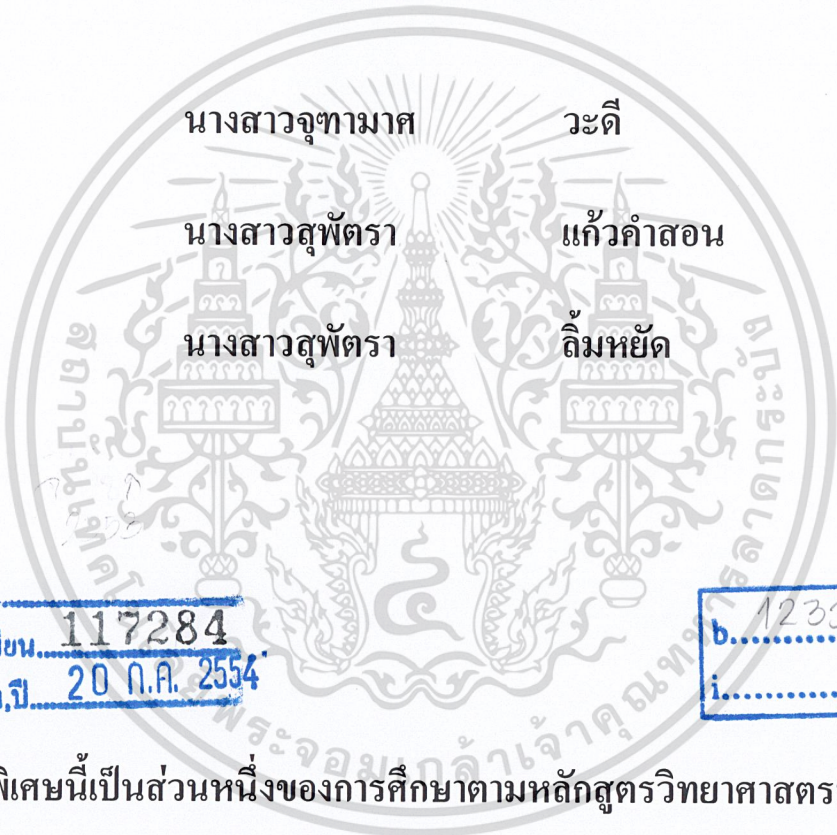


สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสีชนิด Congo Red ในน้ำทิ้งด้วยระบบ

สารละลายผสมของ Cu(II)/Pyridine/H₂O₂



นางสาวจุฑามาศ วรรดิ

นางสาวสุพัตรา แก้วคำสอน

นางสาวสุพัตรา ลิ้มหยัด

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 117284
ในเดือนปี..... 20 ก.ค. 2554

b. 12337778
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาเคมีอุตสาหกรรม - ๑๙๖๖๑๐๑๑๑๑๑

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

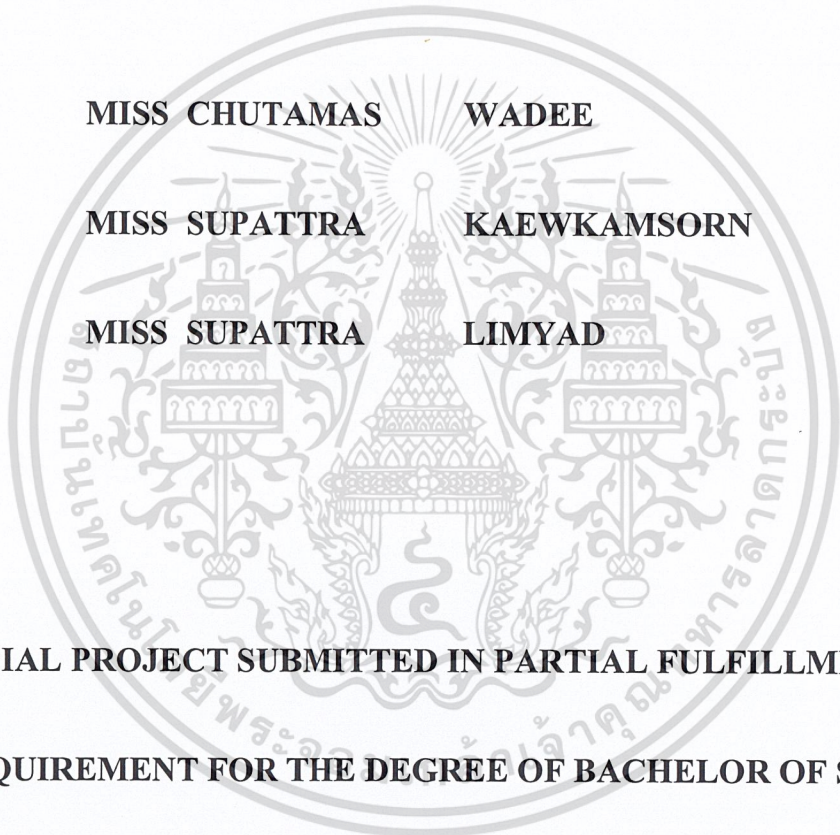
DECOLORIZATION OF CONGO RED IN WASTEWATER

BY Cu (II)/PYRIDINE/H₂O₂ SYSTEM

MISS CHUTAMAS WADEE

MISS SUPATTRA KAEWKAMSORN

MISS SUPATTRA LIMYAD



**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE**

INDUSTRIAL CHEMISTRY-ANALYTICAL INSTRUMENT

FACULTY OF SCIENCE

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF THE TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADAMIC YEAR 2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ การกำจัดสีชนิด Congo Red ในน้ำทิ้งด้วยระบบสารละลายผสมของ
Cu(II)/Pyridine/H₂O₂

นักศึกษา	นางสาวจุฑามาศ	วุฒิ	รหัสนักศึกษา 50050662
	นางสาวสุพัตรา	แก้วคำสอน	รหัสนักศึกษา 50050670
	นางสาวสุพัตรา	ลิ้มหยัด	รหัสนักศึกษา 50050671

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต

สาขา เคมีอุตสาหกรรม-เครื่องมือวิเคราะห์

ปีการศึกษา 2553

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดสีชนิดคองโกเรดในน้ำทิ้งสังเคราะห์ ด้วยระบบคอปเปอร์(II)/ไพรีดีน/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยไพรีดีนจะเกิดสารเชิงซ้อนกับคอปเปอร์ (II) แล้วเข้าทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดเป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คอมเพล็กซ์ ซึ่งจะเข้าทำปฏิกิริยาออกซิเดชันกับสีย้อมคองโกเรด ตัวแปรของปฏิกิริยาที่ทำการศึกษาได้แก่ pH ของสารละลายคองโกเรด ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นของไพรีดีน ความเข้มข้นของคอปเปอร์ (II) และเวลาของปฏิกิริยา จากการทดลองพบว่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมคือ pH 9 ซึ่งมีสถานะเป็นเบส เนื่องจากไพรีดีนเป็นลิแกนด์ที่มีความเป็นเบสอ่อน หากอยู่ในสภาวะกรด อาจทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์และไพรีดีนลดลง ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมคือ 0.167 โมลาร์ โดยกำจัดสีย้อมได้ร้อยละ 95.94 ความเข้มข้นของไพรีดีนที่เหมาะสมคือ 0.103 โมลาร์ โดยร้อยละการกำจัดสีย้อมเท่ากับ 95.75 ความเข้มข้นของคอปเปอร์ (II) ที่เหมาะสมคือ 0.208 โมลาร์ โดยร้อยละการกำจัดสีย้อมเท่ากับ 96.78 และความเข้มข้นของสีย้อมจะลดลงเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น โดยร้อยละของการกำจัดสีย้อมจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Decolorization of Congo Red Dye in Wastewater by Cu(II)/pyridine/H₂O₂ System

Name Miss Chutamas Wadee ID 50050662

Miss Supattra Kaewkamsorn ID 50050670

Miss Supattra Limyad ID 50050671

Degree Bachelor of Science

Program Industrial Chemistry-Analytical Instrumentation

Academic Year 2010

Advisor Dr.Amnat Permsubscul

Abstract

This research studied the decolorization of Congo red dye in wastewater by Cu(II)/pyridine/H₂O₂ system. Pyridine reacted with copper(II) become copper(II)-pyridine complex then, hydrogen peroxide was attached with copper(II)-pyridine complex generated hydrogenperoxo complex that reacted with Congo red dye by oxidation reaction. The variable was investigated in this work were pH of dye solution, concentration of hydrogen peroxide, concentration of pyridine, concentration of Cu(II), and reaction time.

From the experiment found that decolorization of Congo red dye is the best at pH 9 because pyridine was the weak base ligand, the copper(II)-pyridine complex was decrease with the acidity of the solution. The optimum concentration of Congo red removal of 95.75 %), concentration of copper(II) at 0.208 M (congo red removal of 96.78 %). In addition, the percentage removal of Congo red dye increase when reaction time increase.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ ดร.อำนาจ เพิ่มทรัพย์สกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษเป็นอย่างสูงที่ให้คำแนะนำปรึกษา และช่วยเหลือในการทำโครงการพิเศษนี้ทำให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณ ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เวียงคำ และ ผศ.ดร.พัชนี เจริญยิ่ง ที่กรุณาเป็นกรรมการตลอดจนให้คำแนะนำโครงการพิเศษนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ที่คอยให้แรงกระตุ้นและกำลังใจ พร้อมข้อเสนอแนะดีๆ จนทำให้โครงการพิเศษนี้ประสบความสำเร็จอย่างงดงาม

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ที่ให้ทุกสิ่งอย่างต่อคณะผู้จัดทำ จนประสบความสำเร็จในการศึกษา

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่งไว้ ณ ที่นี้ด้วย

นางสาวจุฑามาศ วัะดี

นางสาวสุพัตรา แก้วคำสอน

นางสาวสุพัตรา ลิ้มหยัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 สีย้อม	4
2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม	4
2.1.2 การแบ่งประเภทสีย้อม	4
2.1.3 อันตรายที่อาจเกิดจากสีย้อม	13
2.2 การกำจัดสีย้อมออกจากน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ	13
2.2.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)	13
2.2.2 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)	14
2.2.3 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.4 การออกซิไดส์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)	14
2.2.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane Technology)	15
2.2.6 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)	15
2.2.7 เทคโนโลยีใหม่ (New Technology)	16
2.3 สารเคมีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ	16
2.3.1 ขั้นตอนการผลิตเส้นใย	17
2.3.2 ขั้นตอนการผลิตเส้นด้าย	17
2.3.3 ขั้นตอนการผลิตผ้าผืน	18
2.3.4 ขั้นตอนการเตรียมผ้า	18
2.4 สารประกอบโคออร์ดิเนชัน	19
2.4.1 ลิแกนด์และชนิดของลิแกนด์	19
2.4.2 เลขโคออดิเนชัน และรูปทรงทางเรขาคณิต	24
2.5 ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)	26
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	28
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง	30
3.1 สารเคมี	30
3.2 อุปกรณ์	30
3.3 วิธีการทดลอง	31
3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสี Congo red	31
3.3.2 ปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อมด้วย Cu(II)/Pyridine/H ₂ O ₂	32
ตอนที่ 1 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้นที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Congo red ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งทั้ง 33 การนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ตอนที่ 3 ผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	34
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง	35
4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายสีย้อม Congo red	35
4.2 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	37
4.2.1 ผลของ pH ของสารละลายสีย้อม Congo red	37
4.2.2 ผลของความเข้มข้นของ H ₂ O ₂ ที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	41
4.2.3 ผลของความเข้มข้นของ Pyridine ที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	42
4.2.4 ผลของความเข้มข้นของ Cu(II) ที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	44
4.2.5 ผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดสี Congo red	46
4.3 ผลจากการวัด FTIR	49
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	51
5.1 สรุปผลการทดลอง	51
5.2 ข้อเสนอแนะ	52
เอกสารอ้างอิง	53
ภาคผนวก	55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างลิแกนด์สามัญ	23
ตารางที่ 3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Congo red	31
ตารางที่ 3.2 การหา pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี Congo red ด้วย Cu(II)/Pyridine/H ₂ O ₂	32
ตารางที่ 3.3 การศึกษา H ₂ O ₂ , Cu(II) และ Pyridine ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	33
ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานสีย้อม Congo red	35
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี Congo red ด้วย Cu(II)/Pyridine/H ₂ O ₂	37
ตารางที่ 4.3 ผลของความเข้มข้น H ₂ O ₂ ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	41
ตารางที่ 4.4 ผลของความเข้มข้น ไพริดีนที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	43
ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นคอปเปอร์(II) ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Congo red	45
ตารางที่ 4.6 แสดงผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสี Congo red	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดง โครงสร้างของลิโคเร็กซ์ที่แตกต่างกัน	5
รูปที่ 2.2 แสดง โครงสร้างของลิรีแอกทีฟ	7
รูปที่ 2.3 แสดง โครงสร้างของลิแอซิด	8
รูปที่ 2.4 แสดง โครงสร้างของลิเบสิกชนิดต่างๆ	9
รูปที่ 2.5 แสดง โครงสร้างของลิคิสเพอร์ส	10
รูปที่ 2.6 แสดง โครงสร้างของลิอะโซอิก	11
รูปที่ 2.7 แสดง โครงสร้างของลิวัต	11
รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างของลิแอลเซียมบลู	12
รูปที่ 2.9 สูตร โครงสร้างของ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$	20
รูปที่ 2.10 สูตร โครงสร้างของ $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$	21
รูปที่ 2.11 สูตร โครงสร้างของ EDTA	21
รูปที่ 2.12 สารเชิงซ้อนระหว่าง Co^{3+} กับ EDTA	22
รูปที่ 2.13 โครงสร้างของฮีม	22
รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสารประกอบ HgI_2	24
รูปที่ 2.15 โครงสร้างทรงสี่หน้า และ โครงสร้างระนาบสี่เหลี่ยม	25
รูปที่ 2.16 โครงสร้างแบบพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม และพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม	25
รูปที่ 2.17 โครงสร้างแบบทรงแปดหน้า (Octahedron)	26
รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสีย้อม Congo red (mg/L) และค่าการดูดกลืน	36
รูปที่ 4.2 ผลของ pH สารละลายสีย้อมที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อม Congo red	38
รูปที่ 4.3 ผลของ pH สารละลายสีย้อมที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม	38
รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้น H_2O_2 ที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อม Congo red	41
รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้น H_2O_2 ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม	42

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้น Pyridine ที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อม Congo red	43
รูปที่ 4.7 ผลของความเข้มข้น Pyridine ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม	44
รูปที่ 4.8 ผลของความเข้มข้น Cu(II) ที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อม Congo red	45
รูปที่ 4.9 ผลของความเข้มข้น Cu(II) ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม	46
รูปที่ 4.10 ผลของเวลาที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อม Congo red	47
รูปที่ 4.9 ผลของเวลาที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม	48
รูปที่ 4.12 ผลจาก FTIR ของสีย้อม Congo red	49
รูปที่ 4.13 ผลจาก FTIR ของการกำจัดสีย้อม Congo red	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมสิ่งทอไทย (textile industry) ได้ขยายตัวขึ้นเป็นอย่างมาก ซึ่งพบว่าในปี 2549 มีรายได้การส่งออกจากอุตสาหกรรมสิ่งทอกว่า 268,000 ล้านบาท มีโรงงานกว่า 4,400 โรงงาน [1] จากงานวิจัย [2] คาดว่าร้อยละ 10 ของสีที่ใช้จะถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงประมาณจากกำลังการผลิตได้ว่าจะมีการใช้สีย้อมผ้าประมาณ 2 แสนตันต่อการผลิต ในหนึ่งปีจะมีสีกว่า 2 หมื่นตันที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติของไทย นอกจากนี้ยังมีสารเคมีอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดน้ำเสียในปริมาณมากจากกระบวนการผลิต เช่น โซดาไฟ(NaOH) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) โซเดียมคลอไรด์ ($NaCl$) mineral oil sizing (sizing agent) Alcohol ethoxylates (AEOs) และ Alkyl phenol ethoxylates (APEOs) เป็นต้น ลักษณะของน้ำเสียที่เกิดขึ้นคือ มีค่าบีโอดีสูง สีเข้ม มีสารแขวนลอยและค่าความเป็นกรด-ด่างมาก หลักในการบำบัดน้ำเสียสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ การบำบัดเบื้องต้น เป็นการลดค่าบีโอดีของน้ำเสียที่จะเกิดขึ้น โดยควบคุมกระบวนการผลิตอย่างใกล้ชิด การใช้สารเคมีทดแทนหรือการนำสารเคมีที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ และมีการจัดการภายในโรงงานที่ดี ส่วนที่สองคือการลดค่าบีโอดีของน้ำเสียโดยใช้วิธีตกตะกอนด้วยสารเคมี เช่น Alum และ แคลเซียมคลอไรด์ ซึ่งสารเคมีบางชนิดจะช่วยในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างและการตกตะกอนด้วยวิธีชีวภาพโดยอาศัยจุลินทรีย์ซึ่งนิยมใช้ระบบแอกทิเวเตดสลัดจ์ (Activated Sludge) เป็นระบบที่มีการเติมอากาศซึ่งจะต้องมีการควบคุมสภาวะแวดล้อมและลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ให้เหมาะสมแก่การทำงานและการเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด เนื่องจากน้ำเสียที่มาจากสีย้อมส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในบริเวณที่ปนเปื้อนโดยตรงอีกทั้งยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ซึ่งมีผลต่อระบบฮอร์โมน และเป็นสารก่อมะเร็ง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่ต้องกำจัดสีย้อมก่อนปล่อยน้ำทิ้งสู่สิ่งแวดล้อม

สีเอโซ เป็นสีย้อมที่มีกรรมวิธีในการสังเคราะห์ค่อนข้างง่าย ให้สีที่เข้ม แม้ใช้ปริมาณสีที่น้อย แต่สีชนิดนี้มักจะสลายตัวตามธรรมชาติได้ยาก เนื่องจากมีโครงสร้างสีที่ซับซ้อนมีองค์ประกอบที่หลากหลายชนิด เมื่อตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมก็จะเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้ การย่อยสลายทางชีวภาพของสีย้อมชนิดต่างๆ ได้ถูกทำการศึกษาทั้งในสภาวะมีออกซิเจนและปราศจากออกซิเจน[2,3] แต่ผลการวิจัยพบว่าการสลายตัวทางชีวภาพของสีย้อมมีอัตราที่ต่ำมาก และต้องใช้เวลาในการสลายตัว สำหรับกระบวนการกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ เช่น การตกตะกอน การดูดซับ การสลายตัวด้วยไฟฟ้าเคมี และการสลายตัวด้วยการออกซิเดชัน มีข้อจำกัดในเรื่องค่าใช้จ่ายในการบำบัดที่สูง [4]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ต่อมาได้มีความสนใจที่จะพัฒนาสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชันและลิแกนด์ ในการทำปฏิกิริยาการสลายตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อให้เกิดรีแอกทีฟออกซิเจนแรดิคัล (reactive oxygen radical) เช่น ไฮดรอกซิลแรดิคัล (hydroxyl radical) ซึ่งจะเป็นตัวออกซิไดส์สีย้อมต่อไป มีวิธีการที่พัฒนาขึ้นเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาการสร้างไฮดรอกซิลแรดิคัลหลายวิธีเช่น การใช้โอโซนร่วมกับรังสียูวี (O_3/UV) การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับรังสียูวี (H_2O_2/UV) การใช้ไทเทเนียมออกไซด์ในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (TiO_2 -photocatalysis) และการใช้ไอร์ออน (III) ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ภายใต้สถานะที่มีแสงสว่าง (Photo-Fe(III)/ H_2O_2) [5-7] วิธีการเหล่านี้สามารถออกซิเดชันสารอินทรีย์หลายชนิดอย่างไม่เฉพาะเจาะจง แต่อย่างไรก็ตามได้มีรายงานว่า สีย้อมบางชนิดเกิดการสลายตัวได้เพียงบางส่วนเมื่อใช้กระบวนการกำจัดดั่งที่ได้กล่าวมา

โครงการพิเศษนี้ศึกษาการกำจัดสีย้อมชนิด congo red โดยกระบวนการ $Cu(II)/pyridine/H_2O_2$ ซึ่งเป็นการใช้สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะทรานซิชันและลิแกนด์ ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้ $Cu(II)$ เป็นโลหะทรานซิชันและไพริดีน (pyridine) เป็นลิแกนด์ โดยปัจจัยที่ทำการศึกษาได้แก่ pH ของสารละลายสีย้อม ผลของความเข้มข้นของ $Cu(II)$ ไพริดีน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และระยะเวลาของปฏิกิริยาที่มีผลต่อการลดลงของสีย้อม รวมทั้งหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อมชนิด congo red ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษากระบวนการในการกำจัดสีย้อมชนิด Congo red ด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันในระบบ $Cu(II)/pyridine/H_2O_2$
2. ผลของตัวแปรต่างๆที่มีผลกระทบต่อผลการกำจัดสีย้อม ได้แก่ ความเข้มข้นของสีย้อมชนิด Congo Red ความเข้มข้นของคอปเปอร์ (II) ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ปริมาณของไพริดีน pH ของน้ำทิ้ง และเวลาของปฏิกิริยา

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่อผลการกำจัดสีย้อมชนิด Congo red ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่

- ค่า pH ศึกษาที่ 1, 3, 5, 7, 9 และ 11

เอกสารนี้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ศึกษาที่ 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.5 M โดยขั้นตอนการคำนวณว่าค่าการลดลงของสีย้อม

- ปริมาณของไพริดีน ศึกษาที่ 0.5, 1, 2, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

- ความเข้มข้นของคอปเปอร์ (II) ศึกษาที่ 0.25, 0.1, 0.5, 1 และ 5 mM
 - เวลาของปฏิกิริยา ศึกษาที่ 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที
2. ตรวจวัดความเข้มสีของสีข้อมด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 468 nm

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงตัวแปรที่มีผลกระทบต่อการทำงานของสีย้อม Congo red ด้วยกระบวนการ Cu(II)/pyridine/H₂O₂ และสถานะของการกำจัดที่เหมาะสม
2. เพื่อนำกระบวนการ Cu(II)/pyridine/H₂O₂ ไปใช้เป็นแนวทางในการกำจัดสีข้อมในน้ำเสียที่มาจากรองานอุตสาหกรรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 สีย้อม

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของสีย้อม

สีย้อม (Dyestuff) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะผลึกหรือผงละเอียด ที่สร้างมาเพื่อดูดซึม หรือดูดซับแสงโดยการทำให้อยู่บนหรือในผิวหน้าของวัตถุ แล้วเกิดการแพร่แทรกซึมเข้าสู่ภายใน โครงสร้างของวัตถุ เพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมาสีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปใน โมเลกุลของเส้นใย โดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้นมีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ซึ่งสายตาสถาสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาสถาออกมาต่างกันไป ซึ่งความคงทนจะต่างกันออกไปตามแต่ละประเภท และการยึดเกาะของสีประเภทนั้นๆ

2.1.2 การแบ่งประเภทสีย้อม

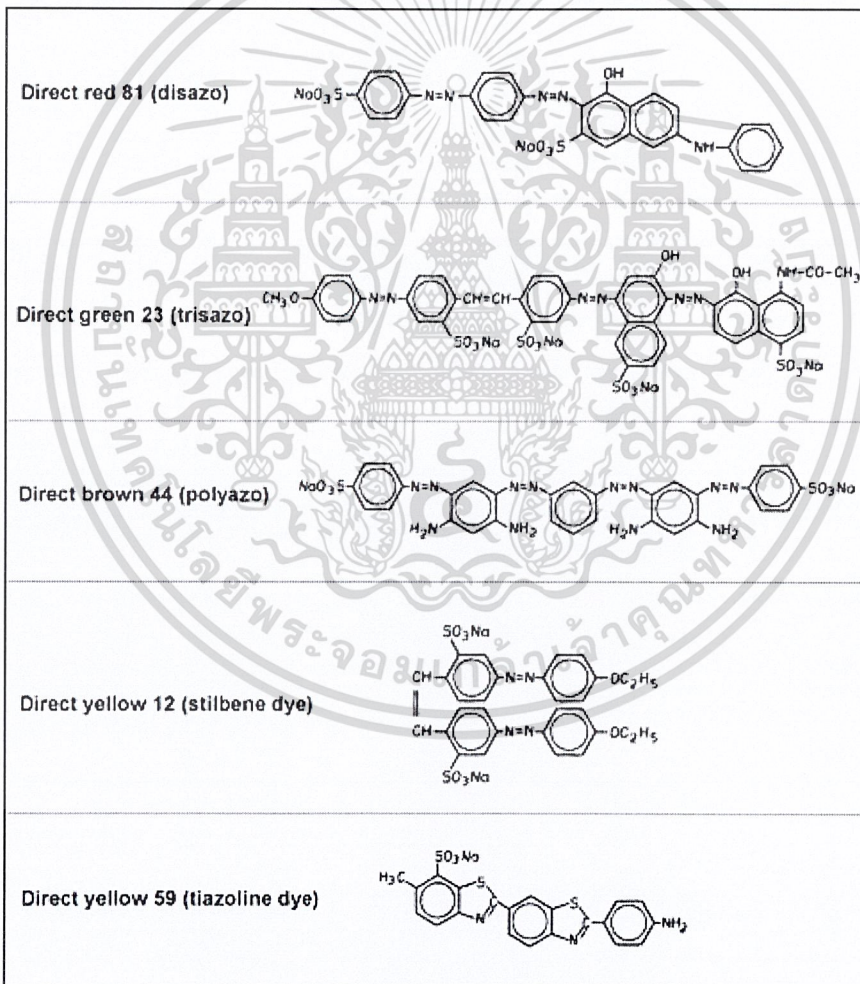
โดยทั่วไปแล้วสีย้อมจะต้องมีระบบพันธะพาย (pi-bond system) และหมู่แทนที่ที่แสดงความเป็นขั้ว (Polar substituent) ที่ทำให้ตัวสีสามารถจะละลายได้ซึ่งการละลายนี้จะทำให้สีย้อมสามารถที่จะแทรกซึมได้ เนื่องจากการละลายจะสามารถทำให้สีแยกตัวออกจากกัน ทำให้เข้าสู่โพรงของเส้นใยได้ ในทางอุณหพลศาสตร์ สีย้อมต้องการสีที่มีขนาดโมเลกุลเล็กและสามารถละลายได้ดีในตัวกลางเพื่อความสะดวกและง่ายต่อการย้อม ในขณะที่ต้องการสีที่มีขนาดโมเลกุลใหญ่และไม่ละลายในตัวกลางใดๆเมื่อเข้าไปอยู่ในเส้นใยแล้วเพื่อความคงทนที่สูง ในระบบของเคมีเชิงฟิสิกส์นั้นสามารถที่จะแบ่งชนิดของสีย้อมตามหมู่ช่วยละลายของสีย้อม (Solubilising group) และไม่แบ่งละเอียดดังเช่นวิชาที่ศึกษาเกี่ยวกับการย้อมด้านอื่นๆ สาเหตุที่แบ่งอย่างนี้เนื่องจากว่าระบบการศึกษาของเคมีเชิงฟิสิกส์นั้นจะพิจารณาค่าการละลายและความเป็นอยู่ของสีย้อมในตัวกลางและเส้นใยเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถที่จะแบ่งออกได้เป็น

1. สีที่มีหมู่ช่วยละลายถาวร (Permanent solubilising group) กลุ่มนี้นั้นจะมีหมู่ช่วยละลายที่เกาะอยู่บนโครงสร้างสีอย่างถาวร แม้ว่าจะมีการผ่านกระบวนการใดๆ หมู่ช่วยละลายก็ยังคงอยู่บนโครงสร้างสี หรือแม้กระทั่งสีที่เกาะบนผ้าแล้วก็ยังสามารถแบ่งได้เป็น

แม้กระทั่งสีที่เกาะบนผ้าแล้วก็ยังสามารถแบ่งได้เป็น

1.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ (Anionic group) ได้แก่ หมู่ซัลโฟเนต (Sulphonate) หมู่คาร์บอกซิลเลต (Carboxylate) ฯลฯ ในกลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำออกมามักจะแตกตัวออกมาให้เป็นอไอออนลบของตัวสีในน้ำ กลุ่มนี้จะละลายตัวได้ดีในสภาวะเบส เนื่องจากค่า ของสารละลายนั้นจะมีค่าสูงกว่าค่า ทำให้สีกลุ่มนี้เกิดการแตกตัวได้ดียิ่งขึ้น หมู่ซัลโฟเนตนั้นจะให้ความเป็นกรดที่แก่กว่าหมู่คาร์บอกซิลเลต ดังนั้นค่า ของตัวสีที่มีหมู่ซัลโฟเนตนั้นก็สามารที่จะแตกตัวได้ดี ที่ต่ำกว่า ยังผลทำให้ความสามารถในการทนสภาวะกรดได้สูงกว่าด้วย ตัวอย่างของสีในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีไคเร็กซ์ สีแอซิด ฯลฯ

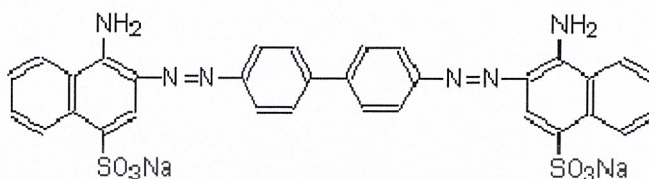
- สีไคเร็กซ์ (direct dye)หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบ อะโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใย เซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่าง โมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ ตกง่าย ทนแสง



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างของสีไคเร็กซ์สีต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีไดเร็กซ์ตัวแรกชื่อว่า **คองโก เรด (Congo Red)** ในปี ค.ศ. 1884 (พ.ศ. 2427) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในโลก สำหรับชื่อสีไดเร็กซ์นั้น ได้มาจากเป็นสีที่สามารถย้อมได้โดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลส สีไดเร็กซ์จัดเป็นสีที่มีประจุลบเนื่องจากหมู่ซัลโฟเนตที่เกาะติดอยู่กับสีเมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุลบ โครงสร้างของสี Congo red แสดงได้ดังนี้



sodium 3,3'-(1E,1'E)-biphenyl-4,4'-diylbis(diazene-2,1-diyl)bis(4-aminonaphthalene-1-sulfonate)

สีไดเร็กซ์เป็นสีที่มีขนาด โมเลกุลใหญ่ แบนราบในแนวระนาบ สามารถละลายน้ำได้ดี เนื่องจากมีหมู่ซัลโฟเนตเกาะติดอยู่กับตัวสี สีไดเร็กซ์สามารถย้อมบนเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เรยอน ลินิน ปอ ป่าน เป็นต้น ประเภทของสีไดเร็กซ์

1. กลุ่ม A “Self Leveling Dye”

กลุ่มเอ (Class A) ที่เรียกว่า Self-levelling หรือ สีประเภทย้อมสม่ำเสมอด้วยตัวเอง ดังนั้นสีกลุ่มนี้จะมีการเคลื่อนตัวสูง เพราะว่ามีขนาดโมเลกุลเล็กกว่ากลุ่มอื่นๆ สีในกลุ่มนี้ เป็นสีที่ย้อมง่ายสุด เพราะมีขนาดโมเลกุลเล็ก แต่มีต้นทุนที่สูงเพราะมีกระบวนการผลิตยาก จึงไม่นิยมนำใช้งาน ในกระบวนการย้อมไม่ต้องใช้ด่าง สีสามารถปรับความสม่ำเสมอด้วยตัวเองได้ เนื่องจาก โมเลกุลขนาดเล็ก แต่ต้องใช้เวลาในการย้อมเพื่อให้เกิดการปรับความสม่ำเสมอ

2. กลุ่ม B “Salt Controllable Dye”

กลุ่มบี (Class B) ที่เรียกว่า Salt-controllable หรือ สีประเภทย้อมสม่ำเสมอด้วยการควบคุมเกลือ ซึ่งเป็นสีที่ต้องควบคุมด้วยการเติมเกลือเพื่อให้เกิดการย้อมที่สม่ำเสมอ ซึ่งมีขนาดโมเลกุลปานกลาง สีในกลุ่มนี้ นิยมและมีการใช้งานมากที่สุด มีการเติมเกลือเพื่อใช้ควบคุมความสม่ำเสมอ

3. กลุ่ม C “Temperature Controllable Dye”

กลุ่มซี (Class C) ที่เรียกว่า Temperature-controllable หรือ สีประเภทย้อมสม่ำเสมอด้วยการควบคุมอุณหภูมิ เป็นสีที่การควบคุมทั้งเกลือและอุณหภูมิ ควบคู่กัน เพื่อให้เกิดการย้อมที่สม่ำเสมอ ซึ่งสีในกลุ่มนี้จะมีขนาดโมเลกุลใหญ่กว่ากลุ่มเอและกลุ่มบี สีในกลุ่มนี้มีการใช้งานปานกลาง ต้องใช้มีการควบคุมทั้งปริมาณเกลือและอุณหภูมิในการย้อม

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

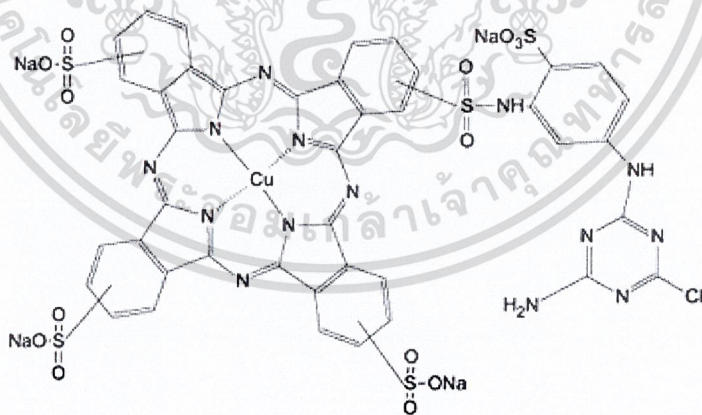
ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสีไครเร็กซ์ที่ดี

1. โครงสร้างยาวและเป็นเส้นตรง
2. โครงสร้างที่มีวงแหวนเบนซีนต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน
3. โครงสร้างต้องมีกลุ่มเคมีที่สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนได้
4. กลุ่มเคมีที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนในโครงสร้างควรอยู่ห่างกันประมาณ 10.8 Å
5. กลุ่มเคมีที่จะเกิดพันธะไฮโดรเจนควรจะอยู่คนละด้านกับกลุ่มเคมีที่ช่วยในการละลายน้ำ

สมบัติการใช้งานของสีย้อม

มีความคงทนของสีต่อแสงดี และอาจมีความคงทนของสีต่อการซักล้างต่ำ ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส เช่น ฝ้าย เรยอน ลินิน เป็นต้น

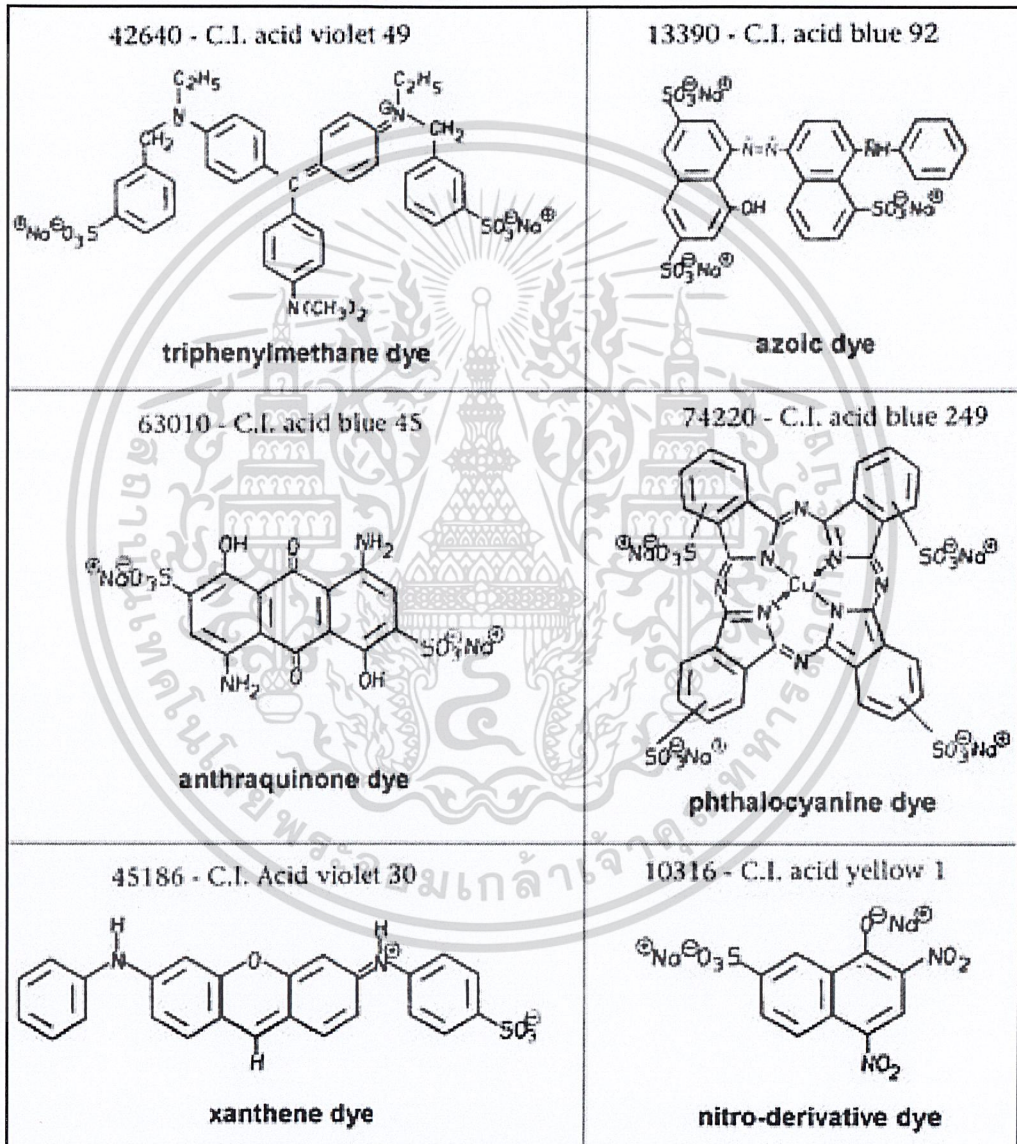
- สีรีแอคทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ (OH) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่างกลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอคทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 °C และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอคทีฟให้สีที่สดใส ทุกสัติดทนในทุกสภาวะ



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างของสีรีแอคทีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สีเอซิด (Acid dye) สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอซิดบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน โยขนแกะ ไหม และอะคริลิกได้ดี วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอซิดไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

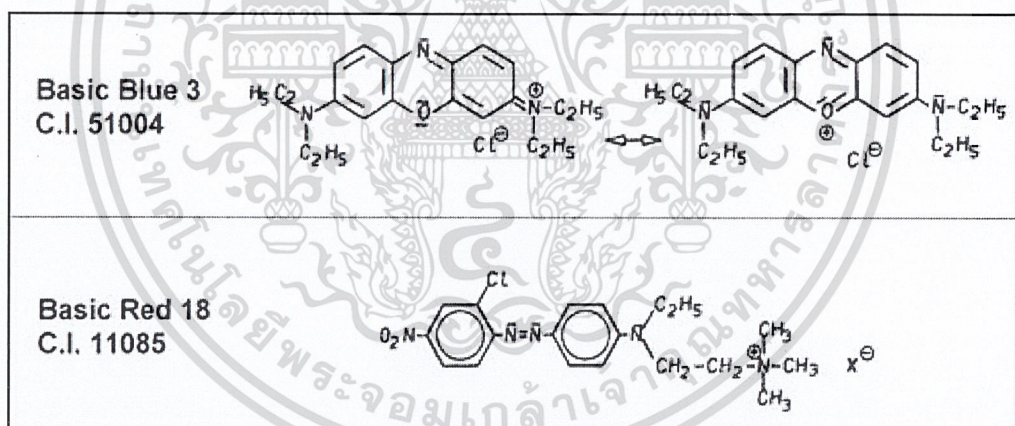


รูปที่ 2.3 แสดงโครงสร้างของสีเอซิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก (Cationic group) ได้แก่ หมู่เอมีนชนิดทุติยภูมิ (2°amine) หมู่เอมีนชนิดตติยภูมิ (3°amine) กลุ่มนี้เมื่อละลายน้ำจะเกิดการดึงโปรตอนจากโมเลกุลของน้ำเนื่องจากอิเล็คตรอนคู่อิสระของอะตอมของไนโตรเจนในหมู่เอมีนทำให้สีกลุ่มนี้สามารถละลายได้ดีในสภาวะที่เป็นกรดเพราะว่ามีโปรตอนในระบบมาก ซึ่งหมู่อัลคิลที่เกาะอยู่กับอะตอมของไนโตรเจนยิ่งมากเท่าไร ก็จะทำให้อิเล็คตรอนคู่อิสระของไนโตรเจนมีความหนาแน่นยิ่งขึ้น ก็จะทำให้ความสามารถในการดึงโปรตอนจากน้ำได้ดียิ่งขึ้นทำให้ความเป็นเบสสูงขึ้นทำให้ตัวสีที่มีค่า ต่ำกว่าและสามารถที่จะทนได้สูงขึ้น ตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ ได้แก่ สีเบสิก เนื่องจากว่าค่า pH ของสารละลายจะมีผลต่อการแสดงประจุของสีนั้น ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแตกตัวออกมา จะเห็นได้ว่าการละลายของสีในกลุ่มนี้จะเป็นกลไกการละลายด้วยการทำลายพันธะ ดังนั้นให้การความร้อนเข้าสู่ระบบก็จะทำให้สีนั้นสามารถละลายน้ำได้ดีขึ้น

-สีเบสิก (Basic or cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและใยอะคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนการซักและแสง

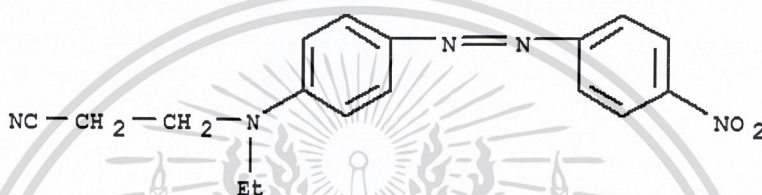


รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างของสีเบสิกชนิดต่างๆ

1.3 หมู่ที่ไม่แสดงประจุ (Non-ionic group) ในกลุ่มนี้จะแตกต่างจาก 2 กลุ่มแรกซึ่งเป็นสีมีความว่องไวต่อค่า pH ของสารละลายมากกว่า ในขณะที่สีกลุ่มนี้จะว่องไวต่ออุณหภูมิของสารละลายมากกว่า เนื่องจากสีกลุ่มนี้ไม่มีหมู่ที่แสดงประจุใดๆบนโครงสร้าง แต่จะมีหมู่ที่สามารถสร้างพันธะไฮโดรเจนกับน้ำได้ ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซี (Hydroxy) หมู่เอมีนปฐมภูมิ (1°Amine) หมู่ซัลโฟนามิด์ (Sulphonamide) หมู่อีเธอร์ (Ether) และเมื่อให้พลังงานความร้อนเข้าไปก็จะทำให้พลังงานพันธะระหว่างสีย้อมและน้ำถูกทำลายลงไปด้วย ส่งผลทำให้ความสามารถในการละลายน้ำลดลงด้วย ในกลุ่มนี้ ได้แก่ สีดิสเพอร์ส ฯลฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-สีคิตเพอร์ส (Disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตต เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (Carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิและความดันสูง สีคิตเพอร์สเป็นสีที่ทนแสงและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกคว้นหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรสออกไซด์ สีคิตเพอร์สแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากหมู่เคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมอะโซ (Azo dyes) และสีย้อมแอมมิโน แอนทราควิโนน (Amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทรานอลามีน (Ethanalamine; $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน



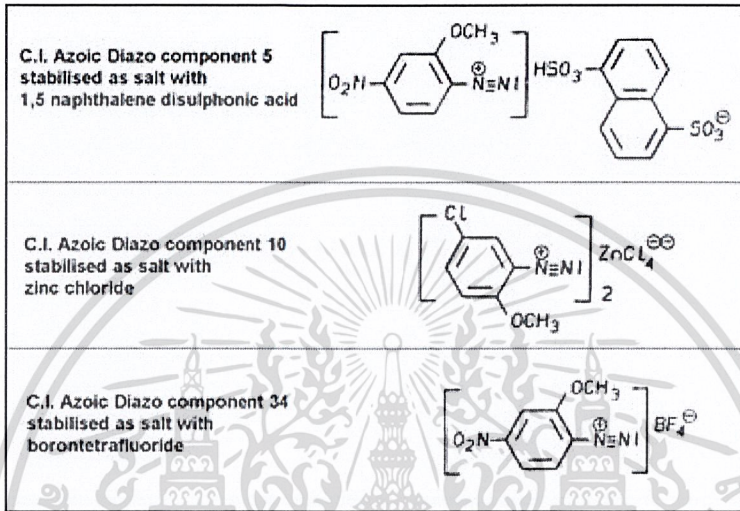
รูปที่ 2.5 แสดง โครงสร้างของสีคิตเพอร์ส

2. สีที่มีหมู่ช่วยละลายชั่วคราว (Temporary solubilising group) กลุ่มนี้มักจะมีหมู่ฟังก์ชันอื่นๆ ที่สามารถทำปฏิกิริยาระหว่างย้อมสีแล้วกลายเป็นหมู่ที่ละลายน้ำ หรือ ไม่ก็เป็นหมู่ที่มีมากับตัวสีย้อมเองอยู่แล้ว แต่เมื่อนำมามาย้อมบนผ้าแล้ว หมู่เหล่านี้จะถูกทำให้กลายเป็นหมู่ที่ไม่ละลายน้ำเหมือนเดิม หรือ ไม่ก็ถูกเปลี่ยนรูปใหม่ให้ไม่สามารถละลายน้ำได้ ทำให้สีกลุ่มนี้จะมีความคงทนต่อการเปียกสูง สามารถแบ่งได้เป็น

2.1 หมู่ที่แสดงประจุลบ ได้แก่ หมู่ฟีนอกไซด์ (Phenoxide) หมู่ซัลเฟต (Sulphate) กลุ่มนี้ก็เช่นเดียวกับหมู่ประจุลบที่ถาวรในแง่ของความสามารถละลายได้ในสภาวะเบสโดยเฉพาะอย่างยิ่งหมู่ฟีนอกไซด์ที่สามารถละลายได้ในเบสแก่ เช่น สารละลายของโซเดียมไฮดรอกไซด์เท่านั้น ตัวอย่างของสีที่ใช้หมู่ฟีนอกไซด์เป็นหมู่ช่วยละลายขณะย้อมได้แก่ สีวัต สีอะโซอิก ฯลฯ ในขณะที่หมู่ซัลเฟตนั้นมีความเป็นกรดที่สูงกว่าจึงสามารถละลายในสภาวะที่เป็นเบสอ่อนกว่าฟีนอกไซด์ โดยที่สามารถละลายได้ในสภาวะที่เป็นกลางได้ สีในกลุ่มนี้ได้แก่ สีโซลูบิไลซ์วัต (Solubilised vat dyes)

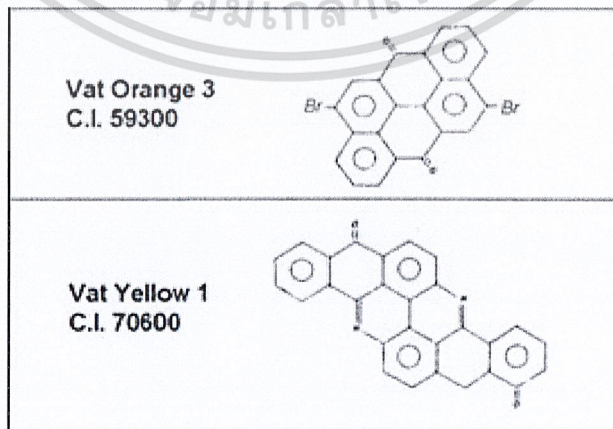
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-สีอะโซอิก (Azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (Coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนท์ซึ่งจะเกิดเป็นสีได้ สีอะโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตต สีอะโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขจัดด่าง



รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างของสีอะโซอิก

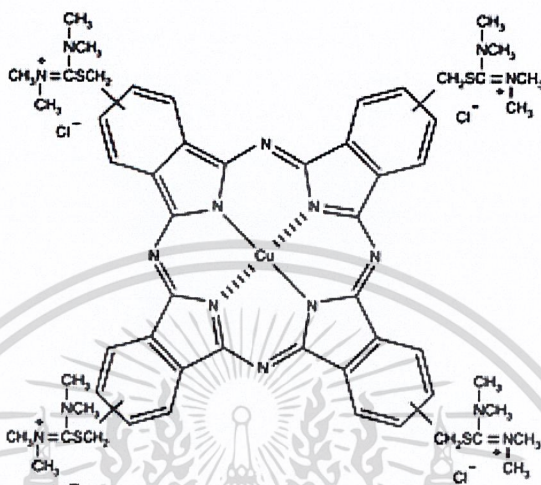
-สีวัต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้ สีวัตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีวัตจะถูกรีดิวส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็น สีวัต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (Indigoid) และสีแอนทราควินอยด์ (Antraquinoid)



รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างของสีวัต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 หมู่ที่แสดงประจุบวก ได้แก่ หมู่ออนเนียม (Onium group) กลุ่มนี้มีประจุบวกติดกับโครงสร้าง เมื่อทำการออกซิเดชันตัวสีก็สามารถที่จะปล่อยหมู่ช่วยละลายออกมา แล้วตัวสีก็ตกตะกอนในเส้นใย สี Alcian ก็เป็นตัวอย่างของสีกลุ่มนี้ แต่ในปัจจุบันไม่มีการใช้งานแล้ว



รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างของสีแอลเซียนบลู

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมที่ปนเปื้อนมาจากน้ำเสียจะมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการขยายตัวสูง ทำให้มีการพัฒนาทั้งทางด้านกระบวนการผลิตและการแข่งขันที่สูงขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ให้มากขึ้น น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญที่ต้องใช้ร่วมกับวัตถุดิบในทุกขั้นตอนการผลิตไม่ว่าจะเป็นการผลิตเส้นใย การปั่น การทอ การดัดผ้า และการฟอกย้อมก็ตาม โดยวัตถุดิบที่ใช้ เช่น สีย้อมผ้า สารเคมี เป็นต้น บางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดละลายน้ำไม่ได้ จึงทำให้น้ำมีสภาพที่แปรเปลี่ยนไปที่เราเรียกว่าน้ำเสีย เช่น อุณหภูมิสูงขึ้น มีกลิ่น มีสี ตลอดจนทำให้สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำตายเนื่องจากมีสารอินทรีย์ในน้ำปริมาณที่สูง ทำให้ขาดออกซิเจนและผลกระทบของน้ำเสียนี้ยังเป็นตัวบ่งชี้การทำงานของจุลินทรีย์ต่างๆ ในกระบวนการบำบัดทางชีวภาพ อุตสาหกรรมฟอกย้อมเป็นอุตสาหกรรมประเภทที่มีการใช้น้ำและสารเคมีจำนวนมาก ปัญหาใหญ่ที่พบและนับว่ามีผลกระทบโดยตรงต่อสิ่งแวดล้อมคือ การปล่อยน้ำเสียจากโรงงานลงสู่สิ่งแวดล้อม น้ำเสียที่ปล่อยออกมาประกอบด้วย สี, ค่าบีโอดี, ค่าซีโอดี, กรด-ด่าง, สารแขวนลอย, ความร้อน และอื่นๆ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ทำให้เกิดการทำลายทัศนียภาพและเป็นที่น่ารังเกียจ มลสารส่วนใหญ่ที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมนั้นมาจากกระบวนการย้อมสี (Dyeing) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing) โดยส่วนมากแล้วมลสารเหล่านี้และสีบางประเภทสามารถบำบัดได้ด้วยวิธีทางกายภาพและทางเคมี ทั่วไป แต่มีสีบางประเภทที่ไม่สามารถบำบัดได้ด้วยวิธีการดังกล่าว ซึ่งสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกย้อมมีหลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ, สีเอซิด, สีเบสิก, สีไดเรกต์, สีวัต, สีดิสเพอร์ส เป็นต้น ผลเสียที่เกิดขึ้นจากสีนอกจากจะทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติขาดความสวยงามแล้วยังลด

อัตราการนำเข้าของออกซิเจนที่เข้าสู่ผิวหน้าของแหล่งน้ำ และบดบังปริมาณแสงอาทิตย์ที่ตกลงสู่ผิวน้ำทำให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์ด้วยแสงได้ จะส่งผลให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลงทำให้สัตว์น้ำอาจตายได้ ดังนั้นการวางแผนการจัดการสิ่งแวดล้อมของโรงงานจึงมีความจำเป็นในการป้องกันปัญหามลพิษที่แหล่งกำเนิดและช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียขั้นสุดท้าย โดยมีการศึกษาเทคโนโลยีที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำทิ้งที่ได้มาตรฐานตามเกณฑ์ที่กำหนด

2.1.3 อันตรายที่อาจเกิดจากสีย้อม

ส่วนใหญ่แล้วสีย้อมนั้นจะใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมากเป็นอันดับหนึ่ง ซึ่งสีย้อมที่ใช้นั้นเป็นสีสังเคราะห์จากสารเคมีทั้งสิ้น ซึ่งส่วนประกอบของสีย้อมนั้นจะเป็นพวกโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ปรอท สารหนู และโครเมียม เป็นต้น ซึ่งเป็นสีที่ไม่สามารถรับประทานได้ แต่พบว่ามีคนนำสีย้อมเหล่านี้ไปใช้ในการบริโภคโดยใช้เป็นสีผสมอาหาร ซึ่งเป็นอันตรายต่อร่างกาย ถ้าหากได้รับปริมาณมากๆ สะสมเป็นเวลานาน อาจจะทำให้เกิดอันตรายถึงชีวิตได้ อันตรายจากโลหะหนักในสีย้อมได้แก่

ตะกั่ว : ระยะแรก จะทำให้ร่างกายอ่อนเพลีย เบื่ออาหาร ปวดศีรษะ โลหิตจาง ถ้าสะสมมากขึ้นจะมีอัมพาต ที่แขน ขา เพื่อ ชักกระดูก หมดสติ

ปรอท : กรณีเฉียบพลัน จะมีอาการคลื่นไส้ ท้องเดิน ปวดมวนท้องรุนแรง ถ้าสะสมเรื้อรัง เหงือกจะบวมแดงคล้ำ ผื่นตาย เบื่ออาหาร อ่อนเพลีย

สารหนู : จะเกิดพิษต่อระบบทางเดินอาหาร ทำให้ผิวดำคล้ำ ดับอึกเสบ หัวใจวาย

โครเมียม : ถ้าสะสมในร่างกายเกินขนาดจะเกิดอาการเวียนศีรษะ กระหายน้ำรุนแรงอาเจียน หมดสติ และ เสียชีวิต เนื่องจากไตไม่ทำงาน ปัสสาวะเป็นพิษ

2.2 การกำจัดสีย้อมออกจากรน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แม่น้ำ

กระบวนการบำบัดสีย้อมในน้ำเสียมียหลายวิธี จะเลือกวิธีใดขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในแง่ต่างๆ ได้แก่ คุณสมบัติของน้ำเสียก่อนบำบัด คุณภาพน้ำที่ต้องการหลังจากการบำบัด ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสรุปวิธีการบำบัดสีย้อม ได้ดังนี้

2.2.1 การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical Coagulation)

ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยมักใช้ร่วมกับการปรับค่าความเป็นกรด ต่าง และสามารถใช้เป็นกระบวนการบำบัดขั้นนิยมนำปูนขาว สารส้ม เฟอร์รัสคลอไรด์ หรือเฟอร์รัสซัลเฟต เป็นต้น การกำจัดสีโดยกระบวนการตกตะกอนด้วยสารส้ม เป็นผลจากการทำให้โมเลกุลของสีถูกดูดซับบนอนุภาคของสารส้ม ทำให้เกิดตะกอนของสีจมตัวลงในน้ำทิ้ง จากนั้นทำให้น้ำทิ้งเป็นกลางก่อนปล่อยลงท่อน้ำทิ้ง เทคนิคนี้สามารถกำจัดสีออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่เนื่องจากน้ำทิ้งจะมีลักษณะแตกต่างกันไปตามชนิดของโมเลกุลสีย้อม

ถ้าสี่ข้อมมีโมเลกุลเล็ก เช่น สีประเภทสีแอสิด สีรีแอคทีฟ การเกิดตะกอนของสีโดยใช้สารส้มจะไม่สามารถทำได้ ดังนั้นต้องปรับปรุงประสิทธิภาพของปฏิกิริยาการตกตะกอนให้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ โดยใช้สารช่วยให้เกิดการรวมตัวของตะกอนเช่น โพลีอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งต้องใช้ในปริมาณที่เหมาะสม เนื่องจากความเข้มข้นของโพลีอิเล็กโทรไลต์ที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้ง จะส่งผลกระทบต่อกระบวนการไนตริฟิเคชัน

2.2.2 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon)

การดูดซับบนถ่านกัมมันต์ เป็นกระบวนการดูดซับที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย สามารถใช้กำจัดสีได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อจำกัดที่น้ำหนักโมเลกุลของของเสียที่จะถูกดูดซับ ต้องมีน้ำหนักโมเลกุลประมาณ 400 ซึ่งโดยทั่วไปน้ำหนักโมเลกุลของของเสียในอุตสาหกรรม สีจะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่า 400 และสูงกว่า 1200 ดังนั้นก่อนการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์ จะต้องมีการปรับขนาดโมเลกุลของของเสียให้เหมาะสมก่อน โดยการไฮโดรไลซิสด้วยปูนขาว ซึ่งต้องใช้ปูนขาวปริมาณมากในการปรับพีเอชของสารละลายให้อยู่ในช่วง 10-11 ซึ่งส่งผลให้พีเอชของน้ำทิ้งสูง ดังนั้น ต้องมีการปรับพีเอชให้เป็นกลางก่อนปล่อยทิ้ง ด้วยการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับบนถ่านกัมมันต์เป็นกระบวนการ ที่ทำให้โมเลกุลของสีติดติดบนผิวของถ่านกัมมันต์ ดังนั้น ประสิทธิภาพการดูดซับสีจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณรูพรุนของถ่านกัมมันต์เพราะพื้นที่ผิวจำเพาะมากขึ้นนั่นเอง แต่การทำให้โมเลกุลของสีหลุดออกจากผิวของถ่านนั้นทำได้ยาก ต้นทุนการนำถ่านกัมมันต์กลับมาใช้ใหม่จึงสูงมาก เพราะต้องผ่านการเผาและการกำจัดกากซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูง รวมถึงค่าใช้จ่ายในส่วนที่มีการปรับพีเอช ก่อนปล่อยออกจากโรงงานด้วย ทำให้เทคนิคนี้ไม่เป็นที่นิยมแม้จะมีประสิทธิภาพการกำจัดสีสูงก็ตาม

2.2.3 กระบวนการบำบัดทางชีววิทยา (Biological Treatment)

กระบวนการนี้อาศัยจุลินทรีย์ในการลดสี โดยจุลินทรีย์ที่เติบโตขึ้นมาใหม่จะมีการดูดซับสีไปด้วย ทำให้สามารถบำบัดสีได้ แบ่งออกได้เป็น 2 ระบบ คือ

- ระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา ซึ่งอาศัยจุลินทรีย์ในการทำลาย กินดูดซับ หรือเปลี่ยนรูปของมวลสารต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำเสีย ให้มีค่าความสกปรกลดลง
- ระบบที่ 2 คือระบบบ่อเติมอากาศ (Aerated Lagoon) ดัดแปลงจากการบำบัดน้ำเสียแบบที่มีอากาศและไม่มีอากาศรวมกัน โดยเพิ่มเครื่องเติมอากาศที่ผิวน้ำ ระบบนี้คล้ายกับระบบตะกอนเร่งต่างกัน เพียงบ่อนี้จะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ขุดจากพื้นดินโดยตรง คุณภาพของน้ำเมื่อผ่านกระบวนการนี้จะมีค่า บีโอดี ลดลงประมาณร้อยละ 30-50

2.2.4 การออกซิไดส์ด้วยโอโซน (Ozone treatment)

โดยทั่วไปโมเลกุลสี่ข้อมจะมีหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นสารประกอบ อินทรีย์เป็นพวกวงแหวน กับพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยว ดังนั้นการที่จะทำลายโมเลกุลของสีนั้น ต้องทำลายหมู่โครโมฟอร์ที่เป็นพันธะคู่หรือพันธะเดี่ยวก่อน ซึ่งการบำบัดทางชีววิทยาไม่สามารถทำได้ กระบวนการกำจัดสีโดยใช้โอโซนเป็นเทคนิคที่

นำมาใช้ไม่นานนัก ซึ่งอาจได้รับความนิยมเมื่อมาตรฐานการปล่อยน้ำทิ้งเข้มงวดขึ้น การโอโซนชั้น (Ozonation) เป็นการออกซิไดซ์ขั้นสูงที่เป็นพันธะเคมี ของหมู่โครโมฟอร์ของโมเลกุลด้วยโอโซน แต่เนื่องจากโอโซนเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากจะทำปฏิกิริยา กับสารประกอบในน้ำที่อย่างรวดเร็วเมื่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน โมเลกุลของสีย้อม ซึ่งส่วนใหญ่มักประกอบด้วยไนโตรเจนคลอรีน หรือซัลเฟอร์จะเกิดเป็นสารประกอบชนิดใหม่ที่เป็นพิษ ต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าสารเริ่มต้นเดิม

2.2.5 เทคโนโลยีเยื่อแผ่น (Membrane Technology)

กระบวนการกำจัดสีด้วยเยื่อแผ่น (Membrane) สามารถใช้ในการกำจัดสี นำเอาสารเคมีที่ใช้ในการย้อมสี และสีย้อมบางชนิดกลับมาใช้ใหม่ได้ แบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

1) ไมโครฟิลเตรชัน (Microfiltration) ใช้ในการกำจัดสีย้อม ที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ (Colloid) ที่ถูกปล่อยออกจากหม้อย้อมหลังจากผ่านการล้าง โดยใช้กำจัดสีประเภทสีย้อมสีดิสเพอร์สที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภท โพลีเอสเตอร์ และสีย้อมประเภทสีย้อมสีซัลเฟอร์ สีแควด และสีอะโซอิกที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย และวิสคอส (Viscose) สีย้อมดิสเพอร์สเมื่อผ่านกระบวนการไมโครฟิลเตรชัน แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2) ออสโมซิสย้อนกลับ (Reverse Osmosis)

เหมาะสำหรับใช้กำจัดอิมัลชันสีย้อม และ โมเลกุลของสีย้อมที่มีขนาดใหญ่ เป็นกระบวนการที่จะต้องผ่านเยื่อแผ่น 2 ชั้นตอน คือเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำกร่อย (Brackish Water) และเยื่อแผ่นออสโมซิสย้อนกลับที่บรรจุน้ำทะเล (Sea Water) ซึ่งเยื่อแผ่นแรกจะสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 90 ความเข้มข้นของสีที่เหลือ จะถูกส่งผ่านไปยังเยื่อแผ่นที่สอง และสามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 94 อย่างไรก็ตามสีย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยประเภทฝ้าย ไม่สามารถใช้กระบวนการนี้ได้

3) ไดนามิก เมมเบรน (Dynamic Membrane)

ใช้กำจัดสีย้อมที่มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่แขวนลอยอยู่ โดยใช้ตัวรองรับที่มีรูพรุน เช่นเหล็ก แสตนเลส วัสดุคาร์บอน หรือเซรามิก ซึ่งต่อมาได้พัฒนามาใช้ Hydrous zirconium (IV) oxide และกรดโพลีอะคลีติกส์ (Zr/PAA) เพื่อปรับปรุงขนาดของรูพรุน กระบวนการนี้สามารถกำจัดสีได้ถึงร้อยละ 95 หรือมากกว่า

2.2.6 นาโนฟิลเตรชัน (Nanofiltration)

ใช้กำจัดสีย้อมประเภทสีรีแอคทีฟที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้าย เนื่องจากการย้อมสีรีแอคทีฟต้องใช้สาร อิเล็กโตรไลต์ช่วยในการย้อม เช่น โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) โซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ซึ่งกระบวนการนี้สามารถแยกสารพวกอิเล็กโตรไลต์เหล่านี้ ออกมาและนำกลับมาใช้ได้ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 เทคโนโลยีใหม่ (New Technology)

เทคโนโลยีใหม่ๆ มากมายที่เกิดขึ้น มีพื้นฐานตั้งอยู่บนเทคนิคต่างๆ กัน แต่มีวัตถุประสงค์เดียวกันคือเพื่อลดผลกระทบต่างๆ ให้เหลือน้อยที่สุดตัวอย่าง เช่น

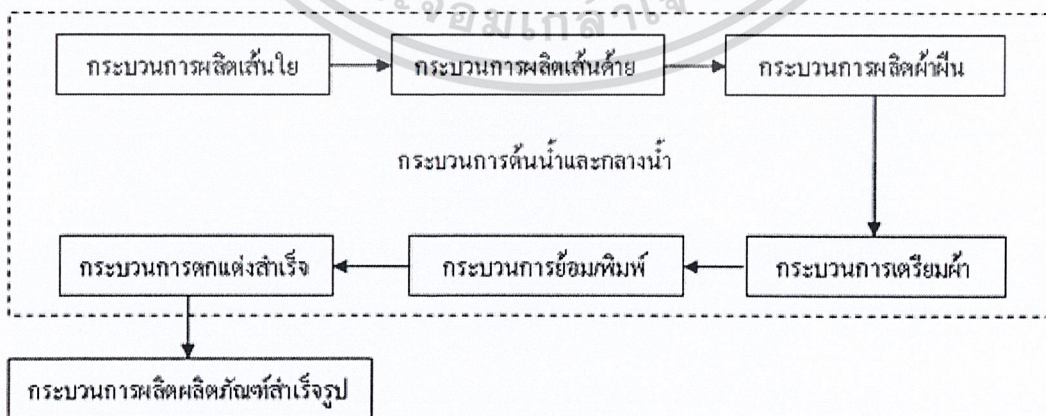
1) ตัวดูดซับ ชนิดอนินทรีย์ ซึ่งถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น และมีการนำมาใช้กันอยู่ในโรงงานประสิทธิภาพในการกำจัดสีค่อนข้างดี อัตราการกำจัดเป็นไปอย่างรวดเร็ว ให้ผลการกำจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ที่กำหนดไว้แม้จะมีความแปรผันของความเข้มข้นสีที่สูงหรือมีสารเจือปนก็ตาม ซึ่งต้นทุนวิธีนี้ต่ำกว่าเทคนิคอื่นๆ ที่คล้ายกันดังนั้น เทคนิคนี้จึงคุ้มค่าต่อการพิจารณาต่อไป

2) ระบบที่มีพื้นฐานของอิเล็กโตรไลซิสที่อยู่ในระหว่างกำลังพัฒนา พลังงานที่ใช้จะสูง และบางครั้งคลอรีน และไฮดรอกซีเรดิคัลสามารถเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะทำให้เกิดการแตกพันธะอย่างควบคุมไม่ได้ ตัวดูดซับชนิดอนินทรีย์หรือพืชแห้ง เช่น ผักตบชวาจะมีองค์ประกอบที่สำคัญ คือเซลลูโลส ซึ่งมีหมู่ฟังก์ชันน้ำตาลไว้แลกเปลี่ยนไอออน หรือโมเลกุลของสารอินทรีย์ได้

2.3 สารเคมีในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

อุตสาหกรรมการผลิตสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้สารเคมี (และพลังงาน) มากและหลากหลายชนิดอุตสาหกรรมหนึ่ง ผลกระทบจากสารเคมีจึงมีต่อผู้ปฏิบัติงานที่ใช้สารเคมีโดยตรงและผู้บริโภคสินค้าสิ่งทอ และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในเรื่องของการใช้พลังงานและการปลดปล่อยสารเคมีจากกระบวนการผลิตออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นการได้รับทราบข้อมูลเกี่ยวกับสารเคมีที่ใช้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการสารเคมีเหล่านั้นให้เหมาะสมและปลอดภัย

การผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอประเภทหนึ่งๆ มีขั้นตอนการผลิตหลายขั้นตอน โดยกระบวนการหลักๆ ที่สำคัญ มีดังนี้



กระบวนการต้นน้ำและกลางน้ำของการผลิตสิ่งทอเป็นกระบวนการที่มีการใช้สารเคมีจำนวนมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานำเข้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการเตรียม ย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ ประเภทของสารเคมีและลักษณะในการใช้งานแบ่งตามขั้นตอนการผลิตได้ดังนี้

2.3.1 ขั้นตอนการผลิตเส้นใย

เส้นใยที่ทอแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ได้ 2 ประเภท คือ เส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ เส้นใยธรรมชาติที่สำคัญในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้แก่ ฝ้าย ขนสัตว์ และไหม เส้นใยเหล่านี้ได้จากการเพาะปลูกและจากสัตว์ สารเคมีที่ใช้จึงเป็นสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับการเพาะปลูก เลี้ยงสัตว์ มีการใช้สารฆ่าแมลงและปุ๋ยเคมีในการเพาะปลูกฝ้ายปริมาณค่อนข้างมากและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันจึงหันมาผลิตฝ้ายอินทรีย์ (Organic cotton) ที่ไม่ใช้สารเคมีในการเพาะปลูกเลยมากขึ้น เพื่อความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนขนสัตว์ก็มีการใช้สารฆ่าแมลงที่รบกวนเช่นกัน สำหรับกระบวนการผลิตเส้นใยประดิษฐ์ซึ่งแบ่งเป็นประเภทย่อยได้ 2 ประเภท คือ เส้นใยปรับรูปใหม่ (Regenerated fibers) และเส้นใยสังเคราะห์ การใช้สารเคมีจะขึ้นอยู่กับประเภทของเส้นใยที่ผลิต เส้นใยปรับรูปใหม่ส่วนใหญ่เป็นเส้นใยจากเซลลูโลสที่ถูกนำมาละลายในตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้วผ่านกระบวนการปั่นออกมาเป็นเส้นใย ตัวทำละลายที่ใช้ส่วนใหญ่ค่อนข้างอันตราย อย่างไรก็ตาม ในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมสามารถใช้กระบวนการที่เป็นระบบปิดและใช้เทคโนโลยีการนำตัวทำละลายกลับมาใช้ใหม่ (Solvent recovery) เพื่อหลีกเลี่ยงผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้ กระบวนการผลิตเส้นใยสังเคราะห์เป็นการขึ้นรูปพอลิเมอร์ออกมาเป็นเส้นใยโดยเทคนิคการปั่นเส้นใยแบบหลอมเป็นหลัก มีการใช้สารเคมีทั้งที่เป็นสารตั้งต้นและสารช่วยในกระบวนการ ตั้งแต่ขั้นการผลิตพอลิเมอร์ที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตซึ่งสารบางตัวมีความเป็นพิษและไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ประเภท Antimony oxide ที่ใช้ในการผลิตพอลิเอสเทอร์ Poly(Ethylene terephthalate) จัดเป็นสารที่ควรหลีกเลี่ยงเนื่องจากมีผลก่อมะเร็ง

2.3.2 ขั้นตอนการผลิตเส้นด้าย

สารเคมีที่ใช้ในขั้นตอนนี้ คือ สารหล่อลื่น (Lubricants) ที่ช่วยลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นกับเส้นใยระหว่างการปั่นด้าย สารหล่อลื่นที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นน้ำมัน Mineral oil สารหล่อลื่นกลุ่ม Polyaromatic hydrocarbons (PAHs) มีผลเป็นสารก่อมะเร็งและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม จึงควรหลีกเลี่ยงและปัจจุบันถูกห้ามใช้สำหรับผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่จะนำเข้าสหภาพยุโรป นอกจากนี้ยังมีสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการนี้ก็คือสารลดแรงตึงผิว (Surfactants) ที่ใช้ในการเตรียมอิมัลชันกับน้ำมัน สารลดแรงตึงผิวประเภท Alcohol ethoxylates (AEOs) และ Alkyl phenol ethoxylates (APEOs) เป็นสารกลุ่มที่ห้ามใช้เป็นส่วนผสมในปริมาณที่เกินกว่า 0.1% ตามข้อกำหนดของสหภาพยุโรป Directive 2003/53/EG สาร APEOs มีผลต่อระบบฮอร์โมนและเป็นสารที่มีสมบัติตกค้างยาวนาน (Persistent) เนื่องจากสลายตัวช้า สามารถสะสมได้ในสิ่งมีชีวิต (Bio-accumulative) โดยส่วนใหญ่มักสะสมในเนื้อเยื่อไขมันและเป็นพิษ นอกจากนี้ยังเป็นพิษต่อสัตว์น้ำหากเจือปนในน้ำทิ้งจากกระบวนการที่ระบายออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 ขั้นตอนการผลิตผ้าผืน

กระบวนการผลิตผ้าผืน ได้แก่ กระบวนการทอและกระบวนการถัก สารเคมีที่ใช้เป็นสารที่ทำหน้าที่หล่อลื่น ลดแรงเสียดทานระหว่างกระบวนการทอ และถัก สำหรับกระบวนการทอจำเป็นต้องมีการเคลือบเส้นด้ายขึ้นด้วยสาร Sizing (Sizing agent) สาร Sizing ที่สำคัญนี้มีทั้งสารจากธรรมชาติและสารสังเคราะห์ ได้แก่ แป้ง (Starch) Poly(Vinyl alcohol) (PVA) และ Carboxymethyl cellulose เป็นต้น การเลือกใช้สารเหล่านี้ควรคำนึงถึงความยาก ความง่ายในการกำจัดออกจากผ้าด้วย การใช้แป้งเป็นสาร Sizing เมื่อต้องการกำจัดออกมักจะต้องใช้สารเคมีช่วย ในขณะที่การใช้ PVA ซึ่งมีคุณสมบัติละลายน้ำได้ สามารถกำจัดออกได้ง่ายกว่า และสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

2.3.4 ขั้นตอนการเตรียมผ้า

กระบวนการเตรียมผ้าก่อนเข้าสู่กระบวนการย้อม ประกอบด้วยกระบวนการที่สำคัญ คือ

- การลอกแป้ง (Desizing)
- การทำความสะอาด (Scouring)
- การฟอกขาว (Bleaching)
- การซุบมัน (Mercerization) สำหรับเส้นใยฝ้าย

ประเภทของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการลอกแป้งขึ้นอยู่กับชนิดของสาร Sizing ที่ใช้ในขั้นตอนการลงแป้ง (Sizing) เช่น หากใช้แป้ง (Starch) เคลือบเส้นด้าย แป้งมีสมบัติไม่ละลายน้ำเมื่อจะกำจัดออกจึงต้องใช้สารออกซิไดซิง (Oxidizing agent) หรือเอนไซม์อะไมเลสย่อยแป้งออก ถ้าเป็น PVA ก็สามารถกำจัดออกได้ง่ายโดยการต้มในน้ำร้อนเนื่องจาก PVA ละลายน้ำได้

การทำความสะอาดโดยทั่วไปใช้สารลดแรงตึงผิว (น้ำสบู่) และต่างในการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากผ้า สารลดแรงตึงผิวที่ใช้เป็นประเภทประจุลบและไม่มีประจุ ส่วนต่างที่ใช้คือโซเดียมคาร์บอเนต นอกจากนี้ยังมีการใช้สารลดแรงตึงผิวเป็นสารช่วยเปียกด้วย การทำความสะอาดผ้าสามารถทำได้โดยใช้เอนไซม์เช่นกันเพื่อลดการใช้สารเคมี

กระบวนการฟอกขาวเป็นกระบวนการที่ทำให้วัสดุสิ่งทอมีความขาวเพิ่มขึ้น โดยการใช้สารเคมีช่วย การฟอกขาวถือว่ามีผลสำคัญต่อประสิทธิภาพในการย้อมสีวัสดุสิ่งทอ โดยเฉพาะการย้อมในเจดสีอ่อน และการผลิตผ้าขาว สารฟอกขาวที่ใช้มีด้วยกันหลายประเภท สารฟอกขาวประเภทออกซิเดทีฟที่สำคัญ ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide) โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (Sodium hypochlorite) โซเดียมคลอไรต์ (Sodium chlorite) ส่วนสารฟอกขาวประเภทรีดิกทีฟที่สำคัญ ได้แก่ Sodium hydrosulphite สารฟอกขาวประเภทที่มีคลอรีน โดยเฉพาะ Sodium hypochlorite ไม่ก่อให้เกิดสารประกอบอันตราย AOX (Absorbable organic halogens) ที่ปลดปล่อยออกมาสูง ส่วน Sodium chlorite แม้ว่าจะปลดปล่อยสาร AOX

ปริมาณต่ำกว่าแต่ในการฟอกขาวเกิดสาร Chlorine dioxide ที่เป็นพิษ ดังนั้นการฟอกขาวจึงนิยมใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ซึ่งไม่มีคลอรีนเป็นองค์ประกอบ ส่วน Sodium hydrosulphite เป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและเป็นพิษ [1]

ในการขูดมันเพื่อเพิ่มความมันเงาและความสามารถในการดูดซับสีข้อมให้กับเส้นใยฝ้าย มีการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟที่มีค

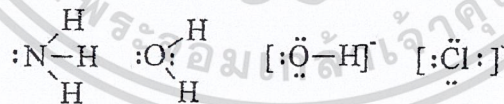
2.4 สารประกอบโคออร์ดิเนชัน

สารประกอบโคออร์ดิเนชัน (Coordination compound) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่าสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compounds) เกิดจากอะตอมหรือไอออนของโลหะรวมตัวกับโมเลกุลหรือแอนไอออนด้วยพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ เรียกอะตอมหรือไอออนของโลหะว่า อะตอมกลาง (Central atom) ซึ่งมีสมบัติเป็นพวกบวก (Electropositive) หรือมีความสามารถในการรับอิเล็กตรอน (Electron acceptor) ส่วนโมเลกุลหรือแอนไอออน เรียกว่า ลิแกนด์ (Ligand) ต้องเป็นพวกที่ให้อิเล็กตรอนคู่ (Electron doner)

2.4.1 ลิแกนด์และชนิดของลิแกนด์

ลิแกนด์ (Ligand) เป็นอะตอม, ไอออนหรือโมเลกุลที่สามารถให้อิเล็กตรอนกับอะตอมกลางเพื่อสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ ปฏิกริยาทั่วไปของการเกิดสารประกอบหรือไอออนเชิงซ้อนจึงเป็นปฏิกริยารีดอกซ์ของลิแกนด์โดยลิแกนด์ทำหน้าที่เป็นเบสของลิแกนด์

ตัวอย่างลิแกนด์ได้แก่ แอมโมเนีย น้ำ ไฮดรอกไซด์ คลอไรด์ซึ่งมีโครงสร้างดังนี้

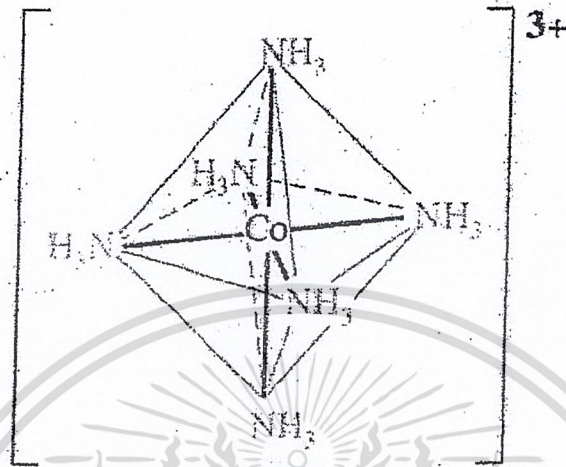


ลิแกนด์กลุ่มนี้จะมีเพียงอะตอมเดียวที่เกิดพันธะกับไอออนของโลหะซึ่งจัดเป็นโมโนเดนเทตลิแกนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

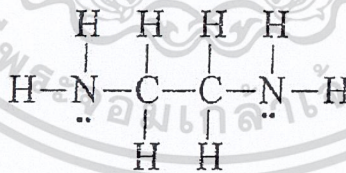
ตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนที่มี NH_3 เป็นลิแกนด์ ได้แก่ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่

2.9



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างของ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$

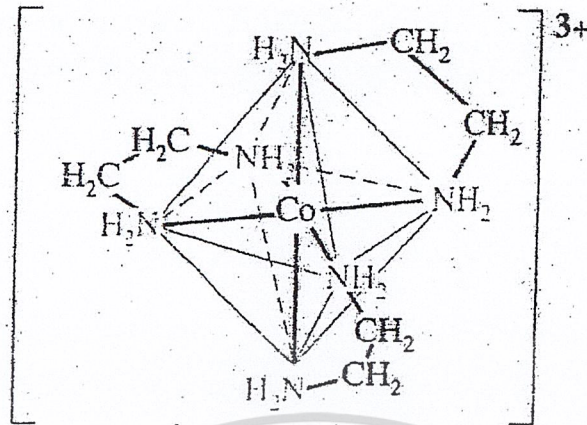
โมเลกุลหรือไอออนบางชนิดอาจมีอะตอมในโมเลกุลมากกว่าหนึ่งอะตอมที่สามารถให้คู่อิเล็กตรอนกับไอออนของโลหะได้ เช่น เอทิลีนไดเอมีน (Ethylenediamine) ซึ่งมีสูตรคือ $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ ซึ่งมีสูตรโครงสร้างคือ



อะตอมของไนโตรเจนที่อยู่ปลายโมเลกุลจะมีอิเล็กตรอนคู่ใช้สารพันธะกับไอออนของโลหะเกิดสารประกอบเชิงซ้อน เอทิลีนไดเอมีนจัดเป็นไบเดนเทตลิแกนด์ (Bidentate ligand) ซึ่งใช้ชื่อย่อว่า “en”

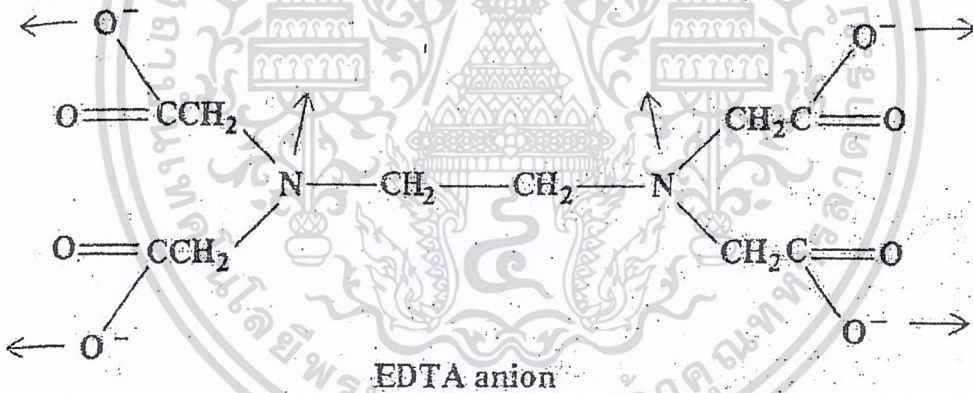
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างสารประกอบเช่น $[\text{Co}(\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2)_3]^{3+}$ หรือ $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 สูตร โครงสร้างของ $[\text{Co}(\text{en})_3]^{3+}$

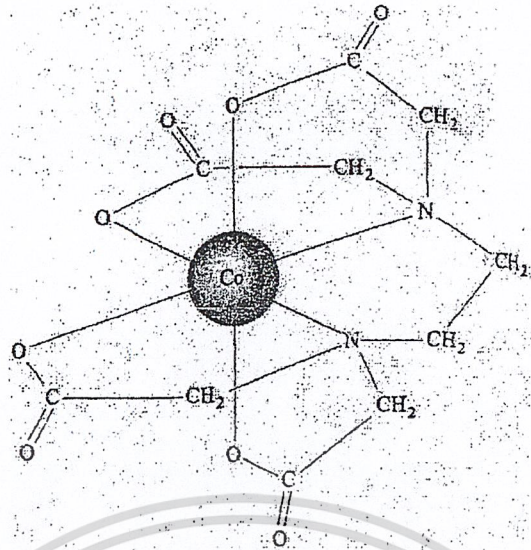
เอทิลีน ไดเอมีน เทตระอะซิเตด ไอออน (Ethylenediamine tetraacetate ion) มีตัวย่อว่า EDTA จัดเป็น โพลีเดนเตทลิเกนด์ มีอะตอมที่สร้างพันธะได้หกอะตอม สูตรโครงสร้างของ EDTA ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 สูตร โครงสร้างของ EDTA

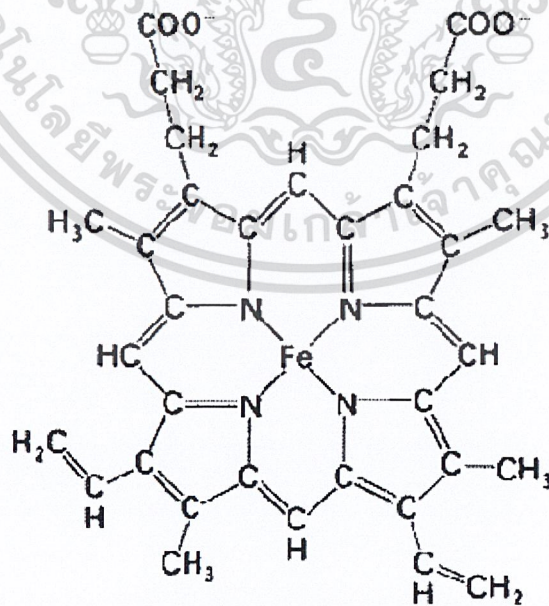
EDTA สามารถสร้างพันธะกับไอออนของโลหะ เช่น สารเชิงซ้อนของ Co(III) ได้ดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สารเชิงซ้อนระหว่าง Co^{3+} กับ EDTA

พอลิเดนเทรลิแกนด์บางครั้งเรียกว่าตัวคีเลตติง (Chelate agent) คำว่า Chelate มาจากภาษากรีกว่า “Chele” ซึ่งแปลว่ากรงเล็บหรือกำมู เพราะเมื่อจับกับโลหะมีลักษณะเป็นวง (Chelate ring) ตัวอย่างเช่น ฮีม (Heme) ซึ่งเป็นสารเชิงซ้อนที่พบในฮีโมโกลบินซึ่งประกอบด้วยพอลิเดนเทรลิแกนด์ มีอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนสี่อะตอมและมีโครงสร้างเป็นแบบสี่เหลี่ยมระนาบ (Square planar)



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของฮีม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างลิแกนด์สามัญ

ชื่อ	โครงสร้าง
	Monodentate ligands
Ammonia	$\begin{array}{c} \text{H}-\ddot{\text{N}}-\text{H} \\ \\ \text{H} \end{array}$
Carbon monoxide	$:\text{C}\equiv\text{O}:$
Chloride ion	$:\ddot{\text{Cl}}:^-$
Cyanide ion	$[:\text{C}\equiv\text{N}:]^-$
Thiocyanate ion	$[:\ddot{\text{S}}-\text{C}\equiv\text{N}:]^-$
	Bidentate ligands
Ethylenediamine	$\text{H}_2\ddot{\text{N}}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\ddot{\text{N}}\text{H}_2$
Oxalate ion	$\left[\begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \quad \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \\ \text{C}-\text{C} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \quad \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \parallel \\ \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \end{array} \right]^{2-}$
	Polydentate ligand
Ethylenediamine tetraacetate ion(EDTA)	$\left[\begin{array}{c} \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \\ \parallel \\ \text{C} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \quad \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \\ \text{CH}_2 \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{N} \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \\ \quad \\ \text{N} \quad \text{N} \\ \diagdown \quad \diagup \\ \text{CH}_2 \quad \text{CH}_2 \\ \diagup \quad \diagdown \\ \text{C} \quad \text{C} \\ \parallel \quad \parallel \\ \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \quad \text{:}\ddot{\text{O}}\text{:} \end{array} \right]^{4-}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 เลขโคออดิเนชัน และรูปทรงทางเรขาคณิต

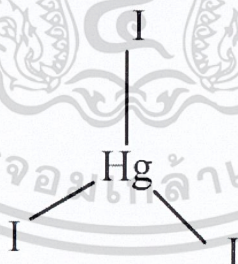
เลขโคออร์ดิเนชัน (Coordination number) คือ จำนวนอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนคู่แก่อิออนหรืออะตอมกลาง หรือ คือเวเลนซีทุติยภูมิของ Werner นั่นเอง ที่พบมากในสารประกอบโคออร์ดิเนชัน คือ เลขโคออร์ดิเนชัน 4 และ 6 สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะไอออนของธาตุทรานสิชันตัวเดียวกัน ถ้ามีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากัน จะมีสมบัติแม่เหล็กหรือ อิเล็กทรอนิกส์เปกตราที่คล้ายกัน ซึ่งจะนำไปใช้ประโยชน์ในการหาโครงสร้างของสารประกอบได้

2.4.2.1 สารประกอบที่มีเลขโคออร์ดิเนชัน 2

เป็นเลขโคออร์ดิเนชันที่น้อยที่สุด มีรูปทรงทางเรขาคณิตเป็นเส้นตรง (Linear) พบว่าส่วนมากเป็นสารเชิงซ้อนของ Cu(I) , Ag(I) และ Hg(II) ตัวอย่างเช่น $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]^+$, $[\text{Au}(\text{CN})_2]^-$, $[\text{HgCl}_2]$

2.4.2.2 สารประกอบที่มีเลขโคออร์ดิเนชัน 3

สารประกอบเหล่านี้พบน้อยมาก ที่พบได้แก่สารประกอบ HgI_3^- มีโครงสร้างเป็นระนาบสามเหลี่ยม (Trigonal planar) ส่วนรูปร่างที่เป็นไปได้ของเลขโคออร์ดิเนชัน 3 อื่น ๆ เช่น พีระมิด (Pyramid) และรูปร่างแบบตัวที (T-shape) แต่ยังไม่พบในสารประกอบของพวกทรานสิชัน

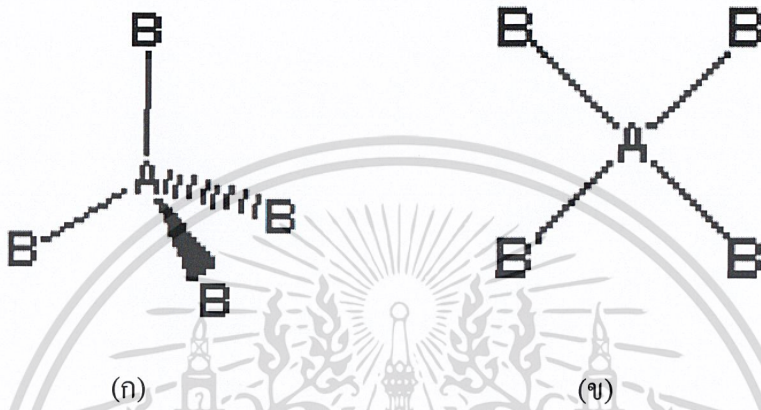


รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสารประกอบ HgI_3^-

2.4.2.3 สารประกอบที่มีเลขโคออร์ดิเนชัน 4

เป็นสารประกอบโดยออร์ดิเนชันที่สำคัญชนิดหนึ่ง ลักษณะรูปร่างที่เป็นไปได้ 2 แบบ คือ รูปร่างแบบทรงสี่หน้า (Tetrahedron) และระนาบสี่เหลี่ยม (Square planar) แบบทรงสี่หน้าจะพบมารองลงมาจากรูปทรงแปดหน้า (Octahedron) ตัวอย่างเช่น $[\text{TiCl}_4]$, $[\text{MnO}_4]^{2-}$, $[\text{RuO}_4]^-$, $[\text{ReO}_4]^{2-}$, $[\text{CoCl}_4]^{2-}$, $[\text{ZnCl}_4]^{2-}$ ซึ่งสามารถเกิดกับธาตุทรานสิชันที่มีการจัดอิเล็กตรอน d^n เกือบทุกค่ายกเว้น d^3 , d^4 สำหรับอะตอมกลางเป็นโลหะเรพรีเซนเตทีฟก็เกิดได้ เช่น BF_4^- , AlCl_4^-

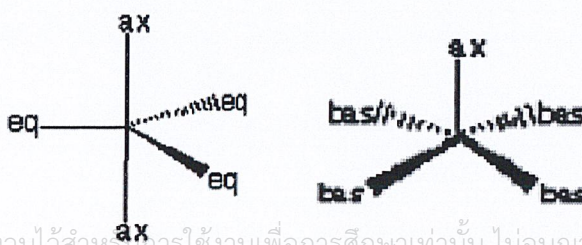
ส่วนรูปร่างแบบระนาบสี่เหลี่ยม จะพบบ่อยในพวกอะตอมกลางเป็นทรานสิชันที่มีการจัดอิเล็กตรอนเป็น d^8 เช่น Rh(I), Ir(I), Pd(II), Pt(II) และ Au(III) ตัวอย่างสารประกอบ เช่น $[PtCl_4]^{2-}$, $[PdCl_4]^{2-}$, $[AuF_4]^-$ สำหรับ M(II) เกิดได้ทั้งแบบทรงสี่หน้า และระนาบสี่เหลี่ยมซึ่งทั้งสอง โครงสร้างสามารถเปลี่ยนจาก โครงสร้างหนึ่งไปเป็นอีกโครงสร้างหนึ่งโดยการบิดหรือหมุนพันธะบางอัน



รูปที่ 2.15 (ก) โครงสร้างทรงสี่หน้า (ข) โครงสร้างระนาบสี่เหลี่ยม

2.4.2.4 สารประกอบที่มีเลขโคออร์ดิเนชัน 5

สารเชิงซ้อนที่มีเลขโคออร์ดิเนชัน 5 มีโครงสร้างได้ 2 แบบ คือ แบบพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม (Trigonal bipyramid, TBP) และแบบพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม (Square pyramid, SP) การจัดตัวของสารประกอบ แบบ TBP จะเสถียรมากกว่า แบบ SP แต่พลังงานก็ไม่แตกต่างกันมาก จึงสามารถเปลี่ยนโครงสร้างไปมาได้เพียงแต่ บิดหรือหมุนพันธะบางอัน ตัวอย่างของสารประกอบ TBP คือ $[CuCl_5]^{3-}$, $[SnCl_5]^{3-}$ $[Cu(dipy)_2]^{+}$ ส่วนพวกที่มีรูปร่าง เป็น SP ได้แก่ $[VO(acac)_2]$ และ $[Cu_2Cl_6]^{2-}$ ลิแกนด์ Cl เป็นตัวเชื่อม Cu 2 อะตอม โครงสร้างเป็นแบบนี้อาจทำให้มีลิแกนด์เพิ่มอีกหนึ่ง กลายเป็น 6 ลิแกนด์รูปร่างจะเปลี่ยนเป็นทรงแปดหน้าได้ง่าย



รูปที่ 2.16 โครงสร้างแบบพีระมิดคู่ฐานสามเหลี่ยม (รูปซ้าย) และพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม (รูปขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่าการตีพิมพ์ หารูป หรือการนำเนื้อหาไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต

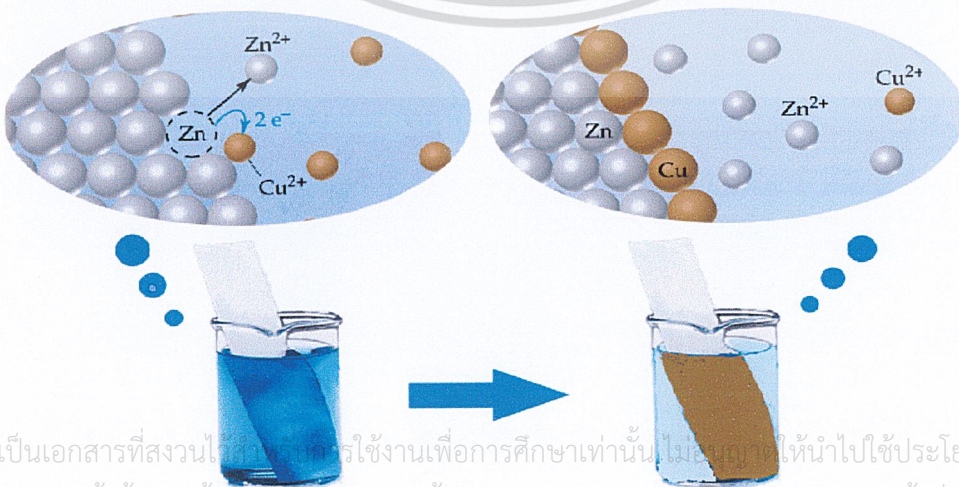
2.4.2.5 สารประกอบที่มีเลขโคออร์ดิเนชัน 6

เลขโคออร์ดิเนชันนี้นับได้ว่าเกิดสารประกอบที่เสถียรที่สุดถ้าความยาวพันธะ M-L (M=metal, L=ligand) เท่ากันเรียกว่ารูปร่างเป็นทรงแปดหน้า (Regular octahedron) หรือจะได้ทรงแปดหน้าที่ยึดเหนี่ยวไปทำให้ความยาวพันธะของ M-L ไม่เท่ากัน ถ้ายึดหรือหด M-L แขนหนึ่งให้แตกต่างไปจากอีกสองแขนเรียกการบิดเบือนนี้ว่า Tetragonal distortion แต่ถ้าทั้งสามแขนไม่เท่ากันเลยเรียกว่า Rhombic distortion ถ้ายึดหรือหดแล้วทำให้ลิแกนด์จัดตัวอยู่ในลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมที่อยู่ตรงข้ามกัน เรียกว่า Trigonal distortion ตัวอย่างที่พบมีตั้งแต่พวกที่มีการจัดอิเล็กตรอน d^0-d^{10} ตัวอย่างเช่น $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$, $[\text{Cr}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ และ $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$

รูปที่ 2.17 โครงสร้างแบบทรงแปดหน้า (Octahedron)

2.5 ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox Reaction)

ปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction Reaction) จะเกิดสองปฏิกิริยาอยู่ควบคู่กันไปเสมอ นั่นคือ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation Reaction) และ ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction Reaction) ปฏิกิริยารีดอกซ์ส่วนมากจะเกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น การนำโลหะสังกะสี (Zn) จุ่มลงในสารละลายของทองแดง (Cu^{2+}) ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นไปตามสมการ



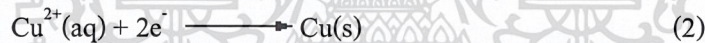
อิเล็กตรอนจะถูกถ่ายโอนจาก Zn ไปยัง Cu^{2+} ในสารละลายได้โดยตรง สิ่งที่จะสังเกตเห็นได้ชัดเจนก็คือ แผ่นสังกะสีจะกร่อน มีตะกอนของทองแดงเกิดขึ้นบนแผ่นสังกะสี และเมื่อตั้งทิ้งไว้สารละลายสีฟ้าของ Cu^{2+} จะค่อย ๆ เปลี่ยนเป็นไม่มีสี โดยเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ หรือที่เรียกว่าครึ่งปฏิกิริยา (half-reaction) คือ

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เป็นปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน โดย Zn ให้อิเล็กตรอนแล้วกลายเป็น Zn^{2+}



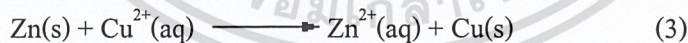
ถ้าพิจารณาเลขออกซิเดชันของ Zn เมื่อให้อิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้นจาก 0 เป็น +2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเป็นปฏิกิริยาที่มีการเพิ่มขึ้นของเลขออกซิเดชัน และอาจกล่าวได้ว่า สารที่สูญเสียอิเล็กตรอนและเลขออกซิเดชันเพิ่มขึ้น (Zn) นี้ถูกออกซิไดซ์

ปฏิกิริยารีดักชัน เป็นปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน โดย Cu^{2+} รับอิเล็กตรอนแล้วกลายเป็นอะตอมของ Cu



Cu^{2+} เมื่อรับอิเล็กตรอนแล้วมีเลขออกซิเดชันลดลงจาก +2 เป็น 0 ปฏิกิริยารีดักชันจึงเป็นปฏิกิริยาที่มีการลดลงของเลขออกซิเดชัน และอาจกล่าวได้ว่า สารที่รับอิเล็กตรอนและมีเลขออกซิเดชันลดลง (Cu^{2+}) นี้ถูกรีดิวซ์

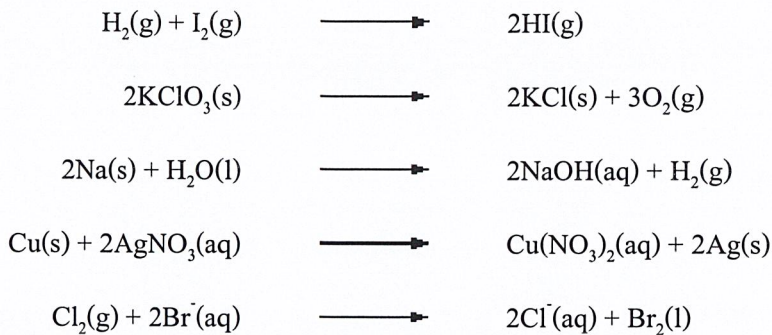
เมื่อรวมปฏิกิริยา (1) และ (2) จะได้ปฏิกิริยาดังสมการ



ปฏิกิริยา (3) เรียกว่า **ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน** หรือหรือเรียกสั้น ๆ ว่า **ปฏิกิริยารีดอกซ์** โดย Zn รีดิวซ์ Cu^{2+} ให้เป็น Cu และ Cu^{2+} ออกซิไดซ์ Zn ให้กลายเป็น Zn^{2+} หรืออาจกล่าวได้ว่า Cu^{2+} ถูกรีดิวซ์โดย Zn และ Zn ถูกออกซิไดซ์โดย Cu^{2+} Zn จึงเป็นตัวรีดิวซ์ (**Reducing agent**) และ Cu^{2+} เป็นตัวออกซิไดซ์ (**Oxidizing agent**)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างปฏิกิริยารีดอกซ์เพิ่มเติม เช่น

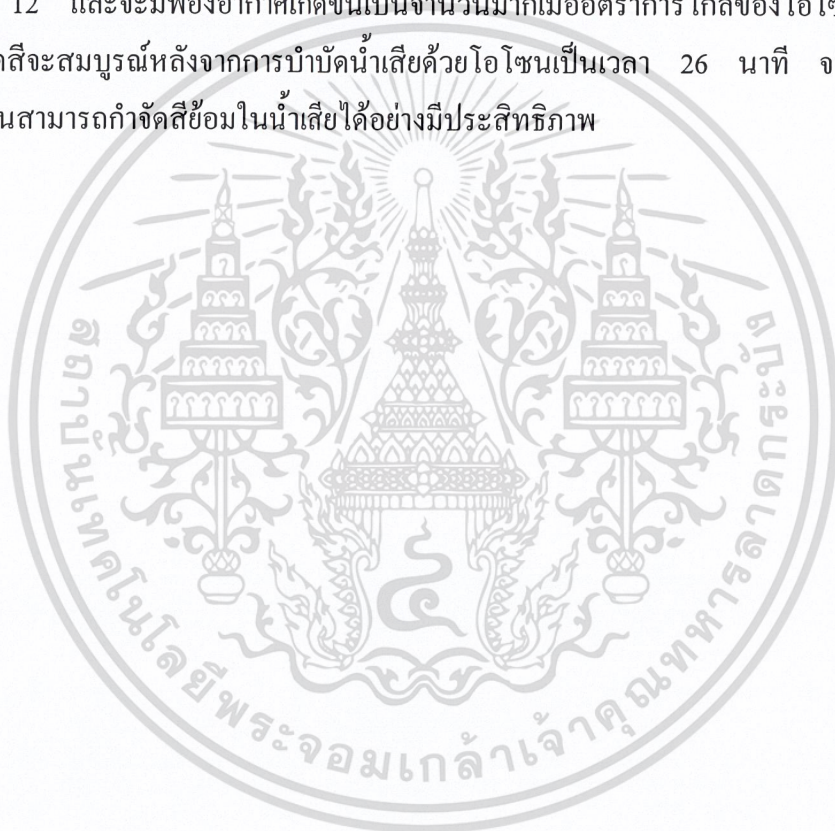


2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Houria Ghodbane และคณะ ศึกษาการกำจัดสีของสีย้อม C.I. Acid Blue 25 (AB25) เป็นสีย้อมประเภท Anthraquinonic มีความสำคัญในเชิงการค้าโดยกระบวนการที่ใช้รังสีอัลตราไวโอเลตเพียงอย่างเดียวและการใช้ UV/H₂O₂ และ UV/Fe(II) ได้ถูกตรวจสอบขึ้น การทดลองได้ถูกควบคุมในระบบ batch โดยใช้โคมไฟตะกั่วแบบความดันต่ำแผ่รังสีที่มีความยาวคลื่น 253.7 นาโนเมตร สำหรับการย่อยสลายโดยใช้รังสีอัลตราไวโอเลตโดยตรง อัตราการกำจัดสีจะเพิ่มขึ้นด้วยการลดค่าความเป็นกรดและความเข้มข้นของสีย้อมเริ่มต้น การกำจัดสีของสีย้อม AB25 ได้ถูกตรวจสอบโดยใช้ UV/H₂O₂ ซึ่งทำหน้าที่เป็นความเข้มข้นของ H₂O₂ ความเข้มข้นของสีย้อมและค่าความเป็นกรดต่าง นอกจากนี้ ผลกระทบของเกลือที่มีต่อการฟอกสีของสีย้อมได้ถูกศึกษาอีกด้วย อัตราการกำจัดสีจะถูกเพิ่มเมื่อมี UV/H₂O₂ เปรียบเทียบกับการใช้รังสีอัลตราไวโอเลตเพียงอย่างเดียว ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการฟอกสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของ H₂O₂ เพิ่มขึ้นจนถึงความเข้มข้นจำกัด ซึ่ง H₂O₂ จะไปลดการฟอกสีโดยการกำจัดอนุมูลของไฮดรอกไซด์ การฟอกสีของสีย้อม AB25 จะลดลงเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมเพิ่มขึ้น อัตราการกำจัดสีโดยใช้การย่อยสลายด้วยแสงควบคู่ไปกับ Fe(II) ภายใต้รังสีอัลตราไวโอเลตจะเพิ่มขึ้นเปรียบเทียบกับการใช้รังสีอัลตราไวโอเลตเพียงอย่างเดียว สภาวะในการทำงานที่ดีที่สุดได้ถูกค้นพบเมื่อความเข้มข้นของ Fe(II) เท่ากับ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองเผยให้เห็นว่าการทดสอบกระบวนการออกซิเดชันที่มีความจำเป็นเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการกำจัดสีของสีย้อม AB25 ในสารละลายที่เป็นของเหลว

Tuba Artan Onat , H. และคณะ ศึกษาการกำจัดสีของสีย้อม Reactive Red 2 (RR2), Reactive Blue 4 (RB4) และ Basic Yellow 2 (BY2) โดยวิธีแรก คือ Ultrasonic irradiation แบบต่อเนื่อง ที่ 20 กิโลเฮิร์ตซ์ และวิธีที่สอง คือ การใช้เชื้อจุลินทรีย์ (*Rhodotorula mucilaginosa*) หลังจากวิธี Ultrasonic และเชื้อจุลินทรีย์ที่ละขั้นตอน การกำจัดสีที่สูงที่สุด 93 เปอร์เซ็นต์ ในตัวอย่างด้วยสีย้อม RR2 ที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นสีย้อมเริ่มต้นและความเข้มข้นของเซลล์เท่ากับ 6 กรัมต่อลิตร การกำจัดสีที่ต่ำที่สุด คือ 25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับสีย้อมเริ่มต้น BY2 100 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นของเซลล์ 4 กรัมต่อลิตร

Kadir Turhan และคณะ งานวิจัยนี้ศึกษาถึงการกำจัดสีจากน้ำเสียซึ่งมีสีข้อมประเภท Sirius Blue SBRR ด้วยโอโซน เพื่อทำให้มลพิษที่มีสาเหตุมาจากอุตสาหกรรมสิ่งทอและจากโรงงานผลิตสีลดน้อยลง กระบวนการกำจัดสีข้อมดำเนินการโดยใช้โอโซนซึ่งพ่นเป็นฟองอยู่ด้านล่างของถังปฏิกรณ์แบบฟองอากาศ ที่บรรจุสารละลายของสีข้อม ตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ ผลของความเข้มข้นของสีข้อม ปริมาณโอโซน อัตราการไหลของโอโซน และค่า pH ของสารละลาย จากผลการทดลองพบว่าอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีข้อมเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของโอโซน และลดลงเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีข้อม อัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของโอโซนและค่า pH ของสารละลายจนถึงจุดสูงสุดแล้วจะลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของโอโซนให้มากขึ้น การกำจัดสีจะทำได้ดีเมื่อสีข้อมในน้ำเสียมีค่า pH เท่ากับ 12 และจะมีฟองอากาศเกิดขึ้นเป็นจำนวนมากเมื่ออัตราการไหลของโอโซนในอากาศสูง ปฏิกิริยาการกำจัดสีจะสมบูรณ์หลังจากการบำบัดน้ำเสียด้วยโอโซนเป็นเวลา 26 นาที จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า โอโซนสามารถกำจัดสีข้อมในน้ำเสียได้อย่างมีประสิทธิภาพ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 สารเคมี

1. สีย้อมชนิด Congo Red เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba จำกัด
2. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Fisher Scientific จำกัด
3. ไพริดีน (Pyridine) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab System จำกัด
4. คอปเปอร์ (II) ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab System จำกัด
5. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท บริษัท Lab Scan จำกัด
6. กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 37 % (HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Etalmar จำกัด

3.2 อุปกรณ์

1. ขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 500 mL
2. จุกยางสำหรับปิดขวดรูปชมพู่ขนาด 250 และ 500 mL
3. กระบอกตวงขนาด 10 และ 100 mL
4. ปิเปตขนาด 5 และ 10 mL
5. บีกเกอร์ขนาด 500, 250, 100, 50 mL
6. ขวดวัดปริมาตรขนาด 50, 250 และ 1000 mL
7. ซ้อนตักสาร
8. กระจกยูนีเวอร์แซลอินดิเคเตอร์
9. หลอดหยด
10. เครื่องเขย่า (Shaker)
11. เครื่องยูวี – วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสี Congo red

1. ชั่ง Congo red ปริมาณ 1.000 กรัม นำมาละลายด้วยน้ำกลั่นให้เข้ากัน จากนั้นเทลงขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร แล้วทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นจะได้ความเข้มข้น 1000 mg/L เก็บไว้เป็นสารละลายสต็อก

2. ปิเปตสารละลายสต็อก Congo red มา 12.5 mL ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 mL จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น จะได้สารละลาย Congo red เข้มข้น 50 mg/L

3. ปิเปต Congo red ตามปริมาตรในตารางที่ 3.1 ใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 mL ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น แล้วนำมาตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงโดยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 468 nm

ตารางที่ 3.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Congo red

ความเข้มข้นของ congo red (mg/L)	ปริมาตร congo red ที่ต้องปิเปต (mL)
0.5	0.5
1	1
2	2
4	4
6	6
8	8
10	10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ปฏิบัติการกำจัดสีด้วย Cu(II)/Pyridine/H₂O₂

ตอนที่ 1 การหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี

1. บีบสารละลายสต็อก Congo red มา 12.5 ml ใส่ลงในขวดวัดปริมาตรขนาด 250 ml จากนั้นทำการปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เทใส่ขวดรูปชมพู่ ขนาด 500 ml จะได้สารละลาย Congo red เข้มข้น 50 mg/L
2. ทำการปรับ pH ของสารละลาย Congo red ด้วยสารละลาย 1 M NaOH หรือ 1 M HCl จนได้ pH ตามตารางที่ 3.2
3. เติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไพริดีน CuSO₄·5H₂O และน้ำกลั่นตามปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 3.2 ใส่ลงในสารละลาย Congo red ที่ปรับ pH แล้ว จะได้ปริมาตรรวมทั้งหมดเป็น 300 mL จากนั้นทำการเขย่าสารละลายด้วยเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิห้อง และเริ่มจับเวลา 60 นาที
4. เมื่อครบเวลาของปฏิบัติการให้นำสารละลายไปวิเคราะห์ความเข้มสีด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 468 nm

ตารางที่ 3.2 การหา pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี Congo red ด้วย Cu(II)/Pyridine/H₂O₂

pH	ความเข้มสี ย้อม (mg/L)	H ₂ O ₂		Pyridine		Cu(II)		ปริมาตร น้ำกลั่น (mL)	เวลา (นาที)
		ความเข้มสี (M)	ปริมาตร (mL)	ความเข้มสี (%v/v)	ปริมาตร (mL)	ความเข้มสี (mM)	ปริมาตร (mL)		
1	50	0.2	5.7	2	5	0.5	1.3	38	60
3	50	0.2	5.7	2	5	0.5	1.3	38	60
5	50	0.2	5.7	2	5	0.5	1.3	38	60
7	50	0.2	5.7	2	5	0.5	1.3	38	60
9	50	0.2	5.7	2	5	0.5	1.3	38	60
11	50	0.2	5.7	2	5	0.5	1.3	38	60

หมายเหตุ pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม Congo red จะนำไปใช้ในการทดลองตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 2 ผลของความเข้มข้น H_2O_2 , Cu(II) และ Pyridine ที่มีผลต่อการกำจัดสีของ Congo red

ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับตอนที่ 1 โดยในแต่ละการทดลองให้ปรับ pH โดยเลือก pH ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 แล้วเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไพริดีน และ $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ตามปริมาณที่กำหนดในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การศึกษา H_2O_2 , Cu(II) และ Pyridine ผลของความเข้มข้นที่มีต่อการกำจัดสีของ Congo red

การทดลองที่	ความเข้มข้นสีของ (mg/L)	H_2O_2		Pyridine		Cu(II)		ปริมาตรน้ำกลั่น (mL)	เวลา (นาที)
		ความเข้มข้น (M)	ปริมาตร (mL)	ความเข้มข้น (%v/v)	ปริมาตร (mL)	ความเข้มข้น (mM)	ปริมาตร (mL)		
1	50	0.05	1.4	2	5	0.5	1.3	42.3	60
2	50	0.1	2.8	2	5	0.5	1.3	40.9	60
3	50	0.2	5.7	2	5	0.5	1.3	38.0	60
4	50	0.5	14.2	2	5	0.5	1.3	29.5	60
5	50	0.2	5.7	0.5	1.3	0.5	1.3	41.7	60
6	50	0.2	5.7	1	2.5	0.5	1.3	40.5	60
7	50	0.2	5.7	5	12.5	0.5	1.3	30.5	60
8	50	0.2	5.7	2	5	0.1	0.3	39.0	60
9	50	0.2	5.7	2	5	0.25	0.6	38.7	60
10	50	0.2	5.7	2	5	1	2.5	36.8	60

หมายเหตุ การทดลองที่ 1-4 เป็นการศึกษารผลของความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การทดลองที่ 3, 5-7 เป็นการศึกษารผลของความเข้มข้นไพริดีน

การทดลองที่ 3, 8-10 เป็นการศึกษารผลของความเข้มข้นคอปเปอร์ (II)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ผลของเวลาที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red

ทำการทดลองเช่นเดียวกับตอนที่ 1 โดยในแต่ละการทดลองให้ปรับ pH โดยเลือก pH ที่เหมาะสมจากตอนที่ 1 และเติมสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ไพริดีน และ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ตามปริมาณที่เหมาะสมจากการทดลองตอนที่ 2 โดยแปรเปลี่ยนเวลาของปฏิกิริยาเป็น 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการกำจัดสีข้อม Congo red ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ Cu(II)/pyridine/H₂O₂ โดยในการนำเสนอผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง จะกล่าวถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่มีต่อการกำจัดสีข้อม Congo red ได้แก่ pH ของสารละลายสีข้อม ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นของไพริดีน ความเข้มข้นของคอปเปอร์ (II) และเวลาในการทำปฏิกิริยา

4.1 การเตรียมกราฟมาตรฐานสารละลายสีข้อม Congo red

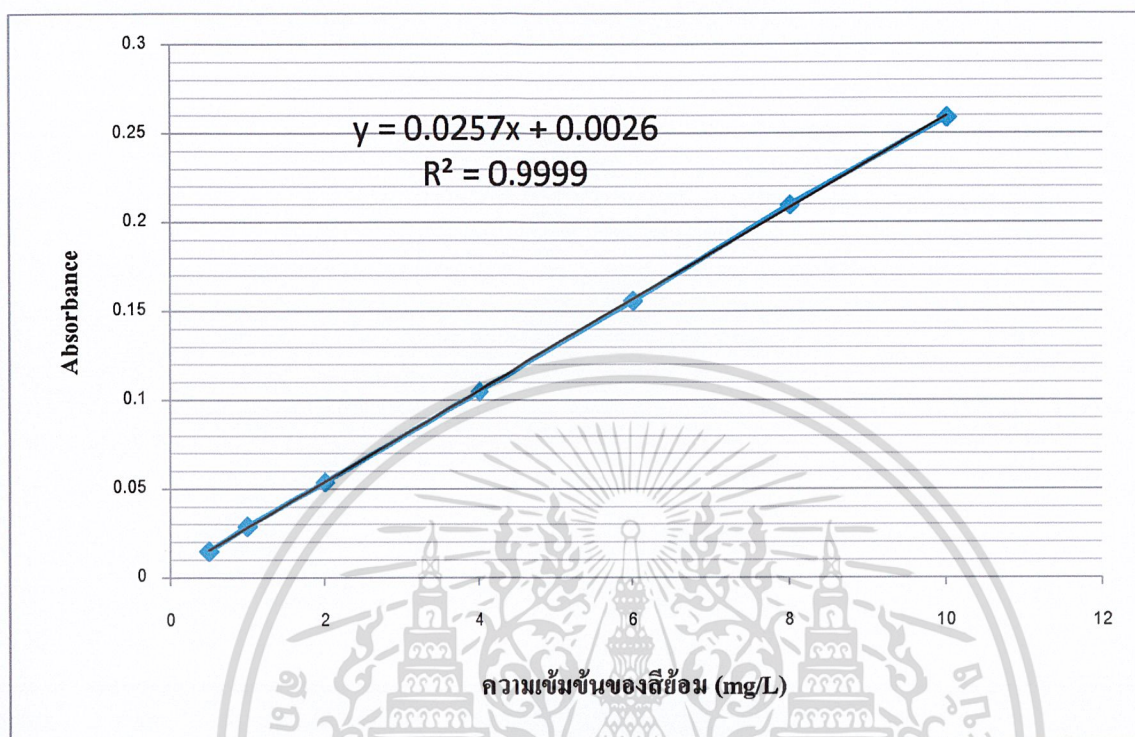
จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานสีข้อม Congo red ที่ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.5 ถึง 10 mg/L แล้วนำไปตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer ได้ค่าการดูดกลืนแสงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงค่า Absorbance ของสารละลายมาตรฐานสีข้อม Congo red

ความเข้มข้นของ Congo red (mg/L)	ค่า Absorbance
0.5	0.015
1	0.029
2	0.054
4	0.105
6	0.156
8	0.210
10	0.259

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.1 ได้กราฟมาตรฐานดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสีย้อม Congo red (mg/L) และค่าการดูดกลืน

จากกราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม Congo red และค่าการดูดกลืนแสงที่ได้มีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรงที่มีค่า $R^2 = 0.9999$ และเป็นไปตามสมการ $y = 0.0257x + 0.0026$ เมื่อ y คือค่าการดูดกลืนแสง และ x คือความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม Congo red (mg/L) กราฟมาตรฐานที่ได้จะนำไปใช้หาความเข้มข้นของสีย้อม Congo red ที่เหลืออยู่หลังปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อม Congo red ด้วยกระบวนการ Cu(II)/Pyridine/H₂O₂ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของตัวแปรกระบวนการที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red

ในการศึกษาผลของตัวแปรที่มีต่อการกำจัดสีย้อม Congo red ในน้ำทิ้งสังเคราะห์ด้วยกระบวนการ Cu(II)/Pyridine/H₂O₂ ตัวแปรเหล่านั้นได้แก่ pH ของสารละลายสีย้อม ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นของไพรีดีน ความเข้มข้นของคอปเปอร์ (II) และเวลาในการทำปฏิกิริยา ดังแสดงในหัวข้อ 4.2.1 – 4.2.5

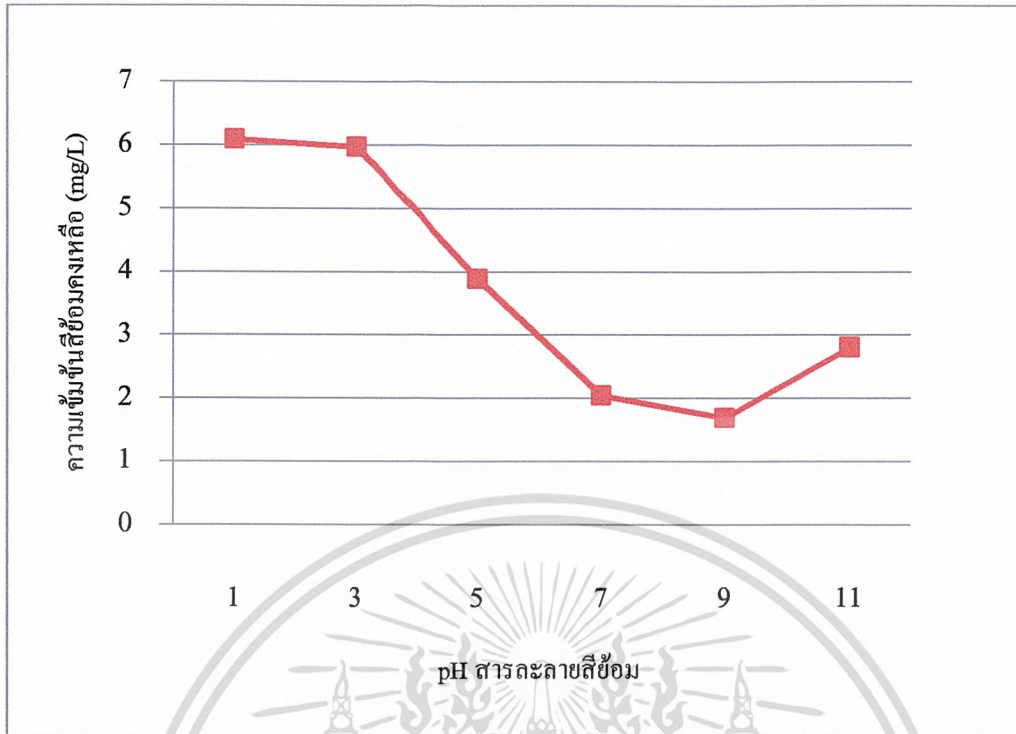
4.2.1 ผลของ pH ของสารละลายสีย้อม Congo red

ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีย้อม Congo red ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลง pH ของสารละลายสีย้อม Congo red เป็น 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 เวลาในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ในปริมาตรโดยรวม (300 mL) กำหนดให้คงที่ นั่นคือความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.167 M ความเข้มข้นของไพรีดีน 1.67 %v/v หรือ 0.208 M (ความหนาแน่นของไพรีดีนเท่ากับ 0.9819 g/mL) ความเข้มข้น Cu(II) 0.417 mM ความเข้มข้นสีย้อมที่คงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red แสดงดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ถึง 4.3

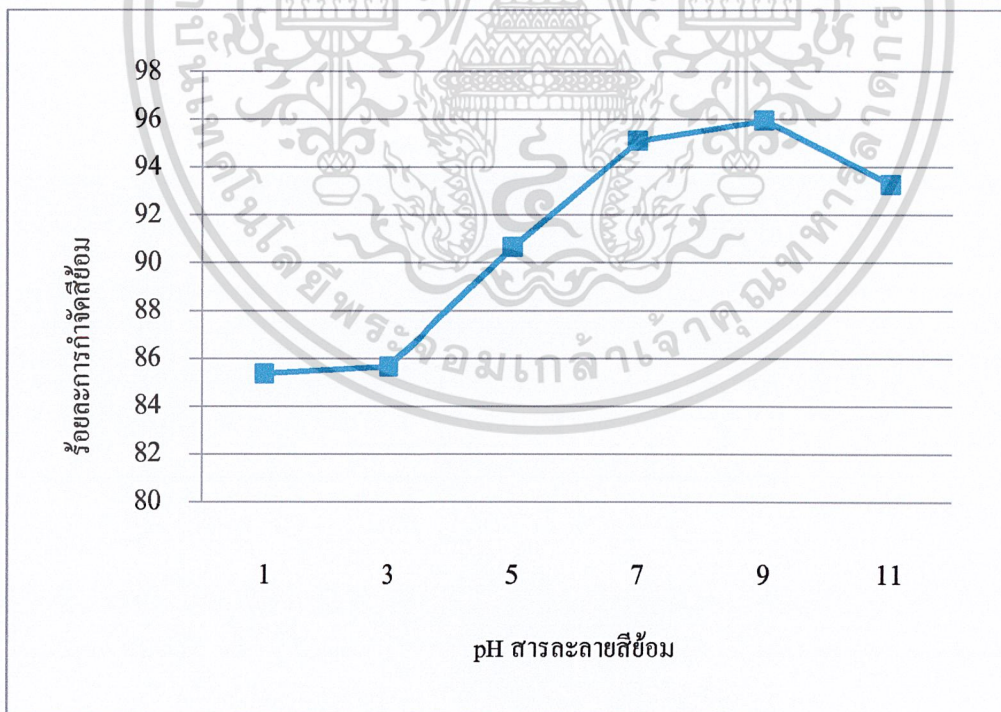
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการหาสถานะ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี Congo red ด้วย Cu(II)/Pyridine/H₂O₂

pH	ความเข้มข้นสีย้อม Congo red เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีย้อม Congo red คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red
1	41.66	6.08	85.37
3	41.66	5.96	85.67
5	41.66	3.88	90.67
7	41.66	2.04	95.10
9	41.66	1.69	95.94
11	41.66	2.81	93.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 ผลของ pH สารละลายสีย้อมที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อม Congo red



รูปที่ 4.3 ผลของ pH สารละลายสีย้อมที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อ pH ของสารละลายเพิ่มขึ้น ปริมาณสีของ Congo red มีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งที่ pH 9 ปริมาณสีของ Congo red จะต่ำที่สุด แต่เมื่อเพิ่ม pH มากกว่า 9 ปริมาณสีของ Congo red ที่เหลืออยู่จะมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.3 ร้อยละการกำจัดสีของ Congo red จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม pH และที่ pH 9 ร้อยละการกำจัดสีของ Congo red จะสูงที่สุด (ร้อยละ 95.94) ดังนั้น pH 9 จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีของ Congo red

ปฏิกิริยาการกำจัดสีของ Congo red ด้วยระบบ Cu(II)/Pyridine/H₂O₂ จะเกิดขึ้นผ่านสารเชิงซ้อนระหว่าง Cu(II) และไพริดีน เมื่อนำสารประกอบคอปเปอร์ในเตรทละลายน้ำ Cu(II) ไอออนจะถูกห้อมล้อมด้วยโมเลกุลของน้ำ ซึ่งเป็นโมโนเดนเตทลิแกนด์ เกิดสารเชิงซ้อน [Cu(H₂O)₆]²⁺ เมื่อ Cu(II) มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 6 จากนั้นไพริดีนซึ่งเป็นโมโนเดนเตทลิแกนด์จะเข้าไปเกิดพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ และได้สารเชิงซ้อนของ Cu(II) ที่มีสูตรทั่วไปคือ [L₂Cu(H₂O)₄]²⁺ จะเข้าทำปฏิกิริยากับ H₂O₂ เกิดไฮโดรเปอร์ออกไซด์แอนไอออน (Hydroperoxide anion, O₂H⁻) ดังสมการ (4.1)



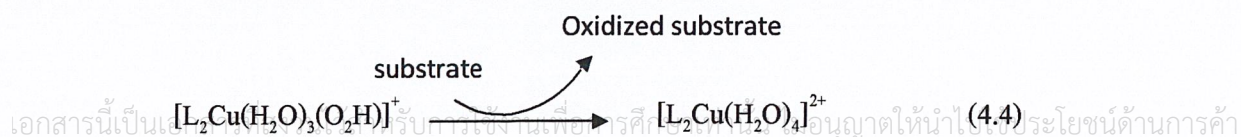
จากนั้น ไฮโดรเปอร์ออกไซด์แอนไอออน จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารเชิงซ้อน [L₂Cu(H₂O)₃]²⁺ ซึ่งเกิดขึ้นจากการหลุดออกของโมเลกุลของน้ำจาก Distorted octahedral ของ [L₂Cu(H₂O)₄]²⁺ ดังสมการ (4.2) และ (4.3)



Copper(II) complex

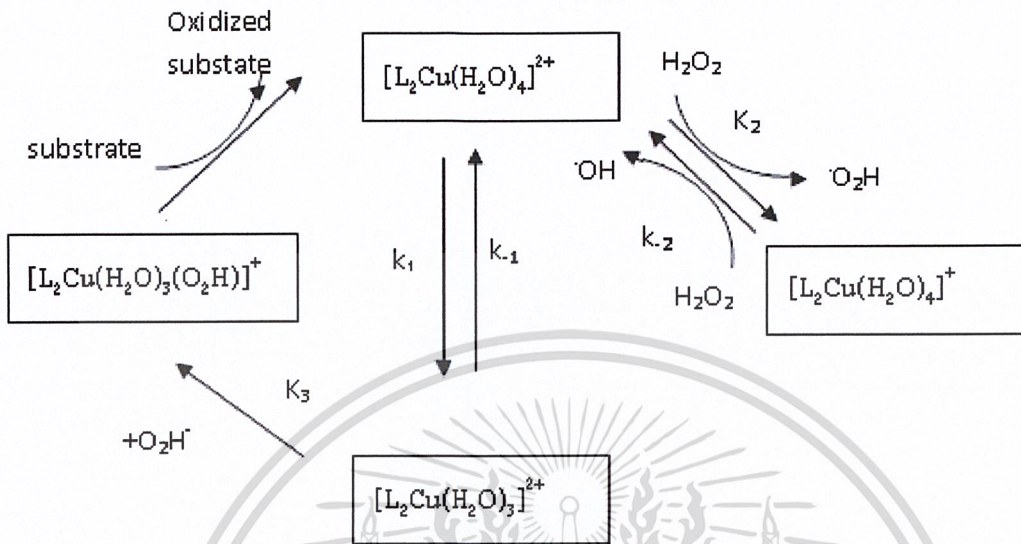
Hydroperoxo complex

จากสมการ (4.3) Hydroperoxo complex ที่เกิดจากปฏิกิริยาของ [L₂Cu(H₂O)₃]²⁺ และ Hydroperoxide anion (O₂H⁻) จะเข้าทำปฏิกิริยากับไอออนออกซิเจน หรือออกซิเดชันกับซับสเตรท (Substrate) ซึ่งคือ สีของ Congo red ดังสมการ (4.4)



ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปฏิกิริยาในสมการ (4.1) - (4.4) นำมาเขียนเป็นรวมกันดังแผนภาพกลไก ดังนี้



แผนภาพกลไกของปฏิกิริยากำจัดสีย้อม

Congo red ในระบบ Cu(II)/Pyridine/H₂O₂

จากแผนภาพกลไกที่ได้กล่าวมา จะเห็นว่าไพริดีน มีความสำคัญต่อปฏิกิริยาเป็นอย่างมาก เนื่องจากสารเชิงซ้อนคอปเปอร์-ไพริดีน จะเป็นตัวที่ทำให้เกิด Hydroperoxide anion (O₂H⁻) ซึ่งมีบทบาทในการออกซิไดส์สีย้อม ดังนั้นในสภาวะที่เป็นกรดสูง (pH ต่ำ) การกำจัดสีย้อมเป็นไปได้น้อย (รูปที่ 4.3) เนื่องจากไพริดีนเป็นลิแกนด์ที่มีความเป็นเบสอ่อน เมื่ออยู่ในสภาวะกรด ไพริดีนอาจถูกโปรโตเนต ทำให้ไพริดีนไม่มีอิเล็กตรอนคู่ที่จะไปสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์ กับ Cu(II) pH มากกว่า 9 จะเกิดการตกตะกอนเป็นคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ (Cu(OH)₂) ดังนั้นปริมาณ Cu(II) ในปฏิกิริยาจะลดลงทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์-ไพริดีนได้น้อย ร้อยละการกำจัดสีย้อมจึงลดลง ดังนั้น pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม Congo red ด้วยกระบวนการ Cu(II)/Pyridine/H₂O₂ คือ pH 9

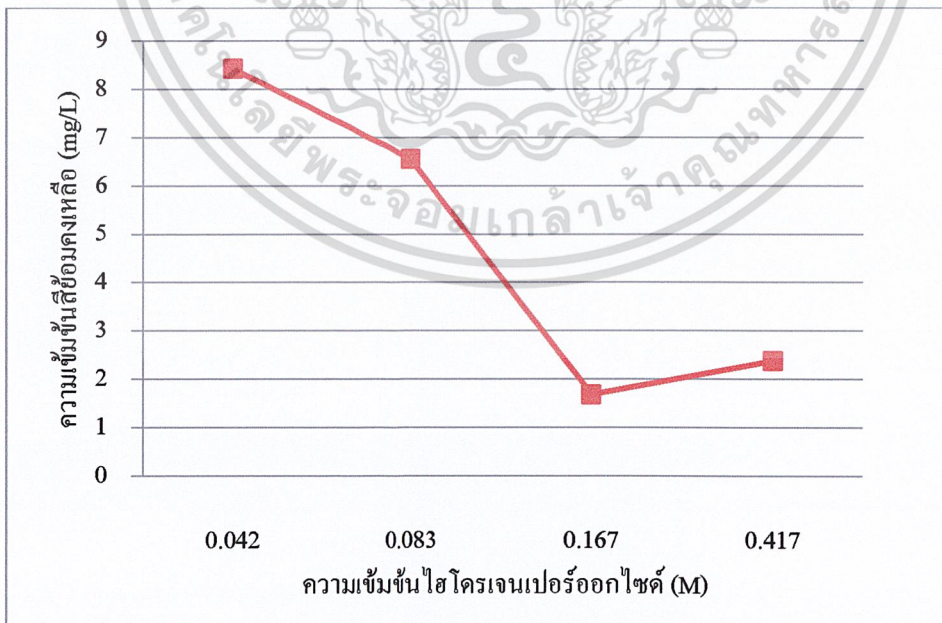
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ผลของความเข้มข้นของ H_2O_2 ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Congo red

ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีย้อม Congo red ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น H_2O_2 เวลาในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ในปริมาตรโดยรวม (300 mL) กำหนดให้คงที่ โดยความเข้มข้นของไพรีดีนเป็น 1.67 %v/v หรือ 0.208 M (ความหนาแน่นของไพรีดีนเท่ากับ 0.9819 g/mL) ความเข้มข้น $Cu(II)$ 0.417 mM ความเข้มข้นสีย้อมที่คงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red แสดงดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 ถึง 4.5

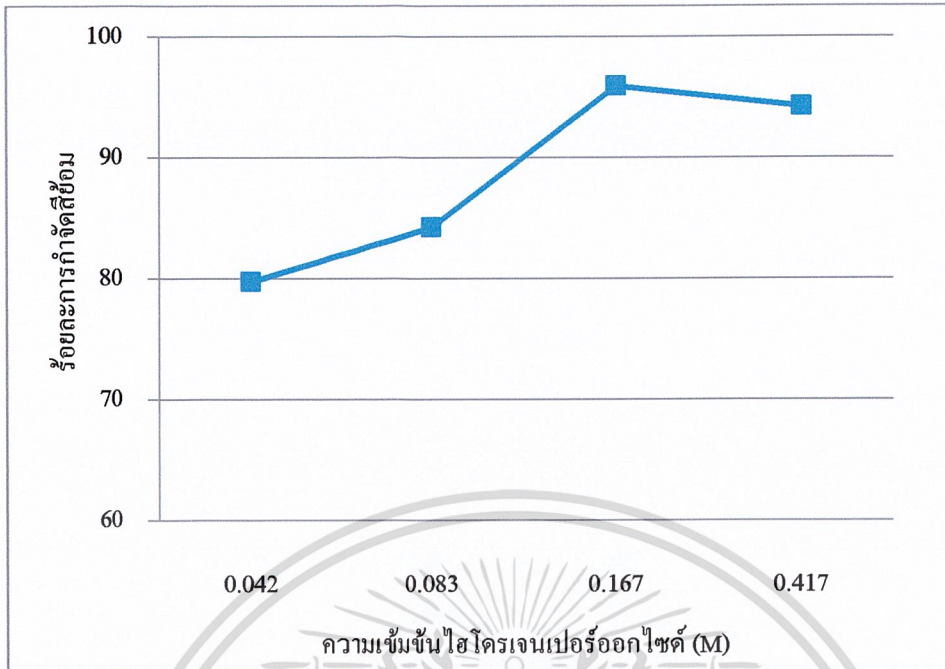
ตารางที่ 4.3 ผลของความเข้มข้น H_2O_2 ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Congo red

การทดลอง ที่ (จาก ตาราง 3.3)	$[H_2O_2]$ ในสารละลาย รวม (M)	ความเข้มข้นสีย้อม Congo red เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีย้อม Congo red คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสี ย้อม Congo red
1	0.042	41.66	8.42	79.76
2	0.083	41.66	6.55	84.25
3	0.167	41.66	1.80	95.94
4	0.417	41.66	2.39	94.26



รูปที่ 4.4 ผลของความเข้มข้น H_2O_2 ที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อม Congo red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ผลของความเข้มข้น H_2O_2 ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม

จากรูปที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ H_2O_2 จาก 0.042 M เป็น 0.167 M ความเข้มข้นสีย้อม Congo red มีแนวโน้มลดลง และ เมื่อความเข้มข้น H_2O_2 สูงกว่า 0.167 M ความเข้มข้นสีย้อม Congo red จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งสอดคล้องกับรูปที่ 4.5 โดยร้อยละการกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้นกับความเข้มข้น H_2O_2 และให้ร้อยละการกำจัดสูงสุดที่ ความเข้มข้น H_2O_2 0.167 M ดังนั้นความเข้มข้นของ H_2O_2 0.167 M เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม congo red

เมื่อเพิ่มความเข้มข้น H_2O_2 จะทำให้ได้ Hydroperoxide anion (OH_2^-) ที่มากขึ้น ซึ่ง OH_2^- จะเข้าไปร่วมกับ Copper(II) complex กลายเป็น Hydroperoxo complex ซึ่งมีความสำคัญในการออกซิไดส์สีย้อม แต่ในการทดลองความเข้มข้นของ Cu(II) และไพริดีนถูกกำหนดให้คงที่ ดังนั้น H_2O_2 ที่มากเกินไปอาจไม่สามารถเข้าร่วมกับ Copper(II) complex ได้ เนื่องจากไม่มีปริมาณ Cu(II) และ Pyridine ที่เหลือที่จะเกิดสารเชิงซ้อนได้

4.2.3 ผลของความเข้มข้นของ Pyridine ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Congo red

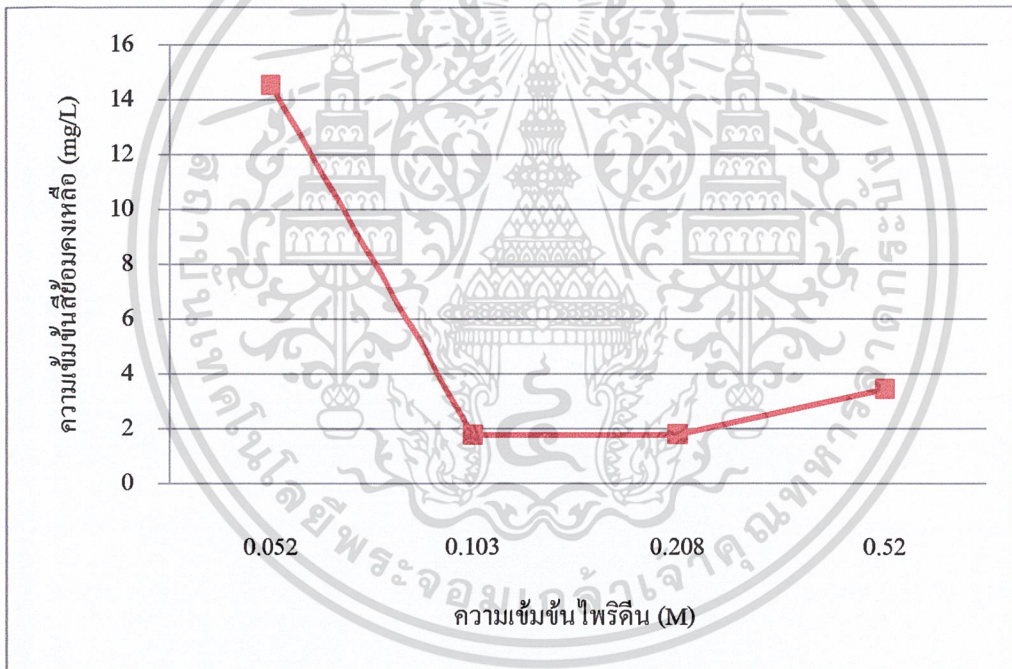
ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีย้อม Congo red ในน้ำที่สังเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไพริดีน เวลาในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ในปริมาตรโดยรวม (300 mL) กำหนดให้คงที่ โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.167 M ความเข้มข้น Cu(II) 0.417 mM ความเข้มข้นสีย้อมที่คงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red แสดงดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.6 ถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4.7 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

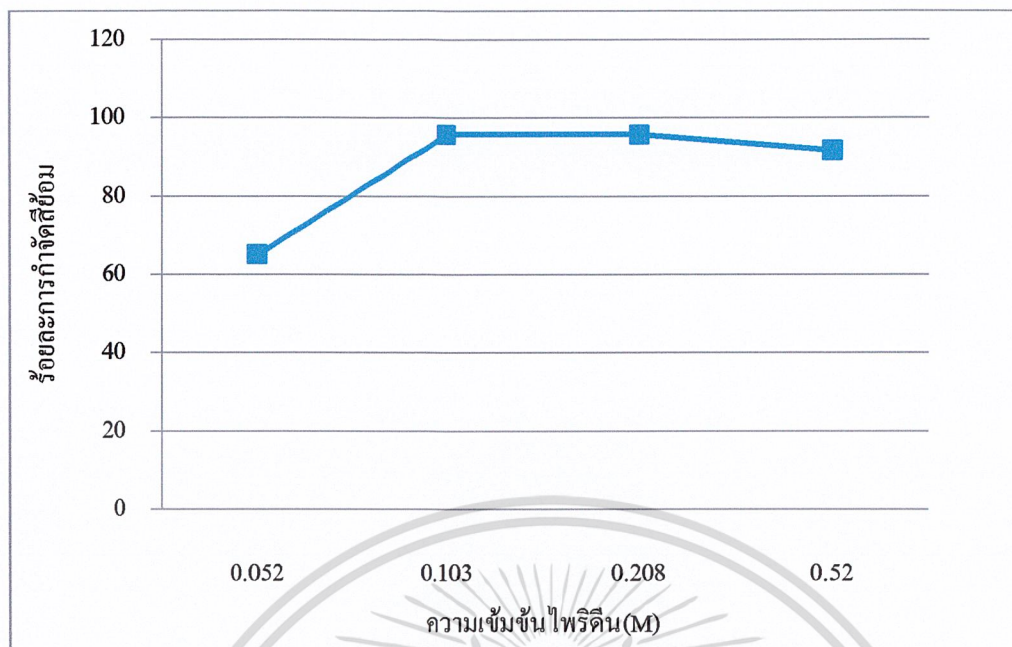
ตารางที่ 4.4 ผลของความเข้มข้นไพริดีนที่มีผลต่อการกำจัดสีของ Congo red

การทดลอง ที่ (จาก ตาราง 3.3)	[pyridine] ในสารละลาย รวม (M)	ความเข้มข้นสีของ Congo red เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีของ Congo red คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสี ของ Congo red
5	0.052	41.66	14.53	65.07
6	0.103	41.66	1.77	95.75
3	0.208	41.66	1.8	95.67
7	0.520	41.66	3.44	91.73



รูปที่ 4.6 ผลของความเข้มข้น Pyridine ที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีของ Congo red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 ผลของความเข้มข้น Pyridine ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าปริมาณของสีย้อม Congo red ลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อความเข้มข้นของไพริดีนเพิ่มขึ้นจาก 0.052 M เป็น 0.103 M เมื่อความเข้มข้นไพริดีนมากกว่า 0.103 M ปริมาณของสีย้อม Congo red ที่เหลืออยู่มีแนวโน้มคงที่ ซึ่งร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red สูงสุดเท่ากับ 95.75 โดยใช้ความเข้มข้นไพริดีน 0.103 M

ไพริดีน ทำหน้าที่เป็นลิแกนด์ที่เข้าไปเกิดสารเชิงซ้อนกับ Cu(II) เมื่อเพิ่มปริมาณไพริดีน จะทำให้ไพริดีนสามารถเข้าไปเกิดสารเชิงซ้อนได้มากขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสีย้อมได้มาก ในการทดลองนี้กำหนดความเข้มข้นของ H_2O_2 และ Cu(II) คงที่ ดังนั้นไพริดีนที่เติมไปมากเกินไปจนเกินกว่าจุดที่เหมาะสม จะไม่สามารถเข้าไปเกิดสารเชิงซ้อนกับ Cu(II) ได้ เนื่องจาก Cu(II) เกิดสารเชิงซ้อนกับไพริดีนแล้ว ดังนั้นร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red จึงมีแนวโน้มคงที่

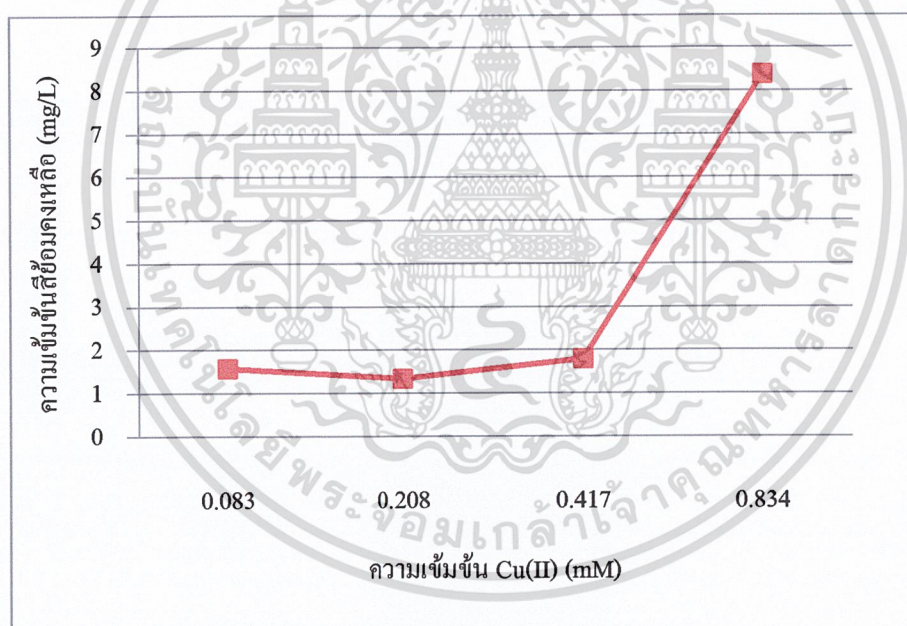
4.2.4 ผลของความเข้มข้นของ Cu(II) ที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อม Congo red

ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีย้อม Congo red ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของคอปเปอร์(II) เวลาในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ในปริมาตรโดยรวม (300 mL) กำหนดให้คงที่ โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.167 M ความเข้มข้นของไพริดีนเป็น 1.67 %v/v หรือ 0.208 M ความเข้มข้นสีย้อมที่คงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red แสดงดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8 ถึง 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

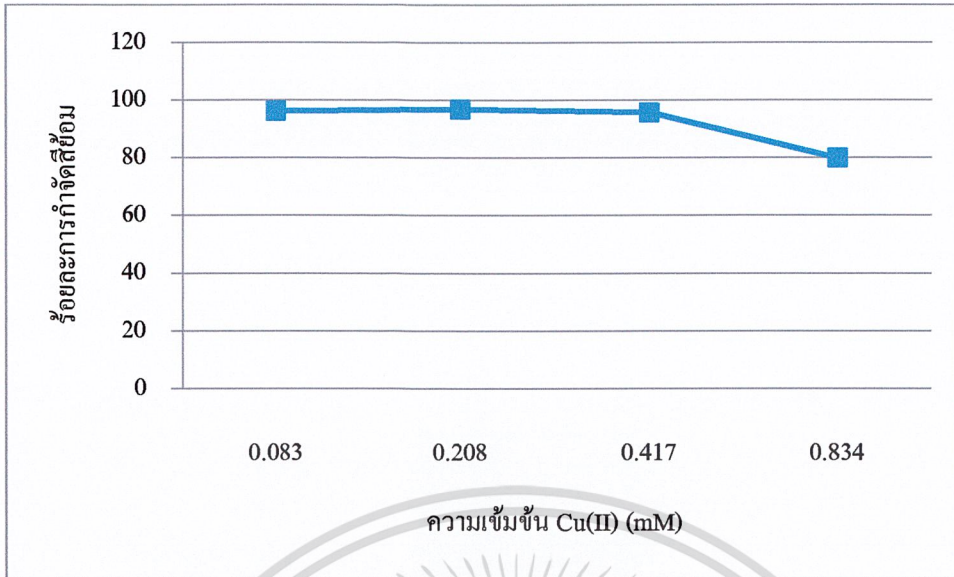
ตารางที่ 4.5 ผลของความเข้มข้นคอปเปอร์(II) ที่มีผลต่อการกำจัดสีของ Congo red

การทดลอง ที่ (จาก ตาราง 3.3)	[Cu(II)] ในสารละลาย รวม (mM)	ความเข้มข้นสีของ Congo red เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีของ Congo red คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสี ของ Congo red
8	0.083	41.66	1.57	96.23
9	0.208	41.66	1.34	96.78
3	0.417	41.66	1.80	95.67
10	0.834	41.66	8.38	79.86



รูปที่ 4.8 ผลของความเข้มข้น Cu(II) ที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีของ Congo red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ผลของความเข้มข้น Cu(II) ที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม

จากรูปที่ 4.8 เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ Cu(II) จาก 0.083 mM เป็น 0.208 mM ความเข้มข้นของสีย้อม Congo red จะลดลง และเมื่อความเข้มข้นของ Cu(II) สูงกว่า 0.208 mM ความเข้มข้นของสีย้อม Congo red จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของ Cu(II) 0.208 mM เป็นความเข้มข้นที่เหมาะสม เนื่องจากได้ร้อยละการกำจัดสูงสุด โดย Cu(II) จะเข้าไปเกิดเป็นสารเชิงซ้อนกับไพริดีนกลายเป็น Copper(II) complex ซึ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันสีย้อมได้ ในการทดลองนี้กำหนดความเข้มข้นของ H_2O_2 และ ไพริดีน คงที่ ดังนั้น Cu(II) ที่เติมไปมากเกินไปเกินกว่าจุดที่เหมาะสม จะไม่สามารถเข้าไปเกิดสารเชิงซ้อนกับไพริดีนได้ เนื่องจากไพริดีนเกิดสารเชิงซ้อนกับ Cu(II) แล้ว

จาก 4.2.1 - 4.2.4 สรุปสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม Congo red ด้วยระบบ Cu(II)/Pyridine/ H_2O_2 คือ pH ของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 9, ความเข้มข้นของ H_2O_2 ไพริดีน และ Cu(II) เท่ากับ 0.167 M, 0.103 mM, 0.208 M ตามลำดับ

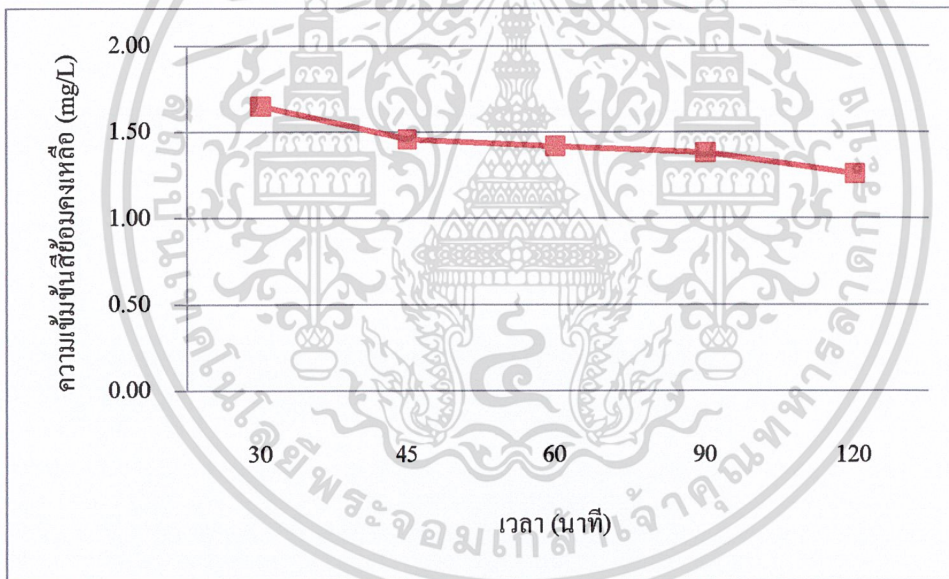
4.2.5 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสี Congo red

ในการทดลองนี้ จะทำการกำจัดสีย้อม Congo red ในน้ำทิ้งสังเคราะห์โดยเปลี่ยนแปลงเวลาในการดำเนินปฏิกิริยาเป็น 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที ความเข้มข้นของสารละลายต่างๆ ในปริมาตรโดยรวม (300 mL) กำหนดให้คงที่ โดยความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 0.167 M ความเข้มข้นของไพริดีน เป็น 0.103 M และความเข้มข้น Cu(II) 0.208 mM ความเข้มข้นสีย้อมที่คงเหลือ และร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red แสดงดังตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10 ถึง 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

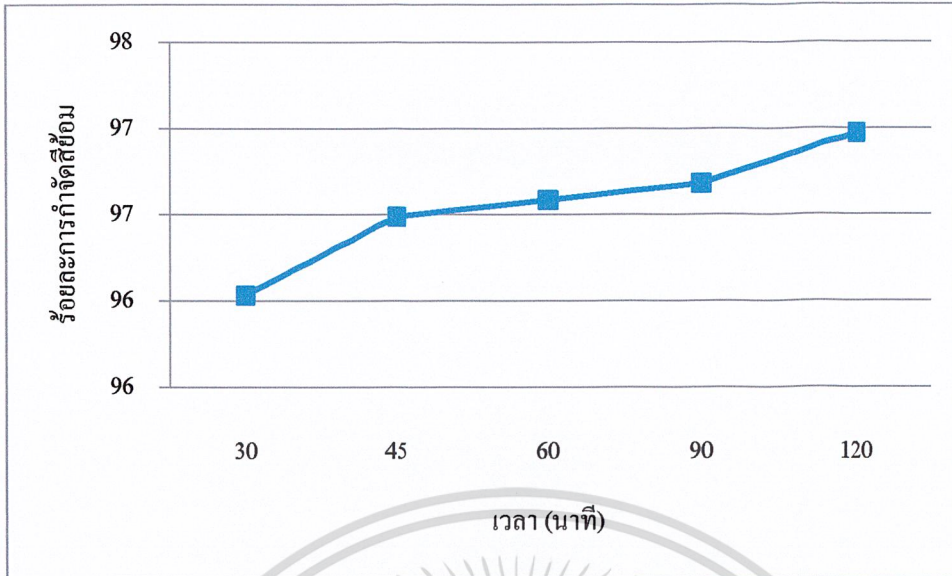
ตารางที่ 4.6 แสดงผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสี Congo red

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นสีย้อม Congo red เริ่มต้น (mg/L)	ความเข้มข้นสีย้อม Congo red คงเหลือ (mg/L)	ร้อยละการกำจัดสี ย้อม Congo red
30	41.66	1.65	96.03
45	41.66	1.46	96.49
60	41.66	1.42	96.59
90	41.66	1.38	96.68
120	41.66	1.26	96.97



รูปที่ 4.10 ผลของเวลาที่มีต่อความเข้มข้นคงเหลือของสีย้อม Congo red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



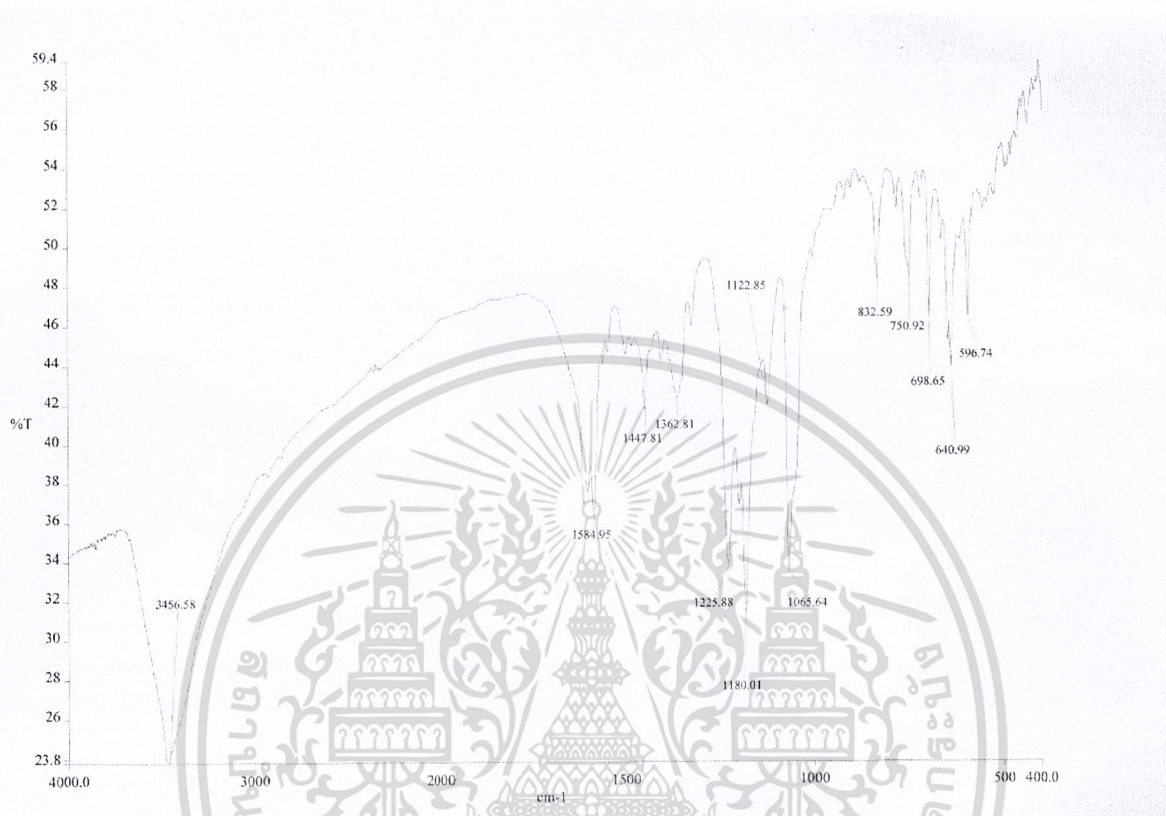
รูปที่ 4.11 ผลของเวลาที่มีต่อร้อยละการกำจัดสีย้อม

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าที่ระยะเวลา 30 , 45 , 60 , 90 และ 120 นาที ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม Congo red มีแนวโน้มจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red มีแนวโน้มจะเพิ่มตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องดังรูป 4.11

เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นการเกิดปฏิกิริยา $[L_2Cu(H_2O)_3]^{2+}$ และ Hydroperoxide anion (O_2H^-) จะเข้าทำปฏิกิริยาถ่ายโอนออกซิเจน หรือออกซิเดชันกับสีย้อม Congo red ได้มากขึ้น และเนื่องจากร้อยละการกำจัดสีย้อม Congo red นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นใช้ระยะเวลา 30 นาทีในการกำจัดสีย้อม Congo red ก็เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

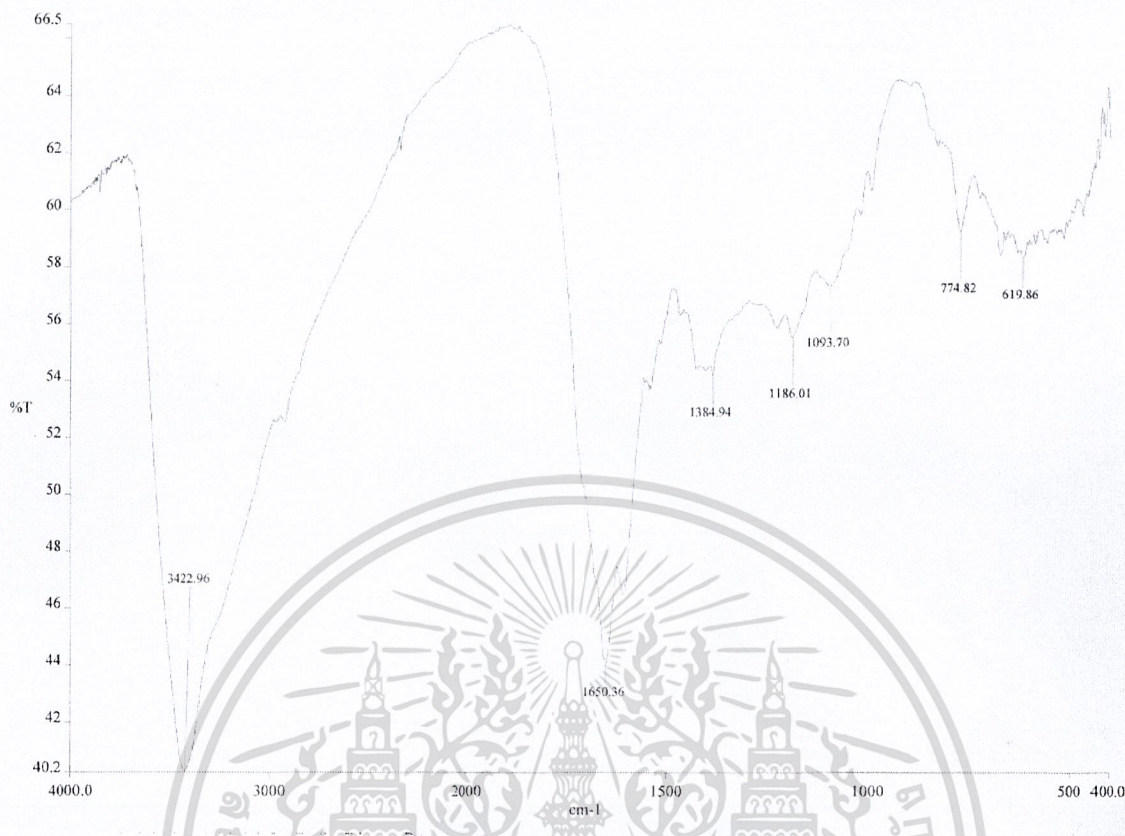
4.3 ผลจากการวัด FTIR



รูปที่ 4.12 ผลจาก FTIR ของสีย้อม Congo red

จากการนำสีย้อม Congo red ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FTIR พบสเปกตรัมลักษณะดังรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าพบพีคที่ความถี่ 640.99 cm^{-1} เป็นพีคของ C-C bending, ที่ความถี่ 698.55 cm^{-1} เป็นพีคของ C-H stretching ของ Disubstituted aromatic compound, ที่ความถี่ 750.92 cm^{-1} เป็นพีคของ Aromatic 1,2-disubstituted, ที่ความถี่ 832.59 cm^{-1} เป็นพีคของ *p*-Disubstituted ring, ที่ความถี่ 1065.64 cm^{-1} เป็นพีคของ S=O stretching ของ Sulfonic acid, ที่ความถี่ 1362.81 cm^{-1} เป็นพีคของ C-N bending, ที่ความถี่ 1447.81 cm^{-1} เป็นพีคของ Aromatic C=C stretching, ที่ความถี่ 1584.95 cm^{-1} เป็นพีคของ N=N stretching และที่ความถี่ 3456.58 cm^{-1} เป็นพีคของ N-H stretching ของ Primary amine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ผลจาก FTIR ของการกำจัดสีย้อม Congo red

เมื่อนำสีย้อม Congo red ที่ผ่านการกำจัดสีย้อมด้วยกระบวนการ $\text{Cu(II)/Pyridine/H}_2\text{O}_2$ ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FTIR พบสเปกตรัมลักษณะดังรูปที่ 4.13 จะเห็นว่าพบพีคที่ความถี่ 774.82 cm^{-1} เป็นพีคของ Aromatic 1,2- disubstituted, ที่ความถี่ 1093.70 cm^{-1} เป็นพีคของ S=O stretching ของ Sulfonic acid, ที่ความถี่ 1384.94 cm^{-1} เป็นพีคของ C-N bending, ที่ความถี่ 3456.58 cm^{-1} เป็นพีคของ N-H stretching ของ Primary amine และที่ความถี่ 1650.36 cm^{-1} เป็นพีคของ N=O stretching ซึ่งพีคของ N=O stretching เกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อผ่านกระบวนการ $\text{Cu(II)/Pyridine/H}_2\text{O}_2$ จะมีการถ่ายโอนออกซิเจนของ Hydroperoxide anion (O_2H^-) ไปยังตำแหน่ง N=N ของสีย้อม Congo red

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาค่า pH ที่เหมาะสมในการกำจัดสีของชนิด Congo red ที่ pH 1, 3, 5, 7, 9 และ 11 พบว่า pH 9 เป็น pH ที่สามารถกำจัดสีของ Congo red ได้ดีที่สุด ซึ่งความเข้มข้นสีของ Congo red คงเหลือเท่ากับ 1.69 mg/L โดยร้อยละการกำจัดสีของ Congo red เท่ากับ 95.94 เนื่องจาก pH 9 มีสถานะที่เป็นเบส ซึ่งเหมาะกับการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบเชิงซ้อนคอปเปอร์-ไพรีดีน เพราะไพรีดีนมีความเป็นเบสอ่อน หากอยู่ในสถานะที่เป็นกรดจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนลดลง

2. จากการศึกษาค่าความเข้มข้นของ H_2O_2 ที่เหมาะสมในการกำจัดสีของชนิด Congo red พบว่าความเข้มข้นที่สามารถกำจัดสีของ Congo red ได้ดีที่สุด คือ 0.167 M โดยร้อยละการกำจัดสีของ Congo red เท่ากับ 95.94 ซึ่งปริมาณ H_2O_2 ที่ใช้ต้องเหมาะสมที่จะเข้าร่วมกับ Copper(II) complex กลายเป็น Hydroperoxo complex ซึ่งมีความสำคัญในการออกซิไดส์สีของ

3. จากการศึกษาค่าความเข้มข้นของไพรีดีนที่เหมาะสมในการกำจัดสีของชนิด Congo red พบว่าความเข้มข้นที่สามารถกำจัดสีของ Congo red ได้ดีที่สุด คือ 0.103 M โดยร้อยละการกำจัดสีของ Congo red เท่ากับ 95.75 ซึ่งเมื่อปริมาณไพรีดีนเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนได้มากขึ้น และทำให้สามารถกำจัดสีได้มาก แต่หากเติมไปมากกว่าจุดที่เหมาะสม ไพรีดีนจะไม่สามารถเข้าไปเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับ Cu(II) ได้ เนื่องจาก Cu(II) เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับไพรีดีนแล้ว

4. จากการศึกษาค่าความเข้มข้นของ Cu(II) ที่เหมาะสมในการกำจัดสีของชนิด Congo red พบว่าความเข้มข้นที่สามารถกำจัดสีของ Congo red ได้ดีที่สุด คือ 0.208 mM โดยร้อยละการกำจัดสีของ Congo red เท่ากับ 96.78 ซึ่งปริมาณของ Cu(II) ที่ใช้ต้องเหมาะสมกับไพรีดีน

5. จากการศึกษาค่าเวลาที่ใช้ในการกำจัดสีของชนิด Congo red ที่ระยะเวลา 30, 45, 60, 90 และ 120 นาที พบว่าความเข้มข้นของสีของ Congo red มีแนวโน้มจะลดลงตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น โดยร้อยละการกำจัดสีของ Congo red มีแนวโน้มจะเพิ่มตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น และเนื่องจากร้อยละการกำจัดสีของ Congo red นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นใช้ระยะเวลา 30 นาทีในการกำจัดสีของ Congo red ก็เพียงพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. วิเคราะห์สีช้อมที่ถูกออกซิไดส์ด้วยเทคนิค FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy)

เพื่อพิสูจน์เอกลักษณ์ของสีช้อม Congo red

2. นำสภาวะที่เหมาะสมไปทดลองน้ำทิ้งจากโรงงานที่มีสีช้อม Congo red
3. ศึกษาผลของอุณหภูมิ เนื่องจากน้ำทิ้งจาก โรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ulusoy Bali, Bünyamin Karagözoglu. Decolorization of Remazol-Turquoise Blue G-133 and other dyes by Cu(II)/Pyridine/H₂O₂ system. *Dyes and Pigments* 2007;73:133-140
- [2] Salem IA. Kinetics of the oxidative color removal and degradation of bromophenol blue with hydrogen peroxide catalyzed by copper (II) supported alumina and cerium. *Appl Catal B Environ* 2000;28:153-62.
- [3] Legrini O, Oliveros E, Braun AM. Photochemical process for water treatment. *Chem Rev* 1993;93:671-98.
- [4] Chung KT, Stevens JR. Decolorization of azo dyes by environmental microorganisms and heminths. *Environ Toxicol Chem* 1993;12:2121-32.
- [5] Wang Z, Yu J. Adsorption and degradation of synthetic dyes on the mycelium of *Tremetes vesicolor*. *Water Sci Technol* 1998;38:233-8.
- [6] Swamy J, Ramsay JA. The evaluation of white rot fungi in the decolorization of textile dyes. *Enzyme Microb Technol* 1999;24:130-7.
- [7] Chang S, Chou C, Chen S. Decolorization of azo dye with immobilized *Pseudomonas luteola*. *Process Biochem* 2001;36(8-9):757-63.
- Lee YH, Pavlostathis SG. Decolorization and toxicity of reactive anthraquinone textile dyes under methanogenic condition. *Water Res* 2004;38(7):1838-52
- [8] Buschmann HJ, Schollmeyer E. Ion-selective dyes for the complexation of alkali and alkaline earth cation. *Supramol Chem* 1997;8:385-8
- [9] Juang RS, Tseng RL, Wu FC, Lee SH. Adsorption behavior of reactive dyes from aqueous solutions on chitosan. *J Chem Technol Biotechnol* 1997;70:391-9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Watanabe T, Nakasubo F. Non-chlorine bleaching of kraft pulp-IV. Oxidation of methyl 4-O-ethyl-D-glucopyranoside with Fenton's reagent: effect of pH and oxygen. *Holzforchung* 1998;52:180-4.
- [11] Yamamoto K, Kawanishi S. Hydroxyl free radical is not the main active species in site specific DNA damage induced by copper(II) ion and hydrogen peroxide. *J Biol Chem* 1989;264:15435-40
- [12] Pecci L, Montefoschi G, Cavallini D. Some new details of the copper hydrogen peroxide interaction. *Biochem Biophys Res Commun* 1997;235(1):264-7
- [13] Robbins MH, Drago RS. Activation of hydrogen peroxide for oxidation by copper (II) complexes. *J Catal* 1997;170:295-303.
- [14] Gierer J, Yang E, Reitberger T. The reaction of hydroxyl radicals with aromatic ring in lignins, studied with creosol and 4-methylveratol. *Holzforsch* 1992;46:494-504.
- [15] Shah V, Verma P, Stopka P, Gabriel J, Baldrain P, Nerud F. Decolorization of dye with copper (II)/organic acid/hydrogen peroxide systems. *Appl Catal B Environ* 2003;46:275-80.
- [16] Verma P, Baldrain P, Nerud F. Decolorization of structurally different dyes using cobalt (II)/ascorbic acid/peroxide system. *Chemosphere* 2003;50:975-9.
- [17] Verma P, Baldrain P, Gabriel J, Trnka T, Nerud F. Copper-ligand complex for the decolorization of synthetic dyes. *Chemosphere* 2004;57:1207-11.
- [18] Watanabe T, Koller K, Messner K. Copper-depolymerization of lignin in the presence of fungal metabolite, lignin. *J Biotechnol* 1998;62:221-30.
- [19] Nanchang D, Feng W, Fan L, Zan L. Photodegradation of dyes in aqueous solution containing Fe(III)-oxalate complexes. *Chemosphere* 1997;35:2697-706.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณ

- การหาปริมาตร H_2O_2 ที่ต้องเติมในสารละลายสี่ข้อม

$$\text{ความเข้มข้น } H_2O_2 \text{ เข้มข้น } 30 \% \text{ w/w} = 30 \times 10 / 34 = 8.82 \text{ M}$$

$$\text{ปริมาตร } H_2O_2 \text{ เข้มข้น } 30 \% \text{ w/w} = \frac{(\text{ความเข้มข้น } H_2O_2) \times (\text{ปริมาตรสารละลายสี่ข้อม})}{8.82}$$

8.82

- การหาปริมาตรโพรีดินที่ต่อเติมในสารละลายสี่ข้อม

ในสารละลายสี่ข้อม 250 ml ต้องเติมโพรีดินจำนวน 5 ml จะได้ความเข้มข้นโพรีดิน 2 % v/v

- การหาปริมาตรของสารละลาย $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ ที่ต้องเติมในสารละลายสี่ข้อม

เตรียมสารละลาย $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.1 M โดยชั่ง $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ มา 1.2475 กรัม ละลายในน้ำกลั่น แล้วเทใส่ขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น

ในการเตรียมสารละลาย $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.1 M ปริมาตร 1 ลิตร จะมี Cu^{2+} 0.1 โมล

ต้องการ $[Cu^{2+}]$ 0.5 mM ใส่ลงในสารละลายสี่ข้อม 250 ml

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นปริมาตรของสารละลาย } CuSO_4 \cdot 5H_2O \text{ 0.1 M ที่ต้องปิเปตมา} &= (0.5 \times 10^{-3} \times 250) / 0.1 \\ &= 1.25 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาการกำจัดสีด้วย $\text{Cu(II)/Pyridine/H}_2\text{O}_2$

ตอนที่ 1 การหา pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี Congo red ด้วย $\text{Cu(II)/Pyridine/H}_2\text{O}_2$

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการหาสภาวะ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดสี Congo red ด้วย $\text{Cu(II)/Pyridine/H}_2\text{O}_2$

pH	ค่า Absorbance				ความเข้มข้น (mg/L)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	0.159	0.157	0.162	0.159	6.0856
3	0.054	0.053	0.054	0.053	1.9611
5	0.052	0.052	0.051	0.051	1.8833
7	0.055	0.054	0.055	0.055	2.0389
9	0.046	0.044	0.047	0.046	1.6887
11	0.048	0.050	0.049	0.049	1.8054

ตอนที่ 2 ผลของความเข้มข้นของ H_2O_2 , Cu(II) และ Pyridine ที่มีผลต่อการกำจัดสี Congo red

ตารางแสดงผลของความเข้มข้น H_2O_2 , Cu(II) และ Pyridine ที่มีผลต่อการกำจัดสี Congo red

Run	ค่า Absorbance				ความเข้มข้น (mg/L)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
1	0.173	0.171	0.170	0.171	6.5525
2	0.204	0.230	0.225	0.219	8.4202
3	0.048	0.051	0.050	0.049	1.8054
4	0.068	0.060	0.065	0.064	2.3891
5	0.422	0.329	0.378	0.376	14.5292
6	0.045	0.052	0.047	0.048	1.7665
7	0.087	0.098	0.088	0.091	3.4397
8	0.041	0.047	0.043	0.043	1.5720
9	0.035	0.041	0.036	0.037	1.3385
10	0.237	0.207	0.212	0.218	8.3813

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอนที่ 3 ผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสี Congo red

ตารางแสดงผลของเวลาที่มีผลต่อการกำจัดสี Congo red

เวลา (นาที)	ค่า Absorbance				ความเข้มข้น (mg/L)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	
30	0.044	0.047	0.045	0.045	1.6498
45	0.040	0.040	0.041	0.040	1.4553
60	0.040	0.038	0.040	0.039	1.4163
90	0.037	0.038	0.038	0.038	1.3774
120	0.035	0.036	0.033	0.035	1.2607



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้