สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยใช้เศษผงเหล็ก

REMOVAL OF DYES FROM WASTEWATER OF LOCAL TEXTILE DYEING PROCESSES USING IRON WASTE PARTICLES

T061203

นรารักษ์ นาเมืองรักษ์
NARARAK NAMAUNGRAK

วพ.
น239ก
2548

เลขหมู่.......
เลขทะเบียน 61203
วัน,เดือน,ปี 17 ก.ค. 2549

b 11594688
i

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2548

ISBN 974-15-2089-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REMOVAL OF DYES FROM WASTEWATER OF LOCAL TEXTILE DYEING PROCESSES USING IRON WASTE PARTICLES

NARARAK NAMAUNGRAK

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMEMT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN ENVIRONMENTAL CHEMISTRY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2005

ISBN 974-15-2089-1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2005

SCOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยใช้เศษผงเหล็ก
นักศึกษา	นางสาวนรารักษ์ นาเมืองรักษ์
รหัสประจำตัว	46064501
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เคมีสิ่งแวดล้อม
พ.ศ.	2548
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกำจัดสีย้อมที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านด้วยเศษผงเหล็กโดยการทดลองแบบแบทช์และคอลัมน์ สีย้อมที่ใช้ในการศึกษา คือ Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 และเศษผงเหล็กที่ใช้ คือ เหล็กเหนียว เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และเหล็กทั้งสามชนิดผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 โดยน้ำหนัก จากการทดลองแบบแบทช์ในสภาวะเหมาะสมโดยใช้เหล็กทั้งสี่ชนิด พบว่ามีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมทั้งสี่มากกว่าร้อยละ 97 นั่นคือชนิดของเศษผงเหล็กไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เศษผงเหล็กหล่อซึ่งมีปริมาณมากในโรงกลึงขนาดใหญ่ สำหรับการลด บีโอดี และซีโอดีของสีย้อมทั้งสี่มีค่าใกล้เคียงกันประมาณร้อยละ 87 และ 76 ตามลำดับ การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งโดยใช้สภาวะเหมาะสมจากการทดลองแบบแบทช์ พบว่าสามารถกำจัดสีได้ประมาณร้อยละ 89 ประสิทธิภาพการกำจัด บีโอดี และซีโอดีประมาณร้อยละ 85 และ 75 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเหล็ก แมงกานีส และโครเมียมหลังการบำบัดในสีย้อมสังเคราะห์ทั้งสี่และน้ำทิ้งมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 14-19, 0.2-0.3 และ 0.01-0.04 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนการทดลองแบบคอลัมน์ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที พบว่าสามารถกำจัดสีย้อมสังเคราะห์ทั้งสี่เป็นเวลา 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัด บีโอดี และซีโอดีประมาณร้อยละ 88 และ 81 ตามลำดับ การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากการทดลองแบบคอลัมน์พบว่าสามารถกำจัดสีได้ดี ประสิทธิภาพการกำจัด บีโอดี และซีโอดีประมาณร้อยละ 83 และ 77 ตามลำดับ ส่วนปริมาณเหล็กและแมงกานีสหลังการบำบัดในสีย้อมสังเคราะห์ทั้งสี่และน้ำทิ้งมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 24-28 และ 1-2 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ในขณะที่ตรวจไม่พบโครเมียมทั้งก่อนและหลังการบำบัด ส่วนพีเอชหลังการบำบัดทั้งการทดลองแบบแบทช์และคอลัมน์ที่วัดได้ประมาณพีเอช 6 นอกจากนี้ยังสามารถนำเศษผงเหล็กกลับมาใช้ใหม่โดยการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก 3% ซึ่งมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้เหล็กใหม่ในการกำจัด จากการนำสภาวะที่ได้จากห้องปฏิบัติการไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านที่จังหวัดกาฬสินธุ์เป็นระยะเวลา 15 วัน พบว่าวิธีนี้สามารถกำจัดสีได้ดี และคุณภาพน้ำทิ้งหลังจากการบำบัดสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติได้โดยตรง อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการกำจัดขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของน้ำทิ้ง

คำสำคัญ : เศษผงเหล็ก, สีย้อม, Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25, Direct Blue 15, กระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

effluence after treatment both in batch and column experiments were about pH 6. In addition, iron waste particles could be regenerated with 3% w/v of hydrochloric acid. Removal of dyes in dyeing wastewater from local textile dyeing processes was also investigated for 15 days at Kalasin, Thailand. It was found that dyes were removed efficiently. However, dye removal efficiency was dependant on wastewater characteristics.

Keywords: Iron waste particles, Dyes, Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25, Direct Blue 15, Local Textile Dyeing Process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากผู้จัดทำได้รับความช่วยเหลือจากบุคคลผู้มีพระคุณหลายท่าน ดังนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน อาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาอย่างใกล้ชิด และเสนอแนะแนวทางแก้ปัญหา รวมทั้งตรวจแก้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

ขอขอบพระคุณ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ และ ผศ.พิสมัย ชัยรัตน์อุทัย อาจารย์ประจำภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำ และช่วยตรวจสอบเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.เสาวภาค สุขตระกูลเวศ หัวหน้าภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้ให้คำแนะนำ ความถูกต้อง และความเรียบร้อยของวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ เจ้าหน้าที่ห้องธุรการ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ ที่ให้ความร่วมมือ และอำนวยความสะดวก ในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณกลุ่มแม่บ้านเลี้ยงม่อน-ไหม ชาวบ้านหมู่บ้านสองห้อง ต.ร่องคำ อ.ร่องคำ จ.กาฬสินธุ์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวอย่างน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน และสถานที่ทำการทดลอง

สุดท้ายนี้ผู้จัดทำ ขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และบุคคลในครอบครัว รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจตลอดในการทำวิทยานิพนธ์

นางสาวนรารักษ์ นาเมืองรักษ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	IX
สารบัญรูป	XIV
รายการคำย่อและสัญลักษณ์	XVII
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**4**
2.1 สีย้อม	4
2.1.1 การตั้งชื่อสี	5
2.1.2 คุณสมบัติของสีย้อม	6
2.1.3 องค์ประกอบสีย้อม	6
2.1.4 การจำแนกประเภทของสีย้อม	7
2.1.5 ชนิดของสีย้อมที่ใช้ในการย้อมไหม	11
2.1.6 กระบวนการฟอกย้อมไหม	14
2.1.7 ประเภทสิ่งสกปรกเจือปนในน้ำเสีย	15
2.1.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสีย้อม	17
2.1.9 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้า	18
2.2 เหล็ก	21
2.2.1. ชนิดของเหล็ก	21
2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี	22
2.2.3 การกัดกร่อน	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน	26
2.2.5 ปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อมโดยใช้เศษผงเหล็ก	26
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	27
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	**30**
3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี	30
3.1.1 อุปกรณ์	30
3.1.2 สารเคมี	31
3.2 การดำเนินงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ	32
3.2.1 การเตรียมเศษผงเหล็ก	32
3.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของเศษผงเหล็กแต่ละชนิด	32
3.2.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์	32
3.2.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อม	33
3.2.5 ศึกษาผลของชนิดของเศษผงเหล็กต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิดโดยการทดลองแบบแบทช์	33
3.2.6 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็กโดยการทดลองแบบคอลัมน์	33
3.2.7 ศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็กโดยการทดลองแบบคอลัมน์	34
3.2.8 ศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากการทดลองแบบแบทช์และแบบคอลัมน์	34
3.3 การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน	34
3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	34
3.3.2 การติดตั้งระบบและการทำงาน	35
3.3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์	36
บทที่ 4 ผลการทดลอง	**39**
4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเศษผงเหล็ก	39
4.2 ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 คุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังบำบัด
ด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์.. 45
4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็ก
โดยการทดลองแบบคอลัมน์.. 47
4.5 คุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการกำจัดสีย้อม
ด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์.. 48
4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อม
สิ่งทอพื้นบ้าน.. 49
4.7 ศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก........................ 50
4.8 การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน. 51

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.. 54
5.1 สรุปผลการวิจัย.. 54
5.2 ข้อเสนอแนะ.. 55

บรรณานุกรม... 56

ภาคผนวก
ภาคผนวก ก. กราฟมาตรฐานของสีย้อม.. 60
ภาคผนวก ข. ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิด.................................... 65
ภาคผนวก ค. ค่า BOD, COD, SS, pH และโลหะหนักของสีย้อม.................................. 74
ภาคผนวก ง. การหาค่า ADMI โดยใช้เครื่อง Single Beam Spectrophotometer........... 83
ภาคผนวก จ. การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน
ของชุมชนแห่งหนึ่งในจังหวัดกาฬสินธุ์.. 97
ภาคผนวก ฉ. มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม.. 107

ประวัติผู้เขียน.. 110

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า

2.1 สีย้อมไหมที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ.. 4

2.2 ประเภทของสีย้อมโดยจำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี........................ 11

2.3 สมบัติของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมก่อนการบำบัดแบ่งตามผลิตภัณฑ์............... 16

2.4 ตารางเปรียบเทียบวิธีการคำนวณค่าอัตราการกัดกร่อน.................................... 25

3.1 เครื่องมือที่ใช้แสดงคุณสมบัติของเศษผงเหล็ก.. 32

3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์.. 38

4.1 ขนาดของเศษผงเหล็กแต่ละชนิด แยกขนาดโดยใช้ Sieve.................................. 41

4.2 พื้นที่ผิวของเศษผงเหล็กแต่ละชนิดวิเคราะห์โดยใช้ Autosorb.............................. 41

4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเศษผงเหล็กแต่ละชนิดวิเคราะห์โดยใช้ XRF...................... 41

4.4 องค์ประกอบของเศษผงเหล็กหล่อก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิด
เคราะห์โดยใช้ EDS.. 44

4.5 ผลการวิเคราะห์ค่า BOD, COD, pH, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม
Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25, Direct Blue 15
ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์................ 46

4.6 ผลการวิเคราะห์ค่า BOD, CO, pH, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม
Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25, Direct Blue 15
ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์.............. 48

4.7 ผลการวิเคราะห์ค่า BOD, COD, pH, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม
จากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านก่อนและหลังการบำบัด
โดยการทดลองแบบแบทช์.. 49

4.8 ผลการวิเคราะห์ค่า BOD, COD, pH, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม
จากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านก่อนและหลังการบำบัด
โดยการทดลองแบบคอลัมน์.. 50

ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5...... 61

ก.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม Reactive Blue........ 62

ก.3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม Acid Blue 25......... 63

ก.4 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม Direct Blue 15........ 64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.1.1	ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ที่ความเข้มข้น 100มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที..............	66
ข.1.2	ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue ที่ความเข้มข้น 100มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที..............	66
ข.1.3	ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม Acid Blue 25 ที่ความเข้มข้น 100มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที..............	67
ข.1.4	ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม Direct Blue 15 ที่ความเข้มข้น 100มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที..............	67
ข.2.1	ผลชนิดของสีย้อมที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที (การทดลองแบบแบทซ์)..	68
ข.2.2	ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที (การทดลองแบบแบทซ์)...........	68
ข.3.1	ผลประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)..	69
ข.3.2	ผลประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)..	69
ข.3.3	ผลประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อม Acid Blue 25 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)..	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ข.3.4	ผลประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อม Direct Blue 15 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)	71
ข.4.1	ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (เริ่มต้น) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)	71
ข.4.2	ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (ครั้งที่ 1) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)	72
ข.4.3	ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (ครั้งที่ 2) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)	72
ข.4.4	ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (ครั้งที่ 3) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)	73
ข.4.5	ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (ครั้งที่ 4) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)	73
ค.1.1	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue 5 (ก่อนการทดลอง)	75
ค.1.2	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue (ก่อนการทดลอง)	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
ค.1.3	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Acid Blue 25 (ก่อนการทดลอง)..	76
ค.1.4	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Direct Blue 15 (ก่อนการทดลอง)..	76
ค.1.5	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน (ก่อนการทดลอง)...	77
ค.2.1	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง).........	77
ค.2.2	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง).........	78
ค.2.3	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Acid Blue 15 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง)........	78
ค.2.4	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Direct Blue 25 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง).........	79
ค.2.5	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง)..	79
ค.3.1	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)......	80
ค.3.2	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)......	80
ค.3.3	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Acid Blue 15 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)......	81
ค.3.4	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Direct Blue 25 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)......	81
ค.3.5	ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)..	82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ง.1 แสดงโคออร์ดิเนตที่ต้องวัดในการวัดสีด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์................................	85
จ.1.1 ผลแสดงพารามิเตอร์ทั้งก่อนและหลังกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านของชุมชน...	98
ฉ.1 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ....................	109

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 โครงสร้างสีย้อม Reactive Blue 5 12

2.2 โครงสร้างสีย้อม Acid Blue 25 13

2.3 โครงสร้างสีย้อม Direct Blue 15 13

2.4 ขั้นตอนการเตรียมเส้นไหมดิบ 14

2.5 ขั้นตอนการฟอกย้อมสีไหม 14

2.6 องค์ประกอบของระบบไฟฟ้าเคมี 20

2.7 ปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อม Acid Orange 2 โดยใช้ Fe^0 27

3.1 แผนภาพแสดงรายละเอียดแบบจำลองคอลัมน์ 35

3.2 แผนภาพแสดงการติดตั้งระบบ 36

3.3 ขั้นตอนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านและการเกิดน้ำทิ้ง 37

4.1 ลักษณะทางกายภาพของเศษผงเหล็กแต่ละชนิด 39

4.2 พื้นผิวของเศษผงเหล็กวิเคราะห์ด้วย SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า 40

4.3 ประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กแต่ละชนิดในการกำจัดสีย้อม 42

4.4 โครงสร้างของเศษผงเหล็กหล่อก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิด วิเคราะห์โดยใช้ EDS 43

4.5 การกำจัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ 45

4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิด ด้วยเศษผงเหล็กหล่อที่เวลาต่าง ๆ โดยการทดลองแบบคอลัมน์ 47

4.7 ประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็กหล่อ ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 50

4.8 ประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อมทั้งก่อนและหลังกำจัดสีย้อม จากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน 51

4.9 ปริมาณ BOD และ COD ก่อนและหลังการบำบัดสีย้อม จากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน 52

4.10 ค่า pH ก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการ ฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน 52

4.11 ปริมาณของเหล็กก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อม ฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน 52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.12	ปริมาณของโครเมียมและแมงกานีสก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน	53
ก.1	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5	61
ก.2	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Reactive Blue	62
ก.3	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Acid Blue 25	63
ก.4	กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Direct Blue 15	64
ง.1	กราฟมาตรฐานระหว่างค่า DE และ F	96
จ.1.1	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 1)	99
จ.1.2	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 2)	99
จ.1.3	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 3)	100
จ.1.4	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 4)	100
จ.1.5	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 5)	101
จ.1.6	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 6)	101
จ.1.7	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 7)	102
จ.1.8	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 8)	102
จ.1.9	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 9)	103
จ.1.10	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 10)	103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
จ.1.11	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 11)........	104
จ.1.12	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 12)........	104
จ.1.13	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 13)........	105
จ.1.14	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 14)........	105
จ.1.15	รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 15)........	106

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

คำย่อ	ความหมาย
Fe	เหล็ก
Cr	โครเมียม
Mn	แมงกานีส
UV-Vis	ยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
AAS	อะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer)
XRF	เอ็กซเรย์ฟลูออเรสเซนต์ (X-ray Fluorescence Spectrometer)
SEM	สแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope)
EDS	เอนเนอจีดิสเพอร์ซีฟสเปกโตรมิเตอร์ (Energy Dispersive Spectrometer)
BOD	ปริมาณออกซิเจนที่ถูกจุลินทรีย์ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand)
COD	ปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ (Chemical Oxygen Demand)
SS	ของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids)
ND	ตรวจไม่พบ (Not Detectable)
mg/l	มิลลิกรัมต่อลิตร
cm	เซนติเมตร
nm	นาโนเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

การฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านของชาวบ้านในท้องถิ่นต่าง ๆ ในอดีตจะใช้วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติ เช่น ครั่ง และบางส่วนของต้นไม้ เนื่องจากการใช้สีธรรมชาติมีข้อจำกัดมากมาย ได้แก่ จำนวนของวัตถุดิบลดลง คุณภาพของสี ค่าความคงทนต่อแสง ค่าความคงทนต่อการซัก หรือการขัดถูอยู่ในเกณฑ์ต่ำ รวมทั้งวิธีการย้อมด้วยสีธรรมชาติเป็นวิธีที่ยุ่งยาก และใช้เวลานาน ดังนั้น สีที่สังเคราะห์จากสารเคมีจึงได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น เนื่องจากหาซื้อได้ง่าย สีติดทนนาน มีหลายสีให้เลือก ย้อมง่าย สีมีความสวยสดกว่า และทนแดดได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามสีสังเคราะห์จะมีความเป็นพิษสูงกว่า และกำจัดได้ยากทำให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ปัจจุบันมีการส่งเสริมอุตสาหกรรมสิ่งทอของไทยให้เป็นที่รู้จักทั่วโลก โดยเฉพาะสิ่งทอประเภทผ้าไหม ทำให้มีแหล่งผลิตทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น และกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศไทย โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านที่เป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน จากการที่น้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยทั่วไปจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมโดยไม่ผ่านกระบวนการบำบัด ทำให้เกิดการปนเปื้อนของสีในดิน แหล่งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน ซึ่งต่างจากในอุตสาหกรรมฟอกย้อมขนาดใหญ่ที่มีกระบวนการบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม และมีหน่วยงานราชการเข้ามาควบคุมดูแลไม่ให้ปล่อยน้ำทิ้งเกินค่ามาตรฐานที่กำหนด ดังนั้น น้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน จึงเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญอีกแหล่งหนึ่งที่ไม่ควรมองข้าม

ประเภทสีย้อมสังเคราะห์ละลายน้ำได้ที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ สีรีแอกทีฟ (reactive dyes) สีแอซิด (acid dyes) สีไดเรกท์ (direct dyes) สามารถใช้ย้อมกับเส้นใยเซลลูโลส (เส้นใยพืช) และเส้นใยโปรตีน (เส้นใยสัตว์) เช่น ไหม ฝ้าย ปอ ป่าน เป็นต้น โดยเฉพาะสีรีแอกทีฟเป็นสีที่นิยมใช้ในกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอ เนื่องจากสามารถใช้ย้อมกับเส้นใยเกือบทุกชนิด จากการที่สีเหล่านี้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีสูตรโครงสร้างใหญ่ซับซ้อน มีความคงทน ไม่ซีดจางง่าย จึงถูกกำจัดได้ยากในสภาพตามธรรมชาติ

การกำจัดสีจากน้ำทิ้งสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมี (Chemical coagulation) เช่น ปูนขาวหรือสารส้ม การเกิดออกซิเดชันทางเคมี (Chemical oxidation) ด้วยโอโซน (O_3) หรือคลอรีน (Cl_2) และการดูดซับด้วยผงถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในปัจจุบัน แต่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เนื่องจากสารเคมีมีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น กระบวนการกำจัดสีย้อมโดยใช้เศษผงเหล็ก ซึ่งเป็นเป็นตัวรีดิวส์ที่ดี และเป็นวัสดุที่หาง่าย มีราคาถูก เหมาะที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอพื้นบ้าน

งานวิจัยนี้ศึกษาการกำจัดสีย้อมประเภทละลายน้ำได้จากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เศษผงเหล็ก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้จากโรงกลึง ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิดโดยใช้เศษผงเหล็กประเภทต่าง ๆ ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของหลังการรีเจนเนอเรทเศษผงเหล็ก รวมทั้งศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมโดยใช้ผงเศษเหล็กแต่ละชนิด ได้แก่ เหล็กเหนียว เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และเหล็กผสมทั้ง 3 ชนิด
2. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมประเภทละลายน้ำได้ ได้แก่ สีรีแอกทีฟ สีแอซิด สีไดเรกท์ โดยใช้เศษผงเหล็ก
3. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่าง ๆ ของเศษผงเหล็กหลังจากผ่านการรีเจนเนอเรท
4. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพกำจัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านในท้องถิ่นต่าง ๆ โดยใช้เศษผงเหล็ก

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของเศษผงเหล็ก ได้แก่ องค์ประกอบทางเคมีของเศษผงเหล็กโดยใช้เครื่อง XRF (X-ray Fluorescence Spectrometer) องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในเศษผงเหล็กใช้เครื่อง EDS (Energy Dispersive Spectrometer) พื้นที่ผิวโดยใช้เครื่องออโตซอร์บ (autosorb) และลักษณะของอนุภาคใช้เครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

2. นำสภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองแบบครั้ง (batch test) ที่พีเอช 3, ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที, ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที, ขนาดของเศษผงเหล็ก 12-100 เมช, ความเข้มข้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณเศษผงเหล็ก 20 กรัมต่อลิตร (วรรณวิภา ผลาหาญ. 2547) เพื่อใช้ในการศึกษาผลของชนิดของเศษผงเหล็กต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม โดยใช้เศษผงเหล็ก 4 ชนิด คือ เหล็กเหนียว เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และเหล็กผสมทั้ง 3 ชนิด และศึกษาประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัด สีรีแอกทีฟ สีแอซิด และสีไดเรกท์

3. ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้การทดลองแบบคอลัมน์ (column test) โดยใช้สภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที ระยะเวลากักเก็บ 7.86 นาที และความเข้มของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (วรรณวิภา ผลาหาญ. 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมประเภทละลายน้ำได้ของเศษผงเหล็ก หลังจากผ่านการรีเจนเนอเรทด้วยกรดไฮโดรคลอริก 3%

5. นำสภาวะเหมาะสมที่ได้จากการทดลองไปใช้ในการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน ซึ่งได้แก่ สิ่งทอประเภทผ้าไหมของชุมชนในท้องถิ่น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ใช้เศษผงเหล็ก ซึ่งเป็นวัสดุเหลือใช้ให้เกิดประโยชน์ในการกำจัดสีย้อม
2. เป็นวิธีกำจัดสีย้อมที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว มีต้นทุนต่ำ และมีประสิทธิภาพสูง
3. ลดมลพิษที่เกิดจากสีย้อม
4. ถ่ายทอดวิธีการกำจัดสีย้อมโดยใช้เศษผงเหล็ก ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก ให้แก่ อุตสาหกรรมสิ่งทอพื้นบ้าน

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สีย้อม (Dyes)

สีย้อมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1) สีย้อมธรรมชาติ (Natural dyes)

การย้อมสีเส้นใย และเสื้อผ้าด้วยวัสดุธรรมชาติ ในสมัยโบราณทำกันอย่างแพร่หลายทั่วทุกภาคของไทย ทั้งภาคเหนือ ภาคใต้ ภาคกลาง และภาคอีสาน ความรู้เกี่ยวกับต้นไม้และสัตว์ที่นำมาใช้ย้อมสีได้ถูกบันทึกไว้ตามเอกสารต่างๆ รวมทั้งการถ่ายทอดด้วยปากเปล่า สืบมาจนถึงปัจจุบัน (พูนทรัพย์ สวนเมือง ตุลาพันธ์ และคณะ. 2542 : 2) สีจากวัสดุธรรมชาติที่ใช้ย้อมไหมดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สีย้อมไหมที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ (สำนักวิชาการป่าไม้. 2539 : 169-176)

สี	ย้อมด้วย
1. สีกากี	ขมิ้นชัน ใบสัก และเปลือกไม้
2. สีกากีแก่หรือสีกลัก	แก่นขนุน
3. สีกากีแกมเขียวหรือสีเขียวแก่	ใบสมอป่า
4. สีกากีแกมเขียวหรือสีเขียวแก่	แก่นขนุน เปลือกเพกา
5. สีเขียวอ่อน	ใบแค
6. สีเขียวแก่	เปลือกสมอกับใบสมอ
7. สีเขียวตองอ่อน	ใบสับปะรดอ่อน กับน้ำมะนาวหรือน้ำมะกรูด
8. สีเหลือง	หัวขมิ้น, หัวขมิ้นสวน, แก่นไม้แกแล, เปลือกไม้, นมแมว, แก่นไม้แกแลและแก่นขนุน, ลูกมะคาย,ลูกมะแสดกับด่างไม้, มะแก, หัวขมิ้นสวนกับใบฝรั่ง
9. สีเหลืองอ่อน	แก่นแกแล, รากไม้ยอป่ากับผิวมะกรูด
10. สีเหลืองแก่	แก่นขนุน
11. สีจำปา	ดอกคำแสด
12. สีไพร	แก่นยอป่า
13. สีนวล	รากยอป่า
14. สีแสด	ผลแสด, ลูกและใบแสด
15. สีแดงยอ	เปลือกสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สี	ย้อมด้วย
16. สีแดง	รากยอป่าและต้นมะไฟป่าผสมด้วยน้ำมันปลา,น้ำมันหมู และน้ำมันเม็ดกระทงลาย
17. สีแดง	ด่างไม้เหมือด 3 ส่วน
18. สีแดง	ด่างไม้เหมือดกับน้ำมันปลา 1 ส่วน และรากป่ายอ
19. สีแดง	ผลคำแสด, รากยอ, ครั่ง
20. สีคราม	รากและใบต้นครามผสมปูนขาวและน้ำด่าง
21. สีดำ	ผลสมอแท่น, เปลือกและใบสมอ, เปลือกและใบเบน, ผลสีฟัน, ผลมะเกลืออ่อนและใบคะเมงกับรากชะพลู

2) สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic dyes)

สีย้อมสังเคราะห์ในปัจจุบันเป็นสารเคมีสกัดจากน้ำมันถ่านหิน มีโครงสร้างสีต่างกันในเชิงการค้ามากกว่า 7,000 ชนิด ที่บันทึกใน CI (Color Index) คุณภาพของสีย้อมในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการดูดติดของสีกับเส้นใยมากกว่าความสามารถในการรวมตัวกับน้ำ แรงดูดติดของสีย้อมขึ้นกับอิทธิพลเชิงเคมี 4 ชนิด (ธีระพงษ์ สว่างปัญญากุล. 2543 : 27-28) คือ

1. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonds)
2. แรงวันเดอร์วาวล์ (Van der Waal's forces)
3. แรงไอออนิก (Ionic forces)
4. พันธะโควาเลนต์ (Covalent bonds)

2.1.1 การตั้งชื่อสี

สมาคมผู้ประกอบการย้อมสี American Association of Textile Chemists and Colorists ในประเทศสหรัฐอเมริกา และ Society of Dye and Colorists ในประเทศอังกฤษ ได้ร่วมกันจัดทำทะเบียนรายชื่อสีที่มีจำหน่ายในท้องตลาดขึ้นเรียกว่า Color Index โดยตั้งชื่อให้กับสีแต่ละตัวเรียกว่า C.I. Generic Name โดยมีองค์ประกอบดังนี้

C.I. + ชื่อประเภทของสี + เฉดสี + หมายเลขลำดับ

โดยที่ประเภทของสีแบ่งออกเป็น 15 ประเภท คือ Acid, Azoic, Direct, Disperse, Fluorescent brighteners, Food, Ingrain, Leather, Mordant, Oxidation, Pigment, Reactive,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Solvent, Sulfur และ Vat ส่วนเฉดสีจะแบ่งออกเป็น 8 เฉดสี คือ สีเหลือง (yellow), ส้ม (orange), แดง (red), ม่วง (violet), ฟ้า (blue), เขียว (green), น้ำตาล (brown) และ ดำ (black) (ราตรี ปิ่นทอง. 2543 : 6)

ตัวอย่างการเรียกชื่อสี เช่น C.I. Acid Yellow 1 หมายถึง สีแอซิดสีเหลืองหมายเลขหนึ่ง

2.1.2 คุณสมบัติของสีย้อม

ในการย้อมสีแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปในสภาพการละลายหรือสารแขวนลอย เช่น ความสามารถในการละลายน้ำ การรวมตัวในสารละลาย การย่อยสลายในระหว่างการย้อมสี อัตราการเกิดปฏิกิริยา การให้และรับอิเล็กตรอน สำหรับโครงสร้างทางเคมีของสีแต่ละชนิดมีความสัมพันธ์โดยตรงกับคุณสมบัติของสีดังนี้

1. ความเหมาะสมต่อเส้นใยชนิดหนึ่ง ๆ จะขึ้นอยู่กับอนุมูลของเส้นใยและสีย้อม
2. ความสามารถที่จะเข้ากันได้ดีกับเส้นใยหนึ่งๆ
3. จลนพลศาสตร์ของสีย้อม
4. คุณสมบัติการเคลื่อนตัวและความสม่ำเสมอของสี
5. ความทนต่อแสง
6. ความทนต่อความชื้น
7. ความทนต่อความร้อน

2.1.3 องค์ประกอบสีย้อม

สีย้อมเป็นสารอินทรีย์ มีโครงสร้างทางเคมีแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ (กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์. 2539 : 4)

1) กลุ่มโครโมฟอร์ (Chromophores group) เป็นกลุ่มที่มีพันธะคู่ สามารถให้สีได้โดยดูดกลืนรังสีในช่วงอัลตราไวโอเลต (UV range) และช่วงที่มองเห็นได้ (visible range) ตั้งแต่ 200-800 nm ตัวอย่างโครโมฟอร์ ได้แก่

C = C	ethylenic chromophores
C = O	carbonyl chromophores
- N = O	nitroso chromophores
- NO_2	nitro chromophores
- N = N -	azo chromophores

2) กลุ่มออกโซโครม (Auxochrom group) เป็นกลุ่มที่ทำให้สีเกาะติดกับเส้นใย โดยทั่วไปหมายถึง saturated group ซึ่งมีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยว และไม่สามารถดูดกลืนรังสีที่มีความยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นเกิน 200 nm แต่เมื่อนำไปเกาะในตำแหน่งที่ติดกับโครโมฟอร์ จะทำให้เกิด resonance interaction ทำให้โครโมฟอร์ดูดกลืนรังสีที่ความยาวคลื่นมากขึ้น ตัวอย่างออกโซโครม ได้แก่

- OH	hydroxyl
- NH_2	amino
- COOH	carboxylic

2.1.4 การจำแนกประเภทของสีย้อม

สีย้อมสามารถจำแนกออกได้เป็นลักษณะใหญ่ ๆ ตามลักษณะทางกายภาพ การใช้งาน และโครงสร้างทางเคมี (อังคณา ตุลไตรรัตน์. 2540 : 29-37) ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึง การจำแนกสีย้อมตามลักษณะทางกายภาพ และโครงสร้างทางเคมี

1) จำแนกตามลักษณะทางกายภาพ

1.1 สีชนิดละลายน้ำได้

1) สีแอซิด (Acid dyes) เป็นสีย้อมที่ละลายน้ำในน้ำที่มีสภาวะเป็นกรด และใช้ในการย้อมเส้นใยโปรตีนเช่น ขนสัตว์ ไหม ไนลอน หนังแท้ และกระดาษ โดยทั่วไปสีย้อมแอซิดจะมีโครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบอะโซไตรเอริลมีเทน (Azo triarylmethane) หรือ แอนทราควิโนน (Anthraquinone)

2) สีเบสิค (Basic dyes) เป็นสีย้อมที่มีหมู่อะมิโนหรืออนุพันธ์ของหมู่อะมิโน สีย้อมเบสิคจะสามารถละลายได้ในน้ำ โครงสร้างส่วนใหญ่ของสีย้อมเบสิคจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมีเป็นพวกกลุ่มของสารประกอบไตรเอริลมีเทน (triarylmethane) หรือ แซนทีนส์ (xanthenes) สีย้อมเบสิคผลิตขึ้นครั้งแรกเพื่อใช้ย้อมขนสัตว์ แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้แล้ว หรือใช้ร่วมกับสีย้อมมอร์แดนต์ (mordant) เพื่อย้อมฝ้าย สีย้อมเบสิคสามารถนำไปใช้เป็นหมึกพิมพ์กระดาษคาร์บอนสำหรับทำกระดาษสำเนา และใช้สำหรับผลิตเป็นแถบหมึกสำหรับเครื่องพิมพ์ดีด สีย้อมเบสิคสามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ เพื่อใช้ผลิตหมึกเขียน และหมึกพิมพ์

3) สีไดเรกซ์ (Direct dyes) เป็นสีย้อมที่สามารถนำไปย้อมฝ้ายโดยตรง และย้อมขนสัตว์หรือไหม โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมไดเรกท์โดทั่วไปเป็นสีย้อมกลุ่มอะโซ สีย้อมไดเรกท์บางตัวสามารถใช้ย้อมบนเส้นใยโดยทำปฏิกิริยาการเติมเกลือไดอะโซเดียมบนวัสดุก่อน จากนั้นจึงจะทำปฏิกิริยาการควบคู่ (coupling) เพื่อทำให้เกิดเป็นสีย้อมที่ไม่ละลายบนเนื้อผ้าหรือเส้นใย สารประกอบที่ใช้กันโดยทั่ว ๆ ไป สำหรับการทำปฏิกิริยาควบคู่ก็คือ เบตา-แนฟทอล (β-napthol)

4) สีรีแอกทีฟ (Reactive dyes) เป็นสีย้อมที่เกิดจากการสร้างพันธะโควาเลนต์เชื่อมระหว่างสีย้อมและเส้นใยเซลลูโลส ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย้อมโดยสีชนิดนี้จะทนทานต่อการซักล้างได้ดี สีย้อมรีแอกทีฟเป็นสีย้อมชนิดใหม่ที่สุดซึ่งได้พัฒนาในปี ค.ศ. 1956 สามารถใช้ในการย้อมฝ้ายเรยอน และไนลอนบางชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 สีชนิดที่ไม่ละลายน้ำ

1) สีอะโซอิก (Azoic dyes) เป็นสีอะโซที่ไม่ละลายน้ำ และตัวทำละลายต่าง ๆ ต้องเตรียมขึ้นบนเส้นใย มีโครโมฟอร์เป็นสีย้อมที่ทำให้เกิดสีขึ้นบนเส้นใย โดยการเตรียมเป็นเกลือไดอะโซเดียม (Diazodium salt) ก่อน และเมื่อนำไปสัมผัสกับเส้นใยแล้ว จะเกิดปฏิกิริยาเป็นสีย้อมบนเส้นใยที่อุณหภูมิต่ำ จะช่วยทำให้เกลือไดอะโซเดียมไม่สลายตัวจนกระทั่งทำปฏิกิริยาควบคู่กับเส้นใยเป็นสีย้อมอะโซอิก เป็นสีย้อมที่ให้สีสดใส สว่างเจิดจ้า และมีสมบัติติดทนนาน ดังนั้นจึงทนทานมีอายุการใช้งานนาน และใช้สำหรับงานพิมพ์บนผ้าฝ้าย

2) สีดิสเพอร์ส (Disperse dyes) สามารถใช้ย้อมเส้นใยสังเคราะห์ เช่น เส้นใยเซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate) เส้นใยพลาสติก และเส้นใยพอลิเอสเทอร์ (polyester) ซึ่งเป็นเส้นใยที่ย้อมติดสีได้ยากและสามารถย้อมสีได้เนื้อเนียนผิวดี โดยสีจะกระจายบนตัวดูดซับและแทรกตัวลงบนเส้นใย เป็นสีย้อมกลุ่มอะโซและกลุ่มแอนทราควิโดนสามารถแทรกตัวเข้าไปในเส้นใย โดยหมู่เอทาโนลามีน (-NH-CH_2CH_2-OH) ซึ่งเป็นหมู่ที่พบในสีย้อมดิสเพิร์สจะช่วยในการกระจายตัวและเกิดการดูดซับบนเส้นใยได้ดี

3) สีแวต (Vat dyes) สีย้อมกลุ่มนี้มีสูตรโครงสร้างทางเคมีที่ยุ่งยาก ส่วนใหญ่เป็นอนุพันธ์ของแอนทราควิโนน (Anthra quinone) หรืออินแดนทรีน (Indanthrene) ที่สภาวะรีดักชันสีย้อมกลุ่มนี้จะละลายในสารละลายอัลคาไลน์ (alkalines) และไม่มีสี ซึ่งเรียกว่า Leuco vats เมื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือสัมผัสกับอากาศจะเกิดเป็นสีขึ้นมา สีย้อมแวตเป็นสีที่มีราคาแพงเหมาะสำหรับใช้ย้อมสิ่งทอที่ใช้ประจำวันที่มีการซักล้างบ่อย ๆ เช่น เสื้อเชิ้ตสุภาพบุรุษ สีย้อมแวตสามารถนำไปใช้เป็นสีพิมพ์ผ้า ซึ่งจะมีส่วนผสมของโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ (sodium hydrosulfite) และสารประกอบอัลดีไฮด์ (aldehyde) ที่มีสมบัติเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี สามารถนำไปทำการพิมพ์สีบนผ้าก่อนจากนั้นนำไปทำให้เกิดเป็นสีโดยผ่านผ้าเข้าไปในอ่างที่บรรจุสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไดโครเมต (sodium dichromate) หรือโซเดียมเปอร์โบเรต (sodium perborate)

4) สีซัลเฟอร์ (Sulfur dyes) เป็นสีย้อมที่มีราคาถูกและใช้ในการย้อมผ้าฝ้ายให้มี dull shades สีย้อมซัลเฟอร์เป็นสีย้อมที่มีความทนทานต่อการซีดจางของสีจากแสง ทนทานต่อการซักล้าง และทนกรด แต่มีความว่องไวต่อการเปลี่ยนสีกับคลอรีน และน้ำยาฟอกสีไฮโปรคลอไรท์ (hypochlorite) หมู่โครโมฟอร์ของสีย้อมซัลเฟอร์มีความยุ่งยากซับซ้อน และยังไม่เป็นที่รู้จักกันแน่นอน สีย้อมซัลเฟอร์เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างสารซัลไฟด์ หรือพอลิซัลไฟด์กับสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่คลอรีน สีย้อมซัลเฟอร์โดยทั่วไปจะไม่ค่อยมีสีเมื่ออยู่ในรูปรีดิวซ์ในสารละลายของเกลือโซเดียมซัลไฟด์ แต่มีสีเข้มขึ้นเมื่ออยู่ในสภาวะออกซิเดชัน สีย้อมซัลเฟอร์เป็นสีย้อมที่รู้จักกันอย่างดีและใช้กันมาเป็นเวลานาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5) สีย้อมมอร์แดนท์ (Mordant dyes) สีย้อมมอร์แดนท์บางตัวเมื่อรวมกับเกลือของโลหะจะให้ผลิตภัณฑ์สีย้อมที่ไม่ละลาย เรียกว่า เลคส์ (lakes) และสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นรงควัตถุ (pigments) ถ้าหากต้องการย้อมสิ่งทอที่ผลิตจากฝ้าย ขนสัตว์ หรือเส้นใยโปรตีน ก็จะนำสิ่งทอเหล่านี้ใส่เกลือของอะลูมิเนียม เกลือโครเมียม หรือเกลือเหล็ก และเมื่อสิ่งทอดังกล่าวสัมผัสกับสีย้อมจะทำให้เกิดสีย้อมที่ไม่ละลาย โดยเกลือของโลหะจะตกตะกอนบนเส้นใย ซึ่งทำให้สีย้อมมีความทนทานต่อแสง และทนทานต่อการซักล้างได้ดี หมู่ -OH และหมู่ -COOH ที่เกาะอยู่บนสีย้อมอะโซหรือแอนทราควิโนน สามารถทำปฏิกิริยากับเกลือของโลหะเกิดเป็นสีมอร์แดนท์ได้

2) จำแนกสีย้อมตามโครงสร้างทางเคมี

สีย้อมสามารถจำแนกโดยอาศัยโครงสร้างทางเคมีออกเป็น

1. สีไนโตรโซ (Nitroso dyes) โครงสร้างทางเคมีเป็นสารอะโรมาติก (Aromatic compounds) ที่มีหมู่ไนโตรโซ (-N=O) และหมู่ไฮดรอกไซด์ (-OH) ในตำแหน่งที่ติดกันในวงเบนซีน ซึ่งในการย้อมจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะต่าง ๆ เช่น เหล็ก โครเมียม โคบอลต์ และนิกเกิล

2. สีไนโตร (Nitro dyes) โครงสร้างทางเคมีเป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหมู่ไนโตร ($-NO_2$) และหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรือหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ในตำแหน่งที่ติดกันหรือตรงกันข้ามในวงแหวนวงเบนซีน โครงสร้างของสารประกอบอะโรมาติกเป็นโครงสร้างควิโนดอยด์ สามารถแบ่งเป็นสีซัลโฟเนตเตตไนโตร (Sulfonated nitro dyes) ใช้สำหรับย้อมขนสัตว์ และสีอันซัลโฟเนตเตตไน-โตร (Unsulfonated nitro dyes) เป็นสี pigment

3. สีอะโซ (Azo dyes) เป็นสีที่มีหมู่อะโซ (-N=N-) หนึ่งกลุ่มหรือมากกว่า ทำหน้าที่เป็นโครโมฟอร์ และมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) หรืออะมิโน ($-NH_2$) เป็นออกโซโครม สารตัวกลางในปฏิกิริยา (intermediate) มี 2 ชนิด คือ ไดอะโซ (Diazo) และสารร่วมทำปฏิกิริยา (coupling) ซึ่งทำปฏิกิริยาภายใต้สภาวะกรดหรือด่าง ไดอะโซเนียม (Diazonium) ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่างอะริลลามีน (Arylamine) หรือเฮทเทอโรไซคลิกอะมีน (Heterocyclic amine) กับสารร่วมปฏิกิริยา สีอะโซเป็นกลุ่มสีย้อมที่ใช้ในอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งสีย้อมชนิดนี้ใช้ย้อมได้กับเส้นใยทุกชนิด

4. สีอะโซอิก (Azoic dyes) เป็นสีอะโซที่ไม่ละลายน้ำ และตัวทำละลายต่าง ๆ ต้องเตรียมขึ้นบนเส้นใย มีโครโมฟอร์ และออกโซโครมเหมือนสีอะโซ

5. สีสติลบีน (Stilbene dyes) โครงสร้างมีสติลบีน ($C_6H_5-CH=CH-C_6H_5$) และหมู่อะโซเป็นโครโมฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. สีคาโรทีนอยด์ (Carotenoid dyes) โครงสร้างมีหมู่โซ่พอลิอีน (Polyene) ของคาร์บอนอย่างน้อย 18 อะตอม เป็นโครโมฟอร์ สีชนิดนี้เป็นสีทั่วไปที่พบในธรรมชาติ สำหรับสีคาโรทีนอยด์ที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้เป็นสีผสมอาหาร เช่น เบตา-คาโรทีน (β-Carotene) เป็นต้น

7. สีไดฟีนิลมีเทน (Diphenylmethane dyes) โครงสร้างหลักเป็นไดฟีนิลมีเทน มีหมู่อิมมีน (-C=NH) เป็นโครโมฟอร์ และหมู่อะมิโนเป็นออกโซโครม ส่วนใหญ่ใช้ย้อมกระดาษ นอกจากนี้อาจใช้ย้อมขนสัตว์ ไหม หนัง ฝ้าย หรือเส้นใยอะคริลิก

8. สีแซนทีน (Xanthrene dyes) โครงสร้างหลักเป็นแซนทีน (Dibenzo-1,4-pyran) และมีหมู่อะมิโนหรือหมู่ไฮดรอกซิลเป็นออกโซโครม โครโมฟอร์เป็นโครงสร้างควิโนดอยด์ นิยมเรียกสีชนิดนี้ว่า สีอะมิโนแซนทีน (Amino xanthrene dye) หรือสีไฮดรอกซิลแซนทีน (Hydroxyl xanthrene dye) สีย้อมกลุ่มนี้ให้สีสดใสเนื่องจากสารละลายให้ฟลูออเรสเซนต์ ใช้ย้อมขนสัตว์และไหมได้ ใช้ย้อมผ้าฝ้ายโดยใช้แทนนินเป็นมอร์แดนท์

9. สีอะคริดิน (Acridine dyes) โครงสร้างหลักเป็นอะคริดิน และมีหมู่อะมิโนเป็นออกโซโครม มีโครโมฟอร์เป็นโครงสร้างควิโนดอยด์ สีชนิดนี้นิยมใช้ย้อมหนัง และใช้เป็นสีเบสิคสำหรับย้อมไหม และเซลลูโลส

10. สีควิโนลิน (Quinoline dyes) โครงสร้างหลักเป็นควิโนลิน สีกลุ่มนี้มีโครโมฟอร์ คือ 2(2-Quinolyl)-1,3-indandiene สีพวกนี้นิยมใช้เป็นตัวทำละลาย และใช้เป็นสีเบสิคสำหรับย้อมกระดาษ

11. สีแอนทราควิโนน (Anthraquinone dyes) โครงสร้างหลักคือ แอนทราควิโนน เป็นโครโมฟอร์ และมีหมู่อะมิโนหรือหมู่ไฮดรอกซิลเป็นออกโซโครม นิยมใช้เป็นสีแวต สีแอซิด สีมอร์แดนท์

12. สีอินดิกอยด์ (Indigoid dyes) โครโมฟอร์ คือ -CO-C=C-CO- และมีหมู่อะมิโนหรือซัลเฟอร์เป็นออกโซโครม ใช้เป็นสีแวตในการย้อมฝ้าย

13. สีไทอะโซล (Thiazole dyes) โครงสร้างหลัก คือ วงแหวนไทอะโซลเป็นโครโมฟอร์มีหมู่อะมิโนเป็นออกโซโครม สีชนิดนี้ใช้ย้อมฝ้ายได้โดยตรง

14. สีซัลเฟอร์ (Sulfur dyes) เป็นสีที่มีกำมะถัน (S) เป็นองค์ประกอบโครงสร้างทางเคมี สีซัลเฟอร์นี้ไม่ละลายน้ำ และสีไม่ติดเส้นใย ต้องเปลี่ยนให้อยู่ในรูปสารประกอบลิวโค (Leuco compound) โดยทำปฏิกิริยากับโซเดียมซัลไฟด์ (sodium sulfide) หรือโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (sodium hydrosulfide) ก่อน ทำให้สีเกาะติดเส้นใย ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส ผ้าไหม และขนสัตว์

15. สีพธาโลไซยานิน (Phthalocyanin dyes) สีกลุ่มนี้มี Tetrabenzoporphyrazine เป็นโครโมฟอร์ และโครงสร้างโมเลกุลที่สามารถจับโลหะ มีสมบัติคงทนต่อแสง ความร้อน กรด และเบส ใช้สำหรับสีเคลือบผิว หมึกพิมพ์ พลาสติก เส้นใย ยาง เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกประเภทของสีย้อมตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ประเภทของสีย้อมโดยจำแนกตามชนิดของเส้นใยที่นำไปย้อมสี (อุตสาหกรรมย้อมผ้า. 2537)

เส้นใย	ประเภทสี
ฝ้าย	Direct, Sulfur, Azo, Vat, Reactive
ลินิน	Direct, Sulfur, Azo, Vat, Reactive
ขนสัตว์	Acid, Metal-complex, Mordant, reactive
ขนไหม	Acid, Direct, Reactive, Basic
เรยอน	Direct, Reactive
อะซิเตต	Acid, Modified basic, Metal-complex
โพลีเอสเตอร์	Disperse
อะคริลิก	Modified basic, Modified acids

2.1.5 ชนิดของสีย้อมที่นิยมใช้ในกระบวนการย้อมไหม

กระบวนการย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน นิยมใช้สีย้อมประเภทละลายน้ำได้ ได้แก่

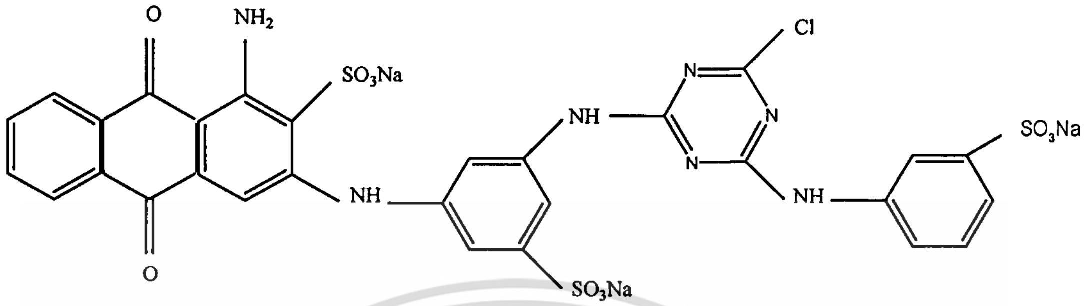
1) สีย้อมรีแอกทีฟ (Reactive dyes)

สีรีแอกทีฟเป็นสีที่ใช้มากในอุตสาหกรรมฟอกย้อม (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2542) เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน ละลายน้ำได้ดี และย้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดี โดยจะมีคุณสมบัติเป็นอิออนลบเมื่ออยู่ในน้ำย้อมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง ในขณะย้อมโมเลกุลของสีจะเข้าทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซี (OH^-) ของเส้นใยเซลลูโลส แล้วเชื่อมโยงติดกันโดยพันธะโควาเลนต์แบบครอสลิงค์ (cross link) กับเซลลูโลส ซึ่งมีความแข็งแรงสูง แสดงดังสมการ 2.1 แต่มีสัดส่วนในการย้อมติดไม่เกิน 80% ทำให้มีสีตกค้างในน้ำล้างปริมาณสูง เนื่องจากผลกระทบของประจุลบที่เกิดขึ้นบนผิวของเส้นใยจะไปต้านการเคลื่อนที่ของสีรีแอกทีฟซึ่งมีประจุลบเช่นกัน ทำให้ไม่สามารถแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้สะดวก ในการย้อมจึงจำเป็นต้องเติมอิเลกโตรไลต์หรือเกลืออนินทรีย์ เช่น โซเดียมคลอไรด์ หรือโซเดียมซัลเฟต กลไกการย้อมสีรีแอกทีฟจะใช้เกลือเป็นตัวลดประจุบนผิวหน้าของเส้นใยทำให้สีย้อมสามารถเข้าใกล้เส้นใยได้ และเป็นตัวส่งเสริมการดูดซึมให้สีสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้มากขึ้น (ปิยนุช เหลืองโสวรรณ. 2544 : 17) โครงสร้างเคมีที่เป็นองค์ประกอบของรีแอกทีฟมีได้ทุกประเภท ยกตัวอย่าง เช่น กลุ่มอะโซ (Azo), แอนทราควิโนน (Anthraquinone), ฟาลาโลไซยานีน (Phthalocyanin) เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Dye — Cl + HO — Cellulose ———▶ Dye — O — Cellulose + HCl (2.1)

ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างสีย้อม Reactive Blue 5

2) สีย้อมแอซิด (Acid Dyes)

เป็นสีย้อมที่ละลายในน้ำได้ เมื่อละลายในน้ำแล้วโมเลกุลสีจะมีประจุเป็นลบ ส่วนมากมีโครงสร้างเป็นเกลือโซเดียมของกรดอินทรีย์ (กรดซัลโฟนิก) มีเปอร์เซ็นต์การย้อมติดสูงถึง 90% มักจะย้อมในสภาวะน้ำย้อมที่เป็นกรด ซึ่งได้จากการเติมกรดอะซิติกหรือกรดฟอร์มิก ให้มีค่าพีเอชในช่วง 3-7 ใช้ในการย้อมเส้นใยโปรตีนธรรมชาติ ได้แก่ ขนสัตว์ ไหม และเส้นใยพอลีเอไมด์ ได้แก่ ไนลอน ซึ่งเส้นใยเหล่านี้จะเป็นเส้นใยที่มีหมู่อะมิโนที่สามารถเกิดปฏิกิริยากับสีได้ (ปิยนุช เหลืองโสภณ. 2544 : 16) แสดงดังสมการ 2.2

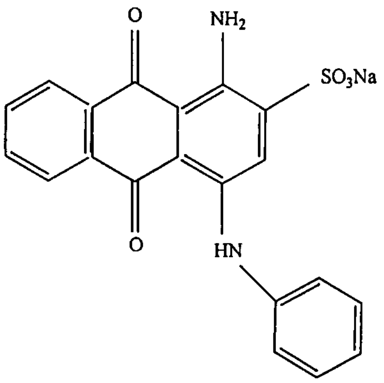
$$D-SO_3Na + F-NH_2 \xrightarrow{+H^{\oplus}} D-SO_3^{\ominus} \cdots\cdots {}^{\oplus}H_3N-F \quad (2.2)$$

(D = Dye, F = Fibre)

สามารถสรุปได้ว่าแรงระหว่างโมเลกุลของสีแอซิดกับเส้นใยโปรตีนหรือไนลอนประกอบด้วย **พันธะอิออนิก** (Ionic forces) **แรงวันเดอร์วาวล์** (Van der Waal's forces) **และอาจจะมีพันธะไฮโดรเจน** (Hydrogen bonds) (อภิชาต สนธิสมบัติ. 2545 : 145)

ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมแอซิดที่ใช้ในการศึกษา แสดงดังรูปที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

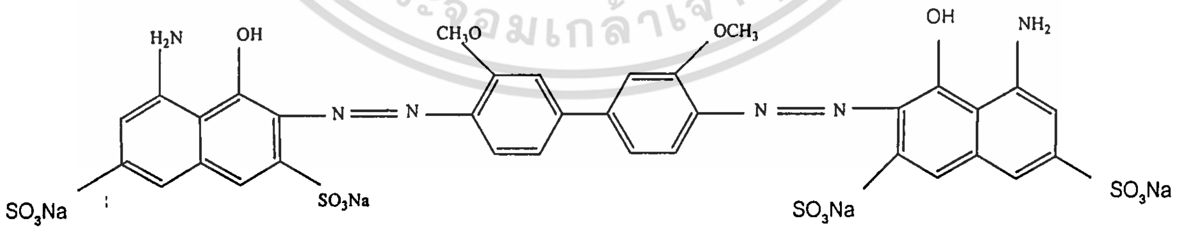


รูปที่ 2.2 โครงสร้างสีย้อม Acid Blue 25

3) **สีย้อมไดเรกท์** (Direct Dyes)

สีไดเรกท์ครั้งแรกที่ถูกผลิตขึ้นมาชื่อว่า คองโกเรด (Congo Red) เนื่องจากสีนี้สามารถย้อมได้โดยตรงกับเส้นใยเซลลูโลสโดยไม่ต้องเติมสารเคมีจึงเรียกสีนี้ว่า สีไดเรกท์ แต่ปัจจุบันการย้อมสีไดเรกท์จะใช้เกลือเข้าช่วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการย้อมให้สูงขึ้น และสามารถใช้ย้อมขนสัตว์หรือใช้ย้อมไหม เป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี สีไดเรกท์ส่วนใหญ่จะเป็นสีกลุ่มอะโซ มีกรดซัลโฟนิกเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเมื่อละลายน้ำจะแสดงประจุลบ (อธิชาติ ปานเจริญ. 2527 : 17) การย้อมติดสีไดเรกท์บนเส้นใยเซลลูโลสเกิดจากแรงวันเดอร์วาวล์ (Van der Waal's forces) ซึ่งเป็นแรงทางกายภาพและพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bonds) เพราะเซลลูโลสไม่มีหมู่ที่สามารถรวมตัวกับเกลือในโครงสร้างของตัวสีได้ ดังนั้น โมเลกุลของสีไดเรกท์จะต้องยาวและมีลักษณะแบน (planarity) (อภิชาต สนธิสมบัติ. 2545 : 111)

ตัวอย่างโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมไดเรกท์ แสดงดังรูปที่ 2.3



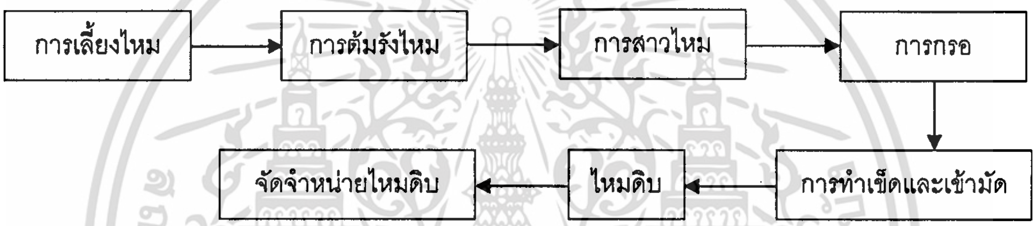
รูปที่ 2.3 โครงสร้างสีย้อม Direct Blue 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

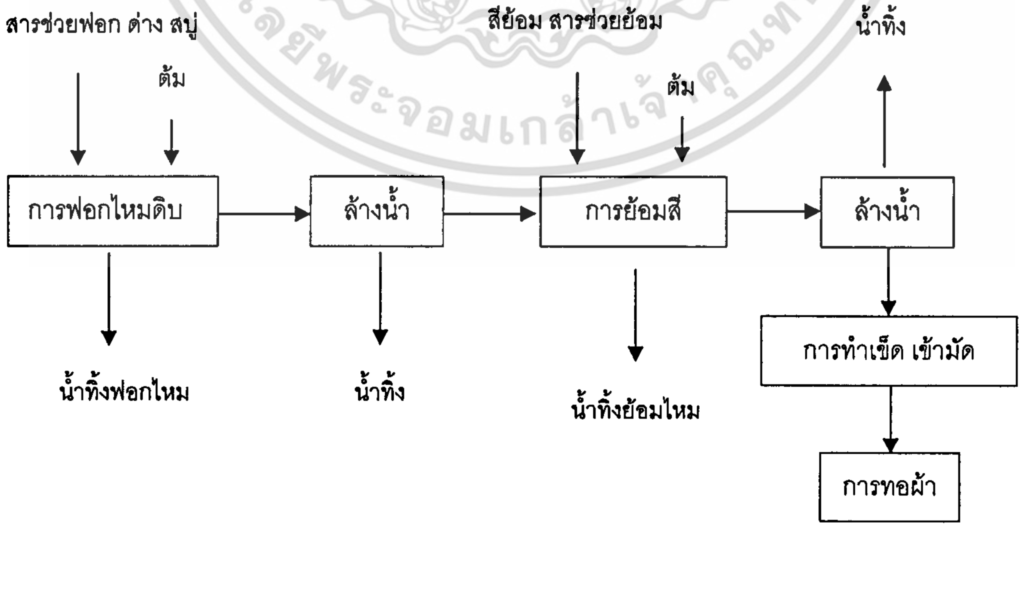
2.1.6 กระบวนการฟอกย้อมไหม

เส้นไหมเป็นใยที่สาวออกมาจากรังไหม แล้วนำมาปั่นหรือเข้าเกลียวให้รวมตัวเกาะกันเป็นเส้นไหม เส้นไหมอาจแบ่งออกเป็นหลายลักษณะ เช่น 1) แบ่งตามลักษณะการผลิตสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ เส้นไหมพื้นเมือง และเส้นไหมโรงงาน 2) แบ่งตามการทอหรือการผลิตผ้าไหม แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ไหมเส้นพุ่ง (weft) และไหมเส้นยืน (warp) 3) แบ่งตามลักษณะคุณภาพของเส้นไหมก็จะได้หลายลักษณะตามวิธีการสาวไหม เช่น ไหมชั้นหนึ่ง ไหมชั้นสอง ไหมชั้นสาม (นวลแข ปาลิวนิช. 2542 : 124)

ขั้นตอนในการผลิตผ้าไหม สามารถแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการผลิตใยไหมดิบ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 และขั้นตอนการฟอกย้อมสีไหม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (อัจราพร ไศละสูต และชิเงรุ วาตานาเบ. 2520)



รูปที่ 2.4 ขั้นตอนการเตรียมเส้นไหมดิบ



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการฟอกย้อมสีไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.7 ประเภทของมลพิษที่เจือปนในน้ำเสีย

น้ำเสียที่ได้จากกระบวนการฟอกย้อมมีมลพิษเจือปนอยู่มากสามารถจำแนกออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542)

1) สีย้อม (dye)

การย้อมเส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมจากสารละลายสีย้อมเพียงบางส่วน สีย้อมที่เหลือจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสีย ซึ่งมีปริมาณสีย้อมที่ยังคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

2) สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อม

สารเคมีที่ใช้ช่วยในกระบวนการฟอกย้อมรวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งสารเหล่านี้ส่วนใหญ่จะคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง และถูกปล่อยปนออกมากับน้ำเสีย สามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม

2.1 สารช่วยย้อม (auxiliary chemicals) ได้แก่ สารช่วยขจัดสิ่งสกปรก (scouring agent) สารช่วยเปียก (wetting agent) และสารที่ช่วยในการย้อมสีให้ได้สีสม่ำเสมอ (seveling agent)

2.2 สารเคมีพื้นฐาน (basic chemicals) เป็นสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการฟอกย้อมโดยตรง ได้แก่ กรด ด่าง บัฟเฟอร์ สารฟอกขาว และสารลอกแป้ง

2.3 สารเคมีตกแต่งสำเร็จ ได้แก่ สารที่ป้องกันการซึมของน้ำ สารกันเชื้อรา สารกันไฟ สารกันยับ เป็นต้น

3) สิ่งสกปรกเจือปนในเส้นใย

วัสดุสิ่งทอที่นำมาผ่านกระบวนการฟอกย้อมล้วนแต่มีสิ่งสกปรกเจือปนมาบ้างไม่มากก็น้อย โดยทั่วไปเส้นใยธรรมชาติจะมีสิ่งสกปรกเจือปนสูงกว่าเส้นใยสังเคราะห์ เพราะนอกจากจะมีสิ่งสกปรกเจือปนที่ติดมาในระหว่างกระบวนการผลิตแล้ว ยังมีสิ่งเจือปนที่ติดมากับธรรมชาติ ที่ต้องขจัดออกไปในขั้นตอนการเตรียมผ้าถึงร้อยละ 10 สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้มีทั้งขี้ผึ้ง ไขมัน โปรตีน ตลอดจนสารประกอบโลหะต่าง ๆ เช่น พวกสารหล่อลื่น และแป้งที่ใช้ในการลงแป้งเส้นด้ายยืน เป็นต้น สิ่งสกปรกเจือปนเหล่านี้จะถูกขจัดออกจากเส้นใยในขั้นตอนการเตรียมผ้าก่อนการฟอกย้อม และหลุดติดออกมาในน้ำเสียจากขั้นตอนการเตรียมผ้า

4) เศษเส้นใย

เศษเส้นใยจะหลุดปะปนในน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม หากมีปริมาณมากอาจทำให้เกิดปัญหาการอุดตันของในเครื่องย้อมได้ นอกจากนี้ ในกรณีของเส้นใยพอลีเอสเตอร์ (polyesters) ยังมีสารโอลิโกเมอร์ (oligomer) ที่อาจหลุดออกมาจากเส้นใยและปะปนในน้ำเสียด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากสารเคมีที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังอาจมีสิ่งเจือปนชนิดอื่น ๆ เช่น สารเคมีที่ใช้ในการขจัดรอยเปรอะเปื้อนบนผ้า ซึ่งมักจะเป็นสารประกอบจำพวก chlorinated benzene สารเคมีที่ใช้ในการล้างเครื่อง เป็นต้น ซึ่งสารเคมีบางตัวก็อาจมีผลกระทบต่อลักษณะสมบัติของน้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมประเภทต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบและกระบวนการที่ใช้ โดยทั่วไปมีลักษณะดังนี้ (ปิยนุช เหลืองโสวรรณ. 2544 : 10-11)

1. ปริมาณสารอินทรีย์สูง ส่งผลให้มีมีค่า BOD, COD สูง ปริมาณสารอินทรีย์ในน้ำเสียเกิดจากกระบวนการฟอกย้อม ได้แก่ แป้ง สีย้อม ไขมัน และตัวทำละลายต่าง ๆ

2. มีความเป็นด่างสูง สารที่ทำให้น้ำเสียมีลักษณะเป็นด่าง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ที่ใช้ในกระบวนการฟอกไหมดิบ

3. มีอุณหภูมิสูง ประมาณ 60 องศาเซลเซียส

4. มีสีเข้มมาก ซึ่งเกิดจากสีที่ใช้ในการย้อมผ้า

5. มีโลหะเจือปน ซึ่งโลหะหนักนี้เกิดจากสีที่ใช้ย้อมผ้า โดยส่วนใหญ่จะเป็นโลหะพวกทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี และกรดต่าง ๆ

6. มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง ได้แก่ เส้นใยต่าง ๆ

ตารางที่ 2.3 สมบัติของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมก่อนการบำบัดแบ่งตามผลิตภัณฑ์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542)

ผลิตภัณฑ์ที่ฟอกย้อม	pH	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	SS (mg/l)	สี (Pt Co)	จำนวนข้อมูล
ฟอกย้อมด้าย	8.2	120	300	43	450	13
ฟอกย้อมผ้าถัก	9.0	110	370	50	570	16
ฟอกย้อมผ้าทอ	8.6	400	1,200	140	670	41
ฟอกย้อมด้าย และผ้าหรืออื่น ๆ	9.1	230	713	65	400	30

ตารางที่ 2.3 แสดงผลสำรวจตัวอย่างน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล จำนวน 100 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างน้ำเสียแบบจ้วงตัก (grab sample) ที่จุดรวมน้ำเสียก่อนเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย แล้วนำไปวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ ค่าบีโอดี (BOD) ค่าซีโอดี (COD) ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) ปริมาณของแข็งแขวนลอย (SS) และค่าปริมาณสีโดยใช้วิธีการเทียบสี (Platinum Cobalt Method)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.1.8 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของสีย้อม

โดยทั่วไป สีย้อมเป็นสารที่มีความเป็นพิษต่ำ จากประวัติที่มีการเก็บรวบรวมในต่างประเทศไม่พบว่าผู้ที่ทำงานในโรงงานฟอกย้อมพิมพ์มีอัตราการตายหรือการเจ็บป่วยสูงกว่าบุคคลในอาชีพอื่นแต่อย่างใด (นันทยา ยานุมาศ. 2537 : 42) แต่สีย้อมบางชนิดอาจเปลี่ยนแปลงกลายเป็นสารพิษได้ เช่น สีย้อมที่มีโครงสร้างแบบอะโซซึ่งเป็นสีย้อมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมฟอกย้อม โดยมีการใช้ถึง 60-70% ของสีที่ใช้กันอยู่ สีอะโซมีพันธะคู่ของไนโตรเจน (N=N) เป็นหมู่โครโมฟอร์ ในสภาวะที่ไม่ใช้ออกซิเจนหมู่อะโซจะถูกทำลายโดยสารรีดิวซ์ (reducing agent) พันธะอะโซจะแตกตัวเป็นสารอะโรเมติกเอมีน (aromatic amine) ซึ่งเป็นสารตัวกลาง (intermediate) ของสารก่อมะเร็ง แต่สารพิษนี้สามารถถูกออกซิไดซ์ต่อไปได้ในสภาวะที่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นการบำบัดสีย้อมโดยใช้จุลินทรีย์ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนเพียงอย่างเดียว ไม่สามารถใช้เป็นขั้นสุดท้ายในการกำจัดสีย้อมได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ต้องใช้กระบวนการบำบัดแบบใช้ออกซิเจนร่วมด้วย เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสีย้อมที่สมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม สารอะโรมาติกอะมีนที่ใช้ในอุตสาหกรรมสีที่สามารถก่อให้เกิดมะเร็งมีเพียง 15 ชนิด ในปัจจุบันได้มีการประกาศให้เป็นสารต้องห้าม โดยทั่วไปสีอะโซจะไม่แตกตัวให้สารอะโรมาติกอะมีน แต่จะแตกตัวให้กรดอะโรมาติกอะมิโนซัลโฟนิก (aromatic aminosulphonic acid) ซึ่งไม่ก่อให้เกิดมะเร็งหรือมีโอกาสที่จะก่อให้เกิดมะเร็งน้อยมาก สีย้อมอาจเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางคือ โดยทางหายใจ ด้วยการสูดดมสีที่ฟุ้งกระจายอยู่ในอากาศ โดยการสัมผัสทางผิวหนัง และโดยการปะปนเข้าไปกับอาหารการกิน (อังคณา ตุลไตรรัตน์. 2540 : 29-37)

สำหรับผลกระทบของสีย้อมต่อสิ่งแวดล้อม พบว่าสีย้อมเป็นสารที่สลายตัวทางชีวภาพได้ยาก แต่มีความเป็นพิษต่อปลาค่อนข้างต่ำ ดังนั้น ปัญหาสำคัญของสีย้อมในน้ำทิ้งปัจจุบันจึงไม่ได้อยู่ที่ความเป็นพิษของสีย้อม แต่อยู่ที่สีของน้ำทิ้ง สีย้อมเป็นสารที่มีสีเข้มแม้จะมีสีอยู่ในแหล่งน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็ทำให้น้ำมีสีเป็นที่น่ารังเกียจต่อผู้พบเห็น โดยทั่วไปแล้วปริมาณของสีที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำแล้วสังเกตเห็นได้จะอยู่ในช่วง 0.1-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (Brown and Hamburger. 1987) อย่างไรก็ตาม การมองเห็นสีขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ชนิดสี สภาพแสง และระดับความใสของน้ำ โดยทั่วไปมลภาวะที่เกิดจากน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อม มีดังนี้

1. ความเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ เนื่องจากน้ำเสียจากน้ำย้อมผ้ามักมีสารที่เป็นพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ และจุลินทรีย์ในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา ได้แก่ สารประกอบอะนิลีน

2. การลดลงของออกซิเจนในแหล่งน้ำ เมื่อปล่อยน้ำเสียจากโรงงานย้อมผ้าลงสู่แหล่งน้ำจะทำให้ปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลง เนื่องจากออกซิเจนถูกนำไปใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ และใช้ในการทำปฏิกิริยากับสารประกอบไฮโดรเจนซัลไฟด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

61203

ซึ่งเป็นส่วนประกอบของสีย้อมบางประเภท

3. ทำให้สภาวะทางกายภาพของแหล่งน้ำเสื่อมลง เมื่อปล่อยน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมลงสู่แหล่งน้ำจะก่อให้เกิดความรู้สึกน่ารังเกียจต่อผู้พบเห็น ทำให้แม่น้ำไม่น่าดู นอกจากนี้ สีย้อมที่มีความเข้มข้นสูงจะขัดขวางการเดินทางของแสงลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศของแหล่งน้ำนั้น (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542)

2.1.9 การกำจัดสีย้อมในน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้า

สีย้อมในน้ำเสียจากกระบวนการย้อมผ้าถูกกำจัดได้เพียงบางส่วนโดยการบำบัดน้ำเสียขั้นทุติยภูมิไม่ว่าจะใช้กระบวนการบำบัดด้วยวิธีการทางเคมีหรือทางชีวภาพ ความพยายามที่จะกำจัดสีย้อมที่เหลืออยู่ในน้ำทิ้งให้หมดไปหรือให้มีเหลืออยู่น้อยที่สุดได้มีการคิดค้นมาเป็นเวลานาน วิธีการบำบัดอาจใช้วิธีใดวิธีหนึ่งหรืออาจจะใช้หลายวิธีร่วมกันก็ได้ ซึ่งประสิทธิภาพในการบำบัดขึ้นอยู่กับสารเคมีที่นำมาใช้ในการผลิตสี บางครั้งพบว่าวิธีการเดียวอาจไม่สามารถกำจัดสีย้อมได้ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีอื่นร่วมด้วย เนื่องจากโรงงานฟอกย้อมมีการใช้สีย้อมหลายประเภท วิธีที่นิยมใช้ในการบำบัดสีย้อมในน้ำทิ้งมีดังนี้

1. โคแอกกูเลชันด้วยสารเคมี (Chemical coagulation)

โคแอกกูเลชันหรือการสร้างตะกอนเคมี ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนใหญ่ ๆ คือ ขั้นตอนการเติมสารเคมีสร้างตะกอน (coagulant) ซึ่งได้แก่ สารส้ม ปูนขาว เกลือของเหล็ก สารโพลีอิเล็กโทรไลท์ (polyelectrolyte) เป็นต้น ผสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยเล็ก ๆ ขั้นตอนที่สอง คือ การกวนอย่างช้า ๆ เพื่อให้เกิดสภาพรวมตะกอน (flocculation) ซึ่งมีการเกาะกันระหว่างตะกอนแขวนลอยเล็ก ๆ กับสารสร้างตะกอน จนได้ตะกอนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจนสามารถตกตะกอนได้สาเหตุที่ต้องทำการกวนอย่างช้า ๆ เพื่อไม่ให้สภาพการเกาะตัวกันของตะกอนเกิดการแตกหลุดจากกัน ในกระบวนการกำจัดสีย้อมด้วยโคแอกกูเลชันสามารถใช้สารเคมีสร้างตะกอนหลายชนิด ได้แก่ $FeCl_3$, $Al(OH)_3$ ซึ่งการเลือกใช้สารสร้างตะกอนขึ้นอยู่กับความเหมาะสม โดยดูปัจจัยด้านประสิทธิภาพ ค่าใช้จ่าย เป็นต้น

2. การดูดติดผิว (Adsorption)

การดูดติดผิวเป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ ซึ่งอยู่ในรูปของเหลว หรือก๊าซให้มาเกาะจับ หรือติดบนผิวโมเลกุล หรือคอลลอยด์ เรียกว่า สารถูกดูดซับ (adsorbate) ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับ เรียกว่า สารดูดติด (adsorbent) และเรียกกลไกตั้งแต่โมเลกุลหรือคอลลอยด์เคลื่อนที่ไปเกาะติดกับพื้นผิวของอีกสารหนึ่งว่าการดูดติดผิว (adsorption) การเกาะจับโมเลกุลบนผิวของสาร อาจเกิดขึ้นด้วยแรงทางกายภาพ เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์ (van der waals) หรือด้วยแรงทางเคมี หรือทั้งสองอย่างรวมกัน โดยทั่วไป การดูดติดผิวในกระบวน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดสีและกลิ่นในน้ำประปา และกระบวนการกำจัดสีในน้ำเสียนิยมใช้แอกติเวตเต็ตคาร์บอน ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง จึงทำให้มีความสามารถในการดูดติดผิวสูง

3. คลอริเนชัน (Chlorination)

คลอริเนชันเป็นวิธีการกำจัดสี โดยใช้คลอรีนเป็นตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ (oxidizing agent) ซึ่งมีอำนาจออกซิไดซ์สูงไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง ทำให้สีหายไป หรือลดปริมาณสีลง ปริมาณสีที่ลดลงขึ้นอยู่กับปริมาณและความเข้มข้นของคลอรีนที่ใช้ คลอรีนที่ใช้มักอยู่ในรูปของก๊าซคลอรีน สารประกอบไฮโปคลอไรท์ (hypochlorite) และคลอรีนไดออกไซด์ (chlorine dioxide)

4. โอโซนเนชัน (Ozonation)

โอโซนเนชันเป็นการกำจัดสีในน้ำเสีย โดยใช้โอโซน (O_3) เป็นตัวออกซิไดซิงเอเจนต์ไปทำปฏิกิริยากับสีที่อยู่ในน้ำทิ้ง เช่นเดียวกับการใช้คลอรีน แต่โอโซนมีความสามารถในการออกซิไดซ์สูงกว่าคลอรีนเกือบ 1 เท่า การผลิตโอโซนทำได้โดยผ่านอากาศแห้ง หรือออกซิเจนบริสุทธิ์ไประหว่างขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว ที่มีความต่างศักย์ประมาณ 15,000-20,000 โวลท์ อะตอมของออกซิเจนจะถูกบังคับให้จับตัวกันใหม่กลายเป็นโอโซน (O_3) อากาศแห้ง 1 ลูกบาศก์เมตร สามารถผลิตโอโซนได้ไม่เกิน 30 กรัม หรือเท่ากับ 1.4 % โดยปริมาตร ถ้าใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์แทนอากาศแห้งอาจได้โอโซนเพิ่มเป็น 60-90 กรัม/ลูกบาศก์เมตร โอโซนสามารถทำให้เป็นของเหลวได้ แต่นิยมใช้ในรูปก๊าซมากกว่า โอโซนเป็นก๊าซพิษที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองอย่างรุนแรง มนุษย์สามารถทนโอโซนได้ถึง 0.1 ppm โดยปริมาตร โดยไม่เป็นอันตราย แต่ถ้าให้ดมโอโซนเข้มข้นประมาณ 1 % (ที่ผลิตได้โดยตรงจากเครื่อง) จะถึงแก่ความตายภายใน 1 นาที

5. เทคโนโลยีในการใช้แผ่นเมมเบรน (Membrane Technology)

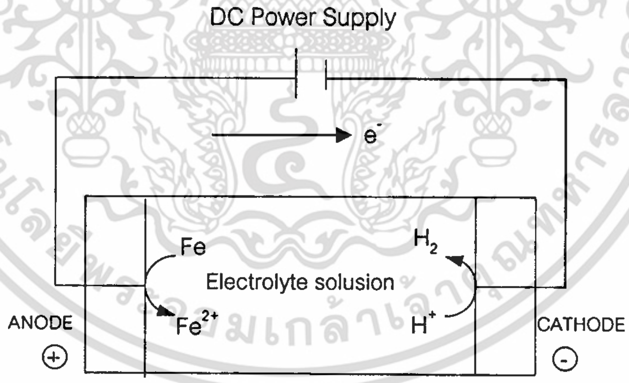
เทคโนโลยีในการใช้แผ่นเมมเบรนประกอบด้วย วิธีอัลตราฟิลเตรชัน (Ultrafiltration) และรีเวอร์ออสโมซิส (Reverse Osmosis) วิธีอัลตราฟิลเตรชันมีหลักการทำงานของระบบ คือ ใช้แผ่นเยื่อกรอง (membrane) แบบ porous พวกเซลลูโลสอะซิเตต (cellulose acetate) หรือพอลีเมอร์สังเคราะห์ต่าง ๆ และอัดน้ำเข้าไปด้วยแรงดันไม่เกิน 1,034 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร เยื่อกรองจะทำหน้าที่แยกสารปนเปื้อนทั้งแบบละลายน้ำและไม่ละลายน้ำในรูปตะกอนขนาดเล็กที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 500-500,000 และขนาดตั้งแต่ 2×10^{-6} ถึง 1×10^{-2} มิลลิเมตรได้ สำหรับวิธีรีเวอร์สออสโมซิส สามารถแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 4×10^{-7} ถึง 6×10^{-5} มิลลิเมตร ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าวิธีอัลตราฟิลเตรชัน นิยมใช้ในการแยกเกลือที่ละลายน้ำได้ด้วยการกรองผ่านเยื่อกรองแบบเยื่อกึ่งซึมผ่านได้ (semipermeable membrane) ณ ความดันตั้งแต่ความดันบรรยากาศจนถึง 6,900 กิโลนิวตัน/ตารางเมตร ระบบนี้ประกอบด้วยแผ่นเยื่อกรอง ตัวถัง และเครื่องสูบน้ำที่ให้ความดันสูง พวกแผ่นเยื่อกรองที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตต และไนลอน ในปัจจุบันวิธีอัลตราฟิลเตรชันเป็นเทคโนโลยีในการนำวัสดุกลับมาใช้ใหม่ พบว่าสามารถนำ polyvinyl chloride (PVC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โซดาไฟ สีย้อมอินดิโก และนำกลับมาใช้ใหม่ได้ผลสำเร็จ แม้ว่าวิธีนี้สามารถกำจัดสีย้อม และสารที่เติมได้ทุกประเภท แต่ก็ยังไม่มีการนำมาใช้ในทางปฏิบัติ เนื่องจากความยุ่งยากในการแยกสีผสม

6. ไฟฟ้าเคมี (Electrochemical Technique)

วิธีไฟฟ้าเคมีหรืออิเล็คโตรเคมิคัลเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีวิธีหนึ่ง แต่ไม่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกย้อม วิธีนี้ใช้ในกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ต่อมาได้มีการปรับปรุงเพื่อนำมากำจัดบีโอดี ซีโอดี สารแขวนลอย และสีในน้ำทิ้ง ลักษณะการทำงานมีองค์ประกอบหลัก คือ แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง (DC power source) ขั้วไฟฟ้าอย่างน้อย 2 ขั้ว (electrode) และสารละลายนำไฟฟ้า (electrolyte solution) เมื่อทำการผ่านกระแสไฟฟ้าสู่เซลไฟฟ้าเคมีที่ผ่านแผ่นเหล็ก (Fe) เป็นขั้วไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.6 พบว่าที่ขั้วบวก (anode) จะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของเหล็ก ซึ่งทำให้แผ่นเหล็กเกิดการสึกกร่อนและละลายออกมาในรูปของเฟอรัสอิออน (Fe^{2+}) ที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อเวลาผ่านไปปริมาณของ Fe^{2+} จะเพิ่มปริมาณมากขึ้น ในขณะเดียวกันที่ขั้วลบ (cathode) จะเกิดปฏิกิริยารีดักชันของน้ำ ซึ่งน้ำจะเกิดการแตกตัวให้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และไฮดรอกไซด์อิออน (OH^-) เมื่อเวลาผ่านไปน้ำจะมีสภาพเป็นด่าง และทำให้เกิดตกตะกอนของเฟอรัสอิออน และเฟอริกอิออน ซึ่งจะดูดติดและช่วยตกตะกอนของโลหะหนักสีย้อมหรือสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ในน้ำเสีย (กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542)



รูปที่ 2.6 องค์ประกอบของระบบไฟฟ้าเคมี

7. การใช้เหล็กวาเลนซีศูนย์ (Zero-valent iron)

การกำจัดสีย้อมโดยใช้เหล็กวาเลนซีศูนย์ (Zero-valent iron) เป็นตัวรีดิวซ์ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ทำลายพันธะคู่ของกลุ่มโครโมฟอร์ของสี เป็นวิธีที่ได้รับความสนใจในปัจจุบัน มีงานวิจัยต่าง ๆ ศึกษาประสิทธิภาพของเหล็กวาเลนซีศูนย์ ในการกำจัดสีย้อมเพิ่มขึ้น (Cao Jiasheng *et al.*1999 และ Deng *et al.* 2000) เนื่องจากเป็นวิธีที่เสียค่าใช้จ่ายน้อย สะดวก และรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 เหล็ก (Iron)

2.2.1. ชนิดของเหล็ก

เหล็กแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักตามปริมาณคาร์บอนที่ผสมอยู่ (สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2543 : 1-2)

1) เหล็กหล่อ (Cast iron)

เหล็กหล่อ หมายถึง เหล็กที่มีคาร์บอนมากกว่าร้อยละ 2.11 ขึ้นไป และมีเพียงส่วนน้อยที่คาร์บอนมากกว่า 4.5 เปอร์เซ็นต์ เหล็กหล่อเป็นเหล็กที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโลหะวิธีการหนึ่ง วัสดุช่างประเภทเหล็กหล่อในปัจจุบันได้มีการคิดค้น ปรับปรุง และพัฒนาให้มีคุณสมบัติดีขึ้น พร้อมกับการแก้ไขจุดด้อยต่าง ๆ ให้ลดน้อยลง ทำให้ได้เหล็กหล่อที่สามารถใช้งานได้อย่างกว้างขวาง เหล็กหล่อโดยทั่วไปสามารถจำแนกตามลักษณะโครงสร้างพื้นฐานได้ 4 กลุ่ม คือ (กนกวรรณ แสงเกียรติยุทธ. 2547)

1.1) เหล็กหล่อเทา เมื่อตีหักจะเห็นเนื้อเป็นสีเทา สมบัติการหล่อดี ความทนแรงดึงสูง ราคาถูก พบในชิ้นส่วนรถยนต์ เสื้อสูบ ฝาสูบ ปลอกเสื้อสูบ จานถ่วง กังหันน้ำ เฟือง ข้อต่อส่งกำลัง ลูกรอก

1.2) เหล็กหล่อเหนียว ใช้ทำชิ้นส่วนเครื่องกลที่ทนแรงกระแทกสูงกว่าเหล็กหล่อเทา เช่น ลูกรอก เพลาข้อเหวี่ยง ลูกกลิ้งรีดเหล็ก แบบหล่ออินกอท ท่อน้ำ

1.3) เหล็กหล่อขาว เมื่อตีหักจะเห็นเนื้อเป็นสีขาวเหมือนเหล็กทั่วไป พบในชิ้นส่วนอุปกรณ์ที่ต้องการความคงทนต่อการเสียดสี เช่น ส่วนประกอบใบพัดของเครื่องยิงทราย จานเจียระไนเพชรพลอย

1.4) เหล็กหล่อผสมใช้ผลิตชิ้นส่วนของปั๊มและข้อต่อต่าง ๆ สามารถใช้ธาตุบางอย่างผสมในเหล็กหล่อทำให้เหล็กหล่อมีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานพิเศษบางประการ เช่น การใช้งานที่อุณหภูมิสูง การใช้งานที่อุณหภูมิต่ำ การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่อาจทำให้เกิดการกัดกร่อนและสึกหรอ และการใช้งานเหล็กที่ต้องการสมบัติไม่เป็นแม่เหล็ก เป็นต้น

2) เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กกล้า หมายถึง เหล็กที่มีคาร์บอนปริมาณคาร์บอนต่ำกว่าร้อยละ 2.11 สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

2.1) เหล็กกล้าคาร์บอน (Carbon steel) ซึ่งเป็นเหล็กที่มีคาร์บอนเป็นส่วนผสมหลัก มีธาตุอื่น ๆ เจือปนในปริมาณที่น้อยโดยไม่ได้เกิดจากการเจาะจงผสมลงไป แต่อาจจะติดมาจากกรรมวิธีถลุง หรือกรรมวิธีการไล่แก๊ส เหล็กกล้าคาร์บอนแบ่งย่อยออกเป็น 3 ประเภท

2.1.1) เหล็กคาร์บอนต่ำ (Low carbon steel) มีคาร์บอนไม่เกิน 0.2% เป็นเหล็กอ่อนที่มีความแข็งแรงต่ำ สามารถรีดหรือตีเป็นแผ่นได้ง่าย โดยทั่วไปใช้เป็นเหล็กเส้นในการก่อสร้างหรือรีดเป็นแผ่นใช้ในงานวิศวกรรมทั่ว ๆ ไป บางครั้งเรียกเหล็กชนิดนี้ว่า เหล็กเหนียว (Mild steel)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2) เหล็กคาร์บอนปานกลาง (Medium carbon steel) มีคาร์บอนตั้งแต่ 0.2-0.5% เป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงสูงกว่าประเภทแรก ใช้ทำชิ้นส่วนของเครื่องจักรกล สามารถทำการอบชุบได้

2.1.3) เหล็กคาร์บอนสูง (High carbon steel) มีคาร์บอนตั้งแต่ 0.5% ขึ้นไป จัดเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรง และความแข็งสูง สามารถทำการอบชุบให้มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงได้ ใช้ทำเครื่องมือ เครื่องใช้ต่าง ๆ ที่ต้องการความต้านทานการสึกหรอได้เป็นอย่างดี

2.2) เหล็กกล้าผสม (Alloy steel) คือ คือเหล็กกล้าคาร์บอนที่อาจมีธาตุอื่น ๆ ผสมอยู่ เช่น โครเมียม นิเกิล โมลิบดินัม วาเนเดียม และโคบอลต์ เป็นต้น การผสมธาตุต่าง ๆ ลงไปในเหล็กกล้าคาร์บอน ส่วนใหญ่เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติความสามารถในการชุบแข็ง (hardenability) คุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนทั้งที่อุณหภูมิปกติและอุณหภูมิสูง และในบางกรณีเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติตัวนำไฟฟ้าและคุณสมบัติเกี่ยวกับแม่เหล็ก (มนัส สถิรจินดา. 2539 : 3-4)

2.2.2 คุณสมบัติทางเคมี (Chemical property)

เหล็กโดยทั่วไปมีสถานะออกซิเดชัน 0, +2 และ +3 มีเพียงเหล็กสถานะออกซิเดชันศูนย์ (Zero valent iron) ที่ปรากฏในรูปธาตุเหล็กบริสุทธิ์ เหล็กที่ใช้ประโยชน์ส่วนใหญ่ไม่ใช่เหล็กบริสุทธิ์แต่จะผสมธาตุอื่นลงไป เพื่อทำให้มีคุณสมบัติดีขึ้น หรือที่เรียกว่า เหล็กกล้า (Steel)

เหล็กสถานะออกซิเดชันศูนย์ (Fe^0) เป็นตัวรีดิวซ์ที่ดี สามารถเกิดปฏิกิริยากับกรดเจือจาง เมื่อไม่มีอากาศได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยา คือ เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) พร้อมกับสารที่เกิดจากการรีดิวซ์กรด คือ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO_2)

เฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) และเฟอร์ริกไอออน (Fe^{3+}) เมื่อทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จะได้เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) และเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) ตามลำดับ ซึ่งมีค่าคงที่ในการละลาย (Solubility constant,K_{sp}) ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4

$$Fe(OH)_2(S) \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2\,OH^- \quad ; \quad \log K_{sp} = -14.5 \qquad (2.3)$$

$$Fe(OH)_3(S) \rightleftharpoons Fe^{3+} + 3\,OH^- \quad ; \quad \log K_{sp} = -38.0 \qquad (2.4)$$

เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นละลายน้ำได้น้อย จึงตกผลึกเป็นของแข็งสีขาวอย่างรวดเร็ว และเคลือบอยู่บนผิวโลหะ อย่างไรก็ตามเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์มีความคงตัวต่ำ จึงทำปฏิกิริยากับออกซิเจนถูกเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์อย่างรวดเร็ว ดังสมการที่ 2.5

$$4Fe(OH)_2(S) + O_2 + H_2O \rightleftharpoons 4Fe(OH)_3(S) \qquad (2.5)$$

เฟอร์ริกไฮดรอกไซด์สามารถเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกออกไซด์ได้โดยการดึงน้ำออก ดังสมการที่ 2.6 และ 2.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$2Fe(OH)_3 \rightleftharpoons Fe_2O_3 + 3H_2O \quad (2.6)$$

$$Fe(OH)_3 \rightleftharpoons FeOOH + 3H_2O \quad (2.7)$$

สนิมเหล็กที่พบกันทั่วไปมักอยู่ในรูป Fe_2O_3 จากการวิจัยพบว่า เมื่อสนิมเหล็กจับอยู่บนขั้วบวก (anodic region) ไอออนอื่น ๆ ก็ตกผลึกรวมอยู่ด้วย ดังนั้น เมื่อเคาะเอาสนิมเหล็กมาวิเคราะห์ดูมักปรากฏว่ามีสารประกอบประเภทความกระด้าง เศษดินทรายต่าง ๆ ปะปนอยู่ด้วยเสมอ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และไพพรรณ พรประภา. 2527)

พื้นผิวของผงเหล็กสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน (Burris *et al.* 1995 และ Mantha *et al.* 2001) คือ

1. ส่วนที่เป็น Reactive sites พบส่วนใหญ่บนพื้นผิวผงเหล็ก ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่ให้อิเลคตรอนในปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน
2. ส่วนที่เป็น Nonreactive sites พบประมาณร้อยละ 3 ทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับ โดยโมเลกุลของสารละลายจะถูกดูดซับบนพื้นผิวของผงเหล็ก

2.2.3 การกัดกร่อน

การกัดกร่อน คือ การสูญเสียเนื้อโลหะโดยการเกิดปฏิกิริยาเคมี อาจเป็นปฏิกิริยาทางเคมีหรือปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับความแตกต่างกันของสิ่งแวดล้อม ได้แก่

- น้ำ เช่น น้ำกลั่น, น้ำจืด, น้ำเค็ม
- บรรยากาศ เช่น นอกเมือง, ในเมือง, บริเวณอุตสาหกรรม
- กรด เช่น กรดอินทรีย์, กรดอนินทรีย์

สารประกอบอนินทรีย์มักจะมีความรุนแรงต่อการกัดกร่อนมากกว่าสารประกอบอินทรีย์ (ประไพ ไทยสุริยะ. 2540 : 3) ปัญหาการกัดกร่อนโลหะส่วนใหญ่ถูกกัดกร่อนทางไฟฟ้าเคมีได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่ออยู่ในสารละลาย เหล็กเป็นโลหะที่ใช้กันมากทั้งด้านอุตสาหกรรมและสถาปัตยกรรม แต่เมื่อใช้ไปนาน ๆ จะเกิดการกัดกร่อนเป็นสนิมเหล็ก เนื่องจากอยู่ในสภาวะแวดล้อมแตกต่างกัน เช่น ในสภาวะกรด ด่าง ออกซิเจน และความชื้นหรือน้ำ (ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2543 : 200)

2.2.3.1 เซลกัดกร่อนไฟฟ้าเคมี (Electrochemical corrosion cell)

โลหะสถานะออกซิเดชันศูนย์มีแนวโน้มที่จะกลับไปสู่สถานะทางอุณหพลศาสตร์ที่เสถียร (Thermodynamically stable form) เช่น เหล็กสถานะออกซิเดชันศูนย์ (Fe^0) จะถูกออกซิไดซ์เป็นเหล็กออกไซด์ (Fe_2O_3) ในบรรยากาศของโลกมีออกซิเจนมาก เมื่อโลหะจุ่มอยู่ในสารละลายที่เป็นน้ำเกลือกลไกการกัดกร่อนไฟฟ้าเคมีสามารถเกิดขึ้นได้ อิเลคตรอน (e^-) ถูกปลดปล่อยออกมาจากขั้วบวก (anodic region) ได้ไอออนบวกของโลหะ (metal cation) และอิเลคตรอนจะถูกรับไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยตัวออกซิไดซ์ ที่อีกบริเวณหนึ่งของผิวโลหะ คือ บริเวณขั้วลบ (cathodic region) ปรากฏการณ์เช่นนี้ถือว่าเป็นการหลีกเลี่ยงการสะสมของประจุไฟฟ้า เนื่องจากการกัดกร่อนของโลหะโดยกระบวนการกัดกร่อนไฟฟ้าเคมีของกระบวนการที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ เป็นกระบวนการที่ทำให้โลหะกลับคืนสู่สภาพเดิมของมัน เช่น เหล็กเกิดการผุกร่อนเป็นสนิมเหล็กออกไซด์ ซึ่งเป็นรูปหนึ่งของแร่เหล็กเป็นต้น การกัดกร่อนของโลหะจึงสามารถเกิดขึ้นได้ง่าย (วุฒิชัย ทิฐิพงษ์. 2545 : 15)

เซลกัดกร่อนไฟฟ้าเคมีประกอบด้วย 2 ส่วน คือ วงจรภายใน คือ สารละลายอิเล็คโตรไลต์และภายนอกวงจร คือ โลหะที่เป็นขั้วบวกและขั้วลบ วงจรภายนอกจะถ่ายเทอิเล็กตรอนจากขั้วบวกไปยังขั้วลบ และทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน (H^+) ได้ก๊าซไฮโดรเจน (H_2) หรือเมื่อมีออกซิเจน และไฮโดรเจนไอออน จะเกิดปฏิกิริยาได้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ตัวอย่างของเซลกัดกร่อนไฟฟ้าเคมีเมื่อใช้เหล็กเป็นขั้วบวก ดังสมการ 2.8 - 2.13

$$Fe^0 \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e^- \quad \text{Anode} \quad (2.8)$$

$$2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2 \quad \text{Cathode} \quad (2.9)$$

$$Fe^0 + 2H^+ \rightleftharpoons Fe^{2+} + H_2(g) \quad \text{Net Reaction} \quad (2.10)$$

และเมื่อมีออกซิเจน

$$Fe^0 \rightleftharpoons Fe^{3+} + 3e^- \quad \text{Anode} \quad (2.11)$$

$$6H^+ + 1.5O_2 + 3e^- \rightleftharpoons 3OH^- + 1.5\,H_2 \quad \text{Cathode} \quad (2.12)$$

$$Fe^0 + 6H^+ + 1.5O_2 \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 1.5H_2 \quad \text{Cathode} \quad (2.13)$$

ปฏิกิริยากัดกร่อนที่เกิดขึ้นทำให้ค่าพีเอชของระบบกัดกร่อนเพิ่มขึ้น (Powell and Puls. 1995 : 1165)

2.2.3.2 อัตราการกัดกร่อน (Corrosion rate)

อัตราการกัดกร่อน คือ การสูญเสียน้ำหนักต่อหน่วยเวลา หรือการสูญเสียน้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2539 : 9) อัตราการกัดกร่อนในรูปแบบต่าง ๆ มีข้อดีและข้อเสียสรุปได้ดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตารางเปรียบเทียบวิธีการคำนวณค่าอัตราการกัดกร่อน

อัตราการกัดกร่อน	ข้อสรุป
1. น้ำหนักที่หายไป (กรัม, มก.)	1. ไม่ดี, เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงรูปร่างของชิ้นงาน พื้นที่ที่สัมผัสกับสารละลาย และอิทธิพลอื่น
2. มก./ดม^2-วัน กรัม/ดม.^{2}-วัน กรัม/ซม.^{2}-ชม. กรัม/นิ้ว-ชม.	2. ดี แต่ยังไม่ได้แสดงอัตราการกัดเซาะของชิ้นงาน
3. นิ้ว/ปี (ipy) นิ้ว/เดือน มม./ปี	3. ดีกว่าวิธีที่ 2 เพราะระบุถึงอัตราการกัดเซาะ
4. มิล/ปี (mpy) โดยที่ 1 มิล = 1/1000 นิ้ว	4. เป็นวิธีที่ดีที่สุด ได้ค่าเป็นเลขจำนวนเต็ม ง่ายแก่การใช้งาน ไม่ใช่เศษส่วน หรือทศนิยม

สูตรการคำนวณหาค่าอัตราการกัดกร่อน (mils per year; mpy) ดังแสดงในสมการที่ 2.14 (กัญจนา ตระกูลคู. 2530 : 17)

$$\text{mpy} = \frac{354W}{DAT} \qquad (2.14)$$

โดยที่ W = น้ำหนักที่หายไป (mg)

D = ความหนาแน่นของชิ้นงาน (g/cm^3)

A = พื้นที่ของชิ้นงาน (in^2)

T = เวลาที่ใช้ในการทดสอบ (hr)

2.2.3.3 การป้องกันการกัดกร่อน (กัญจนา ตระกูลคู. 2534 : 111)

1. การเคลือบผิวเหล็กด้วยกลไกทางฟิสิกส์ เช่น ทาสี หรือน้ำมัน

2. เคลือบด้วยกลไกทางเคมี เช่น ทำปฏิกิริยาที่ผิวเหล็กด้วยตัวออกซิไดซ์อย่างไดโครเมต ($Cr_2O_7^{2-}$) ทำให้เกิดการเคลือบของออกไซด์ที่ผิวของเหล็ก หรือทำปฏิกิริยาที่ผิวเหล็กด้วยตัวออกซิไดซ์อย่างกรดฟอสฟอริก (H_3PO_4) ทำให้เกิดการเคลือบของเหล็ก (III) ฟอสเฟต ($FePO_4$)

3. จัดหาสารอื่นที่สามารถให้อิเลคตรอนแก่ตัวรับอิเลคตรอนแทนเหล็ก ได้แก่ เคลือบเหล็กด้วยธาตุที่มีค่าอิเลคโตรเนกกาติวิตี้ต่ำกว่า เช่น เคลือบเหล็กด้วยสังกะสี เชื่อมเหล็กเข้ากับธาตุที่มีค่าอิเลคโตรเนกกาติวิตี้ต่ำกว่า เช่น แมกนีเซียม หรือสังกะสี และให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งกำเนิดโดยตรง โดยต่อขั้วลบเข้ากับเหล็กและต่อขั้วบวกเข้ากับแอโนดเฉื่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน – รีดักชัน

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน–รีดักชันหรือปฏิกิริยารีดอกซ์ คือ ปฏิกิริยาที่มีการเปลี่ยนแปลงเลขออกซิเดชัน เมื่อมีการเพิ่มเลขออกซิเดชัน เรียกว่า เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเมื่อมีการลดเลขออกซิเดชัน เรียกว่า เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ปฏิกิริยาออกซิเดชันและปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นควบคู่พร้อมกันไปเสมอ เพื่อที่จะทำให้เลขออกซิเดชันที่เพิ่มขึ้นเท่ากันพอดีกับเลขออกซิเดชันที่ลดลง

1) ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการให้อิเล็กตรอน ดังสมการที่ 2.15

$$Fe^{0} \rightleftharpoons Fe^{2+} + 2e^{-} \qquad (2.15)$$

ตัวออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) หมายถึง สารที่สามารถรับอิเล็กตรอนได้ สมการที่ 2.15 ตัวออกซิไดซ์ คือ Fe^{2+}

2) ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction) หมายถึง ปฏิกิริยาที่มีการรับอิเล็กตรอน ดังสมการที่ 2.16

$$Fe^{2+} + 2e^{-} \rightleftharpoons Fe^{0} \qquad (2.16)$$

ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) หมายถึง สารที่สามารถให้อิเล็กตรอนได้ สมการที่ 2.16 ตัวรีดิวซ์ คือ Fe^{0} (กฤษณา ชุติมา. 2531)

2.2.5 ปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อมโดยใช้เศษผงเหล็ก

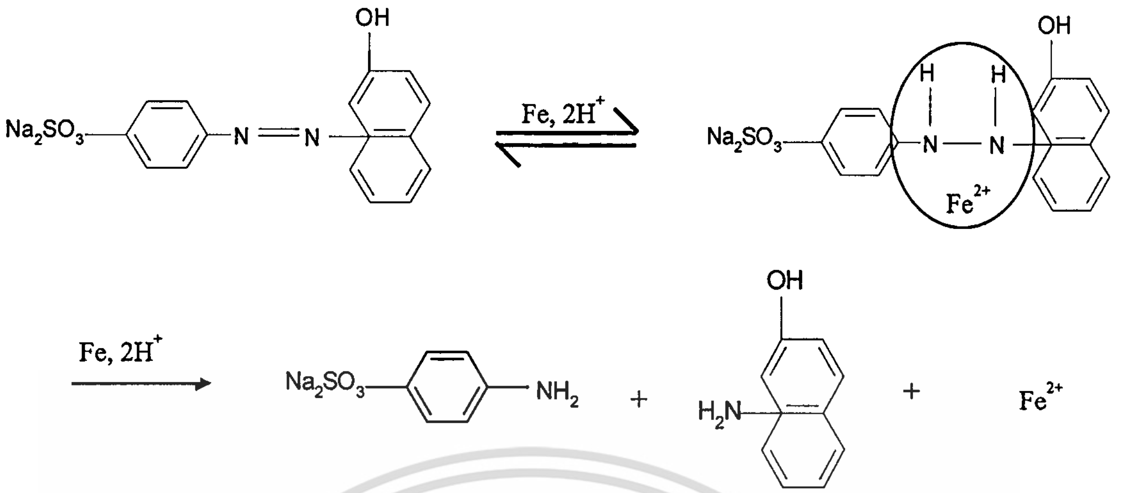
การใช้เหล็กในการกำจัดสีย้อมประกอบด้วยปฏิกิริยาต่าง ๆ หลายปฏิกิริยา อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาที่สำคัญในการกำจัดสีย้อม สามารถจำแนกเป็น 2 ปฏิกิริยา ตามองค์ประกอบบนพื้นผิวของเหล็ก (Burris *et al.* 1995 และ Mantha *et al.* 2001) คือ

1. ปฏิกิริยารีดอกซ์ เป็นปฏิกิริยาส่วนใหญ่ในการกำจัดสีย้อมด้วยเศษผงเหล็ก (Fe^{0}) โดยเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับพันธะคู่ของกลุ่มโครโมฟอร์

2. การดูดซับบนพื้นผิวของเหล็ก เนื่องจากองค์ประกอบบนพื้นผิวของเหล็กบางส่วนประกอบด้วยคาร์บอน ซึ่งเป็น Nonreactive sites ทำให้สีย้อมบางส่วนถูกกำจัดโดยการดูดซับบนพื้นผิวของเหล็ก

รูปที่ 2.7 แสดงการกำจัดสีย้อมที่มีหมู่อะโซเป็นหมู่โครโมฟอร์ โดยใช้ผงเหล็ก (Fe^{0}) ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ที่ดีในสารละลายที่เป็นกรด จะเกิดปฏิกิริยาดังสมการที่ 2.15 ได้เฟอรัสไอออน (Fe^{2+}) และจะมีการทำลายพันธะคู่ของโครโมฟอร์ ทำให้สีจางหายไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 ปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อม Acid Orange 2 โดยใช้ Fe^0

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วรรณวิภา ผลาหาญ (2547) ศึกษาการกำจัดสีรีแอกทีฟที่ปนเปื้อนในน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมโดยใช้เศษผงเหล็กโดยใช้การทดลองแบบแบทช์และแบบคอลัมน์ การทดลองนี้ใช้สีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Reactive Black, Reactive Red และ Reactive Yellow การทดลองแบบแบทช์ใช้น้ำเสียสังเคราะห์ สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด คือ พีเอช 3, ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที, ความเร็วรอบในการเขย่า 150 รอบต่อนาที, ขนาดของเศษผงเหล็ก 12-100 เมช, ความเข้มข้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของเศษผงเหล็ก 1 กรัม ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Reactive Black, Reactive Red และ Reactive Yellow คือ เฉลี่ย 99.61%, 98.61%, 97.04%, 99.00%, 98.82% และ 94.89% ตามลำดับ สำหรับการลดบีโอดี ซีโอดี และของแข็งแขวนลอยทั้งหมด ของสีทั้งห้าสี สามารถลดได้ใกล้เคียงกันคือ เฉลี่ย 73.26%, 80.75% และ 71.96% ตามลำดับ และค่าพีเอชเฉลี่ยหลังการทดลองที่วัดได้ คือ พีเอช 6.02 นอกจากนี้ยังพบว่าสมดุลของการดูดซับสีย้อมเป็นแบบแลงเมียร์ และจากการศึกษาทางจลนศาสตร์เคมีโดยใช้สีย้อม Reactive Blue 5 ปฏิกิริยาการกำจัดสีย้อมเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง ส่วนในการทดลองแบบคอลัมน์สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 คือ อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที

Knocke และคณะ (1991) ศึกษาชนิดของตัวออกซิไดซ์ที่สามารถออกซิไดซ์เหล็กเฟอร์รัสไปเป็นเหล็กเฟอร์ริก ได้แก่ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนส คลอรีน โซเดียมไฮโปคลอไรท์หรือคลอรีนไดออกไซด์ เป็นต้น พบว่าผลที่ได้จากการบำบัดจะได้ตะกอนของเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_3$) จำนวนมาก แต่ไม่มีปัญหาต่อสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเหล็กเฟอร์ริกอยู่ในรูปไม่ก่อให้เกิดอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังสามารถนำตะกอนเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์มาเปลี่ยนรูปให้อยู่ในรูปสารประกอบที่มีผลทางการค้าได้ เช่น เปลี่ยนให้อยู่ในรูปเฟอร์ไรท์ (Fe_2O_3) หรือนำกลับมาเปลี่ยนเป็นเฟอร์ริกซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) ใช้เป็นสารช่วยให้ตะกอนจมตัวได้

Cao และคณะ (1999) ศึกษาการกำจัดสีย้อม 5 ชนิด ได้แก่ Acid Orange II, Acid Orange IV, Acid Orange GG, Acid Red 3B และ Acid Orange I โดยใช้ผงเหล็ก จากผลการศึกษาพบว่าความเป็นกรดของสารละลายและพื้นที่ผิวของผงเหล็กมีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม นั่นคือเมื่อความเป็นกรดของสารละลายและพื้นที่ผิวของผงเหล็กเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมจะเพิ่มขึ้น

Deng และคณะ (2000) ศึกษาการกำจัดสีย้อมประเภทรีแอกทีฟ ได้แก่ C.I. Reactive Red 2, C.I. Reactive Black 8 โดยใช้วิธีแบบ UV/Fe^0 สภาวะที่ทำการศึกษา ได้แก่ พีเอช, ความเข้มข้นของสีย้อม และปริมาณผงเหล็ก ผลการศึกษาพบว่าการกำจัดสีย้อมโดยใช้ระบบ UV/Fe^0 สามารถกำจัดสีย้อมได้มากที่สุด รองลงมา คือ ใช้ Fe^0 อย่างเดียว และใช้ UV อย่างเดียว ตามลำดับ

Feng และคณะ (2000) ศึกษาการกำจัดสีย้อม C.I. Reactive Red 2, Orange II และ C.I. Reactive Black 8 โดยใช้ผงเหล็กและแสง UV โดยศึกษากลไกการกำจัดสีย้อมของปฏิกิริยาในการใช้แสงโดยใช้ GC/MS วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์สุดท้ายของสี C.I. Reactive Red 2หลังจากการทำปฏิกิริยา พบว่ามีการทำลายโครงสร้างของหมู่ Azo โดยจะมีหมู่เบนซีนและแนฟทาลีนแทนที่หมู่ Azo

Tezcanli-Guyer และ Ince (2003) ศึกษาการกำจัดสีย้อม 4 สี ได้แก่ C.I.Reactive Red 141, C.I.Reactive Black 5, C.I.Basic Brown 4 และ C.I.Basic Blue 3 โดยใช้อัลตราโซนิค 520 kHz จากการศึกษาพบว่า อัตราการกำจัดสีย้อมเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และปฏิกิริยาการกำจัดนี้จะเกิดที่หมู่ฟังก์ชันที่เป็นหมู่โครโมฟอร์ของโครงสร้างสีย้อม ซึ่งจะทำลายพันธะของ N=N จากนั้นวิเคราะห์ความเป็นพิษของสารละลายสีย้อมพบว่า สี Reactive ไม่มีความเป็นพิษ ส่วนสี Basic พบว่าระดับความเป็นพิษของสารละลายสีย้อมลดลง เมื่อมีการกำจัดสี และมีการทำลายวงเบนซีน

Hui และคณะ (2004) ศึกษาผลของพีเอชและการกำจัดสีย้อม C.I. Acid Orange 7 โดยใช้เศษผงเหล็ก พบว่าการกำจัดสีย้อมเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง และสามารถกำจัดสีย้อมได้ที่ช่วง พีเอช 3-7 สีย้อมถูกกำจัดได้ เนื่องจากมีการทำลายพันธะคู่ของกลุ่มโครโมฟอร์

Muruganandham และ Swaminathan (2004) ศึกษาการใช้ photooxidation ในการกำจัดสีย้อม Reactive Orange 4 โดยใช้ H_2O_2 /UV-A โดยศึกษาผลของ pH, ปริมาณของ H_2O_2 และกำลังของแสง UV จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสีย้อมประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำจัดจะลดลง อัตราการกำจัดสีย้อมเป็นแบบปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม (pseudo first order reaction) เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดสีโดยใช้ solar-H_2O_2 กับ UV-H_2O_2 พบว่า สารเคมีมีผลยับยั้งในการกำจัดสีย้อม ได้แก่ NaOH, NaCl และ Na_2SO_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์เครื่องมือและสารเคมี

3.1.1 อุปกรณ์

1. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer) บริษัท Jenway รุ่น 6405, ประเทศอังกฤษ
2. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectro-photometer) บริษัท Shimudzu รุ่น AA 680, ประเทศญี่ปุ่น
3. เครื่องออโตซอร์บ (Autosorb) บริษัท Quanta Chrome, ประเทศอเมริกา
4. เครื่องสแกนนิงอิเล็กตรอนไมโครสโคป (Scanning Electron Microscope) บริษัท Leo รุ่น 1455VP, ประเทศเยอรมัน
5. เครื่องเอนเนอจีดิสเพอร์ซีฟสเปกโตรมิเตอร์ (Energy Dispersive Spectrometer) บริษัท EDAX รุ่น 455VP, ประเทศเยอรมัน
6. เครื่องคัดขนาด (Sieve) บริษัท Laboratory Test Sieve, ประเทศเยอรมัน
7. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ยี่ห้อ Sanyo
8. เครื่องพีเอชมิเตอร์ (pH meter) บริษัท Denver Instrument รุ่น Model 215
9. เครื่อง DO meter
10. ฮีทติ้งบล๊อค (Heating block)
11. เครื่องกรองสุญญากาศ (Suction pump)
12. อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ที่ 20 ±1 $^{\circ}$C
13. เครื่องเติมอากาศ
14. ตู้บ่ม (Incubator) ที่ควบคุมอุณหภูมิได้ 20 ±1 $^{\circ}$C และไม่มีแสงเข้าภายใน
15. ขวดบีโอดีพร้อมจุก ขนาดมาตรฐาน 300 มิลลิลิตร
16. หลอดย่อยสลาย (Digestion vessels) ขนาด 16 ×100 มิลลิเมตร
17. คอลัมน์ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร สูง 25 เซนติเมตร
18. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง (Single pan balance)
19. กระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
20. เครื่องแก้วต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 สารเคมี

1. ผงสีรีแอกทีฟ (Reactive Blue 5) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma
2. สีแอซิด (Acid Blue 15) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma
3. สีไดเรกท์ (Direct Blue 25) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Sigma
4. เศษผงเหล็กจากโรงกลึง
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan
7. อะซิโตน (Acetone) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Lab Scan
8. แก๊สไนโตรเจน (Nitrogen gas) บริษัท ไทนอินดัสเตรียลแก๊ส จำกัด (มหาชน)
9. โพแทสเซียมไดโครเมต ($K_2Cr_2O_7$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
10. กรดซัลฟูริก (H_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
11. น้ำที่ปราศจากไอออน (De-ionized water)
12. ซิลเวอร์ซัลเฟต (Ag_2SO_4) เกรดวิเคราะห์ บริษัท BHD Laboratory Supplies
13. ปรอทซัลเฟต ($HgSO_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
14. เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟต (FAS) เกรดวิเคราะห์ บริษัท BHD Laboratory Supplies
15. แคลเซียมคลอไรด์ ($CaCl_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
16. เฟอร์ริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
17. แมกนีเซียมซัลเฟต ($MgSO_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
18. แมงกานีสซัลเฟต ($MnSO_4.4H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
19. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (KI) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
20. โซเดียมเอไซด์ (NaN_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba
21. โซเดียมไทโอซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($Na_2S_2O_3.5H_2O$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท Carlo Erba

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 การดำเนินงานวิจัยในห้องปฏิบัติการ

3.2.1 การเตรียมเศษผงเหล็ก

นำเศษผงเหล็กที่ได้จากโรงกลึง 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กเหนียว เหล็กกล้า และเหล็กหล่อ ทำการกำจัดสิ่งสกปรก คราบน้ำมัน และออกไซด์ ต่าง ๆ ดังนี้

1. ชั่งเศษผงเหล็กปริมาณ 100 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร
2. ล้างด้วย 3% HCl ปริมาตร 100 มิลลิลิตร
3. เขย่าเป็นเวลา 30 นาที ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที
4. ล้างน้ำปราศจากไอออนที่กำจัดแก๊สออกซิเจน (โดยการเติมแก๊สไนโตรเจน) จำนวน 3 ครั้ง
5. ล้างด้วยอะซิโตน 1 ครั้ง เพื่อกำจัดน้ำที่หลงเหลือออก
6. เป่าแห้งโดยใช้แก๊สไนโตรเจน
7. เก็บเศษผงเหล็กที่ผ่านการล้างและทำให้แห้งในขวดสีชาที่บรรจุแก๊สไนโตรเจน เพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

3.2.2 ศึกษาคุณสมบัติของเศษผงเหล็กแต่ละชนิด

ศึกษาคุณสมบัติของเศษผงเหล็ก โดยใช้เครื่องมือต่าง ๆ ดังแสดงในตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้แสดงคุณสมบัติของเศษผงเหล็ก

พารามิเตอร์	เครื่องมือในการวิเคราะห์
องค์ประกอบทางเคมีของเศษผงเหล็ก	X-ray Fluorescence Spectrometer (XRF)
องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในเศษผงเหล็ก	Energy Dispersive Spectrometer (EDS)
ลักษณะของอนุภาค	Scanning Electron Microscope (SEM)
พื้นที่ผิว	Autosorb

3.2.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์เตรียมจากการชั่งสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และสีย้อม Direct Blue 15 มาอย่างละ 100 มิลลิกรัม ละลายในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรจนได้ 1,000 มิลลิลิตร ในขวดวัดปริมาตร จะได้น้ำเสียสังเคราะห์เข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

Reactive Blue 5 เป็นตัวแทนของสีย้อมรีแอกทีฟ

Reactive Blue เป็นตัวแทนของสีย้อมที่ได้จากอุตสาหกรรมสิ่งทอพื้นบ้าน

Acid Blue 25 เป็นตัวแทนของสีย้อมแอซิด

Direct Blue 15 เป็นตัวแทนของสีย้อมไดเรกท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 การเตรียมสารละลายมาตรฐานสีย้อม

เตรียมสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 ที่ความเข้มข้น 20, 30, 60, 90 และ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร สารละลายสีย้อม Reactive Blue , Acid Blue 25 ที่ความเข้มข้น 2, 10, 20, 40 และ 60 มิลลิกรัมต่อลิตร และสารละลายสีย้อม Direct Blue 15 ที่ความเข้มข้น 5, 15, 25, 35 และ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer (โดยสแกนหาค่าλ_{max})

3.2.5 ศึกษาผลของชนิดของเศษผงเหล็กต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิดโดยการทดลองแบบแบทช์

1. ชั่งเศษผงเหล็กเหนียว เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และเหล็กผสมทั้ง 3 ชนิด (อัตราส่วน 1:1:1 โดยน้ำหนัก) ปริมาณ 1 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร ในแต่ละขวด
2. เติมสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับ pH เป็น 3 ด้วย 1M HCl ลงในขวดชมพู่
3. เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที
4. ปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 4,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที
5. กรองสารละลายผ่านกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42
6. นำส่วนใสมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ λ_{max}
7. ชุดควบคุมทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ไม่ใส่เศษผงเหล็ก
8. ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง
9. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 – 8 แต่ใช้สีย้อม Reactive Blue, Acid Blue 25, Direct Blue 15 และน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านแทน

3.2.6 ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็กโดยการทดลองแบบคอลัมน์

1. ชั่งเศษผงเหล็กชนิดที่ได้จากการทดลองข้อ 3.2.5 ปริมาณ 10 กรัมใส่ในคอลัมน์
2. นำสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับ pH เป็น 3 ใส่ในขวดน้ำเกลือ
3. ปล่อยสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 จากขวดน้ำเกลือผ่านคอลัมน์
4. ปรับอัตราการไหลของสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 เท่ากับ 4 มิลลิลิตรต่อนาที
5. เก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 ที่เวลา 5, 10, 15, 20 ,25, 30, 35, 40 และ 45 นาที
6. นำส่วนใสมาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ λ_{max}
7. ชุดควบคุมทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1-6 แต่ไม่ใส่เศษผงเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 – 7 แต่ใช้สีย้อม Reactive Blue, Acid Blue 25, Direct Blue 15 และน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านแทน

3.2.7 ศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็กโดยการทดลองแบบคอลัมน์

1. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 3.2.6 แต่เมื่อเหล็กเริ่มหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม แช่ผงเหล็กในคอลัมน์ด้วย 3%HCl 10 มิลลิลิตร เป็นเวลา 30 นาที แล้วปล่อยสารละลาย HCl ออกจากคอลัมน์
2. นำสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับ pH เป็น 3 ใส่ในขวดน้ำเกลือ
3. ปล่อยสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 จากขวดน้ำเกลือผ่านคอลัมน์ ที่อัตราการไหลของสารละลายสีย้อมเท่ากับ 4 มิลลิลิตรต่อนาที
4. เก็บตัวอย่างสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5 ทุก ๆ 5 นาที มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Vis ที่ λ_{max} จนเหล็กเริ่มหมดประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยสังเกตจากสีปรากฏ
5. ทำการทดลองเช่นเดียวกับข้อ 1 - 4 อีก 3 ครั้ง

3.2.8 ศึกษาคุณภาพน้ำทิ้งจากการทดลองแบบแบทช์และแบบคอลัมน์ที่สภาวะเหมาะสม

วิเคราะห์หาค่า BOD, COD, pH และโลหะหนัก ได้แก่ Fe, Cr และ Mn โดยทำการวิเคราะห์ทั้งก่อนและหลังการบำบัดที่สภาวะการกำจัดสีย้อมที่เหมาะสมจากการทดลองแบบแบทช์และคอลัมน์ จากการที่ Fe^0 ถูกรีดิวซ์กลายเป็น Fe^{2+} ทำให้มีปริมาณ Fe^{2+} ละลายอยู่ในสารละลายจำนวนมาก การวิเคราะห์ COD โดยวิธีรีฟลักซ์แบบปิด (Closed Reflux, Titrimetric Method) อาจเกิดผลการคลาดเคลื่อนเนื่องจากหลังการบำบัดสีย้อมจะมีเหล็กปนเปื้อนในสารละลายปริมาณค่อนข้างมาก ซึ่งอาจไปขัดขวางการวิเคราะห์ COD ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำแบลงค์ (COD_{Fe}) โดยใช้น้ำกลั่นแทนน้ำเสียสังเคราะห์ทำการทดลองภายใต้สภาวะเดียวกับตัวอย่าง แล้วนำค่า COD_{Fe} ไปลบออกจากค่า COD ของตัวอย่าง

3.3 การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน

3.3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

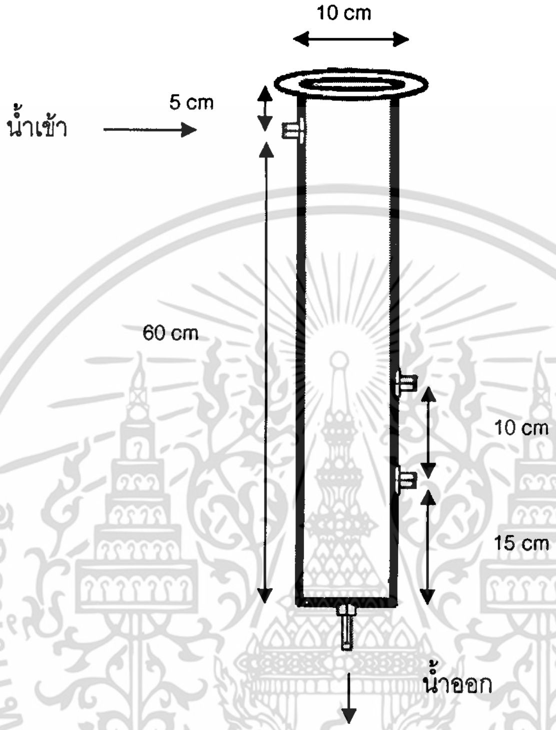
1) ถังเก็บน้ำทิ้ง

ถังเก็บน้ำทิ้งเป็นถังพลาสติกขนาดจุ 100 ลิตร สำหรับเก็บน้ำทิ้งก่อนเข้าระบบ และถังพลาสติกขนาดเดียวกันสำหรับรองรับน้ำทิ้งที่ออกจากระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) คอลัมน์

คอลัมน์เป็นอะคริลิกใสปริมาตร 5,107 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 65 เซนติเมตร มีทางน้ำเข้าอยู่ด้านบน และทางน้ำออกอยู่ด้านล่างของคอลัมน์ ดังรูปที่ 3.1

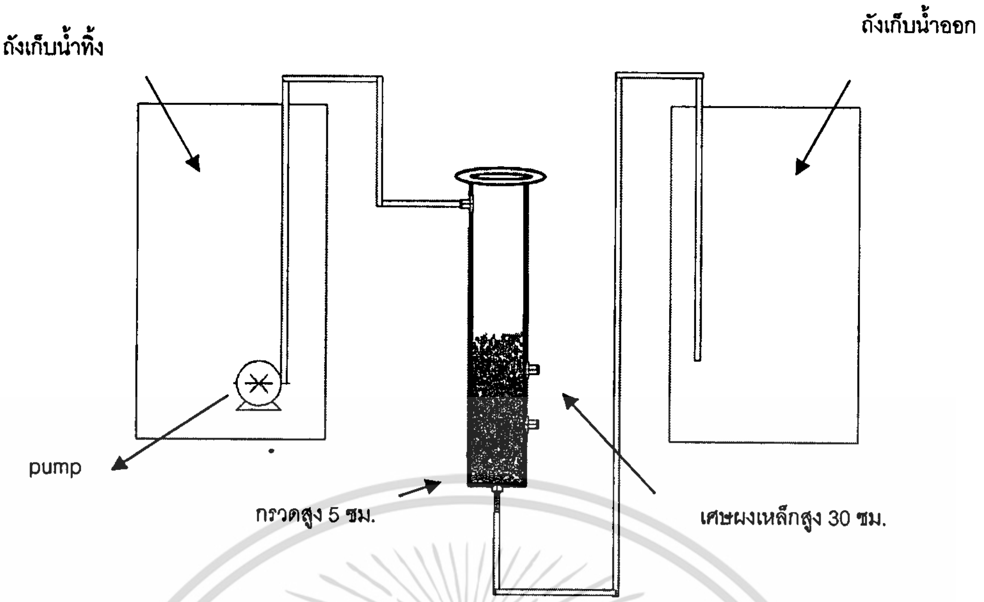


รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงรายละเอียดแบบจำลองคอลัมน์

3.3.2 การติดตั้งระบบและการทำงาน

การติดตั้งระบบกำจัดสีย้อมโดยใส่กรวดสูง 5 เซนติเมตร และใส่เหล็กสูง 30 เซนติเมตร (เหล็กประมาณ 2.5 กิโลกรัม) ลงในคอลัมน์อะคริลิก น้ำทิ้งถูกสูบด้วยปั๊มรีดสายจากถังเก็บน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบทางด้านบน และไหลออกทางด้านล่างด้วยอัตราการไหล 12.5 ลิตร/ชั่วโมง ระยะเวลาในการกักเก็บ (HRT) เท่ากับ 8 นาที การทำงานของระบบเป็นการทำงานแบบครั้ง ครั้งละ 8 ชั่วโมงต่อวัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการติดตั้งระบบ

3.3.3 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์

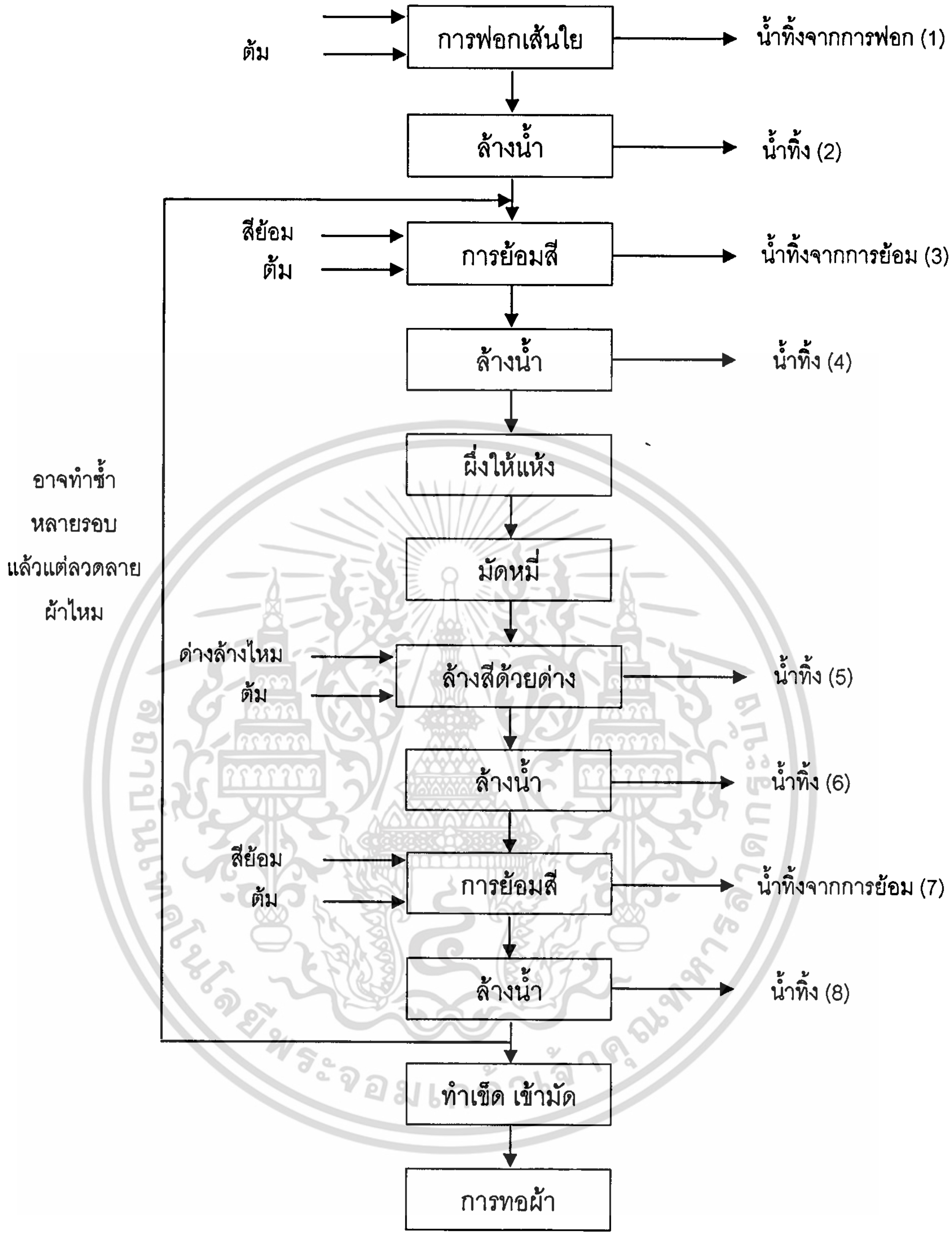
1) การเก็บตัวอย่างน้ำ

น้ำทิ้งที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านของชุมชนแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งอยู่ในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านของชุมชนแห่งนี้เป็นการทำงานแบบครั้ง (Batch) ในถังสแตนเลสขนาดประมาณ 10 ลิตร มีน้ำทิ้งจากการย้อมและล้างสีไหมประมาณ 70 ลิตรต่อไหม 100 กรัม ขั้นตอนของการฟอกย้อมสีไหมและการเกิดน้ำทิ้ง (บุญวรรณ สุเทวี. 2548) แสดงดังรูปที่ 3.3

- ขั้นตอนการฟอกเส้นใย (1) เกิดน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 1.5
- ขั้นตอนการล้างเส้นใยหลังการฟอกด้วยน้ำเย็น (2) เกิดน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 16
- ขั้นตอนการย้อมสี (3) และ (7) เกิดน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 1.5
- ขั้นตอนการล้างเส้นใยหลังการย้อมสีด้วยน้ำเย็น (4) และ (8) เกิดน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 63.5
- ขั้นตอนการล้างสีด้วยด่าง (5) เกิดน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 1.5
- ขั้นตอนการล้างเส้นใยหลังการล้างสีด้วยน้ำเย็น (6) เกิดน้ำทิ้งประมาณร้อยละ 16

น้ำทิ้งที่นำมาทำการวิจัยนี้ ได้ทำการเก็บรวบรวมน้ำทิ้งจากย้อมสี และน้ำทิ้งจากการล้างหลังการย้อมสีเส้นใย ในขั้นตอน (3), (4), (7) และ (8) แสดงดังรูปที่ 3.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านและการเกิดน้ำทิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ

วิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของตัวอย่างน้ำ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และวิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์
pH	pH Meter
BOD	Azide Modification Method
COD	Closed Reflux, Titrimetric Method
โลหะหนัก	Atomic Absorption Spectrometry
ความเข้มสี	ADMI Tristimulus Filter Method

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

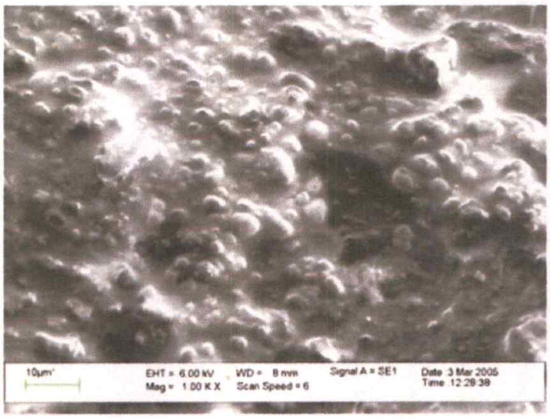
4.1 ลักษณะทางกายภาพและทางเคมีของเศษผงเหล็ก

จากการทดลองใช้เศษผงเหล็กที่ได้จากโรงกลึงทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เหล็กเหนียว เหล็กกล้า และเหล็กหล่อเป็นตัวรีดิวซ์ในการกำจัดสีย้อม (รูปที่ 4.1) คุณสมบัติทางกายภาพของเศษผงเหล็กทั้ง 3 ชนิด มีขนาดที่แตกต่างกัน โดยที่เศษผงเหล็กหล่อมีขนาดที่ใหญ่สุด รองลงมา คือ เศษผงเหล็กเหนียว และเหล็กกล้า ตามลำดับ (ตารางที่ 4.1) ศึกษาพื้นที่ผิวด้วยเครื่อง Autosorb จากผลการทดลองพบว่า เศษผงเหล็กที่มีขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวสูงกว่าขนาดใหญ่ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ส่วนลักษณะของอนุภาคเศษผงเหล็กวัดโดยใช้เครื่อง SEM ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่าเศษผงเหล็กหล่อมีพื้นผิวหยาบและขรุขระมากที่สุด รองลงมาคือ เศษผงเหล็กกล้า และเหล็กเหนียว ตามลำดับ (รูปที่ 4.2) ถึงแม้ว่าลักษณะพื้นผิวของเหล็กหล่อจะหยาบกว่าเหล็กกล้า แต่เหล็กหล่อมีขนาดใหญ่กว่า ทำให้เหล็กหล่อมีพื้นที่ผิวน้อยกว่าเหล็กกล้าและเหล็กเหนียว การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษผงเหล็กแต่ละชนิดโดยใช้ XRF พบว่า เศษผงเหล็กทั้ง 3 ชนิด มี Fe_2O_3 เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ (>90%) ซึ่งเศษผงเหล็กหล่อมีปริมาณ Fe_2O_3 มากที่สุด รองลงมาคือ เศษผงเหล็กกล้า และเศษผงเหล็กเหนียว ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม เหล็กกล้ามีปริมาณ Cr_2O_3 สูงกว่าในเหล็กหล่อและเหล็กเหนียว ส่วนเหล็กเหนียวจะมีปริมาณ MnO สูงกว่าในเหล็กหล่อและเหล็กกล้า แสดงดังตารางที่ 4.3

(ก) (ข) (ค)

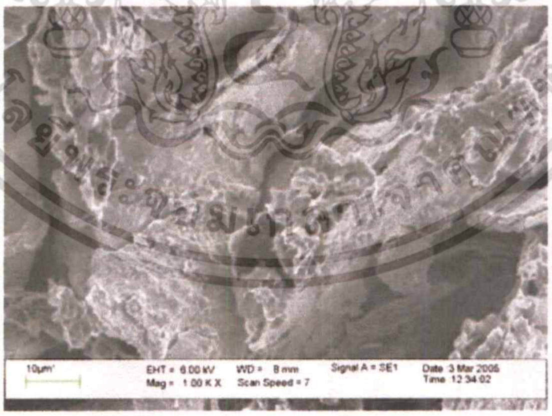
รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของเศษผงเหล็กแต่ละชนิด (ก) เศษผงเหล็กเหนียว (ข) เศษผงเหล็กกล้า (ค) เศษผงเหล็กหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 พื้นผิวของเศษผงเหล็กวิเคราะห์ด้วย SEM กำลังขยาย 1,000 เท่า
(ก) เศษผงเหล็กเหนียว (ข) เศษผงเหล็กกล้า (ค) เศษผงเหล็กหล่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ขนาดของเศษผงเหล็กแต่ละชนิด แยกขนาดโดยใช้ Sieve

ขนาด (เมช)	% โดยน้ำหนัก		
	เศษผงเหล็กเหนียว	เศษผงเหล็กกล้า	เศษผงเหล็กหล่อ
น้อยกว่า 12	0.22	-	4.49
12-35	1.82	1.57	25.87
35-50	39.32	12.63	65.59
50-80	45.43	34.83	1.77
80-100	13.89	24.16	0.79
มากกว่า 100	-	27.20	0.89

ตารางที่ 4.2 พื้นที่ผิวของเศษผงเหล็กแต่ละชนิดวิเคราะห์โดยใช้ Autosorb

ชนิดของเศษผงเหล็ก	พื้นที่ผิว (ตารางเมตรต่อกรัม)
เหล็กเหนียว	3.38
เหล็กกล้า	5.01
เหล็กหล่อ	2.99

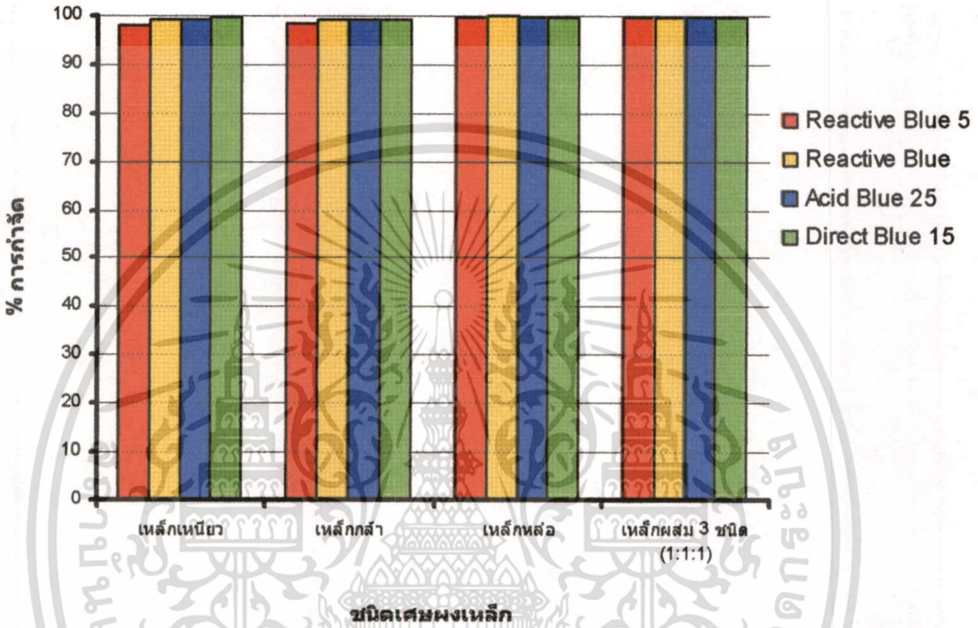
ตารางที่ 4.3 องค์ประกอบทางเคมีของเศษผงเหล็กแต่ละชนิดวิเคราะห์โดยใช้ XRF

องค์ประกอบทางเคมี	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก		
	เหล็กเหนียว	เหล็กกล้า	เหล็กหล่อ
Fe_2O_3	91.54	92.27	93.89
Cr_2O_3	0.63	2.21	0.22
SiO_2	4.17	1.69	2.36
MoO_3	0.56	0.96	0.65
MnO	0.87	0.57	0.61
Al_2O_3	1.08	0.52	0.90
Tb_4O_7	0.34	-	0.45
อื่น ๆ	0.81	0.42	0.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม

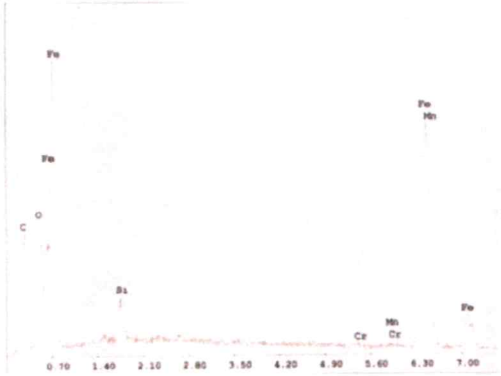
ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็กเหนียว เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และเหล็กผสม 3 ชนิด (อัตราส่วน 1:1:1 โดยน้ำหนัก) วิเคราะห์โดยการวัดค่าดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-Visible Spectrophotometer และคำนวณเปอร์เซนต์การกำจัดสีย้อมโดยใช้กราฟมาตรฐานในภาคผนวก ก แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กแต่ละชนิดในการกำจัดสีย้อมชนิดต่าง ๆ

ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับพีเอชเป็น 3 ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากงานวิจัยของวรรณวิภา ผลาหาญ (2547) พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็กแต่ละชนิดสามารถกำจัดได้มากกว่า 97% (รูปที่ 4.3 ดูรายละเอียดในตาราง ข.1.1-ข.1.4 ในภาคผนวก ข) นั่นคือชนิดของเศษผงเหล็กไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เหล็กหล่อในการศึกษาต่อไป เนื่องจากองค์ประกอบของเหล็กหล่อมีโครเมียมและแมงกานีสซึ่งเป็นโลหะหนักที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมในปริมาณที่ต่ำกว่าในเหล็กกล้าและเหล็กเหนียว (ตารางที่ 4.3) นอกจากนี้ ยังพบว่าเศษผงเหล็กหล่อมีปริมาณมากกว่าเหล็กชนิดอื่นในโรงกลึงขนาดใหญ่

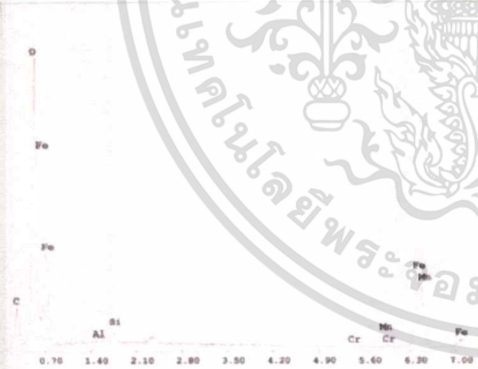
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



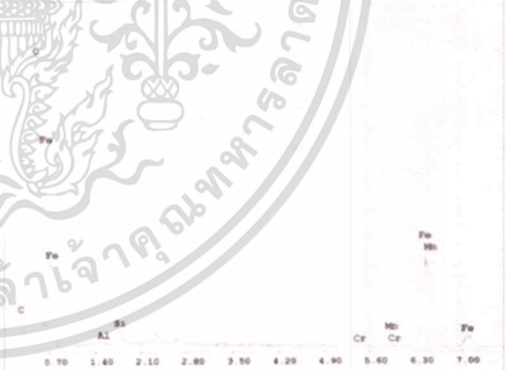
(ก)

(ข)

(ค)



(ง)



(จ)

รูปที่ 4.4 โครงสร้างของเศษผงเหล็กหล่อก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิด วิเคราะห์โดยใช้ EDS

(ก) ก่อนการบำบัด

(ข) หลังการบำบัดสี Reactive Blue 5

(ค) หลังการบำบัดสี Reactive Blue

(ง) หลังการบำบัดสี Acid Blue 25

(จ) หลังการบำบัดสี Direct Blue 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 องค์ประกอบของเศษผงเหล็กหล่อก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิด วิเคราะห์โดยใช้ EDS

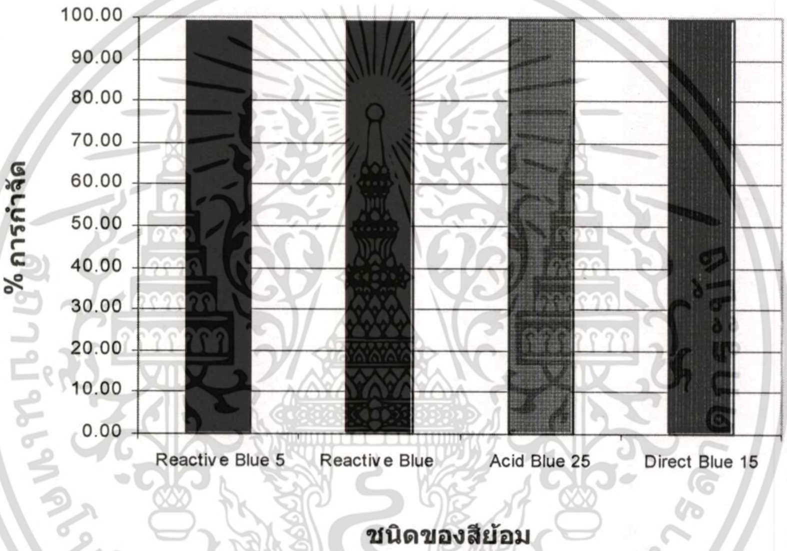
องค์ประกอบของธาตุ	เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก				
	ก่อนบำบัด	เศษผงเหล็กหล่อหลังการบำบัดด้วยสีย้อม			
		Reactive Blue 5	Reactive Blue	Acid Blue 25	Direct Blue 15
Fe	64.00±2.10	56.49±1.14	57.95±1.73	55.12±1.09	60.78±0.97
C	24.09±4.95	11.10±2.21	20.77±2.19	14.24±1.54	10.99±1.75
O	7.91±0.49	29.71±0.33	18.34±4.20	28.37±2.24	23.86±0.27
Si	1.90±0.39	1.36±0.10	1.50±0.23	1.09±0.17	1.14±0.12
Mn	1.29±0.21	0.97±0.10	0.84±0.04	0.50±0.21	0.63±0.04
Al	0.28±0.10	0.18±0.05	0.24±0.09	0.22±0.04	0.20±0.02
Cr	0.52±0.10	0.18±0.07	0.37±0.03	0.46±0.01	0.40±0.03

จากรูป 4.4 (ก) แสดงโครงสร้างของเศษผงเหล็กหล่อก่อนการบำบัดวิเคราะห์โดยใช้ EDS พบว่าองค์ประกอบของธาตุที่มีอยู่ในเศษผงเหล็กส่วนใหญ่เป็นเหล็ก รองลงมาเป็นคาร์บอน ออกซิเจน และแมงกานีส ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเศษผงเหล็กหล่อโดยใช้ XRF (ตารางที่ 4.3) ยกเว้นค่าคาร์บอน เนื่องจากค่าคาร์บอนไม่สามารถวิเคราะห์โดยใช้ XRF จากผลการเปรียบเทียบเศษผงเหล็กหล่อก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมแต่ละชนิด (รูปที่ 4.4 ข-จ และตารางที่ 4.4) พบว่าปริมาณของเหล็ก คาร์บอน โครเมียม ซิลิกอน และแมงกานีสลดลง เนื่องจากธาตุเหล่านี้สามารถละลายได้ในสภาวะเป็นกรด ส่วนปริมาณของออกซิเจนเพิ่มมากขึ้น อาจเกิดเนื่องจากเศษผงเหล็กจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์ในน้ำกลายเป็น $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ และเหล็กออกไซด์รูปอื่นจับบนผิวของเศษผงเหล็ก สำหรับปริมาณคาร์บอนมีค่าลดลงอาจเกิดเนื่องจากสีย้อมบางส่วนถูกดูดซับอยู่บนพื้นผิวของเศษผงเหล็กที่เป็น non-reactive site ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Burris *et al.* 1995 และ Mantha *et al.* 2001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการกำจัดสีย้อมด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์

จากผลการวิเคราะห์ความเข้มสีในน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังการกำจัดสีย้อมด้วยเศษผงเหล็กหล่อภายใต้สภาวะที่เหมาะสม พบว่าสีย้อมทั้ง 4 ชนิด สามารถถูกกำจัดโดยใช้เศษผงเหล็กหล่อได้มากกว่า 99% แสดงดังรูป 4.5 (ดูรายละเอียดในตาราง ข.2.1 ในภาคผนวก ข) ซึ่งการที่สีจางหายไปอาจเกิดจากการแตกพันธะคู่ของหมู่โครโมฟอร์ ซึ่งได้อธิบายไว้ในงานวิจัยของ Tezcanli-Guyer และ Ince (2003) จากผลการทดลองพบว่าเศษผงเหล็กสามารถกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 ได้ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.5 การกำจัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ค่า BOD, COD, pH, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25, Direct Blue 15 ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์

สีย้อม \ พารามิเตอร์	ตัวอย่าง	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	Fe (mg/l)	Cr (mg/l)	Mn (mg/l)
Reactive Blue 5	ก่อน	59.73 ±2.32	125.66 ±1.33	5.77 ±0.12	0.14 ±0.01	ND	0.04 ±0.01
	หลัง	7.23 ±0.05	30.89 ±2.07	5.99 ±0.02	14.69 ±0.38	0.02 ±0.01	0.22 ±0.04
	% กำจัด	87.89	75.42	-	-	-	-
Reactive Blue	ก่อน	61.25 ±2.06	130.56 ±3.20	6.00 ±0.02	0.30 ±0.01	ND	0.05 ±0.02
	หลัง	4.93 ±1.79	31.01 ±3.26	6.00 ±0.05	16.84 ±0.17	0.03 ±0.01	0.27 ±0.04
	% กำจัด	91.95	76.25	-	-	-	-
Acid Blue 25	ก่อน	49.89 ±0.01	122.4 ±1.63	5.88 ±0.04	0.15 ±0.01	ND	0.04 ±0.02
	หลัง	6.83 ±0.12	27.75 ±3.69	6.02 ±0.01	15.78 ±0.33	0.04 ±0.22	0.28 ±0.03
	% กำจัด	86.31	77.33	-	-	-	-
Direct Blue 15	ก่อน	58.07 ±0.47	133.33 ±1.85	5.29 ±0.06	0.27 ±0.1	ND	0.05 ±0.01
	หลัง	7.39 ±0.04	29.90 ±1.30	6.03 ±0.02	18.50 ±0.48	0.03 ±0.02	0.29 ±0.01
	% กำจัด	87.27	77.57	-	-	-	-

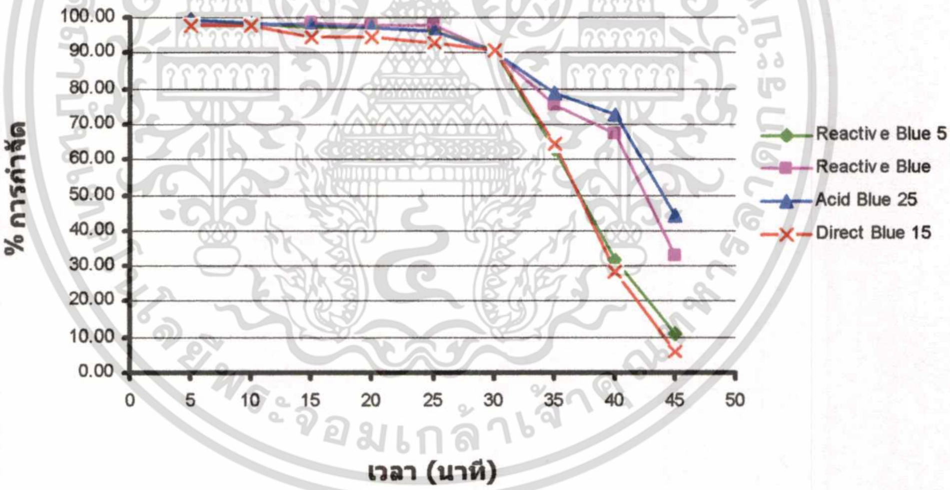
จากตารางที่ 4.5 (ดูรายละเอียดในตาราง ค.1.1-ค.1.4 และ ค.2.1-ค.2.4 ในภาคผนวก ค) พบว่าการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 โดยใช้เศษผงเหล็กหล่อ สามารถลดค่า BOD และ COD ได้ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะ $Fe(OH)_2$ และ $Fe(OH)_3$ ที่เกิดขึ้นมีคุณสมบัติเป็น Coagulant ไปจับกับสารแขวนลอยและสารอินทรีย์ในสารละลายสีย้อมทำให้สารแขวนลอยและสารอินทรีย์ต่าง ๆ ตกตะกอนจากสารละลาย นอกจากนี้สารเหล่านี้ยังถูกกำจัดออกโดยการดูดซับบน $Fe(OH)_2$ และ $Fe(OH)_3$ ส่งผลให้ค่า BOD และ COD ลดลง ค่าพีเอชหลังจากการบำบัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก H^+ ถูกใช้เป็นตัวออกซิไดซ์ในปฏิกิริยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รีดอกซ์ (สมการ 2.10 และ 2.13 ในบทที่ 2) ปริมาณเหล็กหลังผ่านการบำบัดมีค่ามากขึ้น เนื่องจาก Fe^0 ถูกออกซิไดซ์เป็น Fe^{2+} และ Fe^{3+} ในสารละลาย (สมการที่ 2.8 และ 2.11 ในบทที่ 2) ส่วนโลหะ Cr และ Mn ซึ่งเป็นองค์ประกอบในเศษผงเหล็ก ปริมาณหลังจากการบำบัดพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการละลายออกจากเศษผงเหล็ก อย่างไรก็ตาม ปริมาณของ Cr และ Mn มีค่าไม่เกินมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมได้กำหนดไว้ ถึงแม้ว่าปริมาณเหล็กหลังการบำบัดจะมีค่าค่อนข้างสูงแต่เหล็กยังไม่มีค่ากำหนดไว้ในมาตรฐานน้ำทิ้ง (ดูรายละเอียดในตาราง ฉ.1 ในภาคผนวก ฉ) เนื่องจากเหล็กเป็นธาตุที่พบมากในธรรมชาติและไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม

4.4 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็กโดยการทดลองแบบคอลัมน์

ผลการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 ที่ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปรับพีเอชเป็น 3 โดยบรรจุเศษผงเหล็กหล่อจำนวน 10 กรัมลงในคอลัมน์ บำบัดสีย้อมที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที แสดงดังรูปที่ 4.6 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข.3.1-ข.3.4 ในภาคผนวก ข)



รูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิด ด้วยเศษผงเหล็กหล่อที่เวลาต่าง ๆ โดยการทดลองแบบคอลัมน์

จากผลการทดลองโดยสังเกตจากสีที่ปรากฏ พบว่าเศษผงเหล็กหล่อมีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิด เป็นเวลา 30 นาที (ไม่ปรากฏสี) มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมมากกว่าร้อยละ 90 หลังจาก 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจะลดลงอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 4.6) ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณ $Fe(OH)_2$, $Fe(OH)_3$ และเหล็กออกไซด์อื่น ๆ ที่จับอยู่บน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นผิวของเศษผงเหล็กจะเพิ่มขึ้น จึงไปขัดขวางการเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ของสีย้อมกับเศษผงเหล็กทำให้เศษผงเหล็กมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมลดลง

4.5 คุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ก่อนและหลังกำจัดสีย้อมด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์

ผลการวิเคราะห์ BOD, COD, pH และโลหะหนัก ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อในน้ำเสียสังเคราะห์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม แสดงดังตารางที่ 4.6 (ดูรายละเอียดในตารางที่ ค.1.1- ค.1.4 และ ค.3.1- ค.3.4 ในภาคผนวก ค)

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ค่า BOD, COD, pH, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25, Direct Blue 15 ก่อนและหลังการบำบัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์

สีย้อม \ พารามิเตอร์	ตัวอย่าง	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	Fe (mg/l)	Cr (mg/l)	Mn (mg/l)
Reactive Blue 5	ก่อน	59.73 ±2.32	125.66 ±1.33	5.77 ±0.12	0.13 ±0.00	ND	0.05 ±0.02
	หลัง	6.93 ±0.05	20.45 ±1.88	6.04 ±0.03	24.65 ±0.47	ND	1.28 ±0.07
	% กำจัด	88.39	83.72	-	-	-	-
Reactive Blue	ก่อน	61.25 ±2.06	130.56 ±3.20	6.00 ±0.02	0.30 ±0.01	ND	0.05 ±0.01
	หลัง	6.73 ±0.04	26.18 ±4.35	6.02 ±0.01	27.24 ±0.79	ND	1.31 ±0.03
	% กำจัด	89.01	79.94	-	-	-	-
Acid Blue 25	ก่อน	49.89 ±0.01	122.4 ±1.63	5.88 ±0.04	0.16 ±0.01	ND	0.05 ±0.00
	หลัง	6.85 ±0.05	23.71 ±3.20	6.07 ±0.03	25.30 ±0.48	ND	1.29 ±0.02
	% กำจัด	86.27	80.63	-	-	-	-
Direct Blue 15	ก่อน	58.07 ±0.47	133.33 ±1.85	5.29 ±0.06	0.25 ±0.0	ND	0.06 ±0.01
	หลัง	6.96 ±0.06	24.14 ±1.21	6.04 ±0.01	27.42 ±0.45	ND	1.18 ±0.18
	% กำจัด	88.01	81.89	-	-	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่า การกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 โดยใช้เศษผงเหล็กหล่อ สามารถลดค่า BOD และ COD ได้ และค่าพีเอช ของน้ำเสียสังเคราะห์ทั้ง 4 ชนิด หลังผ่านการบำบัดมีพีเอชประมาณ 6 จากผลการวิเคราะห์โลหะหนักหลังจากกำจัดสีย้อมทั้ง 4 ชนิด พบว่า Fe และ Mn ที่วิเคราะห์ได้หลังการบำบัดอยู่ในช่วง 24-28 และ 1.0-1.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วน Cr ไม่พบทั้งก่อนและหลังการทดลอง

4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน

4.6.1 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยการทดลองแบบแบทซ์

ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่า BOD, COD, pH, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านก่อนและหลังการบำบัดโดยการทดลองแบบแบทซ์

พารามิเตอร์ / สีย้อม	ตัวอย่าง	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	Fe (mg/l)	Cr (mg/l)	Mn (mg/l)
น้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน	ก่อนการบำบัด	140.61 ±1.63	319.87 ±6.53	5.95 ±0.07	0.44 ±0.02	ND	0.11 ±0.02
	หลังการบำบัด	21.16 ±0.45	81.27 .±3.23	6.07 ±0.03	16.36 ±0.79	0.03 ±0.01	0.29 ±0.02
	% กำจัด	84.95	74.59	-	-	-	-

การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยการทดลองแบบแบทซ์ พบว่าสีย้อมก่อนและหลังบำบัดมีความเข้ม 2034 และ 210 ADMI ตามลำดับ (ดูรายละเอียดในตารางที่ ข.2.2 ในภาคผนวก ข) สามารถกำจัดสีได้ 89.68% จากผลการวิเคราะห์ ตารางที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตาราง ค.1.5 และ ค.2.5 ในภาคผนวก ค) พบว่าสามารถลด BOD และ COD ได้ 84.95% และ 74.59% ตามลำดับ พีเอชหลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 6.07 ส่วนผลการวิเคราะห์ค่า Fe, Cr และ Mn พบว่าหลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น คือ 16.36, 0.03, 0.29 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ เนื่องจากโลหะหนักเหล่านี้ที่เป็นองค์ประกอบหลักที่มีอยู่ในเศษผงเหล็กจะถูกละลายออกมาเมื่ออยู่ในสภาวะที่เป็นกรด จึงทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่าของ Cr และ Mn นี้ ยังมีค่าไม่เกินค่ามาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยการทดลองแบบคอลัมน์

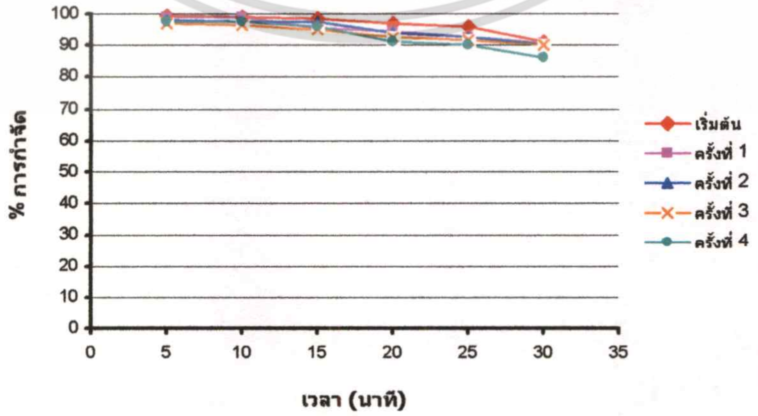
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ค่า BOD, COD, pH, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านก่อนและหลังการบำบัดโดยการทดลองแบบคอลัมน์

พารามิเตอร์ / สีย้อม	ตัวอย่าง	BOD (mg/l)	COD (mg/l)	pH	Fe (mg/l)	Cr (mg/l)	Mn (mg/l)
น้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน	ก่อนการบำบัด	140.61 ±1.63	319.87 ±6.53	5.95 ±0.07	0.46 ±0.01	ND	0.09 ±0.02
	หลังการบำบัด	23.89 ±0.36	71.80 ±1.54	7.12 ±0.04	26.79 ±0.62	ND	1.62 ±0.16
	% กำจัด	83.00	77.55	-	-	-	-

จากตารางที่ 4.8 (ดูรายละเอียดในตาราง ค.1.5 และ ค.3.5 ในภาคผนวก ค) ค่า BOD และ COD สามารถลดได้ 83% และ 77.55% ตามลำดับ และ พีเอชหลังบำบัดมีค่า 7.12 ส่วนผลการวิเคราะห์หาค่า Fe และ Mn หลังการทดลอง คือ 26.79 และ 1.62 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งค่าของ Mn นี้ มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้ ส่วน Cr ไม่พบทั้งก่อนและหลังการทดลอง

4.7 ศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก

ศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็กหล่อในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 โดยการทดลองแบบคอลัมน์ ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม



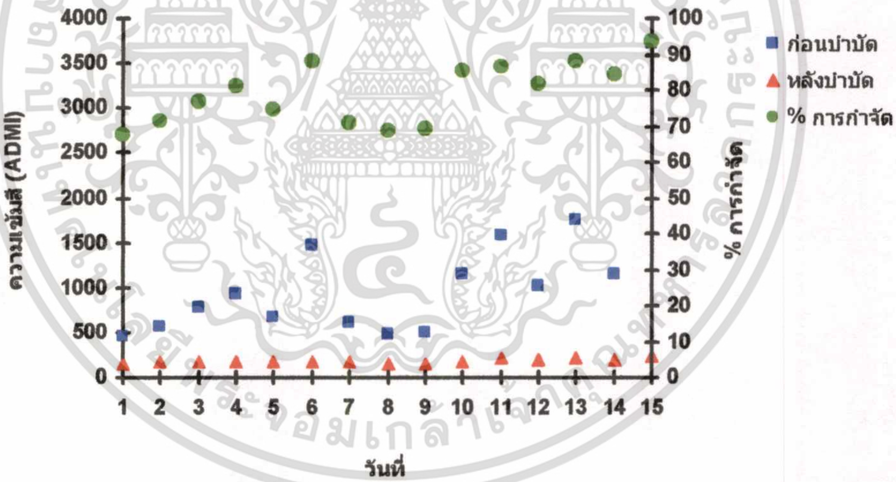
รูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็กหล่อในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็กที่ทำการ regenerate ด้วยกรดไฮโดรคลอริก 3% ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ที่ความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปรับพีเอชเป็น 3 โดยการทดลองแบบคอลัมน์ ซึ่งบรรจุเศษผงเหล็กหล่อในคอลัมน์จำนวน 10 กรัม โดยกำจัดสีย้อมที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที จากการทดลองทำการ regenerate 4 ครั้ง พบว่าเศษผงเหล็กมีประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมใกล้เคียงกับการใช้เศษผงเหล็กใหม่ แสดงดังรูปที่ 4.7 (ดูรายละเอียดในตาราง ข.4.1-ข.4.5 ในภาคผนวก ข)

4.8 การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน

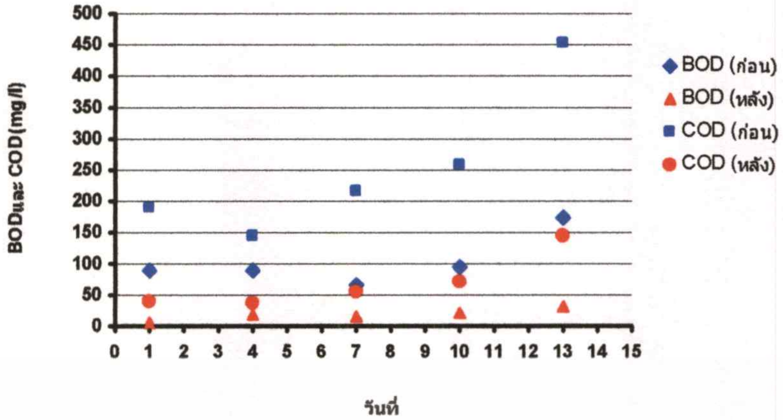
ผลการกำจัดสีย้อมจากชุมชนแห่งหนึ่ง ในจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยใช้คอลัมน์สูง 65 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร ที่บรรจุเศษผงเหล็ก 2 กิโลกรัม (เหล็กสูงประมาณ 30 เซนติเมตร) ซึ่งน้ำทิ้งจะถูกสูบด้วยปั๊มจากถังเก็บน้ำทิ้งเข้าสู่ระบบทางด้านบน และไหลออกทางด้านล่างที่อัตราการไหล 12.5 ลิตร/ชั่วโมง การทำงานของระบบเป็นการทำงานแบบแบทช์ ครั้งละ 8 ชั่วโมงต่อวัน



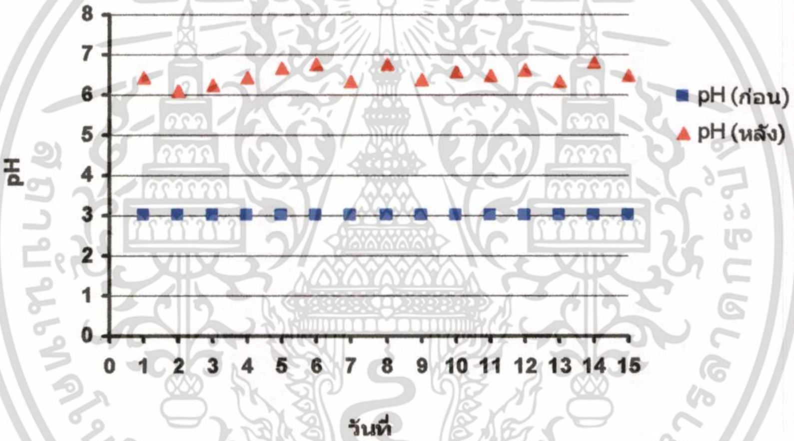
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อมทั้งก่อนและหลังกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านของชุมชน

จากรูปที่ 4.8 (ดูรายละเอียดในตารางที่ จ.1.1 และ รูปที่ จ.1-จ.15 ในภาคผนวก จ) จะเห็นได้ว่าน้ำที่เข้าสู่ระบบในแต่ละวัน จะมีสีและความเข้มในแต่ละวันแตกต่างกัน พบว่าก่อนการบำบัดจะมีสีอยู่ในช่วง 445-3721 ADMI และหลังการบำบัดจะมีสีอยู่ในช่วง 145-237 ADMI นั่นคือเศษผงเหล็กสามารถกำจัดสีย้อมได้ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดได้ 67-93% ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม

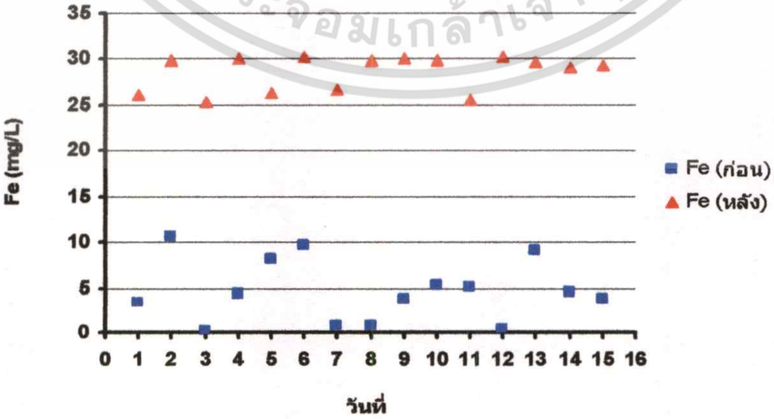
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ปริมาณ BOD และ COD ก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน

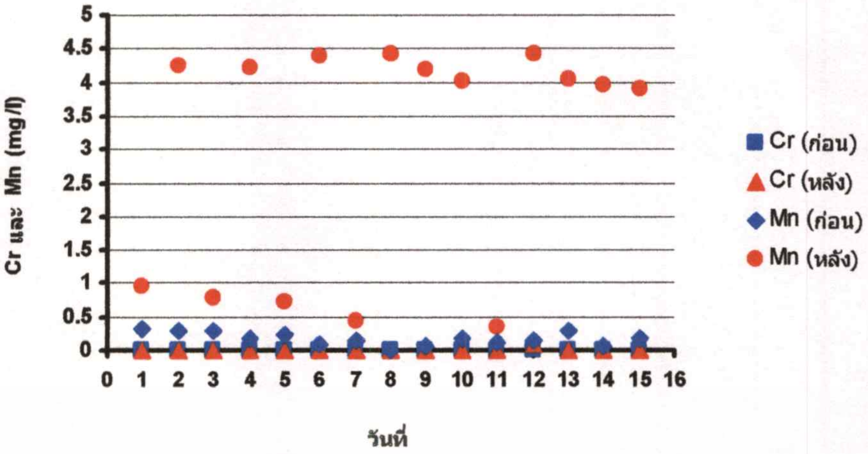


รูปที่ 4.10 ค่า pH ก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน



รูปที่ 4.11 ปริมาณของ Fe ก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ปริมาณของโครเมียมและแมงกานีสก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอ

จากรูป 4.9-4.12 (ดูรายละเอียดในตาราง จ.1.1 ในภาคผนวก จ) ค่า BOD และ COD ก่อนการบำบัดในแต่ละวันจะมีค่าที่แตกต่างกัน อยู่ในช่วง 66-175, 144-453 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนหลังการบำบัดค่า BOD และ COD จะมีค่าอยู่ในช่วง 15-32 และ 37-144 มิลลิกรัมต่อลิตร ทั้งค่า BOD และ COD สามารถลดได้อยู่ในช่วง 68-82% พีเอชหลังการบำบัดมีค่าประมาณ 6 ส่วนปริมาณ Fe และ Mn หลังการบำบัดอยู่ในช่วง 25-31 และ 0.3-4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วน Cr หลังการบำบัดตรวจพบเพียงแค่ 1 วัน (วันที่ 12) ซึ่งมีค่าน้อยมากคือ 0.09 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าของ Cr และ Mn นี้ มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนดไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 การทดลองแบบแบทช์

จากสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม คือ พีเอช 3, ระยะเวลาสัมผัส 30 นาที, ความเร็ว 150 รอบต่อนาที,ความเข้มข้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณของเศษผงเหล็ก 20 กรัมต่อลิตร (วรรณวิภา ผลาหาญ. 2547) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 และเศษผงเหล็กที่ใช้ คือ เหล็กเหนียว เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และเหล็กทั้งสามชนิดผสมกันในอัตราส่วน 1:1:1 โดยน้ำหนัก โดยการทดลองแบบแบทช์ สรุปผลได้ดังต่อไปนี้

1) เหล็กเหนียว เหล็กกล้า เหล็กหล่อ และเหล็กทั้งสามชนิดผสมกันในอัตราส่วน1:1:1 โดยน้ำหนัก สามารถกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 ได้มากกว่า 98% นั่นคือชนิดของเศษผงเหล็กไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิด

2) การกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 โดยใช้เศษผงเหล็กหล่อ สามารถลดค่า BOD, COD และ SS ได้ และค่า pH เข้าใกล้พีเอชที่เป็นกลาง ส่วนโลหะหนัก Fe, Cr และ Mn ที่วิเคราะห์ได้หลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าไม่เกินมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

3) การกำจัดสีย้อมในน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยใช้เศษผงเหล็กหล่อสามารถกำจัดสีย้อมได้ โดยมีความเข้มสีก่อนและหลังการบำบัด คือ 2034 ADMI และ 210 ADMI ตามลำดับ สามารถลดค่า BOD และ COD ได้ และค่า pH เข้าใกล้พีเอชที่เป็นกลาง ส่วนโลหะหนัก Fe, Cr และ Mn ที่วิเคราะห์ได้หลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าไม่เกินมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด

5.1.2 การทดลองแบบคอลัมน์

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม คือ อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที , ระยะเวลากักเก็บ 7.86 นาที, ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร, ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม

1) การทดลองแบบคอลัมน์โดยใช้เศษผงเหล็กหล่อสามารถกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 ได้เป็นเวลา 30 นาที ประสิทธิภาพการกำจัดมากกว่า 90%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) การกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5, Reactive Blue, Acid Blue 25 และ Direct Blue 15 โดยการทดลองแบบคอลัมน์ สามารถลดค่า BOD, COD และ SS ได้ และค่า pH เข้าใกล้พีเอชที่เป็นกลาง ส่วนโลหะหนัก Fe และ Mn ที่วิเคราะห์ได้หลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีค่าไม่เกินมาตรฐาน ส่วน Cr ตรวจไม่พบทั้งก่อนและหลังการทดลอง

3) การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน โดยการทดลองแบบคอลัมน์ใช้เศษผงเหล็กหล่อ สามารถลดค่า BOD และ COD ได้ และค่า pH เข้าใกล้พีเอชที่เป็นกลาง โลหะหนัก Fe และ Mn ที่วิเคราะห์ได้หลังการทดลองมีค่าเพิ่มขึ้น แต่ค่าไม่เกินมาตรฐาน ส่วน Cr ตรวจไม่พบทั้งก่อนและหลังการบำบัด

4) ประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กหลังการ Regenerate โดยการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก 3% มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการใช้เหล็กใหม่ในการกำจัดสีย้อม

5.1.3 การบำบัดน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านของชุมชน

1) น้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านในแต่ละวันสีและความเข้มของสีแตกต่างกัน พบว่าก่อนการบำบัดจะมีสีอยู่ในช่วง 445-3721 ADMI และหลังการบำบัดจะมีสีอยู่ในช่วง 145-237 ADMI เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การกำจัดจะอยู่ใน 67-93% ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสีย้อม พบว่าน้ำหลังการบำบัดจะใสไม่มีสี

2) สามารถลดค่า BOD, COD และ SS ได้ และค่า pH เข้าใกล้พีเอชที่เป็นกลาง ส่วนโลหะหนัก Fe และ Mn ที่วิเคราะห์ได้หลังการบำบัดมีค่าเพิ่มขึ้น แต่มีค่าไม่เกินมาตรฐานที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด ส่วน Cr จะตรวจพบน้อยมาก

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการกำจัดสีย้อมที่มีสีต่าง ๆ เช่น สีเหลือง สีเขียว เป็นต้น

5.2.2 ศึกษาปัจจัยอื่นที่มีผลต่อการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็ก เช่น ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (DO)

5.2.3 ศึกษาวิธีการกำจัด Fe หลังจากการบัดน้ำทิ้งจากกระบวนการฟอกย้อม

5.2.4 ศึกษาอัตราการกัดกร่อนของเศษผงเหล็ก

5.2.5 วิเคราะห์โครงสร้างของสีย้อมหลังกำจัดด้วยเศษผงเหล็กโดยใช้ LC-MS เพื่อศึกษาว่าสารตัวกลาง (Intermediate) มีความเป็นพิษหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

กัญจนา ตระกูลคู. 2530. **เทคโนโลยีการกัดกร่อน.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คราฟแมนเพรส.

กัญจนา ตระกูลคู. 2534. **เทคโนโลยีการกัดกร่อน.**พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : เอ็กซ์เพรส มีเดีย

กนกวรรณ แสงเกียรติยุทธ. 2547. **เหล็กหล่อ.** [Online].
Available : http://www.material.chula.ac.th/ RADIO44/june/radio6-1.htm

กฤษณา ชุติมา. 2531. **หลักเคมีทั่วไป เล่ม 1.** พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กมลรัตน์ ดีประเสริฐวงศ์. 2539. "การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแอกทิเวเต็ดสลัดจ์ในการกำจัดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมด้วยการเติมผงถ่านกัมมันต์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2542. **คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรมฟอกย้อม.** กรุงเทพ ฯ : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญากุล. 2543. "สมรรถภาพในการกำจัดสารอินทรีย์และสีของน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกย้อมไหมโดยถังจำลองยูเอเอสบีระดับห้องปฏิบัติการ. "วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

นันทยา ยานุมาศ. 2537. "ความเป็นพิษและมลพิษของสีย้อมและสารเคมีที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ." **วารสารคัลเลอร์เวย์.** 1(6):42-47.

นวลแข ปาลิวนิช. 2542. **ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

บุญวรรณ สุเทวี ให้สัมภาษณ์, 13 สิงหาคม 2548. นรารักษ์ นาเมืองรักษ์ ผู้สัมภาษณ์. **กระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน.** ประธานกลุ่มปลูกม่อนเลี้ยงไหม ต. ร่องคำ อ. ร่องคำ จ.กาฬสินธุ์.

ประไพ ไทยสุริยะ. 2540. "ความต้านทานการกัดกร่อนของแผ่นเหล็กไม่ชุบดีบุกแต่เคลือบแลกเกอร์และแผ่นเหล็กชุบดีบุกและเคลือบแลกเกอร์." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปิยนุช เหลืองโสวรรณ. 2544. "การบำบัดน้ำล้างสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมโดยใช้เยื่อแผ่นนาโนฟิลเตรชัน." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พูนทรัพย์ สวนเมือง ตุลาพันธ์ และคณะ. 2542. **การย้อมสีไหมด้วยวัสดุธรรมชาติในภาคอีสานของไทย.** กรุงเทพฯ : ม.ป.ท.

มนัส สถิรจินดา. 2539. **เหล็กกล้า.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์ และ ไพพรรณ พรประภา. 2527. **การปรุงแต่งคุณภาพน้ำสำหรับระบบหม้อน้ำระบบหล่อเย็น ระบบประปาในอาคาร.** กรุงเทพ ฯ : ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ราตรี ปิ่นทอง. 2543. "การดูดซับสารละลายสีย้อมโดยใช้ต้นข้าวโพดและมันสำปะหลัง." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วรรณวิภา ผลาหาญ. 2547. "การกำจัดสีรีแอกทีฟจากน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมโดยใช้เศษผงเหล็ก." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

วุฒิชัย ทิฐิพงษ์. 2545. "การกำจัดเฮกซะวาเลนท์โครเมียมและนิเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผงตะไบเหล็ก." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ. 2543. **การประชุมทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 1.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2539. **การสัมมนา เรื่องการกัดกร่อนของวัสดุอุตสาหกรรมกับบทบาทของ ISO 9000/ISO 14000.** กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย.

สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม. 2543. **คู่มือปฏิบัติการสำหรับการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมและติดตามตรวจสอบคุณภาพสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กและ/หรือเหล็กกล้า.** กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพฯ : บริษัท ซีคอท จำกัด.

สำนักวิชาการป่าไม้. 2539. ของป่าในประเทศไทย. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท.

อธิชาติ ปานเจริญ. 2527. "การสำรวจสารลดสีที่มีศักยภาพสำหรับน้ำเสียจากโรงย้อม." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อภิชาต สนธิสมบัติ. 2545. **กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ.** กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อังคณา ตุลไตรรัตน์. 2540. **สุขภาพและสิ่งแวดล้อมกับการใช้สีอินทรีย์.** คัลเลอร์เวย์. 2(มีนาคม-เมษายน) : 29-37

อัจราพร ไศละสูต และชิเงรุ วาตานาเบ. 2520. **วิศวกรรมสิ่งทอ.** กรุงเทพฯ : บริษัทศูนย์หนังสือกรุงเทพฯ

อุตสาหกรรมย้อมผ้า. 2537. **วารสาร TTIS Textile Digest.** ฉบับที่ 17. กันยายน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Allen,W., Prescott, W.B., Derby, R.E., Garland, C.E., Peret, J.M., and Salzman, M. 1973. Determination of Color of Water and Wastewater by means of ADMI Color Values. Proc. 28th Ind. Waste Conf. Purdue University, Lafayette Indiana : 661-675.

APHA. 1995. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 19th ed. Washington D.C. : American Public Health Association.

Brown, D. and Hamburger, B. 1987. "The Degradation of Dyestuff: Part III-Investigations of their Ultimate Degradability." **Chemosphere.** 16(7) : 1539-1553.

Burris D.R., Campbell T.J. and Manoranjan V.S. 1995. "Sorption of Trichloroethylene and Tetrachloroethylene in a Batch Reactive Metallic Iron-Water System." **Environmental Science and Technology.** 29(11) : 2850-2855.

Cao, J., Wei, L., Huang, Q., Wang, L. and Shuolcui, H. 1999. "Reduction Degradation of Azo Dye by Zero-Valent Iron in Aqueous Solution." **Chemosphere.** 38(3), 565-571.

Deng, N., Luo, F., Wu, F., Xiao, M. and Wu, X. 2000. "Discoloration of Aqueous Reactive Dye Solution in the UV/Fe^0 System." **Water Research.** 34(8), 2408-2411.

Feng, W., Nansheng, D. and Helin, H. 2000. "Degradation Mechanism of Azo Dye C.I.Reactive Red 2 by Iron Powder Reduction and Photooxidation in Aqueous Solutions." **Chemosphere.** 41, 1233-1238.

Hui, Z., Lijie, D., Yi, Z. and Feng, w. 2004. "The Use of Ultrasound to Enhance the Decolorization of the C.I. Acid Orange 7 by Zero-valent Iron." **Dyes and Pigment 65**. : 39-43.

Knocke, W.R., Van,J.E. Keamey, M.J., Soborsk, A.W. and Reckhow, D.A. 1991. "Kinetics of Manganese and Iron Oxidation by Potassium Permanganate and Chlorine Dioxide. **J.AWWA.** 67 : 80-89.

Mantha, R., Taylor K.E., Biswas, N. and Bewtra, J.K. 2001. "A Continuous System for Fe^0 Reduction of Nitrobenzene in Synthetic Wastewater. " **Environmental Science and Technology.** 35(15) : 3231-3236.

Muruganandham, M. and Swaminathan, M. 2004. "Photochemical Oxidation of Reactive Azo Dye with UV-H_2O_2 Process." **Dye and Pigments.** 62 : 271-277.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Powell, R.M. and Puls, R.W. 1995. "Couple Iron Corrosion and Chromate Reduction : Machanism for Subsurface Remediation." **Environmental Science and Technology**. 29(8) : 1913-1922.

Tezcanli-Guyer, G. and Ince, N.H. 2003. "Degradation and Toxicity Reduction of Textile Dyestuff by Ultrasound." **Ultrasonic Sonochemistry.** 10 : 235-240.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

กราฟมาตรฐานของสีย้อม

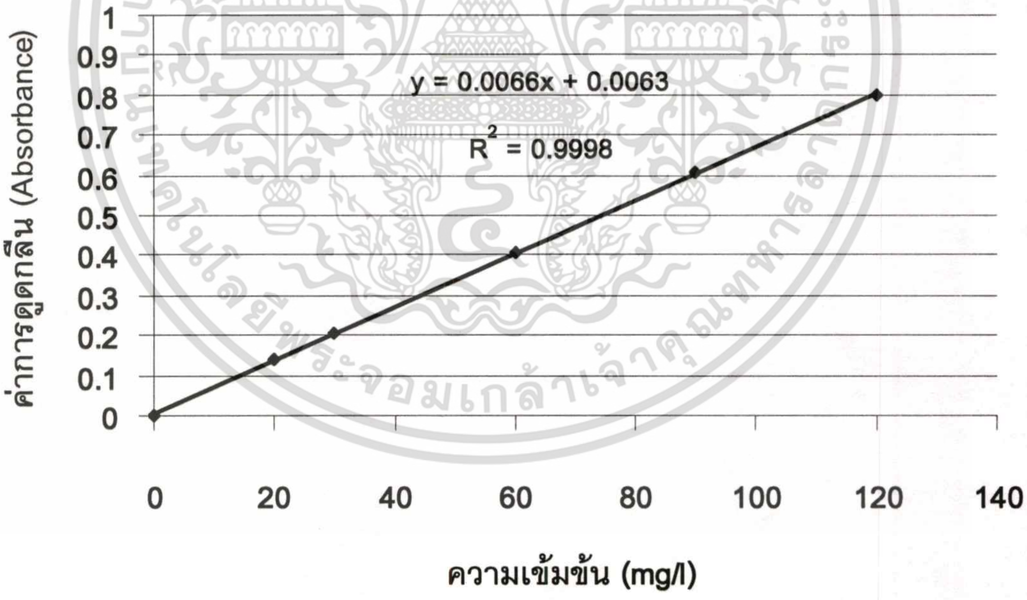
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.1 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Reactive Blue 5

ความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λmax) คือ 602 นาโนเมตร

ตารางที่ ก.1 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5

ความเข้มข้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
20	0.142
30	0.207
60	0.407
90	0.606
120	0.797



รูปที่ ก.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Reactive Blue 5

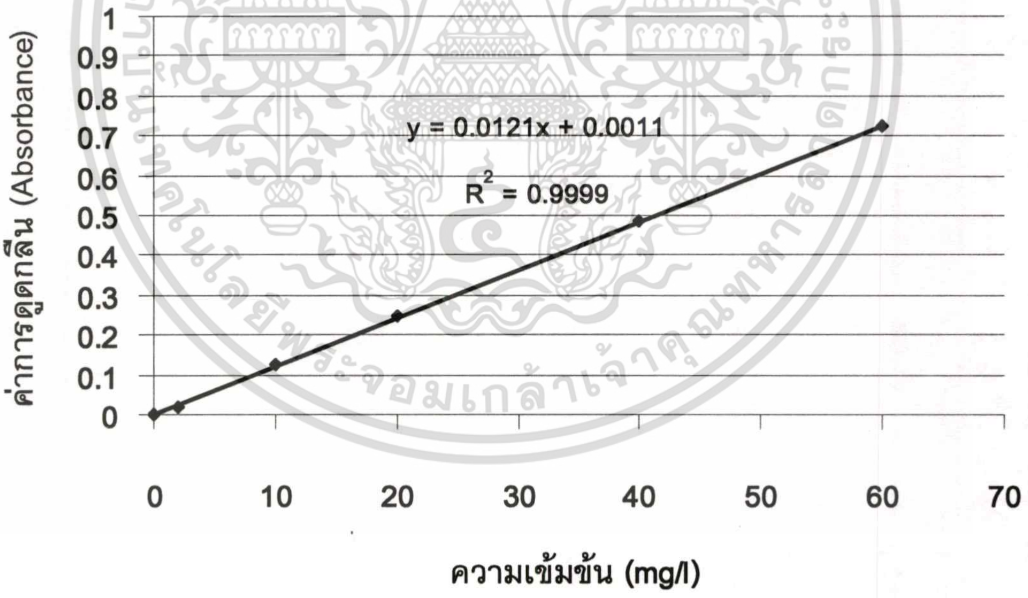
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.2 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Reactive Blue

ความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λmax) คือ 600 นาโนเมตร

ตารางที่ ก.2 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม Reactive Blue

ความเข้มข้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
2	0.021
10	0.124
20	0.246
40	0.487
60	0.722



รูปที่ ก.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Reactive Blue

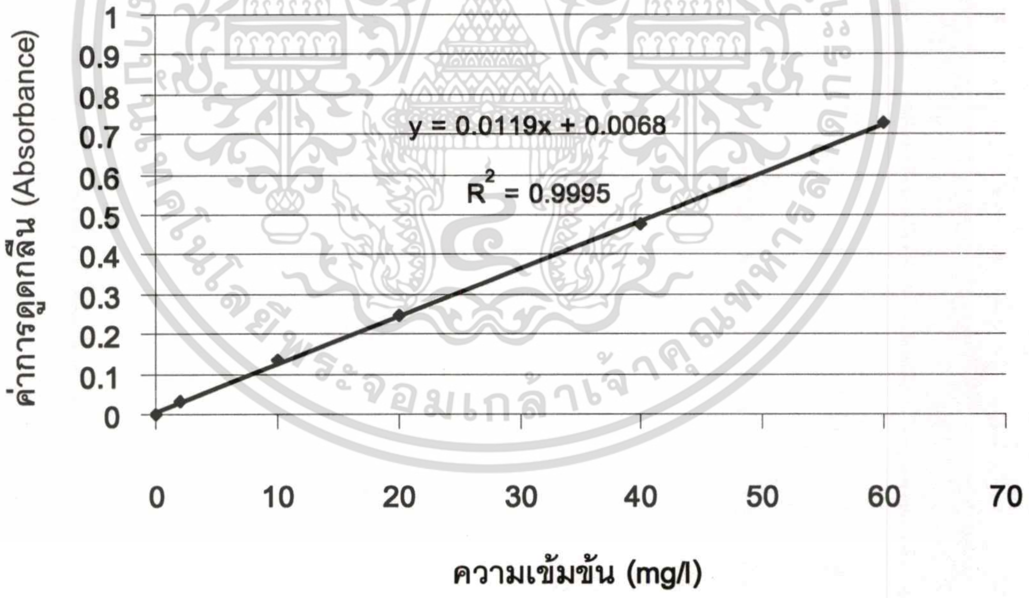
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.3 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Acid Blue 25

ความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λmax) คือ 603 นาโนเมตร

ตารางที่ ก.3 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม Acid Blue 25

ความเข้มข้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
2	0.032
10	0.135
20	0.247
40	0.476
60	0.727



รูปที่ ก.3 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Acid Blue 25

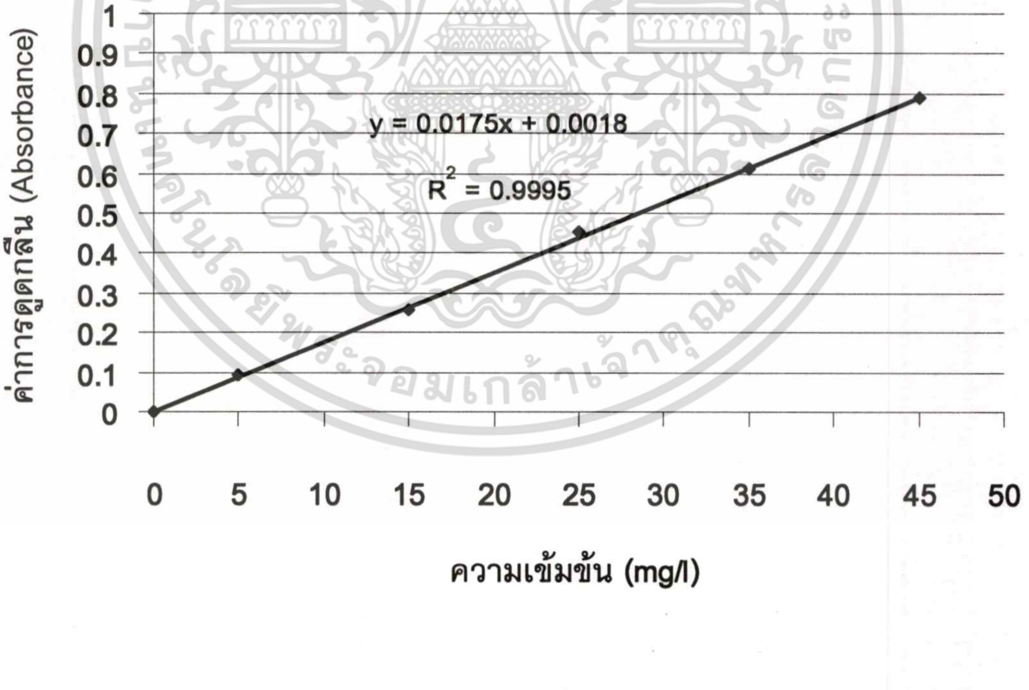
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก.4 กราฟมาตรฐานของสีย้อม Direct Blue 15

ความยาวคลื่นแสงที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (λmax) คือ 596 นาโนเมตร

ตารางที่ ก.4 ค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ของสารละลายสีย้อม Direct Blue 15

ความเข้มข้นของสีย้อม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance)
5	0.094
15	0.256
25	0.451
35	0.611
45	0.791



รูปที่ ก.4 กราฟมาตรฐานของสารละลายสีย้อม Direct Blue 15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อมแต่ละชนิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.1 ผลของชนิดเหล็กที่เหมาะสมในการกำจัดสีย้อม (การทดลองแบบแบทช์)

ตารางที่ ข.1.1 ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

ชนิดเหล็ก	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
เหล็กเหนียว	2.33	2.18	1.87	2.11	0.23	97.89
เหล็กกล้า	0.91	0.67	1.12	0.90	0.23	99.10
เหล็กหล่อ	0.67	0.97	1.27	0.97	0.30	99.03
เหล็ก 3 ชนิด (1:1:1)	0.36	0.21	0.67	0.26	0.23	99.79

ตารางที่ ข.1.2 ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

ชนิดเหล็ก	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
เหล็กเหนียว	1.73	1.56	1.64	1.64	0.09	98.36
เหล็กกล้า	1.06	0.98	0.82	0.95	0.12	99.05
เหล็กหล่อ	0.82	0.82	1.06	0.90	0.14	99.10
เหล็ก 3 ชนิด (1:1:1)	0.74	0.65	0.65	0.68	0.05	99.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.1.3 ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม Acid Blue 25 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

ชนิดเหล็ก	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
เหล็กเหนียว	0.18	0.44	0.35	0.32	0.13	99.68
เหล็กกล้า	0.10	0.27	0.18	0.18	0.09	99.82
เหล็กหล่อ	0.43	0.10	0.18	0.24	0.17	99.76
เหล็ก 3 ชนิด (1:1:1)	0.18	0.18	0.26	0.21	0.05	99.79

ตารางที่ ข.1.4 ผลของชนิดเหล็กในการกำจัดสีย้อม Direct Blue 15 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที

ชนิดเหล็ก	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
เหล็กเหนียว	0.41	0.75	0.64	0.60	0.17	99.40
เหล็กกล้า	0.75	0.35	0.64	0.58	0.21	99.42
เหล็กหล่อ	0.64	0.47	0.30	0.47	0.17	99.53
เหล็ก 3 ชนิด (1:1:1)	0.30	0.35	0.47	0.37	0.08	99.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.2 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็กหล่อ (การทดลองแบบแบทช์)

ตารางที่ ข.2.1 ผลชนิดของสีย้อมที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อ ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที (การทดลองแบบแบทช์)

ชนิดสีย้อม	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
Reactive Blue 5	0.67	0.97	1.27	0.97	0.30	99.03
Reactive Blue	0.82	0.82	1.06	0.90	0.14	99.10
Acid Blue 25	0.43	0.10	0.18	0.24	0.17	99.76
Direct Blue 15	0.64	0.47	0.30	0.47	0.17	99.53

ตารางที่ ข.2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 1 กรัม (20 กรัมต่อลิตร) เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที (การทดลองแบบแบทช์)

ตัวอย่าง	ความเข้มข้นของสีย้อม ในหน่วย ADMI			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
ก่อนการทดลอง	2034	2034	2034	2034	0	89.68
หลังการทดลอง	210	210	210	210	0	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข.3 ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีย้อมของเศษผงเหล็กหล่อ (การทดลองแบบคอลัมน์)

ตารางที่ ข.3.1 ผลประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	0.58	0.41	0.86	0.63	0.21	99.37
10	1.47	1.47	1.32	1.42	0.09	98.58
15	2.83	2.39	2.39	2.54	0.25	97.46
20	2.98	2.83	2.83	2.88	0.09	97.12
25	4.05	3.59	3.74	3.79	0.23	96.21
30	9.65	8.89	8.74	9.09	0.49	90.91
35	36.92	36.92	36.92	36.92	0	63.08
40	70.26	67.23	67.23	68.24	1.75	31.76
45	88.44	88.44	89.95	88.94	0.87	11.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3.2 ผลประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	2.03	1.73	1.88	1.88	0.15	98.12
10	1.57	2.03	2.18	1.93	0.32	98.07
15	1.73	1.88	2.03	1.88	0.15	98.12
20	2.03	2.03	2.18	2.08	0.09	97.92
25	2.33	2.33	2.03	2.23	0.17	97.77
30	10.06	9.61	10.06	9.91	0.26	90.09
35	24.30	24.00	25.36	24.55	0.71	75.45
40	32.79	32.33	32.94	32.69	0.36	67.31
45	67.18	67.33	66.73	67.08	0.31	32.92

ตารางที่ ข.3.3 ผลประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อม Acid Blue 25 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	0.41	1.17	0.86	0.81	0.38	99.19
10	1.62	1.88	1.88	1.79	0.15	98.21
15	1.88	2.03	2.33	2.08	0.23	97.92
20	2.33	2.64	2.48	2.48	0.16	97.52
25	4.00	4.00	3.89	3.96	0.06	96.04
30	9.61	9.76	9.61	9.66	0.09	90.34
35	21.77	21.47	21.32	21.52	0.23	78.84
40	27.38	27.53	27.23	27.38	0.15	72.62
45	58.14	53.59	55.11	55.61	2.32	44.39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.3.4 ผลประสิทธิภาพของเศษผงเหล็กในการกำจัดสีย้อม Direct Blue 15 ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	1.88	1.88	2.33	2.03	0.26	97.97
10	2.18	2.03	2.03	2.08	0.09	97.92
15	5.82	5.36	5.52	5.57	0.23	94.43
20	5.52	5.52	5.82	5.62	0.17	94.38
25	7.03	6.73	6.88	6.88	0.15	93.12
30	9.15	10.06	9.45	9.55	0.46	90.45
35	35.86	35.41	36.02	35.76	0.32	64.24
40	74.80	70.26	70.26	71.77	2.62	28.23
45	89.95	96.02	96.02	94.00	3.50	6.00

ข.4 ศึกษาประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็กหล่อ (การทดลองแบบคอลัมน์)

ตารางที่ ข.4.1 ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (เริ่มต้น) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	0.56	0.71	0.71	0.66	0.09	99.34
10	1.02	1.02	0.71	0.92	0.18	99.08
15	1.47	1.32	1.32	1.37	0.09	98.63
20	2.64	2.83	2.83	2.77	0.11	97.23
25	4.05	4.05	3.74	3.95	0.18	96.05
30	9.35	8.89	8.74	8.99	0.32	91.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4.2 ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (ครั้งที่ 1) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	0.86	0.86	1.47	1.06	0.32	98.94
10	0.71	1.32	1.32	1.12	0.35	98.88
15	4.75	4.35	4.50	4.53	0.20	95.47
20	5.41	5.06	5.41	5.29	0.20	94.71
25	7.53	7.38	7.53	7.48	0.09	92.52
30	9.61	9.50	9.50	9.54	0.06	90.46

ตารางที่ ข.4.3 ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (ครั้งที่ 2) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	2.33	2.03	1.88	2.08	0.23	97.92
10	2.03	2.18	2.48	2.23	0.23	97.77
15	2.33	2.18	2.33	2.28	0.09	97.72
20	5.97	5.97	5.82	5.92	0.09	94.08
25	6.88	7.64	7.03	7.18	0.40	92.82
30	9.76	10.36	9.91	10.01	0.31	89.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ข.4.4 ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (ครั้งที่ 3) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	2.94	2.79	2.79	2.84	0.09	97.16
10	3.39	3.70	3.55	3.55	0.16	96.45
15	4.91	5.06	4.91	4.96	0.09	95.04
20	7.33	7.48	7.18	7.32	0.17	92.68
25	8.24	8.55	8.39	8.39	0.16	91.61
30	10.06	10.21	9.91	10.06	0.15	89.94

ตารางที่ ข.4.5 ผลประสิทธิภาพการนำกลับมาใช้ใหม่ของเศษผงเหล็ก (ครั้งที่ 4) ในการกำจัดสีย้อม Reactive Blue 5 ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณเศษผงเหล็ก 10 กรัม ที่อัตราการไหล 4 มิลลิลิตรต่อนาที (การทดลองแบบคอลัมน์)

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของสีย้อมที่เหลือ (มิลลิกรัมต่อลิตร)			เฉลี่ย	SD	% การกำจัด
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3			
5	2.64	2.53	2.39	2.52	0.13	97.48
10	2.83	2.39	2.64	2.62	0.22	97.38
15	4.00	4.20	4.00	4.07	0.12	95.93
20	8.89	9.15	9.15	9.06	0.15	90.94
25	9.76	9.91	10.21	9.96	0.23	90.04
30	13.74	13.59	14.05	13.79	0.23	86.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

ค่า pH, BOD, COD, SS และโลหะหนักของสีย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.1 ผลของค่า pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมก่อนการทดลอง

ตารางที่ ค.1.1 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue 5 (ก่อนการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	5.73	5.67	5.91	5.77	0.12
DO_0 (mg/l)	9.05	8.86	8.92	8.94	0.09
DO_5 (mg/l)	5.89	5.90	5.93	5.91	0.02
BOD (mg/l)	62.46	60.03	61.04	59.73	2.32
COD^* (mg/l)	127.30	124.03	125.66	125.66	1.33
Fe (mg/l)	0.15	0.15	0.13	0.14	0.01
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	0.03	0.05	0.05	0.04	0.01

ตารางที่ ค.1.2 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue (ก่อนการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	6.02	5.98	6.00	6.00	0.02
DO_0 (mg/l)	8.95	9.10	8.98	8.94	0.08
DO_5 (mg/l)	5.94	5.89	5.90	5.91	0.03
BOD (mg/l)	59.42	63.48	60.84	61.25	2.06
COD^* (mg/l)	133.82	127.30	130.56	130.56	3.20
Fe (mg/l)	0.29	0.30	0.30	0.30	0.01
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	0.05	0.06	0.03	0.05	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.3 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Acid Blue 25 (ก่อนการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	5.92	5.85	5.87	5.88	0.04
DO_0 (mg/l)	9.01	8.96	8.99	8.99	0.03
DO_5 (mg/l)	6.47	6.42	6.45	6.45	0.03
BOD (mg/l)	49.88	49.89	49.89	49.89	0.01
COD^* (mg/l)	124.03	122.40	120.77	122.40	1.63
Fe (mg/l)	0.15	0.15	0.14	0.15	0.01
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	0.04	0.03	0.06	0.04	0.02

ตารางที่ ค.1.4 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Direct Blue 15 (ก่อนการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	5.23	5.34	5.30	5.29	0.06
DO_0 (mg/l)	8.76	8.75	8.78	8.76	0.07
DO_5 (mg/l)	5.83	5.78	5.85	5.82	0.04
BOD (mg/l)	57.80	58.61	57.80	58.07	0.47
COD^* (mg/l)	131.20	134.40	134.40	133.33	1.85
Fe (mg/l)	0.26	0.27	0.28	0.27	0.01
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	0.04	0.04	0.06	0.05	0.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.1.5 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน (ก่อนการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	5.97	6.01	5.87	5.95	0.07
DO_0 (mg/l)	8.72	8.70	8.69	8.70	0.03
DO_5 (mg/l)	5.89	5.86	5.80	5.85	0.05
BOD (mg/l)	139.42	139.93	142.47	140.61	1.63
COD^* (mg/l)	319.87	326.40	313.34	319.87	6.53
Fe (mg/l)	0.42	0.45	0.46	0.44	0.02
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	0.10	0.14	0.10	0.11	0.02

ค.2 ผลของค่า pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมหลังการทดลองแบบแบทซ์

ตารางที่ ค.2.1 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue 5 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทซ์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	5.97	6.01	5.99	5.99	0.02
DO_0 (mg/l)	8.78	8.75	8.90	8.75	0.09
DO_5 (mg/l)	1.60	1.57	1.63	1.60	0.03
BOD (mg/l)	7.20	7.20	7.29	7.23	0.05
COD^* (mg/l)	30.05	33.25	29.38	30.89	2.07
Fe (mg/l)	14.27	15.02	14.77	14.69	0.38
Cr (mg/l)	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01
Mn (mg/l)	0.27	0.20	0.19	0.22	0.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2.2 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	5.94	6.02	6.04	6.00	0.05
DO_0 (mg/l)	9.04	8.94	8.90	8.92	0.07
DO_5 (mg/l)	2.01	1.96	1.97	1.98	0.03
BOD (mg/l)	4.90	4.95	4.94	4.93	1.79
COD^* (mg/l)	27.75	34.27	31.01	31.01	3.26
Fe (mg/l)	17.03	16.69	16.79	16.84	0.17
Cr (mg/l)	0.02	0.04	0.03	0.03	0.01
Mn.(mg/l)	0.28	0.23	0.31	0.27	0.04

ตารางที่ ค.2.3 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Acid Blue 25 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	6.01	6.01	6.03	6.02	0.01
DO_0 (mg/l)	9.00	8.95	8.97	8.96	0.03
DO_5 (mg/l)	2.28	2.00	2.18	2.15	0.14
BOD (mg/l)	6.73	6.97	6.80	6.83	0.12
COD^* (mg/l)	31.01	27.75	23.65	27.75	3.69
Fe (mg/l)	15.78	16.10	15.45	15.78	0.33
Cr (mg/l)	0.02	0.04	0.05	0.04	0.20
Mn (mg/l)	0.29	0.30	0.24	0.28	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.2.4 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Direct Blue 15 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	6.04	6.00	6.04	6.03	0.02
DO_0 (mg/l)	9.10	9.07	9.02	9.06	0.04
DO_5 (mg/l)	1.72	1.64	1.70	1.69	0.04
BOD (mg/l)	7.36	7.44	7.38	7.39	0.04
COD^* (mg/l)	31.01	31.01	27.75	29.90	1.30
Fe (mg/l)	18.42	18.06	19.01	18.50	0.48
Cr (mg/l)	0.05	0.02	0.03	0.03	0.02
Mn (mg/l)	0.30	0.28	0.29	0.03	0.01

ตารางที่ ค.2.5 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบแบทช์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	6.10	6.05	6.07	6.07	0.03
DO_0 (mg/l)	8.70	8.73	8.75	8.73	0.03
DO_5 (mg/l)	6.52	6.61	6.56	6.56	0.05
BOD (mg/l)	21.59	20.69	21.19	21.16	0.45
COD^* (mg/l)	84.50	78.05	81.25	81.27	3.23
Fe (mg/l)	17.14	15.57	16.38	16.36	0.79
Cr (mg/l)	0.02	0.02	0.04	0.03	0.01
Mn (mg/l)	0.28	0.29	0.31	0.29	0.02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค.3 ผลของค่า pH BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมหลังการทดลองแบบคอลัมน์

ตารางที่ ค.3.1 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue 5 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	5.99	6.05	6.04	6.03	0.03
DO_0 (mg/l)	8.81	8.74	8.76	8.77	0.04
DO_5 (mg/l)	1.86	1.90	1.81	1.86	0.05
BOD (mg/l)	6.93	6.89	6.98	6.93	0.05
COD^* (mg/l)	23.64	27.20	26.40	20.45	1.88
Fe (mg/l)	24.34	24.42	25.19	24.65	0.47
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	1.27	1.22	1.35	1.28	0.07

ตารางที่ ค.3.2 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Reactive Blue ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	6.01	6.02	6.02	6.02	0.01
DO_0 (mg/l)	8.91	8.88	8.89	8.89	0.02
DO_5 (mg/l)	2.20	2.18	2.13	2.17	0.04
BOD (mg/l)	6.70	6.72	6.77	6.73	0.04
COD^* (mg/l)	21.51	30.11	26.91	26.18	4.35
Fe (mg/l)	27.08	28.10	26.54	27.24	0.79
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	1.30	1.34	1.29	1.31	0.03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3.3 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Acid Blue 25 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	6.10	6.07	6.04	6.07	0.03
DO_0 (mg/l)	9.00	8.97	8.96	8.98	0.02
DO_5 (mg/l)	2.11	2.19	2.14	2.15	0.04
BOD (mg/l)	6.89	6.80	6.85	6.85	0.05
COD^* (mg/l)	26.91	20.51	23.71	23.71	3.20
Fe (mg/l)	25.14	24.91	25.84	25.30	0.48
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	1.27	1.30	1.29	1.29	0.02

ตารางที่ ค.3.4 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อม Direct Blue 15 ที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	6.05	6.03	6.03	6.04	0.01
DO_0 (mg/l)	8.91	8.87	8.92	8.90	0.03
DO_5 (mg/l)	1.95	2.02	1.91	1.96	0.06
BOD (mg/l)	6.97	6.90	7.01	6.96	0.06
COD^* (mg/l)	23.44	23.44	25.54	24.14	1.21
Fe (mg/l)	27.80	27.54	26.93	27.42	0.45
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	1.02	1.15	1.37	1.18	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค.3.5 ผลของค่าปริมาณ pH, BOD, COD, Fe, Cr และ Mn ของสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านที่ถูกกำจัดด้วยเศษผงเหล็กหล่อโดยการทดลองแบบคอลัมน์ (หลังการทดลอง)

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์			เฉลี่ย	SD
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
pH	6.09	6.11	6.17	7.12	0.04
DO_0 (mg/l)	8.82	8.89	8.85	8.85	0.04
DO_5 (mg/l)	6.45	6.38	6.41	6.41	0.04
BOD (mg/l)	23.52	24.23	23.93	23.89	0.36
COD^* (mg/l)	70.17	73.44	71.80	71.80	1.54
Fe (mg/l)	27.42	26.76	26.18	26.79	0.62
Cr (mg/l)	ND	ND	ND	-	-
Mn (mg/l)	1.44	1.75	1.67	1.62	0.16

หมายเหตุ ค่า COD^* คำนวณจาก $COD_{ตัวอย่าง} - COD_{Fe}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง

การหาค่า ADMI
โดยใช้เครื่อง Single Beam Spectrophotometer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดสีย้อมในหน่วยเอดีเอ็มไอ (APHA. 1995)

1. เครื่องมือและอุปกรณ์

1.1 เครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ ความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร

1.2 Suction pump

1.3 ฟิลเตอร์ฟลาสค์ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.4 กระดาษกรอง GF/C

1.5 กระดาษกรอง 0.45 ไมครอน

1.6 เซลล์วัดแสงที่มีช่วงแสง 10 มิลลิเมตร

2. สารเคมี

2.1 โพแทสเซียมคลอโรแพลตติเนต (K_2PtCl_6) เตรียมได้จาก 2.3.1 หรือ 2.3.2

2.3.1 โพแทสเซียมคลอโรแพลตติเนต (K_2PtCl_6) จำนวน 2.492 กรัมในน้ำกลั่นเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 200 มิลลิลิตร และโคบอลต์(II)คลอไรด์เฮกซิไฮเดรต ($CoCl_2.6H_2O$) 2 กรัม และเจือจางจนได้ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยใช้ขวดวัดปริมาตร ซึ่งจะมีหน่วยสีเท่ากับ 1,000 ADMI หรืออาจใช้

2.3.2 โลหะแพลตตินัมบริสุทธิ์ 1,000 มิลลิกรัม ละลายในกรดกัดทอง (Aqua regia) โดยการให้ความร้อนไล่กรดไนตริกด้วยการระเหย และเติมกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นลงไปใหม่ จนละลายได้หมด จากนั้นจึงเติม โคบอลต์(II)คลอไรด์เฮกซะไฮเดรต 2 กรัม แล้วจึงปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร

3. การทดลอง

3.1 การเตรียมสารละลายสีมาตรฐานที่มีสี 250, 300, 400, 500 และ 1000 ADMI โดยการเจือจางสารละลายสต๊อกจากสารเคมีข้อ 2.3.1 หรือ 2.3.2 โดยปิเปตมา 12.5, 15, 20,25 และ 50 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้เป็น 50 มิลลิลิตรในขวดวัดปริมาตร สำหรับสารละลายสีมาตรฐานที่มีสีเท่ากับ 1000 ADMI ไม่ต้องทำการปรับปริมาตรใด ๆ ทั้งสิ้น

- นำละลายสีมาตรฐานที่ความเข้มข้นต่าง ๆ กรองด้วยกระดาษกรอง GF/C ก่อนแล้วนำไปกรองต่อด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน
- นำมาวัดค่าทรานส์มิตแตนซ์ (%T) แต่ละความยาวคลื่นดังตารางที่ ง.1

3.2 การวิเคราะห์ตัวอย่างทำเช่นเดียวกันกับสีมาตรฐานทุกประการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง.1 แสดงโคออร์ดิเนตที่ต้องวัดในการวัดสีด้วยสเปคโตรโฟโตมิเตอร์

Coordinate No.	X	Y	Z
		wavelength (nm)	
2	435.5	489.5	422.2
5	461.2	515.2	432.0
8	544.3	529.8	438.6
11	564.1	541.4	444.4
14	577.4	551.8	450.1
17	588.7	561.9	455.9
20	599.6	572.5	462.0
23	610.9	584.8	468.7
26	624.2	600.8	477.7
29	654.9	627.3	495.2

4. การคำนวณ

4.1. การหาค่า tristimulus (X_s, Y_s, Z_s)

หาผลรวมค่าทรานส์มิตแตนซ์ของแต่ละช่วง (X,Y,Z) จากนั้นคูณด้วยแฟคเตอร์ที่เหมาะสม จะได้ค่า Tristimulus (X_s, Y_s, Z_s) ของแต่ละสีมาตรฐานและตัวอย่าง (Allen และคณะ. 1973)

4.2. การหาค่า Munsell (V_{xs}, V_{ys}, V_{zs})

นำค่า Tristimulus ที่ได้จากการคำนวณมาหาค่า Munsell ต่อ โดยใช้สมการ

$$V_{xs}, V_{ys}, V_{zs} = \{1.16\{[X_c, Y_c, Z_c / X_s, Y_s, Z_s]+0.6\}^{0.41}\}\}x10$$

4.3. การหาค่าความแตกต่างของสี Adams-Nickerson (DE)

$$DE = \{(0.23\Delta V_y)^2+[\Delta (V_x-V_y)]^2+[0.4\Delta (V_y-V_z)]^2\}^{1/2}$$

เมื่อ

$$V_y = V_{yc} - V_{ys}$$

$$\Delta(V_x-V_y) = (V_{xs} - V_{ys}) - (V_{xc} - V_{yc})$$

$$\Delta(V_y-V_z) = (V_{ys} - V_{zs}) - (V_{yc} - V_{zc})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การหาค่า Calibration Factor (F)

ทำได้โดยนำค่า F จากตัวอย่างสีมาตรฐานและค่า DE มาพลอตกราฟโดยให้ค่า F เป็นแกน Y และค่า DE เป็นแกน X เมื่อคำนวณหาค่าความชันจะได้เป็นค่า Calibration Factor หรือค่า F

4.5 การคำนวณหาค่า ADMI ของตัวอย่าง

ทำการคำนวณได้โดย ใช้สมการดังนี้

$$\text{ค่า ADMI} = \frac{(F)(DE)}{b}$$

เมื่อ ค่า b คือความกว้างของช่วงแสงที่ผ่านสารละลาย (ความกว้างของเซลล์วัดแสง)

การศึกษานี้ได้คำนวณโดยใช้โปรแกรมใน EXCEL เพื่อสะดวกในการใช้งาน ดังแสดงในตัวอย่าง หน้า 87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APHA (250)						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	89.0	489.5	89.6	422.2	87.6
5	461.2	87.2	515.2	95.5	432.0	68.5
8	544.3	96.8	529.8	96.4	438.6	70
11	564.1	97.5	541.4	97.8	444.4	71.6
14	577.4	98.3	551.8	97.9	450.1	74.3
17	588.7	98.1	561.9	99.7	455.9	74.6
20	599.6	98.1	572.5	99.7	462.0	76.8
23	610.9	98.3	584.8	99.1	468.7	77.6
26	624.2	99.0	600.8	99.4	477.7	79.3
29	654.9	101.4	627.3	98.7	495.2	93

\

APHA (300)						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	67.8	489.5	80.8	422.2	57.1
5	461.2	73.4	515.2	88.2	432.0	65.3
8	544.3	92.5	529.8	91	438.6	67.7
11	564.1	91.7	541.4	93.5	444.4	69.6
14	577.4	91.8	551.8	92.3	450.1	72.2
17	588.7	89.4	561.9	92.8	455.9	71.7
20	599.6	99.6	572.5	93.1	462.0	73.4
23	610.9	100.6	584.8	89.8	468.7	75
26	624.2	101.5	600.8	100.4	477.7	76.9
29	654.9	104.3	627.3	100.5	495.2	92.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APHA (400)						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	63.6	489.5	77.7	422.2	53.4
5	461.2	70	515.2	86.4	432.0	62.2
8	544.3	91.7	529.8	89.2	438.6	64.4
11	564.1	92.7	541.4	91.7	444.4	65.6
14	577.4	93	551.8	92.3	450.1	67.1
17	588.7	90.7	561.9	92.7	455.9	67.9
20	599.6	87.5	572.5	92.1	462.0	68.3
23	610.9	98.7	584.8	91.1	468.7	70.2
26	624.2	100.5	600.8	87.5	477.7	74.1
29	654.9	104.4	627.3	99.4	495.2	80.3

APHA (500)						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	58.9	489.5	74.4	422.2	50
5	461.2	65	515.2	84.5	432.0	58.4
8	544.3	90.7	529.8	89.2	438.6	61
11	564.1	91.7	541.4	90.9	444.4	60.9
14	577.4	90.6	551.8	92.3	450.1	62.5
17	588.7	89.4	561.9	91.9	455.9	62.8
20	599.6	86.5	572.5	92.2	462.0	63.7
23	610.9	101	584.8	102.2	468.7	66.2
26	624.2	102.9	600.8	103.5	477.7	69.2
29	654.9	103	627.3	104.8	495.2	76.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

APHA (1000)						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	44.6	489.5	58.5	422.2	33.3
5	461.2	46.8	515.2	74.7	432.0	40.3
8	544.3	86.2	529.8	82.1	438.6	44
11	564.1	89.6	541.4	86.2	444.4	43.9
14	577.4	90.5	551.8	88.4	450.1	45.2
17	588.7	88.1	561.9	88.8	455.9	46.1
20	599.6	89.5	572.5	88.8	462.0	46.2
23	610.9	100.8	584.8	88.6	468.7	48.2
26	624.2	102	600.8	89.8	477.7	52.7
29	654.9	104.7	627.3	104.4	495.2	61.7

distilled water	
X	98.09
Y	100
Z	118.35

sample						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	41.3	489.5	60.8	422.2	36.7
5	461.2	53.9	515.2	61.7	432.0	40.8
8	544.3	65.2	529.8	63.7	438.6	43.9
11	564.1	70.4	541.4	65.2	444.4	47.2
14	577.4	74.1	551.8	67.8	450.1	50.1
17	588.7	76.5	561.9	70.1	455.9	53
20	599.6	78.6	572.5	73.1	462.0	56
23	610.9	80.4	584.8	76.5	468.7	58
26	624.2	81.6	600.8	79.3	477.7	60.5
29	654.9	82.4	627.3	81.7	495.2	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XYZ * factor apha 250						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	1.10182	489.5	0.033152	422.2	5.211324
5	461.2	3.41388	515.2	0.423065	432.0	14.13703
8	544.3	1.076416	529.8	1.559752	438.6	6.6227
11	564.1	0.086775	541.4	4.726674	444.4	1.08832
14	577.4	2.737655	551.8	8.956871	450.1	0.144885
17	588.7	7.182882	561.9	9.119559	455.9	0.01492
20	599.6	8.778969	572.5	5.300052	462.0	0.005376
23	610.9	5.218747	584.8	2.17029	468.7	0
26	624.2	1.34739	600.8	0.500976	477.7	0
29	654.9	0.173394	627.3	0.061194	495.2	0

XYZ * factor apha 300						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	0.839364	489.5	0.029896	422.2	3.396879
5	461.2	2.87361	515.2	0.390726	432.0	13.476614
8	544.3	1.0286	529.8	1.47238	438.6	6.405097
11	564.1	0.081613	541.4	4.518855	444.4	1.05792
14	577.4	2.55663	551.8	8.444527	450.1	0.14079
17	588.7	6.545868	561.9	8.488416	455.9	0.01434
20	599.6	8.913204	572.5	4.949196	462.0	0.005138
23	610.9	5.340854	584.8	1.96662	468.7	0
26	624.2	1.381415	600.8	0.506016	477.7	0
29	654.9	0.178353	627.3	0.06231	495.2	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XYZ * factor apha 400						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	0.787368	489.5	0.028749	422.2	3.176766
5	461.2	2.7405	515.2	0.382752	432.0	12.836836
8	544.3	1.019704	529.8	1.443256	438.6	6.092884
11	564.1	0.082503	541.4	4.431861	444.4	0.99712
14	577.4	2.59005	551.8	8.444527	450.1	0.130845
17	588.7	6.641054	561.9	8.479269	455.9	0.01358
20	599.6	7.830375	572.5	4.896036	462.0	0.004781
23	610.9	5.239983	584.8	1.99509	468.7	0
26	624.2	1.367805	600.8	0.441	477.7	0
29	654.9	0.178524	627.3	0.061628	495.2	0

XYZ * factor apha 500						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	0.729182	489.5	0.027528	422.2	2.9745
5	461.2	2.54475	515.2	0.374335	432.0	12.052592
8	544.3	1.008584	529.8	1.443256	438.6	5.77121
11	564.1	0.081613	541.4	4.393197	444.4	0.92568
14	577.4	2.52321	551.8	8.444527	450.1	0.121875
17	588.7	6.545868	561.9	8.406093	455.9	0.01256
20	599.6	7.740885	572.5	4.901352	462.0	0.004459
23	610.9	5.36209	584.8	2.23818	468.7	0
26	624.2	1.400469	600.8	0.52164	477.7	0
29	654.9	0.17613	627.3	0.064976	495.2	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XYZ * factor apha 1000						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	0.552148	489.5	0.021645	422.2	1.981017
5	461.2	1.83222	515.2	0.330921	432.0	8.317114
8	544.3	0.958544	529.8	1.328378	438.6	4.16284
11	564.1	0.079744	541.4	4.166046	444.4	0.66728
14	577.4	2.520425	551.8	8.087716	450.1	0.08814
17	588.7	6.450682	561.9	8.122536	455.9	0.00922
20	599.6	8.009355	572.5	4.720608	462.0	0.003234
23	610.9	5.351472	584.8	1.94034	468.7	0
26	624.2	1.38822	600.8	0.452592	477.7	0
29	654.9	0.179037	627.3	0.064728	495.2	0

Tristimulus Value	
X 250 =	31.1179
Y 250 =	32.8516
Z 250 =	27.2246
X 300 =	29.7395
Y 300 =	30.8289
Z 300 =	24.4968
X 400 =	28.4779
Y 400 =	30.6042
Z 400 =	23.2528
X 500 =	28.1128
Y 500 =	30.8151
Z 500 =	21.8629
X 1000 =	27.3218
Y 1000 =	29.2355
Z 1000 =	15.2288

Munsell Value	
Vxr250 =	8.5905
Vyr250 =	8.6264
Vzr250 =	8.2293
Vxr300 =	8.5430
Vyr300 =	8.5606
Vzr300 =	8.0978
Vxr400 =	8.4965
Vyr400 =	8.5529
Vzr400 =	8.0304
Vxr500 =	8.4825
Vyr500 =	8.5601
Vzr500 =	7.9485
Vxr1000 =	8.4511
Vyr1000 =	8.5041
Vzr1000 =	7.4180

Munsell Value C	
Vxc =	9.4781
Vyc =	9.4781
Vzc =	9.4781

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

term 1	
Vyc-Vyr250 =	0.8517
Vyc-Vyr300 =	0.9175
Vyc-Vyr400 =	0.9252
Vyc-Vyr500 =	0.9179
Vyc-Vyr1000 =	0.9740
0.23*Vyc-Vyr250 =	0.1959
0.23*Vyc-Vyr300 =	0.2110
0.23*Vyc-Vyr400 =	0.2128
0.23*Vyc-Vyr500 =	0.2111
0.23*Vyc-Vyr1000 =	0.2240
0.23*Vyc-Vyr250 sq =	0.0384
0.23*Vyc-Vyr300 sq =	0.0445
0.23*Vyc-Vyr400 sq =	0.0453
0.23*Vyc-Vyr500 sq =	0.0446
0.23*Vyc-Vyr1000 sq =	0.0502

term 2	
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)250 =	0.0359
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)300 =	0.0176
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)400 =	0.0564
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)500 =	0.0777
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)1000 =	0.0529
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)250sq =	0.0013
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)300sq =	0.0003
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)400sq =	0.0032
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)500sq =	0.0060
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)1000sq =	0.0028

term 3	
(Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs)250 =	-0.3971
(Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs)300 =	-0.4629
(Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs)400 =	-0.5226
(Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs)500 =	-0.6117
(Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs)1000 =	-1.0861
0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs))250sq =	0.0252
0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs))300sq =	0.0343
0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs))400sq =	0.0437
0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs))500sq =	0.0599
0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs))1000sq =	0.1887

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEr	
DE250	0.2547
DE300	0.2813
DE400	0.3036
DE500	0.3324
DE1000	0.4916

Fr	
F250	981.3773
F300	1066.5523
F400	1317.6893
F500	1504.3703
F1000	2033.9727

XYZ * factor sample						
Coordinate No.	wavelength (nm)	%T of X	wavelength (nm)	%T of Y	wavelength (nm)	%T of Z
2	435.5	0.511294	489.5	0.022496	422.2	2.183283
5	461.2	2.110185	515.2	0.273331	432.0	8.420304
8	544.3	0.725024	529.8	1.030666	438.6	4.153379
11	564.1	0.062656	541.4	3.151116	444.4	0.71744
14	577.4	2.063685	551.8	6.203022	450.1	0.097695
17	588.7	5.60133	561.9	6.412047	455.9	0.0106
20	599.6	7.033914	572.5	3.885996	462.0	0.00392
23	610.9	4.268436	584.8	1.67535	468.7	0
26	624.2	1.110576	600.8	0.399672	477.7	0
29	654.9	0.140904	627.3	0.050654	495.2	0

มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

tristimulus Value	
X	23.628004
Y	23.10435
Z	15.586621

Munsell Value	
Vxs	8.284599346
Vys	8.234575327
Vzs	7.454749721

Munsell Value C	
Vxc =	9.4781
Vyc =	9.4781
Vzc =	9.4781

term 1	
0.23*(Vyc-Vys) =	0.286010675
0.23*(Vyc-Vys)sq =	0.081802106

term 2	
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys) =	-0.0500
Vxc-Vyc-(Vxs-Vys)sq =	0.002502402

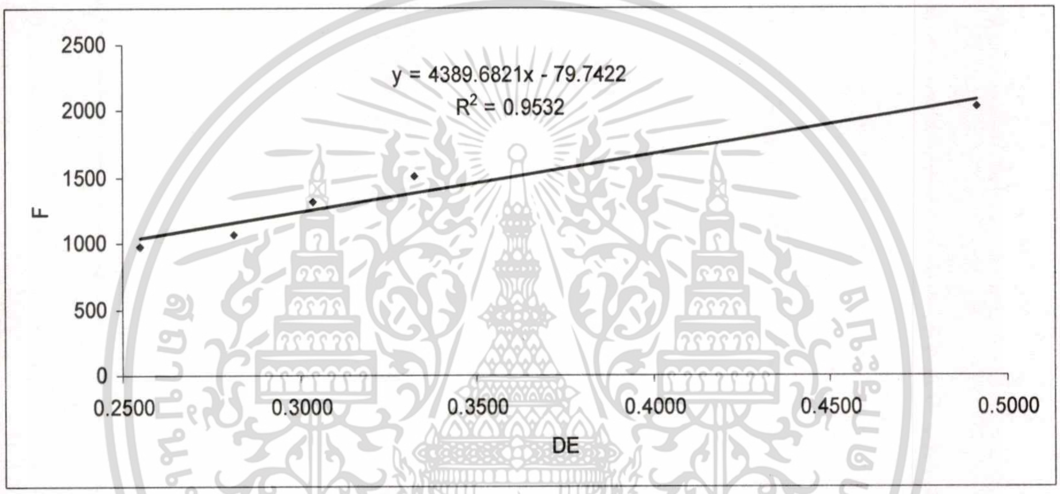
term 3	
0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs)) =	-0.311930242
0.4*((Vyc-Vzc)-(Vys-Vzs))sq =	0.097300476

DEs	0.426151363

Fs	1790.926793

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DE	F
0.2547	981
0.2813	1067
0.3036	1318
0.3324	1504
0.4916	2034
slope =	4389.6821
y-intercept =	-79.7422



รูปที่ ง.1 กราฟมาตรฐานระหว่างค่า DE และ F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ

การกำจัดสีย้อมจากน้ำทิ้งของกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.1.1 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 1)

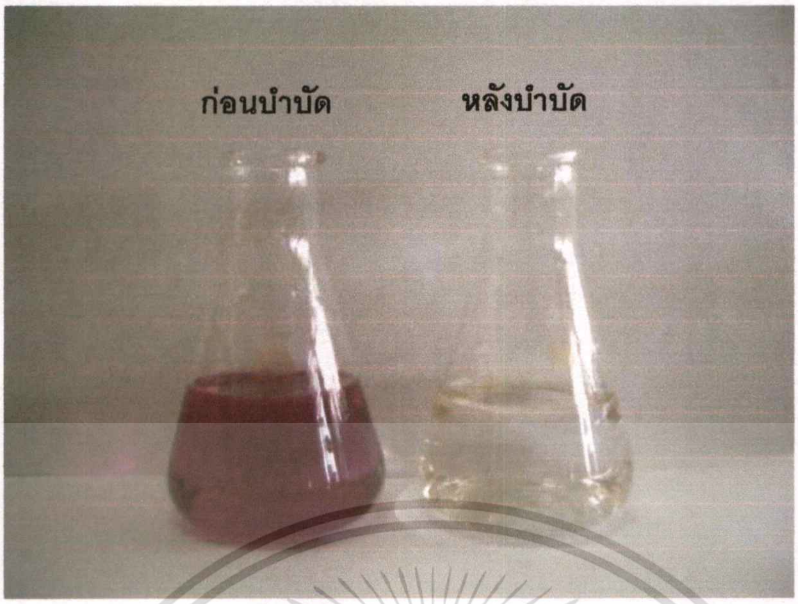
รูปที่ จ.1.2 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.1.3 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 3)

รูปที่ จ.1.4 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

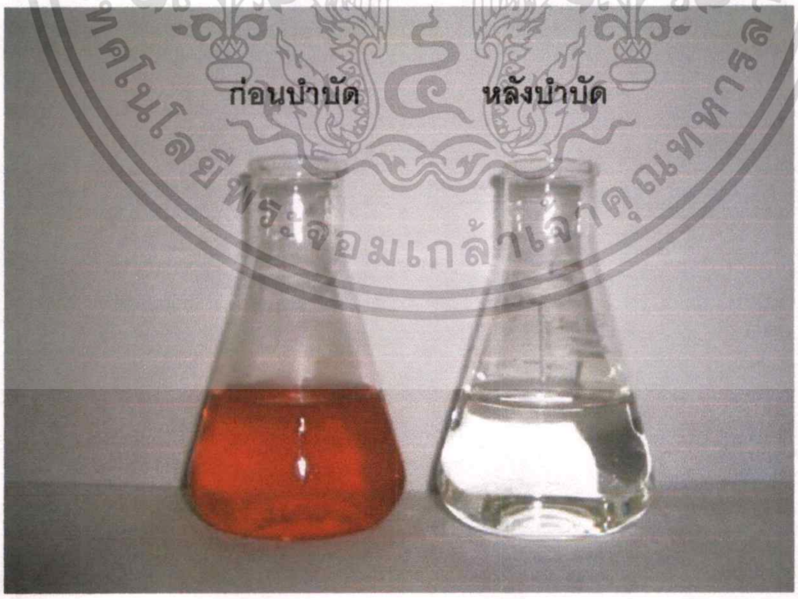


รูปที่ จ.1.5 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 5)

รูปที่ จ.1.6 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 6)

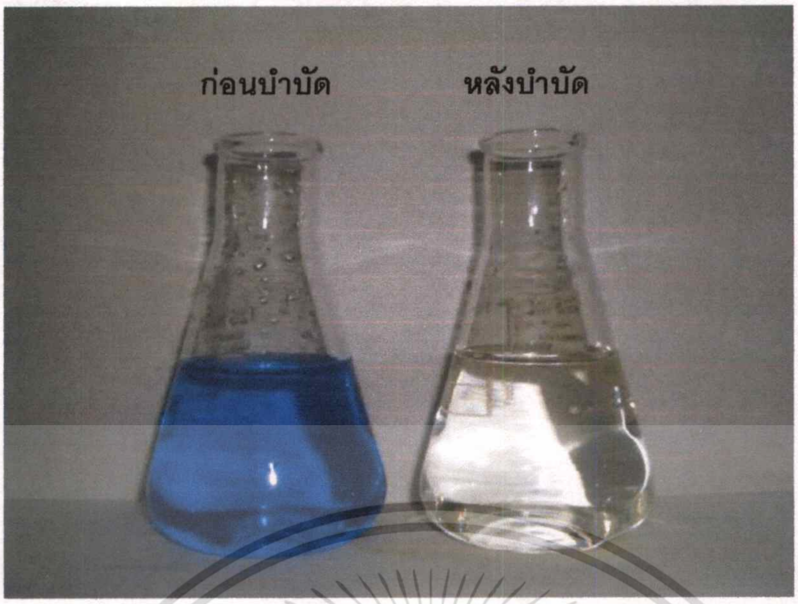
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.1.7 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 7)



รูปที่ จ.1.8 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.1.9 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 9)

รูปที่ จ.1.10 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 10)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.1.11 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 11)

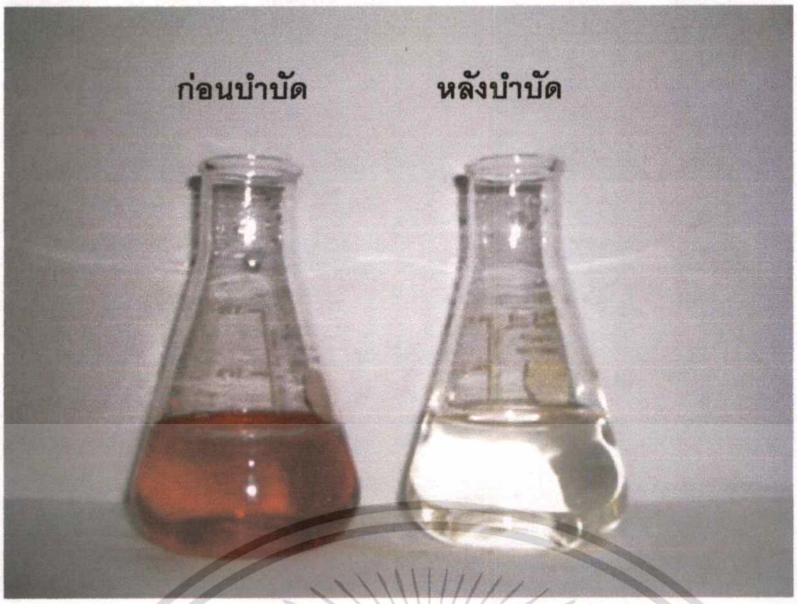
รูปที่ จ.1.12 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 12)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ จ.1.13 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 13)

รูปที่ จ.1.14 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 14)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ จ.1.15 รูปแสดงก่อนและหลังการบำบัดสีย้อมจากกระบวนการฟอกย้อมสิ่งทอพื้นบ้านโดยใช้เศษผงเหล็ก (วันที่ 15)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ

มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ฉ
มาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อม

มาตรฐานน้ำทิ้งที่เสนอแนะสำหรับน้ำทิ้งออกจากโรงงานฟอกย้อมนั้น ได้พิจารณาจากข้อมูลแหล่งต่าง ๆ รวมกัน ซึ่งได้แก่

- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม
- มาตรฐานน้ำทิ้งระบายออกจากแหล่งกำเนิดของกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม
- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
- ความสามารถในการบำบัดน้ำเสียของโรงงานฟอกย้อมในปัจจุบัน

สำหรับดัชนีวิเคราะห์คุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานฟอกย้อมที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความเป็นกรด-ด่าง บีโอดี ซีโอดี ของแข็งแขวนลอย และปริมาณสีในน้ำทิ้ง

มาตรฐานน้ำทิ้งของหน่วยงานต่าง ๆ

มาตรฐานน้ำทิ้งปัจจุบันที่ควบคุมคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะจากกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม กรมชลประทาน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ และกรมเจ้าท่า กระทรวงคมนาคม สรุปได้ดังตารางที่ ฉ1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ฉ.1 มาตรฐานน้ำทิ้งโรงงานฟอกย้อมก่อนที่จะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

ดัชนีวิเคราะห์	มาตรฐานน้ำทิ้ง			
	กรมโรงงานอุตสาหกรรม[1]	กรมควบคุมมลพิษ[2]	กรมชลประทาน[3]	กรมเจ้าท่า[4]
พีเอช	5.5 - 9.0	5.5	6.5	5 – 9
บีโอดี (มก./ล.)	≤60	≤60	≤20	≤20 – 60
ซีโอดี (มก./ล.)	≤400	≤400	-	≤400
ของแข็งแขวนลอย(มก./ล.)	≤50	≤50	≤30	≤50
ทีเคเอ็น (มก./ล.)	≤100	≤100	-	≤100
ไขมันและน้ำมัน (มก./ล.)	≤5	≤5	≤5	≤5
ปริมาณสี	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

ที่มา : "1" ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน เรื่องกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน และประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่องกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงานให้มีค่าแตกต่างจากที่กำหนดไว้ในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

"2" ประกาศคณะกรรมการควบคุมมลพิษ วันที่ 20 สิงหาคม 2539 และประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) เรื่องกำหนดมาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม

"3" มาตราการป้องกันและแก้ไขการระบายน้ำที่มีคุณภาพต่ำลงทางน้ำชลประทานและทางน้ำที่ต่อเชื่อมกับทางชลประทานใน เขตพื้นที่โครงการชลประทาน

"4" กรมเจ้าท่า ม.119 เรื่องห้ามระบายของเสีย ขยะมูลฝอยลงแหล่งน้ำที่กีดขวางการเดินเรือและทำลายสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวนรารักษ์ นาเมืองรักษ์
วัน เดือน ปีเกิด	24 มีนาคม 2523
ประวัติการศึกษา	2541 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย จ.ขอนแก่น
	2545 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม
	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา จ.ชลบุรี
	2548 วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กทม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้