การกำจัดสีหมู่อะโซชนิดไดเรกท์ และรีแอคทีฟด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์

นางสาวนวลจิรา วโรตมะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-5632-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DECOLORIZATION OF AZO GROUP DIRECT DYES AND REACTIVE DYES USING SODIUM BOROHYDRIDE

Miss Nuanjira Warottama

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science in Environmental Science (Inter-Department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-5632-1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสีหมู่อะโซชนิดไดเรกท์ และรีแอคทีฟด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์
โดย	นางสาวนวลจิรา วโรตตมะ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. อมร เพชรสม)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นวลจิรา วโรตตมะ : การกำจัดสีหมู่อะโซชนิดไดเรกท์ และรีแอคทีฟด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์ (DECOLORIZATION OF AZO GROUP DIRECT DYES AND REACTIVE DYES USING SODIUM BOROHYDRIDE)
อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 146 หน้า. ISBN 974-17-5632-1.

งานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดสีไดเรกท์ และรีแอคทีฟหมู่อะโซด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์ (SBH)โดยสีที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, C.I. Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 225 การทดลองขั้นแรกใช้น้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นเติมโซเดียม โบโรไฮไดรด์และโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ ($Na_2S_2O_5$) โดยใช้ปริมาณสารเคมีมากเกินพอ ผลการทดลองพบว่าระยะเวลากวนเร็วที่เหมาะสม คือ 10 30 60 20 40 และ 40 นาทีสำหรับสี C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, C.I. Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 225 ตามลำดับ และความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของสีย้อมทุกสีคือ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร การทดลองขั้นที่สองทำการปรับพีเอชเริ่มต้นของสารละลายเป็นพีเอช 4 8.5 10 และพีเอชของน้ำเสียปกติ จากนั้นแปรปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์เป็น 3 ถึง 20 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริก ผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชที่เหมาะสมของสีย้อมทุกสีคือพีเอชปกติ และปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมคือ 10 10 10 3 5 และ 5 เท่าของค่าสตอยชิโอเมตริกสำหรับสี C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, C.I. Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 225 ตามลำดับ การทดลองขั้นที่สามทำการหาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมโดยแปรค่าเป็น 0.5 ถึง 4 เท่าของโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมโดยงานวิจัยนี้ใช้เกณฑ์ระดับสีที่เหลือในน้ำเป็น 600 เอดีเอ็มไอ ผลการทดลองพบว่าปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมเป็น 2 2 2 4 2 และ 2 เท่าของโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์มีค่าเป็นร้อยละ 94 87 98 93 97 และ 96 สำหรับสี C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, C.I. Reactive Black 5 และ C.I. Reactive Blue 225 ตามลำดับ

การทดลองกำจัดสีรีแอคทีฟ และสีไดเรกท์ในน้ำเสียจริงทำการทดลองโดยแปรค่าปริมาณสารรีดิวซ์เป็น 3 ถึง 50 เท่าของค่าที่ใช้กับน้ำเสียสังเคราะห์ พีเอชเริ่มต้นเป็นพีเอชปกติของน้ำเสีย และใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมจากผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ ผลการทดลองพบว่าปริมาณสารรีดิวซ์ที่เหมาะสมในการกำจัดสีรีแอคทีฟโทนสีแดง และสีไดเรกท์โทนสีดำในน้ำเสียจริงมีค่าสูงกว่าน้ำเสียสังเคราะห์ 10 เท่า และเป็น 50 เท่าของน้ำเสียสังเคราะห์ในการกำจัดสีรีแอคทีฟโทนสีดำ และรีแอคทีฟโทนสีน้ำเงิน

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2547

4589095020 : MAJOR INTER-DEPARTMENTAL ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD : DECOLORIZATION / DIRECT DYES / REACTIVE DYES / SODIUM BOROHYDRIDE / AZO GROUP

NUANJIRA WAROTTAMA : DECOLORIZATION OF AZO GROUP DIRECT DYES AND REACTIVE DYES USING SODIUM BOROHYDRIDE.
THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 146 pp.
ISBN 974-17-5632-1.

This research investigated the decolorization of azo group direct dyes and reactive dyes by using Sodium Borohydride (SBH). This study used C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, C.I. Reactive Black 5 and C.I. Reactive Blue 225. For the first experiment, synthetic dye solutions were prepared by varying at concentration of 50, 70, 90, 150 and 200 mg/l. Then added sodium metabisulphite ($Na_2S_2O_5$) and SBH. Both chemicals were in excess. The results indicated that the optimum times of C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, C.I. Reactive Black 5 and C.I. Reactive Blue 225 were determined to be 10, 30, 60, 20, 40 and 40 minutes, respectively. The optimum initial concentrations of all dye solutions were at 200 mg/l. The second experiment, the initial pH of dye solutions were adjust to pH 4, normal pH, pH 8.5 and pH 10, then varying SBH doses from 3 to 20 times of its stoichiometric. The results indicated that the optimum pH of all dye solutions were at normal pH and optimal SBH doses of C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, C.I. Reactive Black 5 and C.I. Reactive Blue 225 were at 10, 10, 10, 3, 5 and 5 times of its stoichiometric, respectively. The third experiment was to find out the optimum doses of sodium metabisulphite which were varying form 0.5 to 4 times of SBH. The level of residual dyes concentration were set at 600 ADMI during this study. The results indicated that the optimum doses of sodium metabisulphite for C.I. Direct Red 80, C.I. Direct Black 19, C.I. Direct Blue 71, C.I. Reactive Red 198, C.I. Reactive Black 5 and C.I. Reactive Blue 225 were 2, 2, 2, 4, 2 and 2 times of SBH, respectively. In conclusion, the efficiency of decolorization could be respectively identified as 94%, 87%, 98%, 93%, 97% and 96%.

Finally, the decolorization of reactive and direct dyes on actual textile wastewater was also applied by varying the reducing agent from 3 to 50 times of the optimum doses for synthetic wastewater. The experiment was carried out by using the initial pH of dye solutions at normal pH and at the same mixing time used for synthetic wastewater. The results show that the optimum doses used for actual textile wastewater of Reactive Red dyes and Direct Black dye were increased up to 10 times of its dose used for synthetic wastewater. Furthermore, the optimum doses used for Reactive Black dye and Reactive Blue dye were increase up to 50 times of its dose used for synthetic wastewater.

Inter-Departmental Environmental Science Student's signature Nuanjira W.
Field of Study Environmental Science Advisor's signature C. Chawakitchareon
Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ที่กรุณาให้โอกาสในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไข และสนับสนุนในด้านต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน สำหรับข้อคิดเห็น และคำเสนอแนะ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พลกฤษณ์ แสงวณิช ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และคุณพรพิมล ทิพย์ธารา ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง Matrix Assisted Laser Desorption Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry (MALDI-TOF MS) โรงฟอกย้อมที่อนุเคราะห์น้ำเสียเพื่อใช้ในการวิจัย บริษัทคลาเรียนท์เคมิคอลซ (ประเทศไทย) จำกัด และบริษัทไดสตาร์ไทยจำกัด ที่อนุเคราะห์ตัวอย่างสีย้อมเพื่อใช้ในการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความเอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สถานที่ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิจัย

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้รับเงินทุนอุดหนุน ประจำภาคการศึกษาต้น ปีการศึกษา 2546 จากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุนอุดหนุนการศึกษาจากสมาคมราชกรีฑาสโมสร ประจำภาคปลาย ปีการศึกษา 2545 และเงินทุน ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ผู้วิจัยใคร่ขอแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ความดีของวิทยานิพนธ์ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่ให้ความรัก การสนับสนุน ทั้งด้านกำลังทรัพย์ คำปรึกษาและกำลังใจ ขอบคุณสำหรับความช่วยเหลือ กำลังใจ และสิ่งดีๆ ที่มีให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ที่สุด

ท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเป็นอย่างดีทั้งในขณะศึกษาและดำเนินงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญรูป ..... ฐ

สัญลักษณ์และคำย่อ ..... ฒ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 กระบวนการฟอกย้อม 4

2.1.1 การเตรียมผ้าก่อนการย้อม 4

2.1.2 กระบวนการย้อม 5

2.1.3 การตกแต่ง 7

2.2 ลักษณะของน้ำเสียฟอกย้อม 7

2.2.1 แหล่งที่มาของน้ำเสียฟอกย้อม 8

2.2.2 ลักษณะของน้ำเสียจากโรงฟอกย้อม 9

2.2.3 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงฟอกย้อมที่มีต่อสิ่งแวดล้อม 9

2.3 สีย้อม 10

2.3.1 การเกิดสี 10

2.3.2 ประเภทของสีย้อม 13

2.3.3 สีย้อมอะโซ 14

2.3.4 สีย้อมไดเรกท์ 16

2.3.5 สีย้อมรีแอคทีฟ 16

2.3.6 การเห็นสี 17

2.3.7 การเรียกชื่อสีย้อม 18

2.3.8 หน่วยสีเอดีเอ็มไอ 20

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

2.4 เทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสีย 21
2.4.1 วิธีทางเคมี 21
2.4.2 วิธีการทางกายภาพ 23
2.4.3 วิธีทางชีวภาพ 25
2.5 โซเดียม โบโรไฮไดรด์ 25
2.5.1 การใช้งาน 26
2.5.2 การผลิตโซเดียม โบโรไฮไดรด์ 28
2.5.3 การใช้โซเดียม โบโรไฮไดรด์ในการกำจัดสีย้อม 28
2.5.4 ความเหมาะสมในทางปฏิบัติของการใช้โซเดียม
โบโรไฮไดรด์ในกระบวนการกำจัดสี 31
2.6 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 31
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 36
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ 36
3.1.1 เครื่องมือ 36
3.1.2 สารเคมี 36
3.1.3 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 40
3.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 40
3.3 วิธีการทดลอง 41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ 46
4.1 ผลการหาระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยารีดักชั่นโดยสมบูรณ์ของสีย้อมกับโซเดียม
โบโรไฮไดรด์ต่อโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ และความเข้มข้นที่เหมาะสมของสี 46
4.1.1 น้ำเสียสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 46
4.1.2 น้ำเสียสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 70 มิลลิกรัมต่อลิตร 48
4.1.3 น้ำเสียสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 90 มิลลิกรัมต่อลิตร 51
4.1.4 น้ำเสียสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 150 มิลลิกรัมต่อลิตร 54
4.1.5 น้ำเสียสีย้อมที่ความเข้มข้นเริ่มต้น 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 57
4.2 ผลการหาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมและค่าพีเอชในการกำจัดสี
โดยเติมโซเดียม โบโรไฮไดรด์มากเกินพอ 63
4.2.1 ผลการหาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 63
4.2.2 ผลการหาค่าพีเอชที่เหมาะสม 69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

4.3 ผลการหาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม....72
4.4 ผลการทดลองกับน้ำเสียจริง....79
4.5 ผลผลิตที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยารีดักชั่นด้วยเครื่องแมสสเปกโตรเมตริก....82
4.6 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากค่าสารเคมีในการรีดิวซ์....83
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย....86
บทที่ 6 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม....88
รายการอ้างอิง....89
บรรณานุกรม....92
ภาคผนวก....95
ภาคผนวก ก ความปลอดภัยในการใช้โซเดียม โบโรไฮไดรด์....96
ภาคผนวก ข สมการและการคำนวณสตอยชิโอเมตริก....99
ภาคผนวก ค ผลการทดลองหาระยะเวลากวนเร็ว และความเข้มข้นที่เหมาะสม....101
ภาคผนวก ง ผลการทดลองหาพีเอช และปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม....108
ภาคผนวก จ หาปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสม....115
ภาคผนวก ฉ ผลการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจริง....122
ภาคผนวก ช การคำนวณค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการกำจัดสี....124
ภาคผนวก ซ การวิเคราะห์ด้วยเครื่องแมสสเปกโตรเมตริก....127
ภาคผนวก ฌ การวิเคราะห์หาซีโอดีด้วยวิธีรีฟลักซ์ปิด แบบไตเตรชั่น....143
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....146

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยบางประเภทกับประเภทของสีย้อมที่ใช้ 6

2.2 โครโมฟอร์ของสีย้อม 11

2.3 ออกโซโครมของสีย้อม 12

2.4 การแบ่งประเภทของสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี 13

2.5 ประเภทสีย้อมแบ่งตามการใช้งาน 15

2.6 ข้อมูลคัลเลอร์อินเด็กซ์ 20

3.1 ลักษณะของสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง 37

3.2 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง 40

3.3 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาระยะเวลาและ
ความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมของสีย้อม 42

3.4 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์
และค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม 43

3.5 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาการกำจัดสีย้อมน้ำเสียจริง 45

4.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างๆ 62

4.2 เวลากวนเร็วที่เหมาะสมสำหรับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้นต่างๆ 62

4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกท์ด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์ปริมาณต่างๆ 65

4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกท์ด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์ปริมาณต่างๆ 68

4.5 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียต่างๆ กัน 69

4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่ปริมาณต่างๆ 75

4.7 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีในน้ำเสียสังเคราะห์ 77

4.8 สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีในน้ำเสียจริง 84

4.9 ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมให้มีค่าสีคงเหลือต่ำกว่า 600 เอดีเอ็มไอ 84

4.10 ราคาสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดสี 85

4.11 ค่าใช้จ่ายของการใช้สารดูดติดผิวชนิดต่างๆ กำจัดสีในน้ำเสียจริงจากงานวิจัย
ของชนิตา เสมรัตน์เปรียบเทียบกับการใช้โซเดียม โบโรไฮไดรด์ 85

ค.1 ระยะเวลาผสม และความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Direct Red 80 ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 102

ค.2 ระยะเวลาผสม และความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Direct Black 19 ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 103

ตารางที่ หน้า

ค.3 ระยะเวลาผสม และความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Direct Blue 71 ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 104
ค.4 ระยะเวลาผสม และความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Reactive Red 198 ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 105
ค.5 ระยะเวลาผสม และความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Reactive Black 5 ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 106
ค.6 ระยะเวลาผสม และความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Reactive Blue 225 ที่ความเข้มข้น 50 70 90 150 และ 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 107
ง.1 การหาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Direct Red 80 109
ง.2 การหาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Direct Black 19 ...109
ง.3 การหาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Direct Blue 71 110
ง.4 การหาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Reactive Red 198 110
ง. 5 การหาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Reactive Black 5 111
ง.6 การหาปริมาณโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Reactive Blue 225 111
ง.7 พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Direct red 80 112
ง.8 พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Direct Black 19.....112
ง.9 พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Direct Blue71.....113
ง.10 พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Reactive Red 198.....113
ง.11 พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5.....114
ง.12 พีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5.....114
จ.1 ปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Direct Red 80 116
จ.2 ปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี
C.I. Direct Black 19 117

ตารางที่ หน้า

จ.3 ปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Direct Blue 71 118
จ.4 ปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Reactive Red 198 119
จ.5 ปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Reactive Black 5 120
จ.6 ปริมาณโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสี C.I. Reactive Blue 225 121
ฉ.1 ผลการทดลองการกำจัดสีในน้ำเสียจริง....123
ช.1 ปริมาณสารเคมีที่เหมาะสมและค่าใช้จ่ายในการรีดิวซ์สีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริง 125
ช.2 ราคาของสารเคมีที่ใช้ในการรีดิวซ์....126
ช.3 ค่าใช้จ่ายด้านสารเคมี 126
ซ.1 โครงสร้างของสี C.I. Direct Red 80 ที่คาดว่าจะแตกที่ตำแหน่งพันธะอะโซ....129
ซ.2 โครงสร้างของสี C.I. Direct Black 19 ที่คาดว่าจะแตกที่ตำแหน่งพันธะอะโซ....130
ซ.3 โครงสร้างของสี C.I. Direct Blue 71 ที่คาดว่าจะแตกที่ตำแหน่งพันธะอะโซ....131
ซ.4 โครงสร้างของสี C.I. Reactive Red 198 ที่คาดว่าจะแตกที่ตำแหน่งพันธะอะโซ....132
ซ.5 โครงสร้างของสี C.I. Reactive Black 5 ที่คาดว่าจะแตกที่ตำแหน่งพันธะอะโซ....132
ซ.6 โครงสร้างของสี C.I. Reactive Blue 225 ที่คาดว่าจะแตกที่ตำแหน่งพันธะอะโซ....132
ซ.7 โครงสร้างของสารอื่นๆ ที่คาดว่าจะเกิดขึ้น....133
ซ.8 มวลโมเลกุลผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการรีดิวซ์สี C.I. Direct Red 80 139
ซ.9 มวลโมเลกุลผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการรีดิวซ์สี C.I. Direct Black 19 140
ซ.10 มวลโมเลกุลผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการรีดิวซ์สี C.I. Direct Blue 71 140
ซ.11 มวลโมเลกุลผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการรีดิวซ์สี C.I. Reactive Red 198 141
ซ.12 มวลโมเลกุลผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการรีดิวซ์สี C.I. Reactive Black 5 142
ซ.13 มวลโมเลกุลผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากการรีดิวซ์สี C.I. Reactive Blue 225 142

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 สูตรโครงสร้างอย่างง่ายของโซเดียม โบโรไฮไดรด์ 25
2.2 กลไกการรีดิวซ์แอลดีไฮด์ด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์ 26
3.1 โครงสร้างเคมีของสีไดเรกท์ที่ใช้ในการวิจัย 38
3.2 โครงสร้างเคมีของสีรีแอคทีฟที่ใช้ในการวิจัย 39
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ค่าโออาร์พี และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 47
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พี ค่าสีเอดีเอ็มไอ และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 49
4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ค่าโออาร์พี และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 70 มิลลิกรัมต่อลิตร 50
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พี ค่าสีเอดีเอ็มไอ และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 70 มิลลิกรัมต่อลิตร 52
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ค่าโออาร์พี และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 90 มิลลิกรัมต่อลิตร 53
4.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พี ค่าสีเอดีเอ็มไอ และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 90 มิลลิกรัมต่อลิตร 55
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ค่าโออาร์พี และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 150 มิลลิกรัมต่อลิตร 56
4.8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พี ค่าสีเอดีเอ็มไอ และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 150 มิลลิกรัมต่อลิตร 58
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอช ค่าโออาร์พี และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 59
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าโออาร์พี ค่าสีเอดีเอ็มไอ และเวลา
ที่ความเข้มข้นสี 200 มิลลิกรัมต่อลิตร 61
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าสีคงเหลือในหน่วยเอดีเอ็มไอของสีไดเรกท์ 64
4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสีไดเรกท์ด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์ปริมาณต่าง ๆ 65
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าสีคงเหลือในหน่วยเอดีเอ็มไอของสีรีแอคทีฟ 67
4.14 ประสิทธิภาพการกำจัดสีรีแอคทีฟด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์ปริมาณ ต่าง ๆ 68

รูปที่ หน้า

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเวลาของสีไดเรกท์ที่ค่าพีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ 70
4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับเวลาของสีรีแอคทีฟที่ค่าพีเอชเริ่มต้นต่าง ๆ 71
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าสีคงเหลือในหน่วยเอดีเอ็มไอ ของสีไดเรกท์.....73
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับค่าสีคงเหลือในหน่วยเอดีเอ็มไอ ของสีรีแอคทีฟ.....74
4.19 ประสิทธิภาพการกำจัดสีด้วยโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ที่ปริมาณต่าง ๆ.....76
4.20 สีคงเหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์ด้วยโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์
0.5 2 3 และ 4 เท่าของโซเดียม โบโรไฮไดรด์ที่เหมาะสม 78
4.21 ประสิทธิภาพการกำจัดสีในน้ำเสียจริงด้วยโซเดียม โบโรไฮไดรด์.....80
4.22 สีคงเหลือในน้ำเสียจริวก่อนและหลังถูกรีดิวซ์ด้วยโซเดียมเมตะไบซัลไฟต์ 81
ซ.1 แมสสเปกตรัมของสี C.I. Direct Red 80 ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....134
ซ.2 แมสสเปกตรัมของสี C.I. Direct Black 19 ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....134
ซ.3 แมสสเปกตรัมของสี C.I. Direct Blue 71 ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....135
ซ.4 แมสสเปกตรัมของสี C.I. Reactive Red 198 ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....135
ซ.5 แมสสเปกตรัมของสี C.I. Reactive Black 5 ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....136
ซ.6 แมสสเปกตรัมของสี C.I. Reactive Blue 225 ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....136
ซ.7 แมสสเปกตรัมของสี Direct Black ในน้ำเสียจริง ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....137
ซ.8 แมสสเปกตรัมของสี Reactive Red ในน้ำเสียจริง ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....137
ซ.9 แมสสเปกตรัมของสี Reactive Black ในน้ำเสียจริง ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....138
ซ.10 แมสสเปกตรัมของสี Reactive Blue ในน้ำเสียจริง ก่อนและหลังถูกรีดิวซ์.....138

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สัญลักษณ์และคำย่อ

ADMI	=	American Dye Manufacturers Institute
APHA	=	American Public Health Association
C.I. Direct Red 80	=	Colour Index Direct Red 80
C.I. Direct Black 19	=	Colour Index Direct Red 80
C.I. Direct Blue 71	=	Colour Index Direct Black 5
C.I. Reactive Red 198	=	Colour Index Reactive Red 198
C.I. Reactive Black 5	=	Colour Index Reactive Black 5
C.I. Reactive Blue 225	=	Colour Index Reactive Blue 225
DNB	=	1,3-Dinitrobenzene
DNT	=	2,4-Dinitrotoluene
DNBSA	=	2,4-Dinitrobenzene Sulphonic Acid
DNTSA	=	2,4-Dinitrotoluene-3-Sulphonic Acid
FAS	=	Formamidine Sulfinic Acid
GC-MS	=	Gas Chromatography Mass Spectrometric
HPLC	=	High Performance Liquid Chromatography
HPLC-MS	=	High Performance Liquid Chromatography Mass Spectrometric
$Na_2S_2O_5$	=	Sodium Metabisulphite
ORP	=	Oxidation Reduction Potential
PCB	=	Printed Curcuit Bord
SBH	=	Sodium Borohydride

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย