักที่ทำให้เกิดสีรีแอกทีฟ.....	13
รูปที่ 2.2	กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Metal-Complex Azo เป็นหลักที่ทำให้เกิดสีรีแอกทีฟ.....	13
รูปที่ 2.3	กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Anthraquinone เป็นหลักที่ทำให้เกิดสีรีแอกทีฟ.....	14
รูปที่ 2.4	กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Phthalocyanine เป็นหลักที่ทำให้เกิดสีรีแอกทีฟ.....	14
รูปที่ 2.5	กลุ่มอะตอมที่มีโครงสร้าง Azo เป็นหลักที่ทำให้เกิดสีใน Bifunctional reactive.....	14
รูปที่ 2.6	การเตรียมเส้นใยสำหรับการย้อม.....	22
รูปที่ 2.7	กระบวนการย้อมสีและตกแต่งผ้า.....	24
รูปที่ 2.8	การนำกระบวนการเคมีคัลออกซิเคชันไปใช้งาน.....	26
รูปที่ 2.9	Reactivity และ Selectivity ของออกซิแดนซ์ชนิดต่างๆ.....	28
รูปที่ 2.10	การลดสีโดยใช้โปดัสเซียมเปอร์แมงกานेटหรือสารเคมีเฟนตัน.....	30
รูปที่ 2.11	การกำจัดซีโอดีโดยใช้โปดัสเซียมเปอร์แมงกานेटหรือสารเคมีเฟนตัน.....	30
รูปที่ 2.12	การวัดแรงเคลื่อนไฟฟ้า (E_0) ของปฏิกิริยาเคมี.....	34
รูปที่ 2.13	โครงสร้างโมเลกุลของ Reactive Blue No.15.....	39
รูปที่ 3.1	เครื่องกววน.....	50
รูปที่ 3.2	เครื่องเขย่า.....	50
รูปที่ 3.3	โมเดลที่ใช้ในการทดลองปฏิกิริยาชีวภาพ.....	51
รูปที่ 3.4	ขั้นตอนการทดลองใช้สารเคมีเฟนตันในการออกซิไดซ์น้ำเสียและตกตะกอนด้วย แคลเซียมไฮดรอกไซด์.....	54
รูปที่ 4.1	ประสิทธิภาพในการลดสีโทนสีต่างๆ เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จาก 0 ถึง 1,200 มก./ล., ที่ R = 20:1.....	61
รูปที่ 4.2	ประสิทธิภาพในการลดสีโทนสีต่างๆ เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จาก 0 ถึง 1,200 มก./ล., ที่ R = 10 : 1.....	62
รูปที่ 4.3	แสดงประสิทธิภาพในการลดสีโทนสีต่างๆ เมื่อเพิ่มปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จาก 0 ถึง 1,200 มก./ล., ที่ R = 20 : 1.....	64
รูปที่ 4.4	ประสิทธิภาพในการลดสีโทนสีดำเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน(R) จาก R =20 : 1 ถึง R=5:1 ที่ปริมาณ H_2O_2 ต่างๆ.....	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน(R)
 จาก R = 20 : 1 ถึง R = 5 : 1 ที่ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....69

รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน(R)
 จาก R = 20 : 1 ถึง R = 5 : 1 ที่ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....70

รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระน้ำตาอ่อนเมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วน(R)
 จาก R = 20 : 1 ถึง R = 5 : 1 ที่ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....72

รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระเมื่อเปลี่ยนแปลงเวลา
 จาก 1 ชั่วโมง ถึง 3 ชั่วโมง ที่ ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....75

รูปที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระเมื่อเปลี่ยนแปลงเวลา
 จาก 1 ชั่วโมง ถึง 3 ชั่วโมง ที่ ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....76

รูปที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระเมื่อเปลี่ยนแปลงเวลา
 จาก 1 ชั่วโมง ถึง 3 ชั่วโมง ที่ ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....77

รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระน้ำตาอ่อนเมื่อเปลี่ยนแปลงเวลา
 จาก 1 ชั่วโมง ถึง 3 ชั่วโมง ที่ ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....79

รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระต่างๆ เมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์,
 ที่ H₂O₂ = 0 มก./ล. (ชุดควบคุม).....82

รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์,
 ที่ ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....83

รูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์,
 ที่ ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....85

รูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์,
 ที่ ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ.....86

รูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพในการลดคลอรีนอิสระน้ำตาอ่อนเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์,
 ที่ ปริมาณ H₂O₂ ค่าต่างๆ89

รูปที่ 4.68 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดคลอรีนอิสระต่างๆ
 กับค่าไออาร์ที่อัตราส่วน R = 5 : 1.....91

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งของน้ำเสียโทชนิดต่างๆ กับค่าไออาร์พีที่อัตราส่วน $R = 10 : 1$	93
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งของน้ำเสียโทชนิดต่างๆ กับค่าไออาร์พีที่อัตราส่วน $R = 20 : 1$	95
รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสำหรับน้ำเสีย สิรีแอกทีฟทุกโทชนิด.....	98
รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และเฟอร์รัส ซัลเฟต, ในน้ำประปาพีเอช 2.75.....	99
รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับสารเคมีเฟนตันที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์และอัตราส่วนต่างๆ, ในน้ำประปา พีเอช 2.75.....	99
รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, สำหรับ โทชนิดดำ, ที่อัตราส่วน(R) ต่างๆ, เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1,2,3 ชั่วโมง ตามลำดับ.....	102
รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, สำหรับ โทชนิดม่วง, ที่อัตราส่วน(R) ต่างๆ, เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1,2,3 ชั่วโมง ตามลำดับ.....	103
รูปที่ 4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, สำหรับ โทชนิดแดง, ที่อัตราส่วน(R) ต่างๆ, เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1,2,3 ชั่วโมง ตามลำดับ.....	104
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์, สำหรับ โทชนิดน้ำตาลอ่อน, ที่อัตราส่วน(R) ต่างๆ, เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 1,2,3 ชั่วโมง ตามลำดับ.....	105
รูปที่ 4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดสิ่งของน้ำเสียโทชนิดต่างๆ กับค่าพีเอชที่อัตราส่วน $R = 5 : 1$	106
รูปที่ 4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดสิ่งของน้ำเสียโทชนิดต่างๆ กับค่าพีเอชที่อัตราส่วน $R = 10 : 1$	107

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพในการลดสีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆ กับค่าพีเอชที่อัตราส่วน $R = 20 : 1$	108
รูปที่ 4.30 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆ เมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 จาก 0 ถึง 1,200 มก./ล. ที่ $R = 5 : 1$	112
รูปที่ 4.31 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆ เมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 จาก 0 ถึง 1,200 มก./ล. ที่ $R = 10 : 1$	113
รูปที่ 4.32 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆ เมื่อเพิ่มปริมาณ H_2O_2 จาก 0 ถึง 1,200 มก./ล. ที่ $R = 20 : 1$	115
รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลง อัตราส่วน(R) จาก $R=20:1$ ถึง $R=5:1$ ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	119
รูปที่ 4.35 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลง อัตราส่วน(R) จาก $R=20:1$ ถึง $R=5:1$ ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	120
รูปที่ 4.36 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลง อัตราส่วน(R) จาก $R=20:1$ ถึง $R=5:1$ ที่ $H_2O_2=200$ มก/ล.....	121
รูปที่ 4.37 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลง อัตราส่วน(R) จาก $R=20:1$ ถึง $R=5:1$ ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	123
รูปที่ 4.38 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลง เวลาจาก 1ชม.ถึง 3ชม.,ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	124
รูปที่ 4.39 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลง เวลาจาก 1ชม.ถึง 3ชม.,ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	126
รูปที่ 4.40 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลง เวลาจาก 1ชม.ถึง 3ชม.,ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	127
รูปที่ 4.41 ประสิทธิภาพในการลดซีโอดีของน้ำเสียโทชนิดต่างๆเมื่อเปลี่ยนแปลง เวลาจาก 1ชม.ถึง 3ชม.,ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	128

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.42	ประสิทธิภาพในการลดซีไอคิงของน้ำเสียโทนสีดำเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์, ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	130
รูปที่ 4.43	ประสิทธิภาพในการลดซีไอคิงของน้ำเสียโทนสีม่วงเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์, ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	131
รูปที่ 4.44	ประสิทธิภาพในการลดซีไอคิงของน้ำเสียโทนสีแดงเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์, ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	133
รูปที่ 4.42	ประสิทธิภาพในการลดซีไอคิงของน้ำเสียโทนสีน้ำตาลอ่อนเมื่อใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ปริมาณ H_2O_2 ค่าต่างๆ.....	134
รูปที่ 4.46	ค่าซีไอคิงของน้ำเสียโทนสีดำทั้งที่ผ่าน, ไม่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตัน ก่อนเข้าสู่ระบบSBR.....	137
รูปที่ 4.47	ค่าซีไอคิงของน้ำเสียโทนสีม่วงทั้งที่ผ่าน, ไม่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตัน ก่อนเข้าสู่ระบบSBR.....	137
รูปที่ 4.48	ค่าซีไอคิงของน้ำเสียโทนสีแดงทั้งที่ผ่าน, ไม่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตัน ก่อนเข้าสู่ระบบSBR.....	137
รูปที่ 4.49	ค่าซีไอคิงของน้ำเสียโทนสีน้ำตาลอ่อนทั้งที่ผ่าน, ไม่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตัน ก่อนเข้าสู่ระบบSBR.....	137
รูปที่ 4.50	พีเอชของน้ำเสียในระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนสีดำ, โทนสีม่วง, โทนสีแดง และโทนสีน้ำตาลอ่อนที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตัน.....	139
รูปที่ 4.51	พีเอชของน้ำเสียในระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนสีดำ, โทนสีม่วง, โทนสีแดง และโทนสีน้ำตาลอ่อนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตัน.....	139
รูปที่ 4.52	ค่าSV30 ของระบบ SBR สำหรับน้ำเสียโทนสีดำ, โทนสีม่วง, โทนสีแดงและโทนสีน้ำตาลอ่อนที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตัน.....	141
รูปที่ 4.53	ค่าSV30 ของระบบ SBR สำหรับน้ำเสียโทนสีดำ, โทนสีม่วง, โทนสีแดงและโทนสีน้ำตาลอ่อนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตัน.....	141
รูปที่ 4.54	ค่าซีไอคิงเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนสีน้ำตาลอ่อนที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันมาก่อน.....	143

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.55 ค่าซีไอดีเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนนี้นำตาลอ่อนที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันมาก่อน.....	143
รูปที่ 4.56 ค่าซีไอดีเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนนีค่าที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันมาก่อน.....	143
รูปที่ 4.57 ค่าซีไอดีเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนนีค่าที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันมาก่อน.....	143
รูปที่ 4.58 ค่าซีไอดีเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนนีมีวงที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันมาก่อน.....	144
รูปที่ 4.59 ค่าซีไอดีเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนนีมีวงที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันมาก่อน.....	144
รูปที่ 4.60 ค่าซีไอดีเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนนีแดงที่ไม่ได้ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันมาก่อน.....	144
รูปที่ 4.61 ค่าซีไอดีเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังจากการบำบัดด้วยระบบSBR สำหรับน้ำเสียโทนนีแดงที่ผ่านการบำบัดด้วยสารเคมีเฟนตันมาก่อน.....	144
รูปที่ 4.62 อัตราการใช้ออกซิเจนของระบบเอสปีอาร์ สำหรับน้ำเสีย โทนนีค่า, โทนนีมีวง, โทนนีแดง, โทนนีน้ำตาลอ่อนทั้งที่ผ่านและไม่ผ่านการบำบัดก่อนด้วย สารเคมีเฟนตัน.....	145
รูปที่ 4.63 ลักษณะของเซตจุดชีพในระบบเอสปีอาร์ สำหรับน้ำเสียที่ไม่ได้ผ่านการบำบัด ก่อนด้วยสารเคมีเฟนตัน.....	147
รูปที่ 4.64 ลักษณะของเซตจุดชีพในระบบเอสปีคาร์ สำหรับน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดก่อน ด้วยสารเคมี.....	147