



# ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ปริญญา

คหกรรมศาสตร์

คหกรรมศาสตร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

Optimum Condition for Dyeing Silk with Natural Indigo

นามผู้วิจัย นางศันสนีย์ แวนประเสริฐ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

ประธานกรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิจรัส ภิรมย์ธรรมศิริ, Ph.D. )

กรรมการ

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธีลักษณ์ ไกรสุวรรณ, คศ.ม. )

กรรมการ

( รองศาสตราจารย์กุลชนิษฐ์ ราชนบุญวัฒน์, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิจรัส ภิรมย์ธรรมศิริ, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญจนา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

Optimum Condition for Dyeing Silk with Natural Indigo

โดย

นางศันสนีย์ แวนประเสริฐ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

พ.ศ. 2552

ศันสนีย์ แวนประเสริฐ 2552: สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ  
ปริญญาโทเกษตรศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเกษตรศาสตร์ ภาควิชาเกษตรศาสตร์  
ประธานกรรมการที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรัส ภิรมย์ธรรมศิริ, Ph.D. 112 หน้า

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา 1) ผลของสภาวะการย้อมที่มีต่อค่าสี ความคงทนของสี  
ต่อการซักและความเหนียวของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ และ 2) สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหม  
ด้วยครามธรรมชาติ สภาวะการย้อมที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิในการย้อมมี 2 ระดับ คือ 30 และ 45 องศาเซลเซียส  
ระยะเวลาในการย้อมมี 2 ระดับ คือ 15 และ 30 นาที และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างมี 2 ระดับ คือ ระดับพอดี  
และระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์

การศึกษาผลของสภาวะการย้อมต่อค่าสีของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ พบว่า ผ้าที่ย้อมได้เป็น  
สีฟ้าอ่อน สภาวะการย้อมต่าง ๆ ให้ค่าสีใกล้เคียงกัน ผ้าที่ย้อมได้มีค่า  $L^*$  ก่อนข้างสูง มีค่า  $a^*$  (ความเป็นสีเขียว)  
ต่ำ มีค่า  $b^*$  (มีความเป็นสีน้ำเงิน) ก่อนข้างต่ำ มีค่า  $C^*$  (ความสดใของสี) ต่ำ มีค่า  $h^*$  ที่ระบุตำแหน่งสีอยู่ใน  
ช่วงสีน้ำเงิน และมีค่า  $K/S$  (ความเข้มของสี) ก่อนข้างต่ำ อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และด่าง  
ที่ใช้ ไม่มีผลต่อค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$   $C^*$   $h^*$  และ  $K/S$  ของผ้าไหม

การศึกษาผลของสภาวะการย้อมต่อความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ พบว่า  
หลังการซักมีค่า  $\Delta E^*$  อยู่ระหว่าง 1.1394 ถึง 8.8635 แสดงว่า ความคงทนของสีอยู่ในระดับดีมากถึงพอใช้  
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่า  $\Delta E^*$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผ้าที่ย้อม  
ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีความคงทนของสีสูงกว่าผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

การศึกษาผลของสภาวะการย้อมต่อความเหนียวของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติ พบว่า แรงดึงขาด  
ของผ้าหลังย้อมมีค่าลดลงจากก่อนย้อม 31.11 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลา ในการย้อมมีผลต่อความเหนียวของผ้า  
อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผ้าที่ย้อมนาน 30 นาที สูญเสียความเหนียวมากกว่าผ้าที่ย้อมนาน 15 นาที

สภาวะการย้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ คือ สภาวะการย้อมที่  
อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี  
(โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ 1.75 กรัม และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.75 กรัม ต่อ คราม 1 กรัม) ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้  
ความคงทนของสีต่อการซักและความเหนียวที่ดีที่สุด

---

ลายมือชื่อนิติ

---

ลายมือชื่อประธานกรรมการ

Sunsanee Vanprasert 2009: Optimum Condition for Dyeing Silk with Natural Indigo.

Master of Home Economics, Major Field: Home Economics, Department of Home Economics.

Thesis Advisor: Assistant Professor Kajijarus Piromthamsiri, Ph.D. 112 pages.

The objectives of this research were to study 1) the effects of dyeing condition upon the color, colorfastness to washing and tenacity of silk fabric dyed with natural indigo, and 2) the optimum condition for dyeing silk with natural indigo. Experiments were conducted by using temperature at 30 °C and 45 °C, duration of dyeing for 15 and 30 minutes, and reducing agent and alkali at sufficient and 20 percent over sufficient amounts.

The results of the study concerning the effects of dyeing conditions upon the colors of silk fabric dyed with natural indigo showed that the colors of dyed fabrics were light blue. Various dyeing conditions yielded very close color values. The dyed fabrics had high L\* values, low a\* (greenness) values, low b\* (blueness) values, low C\* (brightness) values, h\* values in the range of blue and low K/S (lightness of color) values. Temperature, duration of dyeing, and amount of reducing agent and alkali had no effect on the colors of the dyed fabrics.

The results of the study concerning the effects of dyeing conditions upon the colorfastness to washing showed that after washing  $\Delta E$  values were between 1.1394–8.8635 indicating the colorfastness of the dyed fabrics was at a very good to fair level. The dyeing temperature significantly affected the color change value ( $\Delta E^*$ ) at the .05 level. The fabric dyed at 30 °C had higher color fastness (lower  $\Delta E^*$  value) than the fabric dyed at 45 °C.

The results of the study concerning the effects of dyeing conditions upon the tenacity of the fabric indicated that after dyeing, breaking loads of the fabric decreased by 31.11 percent. The dyeing duration significantly affected the tenacity at the .05 level. The fabrics dyed for 30 minutes lost more tenacity than the fabrics dyed for 15 minutes.

The most optimum dyeing condition for dyeing silk fabric with natural indigo was dyeing at 30 °C for 15 minutes, and using reducing agent and alkali at sufficient amount (sodium hydrosulfite 1.75 grams and sodium hydroxide 1.75 grams per 1 gram of indigo). By using this condition, the dyed fabrics had the best quality of colorfastness to washing and tenacity.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ขจีรัตน์ ภิรมย์ธรรมศิริ ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุธีลักษณ์ ไกรสุวรรณ กรรมการที่ปรึกษาวิชาเอก รองศาสตราจารย์ ดร. กุลขนิษฐา ราชนบุญวัฒน์ กรรมการที่ปรึกษาวิชารอง และ ดร.วสันต์ ทองไทย อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ และช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณความเมตตาของคุณไชยยัง ลี้มทองกุล คุณสนธิ ลี้มทองกุล และอาจารย์จันทน์ทิพย์ ลี้มทองกุล ที่ให้การสนับสนุนด้านทุนการศึกษา และภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความกรุณาเอื้อเฟื้อสถานที่ทำการทดสอบสิ่งทอ ส่งผลให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ พี่ ๆ น้อง ๆ และเพื่อน ๆ ทุกคน รวมทั้งสามีและบุตรที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และคำชี้แนะต่าง ๆ ตลอดจนการสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงมาด้วยดี

ศันสนีย์ แวนประเสริฐ

พฤษภาคม 2552

## สารบัญ

## หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	8
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	41
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	84
สรุป	84
ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	88
ภาคผนวก	92
ภาคผนวก ก ภาพขั้นตอนวิธีการทดลอง	93
ภาคผนวก ข ตารางการคำนวณ	107
ประวัติการศึกษา	112

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การดูคลิ่นสีของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ	12
2	สิ่งทดลองในการทดลองย้อมผ้าไหมด้วยสีคราม	45
3	การเปรียบเทียบค่าความเปลี่ยนแปลงของสี ( $\Delta E^*$ ) ในมาตรฐาน CIELAB (1976) กับระดับความคงทนของสีต่อการซักในมาตรฐานเกรย์สเกล (AATCC, 1994)	48
4	ค่า $L^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	53
5	ค่า $a^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	55
6	ค่า $b^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	57
7	ค่า $C^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	59
8	ค่า $h^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ	61
9	ค่า $K/S^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	63
10	ค่า $\Delta L^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	65
11	ค่า $\Delta a^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	67
12	ค่า $\Delta b^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	69
13	ค่า $\Delta C^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณ สารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	71

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
14	ค่า $\Delta h^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ	73
15	ค่า $\Delta E^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	75
16	ค่าเฉลี่ยแรงดึงขาดในแนวเส้นด้ายยืนของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	77
17	ผลการจัดกลุ่มตามความแตกต่างของค่าเฉลี่ย $\Delta E^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ โดยย้อมที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	81
18	ผลการจัดกลุ่มตามความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเหนียวของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ โดยย้อมที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	82
ตารางผนวกที่		
1	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $L^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	108
2	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $a^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	108
3	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $b^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	108
4	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $C^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	109
5	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $h^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ	109

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
6	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า K/S ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ	109
7	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า $\Delta E^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติโดยย้อมที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ	110
8	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติโดยย้อมที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ	110
9	ตารางสรุปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า $L^*$ $a^*$ $b^*$ $C^*$ $h^*$ และ K/S จำแนกตามตัวแปรที่ศึกษา	111

## สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างโมเลกุลของใยไหม มี $R_1, R_2, R_3$ เป็น โซ่เคียงข้าง	10
2	โครงสร้าง p-quinonoid และ o-quinonoid	14
3	ปฏิกิริยา isomeric change	14
4	ปฏิกิริยาการเกิดสารให้สี Indigotin	19
5	ปฏิกิริยาการย้อมคราม	21
6	ความสัมพันธ์ของการวัดลำดับสีระหว่าง Hue Chroma และ Value ตามระบบมันเชล	28
7	CIELAB 1976 แสดง L, a, b Color Space	30
8	แสดงค่า $\Delta a^*$ และ $\Delta b^*$ ในระบบ CIELAB	32
9	แสดงค่า $\Delta h^*$ และ $\Delta C^*$ ในระบบ CIELAB	33
10	แสดงความหมายของ $\Delta h^*$ ในระบบ CIELAB	34
11	ค่าเฉลี่ย $\Delta E^*$ ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส	76
12	ค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติโดยใช้ระยะเวลา 15 และ 30 นาที	79
<b>ภาพผนวกที่</b>		
1	ละลายเนื้อครามในสารรีดิวิซ์และค้างด้วยเครื่อง magnetic stirrer	94
2	นำสารละลายสีไปแยกปูนขาวด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง	95
3	นำน้ำสีครามไปวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV. Vis Spectrophotometer	95
4	ละลายค้างในน้ำกลั่นด้วยเครื่อง Magnetic stirrer	96
5	วัดค่า pH	97
6	น้ำสีที่ละลายสมบูรณ์	97
7	แยกน้ำสีจากปูนขาวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง	98
8	หาปริมาณสารรีดิวิซ์และค้างที่พอเหมาะ	98

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
9	แช่ผ้าไหมสำหรับทดลองในน้ำกลั่น 1 ชั่วโมง	99
10	เตรียมสารละลาย	99
11	ผสมสารละลายในน้ำกลั่น	100
12	ผสมสารละลายในสารละลายต่าง	100
13	พักน้ำสีเพื่อรอปูนขาวตกตะกอน	101
14	กรองน้ำสีเพื่อแยกปูนขาวด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ	101
15	น้ำสีที่พร้อมนำไปทดลองย้อม	102
16	นำผ้าทดลองใส่ลงในกระบอกล้อม	102
17	ปิดฝาทันทีนำเข้าเครื่องย้อม	103
18	นำผ้าทดลองออกผึ่งให้สัมผัสอากาศ	103
19	ล้างสีส่วนเกินออกจากผ้าทดลองด้วยน้ำกรอง	104
20	นำผ้าทดลองต้มในน้ำสบู่	104
21	พลิกกลับผ้าไปมาให้โดนน้ำสบู่ทั่วทั้งผืน	105
22	ล้างผ้าด้วยน้ำกรองให้สะอาด	105
23	นำผ้าตากในที่ร่ม	106

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สภาวะที่เหมาะสม	=	สภาวะการย้อมที่เหมาะสมสำหรับผ้าไหมที่ย้อมด้วย ครามธรรมชาติ ที่ทำให้ได้ผ้าไหมย้อมครามที่มีสีติดทน ไม่มีปัญหาในการซักและใยไม่ถูกทำลาย
L*	=	ค่าสีที่ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness) ของสี
a*	=	ค่าสีที่ใช้กำหนดความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (Red-Green)
b*	=	ค่าสีที่ใช้กำหนดความเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (Yellow-Blue)
C*	=	ค่าสีที่บ่งบอกค่าความสดใสของสีที่ค่าคงความสว่างหนึ่ง ๆ
h*	=	ค่าสีที่ใช้ระบุว่าสีอยู่ตำแหน่งใดใน Colour Space มีหน่วยเป็นองศา
K/S	=	ค่าที่คำนวณจากค่าการสะท้อนแสงตามทฤษฎีของ Kubelka-Munk
$\Delta E^*$	=	ค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (Total Color Difference) ระหว่างผ้าตัวอย่างและผ้ามาตรฐาน

# สถานะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

## Optimum Condition for Dyeing Silk with Natural Indigo

### คำนำ

ไหมได้รับการขนานนามว่าเป็นราชินีแห่งเส้นใย เพราะไหมเป็นเส้นใยที่มีเอกลักษณ์ มีความสวยงาม แลดูหรูหรา มีคุณค่า เนื่องจากไหมมีความเงามันและมีความแข็งแรงสูงกว่า ใยธรรมชาติอื่น ๆ (สิริรัตน์, 2548) เมื่อผสมผสานกับศิลปะการทอผ้าของไทย ทำให้เป็นที่ยอมรับกันว่า ผ้าไหมไทยมีความประณีตสวยงาม เป็นสิ่งที่แสดงความเป็นเอกลักษณ์ไทยได้อย่างดี ซึ่งได้รับความนิยมนำใช้ในและต่างประเทศ

คราม เคยได้ชื่อว่าเป็นราชาแห่งสีย้อม (Lemmens และ Wulijarni, 1992 อ้างใน ศิริรัตน์, 2543) ประวัติของการใช้สีครามมีมานานนับพันปี ซึ่งสีน้ำเงินเข้มของครามเป็นที่นิยมชมชอบ โดยทั่วไป เคยมีคำกล่าวที่ว่า ไม่มีสีชนิดใดที่มีความสัมพันธ์กับขนบธรรมเนียมและประเพณี เทียบเท่าคราม (ลัดดา, 2537) แต่การใช้สีครามจากธรรมชาติเกือบจะหมดสิ้นไปเมื่อมีการผลิต และใช้สีครามสังเคราะห์ อันเนื่องมาจากความสะดวกในการย้อม ลดขั้นตอนที่ยุ่งยากในการย้อม และลดค่าใช้จ่ายในการย้อมสี อีกทั้งยังได้สีที่สดใส คงทนต่อการซักและแสงแดด ทำให้ตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคได้มากกว่าการย้อมด้วยครามธรรมชาติ จึงทำให้ปัจจุบัน มีปริมาณการย้อมด้วยครามธรรมชาติลดลง อย่างไรก็ตาม ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา ผู้บริโภค เริ่มให้ความสนใจสีจากธรรมชาติขึ้นอีกครั้งอย่างกว้างขวาง อันเนื่องมาจากความตระหนักใน ปัญหามลภาวะจากอุตสาหกรรมการผลิตสีสังเคราะห์และผลกระทบต่อสุขภาพจากสีสังเคราะห์ รวมถึงการรณรงค์ให้เกิดความสนใจในความสัมพันธ์ระหว่างสีและขนบธรรมเนียมประเพณีไทย เพื่อการคงไว้ซึ่งวัฒนธรรมไทย

กรรมวิธีในการย้อมคราม เป็นการย้อมแบบสีแวต เนื่องจากสีคราม (Indigo Blue) เป็นสารให้สีที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นจึงต้องรีดิวซ์สีเพื่อทำให้นั้นอยู่ในรูปสารลิโวโค (leuco indigo) ซึ่งเป็นสารไม่มีสีละลายน้ำได้ ที่เรียกว่า white indigo หรืออาจอยู่ในรูปเกลือแอลคาไลของสีคราม ซึ่งเป็นสารไม่มีสีละลายน้ำได้เช่นกัน การเปลี่ยนไปอยู่ในรูปดังกล่าวทำให้ครามสามารถ แทรกเข้าไปในเส้นใยขณะย้อมได้ (อนุรัตน์, 2544) แล้วจึงออกซิไดส์ด้วยการสัมผัสกับอากาศ

เปลี่ยนกลับมาอยู่ในรูปเดิม (Indigo Blue) ทำให้โมเลกุลของสีถูกกักขังอยู่ในเส้นใย จึงได้สีครามที่ติดทนและมีปัญหาในการซักและแสงแดดน้อย

ในการย้อมผ้าไหม ควรใช้สภาวะที่มีความเป็นกรดและเบสอ่อน ๆ เนื่องจากใยไหมไม่คงทนต่อกรดและเบส เพราะจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ทำให้ใยไหมสลายตัวได้ แต่ในกระบวนการย้อมคราม จำเป็นต้องใช้ด่างเพื่อช่วยเร่งให้เกิดปฏิกิริยารีดักชันเร็วขึ้น ซึ่งจะมีผลโดยตรงกับโครงสร้างเส้นใยไหม ดังนั้น การวิจัยนี้จึงมุ่งหวังที่จะศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ เพื่อให้ได้ผ้าไหมย้อมครามที่มีสีติดทน ไม่มีปัญหาในการซักและใยไม่ถูกทำลายมากนัก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศ สามารถเป็นสินค้าส่งออกอีกประเภทหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มรายได้ให้แก่ชุมชน และช่วยให้รัฐบาลประหยัดเงินตราในการสั่งซื้อสีสังเคราะห์จากต่างประเทศอีกด้วย รวมทั้งยังเป็นการสร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ผลิตผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติมากขึ้น ส่งผลให้มีผู้ผลิตผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติมากขึ้น

## วัตถุประสงค์

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา

1. ผลของสภาวะการย้อมครามธรรมชาติ ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการย้อม และ ปริมาณสารรีดิวซ์และด่าง ที่มีต่อค่าสี ความคงทนของสีต่อการซัก และความเหนียวของผ้าไหม
2. สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

## ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลการวิจัยครั้งนี้ จะมีประโยชน์ดังต่อไปนี้

1. เป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ
2. สร้างความมั่นใจให้แก่ผู้ผลิตผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติมากขึ้น ส่งผลให้มีผู้ผลิตผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติสูงขึ้น อันก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคงไว้ซึ่งเอกลักษณ์ไทย
3. เป็นแนวทางสำหรับผู้ผลิตผ้าไหมในการผลิตผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ เพื่อสามารถผลิตเป็นผ้าที่มีคุณสมบัติเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในและต่างประเทศได้
4. เป็นแนวทางให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เพื่อเผยแพร่วิธีการที่เหมาะสมในการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

## ขอบเขตของการวิจัย

1. ผ้าที่ใช้ในการทดลองเป็นผ้าไหม 100 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ไทยพื้นเมือง (ไหมเหลืออง) มีโครงสร้างการทอแบบลายขัด ผ่านการทำความสะอาดแล้ว
2. ครามที่ใช้ย้อมเป็นครามเปียก โดยใช้ปริมาณ 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้า

3. ค่าที่ใช้ในการย้อม คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
4. สารรีดิวซ์ที่ใช้ในการย้อม คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ )
5. สถานะการย้อมผ้าไหมที่ทำการทดลอง มี 3 ปัจจัย ดังนี้
  - 5.1 อุณหภูมิในการย้อมมี 2 ระดับ คือ 30, 45 องศาเซลเซียส
  - 5.2 ระยะเวลาในการย้อม มี 2 ระดับ คือ 15, 30 นาที
  - 5.3 ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า มี 2 ระดับ คือ ระดับพอดี และระดับเกินพอดี

20 เปอร์เซ็นต์

6. สมบัติที่ทำการประเมินผล คือ ค่าสี ( $L^*$   $a^*$   $b^*$   $C^*$   $h^*$  และ K/S) ความคงทนของสีต่อการซัก ( $\Delta E^*$ ) และความเหนียวของผ้าไหมที่ย้อมได้

#### สมมติฐานการวิจัย

ในการทดสอบผลของสถานะการย้อมต่อสีของผ้าไหมย้อมด้วยครามธรรมชาติ ได้ตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. สมมติฐานสำหรับการทดสอบผลของสถานะการย้อมต่อค่า  $L^*$  (ความสว่าง)
  - 1.1 อุณหภูมิในการย้อมไม่มีผลต่อค่า  $L^*$
  - 1.2 ระยะเวลาในการย้อมไม่มีผลต่อค่า  $L^*$
  - 1.3 ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าไม่มีผลต่อค่า  $L^*$
  - 1.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการย้อมกับระยะเวลาในการย้อมไม่มีผลต่อค่า  $L^*$
  - 1.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการย้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่าไม่มีผลต่อค่า  $L^*$
  - 1.6 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการย้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่าไม่มีผลต่อค่า  $L^*$
  - 1.7 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการย้อม ระยะเวลาในการย้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าไม่มีผลต่อค่า  $L^*$

2. สมมติฐานสำหรับการทดสอบผลของสภาวะการข้อมต่อค่า  $a^*$  (ความเป็นสีแดง-เขียว)

- 2.1 อุณหภูมิในการข้อมไม่มีผลต่อค่า  $a^*$
- 2.2 ระยะเวลาในการข้อมไม่มีผลต่อค่า  $a^*$
- 2.3 ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $a^*$
- 2.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อมกับระยะเวลาในการข้อมไม่มีผลต่อค่า  $a^*$
- 2.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $a^*$
- 2.6 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการข้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $a^*$
- 2.7 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อม ระยะเวลาในการข้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $a^*$

3. สมมติฐานสำหรับการทดสอบผลของสภาวะการข้อมต่อค่า  $b^*$  (ความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน)

- 3.1 อุณหภูมิในการข้อมไม่มีผลต่อค่า  $b^*$
- 3.2 ระยะเวลาในการข้อมไม่มีผลต่อค่า  $b^*$
- 3.3 ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $b^*$
- 3.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อมกับระยะเวลาในการข้อมไม่มีผลต่อค่า  $b^*$
- 3.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $b^*$
- 3.6 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการข้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $b^*$
- 3.7 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อม ระยะเวลาในการข้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $b^*$

4. สมมติฐานสำหรับการทดสอบผลของสภาวะการข้อมต่อค่า  $C^*$  (ความสดใส)

- 4.1 อุณหภูมิในการข้อมไม่มีผลต่อค่า  $C^*$
- 4.2 ระยะเวลาในการข้อมไม่มีผลต่อค่า  $C^*$
- 4.3 ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อค่า  $C^*$

4.4 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเชื่อมกับระยะเวลาในการเชื่อมไม่มีผลต่อค่า  $C^*$

4.5 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเชื่อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่า  $C^*$  ไม่มีผลต่อค่า  $C^*$

4.6 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเชื่อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่า  $C^*$  ไม่มีผลต่อค่า  $C^*$

4.7 ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเชื่อม ระยะเวลาในการเชื่อม และปริมาณสารรีดิวซ์และค่า  $C^*$  ไม่มีผลต่อค่า  $C^*$

ในการทดสอบผลของสภาวะการเชื่อมต่อความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมเชื่อมด้วยครามธรรมชาติ ได้ตั้งสมมติฐานสำหรับทดสอบค่า  $\Delta E^*$  (ความแตกต่างของสี) ดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิในการเชื่อมไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$
2. ระยะเวลาในการเชื่อมไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$
3. ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า  $\Delta E^*$  ไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$
4. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเชื่อมกับระยะเวลาในการเชื่อมไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$
5. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเชื่อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่า  $\Delta E^*$  ไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$
6. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการเชื่อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่า  $\Delta E^*$  ไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$
7. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการเชื่อม ระยะเวลาในการเชื่อม และปริมาณสารรีดิวซ์และค่า  $\Delta E^*$  ไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$

ในการทดสอบผลของสภาวะการข้อมต่อความเหนียวของผ้าไหมข้อมด้วยครามธรรมชาติ ได้ตั้งสมมติฐานดังต่อไปนี้

1. อุณหภูมิในการข้อมไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้าไหมที่ข้อม
2. ระยะเวลาในการข้อมไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้าไหมที่ข้อม
3. ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้าไหมที่ข้อม
4. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อมกับระยะเวลาในการข้อมไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้าไหมที่ข้อม
5. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และด่างไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้าไหมที่ข้อม
6. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการข้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และด่างไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้าไหมที่ข้อม
7. ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิในการข้อม ระยะเวลาในการข้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้าไหมที่ข้อม

## การตรวจเอกสาร

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเอกสารต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ไหมและคุณสมบัติด้านการย้อมสีของไหม
2. สีธรรมชาติและ การย้อม
3. ครามธรรมชาติ
4. การย้อมฝ้ายและไหมด้วยสีครามธรรมชาติ
5. ระบบการวัดสี
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### ไหมและคุณสมบัติด้านการย้อมสีของไหม

ไหม ได้รับการขนานนามว่าเป็น “ราชินีแห่งเส้นใย” เนื่องจากไหมเป็นเส้นใยที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว คือ มีความเงามันดูสวยงามหรูหราและมีคุณค่า ไหมมีความนุ่มนวลทั้งตัวได้ดี สามารถดูดซับความชื้นได้ดี จึงทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย แห้งง่าย ไม่เหนียวเหนอะหนะ อีกทั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติด้วยกัน ไหมจะมีความแข็งแรงกว่าเนื่องจากไหมจัดเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่ได้จากรังดักแด้ของตัวไหม ดังนั้น ไหมจึงยังคงได้รับความนิยมจากผู้บริโภคตลอดกาล

### ลักษณะทั่วไปของใยไหม

ไหมเป็นโพลิเพปไทด์ (polypeptide) ซึ่งเป็นเส้นใยยาวธรรมชาติชนิดเดียวที่ได้จากรังดักแด้ของตัวไหม เมื่อถึงปลายเส้นไหมออกจากรัง จะเห็นเส้นไหมเล็กๆ ยาวต่อเนื่องและอยู่ติดกันสองเส้น ถูกห่อหุ้มด้วยกาวไหมซึ่งเป็นโปรตีนที่เรียกว่า เซริซิน (sericin) ตัวไหมสร้างเส้นใยโดยการพ่นของเหลวขึ้นออกมาจากต่อมเล็กๆ สองต่อมที่หัว ของเหลวที่พ่นออกมานั้น

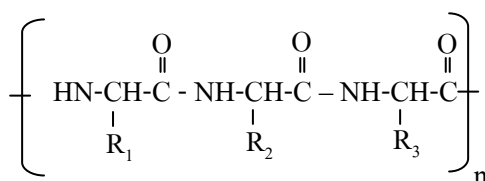
เป็นสารโปรตีนที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (fibroin) เมื่อสัมผัสกับอากาศจะแข็งตัวกลายเป็นเส้นใยไหม เป็นเส้นใยละเอียด มีลักษณะโปร่งแสง (translucent filament) ใยไหมแต่ละเส้นมีความยาว ประมาณ 300 - 1,500 เมตร ใยไหมมีรูปร่างหน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน ขนาดและรูปร่าง ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะตามยาวเป็นเส้นเรียบใส ซึ่งลักษณะดังกล่าวนี้ทำให้ใยไหมมีความเงามัน แลดูสวยงามและหุหุระ (โมโตอิ และคณะ, 2530; Gohl and Vilensky, 1990)

### โครงสร้างของใยไหม

ใยไหมประกอบด้วยไฟโบรอิน ( $C_{24}H_{38}O_8N_8$ )<sub>n</sub> ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) ของกรดอะมิโน (amino acid) กลายเป็นโซ่พอลิเพปไทด์ (polypeptide chain) มีส่วนประกอบหลัก เป็นกรดอะมิโน 4 ชนิด คือ ไกลซีน (glycine) อะลานีน (alanine) เซรีน (serine) และไทโรซีน (tyrosine) โมเลกุลไฟโบรอินมีโครงสร้างแบบเบต้า ( $\beta$ -form) คือ โมเลกุลเรียงตัวแน่นเป็นระเบียบตามยาว และมีบางบริเวณที่เรียงตัวแบบไร้ระเบียบแทรกอยู่ (โมโตอิ และคณะ, 2530)

ใยไฟโบรอินจะถูกห่อหุ้มด้วยเซรีน ซึ่งประกอบด้วย เซรีน (serine) ทรีโอนีน (threonine) กรดแอสพาทิก (aspartic acid) กรดกลูตามิก (glutamic acid) อาร์จินีน (arginine) และไลซีน (lysine) จำนวนค่อนข้างมาก โครงสร้างของเซรีนนี้ไม่มีส่วนเป็นผลึกเลย เซรีนละลายได้ในกรดที่มี pH ต่ำกว่า 2.5 และละลายได้ในเบสที่ pH สูงกว่า 9.5 ปริมาณเซรีนที่มีอยู่ในไหมดิบมีประมาณ 20 - 25 เปอร์เซ็นต์ ด้วยสาเหตุนี้ไหมดิบจึงมีลักษณะหยาบและแข็งกระด้าง ดังนั้น ก่อนที่จะทำการผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ จึงจำเป็นต้องผ่านกระบวนการทำให้นุ่มและมันเงา ซึ่งวิธีการปรับปรุงวิธีแรก คือ การลอกขาว (degumming) เพื่อกำจัดกาวเซรีนออก (โมโตอิ และคณะ, 2530; วีระศักดิ์, 2543)

นอกจากส่วนที่เป็นไฟโบรอินและเซรีนแล้ว ในไหมดิบยังประกอบด้วยส่วนที่เป็นแร่ธาตุเกลือ ไขมัน สารสี และน้ำ (โมโตอิ และคณะ, 2530; Aspland, 1993) ไหมมีโครงสร้างโมเลกุล ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างโมเลกุลของใยไหม มี  $\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3$  เป็นโซ่เคียงข้าง

ที่มา : Gohl and Vilensky (1990)

### สมบัติทางกายภาพ

ใยไหมมีความเหนียว 3-6 กรัมต่อดีเนียร์ในขณะแห้ง เนื่องจากโมเลกุลของใยไหมเป็นโซ่ตรง (linear polymer) มีโครงสร้างแบบเบต้าและมีความเป็นผลึกสูงประมาณ 65 - 70 เปอร์เซ็นต์ แต่ความเหนียวจะลดลง 15 - 20 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเส้นใยเปียก ใยไหมจะมีความยืดหยุ่นดี ดูดซึมน้ำได้ดี และมีการคืนตัวดี เนื่องจากโมเลกุลของใยไหมมีส่วนที่เรียงตัวแบบไร้ระเบียบประมาณ 30 - 35 เปอร์เซ็นต์ ใยไหมมีความว่องไวต่ออุณหภูมิที่สูงเกิน 100 องศาเซลเซียส ส่งผลให้พันธะเปปไทด์ พันธะไฮโดรเจน และพันธะเชื่อมโยงของเกลียวภายในโซ่โมเลกุลของใยไหมสลายตัว ทำให้ความเหนียวลดลง ใยไหมเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ไม่ดีทำให้เกิดปัญหาไฟฟ้าสถิตบ้าง (Gohl and Vilensky, 1990; มณฑา, 2541)

### สมบัติทางเคมี

ใยไหมจะถูกทำลายด้วยเบสแก่และละลายในสารละลายโซดาไฟ (caustic soda) ที่ร้อน เบสอ่อน เช่น สบู่ บอแรกซ์ และแอมโมเนีย เป็นต้น จะทำลายใยไหมเล็กน้อยหรือไม่ทำลายใยไหม ถ้าไม่ทิ้งไว้เป็นเวลานาน ใยไหมจะละลายในกรดซัลฟูริกและกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดไนตริกจะทำให้ใยไหมกลายเป็นสีเหลือง (yellowing) สารฟอกขาวชนิดที่มีคลอรีนเป็นส่วนประกอบมีผลทำให้ใยไหมมีความเหนียวลดลง ควรเลือกใช้สารฟอกขาวชนิดที่ไม่รุนแรงเช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และเปอร์บอเรต ใยไหมไม่ทนต่อแสงแดด เนื่องจากรังสีอัลตราไวโอเลตจะทำให้ใยไหมเกิดการสลายตัว (photo degradation) และทำให้ใยไหมกลายเป็นสีเหลือง ในขณะที่ใยไหมจะทนต่อสารทำลายอินทรีย์ทุกชนิด ถ้าไหมเปียกแห้งจะเห็นรอยเปียกได้ง่ายและเมื่อแห้งจะเห็นคราบรอยเปื้อนได้ง่าย (มณฑา, 2541)

## สมบัติด้านการย้อมสีของไหม

ในการย้อมสีไหมนั้นนิยมใช้ สีแอสิด และยังมีสีอื่น ๆ คือ สีเบสิก สีไคเรทท์ สีมอร์แดนท์ สีรีแอ็คทีฟ สีแวต และสีธรรมชาติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ในการย้อมและการรักษาความเงามันและความสวยงามพิเศษของใยไหมไว้ (โมโตอิ และคณะ, 2530; วีระศักดิ์, 2543; Gohl and Vilensky, 1990) ในการย้อมอนุมูลของสีจะรวมกับหมู่โพลาร์ที่เป็นอิสระในเส้นใย เช่น หมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) หมู่คาร์บอกซิล (-COOH) หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) โดยอาศัยพันธะไอออนิก (ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) หรือพันธะโคออดิเนชัน (coordination bond) นอกจากนี้ ยังมีพันธะไฮโดรเจน (hydrogen bond) แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vanderwaals forces) เป็นตัวช่วยในการยึดเกาะของสีด้วย อย่างไรก็ตามอนุมูลของสีย้อมซึ่งมีทั้งประจุบวกและประจุลบ ส่วนใหญ่จะรวมตัวกับหมู่ที่มีขั้วปลายของโมเลกุลไฟโบรอินด้วยพันธะไอออนิก และเชื่อมกันด้วยพันธะไฮโดรเจนหรือแรงแวนเดอร์วาลส์ (โมโตอิ และคณะ, 2530) ดังนั้น ความเป็นกรดต่าง (pH) ของน้ำย้อมจึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้หมู่อะมิโนและหมู่คาร์บอกซิลของใยไหมสามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์ กล่าวคือ ถ้าน้ำย้อมมีความเป็นกรด หมู่อะมิโนจะเปลี่ยนเป็นประจุบวกได้มาก จึงสามารถย้อมติดสีแอสิด ซึ่งถือว่าเป็น anionic dye ได้ดี แต่ถ้าน้ำย้อมมีความเป็นด่าง หมู่คาร์บอกซิลจะเปลี่ยนเป็นประจุลบได้มาก จึงสามารถย้อมติดสีเบสิกซึ่งเป็นสี cationic dye ได้ดี

## สีธรรมชาติและ การย้อม

### สีธรรมชาติ

สีธรรมชาติ เป็นสีที่ใช้ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ จากหลักฐานที่ค้นพบ เชื่อกันว่าศิลปะการย้อมสีเริ่มต้นในประเทศทางตะวันออก โดยเฉพาะในจีน อินเดีย และเปอร์เซีย แพร่เข้าไปในอียิปต์ โดยพ่อค้าชาวโพนีเซียนนำมาพัฒนาปรับปรุงจนกระทั่งส่งขายไปยังกรีก โรมัน และประเทศอื่น ๆ ได้ ซึ่งสีที่ใช้ในยุคก่อนประวัติศาสตร์ ประมาณ 5,000 กว่าปีนั้นเป็นสีที่ได้จากพืชเกือบทั้งหมด (อัจฉราพร, 2527) เพราะหาได้ง่ายจากธรรมชาติและมีวิธีย้อมที่ง่าย ๆ โดยทั่วไปสามารถแยกออกเป็น 3 ประเภทคือ สีจากสัตว์ สีจากพืช และสีจากแร่ธาตุ ซึ่งสีส่วนใหญ่มักจะได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ราก แก่น ดอก ผล และใบ (Lloyd, 1971; Corbman, 1975; ขวัญฤทัย และเดือนใจ, 2530; โมโตอิ และคณะ, 2530) สีพวกนี้ส่วนใหญ่เป็นสีมอร์แดนท์ และจะรวมกับแซคคาไรด์ (saccharides) หรือโปรตีนภายในพืช นอกจากนี้ยังมีสีแวตซึ่งเป็นสารให้สีที่เป็นสารประกอบลิวโค (leuco) ซึ่งไม่มีสี (โมโตอิ และคณะ, 2530)

สีธรรมชาติ คือ สารจากวัสดุธรรมชาติที่สามารถละลายน้ำได้และสามารถให้สีกับเส้นใยได้ ซึ่งอาจอยู่ในรูปที่มีสีหรือไม่มีก็ได้ สีข้อมที่อยู่ในรูปสารไม่ละลายน้ำต้องอาศัยการหมักเพื่อให้เปลี่ยนเป็นสารที่ละลายได้หรืออยู่ในรูปไม่มีสี ทำให้กระบวนการย้อมซับซ้อนและต้องใช้เวลา เช่น ในกรณีของสีคราม (indigo dyes) การหมักส่งผลให้สีสามารถละลายน้ำได้แต่อยู่ในรูปไม่มีสีความสามารถในการละลายเป็นสิ่งจำเป็นขั้นต้นที่ทำให้สามารถสกัดสีออกจากวัสดุธรรมชาติและในขั้นต่อไปทำให้สีซึมเข้าไปในเส้นใยได้ง่าย (สกวรัตน์, 2543)

สีข้อมเป็นสารประกอบเชิงซ้อนประกอบด้วยคาร์บอนต่ออยู่กับอะตอมของธาตุอื่น ๆ ส่วนมากเป็นไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน จัดอยู่ในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่มีคาร์บอนต่อกันเป็นวงและมีโครงสร้างหลักประกอบด้วยวงแหวนเบนซิน ตามปกติเบนซินไม่มีสี แต่หากมีกลุ่มของอะตอมอื่น ๆ ที่เหมาะสมมาแทนที่อะตอมไฮโดรเจนอะตอมใดอะตอมหนึ่งหรือหลายอะตอมในเบนซิน จะได้สารประกอบที่มีสีซึ่งนำมาใช้เป็นสีข้อม สีข้อมอาจประกอบด้วยวงแหวนเบนซินเพียงวงเดียวหรือมากกว่า ลักษณะและคุณสมบัติของสีข้อมขึ้นอยู่กับ โครงสร้างของโมเลกุลและตำแหน่งที่กลุ่มของอะตอมอื่น ๆ มาเกาะติดอยู่บนตำแหน่งต่าง ๆ ของโครงสร้างนั้น ๆ การที่สีข้อมทำให้เกิดสีได้เนื่องจากมีกลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีมีการดูดกลืนแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่าง ๆ (สกวรัตน์, 2543) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การดูดกลืนสีของแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ

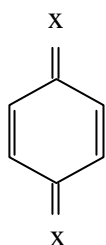
ความยาวคลื่นของแสงที่ถูกดูดกลืน (นาโนเมตร)	สีที่ถูกดูดกลืน	สีที่มองเห็น
400 - 435	ม่วง	เขียวอมเหลือง
435 - 480	น้ำเงิน	เหลือง
480 - 490	น้ำเงินอมเขียว	ส้ม
490 - 500	เขียวมน้ำเงิน	แดง
500 - 560	เขียวอมเหลือง	ม่วง
560 - 580	เหลือง	น้ำเงิน
580 - 605	ส้ม	น้ำเงินอมเขียว
605 - 750	แดง	เขียวมน้ำเงิน

ที่มา : จิราภรณ์ (2525)

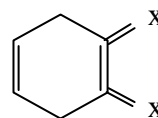
## ส่วนประกอบทางเคมีของสีย้อม

ส่วนประกอบทางเคมีของสีย้อมที่สำคัญ คือ สารประกอบที่มีกลุ่มโครโมฟอร์ (chromophore) เรียกว่า โครโมเจน (chromogen) นอกจากนี้สารประกอบที่ใช้เป็นสีย้อมได้ยังจะต้องมีกลุ่มของอะตอมอีกจำพวกหนึ่งที่เรียกว่า ออกโซโครม (auxochrome) หรือที่เรียกว่า หมูให้สี ซึ่งจะทำให้สีเข้มขึ้นและทำให้สีย้อมนั้นมีคุณสมบัติเป็นกรดหรือเบส เพื่อที่จะได้เกาะติดแน่นบนใยผ้า หมูออกโซโครมที่สำคัญ ได้แก่ หมูไฮดรอกซิล (-OH) หมูอะมิโน (-NH<sub>2</sub>) หมูอัลคิลอามีน (-NHR, NR<sub>2</sub>) หมูซัลโฟนิก (-SO<sub>3</sub>H) และหมูคาร์บอกซิล (COOH) เป็นต้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งหมูซัลโฟนิกมีความสำคัญมากเพราะช่วยให้สีย้อมละลายน้ำได้ (สกวรัตน์, 2543)

นักวิทยาศาสตร์เชื่อว่าสารประกอบบางชนิดมีสีเนื่องจากมีโครงสร้างหลักเป็นสารประกอบอะโรมาติก ซึ่งอยู่ในสถานะไม่อิ่มตัวคล้ายๆ กับโครงสร้างของควิโนน (quinone) เพราะฉะนั้นตามหลักเกณฑ์นี้ สีย้อมทุกชนิดมีลักษณะแบบควิโนนอยด์ (quinonoid) โดยอาจเป็น p-quinonoid หรือ o-quinonoid ซึ่งมีโครงสร้างดังในภาพที่ 2 (สกวรัตน์, 2543)



p-quinonoid



o-quinonoid

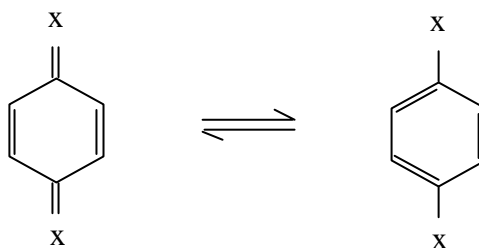
x คือ กลุ่มของอะตอม

ภาพที่ 2 โครงสร้าง p-quinonoid และ o-quinonoid

ที่มา : สกวรัตน์ (2543)

สีย้อมหลายชนิดสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งในลักษณะควิโนนอยด์และเบนซีนอยด์ (benzenoid) และสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้หากสภาวะแวดล้อมเปลี่ยนไป เช่น ตัวทำละลายความเป็น

กรด-ด่าง อุณหภูมิ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงเช่นนี้มักเกิดร่วมกับการเกิดสีหรือการที่สีหายไป เรียกการเปลี่ยนแปลงเช่นนี้ว่า isomeric change แสดงได้ด้วยปฏิกิริยาในภาพที่ 3 (สกาเวิร์ตน์, 2543)



ภาพที่ 3 ปฏิกิริยา isomeric change

ที่มา : สกาเวิร์ตน์ (2543)

ลักษณะการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการที่สีเชื่อมตกลี ซีดจางเมื่อได้รับแสง สบู่ ผงซักฟอก และสาเหตุอื่น ๆ

สีเชื่อมหลายชนิดเมื่อได้รับไฮโดรเจนเข้ามาเติมที่ในโมเลกุล จะได้สารเคมีที่ไม่มีสี เรียกว่า leuco compound ซึ่งเมื่อถูกออกซิไดส์จะได้สารเคมีที่มีสี เช่น ครามขณะย้อมตอนแรกจะยังไม่มีสี แต่เมื่อนำขึ้นมาจากภาชนะที่ย้อมจะถูกออกซิไดส์โดยออกซิเจนในอากาศได้เป็นสารสีน้ำเงิน เพราะฉะนั้นโครงสร้างโมเลกุลของสีย้อมจึงมีความสำคัญต่อการเกิดสี ส่วนคุณสมบัติเฉพาะของสีย้อม เช่น ความคงทนต่อสภาวะแวดล้อม การตกสีหรือซีดจาง การเกาะติดบนเส้นใยชนิดต่าง ๆ และปฏิกิริยาต่อสารเคมีอื่น ๆ ขึ้นอยู่กับกลุ่มของอะตอมที่มาเกาะอยู่กับโครงสร้างหลักของโมเลกุล (จิราภรณ์, 2525)

การที่พืชต่าง ๆ ให้สีแตกต่างกันก็เนื่องจากในพืชนั้นมีสารให้สีต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งเป็น 4 ชนิด ดังนี้ (เทียนศักดิ์, 2534)

1. ฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นชนิดที่ใช้เป็นสีเชื่อมกันมาก มักมีสีเหลืองส้มถึงเหลือง และมีสูตรโครงสร้างทั่วไป คือ  $C_6-C_3-C_6$  เช่น เคอร์ซีติน (quercetin) จากเปลือกหัวหอมใหญ่ให้สีเหลืองเข้ม มอริน (morin) จากแก่นขนุนและแก่นแกลเลให้สีเหลืองเข้ม และคาร์ธามิน (carthamin) จากดอกคำฝอยให้สีเหลืองอมน้ำตาล

2. เทอร์ปีนอยด์ หรือ ไอโซเทอร์ปีนอยด์ (terpenoid or isoterpenoids) สารชนิดนี้เป็นสารที่สังเคราะห์มาจากหน่วยไอโซเพนเทน (isopentene unit  $C_5$ ) เช่น คโรซีติน (crocetin) จากหญ้าฝรั่น (saffron) มีสีเหลือง บixin จากเมล็ดคำแสดให้สีส้มถึงแดง

3. แอนทราควิโนน และแนฟทราควิโนน (anthraquinone and naphthaquinone) สารในกลุ่มนี้มักให้สีแดงในกลุ่มแอนทราควิโนน เช่น อัลลิซาริน (alizarin) จากต้นแมคเคอร์ (madder) ส่วนแนฟทราควิโนน เช่น ลอว์โซน (lawsone) จากเทียนกิ่งให้สีน้ำตาลปนแดง

4. แอลคาลอยด์ (alkaloids) สารในกลุ่มนี้มักได้จากพืชชั้นสูง และมีไนโตรเจนอะตอมในโมเลกุลด้วย เช่น อินดิโก (indigo) จากต้นครามให้สีน้ำเงิน เทอร์เร็น (terrain) จากหอยสังข์หนาม (shellfish) ให้สีม่วงแดง

### หลักการย้อมสีธรรมชาติ

หลักในการย้อมสีธรรมชาติสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

1. หลักการย้อมสีไคเรท เนื่องจากสีไคเรทเป็นสีที่ละลายน้ำได้ จึงนิยมย้อมผ้าเซลลูโลสทุกชนิด สีจะติดเส้นใยได้ดีต่อเมื่อโครงสร้างของสีจะจัดเรียงตัวเป็นเส้นยาวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลสีและหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ของเส้นใยเซลลูโลส (มณฑา, 2537)

2. หลักการย้อมสีเบสิก และสีแอซิด เป็นการย้อมที่ทำให้โมเลกุลของสียึดจับกับโมเลกุลของใยผ้าโดยตรงด้วยพันธะเคมี กล่าวคือ ในกรณีของใยผ้าโมเลกุลของเส้นใยเซลลูโลสจะมาเชื่อมกับสีโดยพันธะไฮโดรเจน ส่วนในกรณีของใยขนสัตว์ และไหมซึ่งเป็นพอลิเปปไทด์จะมีทั้งหมู่กรด (acidic group-COOH) และหมู่เบส (basic group-NH<sub>2</sub>) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้จะเกิดปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นหมู่กรดหรือหมู่เบสในโมเลกุลของสีเกิดเป็นเกลือขึ้น (salt formation) ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันแบบพันธะไอออนิก (ionic interaction) (เทียนศักดิ์, 2534)

3. หลักการย้อมสีรีแอคทีฟ สีรีแอคทีฟเป็นสีที่ใช้ย้อมใยเซลลูโลสได้ดี โมเลกุลสีจะมีอะตอมฮาโลเจนชนิดคลอรีน ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับหมู่ -OH ในโมเลกุลเซลลูโลส

เกิดปฏิกิริยารวมกับโมเลกุลเส้นใยด้วยพันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ทำให้ติดติดเส้นใยได้ คงทนต่อทุกสภาพ ยกเว้นสารฟอกขาวจำพวกคลอรีนและเหงื่อที่มีความเป็นด่าง (มณฑา, 2537)

4. หลักการย้อมสีเมอร์แดนท์ เป็นการย้อมโดยใช้สารช่วยติด เพื่อช่วยให้สีติดทนอยู่ในเส้นใยดีขึ้น ทำให้สีมีความคงทน สีไม่ตกไม่ซีดง่าย สารช่วยติดส่วนใหญ่ที่ใช้จะเป็นสารละลายของเกลือโลหะ ได้แก่ เกลือของอลูมิเนียม โครเมียม เหล็ก และแทนนิน ซึ่งสารช่วยติดส่วนมากจะมีผลต่อเจดสีที่ได้ เนื่องจากโลหะของสารช่วยติดจะรวมตัวกับโมเลกุลสี ทำให้เส้นใยเป็นสารเชิงซ้อนที่แข็งแรง การใช้สารช่วยติดมีอยู่ 3 ลักษณะ คือ (เทียนศักดิ์, 2534)

4.1 ย้อมเมอร์แดนท์ก่อนย้อมสี โดยละลายเมอร์แดนท์ปริมาณที่กำหนดในน้ำสะอาดอุ่นให้พอร้อน คนให้ละลายแล้วนำวัสดุที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วลงย้อมและคนอย่างสม่ำเสมอ ต้มเดือดประมาณ 15-30 นาที นำวัสดุขึ้นบิดพอหมาดแล้วนำไปย้อมสีในน้ำย้อมที่เตรียมไว้

4.2 ย้อมเมอร์แดนท์พร้อมย้อมสี โดยละลายเมอร์แดนท์ปริมาณที่กำหนดในน้ำย้อมให้ความร้อนจนอุณหภูมิถึงที่กำหนด (อุณหภูมิกำหนดที่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของน้ำย้อม) นำวัสดุที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้วลงย้อมและคนอย่างสม่ำเสมอ

4.3 ย้อมเมอร์แดนท์หลังย้อมสี โดยละลายเมอร์แดนท์ปริมาณที่กำหนดในน้ำสะอาดอุ่นให้พอร้อน คนให้ละลาย นำวัสดุที่ย้อมสีแล้วแช่ทิ้งไว้เวลาน 15-30 นาที กลับวัสดุเป็นครั้งคราว นำวัสดุขึ้นบิดพอหมาด ฝั่งให้แห้งก่อนซักด้วยน้ำสะอาด

5. หลักการย้อมสีแวต หรือหลักการย้อมโดยวิธี reduction-oxidation เป็นการย้อมสีที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งไม่สามารถย้อมได้ถ้าไม่เปลี่ยนรูปให้เป็นสีที่ละลายน้ำก่อน โดยทำปฏิกิริยา reduction เพื่อเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบลิวโค ซึ่งละลายได้ในน้ำที่มีด่างอยู่ด้วย สีในรูปสารประกอบลิวโค เมื่อนำมาย้อมให้สีแทรกซึมเข้าไปในใยผ้าแล้วนำมาสัมผัสกับอากาศให้เกิดปฏิกิริยา oxidation เพื่อให้สีเปลี่ยนกลับไปเป็น vat pigment ซึ่งไม่ละลายน้ำเหมือนเดิม ทำให้สีติดอยู่ภายในเส้นใย จึงมีความคงทนต่อการซักดี (งามจิตร, มปป. ; เทียนศักดิ์, 2534)

## ครามธรรมชาติ

### ลักษณะทั่วไปของครามธรรมชาติ

คราม (indigo) เป็นพืชในตระกูล Leguminosae ซึ่งมีแพร่หลายมากประมาณ 700-800 ชนิด (Bailey และ Steyermark, 1976) ครามที่มีการปลูกเพื่อนำมาทำสีย้อมมีชื่อพฤกษศาสตร์ คือ *Indigofera tinctoria* linn. *Indigofera arrecta* Hochst และ *Indigofera suffratisosa* Mill. ครามส่วนใหญ่ปลูกในเขตเก่าแก่ เช่น อินเดีย จีน แอฟริกาเขตร้อน ออสเตรเลีย อเมริกาเขตร้อน และอินดีสตะวันออก (Standley and Steyermark, 1964)

แหล่งกำเนิดครามอยู่ในประเทศอินเดียและได้แพร่ขยายไปยังประเทศอียิปต์ตะวันออกกลางและยุโรป (Gillow and Bernard, 1994) ในแถบเอเชีย ประเทศจีนและญี่ปุ่นมีการปลูกและย้อมสีครามเช่นกัน ชื่อพันธุ์ว่าโพลีโกนัม (polygonum) แต่ชาวยุโรปให้ความนิยมสีครามที่มาจากประเทศอินเดียมากกว่า ซึ่งเป็นพันธุ์อินดิโกเฟรา ทิงทอเรีย (*Indigofera Tinctoria*) และในปัจจุบันประเทศอินเดีย ยังคงปลูกครามและมีธุรกิจสีครามที่เมืองกัตตัมปาลา (ลัดดา, 2537)

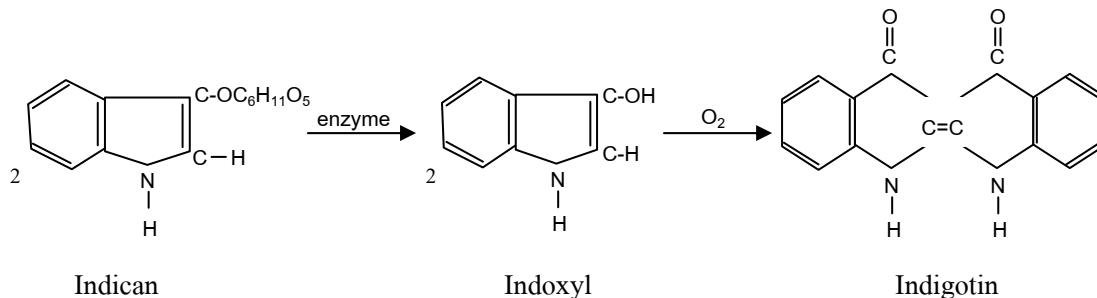
ครามเป็นพืชล้มลุกชนิดหนึ่งอยู่ในตระกูลถั่ว เป็นไม้พุ่มขนาดเล็กลำต้นสูงประมาณ 100 - 160 เซนติเมตร ลักษณะใบครามเป็นใบประกอบแบบขนนก มีใบย่อยตั้งแต่ 3-19 ใบ ขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ ใบคล้ายใบมะขาม ดอกของครามมีลักษณะเป็นช่อดอกที่ติดเรียงกันแน่นแบบ Raceme ออกดอกตามโคนก้านของใบ สีของดอกจะแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์ แต่ละดอกประกอบด้วย 4 กลีบ กลีบดอกคล้ายดอกถั่ว ช่อดอกยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร ฝักคล้ายถั่วเขียว แต่ขนาดเล็กกว่า ยาวประมาณ 3 เซนติเมตร ฝักจะออกแน่นจำนวนมากเป็นกลุ่ม ฝักชี้ลงล่าง เมื่อฝักแก่จะแตกออกมีเมล็ดกลมสีเขียวอมเหลือง รูปทรงกระบอกขนาดประมาณ 2 x 1.5 มิลลิเมตร จำนวน 8-10 เมล็ด ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ดปลูกขึ้นง่าย หรือใช้วิธีการตอนกิ่ง ซึ่งครามปลูกขึ้นได้ดีในที่ดอนและที่มีแสงแดดเต็มที่จะทำให้เจริญเติบโตได้ดี (บุญญา, 2540; ปิยชาติ, 2540)

ครามที่ปลูกในประเทศไทยมีประมาณ 13 พันธุ์ที่สำคัญ ได้แก่ *I.tinctoria* *I.arrecta* *I.suffratisosa* เป็นต้น (วนิดา และคณะ, 2531) ครามอาจแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ 2 ประเภท คือ ครามบ้านและครามป่า ซึ่งครามบ้านจะนำมาทำสีย้อม พันธุ์ที่ปลูกมี 2 พันธุ์ คือ พันธุ์หนักหรือพันธุ์ปี และพันธุ์เบาหรือพันธุ์ค้อ ซึ่งต้นจะเล็กกว่าพันธุ์หนัก จึงนิยมปลูกพันธุ์หนักเพราะมีใบมากกว่า (ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคเหนือ, 2528)

## สารให้สีคราม

สีอินดิโกเป็นสีประเภทสีแฉก ซึ่งมีคุณสมบัติสำคัญ คือ เป็นสารประกอบอินทรีย์ ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ ประกอบด้วยสารอินดอกซิล กลูโคส (indoxyl glucoside) อินดิคาน (indican) อินดิรูบิน (indirubin) อินดิโก-บราวน์ (indigo-brown) อินดิโก กลูติน (indigo glutin) และแร่ธาตุต่าง ๆ (โมโตอิ และคณะ, 2530)

เมื่อนำต้น-ใบครามมาสกัดสีโดยการแช่-หมัก อินดิคานจะเปลี่ยนเป็นอินดอกซิล โดยปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้น้ำเป็นสีเขียวปนเหลือง เมื่ออินดิคานเกิดไฮโดรไลซิสสมบูรณ์แล้ว แยกน้ำที่ได้นามากวนให้ออกซิไดส์กับอากาศ อินดอกซิลจะก่อรูปเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำ เป็นสีน้ำเงิน รู้จักกันทั่วไปว่า อินดิโก บลู มีโครงสร้างเป็นอินดิโกติน ซึ่งอินดิโกที่ได้จากธรรมชาติมักไม่ค่อยบริสุทธิ์ จะมีสารอินดิรูบิน และอินดิโกบราวน์ รวมอยู่ด้วยและมีปริมาณไม่เท่ากัน เวลาใช้ย้อมจึงได้สีไม่คงที่ (โมโตอิ และคณะ, 2530) ภาพที่ 4 แสดงปฏิกิริยาการเกิดสารให้สีอินดิโกติน



ภาพที่ 4 ปฏิกิริยาการเกิดสารให้สี Indigotin

ที่มา : โมโตอิ และ คณะ (2530)

## การสกัดและแยกสีคราม

ไพศาล และคณะ (2543) ได้กล่าวถึง การสกัดสีจากครามโดยกรรมวิธีการหมัก ดังนี้

สีคราม ได้จากการนำต้นครามมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิห้องหรือในน้ำอุ่น จนกระทั่งเกิดการหมัก (fermentation) ในระหว่างการหมักจะเกิดการไฮโดรไลซิสของอินดิคานที่อยู่ในต้นและไบครามโดยเอนไซม์ จากนั้นแยกเอากากของต้นครามออก แล้วเติมอากาศเข้าไปในน้ำที่ได้จากการหมักโดยการตีให้เป็นฟองเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างน้ำหมักกับอากาศ ในช่วงนี้สีของน้ำหมักจะเปลี่ยนจากสีเขียวเหลืองเป็นสีน้ำเงินเข้ม ซึ่งสารให้สีจะตกตะกอนอยู่ก้นหมัก เมื่อได้สารให้สีมากพอจะแยกน้ำใสส่วนบนออกแล้วเติมกรดซัลฟูริกเจือจางลงไปเพื่อหยุดปฏิกิริยาล้างต่อด้วยน้ำ แล้วกรองแยกเอาเฉพาะส่วนที่เป็นของแข็งซึ่งเป็นส่วนที่ให้สีคราม พร้อมทั้งจะนำไปใช้เตรียมน้ำย้อมต่อไป

## การสกัดและแยกสีครามแบบพื้นบ้าน

การทำเนื้อสีคราม (indigo paste) แบบพื้นบ้านตามวิธีของนางชีตา จันทรเพ็งเพ็ญ บ้านนาดี จังหวัดสกลนคร แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การแช่-หมักคราม การกวน-ตีคราม และการเก็บคราม มีวิธีการดังนี้ (ศิริพันธ์, 2543)

1. การแช่ - หมักคราม โดยการนำต้นหรือไบครามมัดเป็นก้อนๆ เรียงใส่โอ่งดินเผา โดยไม่เรียงชิดแน่นเกินไป ใส่ น้ำสะอาดที่ผ่านการตกตะกอนล้างคืนพอท่วมคราม หรือใช้อัตราส่วนครามต่อน้ำเท่ากับ 3 กิโลกรัม ต่อน้ำ 2 ลิตร ปิดด้วยผ้าที่ระบายอากาศได้ เมื่อครบ 12 ชั่วโมง ให้พลิกกลับก้อนครามหมักต่ออีก 1 คืน ในระหว่างนี้จะเกิดฟองผุดขึ้นตลอดเวลา น้ำครามจะเป็นสีเขียวอมเหลือง และค่อนข้างมีกลิ่นเหม็น การแช่-หมัก จะต้องทำให้ครบ 1 วัน กล่าวคือ ถ้าแช่เวลาใดก็ต้องนำไปกวน - ตีครามในเวลาเดียวกันของอีกวัน

2. การกวน - ตีคราม หลังจากแช่หมักครามได้ที่แล้ว ให้บีบคั้นไบครามแยกออกไปทิ้งเหลือไว้แต่น้ำที่หมักคราม ซึ่งจะนำมากวนต่อไปโดยใส่ปูนขาวหรือปูนกินหมากสีขาว เพื่อเป็นสารช่วยตกตะกอนและยังช่วยดับกลิ่นจากการหมัก ใช้มือกวนปูนขาวกับน้ำครามให้ทั่ว จะได้ลักษณะน้ำสีเขียวอมขาวขุ่น จากนั้นตีน้ำครามโดยใช้ตะกร้าหรืออุปกรณ์ดักปลา เป็นไม้ไผ่สานห่าง ๆ รูปกรวย การใส่อุปกรณ์ตีครามกระทำโดยวิธียกขึ้น - ลงถี่ ๆ บริเวณผิวน้ำ

ทำให้เกิดฟองเมื่อน้ำครามสัมผัสกับอากาศ ดิจนฟองละเอียดอยู่ตัวไม่แตกง่าย เมื่อสัมผัสอากาศ มีสีน้ำเงิน เมื่อได้ฟองสีครามเข้มได้ที่แล้วให้หยุดตีน้ำครามสังเกตที่ฟองจะแตก และขยิบตัวลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่าการตีครามได้ผลดี โดยทั่วไปจะใช้เวลาตีครามประมาณ 5-10 นาที ถ้าตีครามแล้วฟองเป็นสีขาวและแตกเร็ว แสดงว่า ปูนขาวมากเกินไป

3. การเก็บคราม หลังจากตีครามได้ผลดีแล้ว ปล่อยให้พักรอให้สีตกตะกอนประมาณ 2-3 ชั่วโมง ครามจะแยกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนบนเป็นฟองสีครามที่ขยิบตัวแล้ว ส่วนถัดไปเป็นน้ำใสสีเหลืองจัด และส่วนล่างสุดเป็นเนื้อสีครามมีลักษณะเป็นแป้งข้น ๆ หรือโคลนเหลว ๆ สีน้ำเงินรินส่วนน้ำใสทิ้งไปเหลือไว้แต่เนื้อคราม ซึ่งสามารถนำไปใช้ผสมเป็นน้ำย้อมผ้าได้เลย หรือนำไปใส่โอ่งใหญ่เก็บไว้เพื่อแบ่งใช้ต่อไป ซึ่งจะเก็บได้นาน 2-3 ปี โดยระหว่างเก็บต้องระวังไม่ให้ผิวหน้าครามแห้งเกินไป ถ้าแห้งให้เติมน้ำหรือน้ำค้างที่ส่วนบนไว้ ครามที่เก็บแบบนี้เรียกว่า ครามเปียก (indigo paste) เป็นวิธีที่นิยม และนำไปก่อหม้อครามหรือเตรียมน้ำย้อมได้ผลดี

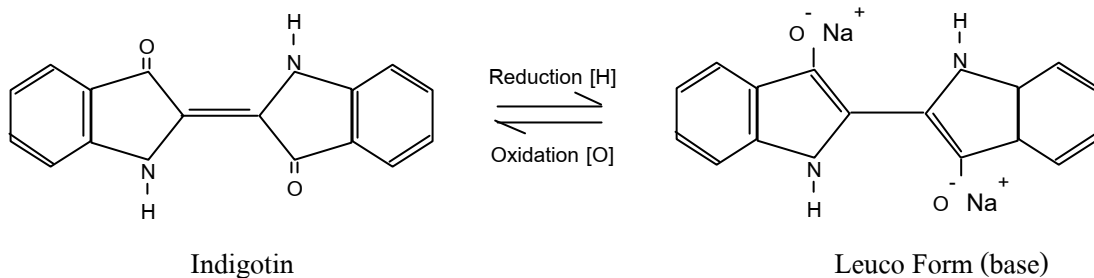
ในบางท้องถิ่นแถบจังหวัดสุรินทร์ นิยมเก็บครามไว้ในรูปครามแห้ง ซึ่งทำได้โดยหลังจากที่รินน้ำใสส่วนบนออก เหลือแต่ตะกอนเนื้อคราม ให้นำตะกอนครามใส่ผ้ากรองน้ำออกให้หมด แล้วนำเนื้อครามที่ได้ปั่นเป็นก้อนขนาดก้อนสมุนไพรไปตากแดดจะได้ครามแห้ง (indigo cake) ซึ่งก่อนนำมาใช้ต้องตำครามให้ละเอียดเสียก่อน ครามแห้งนี้สามารถเก็บไว้ได้นานเท่าไรก็ได้ (พุลทรัพย์ และคณะ, 2541)

### หลักการย้อมสีครามธรรมชาติ

การย้อมสีคราม (indigo dyes) เป็นวิธีเดียวกับการย้อมสีแวต ครามเป็นสีธรรมชาติที่ใช้กันมาแต่โบราณ ย้อมได้ทั้งใยเซลลูโลส และใยโปรตีน โดยนำต้นครามไปหมักกับด่างในถังไม้ (vat) จนกว่าจะได้น้ำสีออกมาก็แยกน้ำสีไปย้อมต่อไป การหมักในถังไม้เรียกว่า vatting และปัจจุบันได้เรียกชื่อสีที่มีโครงสร้างคล้ายกับสีครามและวิธีการย้อมคล้ายกันว่า สีแวต (vat dyes) ซึ่งการละลายสารประกอบลิโกลของสีครามสังเคราะห์ด้วยสารรีดิวซ์ที่เหมาะสม เรียกว่า vatting

สีแวตมีโครงสร้างโมเลกุลหลายแบบและซับซ้อน ประกอบด้วยหมู่คาร์บอนิล (carbonyl group) ซึ่งมีสูตรโครงสร้าง  $>C=O$  อย่างน้อย 1 หมู่ เมื่อทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์จะรวมกับไฮโดรเจนเปลี่ยนเป็นสารประกอบลิโกล ซึ่งประกอบด้วยหมู่  $>C-OH$  โดยหมู่คาร์บอนิล  $>C=O$  จะถูกรีดิวซ์เป็นหมู่ไฮดรอกซิล  $>C-OH$  ในสถานะที่เป็นสารละลายต่างเกิดเป็นรูปเกลืออัลคอกไซด์

(alkoxides) และเมื่อถูกกับอากาศเกิดการออกซิไดส์จะเปลี่ยนกลับเป็นสีที่ไม่ละลายน้ำดังสมการในภาพที่ 5



### ภาพที่ 5 ปฏิกริยาการย้อนกรรม

ที่มา : Trotman (1984)

โครงสร้างทางเคมีของสีครามสามารถแบ่งออกเป็น 2 หมู่ใหญ่ ๆ คือ

1. หมู่สีอินดิโก หรือ อินดิโกย (indigo หรือ indigoid)
2. หมู่สีแอนทราควิโนน (anthraquinone)

สารประกอบลิควิดของอินดิโก จะมีสีเหลืองอ่อน ๆ ละลายในสารละลายต่างอ่อนและสารประกอบลิควิดของแอนทราควิโนนจะมีสีน้ำเงิน ซึ่งละลายได้เฉพาะในสารละลายต่างแก่

ขั้นตอนในการย้อมสีครามมี 4 ขั้นตอน คือ (สกวรัตน์, 2543)

1. การเตรียมสีครามหรือสารละลายโซเดียม ที่ได้จากสารประกอบลิควิด (vatting)
2. การแช่ (impregnation) เส้นใยในสารประกอบลิควิด (dyeing)
3. การออกซิเดชัน (oxidation) สารประกอบลิควิด ในเส้นใยให้กลับเป็นสีไม่ละลายน้ำ (insoluble pigment)

4. ปฏิบัติการหลังการย้อม (after treatment) ในขั้นนี้จะนำผ้าที่ย้อมแล้วมาจัดโมเลกุลของสีที่เกาะหลวม ๆ รอบเส้นใยออก เพื่อปรับปรุงความคงทนต่อการซักและเพื่อให้ได้สีที่แท้จริง

โมโตอิ และ คณะ (2530) กล่าวสรุปถึงการย้อมสีอินดิโกว่าทำได้ 2 วิธี คือ

1. การย้อมแบบหมัก (fermentation vat) ซึ่งใช้แบคทีเรียชนิด บาซิลลัส (bacillus) เช่น บาซิลลัส แอลคาไลไฟล์ตัส (bacillus alkaliphylus) มาทำการหมัก การเจริญเติบโตของบาซิลลัสจะถูกควบคุมด้วยสภาวะแวดล้อม ฉะนั้นในบางครั้งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นอาจไม่สม่ำเสมอ ซึ่งต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ย้อมในการควบคุมสภาวะและสีของฟองระหว่างการหมักให้เหมาะสม

2. การย้อมแบบใช้สารเคมี (chemical vat) ซึ่งเป็นสารรีดิวซ์ เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ทำให้สามารถควบคุมสภาวะในการย้อมได้ง่าย ปัญหาการย้อมค้างจะเกิดขึ้นยากกว่าการย้อมแบบหมักเพราะมีสารเจือปนอยู่น้อย แต่ต้องระวังการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับอากาศ ซึ่งจะทำให้ความเข้มของสีลดลง

### การย้อมฝ้ายและไหมด้วยสีครามธรรมชาติ

การย้อมฝ้ายด้วยสีครามธรรมชาติแบบพื้นบ้าน

#### 1. การเตรียมน้ำสีคราม

การเตรียมน้ำสีครามแบบพื้นบ้านมีหลายวิธี ส่วนผสมที่ใช้ต่างกันบ้างตามความเชื่อและสิ่งแวดล้อมของแต่ละท้องถิ่น อย่างไรก็ตาม หม้อครามแต่ละถิ่นจะมีหลักการในการเตรียม (ก่อหม้อ) ที่คล้ายคลึงกัน ดังตัวอย่างของบ้านนาดี อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร ซึ่งมีวิธีการเตรียมน้ำสีครามแบบพื้นบ้าน ดังนี้ (ศิริพันธ์, 2543)

1.1 ส่วนผสมที่ใช้ในการเตรียมน้ำย้อม ได้แก่ ครามเปียก ปูนขาว น้ำค้าง และน้ำสะอาด

1.2 วิธีการทำน้ำคราม น้ำครามเปียก น้ำค้าง และปูนขาวใส่หม้อย้อม ซึ่งเป็นภาชนะดินเผาใส่น้ำสะอาดที่พักค้างคืนให้ตกตะกอนแล้วประมาณ 2 ลิตร คนให้เข้ากัน ส่วนผสมของ

น้ำข้อมควรอยู่ในระดับ 3 ใน 5 ส่วนของความสูงของหม้อข้อม ปิดปากหม้อด้วยผ้าที่อากาศผ่านได้ดี ถ้ามีหม้อครามเก่าที่ส่วนผสมใช้ได้แล้ว ก็ให้นำมาเติมประมาณ 50 มิลลิลิตร จะทำให้หม้อครามเป็นเร็วขึ้น พักส่วนผสมน้ำข้อมไว้ประมาณ 2 วัน คอยสังเกตสภาพของน้ำข้อมโดยดูจากสี น้ำข้อมที่ดีควรมีสีเหลืองจัดเหมือนสีมะเขือสุก พิจารณาโดยใช้ขันตักน้ำข้อมส่วนบนขึ้นมาแล้วเทกลับไป ในหม้อข้อมเหมือนเดิม (การ โจง) ทำเช่นนี้ 2-3 ครั้ง โดยสังเกตสีของน้ำข้อมขณะที่จะออกสีเหลืองจัดฟองจะเกาะอยู่ด้านบนผิวน้ำนานไม่แตกยุบง่าย การเตรียมน้ำข้อมให้มีสภาพที่เหมาะสม ในการข้อมจะใช้เวลา 3-7 วัน บางหม้ออาจใช้เวลานานเป็นเดือน กรณีสภาพน้ำข้อมใช้ไม่ได้ คือ สีอ่อนจาง จะปรับสภาพน้ำข้อมให้สมดุลได้โดยการใส่กล้วยสุกหม้อละ 1 ผล หรือเหล้าโรง ประมาณ 20 มิลลิลิตร ใส่มะขามเปียก 1 ปั้น เปลือกไม้เพกา 1 แผ่น ขนาดขึ้นเท่าฝ่ามือเดิม เนื้อครามครั้งละประมาณ 100-150 มิลลิลิตร การเติมอะไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของน้ำข้อม ซึ่งผู้ชำนาญหรือผู้มีประสบการณ์มานานจะสังเกตการเปลี่ยนแปลงได้ ถ้าน้ำข้อมรสเค็มไปน้ำ จะมีสีคล้ำ อาจแก้ไขได้โดยเติมน้ำต้มใบและเปลือกสมอและใบเหมือดแเอ ซึ่งมีสีเหลืองและมีฤทธิ์ เป็นกรด ช่วยปรับสภาพน้ำข้อมให้เหมาะสมในการข้อมได้

## 2. การข้อมคราม

ผ้าข้อมครามหรือที่ชาวอีสานนิยมเรียกกันว่า “ผ้าข้อมหม่อนิล” หรือ “ผ้าจุ่มหม่อนิล” ซึ่งมีกรรมวิธีการผลิตที่ใช้เวลาเตรียมการข้ามปี เป็นเทคนิคเฉพาะตัวตามแต่ที่สืบทอดกันมา และการฝึกหัดหาความชำนาญ เคล็ดลับในการข้อม ไม่มีการบันทึกเป็นลายลักษณ์อักษร ต้องอาศัย การฝึกฝนจดจำจากคำบอกเล่า ยกตัวอย่างเช่น การข้อมครามตามวิธีของ นางจันทา จันทร์เพ็งเพ็ญ บ้านนาดี อำเภอพรรณานิคม จังหวัดสกลนคร ซึ่งบอกเล่าว่าหลังจากก่หม้อนิลแล้วจะได้สีครามพร้อมข้อม หรือถ้ายังไม่แน่ใจให้ทดลองนำเส้นด้ายเปียกน้ำจุ่มลงไป ในหม้อนิล และยกขึ้นสังเกตเห็นสีน้ำเงินบนเส้นด้ายแสดงว่าพร้อมข้อมให้เตรียมผ้าหรือเส้นด้ายที่จะข้อมมาทำ ความสะอาดโดยการนำไปแช่และขยักกับน้ำ ใช้ไม้ผิวน้ำเรียบทูปผ้าและเส้นด้ายเปียกกับพื้น หลาย ๆ ครั้ง ซึ่งเรียกว่า “การฆ่าผ้า” จากนั้นแช่ผ้าไว้หนึ่งคืน แล้วจึงนำมาซักให้สะอาดบิดให้หมาดที่สุดเท่าที่ทำได้ แล้วนำไปขยักกับสีครามในโอ่ง ขยักเส้นด้ายไปตามแนววงเพื่อป้องกันผ้าพันกัน ขยักนานประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปบิดให้หมาด ผ้าหรือเส้นด้ายจะมีสีเขียวอมเหลือง กระตุกผ้าหรือเส้นด้ายให้ตึง สีครามเมื่อถูกอากาศจะค่อย ๆ เปลี่ยนไปเป็นสีน้ำเงินภายใน 2-3 นาที สีจะเข้มคงที่ หากสียังไม่เข้มพอให้นำไปข้อมในหม้อนิลหม้อใหม่อีก ทำซ้ำ ๆ ประมาณ 6-10 ครั้ง จะได้มีสีน้ำเงินเข้ม (กำพล, 2544)

### 3. การเติมหม้อคราม

หลังการย้อมผ้าทุกครั้ง จะเติมเนื้อครามและน้ำซึ่เข้าสัดส่วน 1:1 และปูนขาวอีกเล็กน้อย ให้พอดีกับปริมาณครามที่ถูกล้างไป ทิ้งไว้ราว 6-8 ชั่วโมง จะให้สีสำหรับย้อมผ้าอีก ดังนั้น ครามหนึ่งหม้อสามารถย้อมผ้าได้ 2 ครั้ง คือ เข้ากับเย็นและทำติดต่อกันได้นาน 2-3 ปี โดยไม่ต้อง ก่อหม้อชนิดอีก

### การย้อมใหม่ด้วยสีครามแบบพื้นบ้าน

#### 1. การก่อหม้อคราม

การก่อหม้อครามนั้นจะมีกรรมวิธีในการก่อหลายแบบ ส่วนผสมที่ใช้ก็แตกต่างกัน ตามความเชื่อและสิ่งแวดล้อมของแต่ละท้องถิ่น การก่อหม้อครามสำหรับย้อมเส้นฝ้ายจะมีลักษณะ แตกต่างจากหม้อครามสำหรับใช้ย้อมไหม แต่อย่างไรก็ดี หม้อครามของแต่ละท้องถิ่นจะมีหลักการ ในการก่อที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้น ในที่นี้จึงเสนอการก่อครามสำหรับย้อมไหมที่ใช้แพร่หลายใน กลุ่มเชื้อสายเขมร ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงวิธีการก่อหม้อครามของ นางนา สายแก้ว จากบ้านนาแห้ว ต.สวาย อ.เมือง จ.สุรินทร์ และนาง เบียน ภูมิสุข บ้านนาตัง ต.เขวาสินรินทร์ อ.เมือง จ.สุรินทร์ (พุลทรัพย์, 2541)

ส่วนผสมที่ใช้ในการก่อหม้อคราม ได้แก่

#### 1.1 ครามเปียก

1.2 น้ำมดแดง ซึ่งได้จากการนำตัวมดแดง ประมาณ 1 รั้งใหญ่และใบตมุง (ตมุง-ภาษา เขมร โมง-ภาษาอีสาน ชะมวง-ภาษากลาง Gareima-ภาษาอังกฤษ) ประมาณ 300 กรัม มาต้ม เข้าด้วยกันให้เดือดประมาณ ครึ่งชั่วโมงแล้วยกทิ้งให้เย็น

1.3 น้ำค้างที่ใช้สำหรับฟอกไหม ซึ่งได้จากเปลือกงิ้วหรือเปลือกมะพร้าวที่รสไม่เค็มจัด ในขั้นของการก่อหม้อครามนั้นใช้คราม 4 ทัพพี ขนาดกลาง (ประมาณ 360 กรัม) ค่าง 1 กระป๋อง นม (ประมาณ 1 ลิตร) คนให้เข้ากันแล้วนำอ่างครามไปตั้งตากแดดไว้บนท่อนไม้ให้สูงจากพื้นดิน เพราะถ้าตั้งไว้บนพื้นดินจะทำให้หม้อครามเย็น บริเวณที่ตั้งหม้อครามจะต้องเป็นบริเวณที่แดด

ต้องถึงสม่ำเสมอ ในวันต่อ ๆ มากี่ให้น้ำคราม น้ำค้าง และน้ำมดแดงมาเติมหม้อครามอีกโดยเติม ครามประมาณ 1 ทัพพี น้ำมดแดง และน้ำค้าง เติมอีกประมาณ 1/4 กระจบอง หรืออาจเติมน้ำมดแดง วันละนิดหน่อย ประมาณ 1/6 กระจบอง เติมสักประมาณ 3 วันก่อนก็ได้จึงจะเติมน้ำค้างเพราะใน ช่วงแรกของการก่หม้อครามนั้น หม้อครามควรจะมีรสเปรี้ยวมากกว่ารสเค็ม ถ้ามีหม้อครามเก่า ใ้ใช้แล้วให้นำน้ำครามเก่าที่นั้นมาเติมลงไปประมาณ 1 ทัพพี จะช่วยให้หม้อคราม เป็นเร็วขึ้น การเติมน้ำค้างหรือน้ำส้มและครามนั้น มีอัตราส่วนที่ไม่แน่นอนตายตัวลงไป ผู้ก่อจะต้องสังเกตจากสภาพ ของหม้อครามว่าเป็นอย่างไร ถ้าหม้อครามมีสีเขียวเหมือนสีขี้ไก่อ่อน (เขียวน้ำเงิน) แสดงว่า หม้อครามอยู่ในสภาพดี ระยะเวลาที่ใช้เติมส่วนผสมต่าง ๆ จนหม้อครามใช้ข้อมได้นี้ประมาณ 9-10 วัน ผู้ก่อจะรู้ว่าหม้อครามใช้ข้อมได้หรือไม่ นั้น สังเกตได้จาก

1.3.1 ฟองหรือที่ชาวบ้านเรียกว่า ปลวก ซึ่งได้จากการคนและการตักน้ำคราม ขึ้นมา เทกลับลงไปในอ่างเหมือนเดิม (การ โຈก) จะเกาะอยู่ด้านบนของหม้อครามนานไม่แตก ไปง่าย ๆ

1.3.2 ด้านบน ของหม้อครามจะเกิดเป็นฝ้าสีน้ำเงินเข้มอยู่เต็มหน้าหม้อ

1.3.3 น้ำครามจะมีสีเขียวเหมือนขี้ไก่อ่อน (เขียวน้ำเงิน) แต่ถ้าหม้อครามเป็นแล้ว และต่อมาน้ำในหม้อเปลี่ยนจากสีเขียวน้ำเงินไปเป็นสีเหลือง หรือสีเหลืองเทา ๆ ก็แสดงว่า หม้อครามกำลังจะเสียไปแล้ว ให้เติมมดแดงและน้ำค้างลงไปเพื่อแก้ไขให้หม้อครามดีเหมือนเดิม

## 2. การชุบคราม

การชุบคราม จะกระทำกลางแดดเพื่อให้สีติดดี ซึ่งสามารถเลือกข้อมในช่วงเช้า หรือบ่ายก็ได้ (กำพล, 2544) หลังจากนำหม้อครามตากแดดและอุณหภูมิในหม้อเพิ่มสูง จนรู้สึก อุ่นมือให้ค่อย ๆ รินน้ำครามออกจากอ่างใส่กะละมังหรือภาชนะอื่น ๆ ที่ใช้เป็นที่ชุบคราม ขณะที่ รินจะต้องคอยระวังไม่ให้ตะกอนครามติดออกมา เมื่อได้น้ำครามแล้วให้นำเส้นไหม ซึ่งชุบน้ำเปียก ดีแล้วไปชุบในหม้อคราม ค่อย ๆ บีบ ใ้ให้น้ำครามไหลกลับลงไป ในหม้อครามดังเดิม ถ้าเสียดาย น้ำครามที่อาจจะติดอยู่กับกะละมัง ก็ใ้ใ้ใช้น้ำมดแดงล้างกะละมังให้สะอาด แล้วเทคืนกลับ หม้อครามก็ได้

การตากเส้นไหมนั้น จะตากไว้กลางแจ้งจนข้ามคืน เรียกว่า ตากแดดตากหมอก จึงจะนำมาชุกรวมต่อในวันรุ่งขึ้นจนกว่าจะใช้ได้ ซึ่งถ้าต้องการสีน้ำเงินเข้มอาจต้องชุกรวมถึง 6-7 ครั้ง จึงจะได้สีตามที่ต้องการ ซึ่งใช้เวลาหลายวันจึงพบว่าเจ้าของหม้อครามจะก่อครามไว้ใช้ทีละหลาย ๆ หม้อ ดังนั้นในวันหนึ่งอาจจะชุกรวมหม้อครามทีละ 3 หม้อก็จะทำให้ระยะเวลาในการชุกรวมสั้นลง

นอกจากการชุกรวมให้ได้เส้นไหมสีครามแล้ว ยังสามารถชุกรวมให้ได้สีอื่น ๆ อีกด้วย เช่น ถ้าต้องการสีเขียวให้ย้อมไหมด้วยประโหดแล้วนำมาชุกรวมในหม้อครามก็ได้สีเขียว หรือถ้าต้องการสีม่วง หรือสีแดงคล้ำ ก็ให้นำเส้นไหมไปย้อมครั้งให้ได้สีแดงเสียก่อน แล้วจึงนำไปชุกรวม ก็จะได้สีม่วงหรือสีแดงคล้ำตามที่ต้องการ เมื่อได้เส้นไหมสีต่าง ๆ แล้วให้นำเส้นไหมไปล้างน้ำมดแดง แต่ถ้าไม่มีน้ำมดแดงก็ใช้น้ำธรรมดาแทนได้ และถ้ามีน้ำมะพร้าวให้นำมาใช้ล้างเป็นขั้นสุดท้ายจะทำให้เส้นไหมมีสีสวยงามเป็นเงายิ่งขึ้น

### 3. การเติมหม้อคราม

ถึงแม้ว่าหม้อครามจะเป็นแล้วและสามารถนำเส้นไหมมาชุกรวมได้ แต่ก็จะต้องเติมส่วนผสมเพิ่มอย่างต่อเนื่อง ไม่เช่นนั้นหม้อครามจะเสียไป มีผู้กล่าวถึงลักษณะเช่นนี้ของหม้อครามว่า หม้อครามนั้นเปรียบเหมือนคนมีชีวิตจิตใจ เมื่อทำงานเสร็จแล้ว (ชุกรวมหม้อครามแล้ว) ก็ต้องกินอาหารเปรี้ยว หวาน เค็ม เพิ่มเติม (หมายถึง เนื้อคราม น้ำมดแดง และด่าง) ดังนั้นเมื่อชุกรวมแล้ว ก็จะต้องเติมส่วนผสมไปในหม้ออีก ที่บ้านนาแห้วนี้เจ้าของจะเติมส่วนผสมต่าง ๆ ในตอนสาย เมื่อเริ่มมีแดด คือ ประมาณ 9.00-10.00 น. การเติมจะต้องเติมน้ำมดแดงและน้ำด่างทุกวัน วันละประมาณ 1/3 - 1/2 กระป๋อง ส่วนครามนั้น เติมน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับความถี่ในการนำหม้อครามไปใช้ ถ้าหม้อครามใช้ย้อมมากก็ต้องเติมครามบ่อย ๆ แทบจะทุกวัน แต่ถ้าหม้อครามไม่ใช้ย้อมมาก อาจจะเติมคราม 2-3 วันละครั้งก็ได้ อย่างไรก็ตามผู้ก่อหม้อครามจะต้องสังเกตสีของหม้อคราม ฟองและฝ้าที่เกิดขึ้นอยู่เสมอ ๆ ถ้ามีสิ่งใดผิดปกติต้องนำส่วนผสมต่าง ๆ มาทดลองใส่ลงไปจนกว่าหม้อครามจะเป็น นอกจากนั้น ยังพบว่าในช่วงที่หม้อครามต้องใช้ย้อมมากเจ้าของอาจจะเติมเหล้าขาวลงไปประมาณ 1 เป๊ก (53 มิลลิลิตร) ก็จะช่วยให้หม้อครามไม่เสียไปง่าย

ในกรณี ที่หม้อครามเป็นแล้วแต่ไม่ได้ใช้ย้อมก็ให้ตั้งหม้อทิ้งไว้อย่างนั้น แต่ต้องคอยสังเกตไม่ให้หม้อครามแห้ง ถ้าหม้อครามแห้งจะต้องคอยเติมน้ำด่างไว้เสมอ ๆ เวลาที่ต้องการย้อมก็ให้นำหม้อครามที่เก็บไว้ไปตากแดดและเติมคราม น้ำมดแดง ด่าง อีกสักระยะหนึ่งหม้อครามก็จะกลับ

เป็นขึ้นมาใหม่ใช้ซ่อมเส้นไหมได้อีก การดูแลรักษาหม้อครามในลักษณะนี้อาจช่วยให้เก็บหม้อครามไว้ได้นาน 2-5 ปี

## ระบบการวัดสีและการทดสอบความคงทนของสี

### ระบบการวัดสี

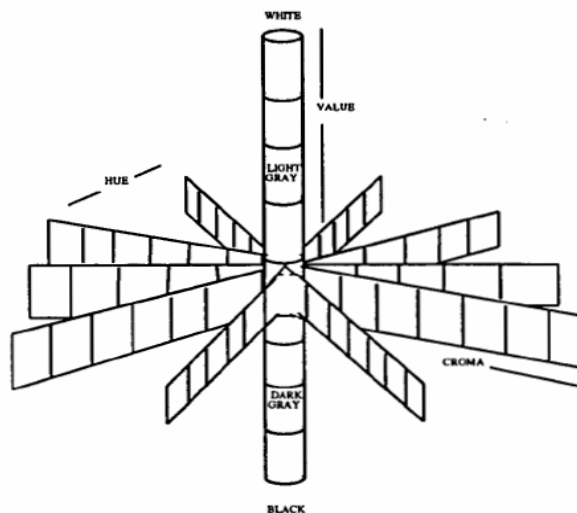
สีที่ตาเรามองเห็นมีมากมายหลายสีจึงมีความจำเป็นต้องมีระบบจัดลำดับสีให้เป็นระเบียบ เพื่อให้ผู้ใช้สีสามารถสื่อสารแล้วเข้าใจความหมายของสีได้ตรงกัน มีการกำหนดค่าสีเป็นปริมาณที่วัดได้เพื่อนำไปประเมินค่าเป็นตัวเลขที่แน่นอน ระบบการวัดสีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในที่นี้มี 2 ระบบ คือ ระบบ Munsell และระบบ CIE (สิริรัตน์, 2540)

1. ระบบ Munsell เป็นระบบพื้นฐานในการจัดลำดับสีอย่างง่าย โดยอาศัยคุณสมบัติการมองเห็น 3 ประการ ได้แก่

1.1 Hue คือ สีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีแดง สีเขียว เป็นต้น โดยจะเรียงเป็นเส้นรอบวงกลมอยู่โดยรอบแกน Value มีทั้งหมด 10 สี คือ แดง (R) แดงเหลือง (YR) เหลือง (Y) เหลืองเขียว (GY) เขียว (G) เขียวน้ำเงิน (BG) น้ำเงิน (B) น้ำเงินม่วง (PB) ม่วง (P) ม่วงแดง (PR) แต่ละสีจะแบ่งเป็น 10 สีย่อย ดังในภาพที่ 6

1.2 Value (lightness) หมายถึงความสว่างของสีโดยกำหนดค่าความสว่างตามแนวตั้ง โดยสีขาวจะอยู่ที่ปลายบนสุดของแกน สีดำจะอยู่ปลายล่างสุด ดังในภาพที่ 6

1.3 Chroma (saturation) หมายถึงความเข้ม ความบริสุทธิ์ของสี โดยกำหนดค่าตามแนวนอน เริ่มต้นจากสีเทาใน Value หนึ่งๆ แล้วเพิ่มเนื้อที่มากขึ้น เรียงออกมาตามลำดับที่ปลายด้านนอกสุดจะเป็นสีที่มีความเข้มหรือความบริสุทธิ์สูงสุด ดังในภาพที่ 6 Chroma จะมีค่าตั้งแต่ 0 ไปถึง 12 หรือ 14 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าแต่ละสีจะสดที่สุดได้เท่าใด ณ ค่า Value คงที่หนึ่งๆ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ของการวัดลำดับสีระหว่าง Hue Chroma และ Value ตามระบบมันเซล

ที่มา : AATCC (1992)

ในระบบ Munsell กำหนดสีของวัตถุโดยใช้ตัวเลขและตัวอักษรในลักษณะ Hue Value และ Chroma เช่น หมายเลข 7.5 R 9/2 หมายถึง

- Hue 7.5 R เป็นสีแดงไปทางเหลือง
- Value 9 เป็นสีอ่อน (Light Color)
- Chroma 2 เป็นสีไม่อมตัว

ดังนั้น สีที่มีตัวเลขและตัวอักษรดังกล่าวจึงเป็นสีชมพูซีด (pale pink)

แม้ว่าระบบ Munsell จะสามารถสื่อความเหมาะสมของสีได้อย่างดี แต่ก็ยังมีข้อบกพร่องเนื่องจากการบอกลักษณะสีหรือจัดลำดับสียังคงใช้ความนึกคิดประสบการณ์ของผู้มองแต่ละคน ดังนั้นอาจทำให้การบอกลักษณะของสีแตกต่างกันได้

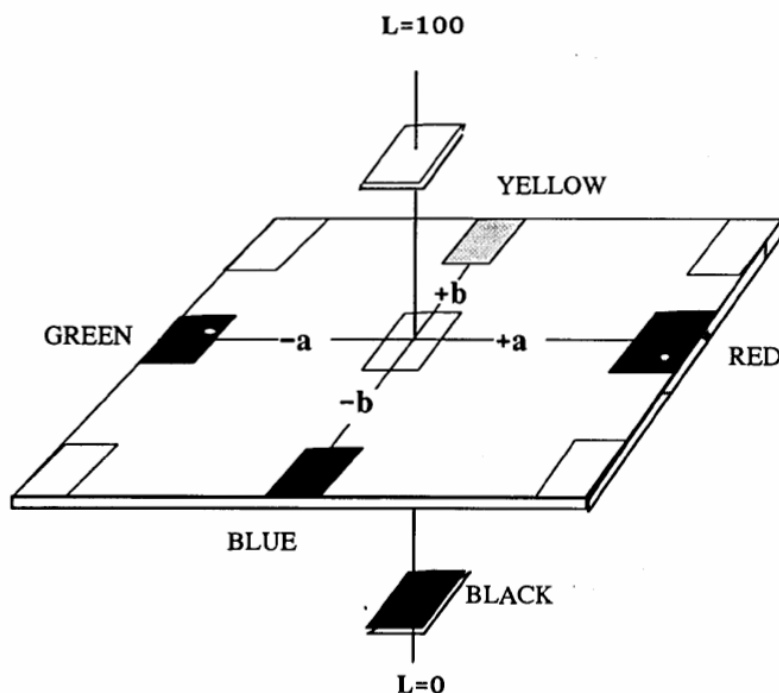
2. ระบบ CIE (CIELAB) เป็นระบบการวัดสีที่คำนึงถึงองค์ประกอบ 3 ประการ คือ

2.1 Light Source คือแหล่งกำหนดแสงมาตรฐาน เช่น A B C หรือ D 65

2.2 Color Object คือ วัตถุที่มีสี เมื่อแสงตกกระทบจะสะท้อนหรือกระจายแสงมาสู่ตา หรือเครื่องรับแสง

2.3 Observer คือ ผู้สังเกตการณ์ หรือเครื่องรับแสง

CIE  $L^* a^* b^*$  (CIELAB) เป็นระบบการวัดสีที่พัฒนาจากระบบ CIE Tristimulus Values ( $x, y$  และ  $z$ ) และ CIE Chromaticity Coordinates ( $x, y$  และ  $z$ ) โดยปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงจนสามารถบอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่ำเสมอ ปัจจุบันสมการที่ใช้ในการระบุสีเป็นที่ยอมรับกว้างขวาง คือ CIELAB 1976 ซึ่งมีลักษณะของ color space ดังในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 CIELAB 1976 แสดง  $L, a, b$  Color Space

ที่มา : AATCC (1992)

โดย  $L^*$  ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness) ของสี

ถ้า  $L^*$  มีค่าเท่ากับ 0 หมายถึง สีดำ

ถ้า  $L^*$  มีค่าเท่ากับ 100 หมายถึง สีขาว

- a\* ใช้กำหนดความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (Red-Green)  
 ถ้า a\* เป็นค่าบวก หมายถึง ความเป็นสีแดง  
 ถ้า a\* เป็นค่าลบ หมายถึง ความเป็นสีเขียว
- b\* ใช้กำหนดความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (Yellow-Blue)  
 ถ้า b\* เป็นค่าบวก หมายถึง ความเป็นสีเหลือง  
 ถ้า b\* เป็นค่าลบ หมายถึง ความเป็นสีน้ำเงิน

นอกจากนี้ในระบบ CIELAB ได้เชื่อมค่า “a” และค่า “b” เข้ากับ “Hue” และ “Chroma” โดยกำหนดค่าสีอีก 2 ค่า คือ Hue Angle (h\*) และ Chroma (C\*)

Hue Angle เป็นตัวเลขที่ระบุว่า สีอยู่ในตำแหน่งใดใน Colour Space มีหน่วยเป็นองศา

ถ้า h\* เท่ากับ 0 องศา (360 องศา) แสดงว่าเป็นสีแดง

h\* เท่ากับ 90 องศา แสดงว่าเป็นสีเหลือง

h\* เท่ากับ 180 องศา แสดงว่าเป็นสีเขียว

h\* เท่ากับ 270 องศา แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน

ส่วน Chroma จะได้จากความยาวของเส้นตรงจากจุดกำเนิดที่  $a^* = b^* = 0$  ไปยังตำแหน่งของตัวอย่าง C\* จะใช้บอกค่าความสดใสของสีที่ค่าคงความสว่างหนึ่งๆ

โดยทั่วไปในการระบุสีของวัตถุมีสีในระบบ CIELAB นั้น มักจะระบุด้วยค่า L\* C\* และ h\* มากกว่า L\* a\* b\* เนื่องจากจะทำให้เข้าใจและทราบลักษณะของสีได้ใกล้เคียงกับที่ตามนุษย์มองเห็นสี

### การวัดความแตกต่างของสี

การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานมีระบบมาตรฐาน ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ ระบบ CIE และระบบ CMC ซึ่งในที่นี้จะกล่าวถึงระบบ CIE L\* a\* b\* Color Difference Equation ดังนี้

ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ (2542) ได้สรุปไว้ว่า การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานสามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง-เขียว และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน คือ

$$\Delta L^* = L^* \text{ ของตัวอย่าง} - L^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน}$$

ถ้า  $\Delta L^*$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีความสว่างมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน  
(lighter)

ถ้า  $\Delta L^*$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีความมืดมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน  
(darker)

$$\Delta a^* = a^* \text{ ของตัวอย่าง} - a^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน}$$

ถ้า  $\Delta a^*$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีสีแดงมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน  
(Redder)

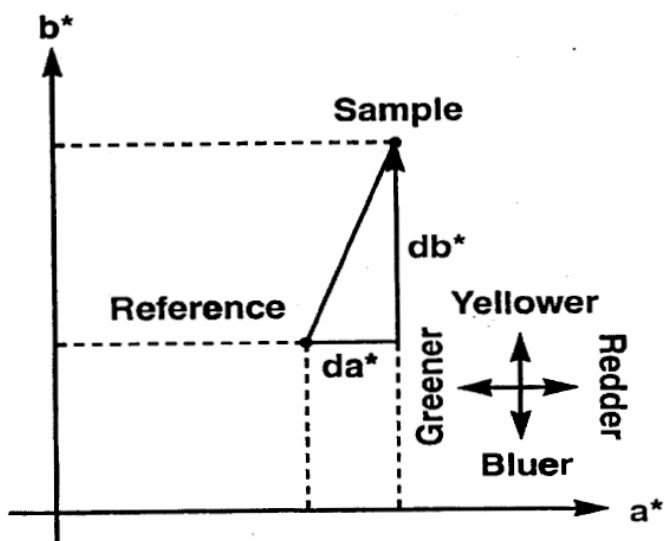
ถ้า  $\Delta a^*$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีสีเขียวมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน  
(Greener)

$$\Delta b^* = b^* \text{ ของตัวอย่าง} - b^* \text{ ของตัวอย่างมาตรฐาน}$$

ถ้า  $\Delta b^*$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีสีเหลืองมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน  
(Yellower)

ถ้า  $\Delta b^*$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีสีน้ำเงินมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน  
(Bluer)

ค่า  $\Delta a^*$  และ  $\Delta b^*$  ในระบบ CIELAB แสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงค่า  $\Delta a^*$  และ  $\Delta b^*$  ในระบบ CIELAB

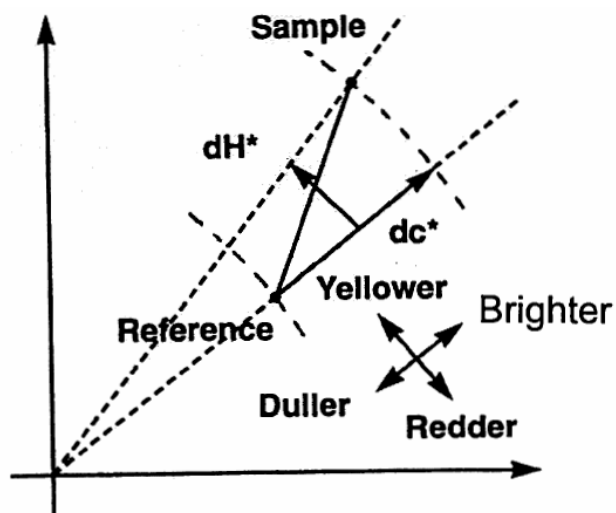
ที่มา : ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ (2542)

นอกจากจะบอกความแตกต่างด้วยค่า  $\Delta L^*$   $\Delta a^*$   $\Delta b^*$  แล้วยังกำหนดค่าความแตกต่างของสีโดยรวมระหว่างผ้าตัวอย่างและผ้ามาตรฐาน คือ ค่า  $\Delta E^*$  (Total Color Difference)

$$\text{โดย } \Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

นอกจากนี้การวัดยังบอกความแตกต่างของสีให้สอดคล้องหรือใกล้เคียงกับที่ตามองเห็นในแง่ของสีที่ปรากฏและความสดใสของสีได้จากค่า  $\Delta h^*$  และ  $\Delta c^*$  ดังภาพที่ 9

$$\text{โดย } \Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta c^{*2} + \Delta h^{*2})^{1/2}$$



ภาพที่ 9 แสดงค่า  $\Delta h^*$  และ  $\Delta C^*$  ในระบบ CIELAB

ที่มา : ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ (2542)

$\Delta c^* = c^*$  ของตัวอย่าง  $- c^*$  ของตัวอย่างมาตรฐาน

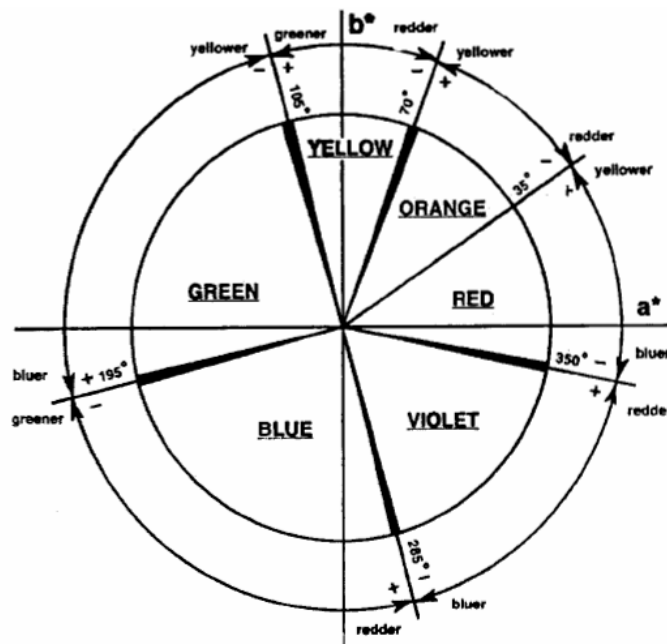
ถ้า  $\Delta c^*$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีความสดใสมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (brighter)

ถ้า  $\Delta c^*$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีความคุ่นมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (Duller)

สำหรับ  $\Delta h^* = h^0$  ของตัวอย่าง  $- h^0$  ของตัวอย่างมาตรฐาน จะแสดงความหมายการเปลี่ยนสี yellower, redder, bluer หรือ greener เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าค่า  $\Delta h^*$  นั้นมีค่าเป็นบวกหรือลบ และมีค่า Hue Angle อยู่ในตำแหน่งที่เท่าไร ยกตัวอย่างเช่น

ถ้า  $h^0$  อยู่ในช่วงสีแดง และ  $\Delta h^*$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าสีตัวอย่างมาตรฐาน (yellower) ถ้า  $\Delta h^*$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีความเป็นสีน้ำเงินมากกว่าสีตัวอย่างมาตรฐาน (bluer)

ถ้า  $h^\circ$  อยู่ในช่วงสีเขียว และ  $\Delta h^*$  มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีความเป็นสีน้ำเงินมากกว่าสีตัวอย่างมาตรฐาน (bluer) ถ้า  $\Delta h^*$  มีค่าเป็นลบ แสดงว่าสีฟ้าตัวอย่างมีความเป็นสีเหลืองมากกว่าสีตัวอย่างมาตรฐาน (yellower) ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงความหมายของ  $\Delta h^*$  ในระบบ CIELAB

ที่มา : ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ (2542)

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บุญญา (2540) ได้รายงานถึงการศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์และระยะเวลาเจริญเติบโตที่เหมาะสมของคราม โดยศึกษาช่วงอายุที่เหมาะสมของครามเพื่อสกัดสีธรรมชาติ จากการทดลองใช้คราม 3 สายพันธุ์ คือ CMIGC 95001-1 CMIGC 95001-2 และ CMIGC 95001-3 โดยใช้ทั้งใบและก้านใบของครามที่อายุ 2, 3, 4 และ 5 เดือน พบว่า ครามที่มีอายุ 3 เดือน ให้ความเข้มข้นของน้ำสีสูงสุด คือ 2.95 ppm. ต่อชิ้นส่วนที่สกัด 25 กรัม ในขณะที่ครามอายุ 2, 4 และ 5 เดือน ให้ความเข้มข้นของน้ำสีเพียง 1.5, 1.26 และ 1.21 ppm. ตามลำดับ

ไพศาล และ คณะ (2543) ได้ศึกษาพัฒนาเทคนิคการย้อมไหมด้วยสีธรรมชาติจากคราม และครั้ง ผลการศึกษามีดังนี้

1. การหมักใบครามที่อุณหภูมิ 30 40 และ 50 องศาเซลเซียส ต้องใช้เวลาไม่น้อยกว่า 18 15 และ 9.30 ชั่วโมงจึงจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดอย่างสมบูรณ์
2. การศึกษาจลนพลศาสตร์ของการย้อมเส้นไหมด้วยสีอินดิโก้ โดยนำไหม (1 ใจ หนัก 8 กรัม) ย้อมในน้ำครามเข้มข้น 0.1 g/l ในเครื่องย้อมที่อุณหภูมิ 33 40 และ 50 องศาเซลเซียส พบว่า เวลาที่ทำให้เส้นไหมดูดซับสีได้ปริมาณสูงสุด เท่ากับ 70 80 และ 90 นาที เมื่อย้อมเส้นไหมที่อุณหภูมิ 33 40 และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และยังพบอีกว่า การย้อมสีครามที่เกิดขึ้นบนเส้นไหมเป็นปฏิกิริยาแบบคายความร้อน ดังนั้นปริมาณสีที่เส้นไหมสามารถดูดซับได้สูงสุดนั้น จะแปรผกผันกับอุณหภูมิ
3. การศึกษาอุณหภูมิและเวลาในการย้อม โดยนำเส้นไหมย้อมที่อุณหภูมิ 33 40 และ 50 องศาเซลเซียส ด้วยช่วงเวลา 15 30 และ 45 องศาเซลเซียส พบว่า การย้อมที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และย้อมซ้ำ 6 ครั้งให้ผลดีที่สุดในการทดสอบค่าความคงทนของสีต่อการซักและต่อแสงซินอนอาร์ก

สกวรัตน์ (2543) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์และอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย้อมสีเส้นไหมด้วยครามธรรมชาติ โดยนำใบครามแช่แข็งถูกหมักในน้ำที่อุณหภูมิต่าง ๆ ระหว่างการหมักอินดิแคนในใบครามสลายตัวเป็นอินดิออกซิลอย่างสมบูรณ์ เมื่อออกซิไดซ์ได้อินดิโก้ตกตะกอนแยกจากน้ำหมัก ปฏิกิริยาการสลายตัวของอินดิแคนเป็นปฏิกิริยาคูดความร้อน การดูดซับสีอินดิโก้มีไอโซเทอมแบบแลงเมียร์ และจากการทดสอบค่าความคงทนของสีต่อการซักและต่อแสงซินอนอาร์กและความแตกต่างของสีของเส้นไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสภาวะต่าง ๆ พบว่า การย้อมที่อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที และย้อมซ้ำ 6 ครั้งให้ผลดีที่สุด

ศิรินันท์ (2543) ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยครามธรรมชาติ และโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ โดยทดลองใช้ปริมาณเนื้อคราม 50 และ 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้า ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดิ และระดับเกินพอดิ 20 เปอร์เซ็นต์ และระยะเวลา 45 และ 60 นาที พบว่า สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีครามธรรมชาติ และโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ คือ การย้อมโดยใช้ปริมาณเนื้อคราม 100 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้า

ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับพอดี และระยะเวลาข้อม 60 นาที ซึ่งเป็นสภาวะที่ให้ความสดใสของสี ความเข้มของสี ความคงทนของสีต่อการซักและความเหนียวดีที่สุด

Kunttou et al.(2005) ได้ทำการศึกษาการข้อมพอลิเอสเทอร์ด้วยครามธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายข้อมด้วยสีครามธรรมชาติ สามารถสรุปผลการศึกษาได้ว่า สภาวะการข้อมผ้าพอลิเอสเทอร์ด้วยครามธรรมชาติที่เหมาะสม คือ ควรใช้โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ปริมาณความเข้มข้น 8 g/L และใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณความเข้มข้น 0.5-1.0 g/L ข้อมที่อุณหภูมิ 120 °C ซึ่งจะได้ผ้าพอลิเอสเทอร์ที่ข้อมด้วยครามธรรมชาติได้สีครามที่มีความบริสุทธิ์กว่าผ้าฝ้าย และจากการทดสอบความคงทนของสีที่ได้มีความคงทนต่อการซักสูงกว่าผ้าฝ้าย และมีความคงทนต่อการการซักคล้ายกับผ้าฝ้าย แต่มีความคงทนต่อแสงต่ำกว่าผ้าฝ้ายเล็กน้อย

Susilo (1992) ศึกษาผลการข้อมผ้าฝ้ายด้วยสีครามธรรมชาติ โดยเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ข้อมด้วยสีครามสังเคราะห์ โดยใช้สารโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เพียงพอ พบว่า ความเข้มของสี (K/S) ของสีครามธรรมชาติ คิดเป็น 10 เปอร์เซ็นต์ของผ้าฝ้ายที่ข้อมด้วยสีครามสังเคราะห์ และความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับดีและความคงทนของสีต่อแสงและการซักอยู่ในระดับพอใช้

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### ผ้าทดลอง

ผ้าที่ใช้ในการทดลองเป็นผ้าไหม 100 เปอร์เซ็นต์ พันธุ์ไทยพื้นเมือง (สีเหลือง) มีโครงสร้างการทอแบบลายขัด ผ่านการทำความสะอาดแล้ว มีน้ำหนัก 129 กรัม/ตารางเมตร ค่าแรงดึงขาด 460.24 นิวตัน ในการทดลองข้อมจะใช้ผ้าทดลองขนาด 3 x 72 นิ้ว ทั้งนี้จะใช้ผ้าทดลองทั้งสิ้น 40 ชิ้น สำหรับการทดลองข้อม 8 วิธี จำนวน 5 ซ้ำ

#### วัสดุสำหรับข้อมสี

1. เนื้อครามที่ใช้ในการทดลองเป็นครามเปียกที่มีลักษณะเป็นแป้งข้น ซึ่งได้จากการสกัดแยกสีด้วยวิธีการหมักแบบพื้นบ้านจากบ้านนาดี ตำบลหัวบ่อ อำเภอพรหมนานิคม จังหวัดสกลนคร จากการวิเคราะห์หาปริมาณสีในเนื้อครามแห้ง โดยนำครามเปียกมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ได้น้ำหนักครามแห้งคิดเป็น 30.54 เปอร์เซ็นต์ของครามเปียก มีปริมาณสีครามประมาณ 1.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

2. สารรีดิวซ์ที่ใช้ในการทดลอง คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) และด่างที่ใช้ในการทดลอง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) โดยใช้อัตราส่วน เนื้อคราม : โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ : โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1 : 1.75 : 1.75 กรัม

3. สารช่วยคูดซิมที่ใช้ในการทดลอง คือ โซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) โดยอัตราส่วน โซเดียมซัลเฟต 20 กรัม ต่อน้ำข้อม 1000 มิลลิลิตร

4. สารลดแรงตึงผิวที่ใช้ในการทดลอง คือ สบู่เทียม (wetting agent) ในการทดลองข้อมและการทำความสะอาดผ้าหลังการข้อม โดยใช้อัตราส่วน สบู่เทียม 1 กรัม ต่อน้ำ 1000 มิลลิลิตร

### วัสดุสำหรับทดสอบการซัก

1. สารซักผ้า การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก ใช้สารซักฟอกมาตรฐาน ชนิดไม่มีสารเพิ่มความสดใส (Standard Reference Detergent) ตามมาตรฐาน AATCC

2. ผ้ามัลติไฟเบอร์ (multifiber)

### สารอื่น ๆ ที่ใช้ในการทดลอง

1. น้ำกลั่น ใช้ในการทดลองหาปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่เหมาะสมและใช้ในการย้อม
2. น้ำกรอง ใช้ในการล้างทำความสะอาดผ้าทดลอง
3. กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) ใช้ในการทดลองหาปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่เหมาะสม
4. กระดาษ Indantrane Yellow Paper ใช้ทดสอบหาปริมาณสารรีดิวซ์ที่เหมาะสม

### อุปกรณ์สำหรับการทดลองหาปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่เหมาะสม

1. เครื่องแก้วและเครื่องตวงวัดต่าง ๆ
2. เครื่องชั่งละเอียดและหยาบ (Mettler Toledo PG 5035 และ 22541)
3. กระดาษ Indanthrene Yellow Paper
4. เครื่องหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) รุ่น DYBAX II CENTRIFUGE
5. เครื่อง Vacuum Pump
6. เครื่อง Stirrer พร้อม Magnetic-bar ขนาด 5 เซนติเมตร

7. เครื่อง UV. Vis Spectrophotometer (UV-160 A, SHIMADZU)
8. เครื่องวัด pH
9. เทอร์โมมิเตอร์
10. Suction Flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร
11. Buchener Funnel และกระดาษกรอง No.5
12. นาฬิกาจับเวลา

#### อุปกรณ์สำหรับการทดลองย่อย

1. เครื่องแก้วและเครื่องตวงวัดต่าง ๆ
2. เครื่องชั่งละเอียดและหยาบ (Mettler Toledo PG 5035 และ 22541)
3. เครื่อง LA-650 INFRA RED DYER รุ่น LA 116 สำหรับทดลองย่อย
4. กระดาษ Indanthrene Yellow Paper
5. เครื่อง UV. Vis Spectrophotometer (UV-160 A, SHIMADZU)
6. เครื่อง Vacuum Pump
7. เครื่อง Stirrer พร้อม Magnetic-bar ขนาด 5 เซนติเมตร
8. เครื่องวัด pH
9. กระบอกสแตนเลสใช้ย่อย ขนาด 250 มิลลิลิตร

10. เทอร์โมมิเตอร์
11. Suction Flask ขนาด 1000 มิลลิลิตร
12. Buchener Funnel และกระดาษกรอง No.5
13. เต้าไฟฟ้า
14. หม้อสแตนเลส
15. นาฬิกาจับเวลา
16. ตากผ้า และที่หนีบผ้า

#### **อุปกรณ์สำหรับการทดสอบความคงทนของสี**

1. เครื่อง ATLAS LAUNDER-OMETER
2. เครื่อง UV Spectrophotometer รุ่น 2020 PLUS
3. เครื่อง Instron model 5586 (ทดสอบความเหนียวของผ้า)
4. เครื่องชั่งละเอียดและหยาบ (Mettler Toledo PG 5035 และ 22541)

## วิธีการ

### การหาปริมาณสีครามโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง

เนื่องจากเนื้อครามแห้งที่นำมาทดลองมีส่วนผสมของปูนขาวอยู่ จึงจำเป็นต้องหาปริมาณสีครามที่แท้จริง ด้วยการวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง โดยนำเนื้อครามไปละลายในสารรีดิวซ์และด่าง คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ในอัตราส่วน 1:1 ในบีกเกอร์ปิด คนสีให้ละลายด้วยเครื่อง magnetic stirrer ประมาณ 30 นาที เพื่อให้เกิดการรีดิวซ์ได้อย่างสมบูรณ์ นำสารละลายสี (white indigo) ไปแยกปูนขาวด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 2,000 รอบ/ นาที เป็นเวลา 15 นาที นำน้ำสีครามไปวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV-Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร นำค่าการดูดกลืนแสงไปหาค่าความเข้มข้นของสีจากกราฟมาตรฐาน (ไพศาล, 2543) แล้วนำมาคำนวณค่าความเข้มข้นของสีในสารละลาย (ดังภาพผนวกที่ 1-3)

จากการทดลอง พบว่า ใช้อัตราส่วนเนื้อคราม : โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ : โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 0.125 : 4.5 : 4.5 กรัม ในน้ำกลั่น 450 มิลลิลิตร ละลายเข้าด้วยกันแล้วนำน้ำสีไปวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสงที่ 405 นาโนเมตร ได้เท่ากับ 0.1910 จากการเทียบกราฟมาตรฐานคิดเป็นความเข้มข้นสีเท่ากับ 0.0033 กรัมต่อลิตร คิดเป็นปริมาณสีในเนื้อครามแห้งเท่ากับ 1.2 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

### การหาปริมาณความเข้มข้นของสารรีดิวซ์และด่างที่เหมาะสม

ในการเตรียมน้ำย้อมสีคราม จำเป็นต้องหาปริมาณสารรีดิวซ์ คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) และด่าง คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) และ โซเดียมคาร์บอเนต ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ที่เหมาะสมกับการละลายสีคราม ซึ่งในที่นี้เป็นเนื้อครามที่มีส่วนผสมของปูนขาวอยู่ด้วยการหาปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่เหมาะสมมีขั้นตอน ดังนี้ (ศิรินันท์, 2543) (ดังภาพผนวกที่ 4-8)

1. ละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ในน้ำกลั่น (ละลายแยกกัน) ด้วยเครื่อง Magnetic stirrer ด้วยความเร็วปานกลาง (ระดับ 4)

2. ผสมสารละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วนำไปวัด pH

3. เมื่อได้ pH คงที่ ให้นำสีที่ละลายด้วยน้ำกลั่นลงไป แล้วคนสีให้ละลายใช้เวลาประมาณ 30 นาที การละลายสีที่สมบูรณ์สังเกตจากน้ำสีที่ได้เป็นสีเหลือง หรือใช้หลอดหยคน้ำสีบนกระดาษกรอง น้ำสีจะซึมกระจายตัวออกเป็นวงกว้างทันที หรือถ้าหยคน้ำสีในน้ำกลั่นจะละลายทันที ซึ่งการหยคน้ำสีทั้งที่หยดลงกระดาษกรองและในน้ำกลั่นจะไม่มีตะกอนสีฟุ้งค้างอยู่

4. แยกน้ำสีจากปูนขาวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 2,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ปูนขาวจะตกตะกอน

5. แยกน้ำสีส่วนที่ใสใส่ขวดชมพู ประมาณ 5 มิลลิลิตร เพื่อหาปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่พอเหมาะได้ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1 หยดกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) เข้มข้นในน้ำสี ค่อย ๆ เขย่าขวดให้ผสมเข้ากัน สังเกตการเปลี่ยนแปลง ถ้าน้ำสีขุ่นเป็นตะกอนขาวแสดงว่าในน้ำสียังคงมีโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์เหลืออยู่

วิธีที่ 2 ใช้กระดาษ Indanthrene Yellow Paper จุ่มที่น้ำสี หากกระดาษเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีน้ำเงินเข้ม (deep blue) ภายใน 3 วินาที แสดงว่าในน้ำสียังคงมีโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์เหลืออยู่ (David และ Ray, 1989)

จากการทดลองหาปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในน้ำสีทั้ง 2 วิธี ค่อย ๆ ลดปริมาณละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ จนถึงปริมาณที่เพียงพอในการละลายเนื้อคราม ผลการทดลองพบว่า จากการใช้น้ำครามปริมาณ 2 กรัม ต่อโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ 3.5 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 3.5 กรัม ในน้ำกลั่น 60 มิลลิลิตร คิดเป็นอัตราส่วนเนื้อคราม : โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ : โซเดียมไฮดรอกไซด์ เท่ากับ 1 : 1.75 : 1.75 กรัม

## การเตรียมน้ำสีและการย้อม

การย้อมจะใช้อัตราส่วน ผ้า : น้ำสี เท่ากับ 1 : 30 การเตรียมผ้าทดลอง น้ำสี และการย้อม มีขั้นตอน ดังนี้ (ศิริพันธ์, 2543) (ดังภาพผนวกที่ 9-23 )

1. เตรียมผ้าใหม่สำหรับทดลองโดยแช่น้ำกลั่น 1 ชั่วโมง บีบน้ำออกจากผ้าให้หมาด เพื่อเตรียมน้ำสี
2. เตรียมน้ำกลั่นสำหรับผสมสีย้อมตามปริมาณที่กำหนดให้ได้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แบ่งน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร มาละลายสี สารรีดิวซ์และด่าง โดยละลายแยกกัน
3. ผสมสารละลายสารรีดิวซ์และด่างในน้ำกลั่น คนสารละลายให้เข้ากัน เมื่อสารละลายได้ pH คงที่ ผสมน้ำสีครามคนให้ละลายในเวลา 25 นาที ภายใต้ภาชนะปิด น้ำสีจะอยู่ในรูปของ สารละลายน้ำได้เป็นสีเหลือง ทดสอบโดยหยคน้ำสีลงบนกระดาษกรองหรือน้ำกลั่นหากไม่มี ตะกอนสีครามตกค้างแสดงว่าสีถูกรีดิวซ์และละลายหมดแล้ว ซึ่งจะสามารถย้อมติดเนื้อผ้าได้ เดิมโซเดียมซัลเฟต และสบู่เทียม คนต่อให้ละลาย 5 นาที แล้วพักน้ำสีเพื่อรอปูนขาวตกตะกอน 10 นาที
4. กรองน้ำสีเพื่อแยกปูนขาวด้วยเครื่องดูดสูญญากาศ โดยระหว่างนี้ปิดภาชนะด้วย อลูมิเนียมฟอยล์ให้มิดชิดเพื่อไม่ให้น้ำสีสัมผัสอากาศ กรองให้ได้ปริมาณน้ำสี 645 มิลลิลิตร และเทใส่กระบอกลำสำหรับย้อม ซ้อนฟองที่ผิว น้ำสีทิ้งเพื่อกันด่าง
5. นำผ้าทดลองใส่ลงในกระบอกลำโดยม้วนผ้าอย่างหลวมให้จมใต้น้ำย้อม เพื่อให้ น้ำย้อมสัมผัสกับผ้าทุกส่วน หลังจากนั้นปิดฝาทันทีนำเข้าเครื่องย้อมด้วยอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ตามระยะเวลาที่กำหนด
6. เมื่อครบกำหนดเวลา ย้อม นำผ้าทดลองออกผึ่งให้สัมผัสอากาศเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา ออกซิเดชัน สีผ้าจะเปลี่ยนกลับเป็นสีแดง (สีน้ำเงิน) ที่ไม่ละลายน้ำ
7. ล้างสีส่วนเกินออกจากผ้าทดลองด้วยน้ำกรอง โดยล้างให้หมดคราบสีเพื่อกันด่าง

8. นำผ้าทดลองด้อมในน้ำสบู่ โดยใช้อัตราส่วน ผ้า : น้ำสบู่เท่ากับ 1:30 (สบู่เทียม 1 กรัม : น้ำ 1,000 มิลลิลิตร) โดยควบคุมอุณหภูมิที่  $80 \pm 2$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที

9. ล้างผ้าด้วยน้ำกรองให้สะอาด นำผ้าตากในที่ร่มให้แห้งแล้วเก็บไว้ในที่แห้งและมีดซิด

สำหรับแต่ละสิ่งทดลองจะดำเนินการ 5 ซ้ำ (แต่ละระดับอุณหภูมิ ระยะเวลาในการย้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และด่าง)

การเก็บรักษาผ้าตัวอย่าง จัดเก็บภายในถุงพลาสติกสีดำให้มิดชิด ไม่ให้สัมผัสอากาศ ความร้อนและแสงสว่าง

#### แผนการทดลอง

การทดลองครั้งนี้ใช้แผนการทดลองแบบ Split-plot design in CRD (อนันต์ชัย, 2542) มีตัวแปรดังต่อไปนี้

1. ตัวแปรต้น ได้แก่

1.1 main plot คือ อุณหภูมิในการย้อมมี 2 ระดับ คือ 30 และ 45 องศาเซลเซียส

1.2 Sub plot คือ ระยะเวลาในการย้อม มี 2 ระดับ คือ 15 และ 30 นาที และปริมาณสารรีดิวซ์และด่าง มี 2 ระดับ คือ ระดับพอดี และระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์

2. ตัวแปรตาม ได้แก่ ค่า  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $h^*$ ,  $K/S$ ,  $\Delta E^*$  และความเหนียวของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ

3. การควบคุมตัวแปร

3.1 ผ้าทดลองใช้ผ้าไหมพันธุ์พื้นเมืองไทย 100 เปอร์เซ็นต์ จากแหล่งผลิตเดียวกัน

3.2 ครามที่ใช้ในการทดลองเป็นครามเปียก 100 เปอร์เซ็นต์ จากแหล่งผลิตเดียวกัน

3.3 ใช้เครื่อง LA-650 INFRA RED DYER รุ่น LA 116 สำหรับทดลองย้อม

3.4 สถานที่ทำการทดลอง

3.5 ผู้วิจัยเป็นผู้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลด้วยตนเอง ยกเว้นการทดสอบความเหนียวของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่เป็นเจ้าหน้าที่วิจัยของอุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ อาคารอำนวยการ ส่วนอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร

3.6 ทำการทดสอบแบบคู่ขนาน คือ ทำการทดสอบผ้าทดลองพร้อมกับผ้ามาตรฐาน

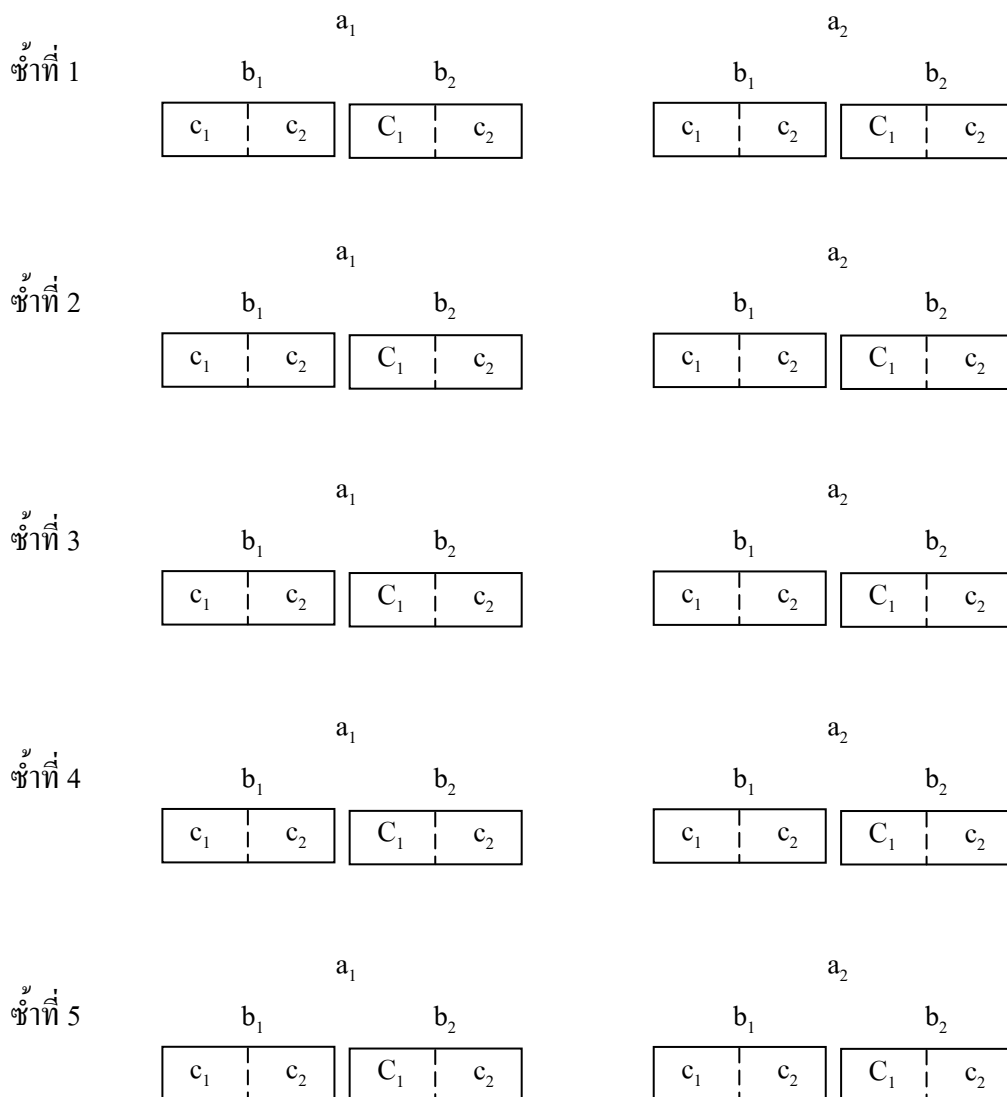
รวมสิ่งทดลองทั้งสิ้น 8 สิ่งทดลองในการย้อม ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงสิ่งทดลองในการทดลองย้อมผ้าไหมด้วยสีคราม

	อุณหภูมิในการย้อม (°C)	ระยะเวลาในการย้อม (นาที)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า
1	30	15	พอดี
2	30	15	ระดับเกินพอดี 20 %
3	30	30	พอดี
4	30	30	ระดับเกินพอดี 20 %
5	45	15	พอดี
6	45	15	ระดับเกินพอดี 20 %
7	45	30	พอดี
8	45	30	ระดับเกินพอดี 20 %

แต่ละสิ่งทดลองดำเนินการทดลอง รวม 5 ซ้ำ

สามารถเขียนแผนผังการทดลองได้ดังนี้



### การประเมินค่าสีและการเปลี่ยนแปลงของสี

ประเมินค่าสีด้วยระบบ CIE  $L^* a^* b^*$  โดยใช้เครื่อง UV Spectrophotometer ในการวัดค่าสี และการเปลี่ยนแปลงของสีเพื่อเปรียบเทียบสีของผ้าทดลองก่อนและหลังการทดสอบซัก โดยใช้ ค่า  $L^* a^* b^* C^* h^* K/S$  และ  $\Delta E$

สภาวะการใช้เครื่องวัดสีกำหนดโดยใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ชนิด Illuminant D 65 ซึ่งเป็นแสงที่นิยมใช้ในการดูสีที่ใกล้เคียงกับแสงจากดวงอาทิตย์ตอนเที่ยงวันมากที่สุด และใช้มุมมองที่ 10 องศา ซึ่งให้ความสัมพันธ์กับการมองด้วยสายตามากที่สุด

ในการวัดสีขึ้นตัวอย่างจะใช้ค่าเฉลี่ยจากการวัด 6 ครั้ง แต่ทุกครั้งหมุนขึ้นตัวอย่างในลักษณะจากมุม 0 องศา แล้วหมุนขึ้นตัวอย่างเป็น 90 องศา เพื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของสีเมื่อทิศทางเปลี่ยนไปโดยใช้กระดาษแข็งสีขาวเป็นแผ่นรองพื้น รองด้านหลังของขึ้นตัวอย่างขณะวัดสี

ค่า  $L^*$  วัดความมืดความสว่างของสีมีค่าตั้งแต่ 0-100 โดยค่า 0 หมายถึง ความเป็นสีดำ (ความมืด) ค่า 100 หมายถึง ความเป็นสีขาว (ความสว่าง)

ค่า  $a^*$  วัดความเป็นสีแดงเมื่อมีค่าเป็นบวก วัดความเป็นสีเขียวเมื่อมีค่าเป็นลบ และความเป็นสีเทาเมื่อมีค่าเป็นศูนย์

ค่า  $b^*$  วัดความเป็นสีเหลืองเมื่อมีค่าเป็นบวก วัดความเป็นสีน้ำเงินเมื่อมีค่าเป็นลบ และความเป็นสีเทาเมื่อมีค่าเป็นศูนย์

ค่า  $C^*$  เป็นค่าที่บอกถึงความสดใสของสี สีที่มีความสดใสมาก มีค่า  $C^*$  สูง

ค่า  $h^*$  เป็นค่าที่ระบุตำแหน่งสีของวัตถุ

ค่า  $K/S$  คือ ค่าที่คำนวณจากค่าการสะท้อนแสงตามทฤษฎีของ Kubelka-Munk โดยทฤษฎีดังกล่าวจะมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ 2 ค่า คือ ค่า  $K$  และ  $S$

$K$  คือ ค่าการดูดกลืนแสงของขึ้นตัวอย่าง

$S$  คือ ค่าการกระเจิงของแสงขึ้นตัวอย่าง

สำหรับวัสดุสิ่งทอ จะถือว่าไม่มีการกระเจิงของแสงในวัสดุที่ข้อม เพราะสีที่ใช้ข้อม จะละลายและเข้าไปอยู่เป็นเนื้อเดียวกับวัสดุที่ใช้ข้อม ดังนั้นค่า K และ S จะถือเป็นค่าเดียวกัน

ค่า K/S ดังสมการ

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

เมื่อ R เป็นค่าสะท้อนแสงของชิ้นตัวอย่างเป็นเปอร์เซ็นต์

จากค่าการสะท้อนแสงที่ได้จากการวัดสีของชิ้นตัวอย่าง เราสามารถคำนวณค่า K/S ได้จากสมการดังกล่าว (Aspland, 1993 อ้างใน สิรินันท์, 2543)

ค่า  $\Delta E^*$  เป็นค่าความแตกต่างของสีโดยรวม (Total Color Difference) ระหว่างผ้าตัวอย่าง และผ้ามาตรฐาน โดยคำนวณค่า  $\Delta E^*$  ดังสมการ

$$\Delta E^* = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2}$$

ทั้งนี้ ในการเปลี่ยนแปลงของสี ( $\Delta E^*$ ) ในมาตรฐาน CIELAB (1976) เปรียบเทียบกับ ระดับความคงทนของสีในมาตรฐานเกรย์สเกล (AATCC, 1994) แสดงดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบค่าความเปลี่ยนแปลงของสี ( $\Delta E^*$ ) ในมาตรฐาน CIELAB (1976) กับระดับความคงทนของสีต่อการซักในมาตรฐานเกรย์สเกล

$\Delta E^*$	ค่าความคลาดเคลื่อน	ระดับความคงทนของสีต่อการซักในมาตรฐานเกรย์สเกล	
		ชั้นคุณภาพ	อัตราความคงทน
0.0	± 0.20	5	ดีเยี่ยม
0.8	± 0.20	4-5	ดีเลิศ
1.7	± 0.30	4	ดีมาก
2.5	± 0.35	3-4	ดี
3.4	± 0.40	3	เกือบดี

### ตารางที่ 3 (ต่อ)

$\Delta E^*$	ค่าความคลาดเคลื่อน	ระดับความคงทนของสีต่อการซักในมาตรฐานเกรย์สเกล	
		ชั้นคุณภาพ	อัตราความคงทน
4.8	$\pm 0.50$	2-3	ดีพอใช้
6.8	$\pm 0.60$	2	พอใช้
9.6	$\pm 0.70$	1-2	แย่มาก
13.6	$\pm 1.00$	1	แย่มาก

ที่มา : AATCC (1994)

#### การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

ทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน AATCC Test Method 61-1993 test No.1A โดยใช้เครื่องทดสอบการซัก (Launder-Ometer) รุ่น DWG-A11-4578, Atlas Electric Devices (Co.) ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบที่มีแกนยึดกระบอกใส่ผ้าทดสอบซักสามารถหมุนด้วยความเร็ว  $40 \pm 2$  รอบต่อวินาที การซัก 1 ครั้ง ใช้เวลา 45 นาที จะเทียบเท่ากับการซักด้วยมือ 5 ครั้ง ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิ ระยะเวลา ปริมาณน้ำ ความเข้มข้นของสารซักฟอก และการขจัดขุยซึ่งเกิดจากการใส่ลูกบอลเหล็กไว้สนิมตามกำหนดในการประเมินผลความคงทนต่อการซัก ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมตัดผ้าทดสอบที่ย้อมสีแล้ว ขนาด กว้าง x ยาว เท่ากับ  $2 \times 4$  นิ้ว
2. เตรียมน้ำสารละลายผงซักฟอก 200 มิลลิลิตรต่อ 1 กระบอกซัก โดยใช้สารซักฟอกมาตรฐานที่ความเข้มข้น 0.5 เปอร์เซ็นต์ ใส่ลูกบอลเหล็ก 10 ลูก ปิดฝานำไปตั้งที่เครื่อง Preheater เพื่อปรับอุณหภูมิของน้ำสารซักฟอกได้  $40 \pm 2$  องศาเซลเซียส
3. นำผ้าทดสอบใส่ปิดฝากระบอกชกนำเข้าเครื่องทดสอบซักที่อุณหภูมิ  $40 \pm 2$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที

4. นำผ้าทดลองมาล้างด้วยน้ำกลั่นในบิกเกอร์โดยใช้ปริมาณน้ำ 150 มิลลิลิตรต่อผ้าทดลอง 1 ชิ้น ตั้งในเครื่อง Preheater โดยควบคุมอุณหภูมิ  $40 \pm 2$  องศาเซลเซียส ล้างนาน 1 นาที 3 ครั้ง นำขึ้นตากในร่ม พอแห้งรีดให้เรียบเพื่อนำไปประเมินค่าสีต่อไป

#### การทดสอบความเหนียวของผ้าทดลอง

การทดสอบความเหนียวของผ้าทดลอง โดยใช้เครื่องทดสอบ Instron 5586 ซึ่งเป็นเครื่องทดสอบแบบการยืดตัวคงที่ (Constant Rate of Extension) ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D 5035 : 2006 แบบ Raveled Strip Test ยกเว้นในการเตรียมชิ้นทดสอบจะใช้ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นมีเส้นด้ายยืนซ้ำกัน เนื่องจากข้อจำกัดในการเชื่อมด้วยเครื่อง LA-650 INFRA RED DYER รุ่น LA 116 จึงทำให้ต้องเตรียมชิ้นทดสอบเป็นลักษณะยาวต่อเนื่อง

ในการเตรียมชิ้นทดสอบให้ตัดผ้าตามยาวขนานกับแนวเส้นด้ายยืน ขนาดกว้าง x ยาว เท่ากับ  $50 \times 200$  มิลลิเมตร จำนวน 5 ชิ้น ซึ่งด้านยาวนี้จะเป็นที่ศทางการดึง สภาวะการทดสอบต้องมีอุณหภูมิ  $21 \pm 1$  องศาเซลเซียส ที่ความชื้นสัมพัทธ์  $65 \pm 2$  เปอร์เซ็นต์ ระยะห่างระหว่างตัวหนีบจับผ้า  $200 \pm 10$  มิลลิเมตร ใช้อัตราความเร็วในการดึงที่  $100 \pm 10$  มิลลิเมตร/นาที เครื่องทดสอบจะระบุค่าแรงดึงขาด (breaking load) มีหน่วยเป็นนิวตัน นำค่าเฉลี่ยของผ้าทดลองก่อนเชื่อมและหลังเชื่อมมาวิเคราะห์ข้อมูล

#### การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการศึกษาผลของการเชื่อมผ้าใหม่ด้วยครามธรรมชาติ โดยใช้อุณหภูมิ ระยะเวลา ในการเชื่อมปริมาณของสารรีดิวซ์และค่าที่แตกต่างกัน ทำการประเมินผลโดยวัดค่าสีเพื่อหาค่าเฉลี่ย  $L^* a^* b^* C^* h^*$  และ K/S ของสีผ้าทดลอง ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*$  เนื่องจากการซักของผ้าทดลอง (เมื่อเปรียบเทียบกับสีของผ้าทดลองหลังการทดสอบการซักกับสีของผ้าทดลองก่อนการทดสอบซัก) และค่าเฉลี่ยความเหนียวของผ้าทดลอง นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้วิธี Two-way Analysis of Variance และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test เพื่อพิจารณาสถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเชื่อมผ้าใหม่ด้วยครามธรรมชาติ (อนันต์ชัย, 2542)

## สถานที่และระยะเวลาทำการวิจัย

### สถานที่ทำการวิจัย

1. ทำการทดลองย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งทอ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตรมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร
2. ทำการทดลองหาปริมาณสีครามโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ห้องปฏิบัติการวิจัยกลาง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพมหานคร
3. ทำการประเมินค่าสีและการเปลี่ยนแปลงของสีที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งทอ ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร
4. ทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักที่อุตสาหกรรมพัฒนามูลนิธิ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ อาคารอำนวยการ ส่วนอุตสาหกรรม กรุงเทพมหานคร

### ระยะเวลาทำการวิจัย

เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนมกราคม 2550 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2550 รวมระยะเวลาทำการทดลองประมาณ 12 เดือน

## ผลและวิจารณ์

จากการศึกษาเรื่องสถานะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ โดยศึกษาสถานะที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการย้อม และปริมาณ สารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ ได้ผลการวิเคราะห์และข้อวิจารณ์ แบ่งเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ผลของสถานะการย้อมต่อค่าสีของผ้าไหมย้อมด้วยครามธรรมชาติ

ตอนที่ 2 ผลของสถานะการย้อมต่อความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมย้อม ด้วยครามธรรมชาติ

ตอนที่ 3 ผลของสถานะการย้อมต่อความเหนียวของผ้าไหมย้อมด้วยครามธรรมชาติ

ตอนที่ 4 สถานะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

### ผลของสถานะการย้อมต่อค่าสีของผ้าไหมย้อมด้วยครามธรรมชาติ

จากการทดลองย้อมผ้าไหมด้วยน้ำสีคราม โดยศึกษาสถานะที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการย้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่างกัน แล้วนำไปวัดค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$   $C^*$   $h^*$  และ  $K/S$  และวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 4 - 9

#### ผลต่อค่า $L^*$

ตารางที่ 4 ค่า  $L^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สถานะการย้อม			ค่าสี
อุณหภูมิ ( $^{\circ}C$ )	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	$L^*$
30	15	พอดี	59.1728
30	15	พอดี+20 %	60.6870
30	30	พอดี	63.1272
30	30	พอดี+20 %	59.2000
45	15	พอดี	62.0562
45	15	พอดี+20 %	61.0570
45	30	พอดี	61.9484
45	30	พอดี+20 %	61.6194

จากตารางที่ 4 พบว่า ค่า  $L^*$  ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง 59.1728 ถึง 63.1272 ซึ่งเป็นค่าค่อนข้างสูง แสดงว่า สีของผ้าทดลองย้อมในสภาวะดังกล่าวมีความสว่างค่อนข้างสูง (สีอ่อน)

เมื่อพิจารณาค่า  $L^*$  ของผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า  $L^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า ได้สีเข้มกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับพอดี ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า  $L^*$  สูงกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ

45 องศาเซลเซียส ซึ่งแสดงว่า มีสีอ่อนกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า  $L^*$  เท่ากับ 60.5468 และผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีค่า  $L^*$  เท่ากับ 61.6703

เมื่อพิจารณาค่า  $L^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า  $L^*$  เท่ากับ 60.7433 และผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที มีค่า  $L^*$  เท่ากับ 61.4738 อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถสรุปแนวโน้มของค่า  $L^*$  ได้

เมื่อพิจารณาค่า  $L^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า  $L^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับพอดี มีค่าสูงกว่าผ้าทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ได้สีอ่อนกว่า ซึ่งไม่สอดคล้องกับผลงานวิจัยของศิรินนท์ (2543) ที่พบว่า ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับพอดีมีค่า  $L^*$  ต่ำกว่าผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างเกินระดับพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อพิจารณาค่า  $L^*$  แล้วพบว่า ค่า  $L^*$  ของผ้าที่ย้อมในการวิจัยนี้มีค่าสูงกว่าค่า  $L^*$  ของผ้าที่ย้อมในการวิจัยของศิรินนท์ นั้นแสดงว่า ผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติมีสีสว่างกว่าผ้าฝ้ายที่ย้อมครามธรรมชาติ ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับพอดี มีค่า  $L^*$  ต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า ได้สีเข้มกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับพอดี มีค่า  $L^*$  เท่ากับ 61.5762 และผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า  $L^*$  เท่ากับ 60.6409

แต่อย่างไรก็ตาม ค่า  $L^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมที่สภาวะแตกต่างกันมีความสว่างไม่แตกต่างกันมาก โดยผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างในระดับพอดี ให้สีเข้มที่สุด (ค่า  $L^*$  ต่ำสุด)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $L^*$  ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิระยะเวลา และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับต่างกัน พบว่า ปัจจัยเหล่านี้ไม่มีผลต่อค่า  $L^*$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ 1) จึงยอมรับสมมติฐานที่ 1.1-1.7 ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของศิรินนท์ (2543) ที่พบว่า ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างมีผลต่อค่า  $L^*$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

## ผลต่อค่า a\*

ตารางที่ 5 ค่า a\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			ค่าสี
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	a*
30	15	พอดี	-1.9818
30	15	พอดี+20 %	-1.9428
30	30	พอดี	-2.0148
30	30	พอดี+20 %	-1.8812
45	15	พอดี	-2.3554
45	15	พอดี+20 %	-2.2556
45	30	พอดี	-2.6220
45	30	พอดี+20 %	-2.3462

จากตารางที่ 5 พบว่า ค่า a\* ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง -1.8812 ถึง -2.6220 ซึ่งมีค่าเป็นลบ และมีค่าไม่สูงมากนัก แสดงว่า สีของผ้าทดลองย้อมในสภาวะดังกล่าวมีความเป็นสีเขียว

เมื่อพิจารณาค่า a\* ของผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า a\* ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า มีความเป็นสีเขียวต่ำกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า a\* เท่ากับ 1.9552 และผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีค่า a\* เท่ากับ 2.3948

เมื่อพิจารณาค่า a\* ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า a\* ของผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่าต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที แสดงว่า มีความเป็นสีเขียวต่ำกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า a\* สูงกว่าผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที แสดงว่า มีความเป็นสีเขียวสูงกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อม

โดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า  $a^*$  เท่ากับ -2.1339 และผ้าที่ข้อม โดยใช้ระยะเวลา 30 นาที มีค่า  $a^*$  เท่ากับ -2.2161

เมื่อพิจารณาค่า  $a^*$  ของผ้าที่ข้อม โดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ ค่า  $a^*$  ของผ้าที่ข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับพอดี มีค่าสูงกว่าผ้าทดลองข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า มีความเป็นสีเขียวสูงกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับพอดี มีค่า  $a^*$  เท่ากับ -2.2435 และผ้าที่ข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า  $a^*$  เท่ากับ -2.1065

แต่อย่างไรก็ตาม ค่า  $a^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า ผ้าทดลองข้อมที่สภาวะแตกต่างกันมีความเป็นสีเขียวไม่แตกต่างกันมาก โดยผ้าทดลองข้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างในระดับพอดี มีความเป็นสีเขียวมากที่สุด (ค่า  $a^*$  สูงสุด)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $a^*$  ของผ้าไหมที่ข้อมกรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับต่างกัน พบว่า ปัจจัยเหล่านี้ไม่มีผลต่อค่า  $a^*$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ 2) จึงยอมรับสมมติฐานที่ 2.1-2.7 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของศิรินันท์ (2543) ที่พบว่า ปริมาณสารรีดิวซ์และต่าง ระยะเวลาข้อม ไม่มีผลต่อค่า  $a^*$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

## ผลต่อค่า b\*

ตารางที่ 6 ค่า b\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			ค่าสี
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และต่าง	b*
30	15	พอดี	-13.4822
30	15	พอดี+20 %	-12.9360
30	30	พอดี	-10.9206
30	30	พอดี+20 %	-13.9486
45	15	พอดี	-11.3980
45	15	พอดี+20 %	-14.4520
45	30	พอดี	-10.2794
45	30	พอดี+20 %	-11.0764

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่า b\* ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง -10.2794 ถึง -14.4520 ซึ่งมีค่าเป็นลบและมีค่าไม่สูงมากนัก แสดงว่า สีของผ้าทดลองย้อมในสภาวะดังกล่าวมีความเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งตรงกับลักษณะของสีที่ควรจะเป็น

เมื่อพิจารณาค่า b\* ของผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า b\* ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า มีความเป็นสีน้ำเงินสูงกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า b\* ต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า มีความเป็นสีน้ำเงินต่ำกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า b\* เท่ากับ 12.8219 และผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสมีค่า b\* เท่ากับ 11.8015

เมื่อพิจารณาค่า b\* ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า b\* ของผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่าสูงกว่าผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที แสดงว่า

มีความเป็นสีน้ำเงินสูงกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทอคลองข้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า ผ้าทอคลองข้อมที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า  $b^*$  ต่ำกว่าผ้าทอคลองข้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที แสดงว่า มีความเป็นสีน้ำเงินต่ำกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า  $b^*$  เท่ากับ -13.0671 และผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที มีค่า  $b^*$  เท่ากับ -11.5563

เมื่อพิจารณาค่า  $b^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า  $b^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับพอดี มีค่าต่ำกว่าผ้าทอคลองข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า มีความเป็นสีน้ำเงินต่ำกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทอคลองข้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที ซึ่งพบว่า ผ้าทอคลองข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี มีค่า  $b^*$  สูงกว่าผ้าทอคลองข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า มีความเป็นสีน้ำเงินสูงกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี มีค่า  $b^*$  เท่ากับ -11.5201 และผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า  $b^*$  เท่ากับ -13.1033

แต่อย่างไรก็ตาม ค่า  $b^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า ผ้าทอคลองข้อมที่สภาวะแตกต่างกันมีความเป็นสีน้ำเงินไม่แตกต่างกันมาก โดยผ้าทอคลองข้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นสีน้ำเงินมากที่สุด (ค่า  $b^*$  สูงสุด)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $b^*$  ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิระยะเวลา และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่างกัน พบว่า ปัจจัยเหล่านี้ไม่มีผลต่อค่า  $b^*$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ 3) จึงยอมรับสมมติฐานที่ 3.1-3.7 ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของศิรินันท์ (2543) ที่พบว่า ปริมาณสารรีดิวซ์และค่ามีผลต่อค่า  $a^*$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 ทั้งนี้อาจเนื่องจากอุณหภูมิในการทอของศิรินันท์ ใช้อุณหภูมิในการย้อม 40 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำย้อมอย่างชัดเจน เพราะน้ำย้อมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จะเป็นน้ำอุ่น และน้ำย้อมที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะเป็นน้ำที่เพิ่งจะเริ่มร้อน จึงส่งผลให้มีผลต่อค่า  $b^*$  แตกต่างกัน แต่ในการวิจัยนี้ใช้อุณหภูมิในการย้อม 30 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน เพราะอยู่ในช่วงอุณหภูมิที่เป็นน้ำอุ่นทั้งสองอุณหภูมิ จึงทำให้มีผลต่อค่า  $b^*$  ไม่แตกต่างกัน

## ผลต่อค่า C\*

ตารางที่ 7 ค่า C\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			ค่าสี
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และต่าง	C*
30	15	พอดี	13.5826
30	15	พอดี+20 %	13.0258
30	30	พอดี	11.1062
30	30	พอดี+20 %	14.0344
45	15	พอดี	11.6490
45	15	พอดี+20 %	14.8224
45	30	พอดี	10.6148
45	30	พอดี+20 %	11.3278

จากตารางที่ 7 พบว่า ค่า C\* ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง 10.6148 ถึง 14.0344 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง แสดงว่า สีของผ้าทดลองย้อมในสภาวะดังกล่าวค่อนข้างสดใส

เมื่อพิจารณาค่า C\* ของผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า C\* ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า มีความสดใสสูงกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า C\* ต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า มีความสดใสต่ำกว่า โดยเฉพาะผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า C\* เท่ากับ 12.9373 และผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า C\* เท่ากับ 12.1035

เมื่อพิจารณาค่า C\* ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า C\* ของผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่าต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที แสดงว่า มีความสดใสต่ำกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณสารรีดิวซ์

และค่าที่ระดับพอดี ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า C\* สูงกว่าผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที แสดงว่า มีความสดใสสูงกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า C\* เท่ากับ 13.2699 และผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที มีค่า C\* เท่ากับ 11.7708

เมื่อพิจารณาค่า C\* ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า C\* ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับพอดี มีค่าต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า มีความสดใสต่ำกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 15 นาที ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี มีค่า C\* สูงกว่าผ้าทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า มีความสดใสสูงกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี มีค่า C\* เท่ากับ 11.7382 และผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า C\* เท่ากับ 13.3026 ซึ่งไม่สอดคล้องกับงานวิจัยของศิรินันท์ (2543) ที่พบว่า ผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี มีค่า C\* สูงกว่าผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า มีความสดใสสูงกว่า ทั้งนี้ อาจเนื่องจากอัตราเร็วของการดูดซับปริมาณสีของใยไหมจะมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิการย้อมสูงขึ้น และเมื่อใช้ระยะเวลาในการย้อมนานขึ้นปริมาณสีที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักไหมมีค่าคงที่ ในการย้อมของศิรินันท์ซึ่งใช้อุณหภูมิสูงกว่าในการวิจัยนี้ เมื่อใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าเกินระดับพอดี จึงทำให้รีดิวซ์สีแฉดเกิดเร็วขึ้นและมีโอกาสทำให้โมเลกุลสีแทรกซึมและถูกดูดซับเข้าไปในใยไหมเร็วขึ้น ดังนั้นจึงทำให้ผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี มีค่า C\* สูงกว่า (สีสดใสกว่า) ผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ เพราะในช่วงแรกพื้นที่ผิวของใยไหมยังมีอยู่มากทำให้โมเลกุลสีมีพื้นที่ในการยึดเกาะได้มาก แต่ในการวิจัยนี้อุณหภูมิ 30 และ 40 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกัน จึงมีค่า C\* ไม่แตกต่างกันมากนัก

แต่อย่างไรก็ตาม ค่า C\* ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมที่สภาวะแตกต่างกันมีความสดใสของสีไม่แตกต่างกันมาก โดยผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในระดัเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีความสดใสสูงสุด (ค่า C\* สูงสุด)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า C\* ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิระยะเวลา และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่างกัน พบว่า ปัจจัยเหล่านี้ไม่มีผลต่อค่า C\* อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ 4) จึงยอมรับสมมติฐานที่ 4.1-4.7

ผลต่อค่า  $h^*$ 

ตารางที่ 8 ค่า  $h^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			ค่าสี
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	$h^*$
30	15	พอดี	263.1834
30	15	พอดี+20 %	263.2712
30	30	พอดี	259.5172
30	30	พอดี+20 %	263.7868
45	15	พอดี	258.1258
45	15	พอดี+20 %	263.7928
45	30	พอดี	255.5188
45	30	พอดี+20 %	257.6172

จากตารางที่ 8 พบว่า ค่า  $h^*$  ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง  $255.5188^{\circ}$ - $263.7928^{\circ}$  เมื่อวิเคราะห์ตามหลักของการวัดสีแล้วสีของผ้าทดลองจะอยู่ในช่วงของสีน้ำเงิน และจากการประเมินด้วยสายตาจะเห็นสีของผ้าทดลองเป็นสีฟ้าอ่อน

เมื่อพิจารณาค่า  $h^*$  ของผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า  $h^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าสูงกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่ามีความเป็นสีน้ำเงินสูงกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที ปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า  $h^*$  ต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า มีความเป็นสีน้ำเงินต่ำกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า  $h^*$  เท่ากับ 262.4397 และผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า  $h^*$  เท่ากับ 258.7637

เมื่อพิจารณาค่า  $h^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ค่า  $h^*$  ของผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่าสูงกว่าผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที

แสดงว่า มีความเป็นสินน้ำเงินสูงกว่า ยกเว้นกรณีผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพบว่า ผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า  $h^*$  ต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที แสดงว่า มีความเป็นสินน้ำเงินต่ำกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีค่า  $C^*$  เท่ากับ 262.0933 และผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที มีค่า  $h^*$  เท่ากับ 259.1100

เมื่อพิจารณาค่า  $h^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าต่างกัน พบว่า ส่วนใหญ่ ค่า  $h^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับพอดี มีค่าต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ แสดงว่า มีความเป็นสินน้ำเงินต่ำกว่า โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี มีค่า  $h^*$  เท่ากับ 259.0863 และผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีค่า  $h^*$  เท่ากับ 262.1170

แต่อย่างไรก็ตาม ค่า  $h^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมที่สภาวะแตกต่างกันมีความเป็นสินน้ำเงินไม่แตกต่างกันมาก โดยผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีความเป็นสินน้ำเงินสูงที่สุด (ค่า  $h^*$  สูงสุด)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $h^*$  ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่างกัน พบว่า ปัจจัยเหล่านี้ไม่มีผลต่อค่า  $h^*$  อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ 5) จึงยอมรับสมมติฐานที่ 5.1-5.7

## ผลต่อค่า K/S\*

ตารางที่ 9 ค่า K/S\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			ค่าสี
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	K/S*
30	15	พอดี	0.5105
30	15	พอดี+20 %	0.4678
30	30	พอดี	0.4321
30	30	พอดี+20 %	0.4982
45	15	พอดี	0.4639
45	15	พอดี+20 %	0.5524
45	30	พอดี	0.5019
45	30	พอดี+20 %	0.4883

จากตารางที่ 9 พบว่า ค่า K/S ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง 0.4321- 0.5524 แสดงว่า สีที่ย้อมได้มีความเข้มน้อยจัดเป็นสีฟ้าอ่อน โดยผ้าทดลองมีค่าความเข้มของสีสูงสุดที่ความยาวคลื่น 440 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงของสีน้ำเงินและค่าที่ได้จะเป็นค่าการสะท้อนกลับ (reflectance) ของสีตรงข้าม คือ สีน้ำเงิน ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี Kubelka-Munk ที่กล่าวไว้ว่า ค่าความเข้มของสีและค่าการสะท้อนแสงจะมีความสัมพันธ์กัน และสอดคล้องกับงานวิจัยของ ไพศาล และคณะ (2543) ซึ่งผลจากการทดสอบค่าอัตราส่วนการดูดกลืนแสงและค่าการกระเจิงแสงของชิ้นตัวอย่าง (K/S) ที่ได้ พบว่า มีค่าระหว่าง 0.4321 - 0.5524 และไม่สามารถสรุปแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเทียบกับภาวะการย้อมได้

เมื่อพิจารณาค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า โดยเฉลี่ยผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า K/S เท่ากับ 0.4772 และผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า K/S เท่ากับ 0.5016 อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถสรุปแนวโน้มของค่า K/S ได้

เมื่อพิจารณาค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่ระยะเวลาต่างกัน พบว่า โดยเฉลี่ย ผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า K/S เท่ากับ 0.4987 และผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า K/S เท่ากับ 0.4801 อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถสรุปแนวโน้มของค่า K/S ได้

เมื่อพิจารณาค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่างกัน พบว่า โดยเฉลี่ยผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า K/S เท่ากับ 0.4771 ผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า K/S เท่ากับ 0.5017 อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถสรุปแนวโน้มของค่า K/S ได้

แต่อย่างไรก็ตาม ค่า K/S\* ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมที่สภาวะแตกต่างกันมีความเป็นสีน้ำเงินไม่แตกต่างกันมาก โดยผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ มีความเข้มสีสูงสุด (ค่า K/S\* สูงสุด)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า K/S\* ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิระยะเวลา และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่างกัน พบว่า ปัจจัยเหล่านี้ไม่มีผลต่อค่า K/S\* อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 (ตารางผนวกที่ 6) จึงยอมรับสมมติฐานที่ 6.1-6.7

### ผลของสภาวะการย้อมต่อความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมย้อมด้วยครามธรรมชาติ

จากการทดลองย้อมผ้าไหมด้วยน้ำสีคราม โดยศึกษาสภาวะที่ใช้ในการทดลอง 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการย้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่างกัน แล้วนำผ้าไหมที่ย้อมไปวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของสี  $\Delta L^*$   $\Delta a^*$   $\Delta b^*$   $\Delta C^*$   $\Delta h^*$  และ  $\Delta E^*$  ของผ้าทดลองแล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยได้ผล ดังแสดงในตารางที่ 10 - 15

#### ผลต่อค่า $\Delta L^*$

ตารางที่ 10 ค่า  $\Delta L^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			$\Delta L^*$
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	
30	15	พอดี	1.8886
30	15	พอดี+20 %	1.6828
30	30	พอดี	-0.1680
30	30	พอดี+20 %	1.6364
45	15	พอดี	0.9258
45	15	พอดี+20 %	-3.6234
45	30	พอดี	-1.6874
45	30	พอดี+20 %	0.4518

จากตารางที่ 10 พบว่า ค่า  $\Delta L^*$  ของผ้าทดลองย้อมหลังการซักอยู่ระหว่าง -3.6234 ถึง 1.8886 ซึ่งมีค่าทั้งเป็นค่าบวกและค่าลบ โดยค่าที่เป็นบวก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีสีอ่อนลงหลังการซัก ส่วนค่าที่เป็นลบ แสดงว่า สีของผ้าทดลองย้อมมีสีเข้มขึ้นหลังการซัก

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta L^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิต่างกันหลังการซัก พบว่า ส่วนใหญ่ ผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่า  $\Delta L^*$  สูงขึ้นหลังการซัก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีสีอ่อนลงหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่ระยะเวลา 30 นาที ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับ

พอดี้ มีค่า  $L^*$  ลดลงหลังการซัก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีสีเข้มขึ้นหลังการซัก ส่วนผ้าที่ย้อมที่ อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส หลังการซัก ไม่สามารถระบุแนวโน้มของค่า  $\Delta L^*$  ได้

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta L^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าต่างกัน พบว่า หลังการซักผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับพอดี้ ไม่สามารถระบุแนวโน้ม ของค่า  $L^*$  ได้ ส่วนผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี้ 20 เปอร์เซนต์ ส่วนใหญ่มีค่า  $L^*$  สูงขึ้นหลังการซัก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีสีอ่อนลงหลังการซัก ยกเว้นผ้า ทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลาในการย้อม 15 นาที

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta L^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า หลังการซักผ้าที่ย้อม โดยใช้ระยะเวลา 15 นาที ส่วนใหญ่มีค่า  $L^*$  สูงขึ้นหลังการซัก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีสีอ่อนลง หลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ ระดับเกินพอดี้ 20 เปอร์เซนต์ ส่วนค่า  $L^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที หลังการซัก ไม่สามารถระบุแนวโน้มของค่า  $L^*$  ได้

แต่อย่างไรก็ตาม หลังการซัก พบว่า ค่า  $\Delta L^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า สภาวะย้อมแตกต่างกัน มีผลทำให้ความสว่างเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันเล็กน้อย โดยสภาวะย้อม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในระดับพอดี้ ทำให้ความสว่างของสีเปลี่ยนแปลงไปน้อยที่สุด

ผลต่อค่า  $\Delta a^*$ 

ตารางที่ 11 ค่า  $\Delta a^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			$\Delta a^*$
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	
30	15	พอดี	-0.3224
30	15	พอดี+20 %	-0.4558
30	30	พอดี	-0.1230
30	30	พอดี+20 %	-0.4416
45	15	พอดี	0.0288
45	15	พอดี+20 %	0.3384
45	30	พอดี	0.4720
45	30	พอดี+20 %	-0.0234

จากตารางที่ 11 พบว่า ค่า  $\Delta a^*$  ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง -0.4558 ถึง 0.4720 ซึ่งมีค่าทั้งเป็นค่าบวกและค่าลบ โดยค่าที่เป็นบวก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีแดงมากขึ้นหลังการซัก ส่วนค่าที่เป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีเขียวมากขึ้นหลังการซัก

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta a^*$  ของผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ค่า  $\Delta a^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีเขียวมากขึ้นหลังการซัก ส่วนผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก แสดงว่า มีความเป็นสีแดงมากขึ้นหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ที่มีความเป็นสีเขียวมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta a^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าต่างกัน พบว่า ค่า  $\Delta a^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี ไม่สามารถระบุแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่า  $a^*$  ได้ ส่วนผ้าทดลองย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี

20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีเขียวมากขึ้นหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้เวลา 15 นาที ที่มีค่าเป็นบวก

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta a^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า หลังการซักผ้าที่ย้อม โดยใช้ระยะเวลา 15 นาที ไม่สามารถระบุแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงของค่า  $a^*$  ได้ ส่วนผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีเขียวมากขึ้น หลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี ที่มีค่าเป็นบวก

แต่อย่างไรก็ตาม หลังการซัก พบว่า ค่า  $\Delta a^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า สภาวะการย้อมที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ความเป็นสีเขียวเปลี่ยนแปลงต่างกันเล็กน้อย โดยสภาวะย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างในระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ความเป็นสีเขียวเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

ผลต่อค่า  $\Delta b^*$ 

ตารางที่ 12 ค่า  $\Delta b^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			$\Delta b^*$
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	
30	15	พอดี	0.5886
30	15	พอดี+20 %	1.0548
30	30	พอดี	-0.4450
30	30	พอดี+20 %	1.9294
45	15	พอดี	-0.1624
45	15	พอดี+20 %	-0.0926
45	30	พอดี	-2.6006
45	30	พอดี+20 %	-0.4542

จากตารางที่ 12 พบว่า ค่า  $\Delta b^*$  ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง -2.6006 ถึง 1.9294 ซึ่งมีค่า ทั้งเป็นค่าบวกและค่าลบ โดยค่าที่เป็นบวก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้น หลังการซัก ส่วนค่าที่เป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นหลังการซัก

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta b^*$  ของผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ค่า  $b^*$  ของผ้าทดลองย้อม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีเหลือง มากขึ้นหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า ที่ระดับพอดีที่มีค่าเป็นลบ ส่วนผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส มีค่า  $b^*$  เป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นหลังการซัก

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta b^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าต่างกัน พบว่า ผ้าทดลอง ย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมี ความเป็น สีน้ำเงินมากขึ้นหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้

ระยะเวลาในการย้อม 15 นาที ส่วนค่า  $b^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซนต์ ไม่สามารถระบุแนวโน้มของค่า  $\Delta b^*$  ได้

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta b^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า หลังการซักผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที ไม่สามารถระบุแนวโน้มของค่า  $b^*$  ได้ ส่วนผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที ส่วนใหญ่มีค่า  $b^*$  เป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความเป็นสีน้ำเงินมากขึ้นหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซนต์ ที่มีค่าเป็นบวก

แต่อย่างไรก็ตาม หลังการซัก พบว่า ค่า  $\Delta b^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า สภาวะการย้อมที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ความเป็นสีน้ำเงินเปลี่ยนแปลงต่างกันเล็กน้อย โดยสภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในระดับ เกินพอดี 20 เปอร์เซนต์ ทำให้ความเป็นสีน้ำเงินเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

ผลต่อค่า  $\Delta C^*$ 

ตารางที่ 13 ค่า  $\Delta C^*$  ของผ้าไหมข้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการข้อม			$\Delta C^*$
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	
30	15	พอดี	-0.5408
30	15	พอดี+20 %	-1.5454
30	30	พอดี	0.1476
30	30	พอดี+20 %	-2.2294
45	15	พอดี	0.1512
45	15	พอดี+20 %	-0.3122
45	30	พอดี	2.4480
45	30	พอดี+20 %	0.4458

จากตารางที่ 13 พบว่า ค่า  $\Delta C^*$  ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง -2.2294 - 2.4480 ซึ่งมีค่าทั้งเป็นค่าบวกและค่าลบ โดยค่าที่เป็นบวก แสดงว่า ผ้าทดลองข้อมมีความสดใสมากขึ้นหลังการซัก ส่วนค่าที่เป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองข้อมมีความสดใสน้อยลงหลังการซัก

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta C^*$  ของผ้าที่ข้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ค่า  $\Delta C^*$  ของผ้าทดลองข้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองข้อมมีความสดใสน้อยลงหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองข้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับพอดีที่มีค่าเป็นบวก ส่วนผ้าทดลองข้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีค่า  $\Delta C^*$  เป็นบวก แสดงว่า ผ้าทดลองข้อมมีความสดใสมากขึ้นหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองข้อมที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ที่มีค่าเป็นลบ

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta C^*$  ของผ้าที่ข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าต่างกัน พบว่า ค่า  $\Delta C^*$  ของผ้าทดลองข้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับพอดี ส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก แสดงว่า ผ้าทดลองข้อมมีความสดใสมากขึ้นหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองข้อมที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

และใช้ระยะเวลา 30 นาที ผ้าทดลองย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซนต์ ส่วนใหญ่มีค่า  $C^*$  เป็นลบเช่นเดียวกัน แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความสโตไลลดลง หลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลา 30 นาที ที่มีค่า เป็นบวก

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta C^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า ค่า  $C^*$  ของผ้าทดลอง ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความสโตไลลดลง หลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า ที่ระดับพอดีที่มีค่าเป็นบวก ส่วนผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที ส่วนใหญ่มีค่า  $C^*$  เป็นบวก แสดงว่า ผ้าทดลองย้อมมีความสโตไลมากขึ้นหลังการซัก ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซนต์ ที่มีค่าเป็นลบ

แต่อย่างไรก็ตาม หลังการซัก พบว่า ค่า  $\Delta C^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า สภาวะย้อมที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ความสโตไลของสีเปลี่ยนแปลงต่างกันเล็กน้อย โดยสภาวะย้อม ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในระดับพอดี ทำให้ความสโตไลของสีเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

ผลต่อค่า  $\Delta h^*$ 

ตารางที่ 14 ค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			$\Delta h^*$
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	
30	15	พอดี	-1.7890
30	15	พอดี+20 %	-3.5684
30	30	พอดี	0.1052
30	30	พอดี+20 %	-3.9318
45	15	พอดี	0.3068
45	15	พอดี+20 %	-3.0616
45	30	พอดี	4.9422
45	30	พอดี+20 %	0.7514

จากตารางที่ 14 พบว่า ค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าทดลองอยู่ระหว่าง -3.9318 - 4.9422 ซึ่งมีค่าทั้งเป็นค่าบวกและค่าลบ โดยค่าที่เป็นบวก แสดงว่า หลังการซักสีของผ้าทดลองย้อมออกแดงมากขึ้น ส่วนค่าที่เป็นลบ แสดงว่า หลังการซักสีของผ้าทดลองย้อมออกน้ำเงินมากขึ้น

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าที่ย้อมที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่า หลังการซักของผ้าทดลองย้อมออกน้ำเงินมากขึ้น ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับพอดีที่มีค่าเป็นบวก ส่วนค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก แสดงว่า หลังการซักสีของผ้าทดลองย้อมออกแดงมากขึ้น ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ที่มีค่าเป็นลบ

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าต่างกัน พบว่า ค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับพอดี ส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก แสดงว่า หลังการซักสีของผ้าทดลองย้อมออกแดงมากขึ้น ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

และใช้ระยะเวลา 15 นาที ที่มีค่าเป็นลบ ส่วนค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่า หลังการซักของผ้าทดลองย้อม ออกน้ำเงินมากขึ้น ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้ระยะเวลา 30 นาที ที่มีค่าเป็นบวก

เมื่อพิจารณาค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลาต่างกัน พบว่า ค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที ส่วนใหญ่มีค่าเป็นลบ แสดงว่า หลังการซักของผ้าทดลองย้อม ออกน้ำเงินมากขึ้น ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับพอดีที่มีค่าเป็นบวก ส่วนค่า  $\Delta h^*$  ของผ้าทดลองย้อมที่ใช้ระยะเวลา 30 นาที ส่วนใหญ่มีค่าเป็นบวก แสดงว่า หลังการซักสีของผ้าทดลองย้อมออกแดงมากขึ้น ยกเว้นผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ที่มีค่าเป็นลบ

แต่อย่างไรก็ตาม หลังการซัก พบว่า ค่า  $\Delta h^*$  ที่ได้มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงว่า สภาวะย้อมที่แตกต่างกัน มีผลทำให้ความเป็นสีน้ำเงินเปลี่ยนแปลงต่างกันเล็กน้อย โดยสภาวะย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างในระดับพอดี ทำให้สีเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด

ผลต่อค่า  $\Delta E^*$ 

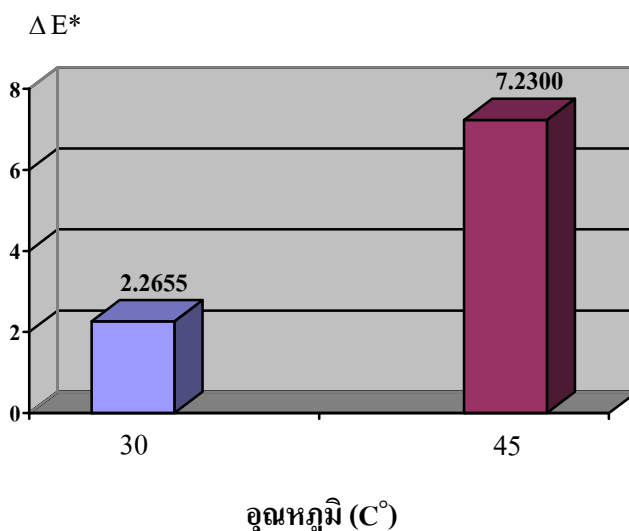
ตารางที่ 15 ค่า  $\Delta E^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์ และค่าที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			$\Delta E^*$
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า	
30	15	พอดี	1.1394
30	15	พอดี+20 %	1.8948
30	30	พอดี	2.9846
30	30	พอดี+20 %	3.0432
45	15	พอดี	5.9917
45	15	พอดี+20 %	5.8254
45	30	พอดี	8.2496
45	30	พอดี+20 %	8.8635

จากตารางที่ 15 พบว่า ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม (ค่า  $\Delta E^*$ ) แตกต่างกันค่อนข้างมาก แสดงว่า สภาวะการย้อมมีผลต่อค่า  $\Delta E^*$  ทั้งนี้ ผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และค่าในระดับพอดี ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมต่ำที่สุด แสดงว่า สีมีความคงทนมากที่สุด

เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $\Delta E^*$  ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ พบว่า อุณหภูมิในการย้อมมีผลต่อค่า  $\Delta E^*$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งเป็นการปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 1 ที่ตั้งไว้ว่า อุณหภูมิในการย้อมไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$

ส่วนระยะเวลาในการย้อม ปริมาณสารรีดิวซ์และค่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการย้อม ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่า ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการย้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่า และปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ ระยะเวลาในการย้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และค่า ไม่มีผลต่อค่า  $\Delta E^*$  จึงยอมรับสมมติฐานข้อที่ 2-7



ภาพที่ 11 ค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่ย้อมที่อุณหภูมิ 30 และ 45 องศาเซลเซียส

จากภาพที่ 11 จะเห็นว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม (ค่า  $\Delta E^*$ ) ต่ำกว่าผ้าทดลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส แสดงว่า การใช้ อุณหภูมิในการย้อมที่ 30 องศาเซลเซียส มีผลทำให้การเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวมน้อยกว่าหรือ สีความคงทนต่อการซักดีกว่าการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเนื่องจากการดูดซับ อินดิโกบนเส้นไหมที่อุณหภูมิการย้อมต่ำส่งผลให้เส้นไหมดูดซับสีได้มากกว่าการย้อมโดยใช้ อุณหภูมิสูง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการย้อมมีผลให้เวลาที่ทำให้สีติดเส้นไหมได้สูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้น เพราะการย้อมสีเส้นไหมเป็นกระบวนการคายความร้อน (ไพศาลและคณะ, 2543) ดังนั้น เมื่อระยะเวลาการย้อมเท่ากัน การย้อมผ้าไหมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส โมเลกุลของสีสามารถ แพร่เข้าสู่ด้านในของเส้นใยไหมได้และถูกดูดซับเข้าไปในโครงสร้างของเส้นใยไหม จึงมี ความแข็งแรงของการย้อมสูงกว่าการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ที่โมเลกุลของสีอาจถูก ดูดซับเฉพาะที่ผิวหน้าของเส้นใยไหมเท่านั้น ยังไม่สามารถแพร่เข้าสู่ด้านในของเส้นใยได้ จึงมี ความแข็งแรงของการย้อมน้อยกว่า เมื่อนำไปทดสอบการซักสีจึงถูกชะล้างออกไป เพราะฉะนั้น การย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จึงเพียงพอต่อการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

### ตอนที่ 3 ผลของสภาวะการย้อมต่อความเหนียวของผ้าไหมย้อมด้วยครามธรรมชาติ

จากการทดลองย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ โดยใช้อุณหภูมิ ระยะเวลาในการย้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่างกัน แล้วนำผ้าไหมที่ย้อมไปวัดค่าแรงดึงขาด (breaking load) ในแนวเส้นด้ายยืนและวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยได้ผลดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ค่าเฉลี่ยแรงดึงขาดในแนวเส้นด้ายยืนของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			แรงดึงขาด (นิวตัน)
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณสารรีดิวซ์และด่าง	
30	15	พอดี	365.03
30	15	พอดี+20 %	350.39
30	30	พอดี	348.45
30	30	พอดี+20 %	335.92
45	15	พอดี	300.87
45	15	พอดี+20 %	298.90
45	30	พอดี	286.25
45	30	พอดี+20 %	250.69

จากตารางที่ 16 ซึ่งแสดงค่าเฉลี่ยแรงดึงขาดในแนวเส้นด้ายยืนของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ พบว่า ค่าแรงดึงขาดสูงสุดเท่ากับ 365.03 นิวตัน และต่ำสุดเท่ากับ 250.69 นิวตัน โดยเฉลี่ยผ้าทดลองย้อมมีค่าแรงดึงขาด 317.063 นิวตัน เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดึงขาดของผ้าก่อนย้อมซึ่งมีค่าเฉลี่ย 460.24 นิวตัน พบว่าแรงดึงขาดลดลง 31.11 เปอร์เซ็นต์ นั่นแสดงว่า การย้อมครามในสภาวะต่าง ๆ มีผลทำให้ความเหนียวของผ้าไหมลดลงค่อนข้างมาก ทั้งนี้เป็นเพราะสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าไหมควรมีความเป็นกรดอ่อน ๆ เนื่องจากคุณสมบัติทางเคมีของเส้นใยไหมนั้น ไม่คงทนต่อสารเคมีที่เป็นกรดและด่างที่มีความเข้มข้นมาก ๆ ซึ่งในกรณีนี้อาจเป็นเพราะ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในน้ำย้อมทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับใยไหมทำให้ใยไหมสลายตัว ส่งผลให้ความเหนียวของผ้าลดลง

เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมย้อมครามที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่า ผ้าไหมย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าแรงดึงขาดสูงกว่าผ้าไหมย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส นั้นแสดงว่า การย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีผลทำให้ความเหนียวของผ้าลดลงน้อยกว่าการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการย้อมผ้าไหมที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทำลายโครงสร้างของใยไหมมาก ส่งผลให้ความเหนียวของผ้าลดลงมากกว่า

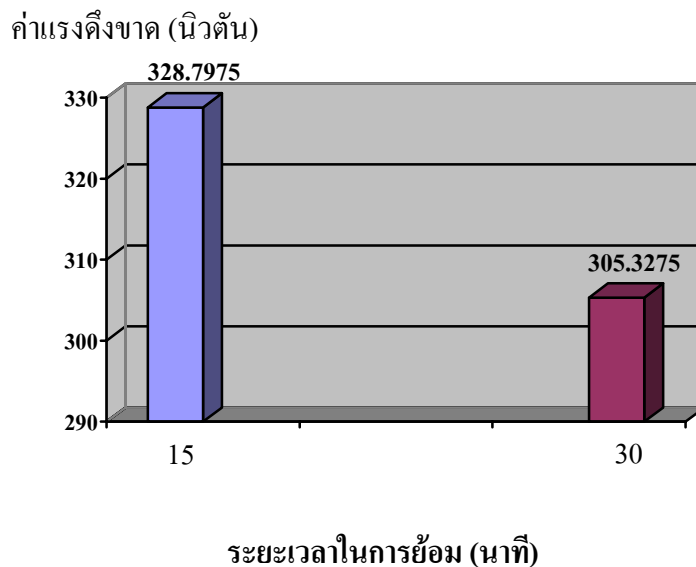
เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมย้อมโดยใช้ระยะเวลาย้อมต่างกัน พบว่า ผ้าไหมย้อมที่ระยะเวลา 15 นาที มีค่าแรงดึงขาดสูงกว่าการย้อมที่ระยะเวลา 30 นาที นั้นแสดงว่า ผ้าไหมย้อมที่ระยะเวลา 15 นาที มีผลทำให้ความเหนียวของผ้าลดลงน้อยกว่าการย้อมที่ระยะเวลา 30 นาที ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผ้าไหมที่อยู่ในน้ำย้อมที่มีสภาวะต่าง นานกันไป จึงทำให้เส้นใยไหมเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำย้อมนานกว่า ทำให้ใยไหมสลายตัว ส่งผลให้ความเหนียวของผ้าลดลงมากกว่าการย้อมที่ใช้ระยะเวลา 15 นาที

เมื่อพิจารณาค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างต่างกัน พบว่า ผ้าไหมย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับพอดี มีค่าแรงดึงขาดสูงกว่าผ้าไหมย้อมโดยใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ นั้นแสดงว่า การย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับพอดี มีผลทำให้ความเหนียวของผ้าลดลงน้อยกว่าการย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เป็นเพราะเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์สูง ปฏิกิริยาทางเคมีจะรุนแรงกว่า จึงทำให้เส้นใยไหมถูกไฮโดรไลส์มากกว่า การย้อมที่ใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และต่างระดับพอดี ทำให้ใยไหมสลายตัวมากกว่าและส่งผลให้ความเหนียวของผ้าลดลงมากกว่า

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และต่างที่ระดับต่าง ๆ พบว่า ระยะเวลาในการย้อม มีผลต่อความเหนียวของผ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 ซึ่งเป็นการปฏิเสธสมมติฐานข้อที่ 2 ที่ตั้งไว้ว่า ระยะเวลาในการย้อมไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้า

ส่วนอุณหภูมิในการย้อม ปริมาณสารรีดิวซ์และต่าง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับระยะเวลาในการย้อม ปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับปริมาณสารรีดิวซ์และต่าง ปฏิสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาในการย้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และต่าง และปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิ

ระยะเวลาในการย้อมกับปริมาณสารรีดิวซ์และต่างไม่มีผลต่อความเหนียวของผ้า จึงยอมรับสมมติฐานข้อที่ 1 และข้อที่ 3-7



ภาพที่ 12 ค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติโดยใช้ระยะเวลา 15 และ 30 นาที

จากภาพที่ 12 จะเห็นว่าผ้าทดลองที่ใช้ระยะเวลาการย้อม 15 นาที มีค่าแรงดึงขาดสูงกว่าผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที นั่นแสดงว่า การย้อมที่ระยะเวลา 15 นาที มีผลทำให้ความเหนียวของผ้าทดลองย้อมลดลงน้อยกว่าการย้อมที่ระยะเวลา 30 นาที ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผ้าไหมแช่อยู่ในน้ำย้อมที่มีสถานะต่างนานเกินไป จึงทำให้เส้นใยไหมเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำย้อม ทำให้ใยไหมสลายตัว ส่งผลให้ความเหนียวของผ้าลดลง

#### ตอนที่ 4 สถานะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

การพิจารณาเลือกสถานะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ ในการศึกษานี้พิจารณาจากค่าสี ความคงทนของสีต่อการซัก และความเหนียวของผ้าไหม โดยค่าที่บ่งชี้ลักษณะที่ดีของสี คือ ค่า  $C^*$  ซึ่งบ่งบอกถึงความสดใสหรือความบริสุทธิ์ของสี และความเข้มสี (ค่า  $K/S$ ) ด้านความคงทนของสีต่อการซักพิจารณาค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E^*$ ) ทั้งนี้ พิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนและผลการจัดลำดับค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test

##### ค่า $C^*$

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $C^*$  พบว่า การย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ ให้ค่า  $C^*$  ไม่แตกต่างกัน และจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า ผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ย  $C^*$  ของผ้าไหมย้อมด้วยครามธรรมชาติ ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่าสถานะการย้อมใดให้ผลดีที่สุดในแง่เศรษฐศาสตร์แล้วควรเลือกสถานะการย้อมที่ใช้พลังงานต่ำสุด ใช้ระยะเวลาและทรัพยากรน้อยที่สุด ซึ่งก็คือ สถานะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี

##### ค่า $K/S$

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $K/S$  ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ พบว่า สถานะการย้อมไม่มีผลต่อค่า  $K/S$  และจากการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า ผลความแตกต่างของค่าเฉลี่ย  $K/S$  ของผ้าไหมย้อมด้วยครามธรรมชาติ ไม่สามารถชี้ชัดได้ว่า สถานะการย้อมใดให้ผลดีที่สุดในแง่เศรษฐศาสตร์แล้วควรเลือกสถานะการย้อมที่ใช้พลังงานต่ำสุด ใช้ระยะเวลาและทรัพยากรน้อยที่สุด ซึ่งก็คือ สถานะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี

ค่า  $\Delta E^*$ 

จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $\Delta E^*$  ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติ ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ พบว่า ผ้าทอคลองย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส มีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีโดยรวม ( $\Delta E^*$ ) น้อยกว่าผ้าทอคลองย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ผลการจัดกลุ่มตามความแตกต่างของค่าเฉลี่ย  $\Delta E^*$  ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติ โดยย้อมที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ

สภาวะการย้อม			ค่าเฉลี่ย $\Delta E^*$	Duncan group
อุณหภูมิ (C°)	ระยะเวลา (นาท)	ปริมาณสารรีดิวซ์และด่าง		
30	15	พอดี	1.139398	A
30	15	พอดี+20%	1.894817	A
30	30	พอดี	2.984626	A B
30	30	พอดี+20%	3.043204	A B
45	15	พอดี	5.825452	A B
45	15	พอดี+20%	5.991750	A B
45	30	พอดี	8.249600	B
45	30	พอดี+20%	8.863505	B

จากตารางที่ 17 พบว่า กลุ่มสภาวะการย้อมที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยที่สุด คือ กลุ่ม A มี 2 สภาวะ คือ สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ ปริมาณ สารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี และสภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ และกลุ่ม สภาวะการย้อมที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีค่อนข้างมาก คือ กลุ่ม A B มี 4 สภาวะ คือ สภาวะ การย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับ พอดี สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์ และด่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา

15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ และสภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี ส่วนกลุ่มสภาวะการย้อมที่ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมาก คือ กลุ่ม B มี 2 สภาวะ คือ สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี และสภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่า ถ้าพิจารณาจากความคงทนของสี สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ สภาวะการย้อมที่ให้ค่า  $\Delta E^*$  ต่ำสุด ซึ่งก็คือ การย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี

### ความเหนียวของผ้าที่ย้อม

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ พบว่า ผ้าทดลองย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที ผ้าทดลองย้อมมีค่าแรงดึงขาดสูงกว่าการย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที และเมื่อวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการจัดกลุ่มตามความแตกต่างของค่าเฉลี่ยความเหนียวของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ โดยย้อมที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ

อุณหภูมิ (C°)	สภาวะการย้อม		ความเหนียว	Duncan group
	ระยะเวลา (นาที)	ปริมาณสารรีดิวซ์และด่าง		
30	15	พอดี	350.7860	A
30	15	พอดี+20%	347.5960	A
45	15	พอดี	338.7260	A
45	15	พอดี+20%	332.6800	A
30	30	พอดี	295.9720	B
30	30	พอดี+20%	292.5140	B
45	30	พอดี	286.8260	B
45	30	พอดี+20%	283.6600	B

จากตารางที่ 18 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test พบว่า กลุ่มสภาวะการย้อมที่ให้ค่าความเหนียวของเส้นใยสูงที่สุด คือ กลุ่ม A มี 4 สภาวะ คือ สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี และสภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนกลุ่มสภาวะการย้อมที่ให้ค่าความเหนียวของเส้นใยต่ำ คือ กลุ่ม B มี 4 สภาวะ คือ สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี และสภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ จึงสรุปได้ว่า ถ้าพิจารณาจากความเหนียวของผ้าที่ย้อม สภาวะที่เหมาะสมที่สุด คือ สภาวะที่ให้ค่าแรงดึงขาดสูงสุด ซึ่งก็คือ การย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างระดับพอดี

โดยสรุป เมื่อพิจารณาทั้งค่าความสโตอิคของสี (C\*) ความเข้มของสี (K/S) ความคงทนของสี ( $\Delta E^*$ ) และความเหนียวของผ้าที่ย้อม พบว่า สภาวะการย้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ คือ การย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างระดับพอดี

## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ สภาวะการย้อมที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการย้อม และปริมาณสารรีดิวซ์และด่าง โดยศึกษาผลที่มีต่อค่าสี ความคงทนของสีต่อการซัก และความเหนียวของผ้าไหมที่ย้อม

ครามธรรมชาติที่ใช้ในการทดลองเป็นครามเปียกที่มีลักษณะเป็นแป้งข้น (indigo paste) ซึ่งได้จากการแยกสกัดสีด้วยวิธีการหมักแบบพื้นบ้านจากบ้านนาดี ตำบลหัวบ่อ อำเภอพรหมนิคม จังหวัดสกลนคร จากการวิเคราะห์หาปริมาณสีในเนื้อครามแห้ง โดยนำครามเปียกมาอบแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ได้น้ำหนักครามแห้งคิดเป็น 30.54 เปอร์เซ็นต์ของครามเปียก มีปริมาณสีครามประมาณ 1.2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

การทดลองย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติดำเนินการตามแผนการทดลองแบบ Split-plot design in CRD โดยมีปัจจัยการทดลอง 3 ปัจจัย ได้แก่ อุณหภูมิในการย้อมมี 2 ระดับ คือ 30 และ 45 °C ระยะเวลาในการย้อม มี 2 ระดับ คือ 15 และ 30 นาที และปริมาณสารรีดิวซ์และด่าง มี 2 ระดับ คือ ระดับพอดี และระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นนำผ้าทดลองไปประเมินค่าสีด้วยระบบ CIE L\* a\* b\* โดยใช้เครื่อง UV Spectrophotometer ในการวัดค่าสีและการเปลี่ยนแปลงของสี ทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก โดยใช้วิธีทดสอบตามวิธีมาตรฐาน AATCC Test Method 61-1993 test No.1A และทดสอบความเหนียวของผ้าทดลองโดยวิธีวัดค่าแรงดึงขาดของผ้าทดลอง ตามวิธีทดสอบมาตรฐาน ASTM D 5035 : 2006 แบบ Raveled Strip Test

ในการศึกษาผลของสภาวะการย้อมต่อค่าสี ความคงทนของสีต่อการซักและความเหนียวของผ้าทดลอง ดำเนินการโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยวิธี Two-way analysis of variance และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test การพิจารณาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ พิจารณาจากค่าความสดใสของสี (C\*) ความเข้มของสี (K/S) ความคงทนของสีต่อการซัก ( $\Delta E^*$ ) และความเหนียวของผ้าที่ย้อม

จากการศึกษาผลของสภาวะการย้อมต่อค่าสีของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ พบว่า ค่าสีของผ้าที่ย้อมในสภาวะต่าง ๆ มีความใกล้เคียงกัน โดยเฉลี่ยผ้าที่ย้อมได้มีค่า  $L^*$  ก่อนข้างสูง (ผ้ามีสีอ่อน) มีค่า  $a^*$  เป็นลบ (ความเป็นสีเขียว) ซึ่งมีค่าต่ำ มีค่า  $b^*$  เป็นลบ (มีความเป็นสีน้ำเงิน) ซึ่งมีค่าค่อนข้างต่ำ มีค่า  $C^*$  (ความสดใสของสี) ไม่สูงนัก มีค่า  $h^*$  ที่มีระบุตำแหน่งสีอยู่ในช่วงสีน้ำเงิน และมีค่า  $K/S$  (ความเข้มสี) ค่อนข้างต่ำ จากค่าสีดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าผ้าที่ย้อมได้มีสีฟ้าอ่อน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างไม่มีผลต่อค่า  $L^*$   $a^*$   $b^*$   $C^*$   $h^*$  และ  $K/S$  ของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติ

จากการวิเคราะห์ค่า  $\Delta E^*$  ซึ่งระบุความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ พบว่า มีค่า  $\Delta E^*$  มีค่าอยู่ระหว่าง 1.1394 ถึง 8.8635 แสดงว่า ความคงทนของสีอยู่ในระดับดีมากถึงพอใช้ ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า อุณหภูมิในการย้อมมีผลต่อค่า  $\Delta E^*$  อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 การย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ให้ค่า  $\Delta E^*$  ต่ำกว่า การย้อมที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ค่าความเหนียวของผ้าไหมที่ย้อมครามธรรมชาติ พบว่า โดยเฉลี่ยแรงดึงขาดของผ้าหลังย้อมมีค่าลดลงจากก่อนย้อม 31.11 เปอร์เซ็นต์ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ระยะเวลาย้อมมีผลต่อความเหนียวของผ้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 15 นาที มีความเหนียวสูงกว่าผ้าที่ย้อมโดยใช้ระยะเวลา 30 นาที

เมื่อพิจารณาลำดับคุณภาพของผ้าที่ย้อมจากค่า  $C^*$   $K/S$   $\Delta E^*$  และความเหนียวของผ้าไหมสามารถสรุปได้ว่า สภาวะการย้อมที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที และใช้ปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับพอดี (คราม 1 กรัม ต่อ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ 1.75 กรัม ต่อ โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.75 กรัม) เป็นสภาวะการย้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติ

## ข้อเสนอแนะ

### ข้อเสนอแนะทั่วไป

1. ในการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติขณะที่นำผ้าขึ้นจากน้ำย้อมไม่ควรบิดผ้าหรือขยำน้ำย้อมออกจากผ้า ควรใช้วิธีการรีดน้ำย้อมออกจากผ้าเพื่อไม่ให้เนื้อผ้าเกิดรอยยับซึ่งอาจเป็นต้นเหตุของการด่าง เนื่องจากโมเลกุลของสีจะหลุดออกไปเฉพาะที่ ส่วนตรงรอยยับโมเลกุลของสีจะยังคงเหลืออยู่ เมื่อถูกออกซิไดซ์ด้วยอากาศสีตรงรอยยับจะมีสีเข้มกว่าตรงส่วนอื่น ๆ ของผ้า
2. วิธีการตากผ้าควรตากให้ทุกส่วนของผ้าได้สัมผัสอากาศโดยตรง ไม่ควรตากให้ผ้ามีส่วนที่ซ้อนหรือทับทกันเพราะอาจทำให้ผ้าด่างได้ เนื่องจากผ้าไม่ได้รับการสัมผัสอากาศโดยตรงจึงทำให้บางส่วนของผืนผ้าถูกออกซิไดส์ไม่เท่ากัน
3. ควรตากผ้าไว้ในที่ที่ไม่มีแสงแดดส่องถึงหรือในที่ร่ม เพราะจากการทดลองเบื้องต้นพบว่า การตากผ้าไว้ในที่มีแสงแดดส่องถึงผ้าที่ย้อมได้จะมีสีเข้มน้อยกว่าผ้าที่ตากไว้ในที่มีแสงแดดส่องไม่ถึง

### ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป

1. งานวิจัยครั้งนี้ใช้สีครามธรรมชาติแบบครามเปียกจึงมีส่วนผสมของปูนขาวและน้ำอยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งยากต่อการหาปริมาณสีที่แท้จริง และมีผลต่อการหาปริมาณสารรีดิวซ์ที่เหมาะสมกับเนื้อสี จึงควรทดลองใช้สีครามธรรมชาติแห้งเพื่อให้ได้ปริมาณสีที่แท้จริง และง่ายต่อการหาปริมาณสารรีดิวซ์ที่เหมาะสมกับเนื้อสี
2. งานวิจัยครั้งนี้ใช้ผ้าไหมทอสีเส้น จึงทำให้มีผ้ามีความหนาจึงทำให้โมเลกุลสีแทรกซึมเข้าไปได้น้อย จึงควรทดลองโดยใช้เส้นด้ายไหม เพื่อจัดทำเป็นสูตรการย้อมมาตรฐาน โดยควบคุมส่วนผสมน้ำย้อมและเนื้อครามจากแหล่งเดียวกัน
3. ควรศึกษาผลของการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติในด้านความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการขัดถูด้วย เพื่อเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้งาน

4. ควรศึกษาจำนวนการย้อมซ้ำที่ระดับต่าง ๆ เพื่อศึกษาค่าสีที่ได้ในระดับต่างกัน
5. ควรศึกษาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การฟีนิกสีของน้ำย้อมในระหว่างทำการย้อม และหลังการย้อม
6. ควรศึกษาเปรียบเทียบผลการย้อมที่ใช้สีครามเปียกและครามผง โดยควบคุมส่วนผสม น้ำย้อมและเนื้อครามจากแหล่งเดียวกัน
7. ควรศึกษาเปรียบเทียบผลการย้อมผ้าไหมด้วยครามธรรมชาติที่ใช้น้ำค้างเคมีกับน้ำค้างธรรมชาติ
8. ควรศึกษาเปรียบเทียบสีครามจากแหล่งอื่น ๆ ด้วย
9. การนำผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติไปทดสอบความเหนียว ควรทดสอบทั้งแนวด้ายยืน และด้ายพุ่ง ตามวิธีมาตรฐานที่เหมาะสม

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กำพล กาหลง. 2544. การข้อมสิทธิ์ธรรมชาติจากคราม. วารสารเกษตรกรรมธรรมชาติ 3: 25-27.

ขวัญฤทัย คำขาว และ เตือนใจ สามห้วย. 2530. สิทธิธรรมชาติก้าวไกลถ้าสรรใช้เทคโนโลยี.  
วารสารคหเศรษฐศาสตร์ 30(2): 106-115.

งามจิตร วิฑูรย์สฤกษ์ศิลป์. ม.ป.ป. สีแสดและกรรมวิธีการข้อม. งานวิเคราะห์วิจัยเคมีสิ่งทอ  
กองอุตสาหกรรมสิ่งทอ กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

จิราภรณ์ อรัณยษนา. 2525. สีข้อมธรรมชาติ. วารสารศิลปกร 26: 96-123.

เทียนศักดิ์ เมฆพรรณ โอภาส. 2534. สีข้อมธรรมชาติกับการข้อม. วารสารมหาวิทยาลัย  
ศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม 10 (1): 1-9.

บุญญา อนุสรณ์รัชดา. 2540. การศึกษาลักษณะทางพฤกษศาสตร์และระยะเวลาเจริญเติบโตที่  
เหมาะสมของครามในการสกัดสีธรรมชาติ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

ปิยชาติ ไตรสารศรี. 2540. การศึกษาอนุกรมวิธานของพืชให้สีข้อมเส้นใยธรรมชาติใน  
ประเทศไทย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พูลทรัพย์ สวนเมือง ตุลาพันธุ์. 2541. การข้อมสีใหม่ด้วยวัสดุธรรมชาติในภาคอีสานของไทย.  
สมาคมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, กรุงเทพฯ.

ไพศาล คงกาญจนา อรุณศิริ ชิตางกูร และ เฉลียว หมัดอ้าว. 2543. รายงานโครงการวิจัย  
การพัฒนาเทคนิคการข้อมใหม่ด้วยสีธรรมชาติจากครามและครั้ง. สำนักงานกองทุน  
สนับสนุนการวิจัย, กรุงเทพฯ.

มณฑา โกเฮง. 2537. เอกสารประกอบการสอนวิชาการข้อมสีและการพิมพ์.  
ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)

- มณฑา จันทร์เกตุเล็ก. 2541. **วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น**. สมาคมคหเศรษฐศาสตร์แห่งประเทศไทยในพระบรมราชินูปถัมภ์, กรุงเทพฯ.
- โมโตอิ มินะกาเว เออิชิ คาวาอิ และ เข็มชัย เหมะจันทร์. 2530. **วิทยาการไหมเล่ม 1**. คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไทย กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- ลัดดา งามนิรัตน์. 2537. **สีแห่งอารยธรรม**. บริษัทนิปปอนโปรดักส์เซ็นเซอร์วิส จำกัด (NPS) ชอง 9 อสมท, กรุงเทพฯ.
- วนิดา สุพรรณเสณี สมควร สุวิชาติ และ ประเชษฐ สร้อยพาคำ. 2531. **สีธรรมชาติจากพืชและสัตว์ในประเทศไทย**. ฝ่ายวิจัยป่า กองวิจัยผลิตผลป่าไม้ กรมป่าไม้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. (อัดสำเนา)
- วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2543. **วิทยาศาสตร์เส้นใย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- ศิรินันท์ ห่อสมบัติ. 2543. **สถานะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยครามธรรมชาติและโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคเหนือ. 2528. **สีย้อมธรรมชาติ (สีสมุนไพร)**. กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม (8): 5-6.
- สกาวัฒน์ หิรัญกิจมงคล. 2543. **จลนพลศาสตร์และอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการย้อมสีเส้นไหมด้วยสีครามธรรมชาติ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิริรัตน์ จารุจินดา. 2540. **ทฤษฎีการวัดสี**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- \_\_\_\_\_. 2548. **การลอกขาวไหมและการฟอกขาวไหม**. คัลเลอร์เวย์ 56 (10): 34.

- ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ. 2542. **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับทฤษฎีการวัดสี.** สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.
- อนูรัตน์ สายทอง. 2544. การผลิตสีครามจากต้นคราม ตอนที่ 2 กระบวนการผลิตสีครามธรรมชาติ. **วารสารวิทยาศาสตร์** 55(1): 56-60.
- อนันต์ชัย เขื่อนธรรม. 2542. **หลักการวางแผนการตลาด.** ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- อัจฉราพร ไสละสูต. 2527. **ความรู้เรื่องผ้า.** เทคนิค 19 การพิมพ์, กรุงเทพฯ.
- AATCC. 1992. **Color Measurement Principles and the Textile Industry.** AATCC Technical Center Research Triangle Park, North Carolina.
- Aspland, J.R. 1993. Color, color measurement and control. **Textile Chem.** 24 (3): 21-24.
- ASTM. 1992. **Annual Book of ASTM Standard Section 7.** Textiles American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- Bailey, H. And J.A. Steyermark. 1976. **A Concise Kictionary of Plants Cultivated in the United State and Canada.** Macmillan, New York.
- Corbman, B.P. 1975. **Textiles Fiber to Fabric.** 6<sup>th</sup> ed., McGraw-Hill, Singapore.
- David, G.D. and S.S. Ray. 1989. **Dyes for Cellulosic Fibers.** Society of Dyes and Colorists, West Yorkshire.
- Gillow, J. and N. Bernard. 1994. **Traditional Indian Textiles.** Singapore National Printers Ltd., Singapore.

Gohl, E.P.G. and L.D. Vilensky. 1990. **Textile Science**. Longman Cheshire, Melbourne.

Kuntou, K., Hongyo, S., Maeda, S. and Kenji Mishima. 2005. Dyeing Polyester Fabrics with Indigo. **Textile Research Journal** 75(2): 149-153.

Lloyd, J. 1971. **Dye from Plants**. Dai Nippon Printing Co. (International) Ltd., Hong Kong.

Lemmens, R. H. M. J. and Bunyapraphatsara, N. 1992. **Plant Resources of South-East Asia3 : Dye and tannin-producing plants Prosea Foundation Bogor Indonesia**. New York.

Standley, P.C. and J.A. Steyermark. 1964. **Flor of Guatemala**. Fieldiana, Bot.

Susilo, P.H. 1992. **Natural Indigo Dyes from Indigofera Plants for Textile Processing**. Institute for R&D of Textiles Industries Bandung, Indonesia.

Trotman, E.R. 1984. **Textile Processing and Properties, Preparation Dyeing, Finishing and Performance Elsevier Science**. B.V., Amsterdam.

ภาคผนวก

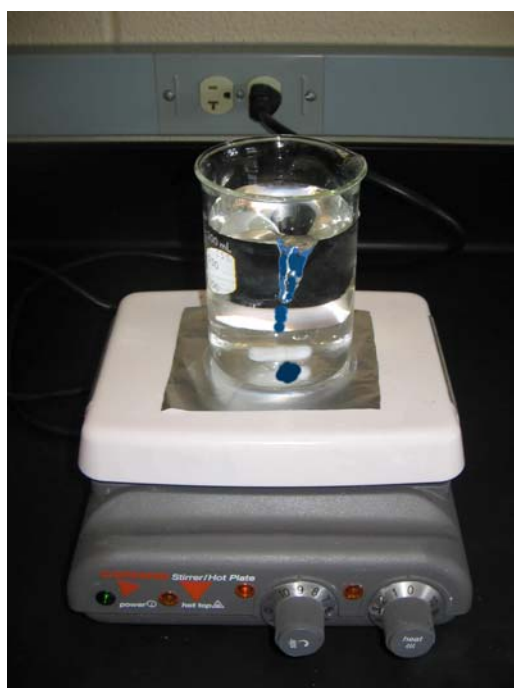
ภาคผนวก ก  
ภาพขั้นตอนวิธีการทดลอง

## การหาปริมาณสีครามโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง

ขั้นตอนการหาปริมาณสีครามโดยการวัดค่าการดูดกลืนแสง มีดังนี้

1. นำเนื้อครามไปละลายในสารรีดิวซ์และด่าง คือ โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) และ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) ในอัตราส่วน 1:1 ในบีกเกอร์ปิด คนสีให้ละลายด้วยเครื่อง magnetic stirrer ประมาณ 30 นาที เพื่อให้เกิดการรีดิวซ์ได้อย่างสมบูรณ์ ดังภาพผนวกที่ ก1

2. นำสารละลายสี (white indigo) ไปแยกปฏุนขาวด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 2,000 รอบ/ นาที เป็นเวลา 15 นาที ดังภาพผนวกที่ ก2



ภาพผนวกที่ ก1 ละลายเนื้อครามในสารรีดิวซ์และด่างด้วยเครื่อง magnetic stirrer



ภาพผนวกที่ ก2 นำสารละลายสีไปแยกปฏิกิริยาด้วยเครื่องหมุนเหวี่ยง

3. นำน้ำสีครามไปวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV. Vis Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 405 นาโนเมตร ดังภาพผนวกที่ ก3



ภาพผนวกที่ ก3 นำน้ำสีครามไปวัดค่าดูดกลืนคลื่นแสงด้วยเครื่อง UV. Vis Spectrophotometer

4. นำค่าการดูดกลืนแสงไปหาค่าความเข้มข้นของสีจากกราฟมาตรฐาน (ไพศาล, 2543) แล้วนำมาคำนวณค่าความเข้มข้นของสีในสารละลาย

## การหาปริมาณความเข้มข้นของสารรีดิวิซ์และด่างที่เหมาะสม

ขั้นตอนการหาปริมาณความเข้มข้นของสารรีดิวิซ์และด่างที่เหมาะสม มีดังนี้

1. ละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ในน้ำกลั่น (ละลายแยกกัน) โดยด้วยเครื่อง Magnetic stirrer ด้วยความเร็วปานกลาง (ระดับ 4) ดังภาพผนวกที่ ก4



ภาพผนวกที่ ก4 ละลายด่างในน้ำกลั่นด้วยเครื่อง Magnetic stirrer

2. ผสมสารละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟท์กับโซเดียมไฮดรอกไซด์แล้วนำไปวัดค่า pH ดังภาพผนวกที่ ก5
3. เมื่อได้ pH คงที่ ให้นำสีที่ละลายด้วยน้ำกลั่นลงไปในสารละลายด่าง แล้วคนให้ละลาย ใช้เวลาประมาณ 30 นาที การละลายสีที่สมบูรณ์สังเกตจากน้ำสีที่ได้เป็นสีเหลือง ดังภาพผนวกที่ ก6



ภาพผนวกที่ ก5 วัดค่า pH



ภาพผนวกที่ ก6 น้ำสีที่ละลายสมบูรณ์

4. แยกน้ำสีจากปูนขาวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง (centrifuge) ด้วยความเร็ว 2,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาที ปูนขาวจะตกตะกอน ดังภาพผนวกที่ ก7

5. แยกน้ำสีส่วนที่ใสใส่ขวดชมพู ประมาณ 5 มิลลิลิตร เพื่อหาปริมาณสารรีดิวซ์และค่า  
ที่พอเหมาะได้ คือ หยดกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) เข้มข้นในน้ำสี ค่อย ๆ เขย่าขวดให้ผสมเข้ากัน  
สังเกตการเปลี่ยนแปลง ถ้าน้ำสีขุ่นเป็นตะกอนขาวแสดงว่าในน้ำสียังคงมีโซเดียมไฮโดรซัลไฟต์  
เหลืออยู่ ดังภาพผนวกที่ ก8



ภาพผนวกที่ ก7 แยกน้ำสีจากปูนขาวโดยใช้เครื่องหมุนเหวี่ยง



ภาพผนวกที่ ก8 หาปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่พอเหมาะ

### ขั้นตอนการเตรียมน้ำสีและการย้อมไหมด้วยครามธรรมชาติ

ในการย้อมใช้อัตราส่วน ผ้า : น้ำสี เท่ากับ 1:30 การเตรียมผ้าทอลง น้ำสี และการย้อม มีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมผ้าไหมสำหรับทอลงโดยแช่น้ำกลั่น 1 ชั่วโมง บีบน้ำออกจากผ้าให้หมาด เพื่อเตรียมย้อมสี ดังภาพผนวกที่ ก9



ภาพผนวกที่ ก9 แช่ผ้าไหมสำหรับทอลงในน้ำกลั่น 1 ชั่วโมง

2. เตรียมน้ำกลั่นสำหรับผสมสีย้อมตามปริมาณที่กำหนดให้ได้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส แบ่งน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร มาละลายสี สารรีดิวัชและต่างโดยละลายแยกกัน ดังภาพผนวกที่ ก10 - ก11



ภาพผนวกที่ ก10 เตรียมสารละลาย



ภาพผนวกที่ ก11 ผสมสารละลายในน้ำกลั่น

4. ผสมน้ำสีครามคนให้ละลายในเวลา 25 นาที ภายใต้ภาชนะปิด น้ำสีจะอยู่ในรูปของสารละลายน้ำได้เป็นสีเหลือง ทดสอบโดยหยดน้ำสีลงบนกระดาษกรองหรือน้ำกลั่นหากไม่มีตะกอนสีครามตกค้างแสดงว่าสีถูกรีดิวซ์และละลายหมดแล้ว ซึ่งจะสามารถย้อมติดเนื้อผ้าได้ เดิมโซเดียมซัลเฟต และสบู่เทียม คนต่อให้ละลาย 5 นาที แล้วพักน้ำสีเพื่อรอปูนขาวตกตะกอน 10 นาที ดังภาพผนวกที่ ก12 - ก13



ภาพผนวกที่ ก12 ผสมสารละลายในสารละลายต่าง



ภาพผนวกที่ ก13 พักน้ำสีเพื่อรอปูนขาวตกตะกอน

5. กรองน้ำสีเพื่อแยกปูนขาวด้วยเครื่องดูดสูญญากาศ โดยระหว่างนี้ปิดภาชนะด้วยอลูมิเนียมฟอยล์ให้มิดชิดเพื่อไม่ให้น้ำสีสัมผัสอากาศ กรองให้ได้ปริมาณน้ำสี 645 มิลลิลิตร และเทใส่กระบอกลำหรับย้อม ซ้อนฟองที่ผิวน้ำสีทิ้งเพื่อกันค้าง ดังภาพผนวกที่ ก14 - ก15



ภาพผนวกที่ ก14 กรองน้ำสีเพื่อแยกปูนขาวด้วยเครื่องดูดสูญญากาศ



ภาพผนวกที่ ก15 น้ำสีที่พร้อมนำไปทดลองชิม

6. นำผ้าทดลองใส่ลงในกระบอกชิมโดยม้วนผ้าอย่างหลวมให้จมใต้น้ำชิม เพื่อให้ น้ำชิมสัมผัสกับผ้าทุกส่วน หลังจากนั้นปิดฝาทันทีนำเข้าเครื่องชิมด้วยอุณหภูมิที่กำหนดไว้ ตามระยะเวลาที่กำหนด ดังภาพผนวกที่ ก16 - ก17



ภาพผนวกที่ ก16 นำผ้าทดลองใส่ลงในกระบอกชิม



ภาพผนวกที่ ก17 ปิดฝาถังที่นำเข้าเครื่องย้อม

7. เมื่อครบกำหนดเวลาย้อม นำผ้าทดลองออกผึ่งให้สัมผัสอากาศเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สีผ้าจะเปลี่ยนกลับเป็นสีแดง (สีน้ำเงิน) ที่ไม่ละลายน้ำ ดังภาพผนวกที่ ก18

8. ล้างสีส่วนเกินออกจากผ้าทดลองด้วยน้ำกรอง โดยล้างให้หมดคราบสีเพื่อกันค้าง ดังภาพผนวกที่ ก19



ภาพผนวกที่ ก18 นำผ้าทดลองออกผึ่งให้สัมผัสอากาศ



ภาพผนวกที่ ก19 ล้างสีส่วนเกินออกจากผ้าทดลองด้วยน้ำกรอง

9. นำผ้าทดลองต้มในน้ำสบู่ โดยใช้อัตราส่วน ผ้า : น้ำสบู่เท่ากับ 1:30 (สบู่เทียม 1 กรัม : น้ำ 1,000 มิลลิลิตร) โดยควบคุมอุณหภูมิที่  $80 \pm 2$  องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาที  
ดังภาพผนวกที่ ก20 - ก21



ภาพผนวกที่ ก20 นำผ้าทดลองต้มในน้ำสบู่



ภาพผนวกที่ ก21 พลิกกลับผ้าไปมาให้โดนน้ำสบู่ทั่วทั้งผืน

10. ล้างผ้าด้วยน้ำกรองให้สะอาด นำผ้าตากในที่ร่มให้แห้งแล้วเก็บไว้ในที่แห้งและมิดชิด  
ดังภาพผนวกที่ ก22 - ก23



ภาพผนวกที่ ก22 ล้างผ้าด้วยน้ำกรองให้สะอาด



ภาพผนวกที่ ก23 นำผ้าตากในที่ร่ม

ภาคผนวก ข  
ตารางการคำนวณ

**ตารางผนวกที่ ข1** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า L\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ  
ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Temperature	1	.088	.088	.025	.876
Time within Temp	2	4.634	4.634	1.301	.262
Reducing Agent within Time	4	4.356	4.356	1.223	.277
Error	32	121.113	3.562		
Total	39				

**ตารางผนวกที่ ข2** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า a\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ  
ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Temperature	1	.022	.022	.085	.772
Time within Temp	2	.091	.091	.355	.555
Reducing Agent within Time	4	.034	.034	.131	.720
Error	32	8.701			
Total	39				

**ตารางผนวกที่ ข3** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า b\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ  
ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และด่างที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Temperature	1	1.385	1.385	.424	.519
Time within Temp	2	.896	.896	.274	.604
Reducing Agent within Time	4	1.061	1.061	.325	.573
Error	32	111.131			
Total	39				

**ตารางผนวกที่ ข4** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า C\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ  
ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Temperature	1	1.826	1.826	.595	.446
Time within Temp	2	.343	.343	.112	.740
Reducing Agent within Time	4	1.140	1.140	.371	.546
Error	32	104.407			
Total	39				

**ตารางผนวกที่ ข5** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า h\* ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ  
ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Temperature	1	.002	.002	.000	.990
Time within Temp	2	13.931	13.931	1.040	.315
Reducing Agent within Time	4	1.559	1.559	.116	.735
Error	32	455.522			
Total	39				

**ตารางผนวกที่ ข6** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า K/S ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ  
ที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Temperature	1	.002	.002	.708	.406
Time within Temp	2	.000	.000	.147	.704
Reducing Agent within Time	4	.003	.003	1.286	.265
Error	32	.084			
Total	39				

**ตารางผนวกที่ ข7** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่า  $\Delta E^*$  ของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติ โดยย้อมที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Temperature	1	119.959	119.959	4.801*	.035
Time within Temp	2	90.105	90.105	3.606	.066
Reducing Agent within Time	4	.001	.001	.000	.996
Error	32	849.466			
Total	39				

\*  $p < .05$

**ตารางผนวกที่ ข8** ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมย้อมครามธรรมชาติโดยย้อมที่อุณหภูมิ ระยะเวลา และปริมาณสารรีดิวซ์และค่าที่ระดับต่าง ๆ

Source of Variation	df	SS	MS	F	p
Temperature	1	1264.275	1264.275	1.875	.180
Time within Temp	2	27777.116	27777.116	6760.380**	.008
Reducing Agent within Time	4	4.109	4.109	.006	.938
Error	32	614.450			
Total	39				

\*\*  $p < .01$

ตารางผนวกที่ ข9 ตารางสรุปเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่า L\* a\* b\* C\* h\* และ K/S จำแนกตาม  
ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษา	ค่าเฉลี่ย					
	L*	a*	b*	C*	h*	K/S
อุณหภูมิในการต้ม						
30 องศาเซลเซียส	60.5468	1.9552	12.8219	13.9373	262.4397	0.4772
45 องศาเซลเซียส	61.6703	2.3948	11.8015	12.1035	258.7637	0.50163
ระยะเวลาในการต้ม						
15 นาที	60.7433	-2.1339	-13.0671	13.2699	262.0933	0.4987
30 นาที	61.4738	-2.2161	-11.5563	11.7708	259.1100	0.4801
ปริมาณสารรีดิวิซ์และต่าง						
ระดับพอดี	61.5762	-2.2435	-11.5201	11.7382	259.0863	0.4771
ระดับเกินพอดี 20 เปอร์เซ็นต์	60.6409	-2.1065	-13.1033	13.3026	262.1170	0.5017

## ประวัติการศึกษา

ชื่อ-นามสกุล

นางคันสนีย์ แวนประเสริฐ

วัน เดือน ปี ที่เกิด

11 กุมภาพันธ์ 2525

สถานที่เกิด

จังหวัดเพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ. 2542 มัธยมศึกษาตอนปลาย

โรงเรียนวิทยานุกูลนารี จังหวัดเพชรบูรณ์

ปี พ.ศ. 2546 วิทยาศาสตร์บัณฑิต

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ทุนการศึกษาที่ได้รับ

ทุนมูลนิธิไชยยัง ลิมทองกุล