การสกัดสีย้อมจากต้นขนุน *Artocapus heterophyllus* Lamk. สำหรับการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย

นางสาว สุวานีย์ จันทร์สอาด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเคมีเทคนิค ภาควิชาเคมีเทคนิค
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-4632-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I22154127

DYE EXTRACTION FROM JACKFRUIT *Artocarpus heterophyllus* Lamk. STEMS FOR DYEING OF SILK AND COTTON FABRICS

Miss Suwanee Jansa-ard

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Chemical Technology
Department of Chemical Technology
Faculty of Science
Chulalongkorn University
Academic Year 2005
ISBN 974-17-4632-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสกัดสีย้อมจากต้นขนุน *Artocarpus heterophyllus* Lamk. สำหรับการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย
โดย	นางสาว สุวานีย์ จันทร์สอาด
สาขาวิชา	เคมีเทคนิค
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... รักษาราชการแทนคณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

รองคณบดีฝ่ายบริหาร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เลอสรวง เมฆสุต)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกูลกิจ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุวานีย์ จันทร์สอาด : การสกัดสีย้อมจากต้นขนุน *Artocarpus heterophyllus* Lamk. สำหรับการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย (DYE EXTRACTION FROM JACKFRUIT *Artocarpus heterophyllus* Lamk. STEMS FOR SILK AND COTTON FABRIC DYEING) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. ธราพงษ์ วิทิตศานต์ จำนวนหน้า 80 หน้า. ISBN : 974-17-4632-6

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการสกัดสีย้อมจากต้นขนุนโดยทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสีย้อมด้วยวิธีวิเคราะห์ 2^k Factorial มีตัวแปร คือ อุณหภูมิ เวลาที่ใช้ในการสกัด และ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างต้นขนุนแห้งต่อน้ำ จากการวิเคราะห์ พบว่าค่าปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดในรูปของเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างต้นขนุนแห้งต่อน้ำจะมีผลต่อการสกัดมากที่สุด เวลา และอุณหภูมิที่ใช้ในการสกัด จะมีผลรองลงมาตามลำดับ จากผลที่ได้นำมาหาค่าของปัจจัยที่เหมาะสมที่สุดในการสกัด คือ อุณหภูมิ 90 °C เวลา 150 นาที อัตราส่วนของต้นขนุนแห้งต่อน้ำเป็น 1:40 ส่วนที่สองเป็นการศึกษากระบวนการย้อมผ้าไหม และผ้าฝ้าย ด้วยน้ำสีที่สกัดได้จากการศึกษาในส่วนแรก พบว่า ภาวะที่เหมาะสมของการย้อมผ้าไหม และผ้าฝ้าย ด้วยน้ำสีที่สกัดได้โดยไม่ใช้สารช่วยสีติด คือ อุณหภูมิ 100 °C เวลา 40 นาที อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อผ้า 50: 1 ไม่ต้องปรับค่าความเป็นกรดเบส และ อุณหภูมิ 80 °C เวลา 40 นาที อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อผ้า 30: 1 ความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7 ตามลำดับ ส่วนผลของการใช้สารช่วยสีติด สารส้ม เหล็ก และ ทองแดง สามารถเปลี่ยนเฉดสีของผ้าไหมและผ้าฝ้าย ที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่อนิสิต.....สุวานีย์.....

สาขาวิชา.....เคมีเทคนิค..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2548.....

4672475023: MAJOR CHEMICAL TECHNOLOGY

KEY WORD: JACKFRUIT / DYEING / EXTRACTION

SUWANEE JANSA-ARD: DYE EXTRACTION FROM JACKFRUIT *Artocarpus heterophyllus* Lamk. STEMS FOR DYEING OF SILK AND COTTON FABRICS. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.THARAPONG VITIDSANT. 80 pp. ISBN 974-17-4632-6

This research was divided in two parts. The first part was the extraction of dyestuff of jackfruit stems. The analysis with 2^k factorial was applied to determine the effect of parameters, which were temperature, time and ratio of dry wood to water. The results showed that the ratio of dried wood to water was the major effect to the dyestuff extraction following by time and temperature. From the 2^k factorial results could induce to find the optimum extraction condition, which were 90 °C, 150 minutes and 1: 40 ratio of dry wood to water. The second part was the study of dyeing condition of silk and cotton fabrics with the extracted dyestuff from jackfruit stems. The optimum dyeing condition of silk and cotton fabrics without using mordant was 100 °C, 40 minutes, liquor ratio 50: 1 with its solution condition and 80 °C, 40 minutes, liquor ratio 30: 1 at pH 7 respectively. The using mordant alum iron and copper could change the colour shade of dyestuff of jackfruit stems.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department.....Chemical Technology..... Student's signature.....Suwanee.....

Field of study... Chemical Technology..... Advisor's signature.....T. Vitidsant

Academic year.....2005.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร.ธราพงษ์ วิทิตศานต์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้คำแนะนำ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เลอสรวง เมฆสุต ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ งามประเสริฐสิทธิ์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.กาวี ศรีกูลกิจ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และเจ้าหน้าที่ของภาควิชาวัสดุศาสตร์ ภาควิชาเทคโนโลยีทางอาหาร ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดลองเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ บริษัท อิษดา จำกัดที่ได้สนับสนุนทุนงานวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและกรุณาช่วยเหลือพร้อมทั้งอำนวยความสะด้วยในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่างๆ ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วง

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้อยู่เบื้องหลังที่ได้ให้กำลังใจ ให้คำแนะนำ ความช่วยเหลือและให้การสนับสนุนเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ .....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญภาพ.....ฏ
คำอธิบายสัญลักษณ์ .....ฐ
บทที่
1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัยการวิจัย.....4
1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย.....4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 4
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....5
2.1 ชนิดของสีธรรมชาติ.....5
2.1.1 สีจากแร่ธาตุ (Mineral Dyes).....5
2.1.2 สีจากสัตว์ (Animal Dyes).....5
2.1.3 สีจากพืช (Plant Dyes).....6
2.2 ทฤษฎีการสกัดสารให้สีธรรมชาติจากพืช.....7
2.2.1 Marceration 8
2.2.2 Percolation 8
2.2.3 Soxhlet Extractor 8
2.3 กรรมวิธีในการย้อม 8
2.3.1 แบบโดยตรง (Direct dyeing).....9
2.3.2 แบบแวต (Vat dyeing) 9
2.3.3 แบบใช้มอร์แดนท์ (Mordant dyeing).....10

บทที่ หน้า

2.4 การวัดการวิเคราะห์คุณภาพและเฉดสีด้วยวิธีการทางกายภาพ 13
2.5 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ 15
2.6 สมบัติทางกายภาพของเส้นใย.....16
2.6.1 เส้นใยเซลลูโลส 16
2.6.2 เส้นใยโปรตีน.....17
2.7 เคมีของการย้อม 18
2.7.1พื้นผิวของภายในของเส้นใยและความสำคัญ 18
2.7.2แรงทางเคมีในการย้อม.....18
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....20
3 วิธีดำเนินงานวิจัย 22
3.1 รูปแบบการศึกษา.....22
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย 22
3.3 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย 23
3.4ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย 23
3.4.1 การสกัดสีย้อมจากไม้ขนุนและการวิเคราะห์ 23
3.4.2 การประยุกต์ย้อมบนผ้าไหมและผ้าฝ้าย 26
3.4.3 การวิเคราะห์คุณสมบัติความคงทนของสีบนผ้าที่ย้อมด้วยสีย้อม
ที่สกัดจากต้นขนุน (Colour fastness test).....30
3.4.4 การวัดความเข้มสีด้วย Spectrophotometer.....33
4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง.....34
4.1 การสกัดสีย้อมจากต้นขนุน 34
4.1.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์
ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม.....34
4.1.2 ผลของอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำที่มีต่อการสกัดสีย้อมจากต้น
ขนุน.....38
4.1.3 ผลของเวลาที่มีต่อการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน.....40
4.1.4 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน 41

บทที่ หน้า

4.2 ผลการศึกษาภาวะการย้อมสีของผ้าไหมและผ้าฝ้าย ด้วยสีที่สกัดจากต้นขนุน.....43
4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุน ที่มีผลต่อเฉดสีของ ผ้าไหม และผ้าฝ้าย 43
4.2.2 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อผ้าในการย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุน ที่มีผลต่อ เฉดสีของผ้าไหม และผ้าฝ้าย.....45
4.2.3 ผลของเวลาในการย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุน ที่มีผลต่อเฉดสีของ ผ้าไหม และผ้าฝ้าย 46
4.2.4 ผลของการเปลี่ยน pH ในการย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุน ที่มีผลต่อ เฉดสีของผ้าไหม และผ้าฝ้าย.....48
4.3 ผลการศึกษาการย้อมสีของผ้าไหม และผ้าฝ้าย ด้วยสีที่สกัดจากต้นขนุนเมื่อ มีการเติมสารช่วยสีติด 50
4.4 ผลการทดสอบสมบัติความคงทนของผ้าที่ได้จากการย้อมสีเหลืองจากไม้ขนุน และการวิเคราะห์.....58
4.4.1 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง.....58
4.4.2 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง 59
4.4.3 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู.....60
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 61
รายการอ้างอิง.....64
ภาคผนวก 66
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....80

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

1.1 ตัวอย่างสูตรโครงสร้างทางเคมี ของสีธรรมชาติ....2
2.1 ตัวอย่างของพันธุ์ไม้ให้สีธรรมชาติในประเทศไทย....6
3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา....24
3.2 ตารางแสดงภาวะที่ทำการทดลอง Experimental design และอันดับที่ทำการทดลอง....24
3.3 การให้เกรดความเปลี่ยนแปลงสีจากการอ่านค่าของเกรย์สเกล....31
3.4 การให้เกรดการตกติดสีจากการอ่านค่าของเกรย์สเกล....31
4.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของการสกัด....34
4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม จากภาวะที่ทำการออกแบบการทดลอง....35
4.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรสำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม (ANOVA Table)....36
4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำในการสกัด....38
4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมเมื่อเปลี่ยนเวลาในการสกัด....40
4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการสกัด....41
4.7 ค่า L*, a*, b* และ K/S จากการย้อมผ้าไหม และผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการย้อม....43
4.8 ค่า L*และ K/S จากการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยน L: R ในการย้อม....45
4.9 ค่า L*, a*, b*และ K/S จากการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนเวลาในการย้อม....47
4.10 ค่า L*, a*, b*และ K/S จากการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยน pH ในการย้อม....49
4.11 ค่า ΔL*, Δa*, Δb*และ K/S จากการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อมีการเติมสารช่วยสีติด ปริมาณต่างๆ ในการย้อม....51
4.12 ผลของความคงทนของสีต่อแสง....58
4.13 ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้าง....59
4.14 ผลของความคงทนของสีต่อการขัดถู....60

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ Benzedrine Ring 1
2.1 CIELAB 1976 ซึ่งแสดง L, a, b Colour Space.....14
2.2 หน่วยที่ซ้ำกันของเส้นใยโปรตีน.....15
2.3 หน่วยที่ซ้ำกันของเส้นใยเซลลูโลส.....15
2.4 การบิดตัวเป็นเกลียวของเส้นใยเซลลูโลส 16
2.5 หน้าตัดขวางของเส้นใยเซลลูโลส.....17
2.6 เส้นใยตามแนวยาวของเส้นใยโปรตีน.....17
2.7 หน้าตัดขวางของเส้นใยโปรตีน.....18
3.1 ภาพชุดอุปกรณ์การทดลอง.....25
3.2 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 27
3.3 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อผ้า.....27
3.4 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการย้อม 28
3.5 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH.....29
3.6 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อมีการเติมสารช่วยสีติด.....30
3.7 เกรย์สเกล สำหรับความเปลี่ยนแปลงของสี 30
3.8 เครื่อง Fade-Ometer.....31
3.9 เกรย์สเกลสำหรับการเปื้อนสีตกติดผ้า.....32
3.10 เครื่องทดสอบการซักล้าง (Launder-Ometer) 32
3.11 Crock meter 33
4.1 กราฟ Normal probability plot กับค่า effect estimate 35
4.2 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำที่มีผลต่อ
ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม 37
4.3 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของอุณหภูมิในการย้อมที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็ง
โดยรวมของการสกัดสีย้อม 37
4.4 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของเวลาในการย้อมที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็ง
โดยรวมของการสกัดสีย้อม 38

รูปที่ หน้า

4.5 การเปลี่ยนแปลง %ของแข็งโดยรวม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ
ที่อุณหภูมิ เป็น 100°C และเวลาการสกัด 120 นาที 39
4.6 การเปลี่ยนแปลง %ของแข็งโดยรวม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการสกัด
ที่อุณหภูมิ 100°C อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ 1: 40 41
4.7 การเปลี่ยนแปลง %ของแข็งโดยรวม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ
ที่เวลาการสกัด150 นาที อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ 1: 40 42
4.8 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ที่เวลา
ในการย้อมเป็น 60 นาที และอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 44
4.9 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า
ในการย้อม ที่เวลาการสกัด 60 นาที อุณหภูมิการย้อม 100 °C สำหรับผ้าไหม
และ 80 °C สำหรับผ้าฝ้าย 46
4.10 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการย้อม
อุณหภูมิการย้อม 100 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 สำหรับผ้าไหม
และ อุณหภูมิการย้อม 80 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30: 1 สำหรับผ้าฝ้าย 48
4.11 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ในการย้อม
อุณหภูมิการย้อม 100 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 สำหรับผ้าไหม และ
อุณหภูมิการย้อม 80 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30: 1 สำหรับผ้าฝ้าย
เวลาในการย้อม 40 นาที 50
4.12 ค่า K/S ของการย้อมผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารช่วยสีติด 52
4.13 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารช่วยสีติด 52
4.14 ผ้าฝ้ายก่อนย้อม 53
4.15 ผ้าไหมก่อนย้อม 53
4.16 ผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R = 30:1 และ pH7.....54
4.17 ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R = 50:1 และ ไม่ปรับ pH.....54
4.18 ผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R = 30:1และ pH 7
เติมสารช่วยสีติดสารส้ม 0.1 %owf.....55
4.19 ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R = 50:1 และ ไม่ปรับ pH
เติมสารช่วยสีติดสารส้ม 1.0 %owf.....55

รูปที่ หน้า

4.20 ผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R= 30:1และ pH 7
เติมสารช่วยสีติดเหล็ก 0.1 %owf 56
4.21 ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R= 50:1 และ ไม่ปรับ pH
เติมสารช่วยสีติดเหล็ก 0.1 %owf 56
4.22 ผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R= 30:1 และ pH 7
เติมสารช่วยสีติดทองแดง 0.1 %owf 57
4.23 ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R= 50:1 และ ไม่ปรับ pH
เติมสารช่วยสีติดทองแดง 0.1 %owf 57

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

Al or Alum	สารส้ม
a*	สีแดง-เขียว
b*	สีเหลือง-น้ำเงิน
^{0}C	องศาเซลเซียส
Cu	จุนสี, ทองแดง
cm	เซนติเมตร
D65	Daylight (Colour temperature at 6700 K)
Fe	เหล็ก
g	กรัม
g/l	กรัมต่อลิตร
ISO	International Organization for Standardization
Kg	กิโลกรัม
K/S	Kubelka-Munk equation
L*	ความสว่าง
L:R	อัตราส่วนของเหลวต่อของแข็ง
min	นาที
mm	มิลลิเมตร
owf	On weight fabric

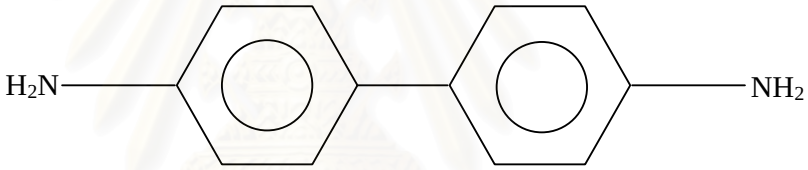
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สีธรรมชาติเป็นสีที่ได้จากพืชหรือสัตว์ และแร่ธาตุ มนุษย์ได้รู้จักการย้อมผ้าด้วยสีย้อมธรรมชาติ[1] จนกระทั่งมีการพัฒนามาใช้สีสังเคราะห์ ทำให้สีธรรมชาติหมดความนิยมไปเพราะสีสังเคราะห์มีส่วนดีตรงที่มีสีสด [2] สามารถเตรียมให้มีสีต่าง ๆ ได้ตามใจชอบ สีคงทนไม่ตกสี ง่ายทนต่อการซักล้าง และแสงแดด นอกจากนั้นสีสังเคราะห์ยังเลือกย้อมให้เหมาะกับเส้นใยต่างๆ ได้ดีซึ่งคุณสมบัติเหล่านี้สีธรรมชาติส่วนใหญ่สู้ไม่ได้ [3] แต่สีสังเคราะห์มีโครงสร้างทางเคมีเป็นอะโรมาติกเอมีน (aromatic amine) ซึ่งเป็นสารที่อันตรายต่อสุขภาพ และสิ่งแวดล้อม ยกตัวอย่างเช่นหมู่ Benzedrine Ring ที่เป็นสารก่อมะเร็ง



รูปที่1.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของ Benzedrine Ring

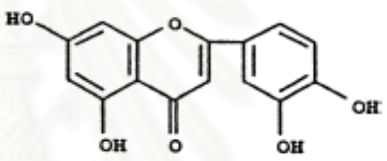
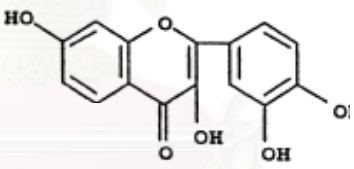
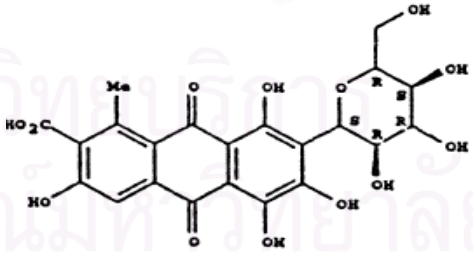
จะเห็นได้ว่าสีย้อมธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ที่ใช้สีย้อมธรรมชาติได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบันแต่ปัญหาที่เกี่ยวข้อง ต้องรีบดำเนินการศึกษาหาแนวทางการแก้ไข และพัฒนาอย่างเป็นระบบเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้จริงในระดับอุตสาหกรรมซึ่งตัวอย่างปัญหามีดังนี้

- สีที่ย้อมได้มักจะทำซ้ำได้ยาก ก่อให้เกิดปัญหาด้านการผลิต และในกรณีที่สีสันของงานมีผลกระทบต่อความต้องการในด้านปริมาณ
- ข้อจำกัดด้านเฉดสี ความสดใสของสี และวัตถุดิบที่เป็นสารให้สีที่หายาก และมีเป็นฤดูกาล
- การเตรียมน้ำย้อม และการย้อมใช้เวลานาน มีขั้นตอนการทำงานที่ซับซ้อน
- ผ้าที่ย้อมได้จะไม่ทนทานต่อแสง ต่อการขัดถู และต่อการซักเมื่อเทียบกับสีสังเคราะห์

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะสกัดสารให้สีเหลืองจากไม้ขนุน เพราะสีเหลืองสามารถที่จะนำมาย้อมทับหรือย้อมผสมกับสีอื่นเพื่อให้เกิดเป็นสีอื่นๆ ได้อีกมาก

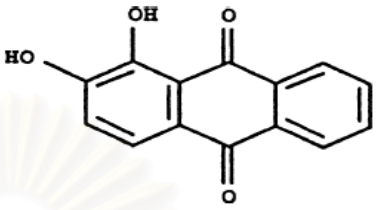
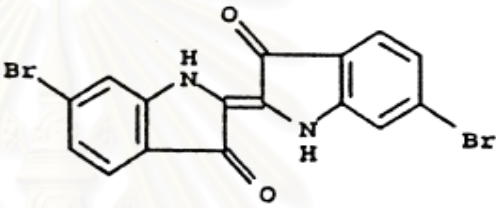
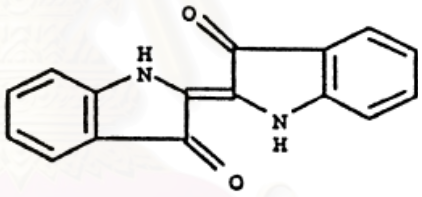
ขนุน หรือ *Artocarpus heterophyllus* Lamk. เป็นไม้ผลยืนต้นขนาดใหญ่ สามารถเจริญเติบโตได้ในทุกสภาพพื้นที่ของประเทศไทย ลำต้นสูงประมาณ 8-15 ม. มียางขาวทั้งต้น เป็นไม้เนื้ออ่อน แก่นสีเหลือง แหล่งที่ผลิตสำคัญในประเทศคือ ชลบุรี ประจวบคีรีขันธ์ ปราจีนบุรี สงขลา กาญจนบุรี เพชรบุรี และนครราชสีมามีพื้นที่ปลูกทั้งประเทศรวม ประมาณ 260,000 ไร่ สามารถนำมาทำอาหารได้ทั้ง ยอดอ่อน ใบอ่อน และผลซึ่งมีสมบัติเป็นยาระบายอ่อน ไม้ขนุนจะมีสีเหลืองจากสาร Flavonol (Morin) ซึ่งใช้ย้อมจีวรและผ้าต่างๆ [4]

ตารางที่ 1.1 ตัวอย่างสูตรโครงสร้างทางเคมี ของสีธรรมชาติ [5]

Colour	Class	Typical Dyes	Structure Name	Source
Yellow	Flavone	Weld	 Luteolin	เมล็ด ต้น และใบของพืชในตระกูล Reseda luteola L
Yellow	Flavonol	Morin	 Morin	ราก กิ่ง แก่น ของขนุน
Red	Anthraquinone	Cochineal	 Carminic acid	แมลงตัวเมีย Coccus cacti ซึ่งอาศัยบนต้น Cactus ในเม็กซิโก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 1.1 ตัวอย่างสูตรโครงสร้างทางเคมี ของสีธรรมชาติ (ต่อ)

Colour	Class	Typical Dyes	Structure Name	Source
Red	Anthraquinone	Madder or Aliziarin	 Alizaline	รากยอป่าและพืชตระกูล Rubia tinctorum
Purple	Indigoid	Tyrian Purple	 6,6-dibromoindigotin	เปลือกหอยแถบเมดิเตอเรเนียน
Blue	Indigoid	Woad; indigo	 indigotin	ใบของต้นครามและฮ่อม พืชในตระกูล Indigofera tinctolia L

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน
2. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีที่สกัดได้บนผ้าไหมและผ้าฝ้าย และศึกษาผลของสารช่วยสีติด (mordant)
3. ศึกษาสมบัติความคงทน (fastness properties) ของคุณภาพสีที่ได้บนผ้าไหม และผ้าฝ้าย ที่ผ่านการย้อมสีจากสีที่สกัดได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. หาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารให้สีเหลืองจากต้นขนุนในห้องปฏิบัติการ
2. พัฒนาการย้อมผ้าไหม และผ้าฝ้ายด้วยต้นขนุนให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นด้วยสารช่วยสีติดที่เหมาะสม

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. สืบค้นข้อมูลในการใช้สีจากขนุนมาทำการย้อมเส้นด้ายโดยเฉพาะภูมิปัญญาชาวบ้าน ทำการสอบถามถึงวิธีการสกัดและขั้นตอนการย้อมที่ชาวบ้านใช้ จะต้องทำการรวบรวมข้อมูลของการใช้สารช่วยสีติดเพื่อช่วยเพิ่มความสามารถต่างๆ ในการย้อมของสีธรรมชาติชนิดอื่นๆ เพื่อเป็นแนวทางมาประยุกต์ใช้กับสีที่ได้จากขนุน
2. หาภาวะที่เหมาะสมของการสกัดสีจากแก่นขนุนในห้องปฏิบัติการ และวิเคราะห์ปริมาณสีที่สกัดได้
3. หาภาวะที่เหมาะสมในการย้อมติดสีของผ้าฝ้าย และผ้าไหม ด้วยสีจากต้นขนุน ได้แก่ อุณหภูมิ อัตราส่วนน้ำต่อผ้า เวลาในการย้อม และ ความเป็นกรดเบส
4. ศึกษาผลของสารช่วยสีติดชนิดต่างๆที่มีต่อการติดสีของสีจากต้นขนุนในผ้าฝ้าย และผ้าไหม รวมทั้งการเปลี่ยนระดับคล้ำสี โดยทำในห้องปฏิบัติการ อันได้แก่ สารส้ม เฟอรัสซัลเฟต, คอปเปอร์ซัลเฟต
5. ทดสอบสมบัติความคงทน ได้แก่ ความทนต่อการซักล้าง (washing fastness) ความคงทนต่อแสง (light fastness) และความคงทนต่อการขัดถู (crocking fastness)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ภาวะ การสกัดสีย้อมจากต้นขนุน และภาวะในการย้อมสีผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่เหมาะสมในระดับห้องปฏิบัติการ ที่สามารถนำไปประยุกต์ระดับอุตสาหกรรมได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎี และ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ชนิดของสีธรรมชาติ

สีธรรมชาติที่ใช้สำหรับย้อมเส้นใยและสิ่งทอ เป็นสีกลุ่มที่เล็กมากเมื่อเทียบกับสีสังเคราะห์ และเพิ่งจะกลับมาสนใจกันใหม่ จึงไม่ได้จัดจำแนกไว้เป็นระบบเหมือนกับสีสังเคราะห์ ถ้าจำแนกตามแหล่งที่มาสามารถจำแนกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ [6]

2.1.1 **สีจากแร่ธาตุ** (Mineral Dyes)

เป็นสีอนินทรีย์ โดยอาจเป็นของผสมออกไซด์ของโลหะ หรือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ สีประเภทนี้เคยมีความสำคัญในอดีต แต่ปัจจุบันกล่าวได้ว่าสาบสูญไปหมด สารให้สีเหล่านี้เกิดการตกตะกอนในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเส้นใย และเนื่องจากสารเหล่านี้มีเสถียรภาพมาก สีที่ได้จึงมีความทนทานต่อแสงมาก ตัวอย่างเช่น ตะกั่วโครเมตให้สีเหลือง สีกากีที่ใช้ย้อมฝ้ายในอดีตได้จากออกไซด์ของเหล็กผสมกับออกไซด์ของโครเมียม เป็นต้น ส่วนมากโลหะที่ใช้ได้แก่ เหล็ก ตะกั่ว แมงกานีส ทองแดง โคบอลต์ และนิกเกิล

สีในกลุ่มนี้ที่ยังมีการย้อมกันอยู่ในระดับอุตสาหกรรมครอบครัว ได้แก่ การย้อมด้วยโคลน และดินแดง ซึ่งส่วนใหญ่เป็นสารพวกอะลูมิโนซิลิเกต และส่วนที่ให้สีจะเป็นออกไซด์ของโลหะที่มีปรากฏอยู่ในโครงสร้างเดิมของดิน [6]

2.1.2 **สีจากสัตว์** (Animal Dyes)

สีธรรมชาติในกลุ่มนี้ที่สำคัญมีเพียง 3 ชนิดเท่านั้น ได้แก่ โคชินีล (Cochineal) เคอร์มิส (Kermes) และครั่ง (Lac) สีที่ได้จากตัวแมลงแห้งหรือจากสิ่งที่ขับออกจากตัวแมลง เช่น โคชินีล คือ สีแดงส้มที่ได้จากตัวแมลงตากแห้ง Coccus cacti จากเม็กซิโก โดยที่สี 1 กิโลกรัม ต้องใช้แมลงประมาณ 150,000 ตัว แมลงนี้อาศัยอยู่ที่ใบของต้นแคตตัส เคอร์มิส เป็นสีแดง-แดงส้ม ที่ได้จากแมลงเปลือกแข็งขนาดเล็ก Coccus illicis ตัวเมียตากแห้ง แมลงนี้พบมากในยุโรปตอนใต้อาศัยอยู่บนต้นโอ๊ก Ilexoak สีทั้งสองชนิดนี้ ปัจจุบันมีราคาแพงเนื่องจากหายาก และมีความยุ่งยากในการผลิต สีจากครั่งเป็นสีในกลุ่มสีแดงเช่นเดียวกัน ครั่งได้จากสิ่งที่ขับออกมาจาก

ตัวแมลง Laccifera lacca ใช้ย้อมไหมและขนสัตว์ นอกจากนี้ยังใช้มากทางด้านอาหารโดยใช้เป็นสีผสมอาหารเช่น แฮม ไส้กรอก แยม น้ำผลไม้ เป็นต้น สีจากครั่งนี้เชื่อว่าคุณภาพของสีขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้ที่ใช้เลี้ยงครั่งด้วย [7]

2.1.3 **สีจากพืช** (Plant Dyes) [8]

เป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากส่วนต่างๆ ของพืช ตั้งแต่ ราก เปลือกราก ลำต้น เปลือกต้น กิ่งไม้ ใบ ดอก ผล เมล็ด

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของพันธุ์ไม้ให้สีธรรมชาติในประเทศไทย [9]

ชื่อภาษาไทย	**ชื่อภาษาอังกฤษ**	**ชื่อทางพฤษศาสตร์**	**ตระกูล**	**ส่วนที่นำไปใช้**	**สีที่ได้**
ยูคาลิปตัส	Eucalyptus	*Eucalyptus gunii*	Euphorbiaceae	ใบ เปลือก	เหลือง น้ำตาลอ่อน เบจ
หูกวาง	Dear ear	*Terminalia catappa linn*	Combretaceae	ใบ	เหลืองอมเขียว
ขนุน	Jack fruit	*Artocapus heterophylla*	Moraceae	ราก กิ่ง แก่นไม้	เหลือง
คำฝอย	Saf flower	*Carthamus tinctorius*	Compositae	ดอก	แดงอมส้ม
ขมิ้นชัน	Termeric	*Curcumar longa*	Zingiberaceae	ราก	เหลือง
คราม	Indigo	*Indigofera tinctoria*	Papilionaceae	ใบ	น้ำเงิน
ครั่ง	Lac	*Cocus lacca*	-	ขี้ครั่ง	แดงอมม่วง
คำแสด	Lipstick	*Bixa orellna*	Bixaceae	เมล็ด	ส้ม
มะเกลือ	Ebony	*Diospyros mollis*	Ebenaceae	ผลดิบ	ดำ
ไม้อลาง (นนทรี)	-	*Peltophom dasyrachcgrr. Kurr*	Leguminosae	แก่นไม้	ชมพูหรือแดง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างของพันธุ์ไม้ให้สีธรรมชาติในประเทศไทย (ต่อ)

ชื่อภาษาไทย	ชื่อ ภาษาอังกฤษ	ชื่อทาง พฤษศาสตร์	ตระกูล	ส่วนที่ นำไปใช้	สีที่ได้
ไม้ลิดไหม	Indian trumpet	*Indicum vent*	Bignoniaceae	แก่นไม้	น้ำตาล
สีเสียด	Betel Palm	*Acacia catwchu*	Leguminosae	แก่นไม้	น้ำตาล
ยอป่า	Madder fam	*Morianda coreia*	Bubisceae	ราก	แดง
ไม้แดง	Iron wood	*Xylia xylocarpa*	Leguminosae	เปลือก	น้ำตาล
ฝาง	Sappan wood	*Caesalpinia sappan*	Leguminosae	แก่นไม้	ชมพูหรือแดง
ไม้ประดู่	Burmese ebony	*Pterocapus indicus*	Papilionceae	แก่นไม้	น้ำตาล
ไม้สมอ	Chebula Rets	*Terminalia chebula*	Combretaceae Checula Rets	แก่นไม้	แดงน้ำตาล
สะเดา	Neem Tree	*Agaditachta Indica A.,luss. Var. Siamensis Vakton*	Meliaceae	ใบ	เหลืองอม เขียว
ไม้เข	-	*Cudriana*	Moroceae	แก่นไม้	เหลือง

2.2 ทฤษฎีการสกัดสารให้สีธรรมชาติจากพืช [6]

การสกัดสาร สำคัญจากพืชอาจทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับชนิดของสารที่สกัดสมบัติของสารในการทนต่อความร้อน ชนิดของตัวทำละลายที่ใช้ แต่ละวิธีข้อดี และข้อจำกัดของวิธีเหล่านี้ได้แก่

2.2.1 Marceration

เป็นกระบวนการสกัดสาร สำคัญจากพืช โดยวิธีหมักพืชกับตัวทำละลายในภาชนะที่ปิด เช่น ขวดปากกว้าง ขวดรูปชมพู่ หรือ โถ เป็นต้น ทิ้งไว้ 7 วัน หมั่นเขย่าหรือคนบ่อย ๆ เมื่อครบกำหนดเวลาจึงค่อย ๆ รินเอาสารสกัดออกพยายามบีบเอาสารละลายออกจากกากให้มากที่สุด รวมสารสกัดที่ได้นำไปกรอง การสกัดถ้าจะสกัดให้หมดจดอาจจำเป็นต้องสกัดซ้ำหลายครั้ง ๆ วิธีนี้มีข้อดีที่สารไม่ถูกความร้อน แต่เป็นวิธีที่สิ้นเปลืองตัวทำละลายมาก

2.2.2 Percolation

เป็นกระบวนการสกัดสาร สำคัญแบบต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า percolator นำพืชมาหมักกับตัวทำละลายพอชื้น ทิ้งไว้ 1 ชม. เพื่อให้พองตัวเต็มที่แล้วค่อย ๆ บรรจุผงพืชทีละชั้นลงใน percolator เติมตัวทำละลายลงไป ให้ระดับตัวทำละลายสูงเหนือผงพืชประมาณ 0.5 ซม. ทิ้งไว้ 24 ชม. จึงเริ่มไขเอาสารสกัดออก โดยคอยเติมตัวทำละลายเหนือผงพืช อยากให้แห้งเก็บสารสกัดจนการสกัดสมบูรณ์ บีบกากเอาสารสกัดออกมาให้มากที่สุด นำสารสกัดที่เก็บได้ทั้งหมดรวมกันนำไปกรอง

2.2.3 Soxhlet Extractoion

เป็นวิธีการสกัดแบบต่อเนื่อง โดยใช้ตัวละลายซึ่งมีจุดเดือดต่ำ การสกัดทำให้ได้โดยใช้ความร้อนทำให้ตัวทำละลายใน flask ระเหยขึ้นไป แล้วควบแน่นตัวลงมาใน thimble ซึ่งบรรจุผงพืชไว้ เมื่อตัวทำละลายใน extracting chamber สูงถึงระดับจะเกิดกาลักน้ำสารสกัดจะไหลกลับลงไปใน flask ด้วยวิธีกาลักน้ำ flask นี้ได้รับความร้อนจาก heating mantle หรือหม้ออังไอน้ำ ตัวทำละลายจึงระเหยขึ้นไป ทิ้งสารสกัดไว้ใน flask ตัวทำละลายเมื่อกระทบคอนเดนเซอร์ จะควบแน่นกลับลงมาสกัดสารใหม่ วนเวียนเช่นนี้จนกระทั่งการสกัดสมบูรณ์ การสกัดด้วยวิธีนี้ใช้ความร้อนด้วยจึงอาจทำให้สารเคมีบางชนิดสลายตัว

2.3 **กรรมวิธีในการย้อม** [10]

การย้อมด้วยสีธรรมชาติเปรียบเทียบกับการย้อมสีสังเคราะห์นั้นสามารถแบ่งกรรมวิธีในการย้อมได้ 3 แบบ

2.3.1 **การย้อมตรง** (Direct dyeing)

สีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ละลายน้ำ และไม่มีสมบัติในการติดเส้นใยได้เองด้วยพันธะทางเคมี แต่จะเกิดพันธะทางกายภาพกับเส้นใยได้โดยตรง กรณีที่เส้นใยเป็นเซลลูโลส เช่น ฝ้าย จะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มาก (hydroxyl groups, –OH) จึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนไหมและขนสัตว์เป็นเส้นใยที่เป็นพวกพอลิเปปไทด์ จะมีหมู่กรด (acidic group,-COOH) และหมู่เบส (basic group.-NH_2) ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาของส่วนที่เป็นหมู่เบส และหมู่กรดในโมเลกุลของสี ตามลำดับ เกิดเป็นเกลือขึ้นทำให้เกิดแรงยึดเหนียวแบบไอออนิก การยึดเหนี่ยวแบบนี้ไม่แข็งแรงดังนั้นการย้อมแบบโดยตรงเป็นวิธีที่ติดสีง่าย แต่ความคงทนต่ำ และได้สีที่ไม่สดใส ดังตัวอย่างสีจาก ขมิ้น และดอกคำฝอย

2.3.2 **การย้อมแบบสีแวต** (Vat dyeing)

การย้อมแบบนี้จะใช้กับสารสีที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นขั้นแรกของการย้อมแบบนี้ต้องทำให้สีนั้นละลายน้ำเสียก่อน ตัวอย่างการย้อมแบบนี้คือ สีอินดิโก จากคราม และฮ่อมเป็นสีน้ำเงินอยู่ในรูปออกซิไดซ์ และไม่ละลายน้ำ แต่เมื่อถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ และเป็นสารละลายไม่มีสีเป็น ลิวโคอินดิโก (leucoindigo) ดังนั้นก่อนการย้อมนำสีอินดิโกมารีดิวซ์ก่อน เพื่อให้เป็นสารละลายน้ำได้โดยใช้สารช่วยรีดิวซ์ แล้วจึงนำเส้นใยลงย้อม แล้วนำขึ้นไปผึ่งแดด ออกซิเจนในอากาศจะทำให้โมเลกุลของสีเกิดการออกซิไดซ์กลับไปอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ โมเลกุลของสีจึงถูกกักขังอยู่ในเส้นใย และเนื่องจากอินดิโกนี้ไม่ละลายน้ำ จึงทำให้การติดสีมีความคงทน ซึ่งนิยมใช้ย้อมผ้าฝ้าย และผ้ายีนส์ ในการย้อมสีธรรมชาตินั้นสารธรรมชาติที่ใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในการละลายสีย้อมมีหลายชนิดเช่น กรดมะนาว กรดน้ำส้ม หรืออาศัยจุลินทรีย์ การย้อมในลักษณะนี้สีจะถูกเปลี่ยนเป็นรูปรีดิวซ์ และละลายน้ำย้อมติดบนเส้นใยได้ทีละน้อย ซึ่งต้องทำการย้อมหลาย ๆ ครั้ง จนกว่าจะได้สีเข้มตามต้องการ สารที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ย้อมอินดิโกสังเคราะห์มักเป็นสารที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ การใช้สารธรรมชาติเป็นตัวรีดิวซ์จึงเป็นที่นิยมในการย้อมสีธรรมชาติ และมีการศึกษาพัฒนาวิธีการมาโดยตลอด ชาวอินเดียสกัดอินดิโกจากครามโดยการหมักน้ำที่อุณหภูมิห้องอาศัยเอนไซม์ในการไฮโดรไลซ์อินดิแคน น้ำสกัดที่ได้นำมาออกซิไดซ์ในบรรยากาศโดยใช้การกวนให้อากาศ น้ำสกัดจะเปลี่ยนจากสีเขียวแกมเหลืองเป็นตะกอนสีน้ำเงิน การเติมน้ำด่างในช่วงออกซิเดชันจะเกิดปฏิกิริยาดีขึ้น แยกตะกอนมาต้มกับกรดซัลฟูริกเจือจางตามด้วยน้ำแล้วกรองตะกอนผึ่งลมให้แห้ง ต้นครามที่ใช้สูงประมาณ 3 ฟุต เมื่อนำมาสกัดจะมีประมาณสารให้สีสูงสุด 0.4% ของน้ำหนักต้นครามที่ใช้ การย้อมสารสีที่สกัดจากต้นครามสด

โดยการต้มครามสด โดยการต้มกับน้ำจะได้น้ำย้อมสีเขียวอมฟ้า ซึ่งเมื่อย้อมจะได้ผลิตภัณฑ์สีย้อมเป็นสีเขียว

2.3.3 **การย้อมแบบใช้มอร์แดนต์** (Mordant dyeing)

การย้อมแบบนี้ต้องใช้สารช่วยสีติดหรือที่เรียกว่า มอร์แดนต์ เพื่อช่วยให้การยึดติดระหว่างตัวสีกับเส้นใยดีขึ้น โมเลกุลที่ให้สีในธรรมชาตินั้นไม่ได้ถูกสร้างเพื่อการเกาะยึดบนเส้นใย ภาวะที่เหมาะสมในการทำให้สีเกาะติดนั้น มักทำให้เกิดการสูญเสียสมบัติที่ดีของเส้นใยไปไม่มากก็น้อย สีที่ย้อมได้ยังมีข้อด้อยเมื่อเทียบกับสีสังเคราะห์ในแง่ความคงทนต่อแสง และความคงทนต่อการซักล้าง นอกจากนี้สีย้อมธรรมชาติยังมีเฉดสีที่จำกัด แม้สีมอร์แดนต์ซึ่งเป็นกลุ่มใหญ่ที่สุดก็ไม่สามารถให้เฉดสีมากเท่าสีสังเคราะห์ อย่างไรก็ตามพบว่าการเปลี่ยนแปลงชนิดของมอร์แดนต์สามารถให้เฉดสีที่แตกต่างไปได้

สารช่วยให้สีติดหรือสารช่วยย้อม เป็นสารเคมีที่ทำให้สีธรรมชาติตรึงอยู่บนเส้นใยได้ โดยที่มอร์แดนต์จะรวมตัวกับโมเลกุลสี และรวมตัวกับโมเลกุลของเส้นใยทำให้เกิดสิ่งที่ไม่ละลายเรียกว่า “colour lake” มอร์แดนต์ที่นิยมใช้กันในงานย้อมสีนั้นมีอยู่มากมาย อาทิเช่น

- การใช้มูลสัตว์ เช่น มูลวัว การใช้ปัสสาวะสัตว์ซึ่งก็คือการใช้วัสดุธรรมชาติที่มียูเรีย
- น้ำสกัดจากพืชที่มีแทนนิน รวมไปถึงน้ำมะนาว น้ำมะขามและอื่นๆ
- การใช้สารเคมีต่างๆ อาทิเช่น เกลือโซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกง โซดาแอช หรือโซเดียมคาร์บอเนต หรือโซดาซักผ้า กรดแลกติก กรดแทนนิก กรดออกซาลิก กรดแอซีติก หรือน้ำส้มสายชู โปแตสเซียมไบทาร์เทรต แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมไดไทโอไนต์หรือโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์
- การใช้เกลือของโลหะหรือกึ่งโลหะ เช่น

อะลูมิเนียม	จาก	สารส้มหรือโปแตสเซียม อะลูมิเนียมซัลแฟต
โครเมียม	จาก	โปแตสเซียมไดโครเมต หรือ โปแตสเซียมไบโครเมต
ทองแดง	จาก	จุนสี หรือ คอปเปอร์ซัลเฟต
เหล็ก	จาก	เฟอร์รัสซัลเฟต และ น้ำสนิมเหล็ก
ดีบุก	จาก	สแตนนัสคลอไรด์
แบเรียม	จาก	แบเรียมซัลเฟต

เป็นต้น

การจำแนกประเภทมอร์แดนต์ไม่มีข้อกำหนดชัดเจน บ้างกำหนดมอร์แดนต์ไว้ว่าหมายถึงเกลือของโลหะเท่านั้น ส่วนสารในกลุ่มที่ 1-3 เรียกว่า สารช่วยย้อม (Dye auxiliaries หรือ

Assistants) นอกจากนี้ในการย้อมสีบางอย่างนั้นอาจมีการใช้สารอื่นเพิ่มเติมหลังจากการย้อมสีแล้วเพื่อช่วยให้สีติดทนยิ่งขึ้น สารประเภทหลังนี้นิยมเรียกว่า สารช่วยตรึงสี (Fixing agent) ตัวอย่างสารเหล่านี้ได้แก่ แทนนิน หรือกรดแทนนิก กรดแลคติก กรดอะซิติก น้ำมะขาม เป็นต้น

การย้อมโดยใช้มอร์แดนต์นี้อาจทำได้ใน 3 ลักษณะคือ

2.3.3.1 **การย้อมมอร์แดนต์ก่อนการย้อมสี** (Premordant Method)

วิธีการนี้แบบวิธีการที่นิยมใช้กันทั่วไป โดยนำสิ่งที่จะย้อมที่ผ่านการทำความสะอาดแล้ว ไปใส่ในภาชนะที่บรรจุสารละลายมอร์แดนต์ ส่วนมากจะทำให้ร้อนหรือเดือดนานระหว่าง 15 นาทีถึง 1 ชั่วโมง ก่อนปล่อยแช่ทิ้งไว้ในสารละลายต่ออีก 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นจะนำสิ่งที่ย้อมออกล้างทำความสะอาด ก่อนทำให้แห้งหรือนำไปย้อมสีต่อ

2.3.3.2 **การย้อมมอร์แดนต์พร้อมการย้อมสี** (Metamordant Method)

วิธีการนี้สารละลายของมอร์แดนต์จะถูกเติมลงไปโดยตรงในน้ำย้อม การย้อมใช้อุณหภูมิเดียวกันกับการย้อมสี ทั้งนี้การเติมมอร์แดนต์จะมีทั้งที่เติมในน้ำย้อมก่อนย้อม เติมหลังการย้อมผ่านไประยะเวลาหนึ่ง เติมเป็นช่วงๆ ระหว่างการย้อม และการเติมมอร์แดนต์เมื่อการย้อมใกล้สิ้นสุด การย้อมแบบนี้มีข้อเด่นที่ลดขั้นตอนของกระบวนการลง แต่สีที่ได้มักไม่คงทนเท่าการย้อมแบบแรก หลังการย้อมแล้วสิ่งที่ย้อมอาจถูกปล่อยแช่ไว้ในน้ำย้อมจนเย็นตัวลง หรืออาจถูกนำออกจากน้ำย้อมทันทีส่วนมากจะล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ หรือล้างในน้ำสบู่อ่อนๆ จนกว่าสีไม่ตกอีกต่อไป จากนั้นจึงนำไปทำให้แห้ง การย้อมแบบนี้มีข้อด้อยที่น้ำย้อมที่ใช้แล้วอาจไม่สามารถนำกลับไปใช้ใหม่ซึ่งนอกจากจะทำให้เกิดการสูญเสียสิ่งที่มีคุณค่าในน้ำย้อมแล้วยังก่อให้เกิดปัญหาในการบำบัดน้ำเสียด้วย

2.3.3.3 **การย้อมมอร์แดนต์หลังการย้อมสี** (Aftermordant Method)

มอร์แดนต์บางอย่างสามารถย้อมหลังจากย้อมสีได้ เช่นเกลือของดีบุก เกลือของเหล็ก แทนนิน หรือกรดแทนนิก การย้อมมอร์แดนต์แบบนี้อาจใช้วิธีย้อมแยกอิสระหรือในบางกรณีมอร์แดนต์จะถูกเติมลงไปในน้ำย้อมในช่วง 5 ถึง 10 นาที สุดท้ายก่อนนำวัสดุที่แช่ใน

น้ำย้อมออก บางกรณีผู้ย้อมจะแช่วัสดุในสารละลายเกลือดีบุกหรือเกลือของเหล็กหลังการย้อมสี เพื่อช่วยในการเปลี่ยนแปลงเฉดสี

การย้อมทั้ง 3 ลักษณะนี้ได้มีผู้ศึกษาและทดลองย้อมแบบทั้ง 1 และ 2, 2 และ 3 1 และ 3, 1และ 2 และ 3 รวมกันโดยใช้มอร์แดนต์ดังกล่าวข้างต้น ผลที่ได้ยังไม่พบความแตกต่างในแง่การติดสีเข้ม และความคงทนอย่างเด่นชัดมีการทดลองพบว่า การต้มเส้นใยเซลลูโลสในสารละลายมอร์แดนต์ที่ประกอบด้วย สารส้มและโซดาแอซในอัตราส่วน 7:1 โดยน้ำหนักเตรียมโดยการค่อยๆ เติมสารส้มลงในสารละลายโซดาแอซคนให้เข้ากันแล้วต้มที่ 150°ซ จะได้เป็นสารละลายมอร์แดนต์ที่มีอะลูมิเนียมไฮดรอกไซด์แขวนลอยอยู่ในรูปคอลลอยด์ จากนั้นนำเส้นใยมาใส่และปรับอุณหภูมิเป็นที่ 40 °ซ ประมาณ 5 นาที แล้วเพิ่มอุณหภูมิเป็น 60 °ซ พร้อมกับคน จากนั้นต้มในสารละลายกรดแทนนิคก่อนนำไปย้อมผ้าจะทำให้สีติดทนไม่ตกสี มีข้อดีคือไม่ต้องใช้เอนไซม์เซลลูเลสย่อยเส้นใยเซลลูโลส ย่อยแป้งโดยแอลฟาอมิเลส และโปรตีนโดยทริปซินก่อนนำไปย้อมพบว่าเส้นใยติดสีได้มากขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการย่อยด้วยเอนไซม์ ดังกล่าวข้างต้น โดยไม่มีผลกระทบต่อความคงทนของสี และเมื่อเทียบกับเส้นใยเซลลูโลสที่ทำ Premodanting ด้วยเกลือของโลหะ นักวิจัยชาวญี่ปุ่นทดละอองใช้กรดแทนนิกความเข้มข้นต่างๆ ช่วง 0.05-1.0 % เป็นมอร์แดนต์สำหรับเส้นใยชนิดต่างๆ ได้แก่ ไหม ไนลอน ฝ้าย และขนสัตว์ พบว่า กรดแทนนิกจะติดกับผ้าไหม และไนลอนได้มากว่าติดบนผ้าฝ้ายและขนสัตว์

เส้นใยที่เป็นโปรตีน เช่นขนสัตว์ ไหมจะจับสีจากโคชินีล (Cochineal) ซึ่งเป็นสีแดงส้ม ได้ดีกว่าเส้นใยเซลลูโลส ดังนั้นสิ่งจำเป็นนอกเหนือจากการทำ mordanting ฝ้ายก่อนย้อมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการจับสีย้อม คือการเตรียมฝ้ายให้มีความชอบจับกับสีย้อมได้ดี มีการทดลองเตรียมผ้าฝ้ายและเส้นใยสังเคราะห์ด้วยการใช้โปรตีน 3 ชนิด คือ เจลาติน โปรตีนจากถั่วเหลือง และฮีโมโกลบินจากวัว และกรดอะมิโน 5 ชนิดได้แก่ L-gluamic acid, L-proline, L-arginine และ L-lysine พบว่าเส้นใยเซลลูโลสจะสามารถจับกับสีมากขึ้นตามความเข้มข้นของโปรตีนที่ใช้ยกเว้นเจลาติน แต่เส้นใยเซลลูโลสที่เตรียมโดยใช้กรดอะมิโนจะมีความชอบจับกับสีย้อมได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ผลการทดลองสรุปได้ว่าการดูดซับสีของเส้นใยเซลลูโลสจะขึ้นกับปริมาณโปรตีนที่ติดบนเส้นใย ผลการทดลองนี้เป็นข้อมูลที่มีประโยชน์ที่จะนำไปพัฒนาการย้อมเส้นใยเซลลูโลส และเส้นใยสังเคราะห์ด้วยสีธรรมชาติจากพืชชนิดต่าง ๆ ให้ติดสีเข้มและมีความคงทน

มอร์แดนต์นอกจากจะทำให้สีติดแล้ว ยังพบว่ามีส่วนสำคัญต่อสมบัติความคงทนของสีที่ย้อมได้ต่อแสงด้วย มอร์แดนต์บางอย่างมีผลต่อสภาพเส้นใยหลังย้อมเช่น อลูมิเนียมทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นและความทนต่อแรงดึงลดลง นอกจากนี้สารที่ใช้เป็นมอร์แดนต์หลายตัวที่ก่อให้เกิดของเสียที่เป็นพิษเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อผู้ใช้สิ่งทอได้

จึงมีการกำหนดมาตรฐานความปลอดภัยหลายๆ อย่างและมีการกำหนดใช้หรือบังคับใช้เป็นกฎหมายในบางประเทศแล้ว ตัวอย่างเช่น eco standards ที่รู้จักกันในชื่อ Oeko-Tex Standard 100 มีข้อกำหนดสำหรับปริมาณโลหะต่าง ๆ สารบางชนิด และความคงทนของสีสำหรับสินค้าเส้นใยและสิ่งทอประเภทต่างๆ สินค้าที่เป็นไปตามข้อกำหนดนี้ถือว่าเป็น eco textiles และผู้ผลิตสินค้าสามารถใช้สลาก Oeko-Tex label ได้

2.4 การวิเคราะห์คุณภาพและเฉดสีด้วยวิธีการทางกายภาพ [11]

เป็นกระบวนการวิเคราะห์ที่ใช้หลักความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารให้สีซึ่งจะสามารถนำมาคำนวณหาค่าความสามารถในการดูดซับสีดังสมการ

$$\% \text{ Exhaustion} = \frac{\text{Absorbance before dyeing} - \text{Absorbance after dyeing}}{\text{Absorbance before dyeing}} \times 100$$

ค่าความเข้มของสีที่ย้อมสามารถหาได้จากการวัดค่าการสะท้อนของแสง และนำมาคำนวณค่าความเข้มของสีบนผ้า(K/S) ตามสมการของ Kubelka-Munk [2], [3]

$$K/S = (1-R)^2 / 2R$$

R คือ ค่าการสะท้อนแสงที่สังเกตได้

K คือ ค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืน

S คือ ค่าสัมประสิทธิ์การกระจายแสง

ผ้าที่ถูกย้อมด้วยสีธรรมชาติแล้วจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยระบบ CIE (CIELAB) ซึ่งเป็นระบบการวัดสีที่บอกมิติของสีออกเป็น 3 มิติ คือ

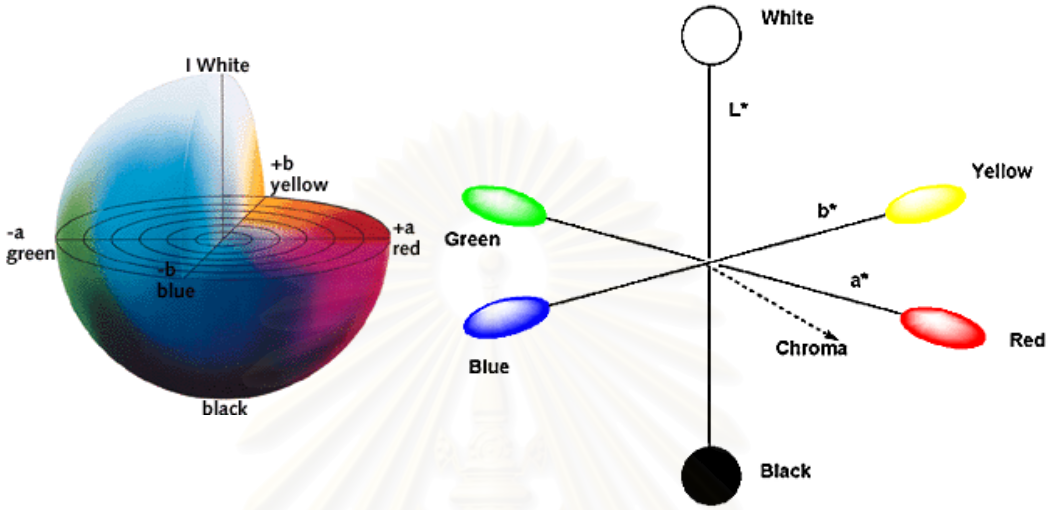
- Lightness (L*) หมายถึง ความสว่างของสีโดยกำหนดค่าความสว่างตามแนวตั้ง โดยสีขาวจะอยู่ที่ปลายสุดของแกนบน สีดำจะอยู่ด้านล่าง

- Hue คือ สีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีแดง สีเขียว เป็นต้น โดยจะเรียงอยู่รอบแกน Lightness สามารถบอกค่าเป็น Hue angle (h*) ซึ่งเป็นตัวเลขที่ระบุว่า สีอยู่ในตำแหน่งใดใน Colour Space

- Chroma หรือ Saturation (C*) หมายถึง ความเข้ม ความบริสุทธิ์ของสีโดยกำหนดค่าตามแนวนอนเริ่มต้นจากค่าสีเทาบนแกน Lightness ค่าหนึ่ง ๆ ซึ่งได้จากความยาวของเส้นตรงจากจุดกำเนิด ที่ a* = h* = 0 ไปยังตำแหน่งของตัวอย่าง

CIE L* a* b* (CIELAB) เป็นระบบการวัดสีที่พัฒนามาจากระบบ CIE Tristimulas Values และ CIE Chomaticity Coordinates จากการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงจนสามารถบอกความ

แตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันระบบที่ใช้ระบุสีที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง คือ CIELAB 1976 ซึ่งมีลักษณะของ Colour Space ดังรูปที่ 2.1 [12]



รูปที่ 2.1 CIELAB ซึ่งแสดง L*, a*, b* Colour Space

โดยที่ค่า L*, a*, b* จะแสดงถึงเฉดสีต่างๆ

ค่า L* หมายถึง ค่าความสว่าง (Lightness)

ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง สีดำ

ถ้า L* มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึง สีขาว

ค่า a* หมายถึง ความแดงหรือเขียวของวัตถุ

ถ้า a* มีค่าเป็น + แสดงว่าวัตถุออกเฉดแดง

ถ้า a* มีค่าเป็น – แสดงว่าวัตถุออกเฉดเขียว

ค่า b* หมายถึง ความเหลืองหรือฟ้าของวัตถุ

ถ้า b* มีค่าเป็น + แสดงว่าวัตถุออกเฉดเหลือง

ถ้า b* มีค่าเป็น - แสดงว่าวัตถุออกเฉดฟ้า

และค่า h* และ ค่า C* สามารถคำนวณได้จากสมการ

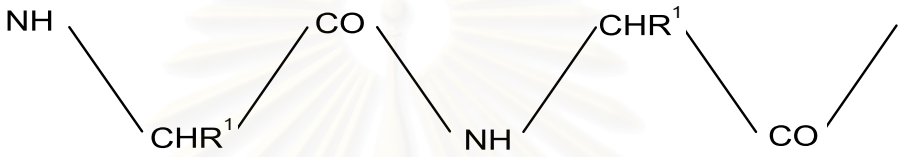
$$h^* = \tan^{-1}\left[\frac{b^*}{a^*}\right]$$

$$C^* = (a^{*2} - b^{*2})^{1/2}$$

2.4 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยธรรมชาติ [3]

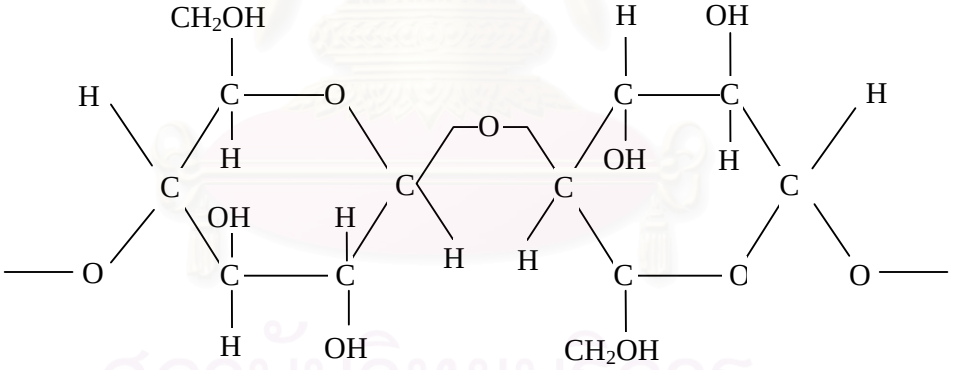
เส้นใยสิ่งทอประกอบด้วยโมเลกุลซึ่งยาวและยืดหยุ่นมากๆ ซึ่งเกิดจากตัวของเส้นใยเอง โมเลกุลต่างๆ เหล่านี้จัดเป็น พอลิเมอร์ โดยประกอบขึ้นจากหน่วยเล็กๆ ซ้ำๆ กันจำนวนมาก หน่วยเล็กๆ เหล่านี้อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันแล้วแต่ชนิด ซึ่งจะปรากฏเป็นช่วงๆ ตามความยาวของโมเลกุลโดยแสดงดังตัวอย่างดังรูป 2.2 และ 2.3

เส้นใยโปรตีน ตัวอย่างเช่น ไหม



รูปที่ 2.2 หน่วยที่ซ้ำกันของเส้นใยโปรตีน

เส้นใยเซลลูโลส ตัวอย่างเช่น ฝ้าย



รูปที่ 2.3 หน่วยที่ซ้ำกันของเส้นใยเซลลูโลส

จากรูปที่ 2.2 เส้นใยโปรตีน R^1 มีหมู่ side-groups ที่แตกต่างกันถึง 20 ตัว โดยจะต่อกับหมู่เอมีน ($-NH_2$) และ คาร์บอกซิลิก (-COOH) ซึ่งจะเป็นส่วนที่สำคัญ และมีผลอย่างมากต่อการย้อมสี side-chain อันหนึ่งใน ผ้าไหมและขนสัตว์คือ ซิสทีอีน ($-CH_2-S-SCH_2-$) จะสามารถเกิดการเชื่อมต่อของโมเลกุลที่ขนานกันตรงจุดนี้ได้ซึ่งจะช่วยให้สีที่ย้อมสามารถติดทนนานมากขึ้น [13]

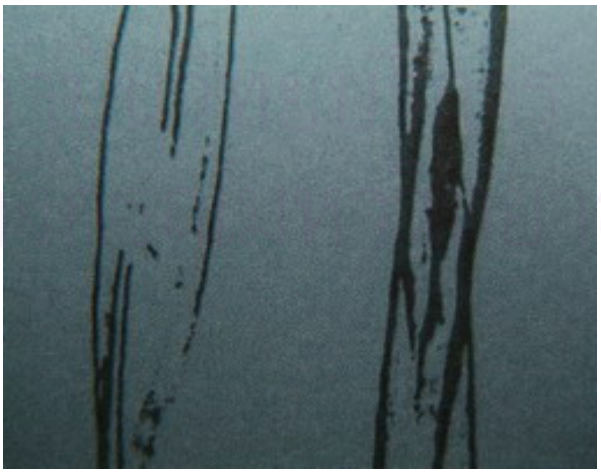
เส้นใยมีโครงสร้างของสายโมเลกุลที่มีสมบัติที่น่าสนใจ คือ สามารถขดตัวได้เหมือนผ้าจากขนสัตว์ แต่สามารถจะทำให้มาอยู่ใกล้กันได้ เหมือนกับเส้นใยอื่น ๆ ที่มีบริเวณ อสัณฐานระหว่างโครงสร้างผลึกโมเลกุล ตัวอย่างเช่น น้ำ จะมีอันตรกิริยาที่แข็งแรง กับสายโมเลกุลของเส้นใยและจะแทรกเข้าไปในอสัณฐานอย่างรวดเร็วซึ่งจะทำให้โครงสร้างของเส้นใยเกิดมีช่องว่างระหว่างเส้นใยซึ่งสารที่ละลายน้ำจะผ่านช่องว่างเหล่านี้ได้ เส้นใยที่บวมด้วยน้ำนั้นจะมีลักษณะคล้ายฟองน้ำ

2.6 **สมบัติทางกายภาพของเส้นใย** [14]

2.6.1 **เส้นใยเซลลูโลส**

ฝ้ายดิบจะมีสีขาวครีม และมีเส้นใยเป็นแบบเส้นเดี่ยว(single-cell) โดยเจริญออกมาจากจุดๆ หนึ่งแล้วจะยาวเหมือนกับหลอดรูปทรงกระบอก ซึ่งมีความยาวมากกว่าความหนา 100 เท่า คุณภาพของฝ้ายจะขึ้นกับ จำนวนของเกลียว และ ความสว่างของเส้นใยตามลักษณะดังนี้

i) ความยาวของเส้นใยฝ้ายจะอยู่ในช่วงประมาณ ครึ่งนิ้วถึงสองนิ้ว
ii) เกลียว คือสมบัติที่เกี่ยวกับการบิดตัวแสดงดังรูปที่ 2.4
iii) ความหนาของเส้นใย เส้นใยฝ้ายมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆกันคือ16 – 20 ไมครอน รูปร่างหน้าตัดขวางจะเปลี่ยนไปตามความสมบูรณ์ของเส้นใย เส้นใยที่ไม่สมบูรณ์จะมีรูปร่างเป็นตัวยู และผนังเซลล์จะบางกว่า ในขณะที่เส้นใยที่สมบูรณ์จะมีรูปร่างคล้ายวงกลมมากกว่า ดังรูปที่ 2.5

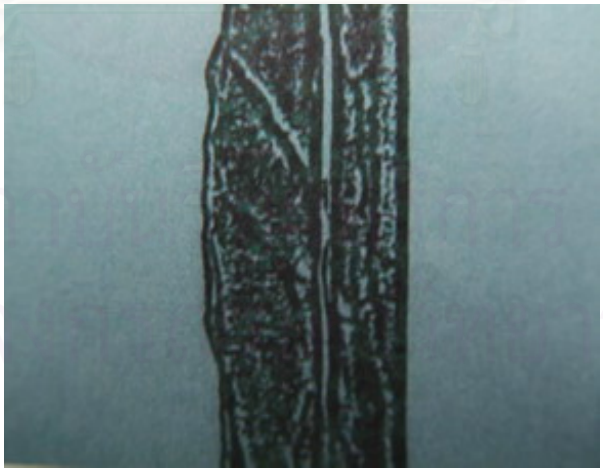


รูปที่ 2.4 การบิดตัวเป็นเกลียวของเส้นใยเซลลูโลส [14]

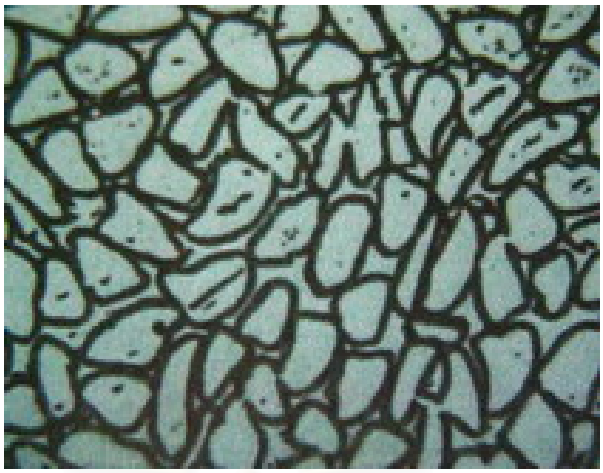
รูปที่ 2.5 หน้าตัดขวางของเส้นใยเซลลูโลส [14]

2.6.2 **เส้นใยโปรตีน**

ไหม เป็นเส้นใยธรรมชาติที่เป็นแบบยาวอย่างต่อเนื่อง (Continuous Filamentous) [15] มีลักษณะแข็งเรียบ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เท่ากันตามแนวยาว ลักษณะเส้นใยตามแนวยาวแสดงดังรูปที่ 2.6 และหน้าตัดของเส้นใยเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมไม่แหลมแสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.6 เส้นใยตามแนวยาวของเส้นใยโปรตีน [14]



รูปที่ 2.7 หน้าตัดขวางของเส้นใยโปรตีน [14]

2.7 **เคมีของการย้อม**

2.7.1 **พื้นผิวของภายในของเส้นใยและความสำคัญ**

เส้นใยธรรมชาติ เช่นเส้นใยเซลลูโลสและโปรตีน จะมีพื้นผิวภายในที่มีขนาดใหญ่มากๆ ซึ่งคือพื้นที่ผิวของผนังของช่องระหว่างโมเลกุลเส้นยาวที่ประกอบเป็นเส้นใย จำนวนของช่องดังกล่าวจะมีประมาณสิบล้านในหน้าตัดของเส้นใยฝ้ายและไหม ซึ่งจะมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 100 ตารางเมตร/กรัม หรือประมาณ 5 เอเคอร์/ปอนด์

เมื่อเส้นใยเปียกด้วยน้ำ น้ำจะแทรกเข้าไปในช่องว่างของเส้นใยทำให้เส้นใยบวมน้ำอย่างรวดเร็ว ทำให้สีในสารละลายสามารถแพร่เข้าไปในช่องหรือรูของเส้นใยได้ สีต่าง ๆ ซึ่งจะเป็นสารประกอบจำพวก surface-active เมื่อสีถูกละลายในน้ำโมเลกุลของสีจะรวมกันอย่างเข้มข้นที่พื้นผิวของสารละลาย และผิวเส้นใย ในการย้อมสิ่งดังกล่าวจะเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างแรกในกระบวนการย้อมผ้า

2.7.2 **แรงทางเคมีในการย้อม**

แรงดึงดูดทางเคมีที่รู้จักกันดีมีสี่ชนิด ที่เป็นแรงเกี่ยวกับการย้อม คือ แรงพันธะไฮโดรเจน แรงวันเดอร์วาล แรงจากประจุ และแรงโควาเลนต์ สามแรงแรกยากที่จะแยกออกจากกัน แต่อย่างไรก็ตามจะขึ้นกับชนิดของสี ชนิดของเส้นใย และภาวะการย้อมซึ่งจะเป็นตัวบ่งบอกว่ามีหนึ่งแรงทางกายภาพที่เป็นแรงดึงดูดหลัก

2.7.2.1 **พันธะไฮโดรเจน**

เป็นแรงแบบ secondary valancy เช่น ไฮโดรเจนอะตอมในหมู่ไฮดรอกซี สามารถที่สร้างแรงสัมพันธ์กับอะตอมอื่นๆได้ ตัวอย่างที่คุ้นเคยมากที่สุดที่เห็นได้ชัด คือ สมบัติของน้ำซึ่งมีจุดหลอมเหลวและจุดเดือดมากกว่าที่คะเนไว้ เพราะโมเลกุลจับกันอยู่ด้วยพันธะไฮโดรเจน เส้นใยและสีส่วนใหญ่จะมีหมู่ที่สามารถรวมกันเกิดพันธะแบบนี้ได้ มีหลักฐานที่สำคัญของพันธะไฮโดรเจนในการย้อมของเส้นใยที่มนุษย์สร้างขึ้น เช่น เซลลูโลส และอาจจะเป็นเซลลูโลสอะซิเตด หรือเส้นใยโปรตีน [16]

2.7.2.2 **แรงวันเดอร์วาล**

เป็นแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลหนึ่งกับอีกโมเลกุลหนึ่ง ซึ่งจะแบ่งเป็น 2 ชนิด

a) แรงที่เกิดจากโมเลกุลมีขั้ว
b) แรงที่เกิดจากโมเลกุลไม่มีขั้วหรือ แรงลอนดอน

ทั้งสีและเส้นใยเป็นโมเลกุลแบบมีขั้ว ทำให้สามารถเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลอื่น ๆ ได้ด้วยแรงไดโพโมเลกุลของสีหรือ เส้นใยจะต้องเข้าใกล้กันมาก ๆ ก่อนที่แรงดังกล่าวจะเกิดอย่างสมบูรณ์

2.7.2.3 **แรงที่เกิดจากประจุ**

แรงดึงดูดทางกายภาพระหว่างสี และเส้นใยจะเกิดขึ้นเนื่องจากสี และเส้นใยมีประจุ ในน้ำเส้นใยทั้งหมดจะมีสมบัติเป็นขั้วลบ และสีในน้ำที่เป็นสารละลายนั้นจะมีสมบัติเป็นขั้วลบด้วยจะทำให้การดูดซับระหว่างกันไม่เกิดขึ้น จึงจำเป็นที่จะต้องลดจำนวนประจุบนเส้นใยให้ลดลงก่อนที่สีซึ่งมีประจุลบจะดึงดูดติดเส้นใยอย่างมีประสิทธิภาพ

2.7.2.4 **พันธะโควาเลนต์**

สีรีแอคทีฟ จะติดกับเส้นใยด้วยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งจะแข็งแรงกว่าแรงอื่นๆ ที่กล่าวมาทั้งหมด

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วนิดา และ คณะ (2530) ศึกษาชนิดของสารช่วยติดจะมีผลต่อสีของผ้าที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ แม้ว่าสีย้อมจะเป็นสีชนิดเดียวกัน จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการย้อมเส้นไหมด้วยใบยูคาลิปตัส โดยใช้สารส้ม 15% จุนสี และเหล็ก 5% ต่อน้ำหนักไหม ปรากฏว่าเมื่อใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดจะได้เส้นไหมสีเหลืองอ่อน ถ้าใช้จุนสีจะได้สีเหลืองอมเขียว และเหล็ก จะได้สีเทาอมม่วง [7]

Usida; S. (1999) ได้ทดลองสกัดใบครามสดพันธุ์ *Polygonum tinctorrium* ด้วยเอทานอลที่ 5, 10, 20, 30 และ 40% ซึ่งผลที่ได้ไม่แตกต่างกันมากนัก คือผ้าสีที่ย้อมออกมาจะออกเฉด เขียวอมฟ้า แต่เมื่อใช้สารช่วยติดสี โดยใช้ โซเดียมคาร์บอเนตที่ความเข้มข้นต่างๆ แต่ควบคุม pH ให้ไม่เกิน 10.5 เป็นสารช่วยติดสี จะได้สีออกม่วงแดง [17]

เจริญศรี (2537) ได้ทดลองเบื้องต้นเกี่ยวกับการสกัดสีจากเปลือกมะพร้าวอ่อน พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดสีมีผลต่อความเข้มของสี และการสกัดสีจากเปลือกมะพร้าวอ่อนที่สดได้สีเข้มและสดใสกว่าการสกัดสีจากเปลือกมะพร้าวอ่อนที่แห้งวิธีการสกัดสีโดยการต้มโดยใช้อัตราส่วนเปลือกมะพร้าวอ่อน ต่อน้ำ 1 : 5 ผ้าที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากเปลือกมะพร้าวอ่อนจะมีสีน้ำตาล สีน้ำตาลอมชมพู ส่วนผ้าที่ย้อมด้วยน้ำสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี ที่ใส่ขณะย้อม และแช่สารช่วยติดหลังย้อมผ้าจะมีสีเทาอมน้ำตาล[18]

อรุณฉาย (2541) ได้ศึกษาหาภาวะและวิธีการสกัดที่เหมาะสมในการสกัดสีย้อมธรรมชาติจากครั่ง พบว่าเมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.5 โมลาร์ จะได้สีย้อมสีแดงมากกว่าที่ความเข้มข้น 0.1 และ 1.0 โมลาร์ ตามลำดับ และได้ทำการสกัดสีย้อมสีแดงจากครั่งด้วยวิธีการสกัดจากน้ำล้างครั่ง และการสกัดด้วยการแช่ครั่งในสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต พบว่า วิธีการสกัดทั้งสองวิธีให้ปริมาณสารสกัดหยาบไม่แตกต่างกัน ส่วนผลการศึกษาสมบัติเบื้องต้นของสีย้อมสีแดงจากครั่ง พบว่า เป็นสีกลุ่มแอนทราควิโนน เมื่อแยกองค์ประกอบทางเคมีของสีย้อมธรรมชาติจากครั่ง พบว่าได้สาร 2 ชนิด คือ สารสีเหลืองปนน้ำตาล ซึ่งเป็นของเหลว 7.25 % ของน้ำหนักครั่งแห้ง และสารสีแดงเป็นของแข็ง 8.96 % ของน้ำหนักครั่งแห้ง [19]

Gulrajani และคณะ (1995) ได้ทดลองย้อมผ้าขนสัตว์ และผ้าไหมด้วยสี Madders จากต้น Rubia Cordifolia และ Rabia Siddimesis ซึ่งรู้จักในชื่อ “Indian Madder” ใช้สารช่วยสีติด

5 ชนิด คือ สารส้มจุนสี ($CuSO_4$) Cream of Tartar ($FeSO_4$) โครม และสแตนนัสคลอไรด์ (SnCl) โดยใช้ 3 รูปแบบ คือ ใช้ก่อนย้อม พร้อมย้อม และหลังย้อม สีแดงที่ได้มีองค์ประกอบหลักเป็นสาร Purpurin (Tri-hydroxy Antraquinone) และ Munfistin ส่วนประกอบที่เหลืออีกเล็กน้อยเป็นสาร Xanthopurpurin และ Psiudopurpurin ผลการย้อมพบว่า ไม่สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างสีที่ได้กับวิธีการใช้สารช่วยสีติด แต่พอสรุปได้ว่า การใช้สารช่วยสีติดต่างวิธีมีผลต่อสีที่ได้ของผ้าขนสัตว์มากกว่าผ้าไหม และการใช้สารส้มและดีบุกให้สีแดงส้ม เหล็ก โครม และจุนสีให้สีแดงน้ำตาล ในขณะที่ผลการทดสอบความคงทนของสีหลังการย้อม แสดงให้เห็นว่าการใช้สารช่วยสีติดไม่ได้ช่วยเพิ่มความคงทนต่อแสงแดดแต่กลับลดค่าความคงทนในกรณีของจุนสี และดีบุก เช่นเดียวกันกับค่าความคงทนต่อการซัก และวิธีการใช้สารช่วยสีติดไม่ให้ผลที่แตกต่าง [20]

สุทธิลา (2535) ศึกษาผลของสารช่วยติดที่มีต่อการย้อมไหมด้วยขมิ้นชัน โดยใช้สารช่วยติด 3 ชนิดคือ น้ำมะขาม น้ำส้มป่อย ในขณะย้อม และกรดน้ำส้มหลังการย้อม ซึ่งใช้ความเข้มข้น 5,10,15 และ 20% โดยน้ำหนัก พบว่าสีที่ย้อมได้มีเพียงสีเดียว คือ สีเหลืองทอง เส้นไหมที่ย้อมได้มีความคงทนของสีต่อแสงแดด และคาร์บอนอาร์ก อยู่ในระดับต่ำสุดทุกการทดลอง แต่การใช้น้ำส้มป่อย ทุกระดับความเข้มข้นที่ผ่านกรดน้ำส้มจะมีความคงทนของสีต่อการซักสูงสุด [21]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 รูปแบบการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีย้อมจากต้นขนุนที่ได้จากกระบวนการสกัด และนำเอาสารละลายให้สีที่สกัดได้มาทำการทดลองย้อมบนผ้าไหม และผ้าฝ้าย พร้อมทั้งทดสอบความคงทนต่อการซักล้าง การขัดถู และความคงทนต่อแสงของผ้าที่ผ่านกระบวนการย้อมแล้ว

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 บีกเกอร์ (Beaker)

3.2.2 กรวยแยก (Funnel)

3.2.3 เทอร์โมมิเตอร์ (Thermometer)

3.2.4 ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flash)

3.3.5 แท่งแก้วคน (Stirring Rod)

3.2.6 เครื่องสูบสุญญากาศ (Vacuum Pump)

3.2.7 กระบอกตวง (Cylinder)

3.2.8 เตาอบ (Oven: Binder RD115)

3.2.9 เครื่องทดสอบการซักล้าง (Launder-Ometer: Model LEF ATLAS)

3.2.10 แผ่นให้ความร้อน (Hot plate)

3.2.11 เครื่องวัด pH

3.2.12 เครื่องชั่งสาร

3.2.13 Spectrophotometer : Spectraflash SF600 Datacolor

3.2.14 ตู้ดูดความชื้น (Desiccator)

3.2.15 เครื่องระเหยแบบหมุน (Rotary Evaporator: Model V800 & V805 BUCHI)

3.2.17 เครื่องทดสอบความคงทนต่อแสง (Fade-Ometer)

3.2.18 เครื่องทดสอบการขัดถู (Crock meter)

3.2.19 ขวดก้นกลม 3 คอ (Three Neck Bottle)

3.2.20 ใบพัดกวนพร้อมมอเตอร์

3.2.21 รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ (Reflux Condenser)

3.3 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.1 จุนสี หรือ ทองแดง ($CuSO_4$)

3.3.2 เหล็กซัลเฟต ($FeSO_4$)

3.3.3 สารส้ม ($AlKO_8SO_2$)

3.3.4 โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)

3.3.5 กรดน้ำส้ม (CH_3COOH)

3.3.6 น้ำกลั่น (Distilled water)

3.3.7 น้ำสบู่ซักล้าง (non-ionic soap)

3.3.8 ผ้าไหม (Silk fabric)

3.3.9 ผ้าฝ้าย (Cotton fabric)

3.3.10 ไม้ขนุน

3.3.11 Cotton rubbing cloth

3.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงานวิจัย

3.4.1 การสกัดสีย้อมจากไม้ขนุนและการวิเคราะห์

นำไม้ขนุนสดที่ถูกตัดแล้ว มาอบให้แห้งในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}C$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไม้แห้งที่ได้มาบดย่อยให้เป็นชิ้นเล็กๆ จากนั้นนำมาเก็บรักษาในตู้ดูดความชื้น เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสกัดแยกสีต่อไป

เพื่อหาภาวะของตัวแปรที่เหมาะสม ที่มีผลต่อปริมาณสีย้อมที่สกัดได้ในรูปเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม จึงออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟกทอเรียล ซึ่งในงานวิจัยนี้ ศึกษาผลของตัวแปร 3 ชนิด คือ อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ เวลา และอุณหภูมิ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษา

ตัวแปร	ต่ำ(-)	สูง(+)
อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ	1: 10	1: 40
อุณหภูมิ	50	100
เวลา	60	150

ดังนั้นต้องทำการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียล ภาวะการทดลอง ณ. ที่นี้ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมเป็น 16 การทดลอง ทำการทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม ตามการทดลองที่ได้วางรูปแบบไว้ คือ 2^3 แฟกทอเรียล โดยอันดับที่ต้องทำการทดลองจะเป็นแบบสุ่ม แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ภาวะที่ทำการทดลอง Experimental design 2^3 factorial และอันดับที่ทำการทดลอง

การทดลองที่	อุณหภูมิ (^{o}C)	เวลาในการสกัด (min.)	อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ (ratio)
3	50	60	1:10
7	50	60	1:40
2	50	150	1:10
1	50	150	1:40
4	100	60	1:10
5	100	60	1:40
8	100	150	1:10
6	100	150	1:40

ทำการชั่งน้ำหนักของไม้ขนุนที่ผ่านการบด แล้ว 20 กรัม เติมน้ำตามอัตราส่วนที่ทำการทดลอง จากนั้นนำไปต้มในบีกเกอร์ ที่ติดใบพัดกวนพร้อมมอเตอร์ ซึ่งตั้งความเร็วที่ 100 รอบต่อนาที เริ่มจับเวลา หลังจากอุณหภูมิถึงค่าที่กำหนด ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ภาพชุดอุปกรณ์การทดลอง

และการหาปริมาณของสีย้อมที่สกัดได้โดย ระบุในเทอมของ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม (%total solids) มีกระบวนการดังต่อไปนี้

- นำสารละลายที่สกัดได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41
- ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ ปริมาตร 100 cm^3
- นำมาระเหยด้วย เครื่อง ระเหยแบบหมุน จนหนืด
- นำไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 $^{\circ}C$ นาน 2 ชั่วโมง แล้วเก็บให้เย็นในเดซิเคเตอร์
- ชั่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน
- คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม

$$\% \text{ total solid} = \frac{m_{TS}}{m_0} \times \frac{V_T}{V} \times 100$$

m_0 = น้ำหนักของวัตถุดิบตัวอย่าง (g)

m_{TS} = น้ำหนักสารแห้ง (g)

V_T = ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด (cm^3)

V = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง (cm^3)

นอกจากนี้ได้ทำการทดลองที่ค่ากลางและค่าที่มากกว่าค่าสูงของตัวแปรทั้ง 3 เพื่อยืนยันสมมติฐานที่กำหนดค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร กับผลการทดลองในช่วงที่กำหนด จึงต้อง

ทำการทดลองเพิ่ม โดยการหาภาวะที่เหมาะสมโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าการทดลองของตัวแปรอย่างละเอียด แล้ววิเคราะห์หาสีย้อมที่สกัดได้ในรูปเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมตามนี้

อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ	1:10, 1:20, 1:30, 1:40, 1:50
เวลา	60, 120,150 และ 180 นาที
อุณหภูมิ	50, 60, 70, 80, 90 และ 100 °C

เมื่อทราบภาวะที่เหมาะสม ก็จะใช้ภาวะดังกล่าวสกัดสีย้อม ให้สีเหลืองจากไม้ขนุนเพื่อใช้ในขั้นตอนการย้อมต่อไป

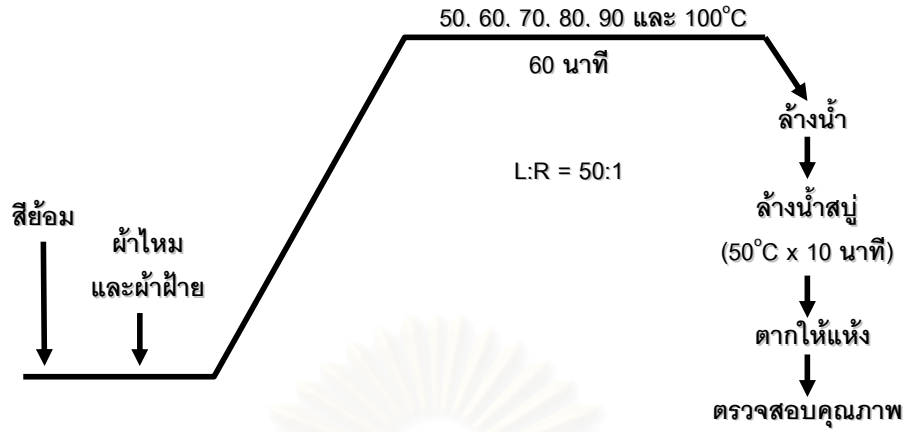
ดำเนินการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด ด้วยวิธีการสกัดแบบ Soxhlet Extraction ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแบบมีการรีฟลักซ์ ซึ่งจะช่วยให้ปริมาตรของตัวทำละลายไม่ลดลงและยังได้ตัวทำละลายใหม่ตลอดเวลา เพื่อหาค่าของแข็งโดยรวมสูงสุดที่สามารถสกัดได้ แล้วนำมาทำการเปรียบเทียบกับการสกัด ด้วยวิธีการต้มซึ่งวิธีวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ก.

3.4.2 การประยุกต์ย้อมบนผ้าไหม และผ้าฝ้าย

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการย้อมสีเหลืองที่สกัดได้จากไม้ขนุนบนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยสัตว์ คือ ผ้าไหม และ ผ้าที่ผลิตจากเส้นใยพืช คือผ้าฝ้าย ในการทดลองจะทำการหาภาวะย้อมที่เหมาะสมโดยจะศึกษาปัจจัยต่างๆ คือ อุณหภูมิในการย้อม อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า เวลาในการย้อม และค่าความเป็นกรดเบส โดยจะทำการย้อมด้วยเครื่องย้อมที่สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ได้

3.4.2.1 หาอุณหภูมิที่เหมาะสม ในกระบวนการย้อมสีเหลืองด้วยสารละลายที่สกัดได้จากไม้ขนุนบนผ้าไหม และผ้าฝ้าย

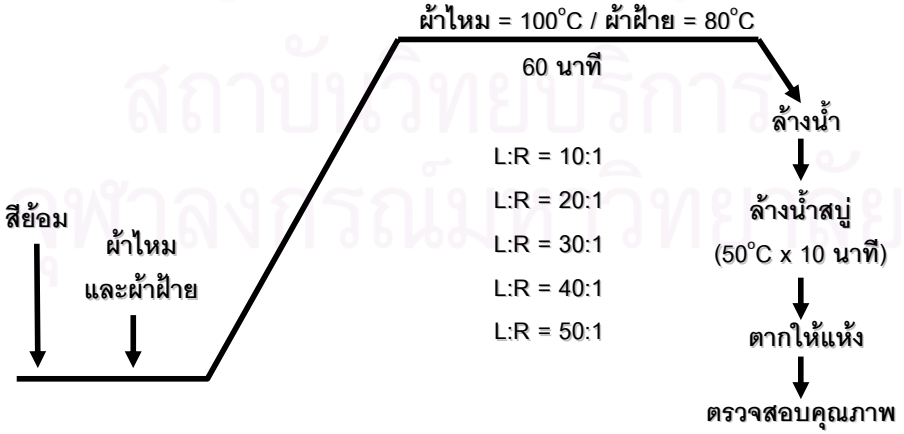
ผ้าไหม และ ผ้าฝ้าย จะถูกนำไปย้อมในเครื่องย้อม โดยเริ่มจากใส่ผ้าดังกล่าวลงในน้ำสีที่สกัดได้ ที่อุณหภูมิห้องด้วยอัตราส่วน L: R (liquor ratio) เท่ากับ 50 :1 เป็นเวลา 60 นาที โดยทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ คือ 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 °C จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำ แล้วจึงล้างด้วยน้ำสบู่ (soaping) ด้วยความเข้มข้น 1 g/L ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตากให้แห้ง แล้วเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการวัดสี แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

3.4.2.2 **หาอัตราส่วนระหว่างน้ำ และผ้า** (liquor ratio) **ที่เหมาะสม ในกระบวนการย้อมสีเหลืองด้วยสารละลายที่สกัดได้จากไม้ขนุนบนผ้าไหม และผ้าฝ้าย**

ผ้าไหม และผ้าฝ้ายจะถูกนำไปย้อมในเครื่องย้อมโดยเริ่มจากใส่ผ้าดังกล่าวลงในน้ำสีที่สกัดได้ที่อุณหภูมิห้องด้วยอัตราส่วน L: R ต่างๆ กันคือ 10:1, 20:1, 30:1, 40:1 และ 50:1 โดยใช้เวลา 60 นาที อุณหภูมิที่ใช้ย้อมแตกต่างกัน คือผ้าฝ้ายใช้อุณหภูมิที่ 80 °C ส่วนผ้าไหมใช้อุณหภูมิที่ 100 °C จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำ แล้วล้างด้วยน้ำสบู่ (soaping) ด้วยความเข้มข้น 1 g/L ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตากให้แห้ง แล้วเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการวัดสีแสดงดังรูปที่ 3.3

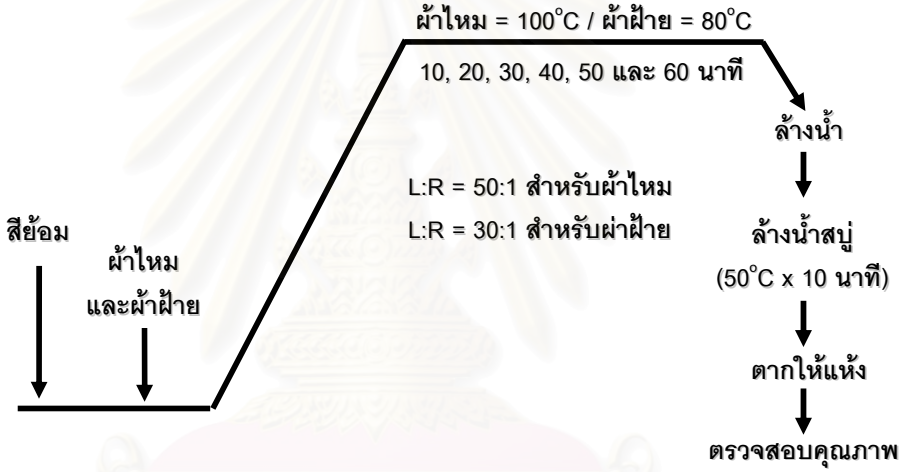


รูปที่ 3.3 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อผ้า

3.4.2.3 หาเวลาที่เหมาะสม ในกระบวนการย้อมสีเหลืองด้วยสารละลายที่สกัดได้จากไม้ขนุนบนผ้าไหม และผ้าฝ้าย

ผ้าไหม และผ้าฝ้าย จะถูกนำไปย้อมในเครื่องย้อมโดยเริ่มจากใส่ผ้าดังกล่าวลงในน้ำสีที่สกัดได้ที่อุณหภูมิห้องด้วยอัตราส่วน L: R คือ 50:1 สำหรับผ้าไหม และ 30:1 สำหรับผ้าฝ้าย โดยใช้เวลาในการย้อมคือ 10, 20, 30, 40, 50 และ 60 นาที อุณหภูมิที่ใช้ย้อมแตกต่างกันคือผ้าฝ้ายใช้อุณหภูมิที่ 80 °C ส่วนผ้าไหมใช้อุณหภูมิที่ 100 °C จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำ แล้วล้างด้วยน้ำสบู่ (soaping) ด้วยความเข้มข้น 1 g/L ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตากให้แห้ง แล้วเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการวัดสี แสดงดังรูปที่ 3.4

Error!



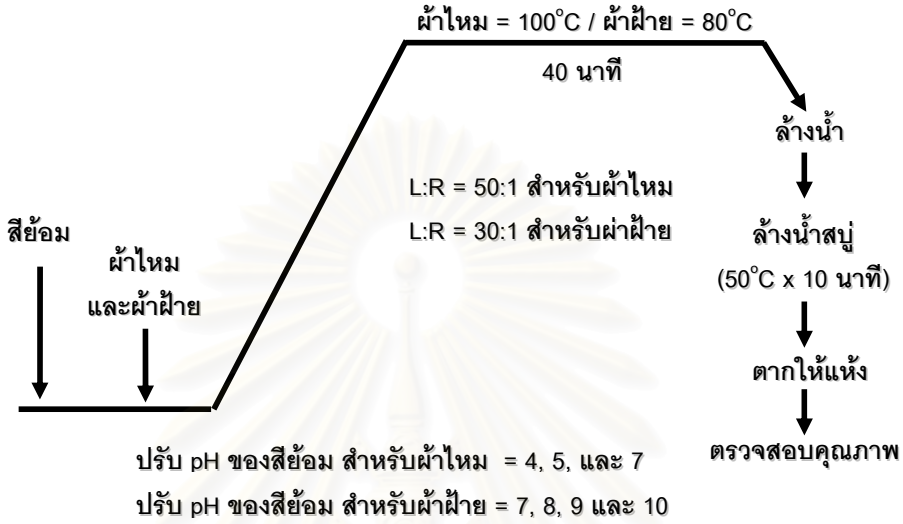
รูปที่ 3.4 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการย้อม

ในการทดลองปัจจัยต่างๆ ข้างต้นจะไม่มีการปรับ pH

3.4.2.4 หาสภาวะความเป็นกรดเบส (pH) ที่เหมาะสม ในกระบวนการย้อมสีเหลืองด้วยสารละลายที่สกัดได้จากไม้ขนุนบนผ้าไหม และผ้าฝ้าย

ผ้าไหมและ ผ้าฝ้าย จะถูกนำไปย้อมในเครื่องย้อมโดยเริ่มจากใส่ผ้าดังกล่าวลงในน้ำสีที่สกัดได้ที่อุณหภูมิห้องด้วยอัตราส่วน L: R คือ 50:1 สำหรับผ้าไหม และ 30:1 สำหรับผ้าฝ้าย โดยใช้เวลาในการย้อม 40 นาที อุณหภูมิที่ใช้ย้อมแตกต่างกัน คือ ผ้าฝ้ายใช้อุณหภูมิที่ 80 °C ส่วนผ้าไหมใช้อุณหภูมิที่ 100 °C โดยน้ำที่ใช้ย้อมมี pH ต่างๆ กัน คือ ผ้าฝ้ายทำการเปลี่ยนค่า pH ที่ 7, 8, 9 และ 10 ส่วนผ้าไหมทำการเปลี่ยนค่า pH ที่ 4, 5, 6 และ 7 จากนั้น

ทำการล้างด้วยน้ำแล้วล้างด้วยน้ำสบู่ (soaping) ด้วยความเข้มข้น 1 g/L ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตากให้แห้ง แล้วเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการวัดสี แสดงดังรูปที่ 3.5



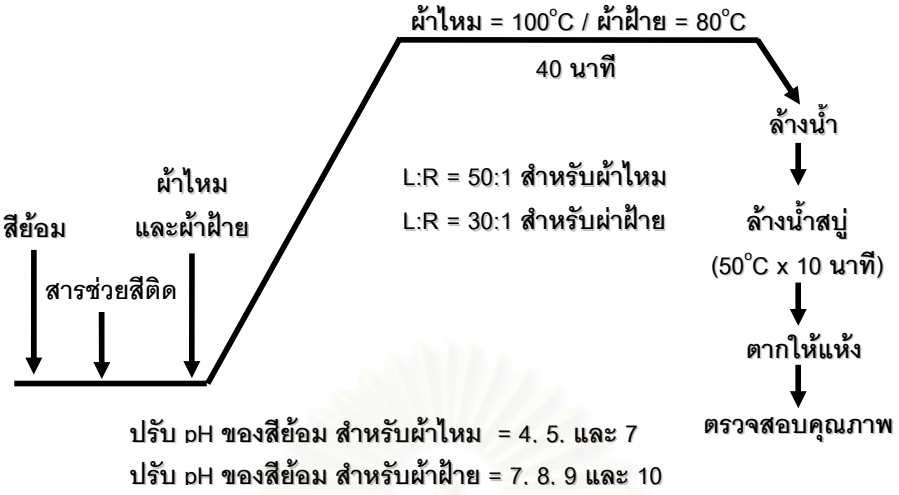
รูปที่ 3.5 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงค่า pH

3.4.2.5 ศึกษาผลของปริมาณสารช่วยสีติดชนิดต่าง ๆ ต่อสีที่ได้ในการย้อมผ้าไหม และผ้าฝ้ายด้วยน้ำสีจากต้นขนุน

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษา สารช่วยสีติด 3 ชนิด คือ

- $FeSO_4$
- $AlKO_8SO_2$
- $CuSO_4$

ในการทดลองแต่ละชนิดของสารช่วยสีติด ทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณ คือ 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0% ของน้ำหนักผ้า โดยใช้ภาวะย้อม ดังนี้ คือ อัตราส่วน L: R คือ 50:1 สำหรับผ้าไหม และ 30:1 สำหรับผ้าฝ้าย โดยใช้เวลาในการย้อม 40 นาที อุณหภูมิที่ใช้ย้อมที่ใช้แตกต่างกัน คือผ้าฝ้ายใช้อุณหภูมิที่ 80 °C ส่วนผ้าไหมใช้อุณหภูมิที่ 100 °C และปรับ pH ของกรณีผ้าฝ้ายเป็น pH 7 และกรณีผ้า ไหมไม่ต้องปรับ pH ซึ่งในส่วนนี้จะเป็นการเติมสารช่วยสีติดพร้อมย้อม จากนั้นทำการล้างด้วยน้ำ แล้วล้างด้วยน้ำสบู่ (soaping) ด้วยความเข้มข้น 1 g/L ที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นตากให้แห้ง แล้วเตรียมเข้าสู่ขั้นตอนการวัดสีต่อไป กระบวนการแสดงดังรูปที่ 3.6



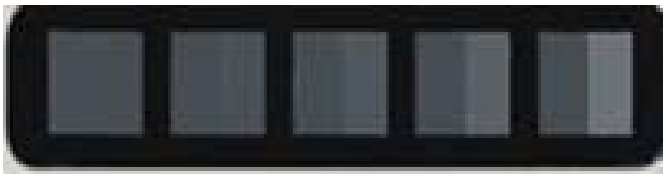
รูปที่ 3.6 แผนภาพกระบวนการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหม เมื่อมีการเติมสารช่วยสีติด

3.4.3 **การวิเคราะห์สมบัติความคงทนของสีบนผ้าที่ย้อมด้วยสีย้อมที่สกัดจากต้นขนุน** (Colour fastness test)

ในงานวิจัยนี้นำผ้าไหม และผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุนมาทำการทดสอบสมบัติความคงทนของสีที่ติดบนเนื้อผ้า (fastness properties) ด้วยวิธีการมาตรฐาน 3 วิธีดังจะกล่าวต่อไป

3.4.3.1 **สมบัติความคงทนของสีบนผ้าต่อแสง** (Colour fastness to light ISO 105-B02: 1994)

การทดสอบนี้จะทำการวัดความสามารถในการคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีเมื่อนำไปตากในแสงแดด ทำการทดลองในเครื่องมือ Fade-Ometer โดยใช้แสงแดดเทียม (xenon arc) ซึ่งให้เกรด ตามผลของ เกรย์สเกล ซึ่งอัตราความคงทนของสีต่อแสงของผ้ามาตรฐานที่ใช้ทดสอบ จะมีค่าจากระดับ 1 (มีค่าความคงทนต่ำสุด) ถึงระดับ 8 (มีค่าความคงทนสูงสุด) แต่ละระดับจะมีค่าความคงทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า โดยประมาณ



รูปที่ 3.7 เกรย์สเกล สำหรับความเปลี่ยนแปลงของสี

รูปที่ 3.8 เครื่อง Fade-Ometer

ตารางที่ 3.3 การให้เกรดความเปลี่ยนแปลงสีจากการอ่านค่าของเกรย์สเกล

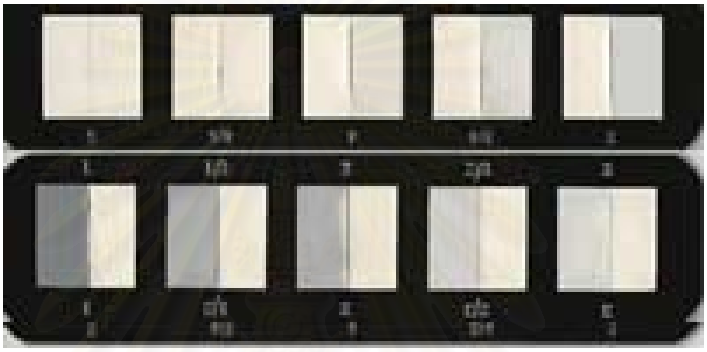
Grade	Colour fastness
5	ดีมาก (ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสี)
4	ดี (มีการเปลี่ยนแปลงสีเล็กน้อย)
3	พอใช้
2	แย่
1	แย่มาก

ตารางที่ 3.4 การให้เกรดการตกติดสีจากการอ่านค่าของเกรย์สเกล

Grade	Colour fastness
5	ดีมาก (ไม่มีการตกติดสี)
4	ดี (มีการติดสีเล็กน้อย)
3	พอใช้
2	แย่
1	แย่มาก

3.4.3.2 **สมบัติความคงทนของสีบนผ้าต่อการซักล้าง** (Color fastness to washing ISO 105-C02 A1S: 1994)

การทดสอบนี้ทำการวัดความสามารถในการคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสี เมื่อนำไปซักล้าง ทำการทดลองด้วยเครื่องมือ Launder-Ometer โดยผ้าถูกซักล้างด้วย ECE detergent 4 g/l ที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งจะให้เกรด ตามผลของ เกรย์สเกล



รูปที่ 3.9 เกรย์สเกลสำหรับการเปื้อนสีตกติดผ้า

รูปที่ 3.10 เครื่องทดสอบการซักล้าง (Launder-Ometer)

3.4.3.2 **สมบัติความคงทนของสีบนผ้าต่อการขัดถู** (Color fastness to rubbing ISO 105-X12: 2001)

การทดสอบนี้ทำการวัดความสามารถในการคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสี เมื่อผ่านการขัดถู เพราะเมื่อสวมใส่ร่างกายจะเกิดการเสียดสีกับเสื้อผ้า ทำการทดลองด้วยเครื่องมือ Crock meter โดยจะทำการขัดถูผ้าฝ้ายสีขาว 10 ครั้ง ใน 10 วินาที โดยแบ่งเป็นผ้าแห้ง และผ้าเปียก ทำการขัดถูทั้งสองทิศทาง คือ แนวขวาง และแนวดิ่งของลักษณะผ้า ซึ่งให้เกรด ตามผลของเกรย์สเกล เช่นกัน

รูปที่ 3.11 Crock meter

3.4.4 **การวัดความเข้มสีด้วย** Spectrophotometer

นำผ้าที่ได้จากการย้อมและผ้าที่ยังไม่ได้ผ่านการย้อมมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ Light source D65, Observe degree 10°และ λ =420 nm ซึ่งจะทำให้ทราบค่าของ ความคล้ำสีบนผ้าที่ย้อมได้เป็น ค่า CIELAB

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การสกัดสีย้อมจากต้นขนุน

4.1.1 ผลการวิเคราะห์การออกแบบการทดลองปัจจัยที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม

ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย คือ อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ เวลา และอุณหภูมิในการสกัด โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาเพื่อหาภาวะที่เหมาะสม และผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีต่อการสกัด โดยทำการออกแบบการทดลอง (Experimental Design) โดยเลือกตัวแปรที่นำมาทำการออกแบบการทดลอง 3 ตัวแปร คือ อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ เวลา และอุณหภูมิในการสกัด เพื่อกำหนดภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัด ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบการทดลองเป็นการทดลองแบบแฟกทอเรียล เพื่อหาส่วนที่เหมาะสมของการทดลอง อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ เวลา และอุณหภูมิ ให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมสูงที่สุด และนำค่าที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษา และพัฒนากระบวนการสกัดต่อไป

โดยการออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล เป็นการออกแบบการทดลองที่ต้องการศึกษาผลของตัวแปรที่มีผลต่อค่าการตอบสนองของข้อมูล ซึ่งในการทดลองนี้ค่าการตอบสนองของข้อมูล คือ เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม โดยกำหนดค่าตัวแปรดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตัวแปรและระดับของตัวแปรที่ทำการศึกษาของการสกัด

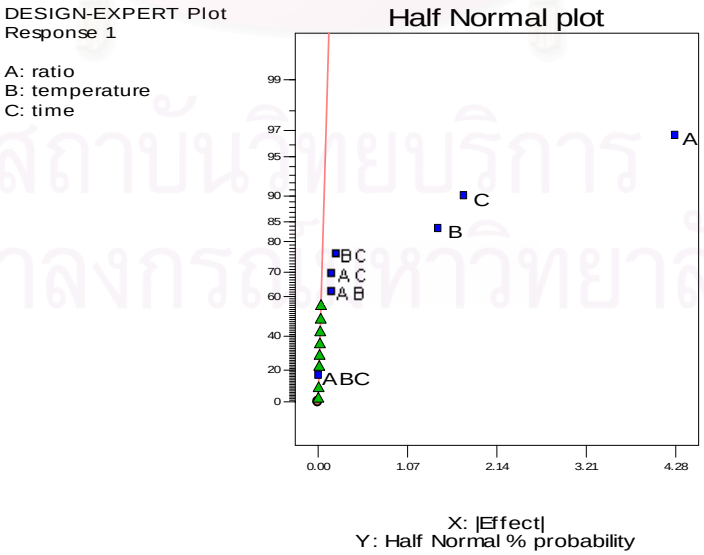
สัญลักษณ์	ตัวแปร	ต่ำ(-)	สูง(+)
A	อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ	1: 10	1: 40
B	อุณหภูมิ	50	100
C	เวลา	60	150

ดังนั้นต้องทำการทดลอง 2^3 แฟกทอเรียล ภาวะ การทดลอง ณ. ที่นี้ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง รวมเป็น 16 การทดลอง ทำการทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม ตามการทดลองที่ได้วางรูปแบบไว้ คือ 2^3 แฟกทอเรียล ผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 4.2

ตาราง 4.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม จากภาวะที่ทำการออกแบบการทดลอง

อุณหภูมิการสกัด (°C)	เวลาในการสกัด (min.)	อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ (ratio)	%ของแข็งโดยรวม	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
50	60	1:10	3.33	3.26
50	60	1:40	6.34	6.37
50	150	1:10	3.66	3.90
50	150	1:40	8.11	8.04
100	60	1:10	3.58	3.38
100	60	1:40	7.74	7.78
100	150	1:10	5.24	5.32
100	150	1:40	10.79	10.72

ทำการวิเคราะห์ผลของตัวแปรที่มีผลต่อการสกัดสีย้อมจากไม้ขนุนด้วยการสร้างกราฟ Normal Probability ดังรูปที่ 4.1



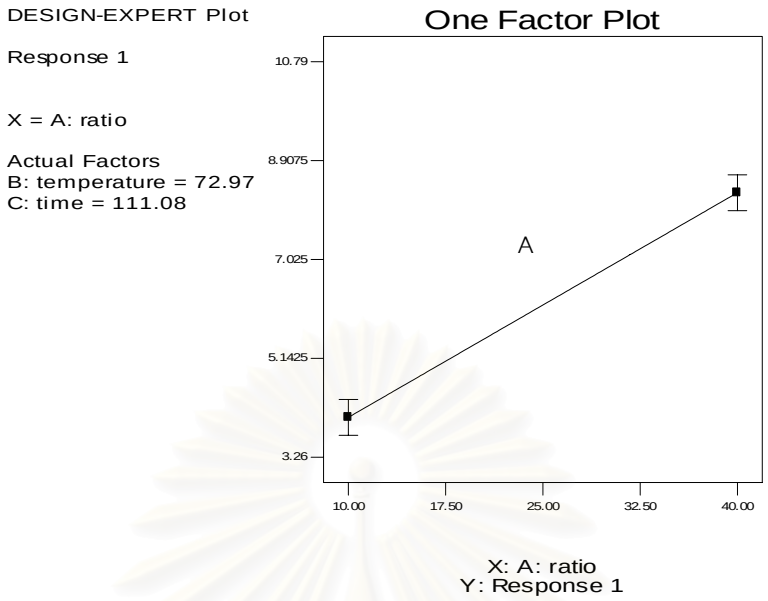
รูปที่ 4.1 กราฟ Normal probability plot กับค่า effect estimate

เมื่อพิจารณา Normal Probability Plot ของตัวแปรที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม (รูปที่ 4.1) พบว่าตัวแปรหลักที่คาดว่ามีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม คือ อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ เวลา และอุณหภูมิในการสกัด เนื่องจากค่า Effect Estimate ของตัวแปรได้เบี่ยงเบนออกจากแนวเส้นตรง จากนั้นทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรที่เป็นอิทธิพลหลักด้วยค่า F-Test ได้ดังแสดงดังตารางที่ 4.3 ในการทดสอบสมมติฐานโดยค่า F-Test จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 เปอร์เซ็นต์ โดยจะใช้ค่า F วิกฤตเป็นตัวเปรียบเทียบกับค่า F_0 ของตัวแปรต่างๆ ถ้าค่า F_0 ของตัวแปรต่างๆนั้นมีค่ามากกว่าค่า F วิกฤต ก็จะถือว่าตัวแปรนั้นมีอิทธิพลต่อค่าตอบสนอง

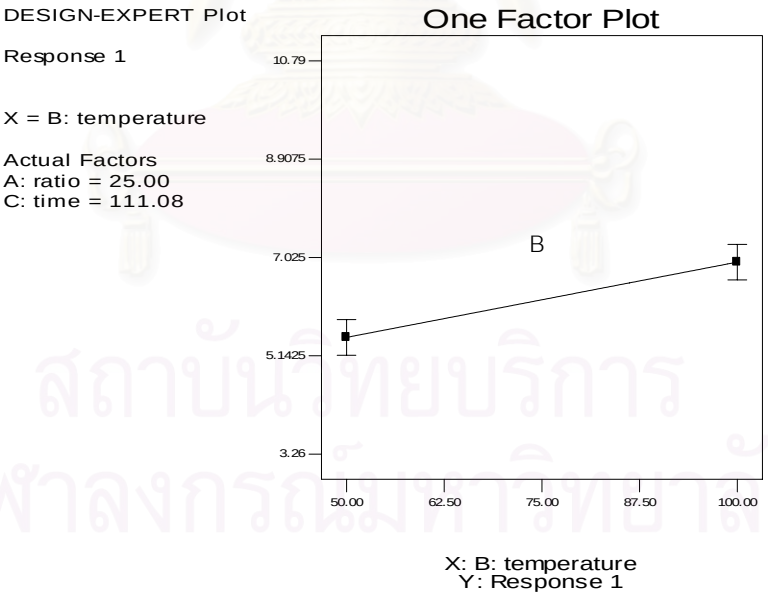
ตารางที่ 4.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรสำหรับค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม (ANOVA Table)

Source	Sum of Squares	DF	Mean Square	F_0
A	74.19	1	74.19	9661.79
B	9.32	1	9.32	1098.78
C	13.25	1	13.25	1617.16
AB	0.44	1	0.44	3.10
AC	0.48	1	0.48	3.89
BC	0.68	1	0.68	4.39
ABC	0.0004	1	0.0004	0.0528
Error	0.0606	8	0.0076	
Total	98.4155	15		

ค่า F วิกฤตที่ $F_{0.05,1,8}$ มีค่าเท่ากับ 5.32 จากความแปรปรวนของตัวแปรจะเห็นได้ว่าค่า F_0ของอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ (A) มีค่าเท่ากับ 9661.79 ค่า F_0ของอุณหภูมิ (B) มีค่าเท่ากับ 1098.78 และค่า F_0 ของเวลา (C) มีค่าเท่ากับ 4.39 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่า F วิกฤต จึงกล่าวได้ว่าอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ อุณหภูมิ และเวลาในการสกัดเป็นตัวแปรที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม

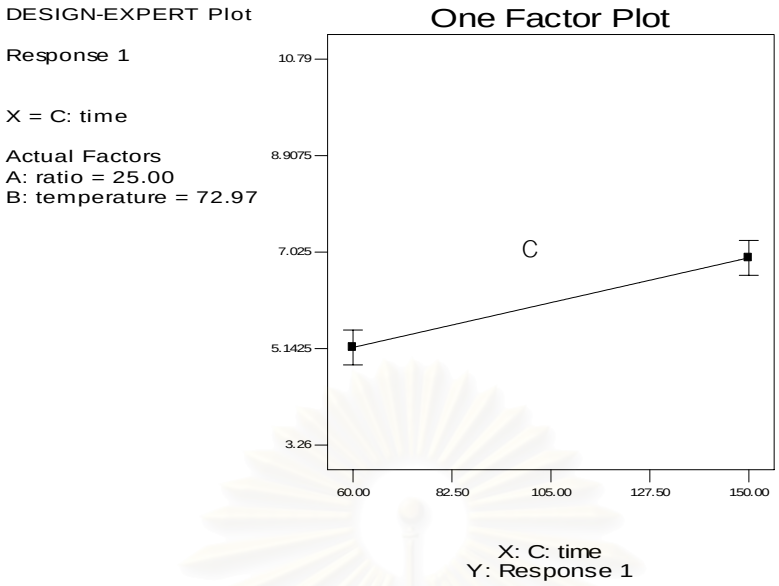


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของอุณหภูมิในการย้อมที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงถึงปัจจัยระดับสูงต่ำของเวลาในการย้อมที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.2 4.3 และ 4.4 ซึ่งเป็นกราฟปัจจัยในระดับสูงต่ำที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมของการสกัดสีย้อม เพิ่มขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมจะเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาจากความชันของกราฟในรูป 4.2 4.3 และ 4.4 พบว่าความชันของกราฟนั้นมีเป็นค่าบวก แสดงว่าเมื่อเพิ่มค่าของอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ อุณหภูมิ และเวลาในการสกัดค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมก็มีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นด้วย

นอกจากนี้ได้ทำการทดลองที่ค่ากลางและค่าที่มากกว่าค่าสูงของตัวแปรทั้ง 3 เพื่อยืนยันสมมติฐานที่กำหนดค่าความสัมพันธ์ของตัวแปร กับผลการทดลองในช่วงที่กำหนด จึงต้องทำการทดลองเพิ่ม โดยการหาภาวะที่เหมาะสมโดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าการทดลองของตัวแปรอย่างละเอียด แล้ววิเคราะห์หาสีย้อมที่สกัดได้ในรูปเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมตามนี้

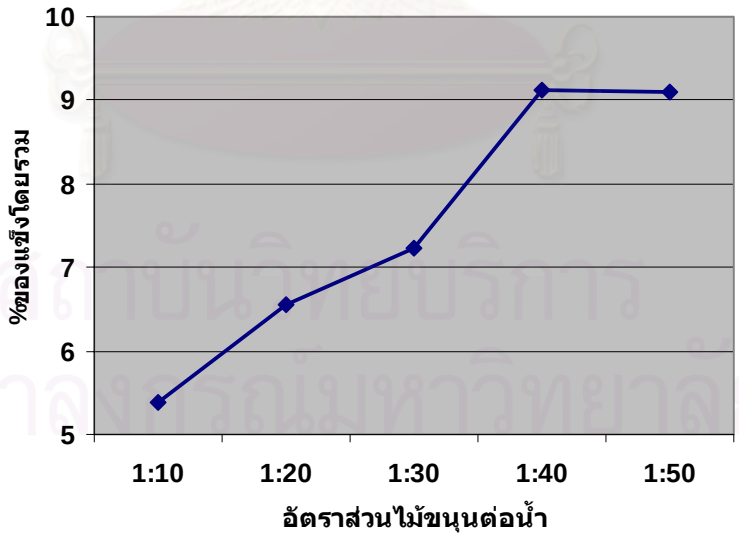
4.1.2 ผลของอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำที่มีต่อการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน

ผลของอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำที่มีต่อการสกัดสีย้อม เมื่อทำการสกัดที่อุณหภูมิ เป็น 100°C เป็นเวลา 120 นาที โดยแปรค่าอัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ 5 ค่า คือ 1:10, 1:20, 1:30, 1: 40 และ 1:50 ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมที่สกัดได้ แสดงในตาราง 4.4 และรูป 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมเมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำในการสกัด

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ	% ของแข็งโดยรวม
100	120	1:10	5.39
		1:20	6.56
		1:30	7.23
		1:40	9.13
		1:50	9.09

จากตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 จะพบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ จาก 1: 10 ไปเป็น 1: 40 เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม มีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น จาก 5.39 เป็น 9.13 และพบแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมคงที่ ที่อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ เท่ากับ 1: 50 การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ เป็นผลมาจากการที่สีย้อมในเนื้อไม้ขนุนสามารถแพร่ออกมาได้เร็วขึ้น เนื่องจากมีความแตกต่างของความเข้มข้นในเนื้อไม้ และในสารละลายที่มากขึ้น



รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลง %ของแข็งโดยรวม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ ที่อุณหภูมิ เป็น 100°C และเวลาการสกัด 120 นาที

สรุป อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของของแข็งโดยรวมที่สกัดได้ โดยได้อัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ 1: 40

4.1.3 ผลของเวลาที่มีต่อการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน

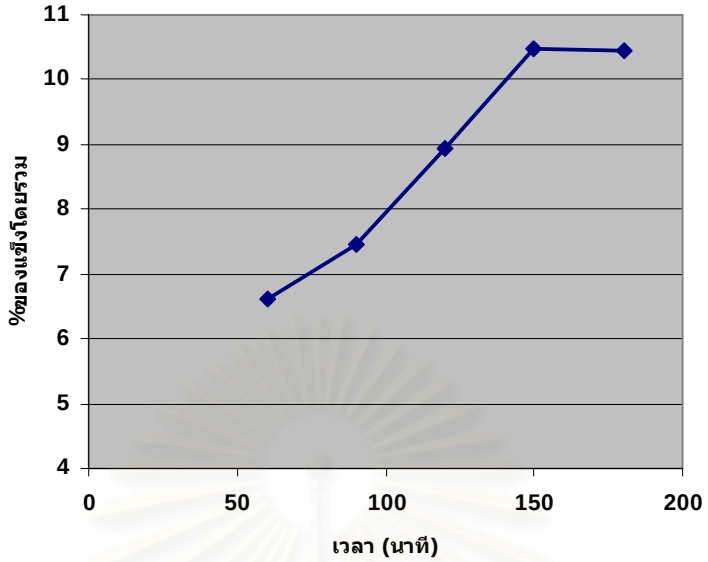
การศึกษาผลของเวลาที่มีต่อการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน โดยทำการสกัดที่อุณหภูมิ 100°C อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ 1: 40 แปรค่าเวลาในการสกัด 5 ค่า คือ 60, 90, 120, 150 และ180 นาที ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมที่สกัดได้ แสดงในตาราง 4.5 และ รูป 4.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.5 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมเมื่อเปลี่ยนเวลาในการสกัด

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ	% รงควัตถุสีเหลือง
100	60	1:40	6.62
	90		7.45
	120		8.94
	150		10.48
	180		10.45

จากตารางที่ 4.5 และ รูปที่ 4.6 จะพบว่า เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดจาก 60นาที ไปเป็น 150 นาที เปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม มีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น จาก 6.62 เป็น 10.48 และพบแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมคงที่ ที่เวลาในการสกัด เท่ากับ 180 การที่ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมเริ่มคงที่ เนื่องจากสารให้สีภายในไม้ขนุนถูกสกัดออกมาได้จนเกือบหมด เวลาที่เพิ่มขึ้นจึงไม่ค่อยมีผลต่อปริมาณสีที่สกัดได้

สรุป เวลาในการสกัด มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของของแข็งโดยรวมที่สกัดได้ โดยได้เวลาในการสกัดที่เหมาะสม คือ เวลา เท่ากับ 150 นาที



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลง %ของแข็งโดยรวม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเวลาในการสกัดที่อุณหภูมิ 100°C อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ 1: 40

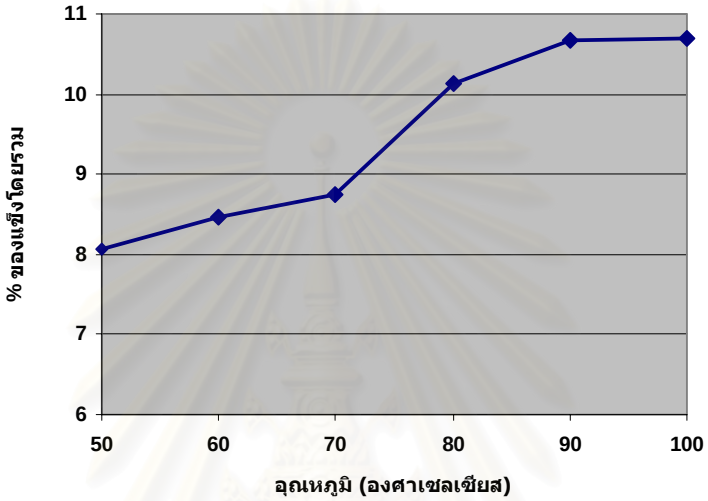
4.1.4 **ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน**

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน เมื่อทำการสกัดที่อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ 1: 40 เป็นเวลา 150 นาที โดยแปรค่าอุณหภูมิในการสกัด 6 ค่า คือ 50, 60, 70, 80, 90 และ100 °C ผลของเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมที่สกัดได้ แสดงในตาราง 4.6 และ รูป 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมเมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการสกัด

อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)	อัตราส่วนของปริมาณไม้ขนุนต่อน้ำ	% ของแข็งโดยรวม
50	150	1:40	8.06
60			8.47
70			8.76
80			10.13
90			10.67
100			10.69

จากตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7 จะพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัดจาก 50 °C ไปเป็น 90 °C พบว่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม มีค่าเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น จาก 8.06 เป็น 10.67 และพบแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมคงที่ ที่อุณหภูมิในการสกัด เท่ากับ 100 °C การเพิ่มเปอร์เซ็นต์ของของแข็งโดยรวม เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการสกัด เป็นผลมาจากการที่สีย้อมในเนื้อไม้ขนุนสามารถแพร่ออกมาได้เร็วขึ้น เมื่อเนื้อไม้เกิดการอ่อนตัวลงและเปื่อยยุ่ย จึงทำให้การสกัดดีขึ้น



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลง %ของแข็งโดยรวม เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลาการสกัด150 นาที อัตราส่วนของไม้ขนุนต่อน้ำ 1: 40

สรุป อุณหภูมิการสกัด มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวมที่สกัดได้ โดยได้ภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิการสกัด เท่ากับ 90 °C

ผลของการวิเคราะห์ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด ด้วยวิธีการสกัดแบบ Soxhlet Extraction ซึ่งเป็นวิธีการสกัดแบบมีการรีฟลักซ์ ได้ของแข็งโดยรวม เท่ากับ 14.82 % เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม ที่สกัดด้วยวิธีต้มแบบธรรมดา ได้ดังนี้

$$\text{ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด} = \frac{10.67}{14.82} \times 100 = 72$$

ดังนั้นได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด เท่ากับ 72 %

เมื่อทราบภาวะที่เหมาะสม ก็จะใช้ภาวะดังกล่าวสกัดสีย้อม ให้สีเหลืองจากไม้ขนุนเพื่อใช้ในขั้นตอนการย้อมต่อไป

4.2 ผลการศึกษาภาวะการย้อมสีของผ้าไหม และผ้าฝ้าย ด้วยสีที่สกัดจากต้นขนุนต่อความเข้มของสีบนผ้า

4.2.1 ผลของอุณหภูมิในการย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุน ที่มีผลต่อเฉดสีของผ้าไหม และผ้าฝ้าย

การทดลองการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้ายด้วยสีที่สกัดได้จากต้นขนุน ที่อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 เป็นเวลา 60 นาที โดยแปรค่าอุณหภูมิในการย้อม 6 ค่า คือ 50, 60, 70, 80, 90 และ100 °C ผลการวัดค่า L*, a*, b* และ K/S แสดงในตาราง 4.7 และ รูป 4.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 ค่า L*, a*, b* และ K/S จากการย้อมผ้าไหม และผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการย้อม

ค่าสี	อุณหภูมิการย้อม (°C)					
	50	60	70	80	90	100
ผ้าไหม						
L*	78.77	77.80	76.56	75.14	68.52	66.49
a*	-0.76	0.24	0.84	2.01	3.68	6.05
b*	32.72	32.92	33.26	32.91	34.78	33.38
K/S	2.0019	2.0680	2.1217	2.9783	3.5038	3.8186
ผ้าฝ้าย						
L*	86.77	87.00	86.08	83.93	84.02	84.77
a*	0.67	1.27	1.61	1.54	1.77	2.58
b*	14.06	13.59	14.71	17.95	18.96	16.27
K/S	0.3248	0.3155	0.3421	0.4893	0.4977	0.4678

* Light source D65, Observe degree 10°และ λ =420 nm

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.8 พบว่า การย้อมสีผ้าไหมและผ้าฝ้าย ผลของอุณหภูมิในการย้อม อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า (Liquor ratio) เวลาในการย้อม มีผลต่อการย้อมสีของผ้าไหมมากกว่าบนผ้าฝ้าย เนื่องจากลักษณะโครงสร้างของเส้นใย และการดูดซึมน้ำของเส้นใย แต่ค่า pH จะทำให้มีผลแตกต่างกันไป ซึ่งค่าที่วัดได้จากเครื่อง Spectrophotometer แสดงในรูปของ

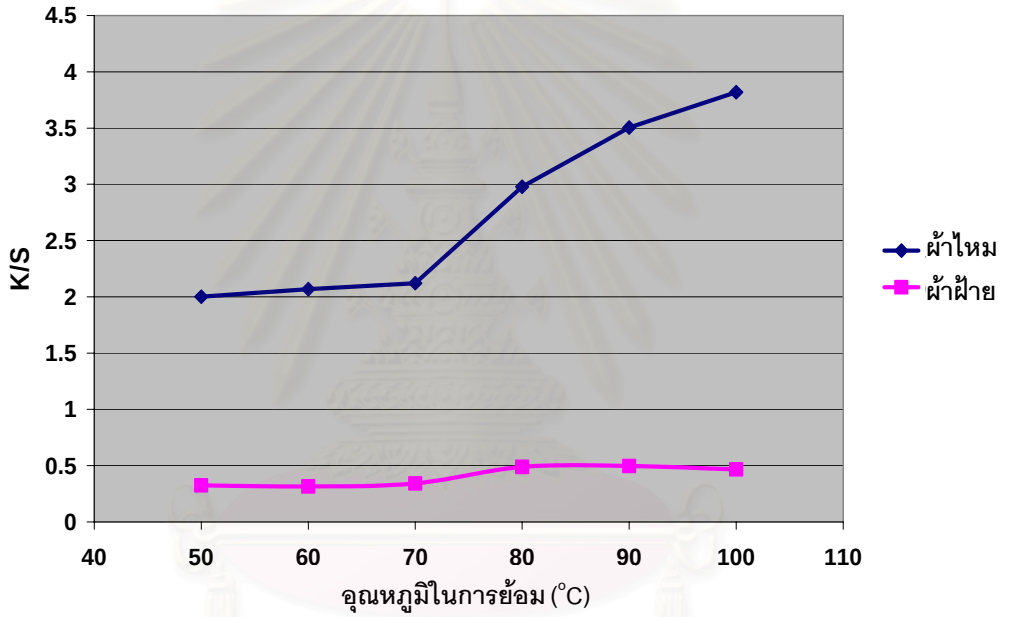
L* เป็น ค่าความมืด-ความสว่างของผ้าที่ผ่านการย้อมสี

a* เป็นค่าเฉดสีเขียว-แดงของผ้าที่ผ่านการย้อมสี

b* เป็นค่าเฉดสีเหลือง-ฟ้าของผ้าที่ผ่านการย้อมสี

และค่า K/S ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึง ความเข้มของสีบนผ้า

จากการทดลองพบว่า เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการย้อมของผ้าไหมจาก 50°C ไปเป็น 100 °C จะเห็นได้ว่าค่า K/S จะเพิ่มขึ้น จาก 2.0019 ไปเป็น 3.8186 และยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่เมื่อเปลี่ยนอุณหภูมิในการย้อมของผ้าฝ้ายจาก 50°C ไป 80 °C ค่า K/S ของผ้าฝ้ายก็ค่อนข้างจะคงที่ ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่เวลาในการย้อมเป็น 60 นาที และอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1

สรุปอุณหภูมิการย้อม มีผลต่อค่า K/S โดยได้ภาวะที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิการย้อมผ้าไหม เท่ากับ 100 °C ได้ค่า K/S 3.8186 และอุณหภูมิการย้อมผ้าฝ้าย เท่ากับ 80 °C ได้ค่า K/S 0.4893

4.2.2 ผลของอัตราส่วนน้ำต่อผ้าในการย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุน ที่มีผลต่อเฉดสีของผ้าไหม และผ้าฝ้าย

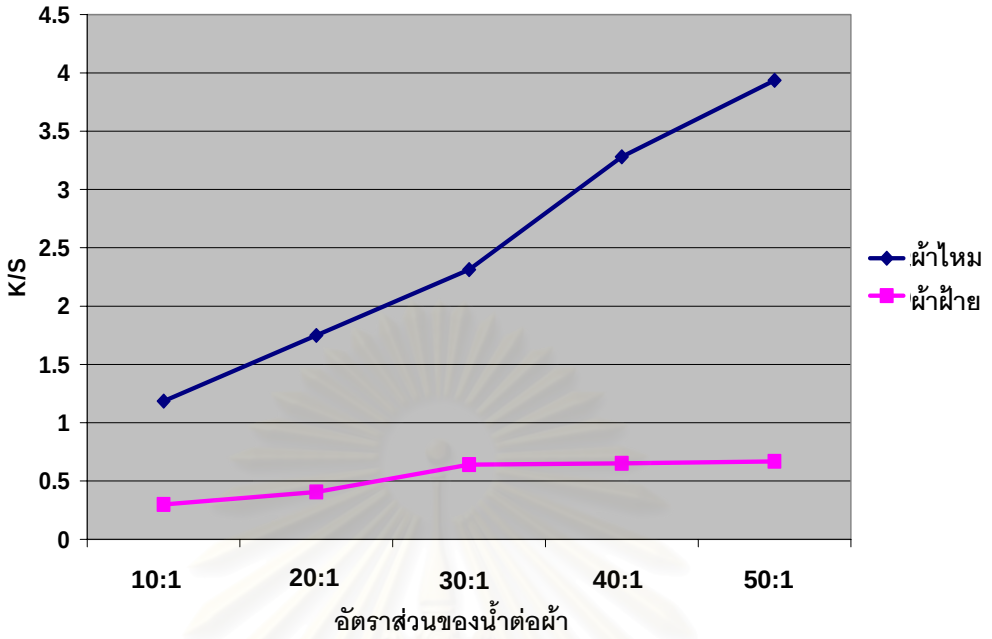
การทดลองผลของอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า ที่มีต่อการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อทำการย้อมที่อุณหภูมิการย้อม 100°C สำหรับผ้าไหม และอุณหภูมิการย้อม 80°C สำหรับผ้าฝ้าย ใช้เวลาในการย้อม 60 นาที โดยแปรค่าอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 5 ค่า คือ 10:1, 20:1, 30:1, 40:1 และ 50: 1 ผลการวัดค่า L*, a*, b* และ K/S แสดงในตาราง 4.8 และ รูป 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 ค่า L*และ K/S จากการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยน L: R ในการย้อม

ค่าสี	อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า (L:R)				
	10:1	20:1	30:1	40:1	50:1
ผ้าไหม					
L*	76.93	73.57	70.61	68.55	66.49
a*	3.5	3.97	4.66	4.91	6.17
b*	23.91	27.45	28.33	31.35	32.92
K/S	1.1850	1.7492	2.3131	3.2813	3.9367
ผ้าฝ้าย					
L*	85.29	83.3	80.25	80.07	79.95
a*	1.95	1.9	2.6	2.62	2.65
b*	13.49	15.47	20.51	20.71	22.16
K/S	0.2988	0.4054	0.6403	0.6517	0.6686

* Light source D65, Observe degree 10°และ λ =420 nm

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปลี่ยน อัตราส่วนของน้ำต่อผ้าในการย้อม จะเห็นได้ว่าค่า K/S จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนเมื่อถึง L: R = 30:1 ค่า K/S ของผ้าฝ้ายจะค่อนข้างคงที่ แต่ผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนอัตราส่วนของน้ำต่อผ้าในการย้อมจนถึง 50:1 แล้ว ค่า K/S ก็ยังมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ดังรูป



รูปที่ 4.9 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของน้ำต่อผ้าในการย้อม ที่เวลาการสกัด 60 นาที อุณหภูมิการย้อม 100 °C สำหรับผ้าไหม และ 80 °C สำหรับผ้าฝ้าย

สรุปอัตราส่วนของน้ำต่อในการย้อม มีผลต่อค่า K/S โดยได้ภาวะที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 อุณหภูมิการย้อม 100 °C สำหรับผ้าไหม ซึ่งได้ค่า K/S 3.9367 และอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30: 1 อุณหภูมิการย้อม 80 °C สำหรับผ้าฝ้าย ได้ค่า K/S 0.6403

4.2.3 ผลของเวลาในการย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุน ที่มีผลต่อเฉดสีของผ้าไหมและผ้าฝ้าย

ผลของเวลาการย้อม ที่มีต่อการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย ทำการทดลองย้อมสีที่อุณหภูมิการย้อม 100°C ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 สำหรับผ้าไหม และอุณหภูมิการย้อม 80°C ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30:1 สำหรับผ้าฝ้าย โดยแปรค่าเวลาในการย้อม 6 ค่า คือ 10, 20, 30, 40, 50 และ60 นาที ผลการวัดค่า L*, a*, b*และ K/S แสดงในตาราง 4.9 และ รูป 4.10 ตามลำดับ

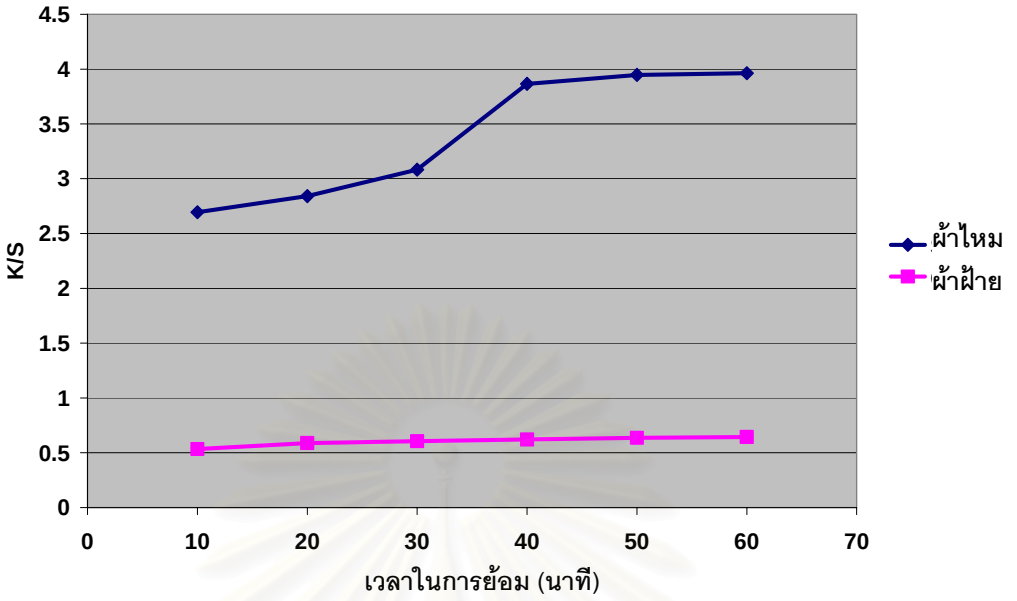
ตารางที่ 4.9 ค่า L*, a*, b*และ K/S จากการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนเวลาในการย้อม

ค่าสี	เวลาในการย้อม (นาที)					
	10	20	30	40	50	60
ผ้าไหม						
L*	72.53	70.9	70.02	68.07	68.25	66.81
a*	3.45	4.07	4.94	5.86	5.9	5.96
b*	32.12	31.82	30.16	32.04	33.37	33.32
K/S	2.6936	2.8417	3.0823	3.8649	3.9481	3.9627
ผ้าฝ้าย						
L*	86.09	83.6	82.5	82.11	82.98	82.24
a*	1.86	2.46	2.93	2.72	2.6	3.1
b*	7.32	10.27	11.24	12.01	13.28	13.12
K/S	0.5332	0.5881	0.6049	0.6211	0.6353	0.6437

* Light source D65, Observe degree 10°และ λ =420 nm

จากตารางที่ 4.9 ผลการทดลองเพิ่มเวลาในการย้อม พบว่าเวลาการย้อม 10 นาที ได้ค่า K/S ของผ้าไหม และผ้าฝ้าย เท่ากับ 2.6936 และ 0.5332 ตามลำดับ และ ค่า K/S ก็ยังเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าเท่ากับ 3.8649 สำหรับผ้าไหม และ เท่ากับ 0.6211 สำหรับผ้าฝ้าย เมื่อเวลาการย้อมเพิ่มขึ้นเป็น 40 นาที ค่า K/S ยังจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อเพิ่มเวลาในการย้อม ดังรูปที่ 4.10

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาในการย้อม อุณหภูมิการย้อม 100 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 สำหรับผ้าไหม และ อุณหภูมิการย้อม 80 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30: 1 สำหรับผ้าฝ้าย

สรุปเวลาในการย้อม มีผลต่อค่า K/S โดยได้ภาวะที่เหมาะสม คือ เวลาการสกัด 40 นาที อุณหภูมิการย้อม 100 °C และอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 สำหรับผ้าไหม ซึ่งได้ค่า K/S 3.8649 และเวลาการสกัด 40 นาที อุณหภูมิการย้อม 80 °C และอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30: 1 สำหรับผ้าฝ้าย ได้ค่า K/S 0.6211

4.2.4 ผลของการเปลี่ยน pH ในการย้อมด้วยสีย้อมจากต้นขนุน ที่มีผลต่อเฉดสีของผ้าไหม และผ้าฝ้าย

ผลของการเปลี่ยน pH ที่มีต่อการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อทำการย้อมที่อุณหภูมิการย้อม เป็น 100°C ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 สำหรับผ้าไหม และอุณหภูมิการย้อม เป็น 80°C ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30:1 สำหรับผ้าฝ้าย ที่เวลา 40 นาที โดยแปรค่า pH ของน้ำย้อม 5 ค่า คือ 4, 5, 6, 7 และ ไม่ปรับค่า pH สำหรับผ้าไหม และแปรค่า pH ของน้ำย้อม 5 ค่า คือ 7, 8, 9, 10 และ ไม่ปรับค่า pH สำหรับผ้าฝ้าย ผลการวัดค่า L*, a*, b*และ K/S แสดงในตาราง 4.10 และ รูป 4.11 ตามลำดับ

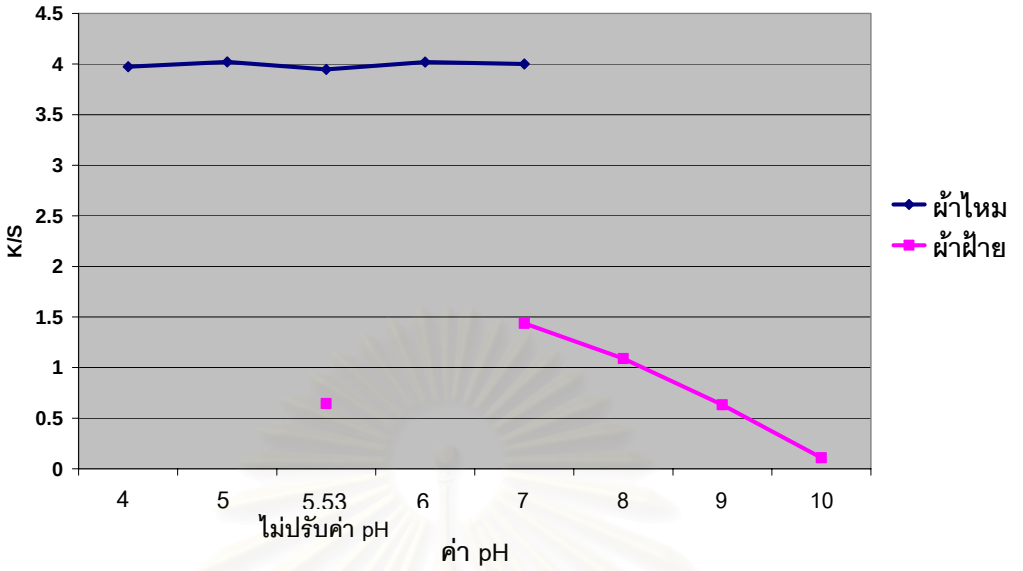
ตารางที่ 4.10 ค่า L*, a*, b*และ K/S จากการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยน pH ในการย้อม

ค่าสี	pH							
	ไม่ปรับค่า pH	4	5	6	7	8	9	10
ผ้าไหม								
L*	66.51	67.24	67.11	66.12	65.23			
a*	5.99	4.46	5.03	5.21	4.95			
b*	33.14	36.32	38.71	38.05	36.29			
K/S	3.9475	3.9729	4.0214	4.0190	4.0006			
ผ้าฝ้าย								
L*	80.66				78.46	78.19	79.95	89.74
a*	3.81				2.24	3.75	3.61	1.87
b*	13.79				24.93	20.36	14.21	-3.1
K/S	0.6464				1.4381	1.0897	0.6317	0.1091

* Light source D65, Observe degree 10°และ λ =420 nm

จากตารางที่ 4.10 เมื่อเปลี่ยนค่า pH ในการย้อม จะเห็นได้ว่าค่า pH ไม่มีผลต่อการย้อมผ้าไหม เนื่องจากสีย้อมก่อนการเปลี่ยนค่า pH มีค่าอยู่ที่ pH 5.53 และจากโครงสร้างทางเคมีของผ้าไหม พบว่าสามารถที่จะจับกับสีย้อมได้ที่ดีภาวะเป็นกรด ดังนั้นจึงเลือกที่จะไม่ปรับค่า pH ของผ้าไหม และ ค่า K/S ของผ้าฝ้ายจะสูงสุดที่ pH เท่ากับ 7 ดังรูป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลง pH ในการย้อม อุณหภูมิการย้อม 100 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 สำหรับผ้าไหม และ อุณหภูมิการย้อม 80 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30: 1 สำหรับผ้าฝ้าย เวลาในการย้อม 40 นาที

สรุปค่า pH ของน้ำย้อม มีผลต่อค่า K/S โดยได้ภาวะที่เหมาะสม คือ ย้อมโดยไม่ปรับ pH ของน้ำย้อม อุณหภูมิการย้อม 100 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50: 1 และ เวลาการสกัด 40 นาที สำหรับผ้าไหม ซึ่งได้ค่า K/S 3.9475 และ ย้อมที่ pH 7 อุณหภูมิการย้อม 80 °C อัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30: 1 และ เวลาการสกัด 40 นาที สำหรับผ้าฝ้าย ได้ค่า K/S 1.4381

4.3 ผลการศึกษาการการย้อมสีของผ้าไหม และผ้าฝ้าย ด้วยสีที่สกัดจากต้นขนุนเมื่อมีการเติมสารช่วยสีติด

ผลของการเติมสารช่วยสีติด ที่มีต่อการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อทำการย้อมที่อุณหภูมิการย้อม เป็น 100°C ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 50:1และไม่ปรับ pH ของน้ำย้อม สำหรับผ้าไหม และอุณหภูมิการย้อม เป็น 80°C ค่าอัตราส่วนของน้ำต่อผ้า 30:1 ที่ pH 7สำหรับผ้าฝ้าย ที่เวลา 40 นาที โดยแปรค่าปริมาณสารช่วยสีติด 5 ค่า คือ 0.1, 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 %ของน้ำหนักผ้า (%owf) ของสารช่วยสีติด 3 ชนิด คือ สารส้ม (Al) เหล็ก (Fe) และ ทองแดง (Cu) ผลการวัดค่า ΔL^*, Δa^*, Δb^*และ K/S แสดงในตาราง 4.11 และ รูป 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 ค่า ΔL^*, Δa^*, Δb^*และ K/S จากการย้อมผ้าไหมและผ้าฝ้าย เมื่อมีการเติมสารช่วยสีติด ปริมาณต่างๆ ในการย้อม

ปริมาณสารช่วยสีติด (%owf)	ค่าสี	การเติมสารช่วยสีติดพร้อมการย้อมบน					
		ผ้าฝ้าย			ผ้าไหม		
		Al	Fe	Cu	Al	Fe	Cu
0.1	ΔL^*	-4.35	-25.73	-8.64	-0.12	-27.77	-2.92
	Δa^*	-0.51	2.56	0.51	3.17	2.21	4.87
	Δb^*	33.38	4.35	31.16	32.67	-7.2	31.3
	K/S	5.1198	6.2327	5.4342	9.0041	15.8649	13.2437
0.5	ΔL^*	-5.84	-25.67	-9.93	-2.13	-27.59	-3.77
	Δa^*	0.18	2.33	0.59	1.64	1.51	4.23
	Δb^*	33.68	3.99	29.77	31.06	-7.5	31.25
	K/S	5.3561	6.1871	5.4538	11.0183	15.8213	13.3285
1	ΔL^*	-5.43	-26.67	-10.15	-1.77	-29.09	-3.09
	Δa^*	0.25	1.3	0.67	0.77	1.61	3.81
	Δb^*	34.55	3.53	30.87	34.05	-7.98	32.52
	K/S	5.3773	6.2008	5.4761	12.6629	15.8793	13.2579
1.5	ΔL^*	-6.86	-28.59	-9.05	-1.33	-21.81	-4
	Δa^*	0.8	-1.6	0.78	0.64	-0.86	4.76
	Δb^*	31.34	2.89	30.22	36.17	-3.54	34.11
	K/S	5.3211	6.2608	5.4464	13.0024	15.6572	13.4386
2	ΔL^*	-6.94	-26.62	-9.64	-1.01	-23.15	-2.54
	Δa^*	0.63	-2.13	0.7	2.2	-0.56	4.35
	Δb^*	27.68	1.84	30.75	32.61	-4.38	32.65
	K/S	5.1213	6.0359	5.4753	13.1301	15.5890	13.3856

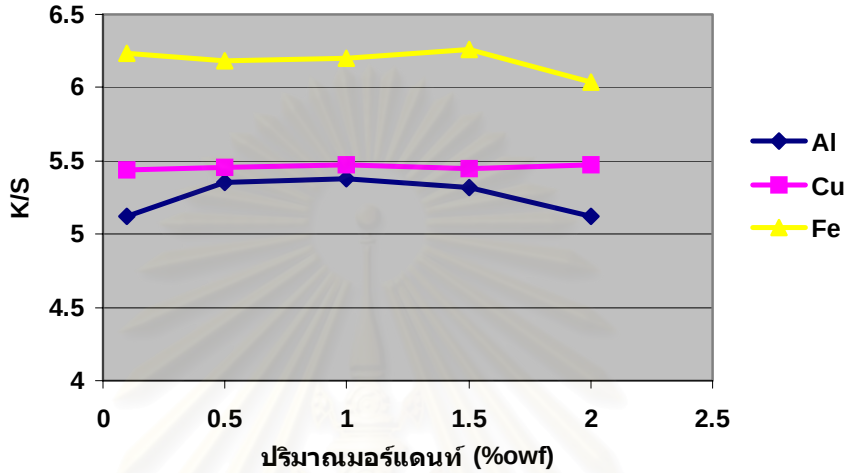
* Light source D65, Observe degree 10°และ λ =420 nm

ΔL^* เป็นค่าความมืด-ความสว่างของผ้าที่ผ่านการย้อมเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าก่อนเติมสารช่วยสีติด

Δa^* เป็นค่าเฉดสีเขียว-แดงของผ้าที่ผ่านการย้อมเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าก่อนเติมสารช่วยสีติด

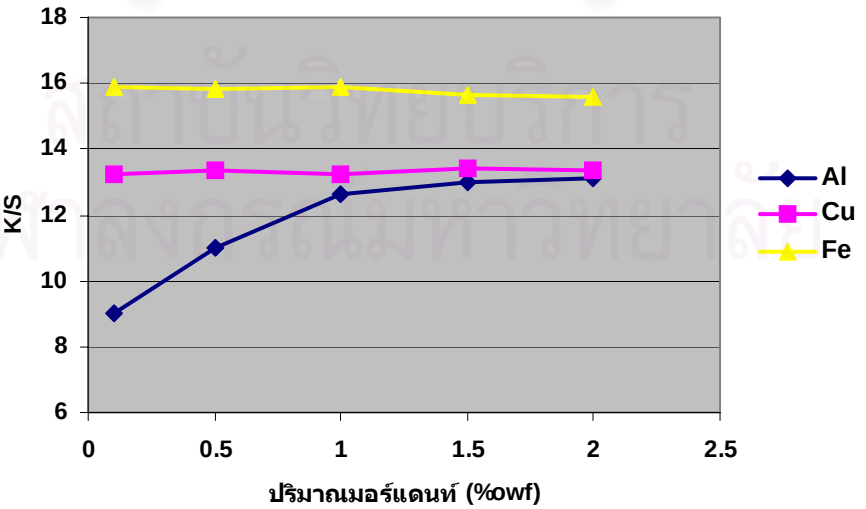
Δb^* เป็นค่าเฉดสีเหลือง-ฟ้าของผ้าที่ผ่านการย้อมเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าก่อนเติมสารช่วยสีติด

สำหรับผ้าฝ้าย แสดงดังตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.12 จะพบว่า ค่า K/S ไม่เปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเพิ่มปริมาณสารช่วยสีติดของทั้ง สารส้ม เหล็ก และ ทองแดง แต่ค่า K/S จะมากขึ้นเมื่อเปลี่ยนชนิดของสารช่วยสีติด สารส้ม ทองแดง และเหล็ก ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของเฉดสีที่เปลี่ยนไป ดังรูป



รูปที่ 4.12 ค่า K/S ของการย้อมผ้าฝ้าย เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารช่วยสีติด

สำหรับผ้าไหม จากตารางที่ 4.11 และ รูปที่ 4.13 จะพบว่า ค่า K/S จะคงที่ เมื่อเปลี่ยนแปลงปริมาณสารช่วยสีติดของทั้ง เหล็ก และ ทองแดง โดยมีค่าอยู่ที่ 15.8649 และ 13.2437 แต่ถ้าใช้ สารส้ม เป็นสารช่วยสีติด ค่า K/S จะเพิ่มตามปริมาณสารส้มที่เพิ่มจนถึง 1.0 %owf แล้วคงที่และ ค่า K/S จะมากขึ้นเมื่อเปลี่ยนชนิดของสารช่วยสีติด สารส้ม ทองแดง และเหล็ก ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับลักษณะของเฉดสีที่เปลี่ยนไป ดังรูป



รูปที่ 4.13 ค่า K/S ของการย้อมผ้าไหม เมื่อเปลี่ยนแปลงชนิดและปริมาณสารช่วยสีติด

ผ้าฝ้ายและผ้าไหมที่ผ่านกระบวนการฟอกสีแล้ว พร้อมที่จะทำการย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดได้จากต้นขนุน

รูปที่ 4.14 ผ้าฝ้ายก่อนย้อม

รูปที่ 4.15 ผ้าไหมก่อนย้อม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลจากการนำผ้าจากรูปที่ 4.14 และ 4.15 มาทำการย้อมด้วยภาวะที่ดีที่สุด โดยผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R= 30:1 และ pH7 ได้ค่า K/S เท่ากับ 1.4381 และ ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R= 50:1 และ ไม่ปรับ pH ได้ค่า K/S 3.9475

รูปที่ 4.16 ผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R = 30:1 และ pH7

รูปที่ 4.17 ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R = 50:1 และ ไม่ปรับ pH

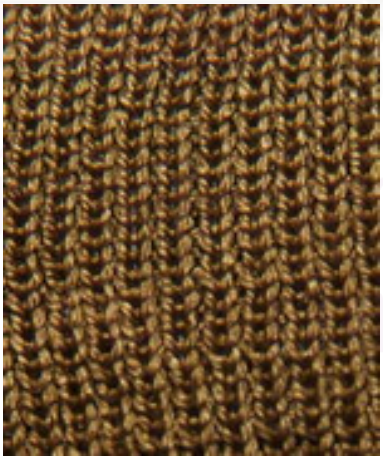
ผลจากการนำผ้าจากรูปที่ 4.14 และ 4.15 มาทำการย้อมด้วยภาวะที่ดีที่สุด โดยผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R = 30:1 pH7 และเติมสารช่วยสีติด สารส้ม 0.1 %owf ได้ค่า K/S เท่ากับ 5.1198 และ ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R = 50:1 ไม่ปรับ pH และเติมสารช่วยสีติด สารส้ม 1.0 %owf ได้ค่า K/S 12.6629

รูปที่ 4.18 ผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R = 30:1 และ pH 7 เติมสารช่วยสีติดสารส้ม 0.1 %owf

รูปที่ 4.19 ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R = 50:1 และ ไม่ปรับ pH เติมสารช่วยสีติดสารส้ม 1.0 %owf

ผลจากการนำผ้าจากรูปที่ 4.14 และ 4.15 มาทำการย้อมด้วยภาวะที่ดีที่สุด โดยผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R= 30:1 pH7 และเติมสารช่วยสีติดเหล็ก 0.1 %owf ได้ค่า K/S เท่ากับ 6.2327 และ ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R= 50:1 ไม่ปรับ pH และเติมสารช่วยสีติดเหล็ก 0.1 %owf ได้ค่า K/S 15.8649

รูปที่ 4.20 ผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R= 30:1 และ pH 7 เติมสารช่วยสีติดเหล็ก 0.1 %owf



รูปที่ 4.21 ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R= 50:1 และ ไม่ปรับ pH เติมสารช่วยสีติดเหล็ก 0.1 %owf

ผลจากการนำผ้าจากรูปที่ 4.14 และ 4.15 มาทำการย้อมด้วยภาวะที่ดีที่สุด โดยผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R= 30:1 pH7 และเติมสารช่วยสีติดทองแดง0.1 %owf ได้ค่า K/S เท่ากับ 5.4342และ ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R= 50:1 ไม่ปรับ pH และเติมสารช่วยสีติดทองแดง 0.1 %owf ได้ค่า K/S 13.2437

รูปที่ 4.22 ผ้าฝ้ายย้อมที่ 80°C เวลา 40 นาที L: R= 30:1 และ pH 7 เติมสารช่วยสีติดทองแดง 0.1 %owf

รูปที่ 4.23 ผ้าไหมย้อมที่ 100°C เวลา 40 นาที L: R= 50:1 และ ไม่ปรับ pH เติมสารช่วยสีติดทองแดง 0.1 %owf

4.4 ผลการทดสอบสมบัติความคงทนของผ้า ที่ได้จากการย้อมสีเหลืองจากไม้ขนุนและการวิเคราะห์

จากการทดลองทดสอบความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และความคงทนของสีต่อการขัดถู บนผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสีที่สกัดจากต้นขนุนได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.12, 4.13 และ 4.14

4.4.1 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

จากการทดสอบผ้าไหม และผ้าฝ้าย ที่ผ่านการย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน เมื่อเติมสารช่วยสีติดชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง Fade-Ometer พบว่าผ้าไหม มีสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ 4-5 แต่ยกเว้นเมื่อเติมสารส้มจะอยู่ในระดับ 4 ส่วนผ้าฝ้ายจะมีความคงทนของสีต่อแสงน้อยกว่าผ้าไหม ซึ่งจะเฉลี่ยอยู่ในระดับ 3-4 แต่เมื่อเติมสารส้มเป็นสารช่วยสีติดจะอยู่ในระดับ 3 ดังแสดงในตาราง 4.12

ตารางที่ 4.12 ผลของความคงทนของสีต่อแสง

กระบวนการย้อม	การเปลี่ยนแปลงสี
1. ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน	
1.1 ไม่ใส่สารช่วยสีติด	3-4
1.2 สารส้ม	3
1.3 เหล็ก	3-4
1.4 ทองแดง	3-4
2. ผ้าไหมที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน	
2.1 ไม่ใส่สารช่วยสีติด	4-5
2.2 สารส้ม	4
2.3 เหล็ก	4-5
2.4 ทองแดง	4-5

* สำหรับการเปลี่ยนแปลงของสี 5 หมายถึง ดีมาก (ไม่มีการเปลี่ยนแปลง) และ 1 หมายถึง แย่มาก (สีเปลี่ยนแปลงไปมาก)

การทดลองเติมสารช่วยสีติด ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ สารส้ม เหล็ก และทองแดง พร้อมการย้อมสีที่สกัดจากต้นขนุนบนผ้าไหม แสดงค่าสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับดี ส่วนผ้าฝ้ายมีค่าสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ พอใช้

4.4.2 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง

จากการทดสอบผ้าไหม และผ้าฝ้าย ที่ผ่านการย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน เมื่อเติมสารช่วยสีติดชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง Launder -Ometer พบว่าผ้าไหมได้ค่าความเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับ 4 แต่ยกเว้นเมื่อเติมทองแดงจะอยู่ในระดับ 3-4 และค่าการตกติดสีบนผ้า multi fiber ทั้ง 6 ขนิด อยู่ในระดับ 4-5 ส่วนผ้าฝ้าย ได้ค่าความเปลี่ยนแปลงของสีอยู่ในระดับ 3-4 แต่ยกเว้นเมื่อเติมทองแดงจะอยู่ในระดับ 4 และค่าการตกติดสีบนผ้า multi fiber ทั้ง 6 ขนิด อยู่ในระดับ 4-5 เช่นกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้าง

กระบวนการย้อม	การเปลี่ยนแปลงสี	การตกติดสีบนผ้า					
		Acetate	Cotton	Nylon	Polyester	Acrylic	Wool
1. ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน							
1.1 ไม่ใส่สารช่วยสีติด	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
1.2 สารส้ม	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
1.3 เหล็ก	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
1.4 ทองแดง	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
2. ผ้าไหมที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน							
2.1 ไม่ใส่สารช่วยสีติด	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
2.2 สารส้ม	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
2.3 เหล็ก	4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5
2.4 ทองแดง	3-4	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5

* สำหรับการตกติดสี 5 หมายถึง ดีมาก (ไม่มีการตกติดสี) และ 1 หมายถึง แย่มาก (มีการตกติดสีมาก)

* สำหรับการเปลี่ยนแปลงของสี 5 หมายถึง ดีมาก (ไม่มีการเปลี่ยนแปลง) และ 1 หมายถึง แย่มาก (สีเปลี่ยนแปลงไปมาก)

การทดลองเติมสารช่วยสีติด ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ สารส้ม เหล็ก และทองแดง พร้อมการย้อมสีที่สกัดจากต้นขนุนบนผ้าไหม แสดงค่าสมบัติความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับดี ส่วนผ้าฝ้ายมีค่าสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ พอใช้

4.4.3 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถู

จากการทดสอบผ้าไหม และผ้าฝ้าย ที่ผ่านการย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน เมื่อเติมสารช่วยสีติดชนิดต่างๆ ด้วยเครื่อง Crock meter จะพบว่าผ้าไหมได้สมบัติความคงทนของสีต่อการขัดถูบนผ้าแห้ง ทั้ง 2 ชนิด อยู่ในระดับ 4 ส่วนการขัดถูบนผ้าเปียกอยู่ในระดับ 3-4 และอยู่ในระดับ 4 เมื่อไม่เติมสารช่วยสีติดใดๆ ส่วนผ้าฝ้ายได้สมบัติความคงทนของสีต่อการขัดถูบนผ้าแห้ง ทั้ง 2 ด้าน อยู่ในระดับ 3-4 ส่วนการขัดถูบนผ้าเปียกอยู่ในระดับ 3 แต่เมื่อไม่เติมสารช่วยสีติดใดๆ จะอยู่ในระดับ 4 บนผ้าแห้ง และระดับ 3-4 บนผ้าเปียก ดังแสดงในตาราง 4.12

ตารางที่ 4.14 ผลของความคงทนของสีต่อการขัดถู

กระบวนการย้อม	การตกติดสีบน			
	Warp direction		Weft direction	
	แห้ง	เปียก	แห้ง	เปียก
1. ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน				
1.1 ไม่ใส่สารช่วยสีติด	4	4	4	4
1.2 สารส้ม	4	3-4	4	3-4
1.3 เหล็ก	4	3-4	4	3-4
1.4 ทองแดง	4	3-4	4	3-4
2. ผ้าไหมที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากต้นขนุน				
2.1 ไม่ใส่สารช่วยสีติด	4	3-4	4	3-4
2.2 สารส้ม	3-4	3	3-4	3
2.3 เหล็ก	3-4	3	3-4	3
2.4 ทองแดง	3-4	3	3-4	3

* 5 หมายถึง ดีมาก (ไม่มีการตกติดสี) และ 1 หมายถึง แย่มาก (มีการตกติดสีมาก)

การใช้สารช่วยสีติด ที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ สารส้ม เหล็ก และทองแดง พร้อมการย้อมสีที่สกัดจากต้นขนุนบนผ้าไหม ได้ค่าสมบัติความคงทนของสีต่อการขัดถูอยู่ในระดับพอใช้ ส่วนผ้าฝ้ายมีค่าสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ ดี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการหาภาวะที่เหมาะสม ในการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน และส่วนที่สองเป็นการหาภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายและผ้าไหมจากน้ำสีที่สกัดได้ รวมทั้งทำการศึกษาผลของสารช่วยสีติดซึ่งภาวะต่าง ๆ นำมาสรุปได้ดังนี้

1. ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีเหลืองจากต้นขนุน

   - อุณหภูมิการสกัด 90 °C
   - เวลาในการ 150 นาที
   - อัตราส่วนระหว่างต้นขนุนแห้งต่อน้ำ 1:40

2. ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าจากสารสกัดสีเหลืองจากต้นขนุน

   2.1 ผ้าไหม

   - อุณหภูมิ 100 °C
   - เวลา 40 นาที
   - อัตราส่วนระหว่างน้ำสีต่อผ้า 50: 1
   - ไม่มีการปรับ pH

   2.2 ผ้าฝ้าย

   - อุณหภูมิ 80 °C
   - เวลา 40 นาที
   - อัตราส่วนระหว่างน้ำสีต่อผ้า 30:1
   - pH 7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ผลของสารช่วยสีติด

การใช้สารส้มเป็นสารช่วยสีติดทำให้สีของผ้าที่ย้อมจะมีสีเข้มมากขึ้น และความสว่างสดใสมากขึ้น ในขณะที่เมื่อใช้เหล็กเป็นสารช่วยสีติดจะทำให้สีผ้าที่ย้อมได้มีเฉดสีออกเป็นสีน้ำตาล-กากีมากขึ้น และความสว่างสดใสลดลง ส่วนผ้าที่ใช้ทองแดงเป็นสารช่วยสีติดจะทำให้สีผ้าที่ย้อมได้จะทำให้ผ้าที่ได้มีสีออกเฉดแดงมากขึ้น ซึ่งเหมือนกันทั้งผ้าไหม และผ้าฝ้าย และปริมาณการเติมสารช่วยสีติดที่เหมาะสม คือ 0.1 %owf ของสารส้ม เหล็ก และ ทองแดง บนผ้าฝ้าย แต่สำหรับผ้าไหม คือ 0.1 %owf ของเหล็ก กับ ทองแดง แต่ สารส้มคือ 1.0 %owf

4. ผลของการทดสอบสมบัติความคงทนของสี

4.1 ความคงทนของสีต่อแสง

การใช้สารช่วยสีติดที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ สารส้ม เหล็ก และทองแดง พร้อมการย้อมสีที่สกัดจากต้นขนุนบนผ้าไหม จะได้ค่าสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับดี ส่วนผ้าฝ้ายมีค่าสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ พอใช้

4.2 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง

การใช้สารช่วยสีติดที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ สารส้ม เหล็ก และทองแดง พร้อมการย้อมสีที่สกัดจากต้นขนุนบนผ้าไหม จะได้ค่าสมบัติความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับดี ส่วนผ้าฝ้ายมีค่าสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ พอใช้ แต่จะสังเกตได้ว่า การเติมสารช่วยสีติดทองแดง จะพบว่าจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าไหมมากกว่าการเติมสารช่วยสีติดชนิดอื่น และจะทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าฝ้ายน้อยกว่าการเติมสารช่วยสีติดชนิดอื่น

4.3 ความคงทนของสีต่อการขัดถู

การใช้สารช่วยสีติดที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ สารส้ม เหล็ก และทองแดง พร้อมการย้อมสีที่สกัดจากต้นขนุนบนผ้าไหม จะได้ค่าสมบัติความคงทนของสีต่อการขัดถูอยู่ในระดับพอใช้ ส่วนผ้าฝ้ายมีค่าสมบัติความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับ ดี

สรุป สำหรับการสกัดสีย้อมจากต้นขนุน ได้ภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือ อุณหภูมิ 90 °C เวลา 150 นาที อัตราส่วนของต้นขนุนแห้งต่อน้ำเป็น 1:40 ซึ่งได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม เท่ากับ 10.67 และ ได้ค่าเปอร์เซ็นต์การสกัดเมื่อเทียบกับค่าที่ทำการรีฟลักซ์ เท่ากับ 72 %

สำหรับการย้อมผ้าไหม พบว่า การย้อมที่อุณหภูมิ 100 °C เวลา 40 นาที อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อผ้า 50: 1 ไม่ต้องปรับค่าความเป็นกรดเบสของน้ำสีที่ใช้ย้อม ทำให้ได้ค่าความเข้มสีบนผ้า (K/S) เหมาะสมที่สุด คือ 3.9475 ในการย้อมจะให้ผ้าที่ได้สีเหลืองหม่น แต่ เมื่อเติมสารส้มสารช่วยสีติด จะทำให้ได้สีเหลืองสดใส ทองแดงจะช่วยเปลี่ยนเฉดสีให้มีลักษณะสีเหลืองอมแดง และ เมื่อเติมเหล็กเป็นสารช่วยติดสีจะทำให้ผ้ามีความเข้มมากที่สุด ซึ่งจะมีสีน้ำตาล

สำหรับการย้อมผ้าฝ้าย พบว่า การย้อมที่อุณหภูมิ 80 °C เวลา 40 นาที อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อผ้า 30: 1 ความเป็นกรดเบสเท่ากับ 7 ของน้ำสีที่ใช้ย้อม ทำให้ได้ค่าความเข้มสีบนผ้า (K/S) เหมาะสมที่สุด คือ 1.4381 ในการย้อมจะให้ผ้าที่ได้สีเหลืองไข่ไก่ แต่ เมื่อเติมสารส้มสารช่วยสีติด จะทำให้ได้สีเหลืองสดใส ทองแดงจะช่วยเปลี่ยนเฉดสีให้มีลักษณะสีเหลืองอมแดง และ เมื่อเติมเหล็กเป็นสารช่วยติดสีจะทำให้ผ้ามีความเข้มมากที่สุด ซึ่งจะมีสีน้ำตาล-กากี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. Duff, D.G. and Sinclair, R.S. Giles's Laboratory Course in Dyeing. 4th ed. West Yorkshire: Society of Dyers and Colorists, (1989): 72-75, 95-98.
2. McRae, B.A. Colors from Nature: Growing, Collection & Using Natural Dyes. Storey communications, (1993): 5-6.
3. Giles, C.H. A Laboratory Course in Dyeing. 2nd ed. Yorkshire: Society of Dye and Colorists, (1971): 15-18, 27-28, 42-45.
4. อนันต์เสวก เห่วซึ่งเจริญ และ คณะ. การพัฒนากระบวนการย้อมสีธรรมชาติสำหรับอุตสาหกรรมครอบครัว. ชุดโครงการสีย้อมธรรมชาติ. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยเชียงใหม่, (2543): 52-125.
5. Gordon, P.F. and Gregory, P. Organic Chemistry in Colour. New York: Springer Verlag, (1983):1-5.
6. สุรีย์ ฟูตระกูล และคณะ การพัฒนาการย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือบน. ชุดโครงการสีย้อมธรรมชาติ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยเชียงใหม่, (2543): 20-102.
7. วนิดา สุบรรณนี, สมควร ศวิตชาต และประเชิญ สร้อยทองคำ. สีธรรมชาติจากพืชและสัตว์ในประเทศไทย. ฝ่ายวิจัยของป่า, กรมป่าไม้, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, (2530): 1-35.
8. Robertson, S.M. Dye from Plants. New York: Van Nostrand Reinhold, (1973): 24-26.
9. Marja, M. Natural Dyeing in Thailand. Bangkok: White Lotus, (1993): 129-169.
10. พะยอม ตันติวัฒน์ สีย้อมธรรมชาติ วารสารวิทยาศาสตร์ 35(11) (2524): 759-582.
11. MacLaren, K. The development of CIE 1976 (L*a*b*) uniform color-space and color-difference formula. Journal of The Society of Dyers and Colourists 92. (1976): 338-341.
12. Collier, B.J. and Epps, H.H. Textile Testing and Analysis. 6th ed New Jercey Prentice Hall,(1999): 209-210.
13. Hollen, N.; Saddler, J. and Awna, L. Textile. 5th ed. New York: Mcmillan Publisher, (1979): 33-38.

14. American Association of Textile Chemists and Colorists, Technical Manual of the American Association of Textile Chemists and Colorists. (2002): 50-53.

15. Carty, P. Fiber Properties. 3rd ed. Newcastle: Pentaxion, (1996):13-21.

16. Thomas, V. The Physical Chemistry of Dyeing. London: Imperial Chemical Industries, (1950): 53-137.

17. Ushida, S. Method to dye purple from fresh leaves of *Polygonum tinctorium*. Journal for amateur dyers written in Japanese, (1999): 64-67.

18. เจริญศรี เบญจมาลา. การสกัดสีจากเปลือกมะพร้าวอ่อน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2537).

19. อรุณฉาย สายอ้าย. การสกัดและการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของรงควัตถุสีแดงจากครั่ง. รายงานปัญหาพิเศษของนักศึกษาชั้นปีที่ 4. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, (2541): 40.

20. Gulrajani, M.L.; Gupta D.B.; Kumari, A. and Jain, M. Dyeing with red natural dyes. Indian textile J.103 (8) (1993): 90-96.

21. สุทธิลา สวนาพร. ผลของสารช่วยติดจากธรรมชาติในการย้อมไหมด้วยขมิ้นชัน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. (2535): 53-58.

22. Hohn and Margaret, C. Dye Plants and Dyeing. London: The Herbert Press, 1994: 52-53.

23. Bechtold, T.; Turcanu, A.; Ganglberger, E. and Geissler, S. Natural dyes in modern textile dyehouses. J.Cleaner Production 11, (2003): 499–509.

24. Allen, N.S.; Thomas, J.L.; Edge, M.; Follows, G.W. and Heinz, R. Influence of Dyeing Parameters and Fibre Setting on the Light fastness Properties of Acid Dyed Nylon 6,6 Fibres , Dyes and Pigments. (1997):169-80.

25. Mashara, M.K.; Reda, M.; El-Shishtawy.; Yussef, B.M. and Mashaly, H. Dyeing of wool with lac as a natural dye. (2005):103-110.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การหาค่าเปอร์เซ็นต์การสกัด

1. เครื่องมือ และ อุปกรณ์

1.1 ขวดก้นกลมสามคอ ขนาด 250 มิลลิลิตร

1.2 รีฟลักซ์คอนเดนเซอร์ (Reflux condenser) ยาว 30 เซนติเมตร

1.3 ใบพัดกวนพร้อมมอร์เตอร์

1.4 หม้ออังไอน้ำ (Heating mantle)

2. วิธีทดลอง

2.1 ชั่งไม้ขนุนที่ผ่านการบดย่อยแล้ว 3 กรัม ใส่ขวดก้นกลมขนาด 250 มิลลิลิตร

2.2 เติมน้ำกลั่น 120 มิลลิลิตร โดยใช้กระบอกตวง

2.3 รีฟลักซ์เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.4 นำสารละลายที่สกัดได้มากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 41

2.5 ปิเปตสารละลายที่สกัดได้ ปริมาตร 100 cm^3

2.6 นำมาระเหยด้วย เครื่อง ระเหยแบบหมุน จนหนืด

2.7 นำไปอบต่อในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 ^{o}C นาน 2 ชั่วโมง แล้วเก็บให้เย็นในเดซิเคเตอร์

2.8 ชั่งให้ทราบน้ำหนักที่แน่นอน

2.9 คำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ของแข็งโดยรวม

3. การคำนวณ

$$\% \text{ total solid} = \frac{m_{TS}}{m_0} \times \frac{V_T}{V} \times 100$$

m_0 = น้ำหนักของวัตถุดิบตัวอย่าง (g)

m_{TS} = น้ำหนักสารแห้ง (g)

V_T = ปริมาตรของสารละลายทั้งหมด (cm^3)

V = ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการทดลอง (cm^3)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ประเภทของผลิตภัณฑ์

มาตรฐาน ecko-tex standard 100 จัดแบ่งมาตรฐานออกเป็น 4 กลุ่มคือ

- Product Class I : Products for Babys ผลิตภัณฑ์สำหรับเด็กอ่อน (0 – 36 เดือน) ทุกรายการ ยกเว้นเสื้อผ้าที่ทำจากหนัง
- Product Class II : Products with direct contact to skin เช่น เสื้อเชิ้ต เสื้อสตรี ชุดชั้นใน เป็นต้น
- Product Class III : Products without direct cotact to skin เช่น lining stuffing เป็นต้น
- Product Class IV : Decoration material เช่น ผ้าปูโต๊ะ ผ้าบุเฟอร์นิเจอร์ ผ้าม่าน พรม เป็นต้น

ข้อกำหนด

Product Class	I Baby	II In direct contact with skin	III With no direct contact with skin	IV Decoration material
pH value [1]				
	4.0 - 7.5	4.0 - 7.5	4.0 - 9.0	4.0 - 9.0
Formaldehyde				
Law 112	n.d. [2]	75	300	300
Extractable heavy metals				
Sb (Antimony)	30.0	30.0	30.0	
As (Arsenic) [3]	0.2	1.0	1.0	1.0
Pb (Lead) [4]	0.2	1.0	1.0 [5]	1.0 [5]
Cd (Cadmium)	0.1	0.1	0.1 [5]	0.1 [5]
Cr (Chromium)	1.0	2.0	2.0	2.0
Cr(VI)	under detection limit [6]			
Co (Cobalt)	1.0	4.0	4.0	4.0

Cu (Copper)	25.0 [5]	50.0 [5]	50.0 [5]	50.0 [5]
Ni (Nickel) [7]	1.0	4.0	4.0	4.0
Hg (Mercury) [8]	0.02	0.02	0.02	0.02
Pesticides [ppm] [8]				
Sum (incl. PCP/TeCP) [9]	0.5	1.0	1.0	1.0
Chlorinated phenols [ppm]				
Pentachlorphenol (PCP)	0.05	0.5	0.5	0.5
2,3,5,6-Tetrachlorphenol (TeCP)	0.05	0.5	0.5	0.5
PVC plasticizers (phthalates) [%]				
DINP, DNOP, DEHP, DIDP, BBP, DBP Sum [9]	0.1			
Organic tin compounds [ppm]				
TBT	0.5	1.0	1.0	1.0
DBT	1.0			
Other chemical residues [ppm]				
Orthophenylphenol (OPP)	50.0	100.0	100.0	100.0
Dyes / Colorants				
cleavable arylamines [9]	not used [6]			
carcinogens [9]	not used			
allergens [9]	not used [6]			
Chlorinated benzenes and toluenes [ppm] [9]				
	1.0	1.0	1.0	1.0
Biological active products				
	none [10]			
Flame retardant products [9]				
general	none [10]			
PBB, TRIS, TEPA	not used			
Colour fastness (staining)				
to water	3	3	3	3
to acidic perspiration	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4

to alkaline perspiration	3 - 4	3 - 4	3 - 4	3 - 4
to rubbing, dry [11, 12]	4	4	4	4
to saliva and perspiration	resistant			
Emission of volatiles [mg/m^3] [13]				
Formaldehyde	0.1	0.1	0.1	0.1
Toluol	0.1	0.1	0.1	0.1
Styrol	0.005	0.005	0.005	0.005
Vinylcyclohexen	0.002	0.002	0.002	0.002
4-Phenylcyclohexen	0.03	0.03	0.03	0.03
Butadien	0.002	0.002	0.002	0.002
Vinylchlorid	0.002	0.002	0.002	0.002
Aromatic hydrocarbons	0.3	0.3	0.3	0.3
Organic volatiles	0.5	0.5	0.5	0.5
Determination of odours				
general	no abnormal odour [14]			
SNV 195 651[13] (modified)	4			4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

วิธีทดสอบสิ่งทอ

ความคงทนของสีต่อการซักล้าง

1. **ขอบข่าย**

กำหนดวิธีทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง และใช้ได้กับสิ่งทอทุกลักษณะ

2. **การทดสอบ**

2.1 การทดสอบ แบ่งออกเป็น 5 วิธี ขึ้นอยู่กับ ระดับของอุณหภูมิ ระยะเวลาและความเข้มข้นของน้ำสบู่ที่ใช้ในการซักฟอก

2.2 เครื่องมือ

2.2.1 เครื่องซัก ประกอบด้วยอ่างซึ่งมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิคงที่ มีแกนหมุนด้วยความเร็ว 40 $\pm$ 2 รอบต่อนาที สำหรับยึดถ้วยซัก ซึ่งทำด้วยแก้วหรือเหล็กกล้า ขนาดความจุ 250 มิลลิลิตร

2.2.2 ลูกเหล็กกลมทำด้วยเหล็กไม่เป็นสนิม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร

2.2.3 ผ้าขาว 2 ชิ้น ขนาด 4 x 10 cm ชิ้นที่ 1 เป็นผ้าที่มีเส้นใยชนิดเดียวกับตัวอย่าง ถ้าตัวอย่างเป็นเส้นใยผสม ให้ใช้ผ้าที่มีเส้นใยชนิดเดียวกันกับเส้นใยที่เป็นส่วนผสมมากที่สุด ชิ้นที่ 2 ให้เป็นผ้าที่ทำจากเส้นใยตามที่กำหนดให้ในตารางผนวกที่ 1 หรือเส้นใยอย่างอื่นแล้วแต่จะตกลงกัน

2.2.4 เกร์สเกล สำหรับอ่านค่าการเปลี่ยนแปลงสีและการเปื้อนสีตามมาตรฐานวิธีทดสอบสิ่งทอการใช้เกรย์สเกลมาตรฐาน

ตารางผนวกที่ 1 ชนิดของผ้าขาว

วิธีทดสอบ	ผ้าขาวชิ้นที่หนึ่ง	ผ้าขาวชิ้นที่สอง
วิธีที่ 1, 2 และ 3	ฝ้าย	ขนสัตว์
	ขนสัตว์	ฝ้าย
	ไหม	ฝ้าย
	ลินิน	ขนสัตว์
	วิสโคสเรยอน(Viscose Rayon)	ขนสัตว์
	เซลลูโลสอะซิเตต(Cellulose Acetate)	วิสโคสเรยอน
	เส้นใยพอลีอะมีด(Polyamide Fibre)	ขนสัตว์หรือวิสโคสเรยอน
	เส้นใยพอลีเอสเทอร์(Polyester Fibre)	ขนสัตว์หรือฝ้าย
	เส้นใยอะคริลิค(Acrylic Fibre)	ขนสัตว์หรือฝ้าย
วิธีที่ 4 และ 5	เซลลูโลสอะซิเตต	วิสโคสเรยอน
	ฝ้าย	วิสโคสเรยอน
	ลินิน	วิสโคสเรยอน
	เส้นใยอะคริลิค	วิสโคสเรยอนหรือฝ้าย
	เส้นใยพอลีเอสเทอร์	วิสโคสเรยอนหรือฝ้าย
	วิสโคสเรยอน	ฝ้าย

หมายเหตุ * สำหรับวิธีที่ 5 หมายถึง เซลลูโลสไตรอะซิเตต

2.3 สารเคมีที่ใช้

2.3.1 สบู่ ซึ่งมีความชื้นไม่มากกว่า 5% และไม่มีสารจำพวกเรืองแสง (Fluorescent Brightening) ปนอยู่ กับมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

- ด่างอิสระ (Free alkaline) คำนวณเป็นปริมาณของโซเดียมไบคาร์บอเนต ไม่เกิน 0.3 %
- ด่างคำนวณเป็นปริมาณของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ไม่เกิน 0.1 %
- ไขมันทั้งหมด (Total Fatty Matter) ไม่น้อยกว่า 85 %
- อุณหภูมิแข็งตัว (Tetre) ของกรดไขมันซึ่งได้จากสบู่ไม่สูงกว่า 30 ^{0}C

- ค่าไอโอดีน ไม่เกิน 50 %

2.3.2 โซเดียมคาร์บอเนต ชนิดแอนไฮดรัส

2.3.3 น้ำสบู่ ให้ใช้ตามที่กำหนดในตารางผนวกที่ 2

2.4 <u>การเตรียมชิ้นงานทดสอบ</u>

2.4.1 ตัวอย่างที่เป็นผ้า ให้ตัดชิ้นงานทดสอบขนาด 4 ซม. * 10 ซม. ใช้ผ้าขาว 2 ชิ้นตามข้อ 2.2.3 ปิดด้านหน้าด้านหลังของชิ้นงานทดสอบ แล้วเย็บริมทั้งสี่ด้าน

2.4.2 ตัวอย่างที่เป็นเส้นด้าย ให้ถักเป็นผืนหรือวางขนานกันตามความยาว ใช้ผ้าขาว 2 ชิ้นตามข้อ 2.2.3 น้ำหนักของเส้นด้านที่ใช้ปริมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักรวมของผ้าขาวทั้งสองชิ้น แล้วเย็บริมทั้งสี่ด้าน

2.4.3 ตัวอย่างที่เป็นเส้นด้าย ให้เตรียมน้ำหนักของชิ้นงานทดสอบหนักประมาณครึ่งหนึ่งของน้ำหนักรวมของผ้าขาวทั้งสองชิ้นรวมกัน สางเส้นใยวางรวมกันให้เป็นแผ่นขนาด 4 ซม. * 10 ซม. ใช้ผ้าขาว 2 ชิ้นตามข้อ 2.2.3 ปิดด้านหน้าด้านหลัง แล้วเย็บริมทั้งสี่ด้าน

2.5 <u>การทดสอบ</u>

2.5.1 วางชิ้นงานทดสอบลงในถ้วยซัก เติมน้ำสบู่ตามข้อ 2.3.3 กำหนดอัตราส่วนระหว่างน้ำสบู่กับผ้าเป็น 50:1 ของน้ำหนัก ให้ซักที่อุณหภูมิ และเวลาตามที่กำหนดในตารางผนวกที่ 2

2.5.2 สำหรับการทดสอบตามวิธีที่ 4 และ 5 ให้มีลูกเหล็กกลมในถ้วยซัก 10 ลูก

2.5.3. เมื่อซักเสร็จแล้วให้นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องซัก ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำซึ่งไหลตลอดเวลาเป็นเวลา 10 นาที บีบน้ำออกจากชิ้นทดสอบเลาะด้ายที่เย็บออกสามด้าน โดยเว้นด้านสั้นไว้ด้านหนึ่ง ผึ่งชิ้นทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 ^{0}C โดยกางผ้าสามชิ้นออกจากกัน

2.5.4 หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบ และค่าการเปื้อนสีของผ้าขาวโดยใช้เกรย์สเกล

ตารางผนวกที่ 2 สารเคมี อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการทดสอบ (ข้อ 2.3.3 และข้อ2.5)

วิธีทดสอบ	สารเคมี	อุณหภูมิ (^{0}C)	เวลา
วิธีที่ 1	สบู่ 5 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร	40+2	30 นาที
วิธีที่ 2	สบู่ 5 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร	50+2	45 นาที
วิธีที่ 3	สบู่ 5 กรัม ผสมโซเดียมคาร์บอเนต 2 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร	60+2	30 นาที
วิธีที่ 4	สบู่ 5 กรัม ผสมโซเดียมคาร์บอเนต 2 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร	95+2	30 นาที
วิธีที่ 5	สบู่ 5 กรัม ผสมโซเดียมคาร์บอเนต 2 กรัม ต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร	95+2	4 ชม.

2.6 การรายงานผล

ให้รายงานค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบ และค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค.

วิธีทดสอบสิ่งทอ

การใช้เกรย์สเกล

ตอนที่ 1 เกรย์สเกล สำหรับประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงสี

1. ขอบข่าย

มาตรฐานนี้ กำหนดการใช้เกรย์สเกล สำหรับการประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงของสิ่งทอในการทดสอบอัตราการคงทนของสี

2. บทนิยาม

หน่วย N.B.S (National Bureau of Standard Unit) หมายถึงหน่วยบอกความแตกต่างของสีหนึ่งหน่วย N.B.S มีขนาดประมาณ 5 เท่าของความแตกต่างที่น้อยที่สุดของสีที่สามารถจะสำเหนียกได้ภายใต้ภาวะการทดสอบที่ดีที่สุด มีค่าโดยประมาณเท่ากับ 0.1 ของชั้น มันเซลล์ แวลู (Munsell Value) หรือเท่ากับ 0.15 ของชั้น มันเซลล์ โครมา (Munsell Chroma) หรือเท่ากับ 2.5 ของชั้นมันเซลล์ ฮิว โครมา/1 (Munsel Hue Chroma/1)

3. หลักการทดสอบ

3.1 <u>เกรย์สเกล</u> ประกอบด้วยแถบสีเทา 5 คู่ แต่ละคู่ใช้แทนค่าแตกต่างของสีที่วัดด้วยสายตาเป็นลำดับกันไป ความแตกต่างนี้เทียบได้กับอัตราความคงทนของสีดังตารางผนวกที่ 3

3.2 <u>อัตราความคงทนของสี ระดับ 5</u> แทนโดยใช้แถบสีที่เหมือนกัน 2 แถบ วางเคียงข้างกัน มีสีเทาที่เป็นกลาง ซึ่งมีค่าการสะท้อนแสง 12 $\pm$ 1 ความแตกต่างของสีเป็น 10

3.3 <u>อัตราความคงทนของสี ระดับ 4 จนถึง 1</u> แทนโดยแถบสีอ้างอิงที่เหมือนกับที่ใช้ในข้อ 3.2 เข้าคู่กับแถบสีเทาเป็นกลางที่อ่อนกว่า ความแตกต่างของทุกคู่ที่มองด้วยสายตาเรียงกันเป็นชั้นทางเรขาคณิตของความแตกต่างของสีดังแสดงในตารางผนวกที่ 4

ตารางผนวกที่ 3 ความแตกต่างของสีเทียบกับอัตราความคงทนของสี

ความแตกต่างของสีหน่วย N.B.S	อัตราความคงทนของสี
0 ± 0.2	5
1.5 ± 0.2	4
3.0 ± 0.2	3
6.0 ± 0.2	2
12.0 ± 0.2	1

3.4 การใช้เกรย์สเกล

วางชิ้นส่วนเดิมของสิ่งทอ (Original Textile) กับชิ้นทดสอบแล้วเคียงข้างกันบนพื้นราบเดียวกันและในทิศทางเดียวกันด้วย จากนั้นนำเกรย์สเกลมาวางข้างๆ บนพื้นราบเดียวกัน สภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นควรเป็นสีเทา ซึ่งมีความสว่างน้อยกว่าแถบสีที่เข้มของเกรย์สเกลนั้นเล็กน้อย ถ้าจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการรบกวนที่เกิดจากแสงสีด้านหลังของสิ่งทอให้ใช้ชิ้นส่วนเดิมของสิ่งทอ 2 ชิ้น หรือมากกว่าวางรองไว้ข้างใต้ทั้งชิ้นทดสอบและชิ้นส่วนเดิม จากนั้นส่องพื้นผิวนี้ด้วยแสงจากทิศเหนือ หรือ แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มข้นของการส่องสว่าง 540 ลักซ์ (50 ลูเมน/ตารางฟุต) หรือมากกว่านี้ แสงที่ส่องบนพื้นผิวนี้ควรทำมุม 45 องศาโดยประมาณ โดยทิศทางของการมองต้องตั้งฉากกับพื้นผิวเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบกับชิ้นส่วนเดิมด้วยความแตกต่างแทนที่ด้วยเกรย์สเกล อัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบ คือตัวเลขของเกรย์สเกลซึ่งจะสอดคล้องกับความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบกับชิ้นส่วนเดิม ถ้าชิ้นทดสอบมีค่าอยู่ระหว่างเกรย์สเกล 2 แถบ ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ระดับนั้น เช่น 3-4 หรือ 4-5 (2 อัตรานี้เหมือนกัน) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 หมายความว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบ และชิ้นส่วนเดิมนั้น

3.5 การอธิบายการเปลี่ยนแปลงสีในการทดสอบความคงทนของสี

3.5.1 ในการใช้เกรย์สเกลตามข้อ 3.4 ไม่ได้บอกถึงลักษณะในการเปลี่ยนแปลงวรรณะของสี (Hue) ความเข้มข้น (Depth) ความสว่าง (Brightness) แต่บอกเฉพาะความแตกต่างกันทั้งหมดระหว่างชิ้นส่วนเดิมกับชิ้นทดสอบเป็นพื้นฐานในการประเมินเท่านั้น

3.5.2 ถ้าต้องการรายงานการเปลี่ยนแปลงสีของสิ่งทอในการทดสอบอาจเพิ่มเติมข้อกำหนดคุณภาพที่เหมาะสมเข้าไปในระดับอัตราความคงทนได้ตามตารางผนวกที่ 4

3.5.3 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้นใน 2 หรือ 3 ลักษณะไม่จำเป็นต้องแสดงขนาดของการเปลี่ยนแปลงไว้ ไม่ว่าจะเป็นคำพูด (เช่น มาก หรือ น้อย) หรือตัวเลข (เช่น 1 หมายถึง น้อย 3 หมายถึง มาก) หรือการเปรียบเทียบโดยเขียนการเปลี่ยนแปลงมากเอาไว้ข้างหน้า (Blue,duller ซึ่งจะแตกต่างกับ Duller, Bluer)

3.5.4 ถ้าช่องในใบรายงานข้อกำหนดคุณภาพมีเนื้อที่จำกัด อาจใช้ตัวย่อแทนได้ดังตารางผนวกที่ 5

ตารางผนวกที่ 4 อธิบายลักษณะการเปลี่ยนแปลงสี

อัตราความคงทนของสี	ความหมาย	
	ความแตกต่างที่สอดคล้องกับเกรย์สเกล	ลักษณะการเปลี่ยนแปลงสี
3	เกรด 3	ความเข้มของสีจางลง
3 Redder	เกรด 3	ความเข้มของสีจางลง
3 Weaker Yellow	เกรด 3	ความเข้มของสีจางลงและเปลี่ยนวรรณะของสี
3 Weaker Yellow Duller	เกรด 3	ความเข้มของสีจางลงเปลี่ยนทั้งวรรณะของสีและความสว่าง
4-5 Redder	อยู่ระหว่างเกรด 4 และ 5	ความเข้มของสีจางลงเล็กน้อยแต่สีออกแดงเล็กน้อย

ตารางผนวกที่ 5 ตัวย่อข้อกำหนดคุณภาพ

ตัวย่อ	ตัวเต็ม	ตัวย่อ	ตัวเต็ม
Bl	Bluer	W	Weaker
G	Greener	Str	Stronger
R	Redder	D	Duller
Y	Yellow	Br	Brighter

ตอนที่ 2 เกรย์สเกล สำหรับประเมินค่าการเปื้อนสี

1. ขอบข่าย

มาตราฐานนี้ กำหนดการใช้เกรย์สเกล สำหรับประเมินค่าการเปื้อนของสิ่งทอไม่ย้อมสีในการทดสอบหาอัตราความคงทนของสี

2. หลักการทดสอบ

2.1 เกรย์สเกล ประกอบด้วยแถบสีขาว 1 คู่ และแถบสีเทาและขาว 4 คู่ แต่ละคู่ใช้แทนค่าความแตกต่างของสีที่วัดด้วยสายตาเป็นลำดับกันไปตามความแตกต่างนี้เทียบได้กับอัตราความคงทนของสีดังในตารางผนวก ที่ 6

ตารางผนวกที่ 6 ความแตกต่างของสีเทียบกับอัตราความคงทนของสี

ความแตกต่างของสีหน่วย N.B.S	อัตราความคงทนของสี
0 ± 0.2	5
4.0 ± 0.2	4
8.0 ± 0.2	3
16.0 ± 0.2	2
32.0 ± 0.2	1

2.2 อัตราความคงทนของสีระดับ 5 แทนโดยใช้แถบสีขาวที่เหมือนกัน 2 แถบ วางเคียงข้างกันมีค่าการสะท้อนแสงไม่น้อยกว่า 85 % ความแตกต่างของสีเป็น 0

2.3 อัตราความคงทนของสี ระดับ 4 จนถึง 1 แทนโดยแถบสีขาวอ้างอิงที่เหมือนกับที่ใช้ในหัวข้อ 2.2 เข้าคู่กับแถบสีเทาเป็นกลาง ความแตกต่างของทุกคู่ที่มองด้วยสายตาเรียงเป็นชั้นทางเรขาคณิตของความแตกต่างของสีดังแสดงในตารางผนวกที่ 6

2.4 การใช้เกรย์สเกล

วางชิ้นส่วนของสิ่งทอไม่ย้อมสีและไม่เปื้อนสีกับชิ้นทดสอบ แล้วเคียงกันบนพื้นราบเดียวกันและในทิศทางเดียวกันด้วย จากนั้นนำเกรย์สเกลมาวางข้างๆ บนพื้นราบเดียวกัน สภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นควรเป็นสีเทา ซึ่งมีความสว่างน้อยกว่าแถบสีที่เข้มของเกรย์สเกลนั้นเล็กน้อย ถ้าจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการรบกวน ที่เกิดจากแสงสีด้านหลังของสิ่งทอให้ใช้ชิ้นส่วนเดิม

ของสิ่งทอ 2 ชิ้น หรือมากกว่าวางรองไว้ข้างใต้ทั้งชิ้นทดสอบและชิ้นส่วนเดิม จากนั้นส่องพื้นผิวนี้ด้วยแสงจากทิศเหนือ หรือ แหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มข้นของการส่องสว่าง 540 ลักซ์ (50 ลูเมน/ตารางฟุต) หรือมากกว่านี้ แสงที่ส่องบนพื้นผิวนี้ควรทำมุม 45 องศาโดยประมาณ โดยทิศทางของการมองต้องตั้งฉากกับพื้นผิวเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบกับชิ้นส่วนเดิมด้วยความแตกต่างแทนที่ด้วยเกรย์สเกล อัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบ คือตัวเลขของเกรย์สเกลซึ่งจะสอดคล้องกับความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบกับชิ้นส่วนเดิม ถ้าชิ้นทดสอบมีค่าอยู่ระหว่างเกรย์สเกล 2 แถบ ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 2 ระดับนั้น เช่น 3-4 หรือ 4-5 (2 อัตรานี้เหมือนกัน) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 หมายความว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบ และชิ้นส่วนเดิมนั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว สุวานีย์ จันทร์สอาด เกิดวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดสมุทรสาคร ศึกษาสำเร็จการปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีเทคนิค ที่ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2546

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย