

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. เส้นใยไหมดิบพันธุ์บอมบิกซ์ โมริ *Bombyx mori* (บริษัท จิมทอมป์สัน ประเทศไทย จำกัด)
2. มอนอเมอร์ 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลต (2 – Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) (บริษัท Sigma เกรดวิเคราะห์)
3. มอนอเมอร์ ไวนิล 2-ไตรเมทอกซีเอทิลไฮโดรเจน (Vinyltris (2-methoxyethoxy) silane) (บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
4. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammoniumpersulfate, APS) (บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
5. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) (บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
6. โซเดียมไบคาร์บอเนต ($NaHCO_3$) (บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
7. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
8. สแปน 80 (Span 80) (บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
9. น้ำกลั่น
10. ขมิ้น (C.I. Natural Yellow 3)
11. ครั่งดิบ (C.I. Natural Red 25) (หจก. น้ำพองสีดแลค จ.ขอนแก่น)
12. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
13. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (บริษัท Lab scan เกรดวิเคราะห์)
14. โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) (บริษัท Fluka เกรดปฏิบัติการ)
15. แอล-ฮิสติดีนโมโน-ไฮโดรคลอไรด์โมโน-ไฮเดรต
(L-histidinemono-hydrolide mono- hydrate)
16. ฟอสเฟตโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($Na_2HPO_4 \cdot 12H_2O$)
17. เอทานอล (C_2H_5OH) (บริษัท Lab scan เกรดปฏิบัติการ)
18. โซเดียมคลอไรด์
19. อะซีโตน (Acetone)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
2. บีกเกอร์
3. หลอดทดลองแบบมีฝาปิด
4. ขวดวัดปริมาตร
5. ปากกิบ
6. แท่งแก้วคน
7. ปิเปต
8. กระดาษวัด pH
9. กระดาษฟิคา
10. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
11. ตู้อบแบบสุญญากาศ
12. โถดูดความชื้น
13. เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง (Universal testing machine) : LLOYD Instrument LTD.
รุ่น LR 30 K ประเทศอังกฤษ
14. เครื่องทดสอบทางความร้อน TGA (Thermogravimetric analyzer) : Perkin Elmer
Instrument Co., Ltd. รุ่น Pyris 1 TGA HT ประเทศสหรัฐอเมริกา
15. เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Fourier transform infrared spectrophotometer,
FTIR) : Perkin Elmer รุ่น FTIR Spectrum GX ประเทศสหรัฐอเมริกา
16. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) :
LEO Electron Microscopy Ltd. รุ่น 1455 VP ประเทศเยอรมัน
17. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectrophotometer) : HunterLab รุ่น Miniscan XE Plus
ประเทศสหรัฐอเมริกา

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย [7, 9, 22-23]

ในงานวิจัยได้แบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการลอกกาวย ขั้นตอนการตอ่กัด้วยไวนิลมอนอเมอร์ ขั้นตอนการย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติและขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน และความคงทนของสีในสภาวะต่างๆ ดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนการลอกกาว [28]

ใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุกับของเหลวในการลอกกาวเป็น 1:30 (w/v)

(Material to liquid ratio 1:30)

1. การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการลอกกาว
 - สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สบู่ (Span 80) 3 g/l (9% o.w.f)
2. ชั่งเส้นใยไหมดิบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งและบันทึกน้ำหนัก
3. นำเส้นใยที่ได้ไปแช่ในสารละลายลอกกาวที่มีอัตราส่วนผสมระหว่างสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นอัตราส่วน 1:1
4. นำไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที
5. จากนั้นนำเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวแล้วมาล้างด้วยน้ำร้อนและน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปอบด้วยตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปเก็บไว้ในโถสุญญากาศ
6. นำไหมลอกกาวที่ได้มาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาน้ำหนักของไหมที่หายไปหลังลอกกาว (Weight loss) โดยคิดออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\% \text{Weight loss} = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น
 W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังการลอกกาว

3.3.2 ขั้นตอนการตอ่กึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์

การตอ่กึ่งเส้นใยไหมด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) และไวนิลไตร-2-เมทอกซีเอทอกซีไซเลน (Vinyltris-(2-methoxyethoxy) silane)

ใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:20 (w/v) (Material to liquid ratio 1:20)

1. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการตอ่กึ่ง

- สารละลายมอนอเมอร์ 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลต (HEMA) ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 mol/l

- สารละลาย Silane A-172 (Vinyltris-(2-methoxyethoxy) silane) ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 mol/l

- สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS) 0.05 mol /l

2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของไหมลอกกาวด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งและบันทึกน้ำหนัก

3. นำสารละลายมอนอเมอร์แต่ละความเข้มข้นของ HEMA และ Silane A-172 ที่ผสมกับสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตซึ่งเป็นตัวเริ่มต้นมาปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 3 โดยใช้กรดซัลฟูริก

4. นำไหมลอกกาวที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาแช่ในสารละลายที่ใช้ในการตอ่กึ่งและนำไปผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 วินาที แล้วปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ให้สนิท

5. นำของผสมที่เตรียมได้ไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80°C ที่เวลา 15 30 45 60 และ 120 นาที

6. นำเส้นใยที่ผ่านการตอ่กึ่งด้วย HEMA ไปล้างด้วยอะซิโตน 2-3 ครั้ง และล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ส่วนเส้นใยที่ผ่านการตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 นำไปล้างด้วยน้ำร้อน และล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้งเช่นกัน เพื่อกำจัดไวนิลมอนอเมอร์ที่เหลือจากการพอลิเมอไรส์แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

7. หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเก็บไว้ในโถสุญญากาศ

8. นำเส้นใยไหมที่ได้หลังจากการตอ่กึ่งไปชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น (%Weight gain)

$$\% \text{Weight gain} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100$$

เมื่อ

W_1 คือ น้ำหนักเริ่มต้นของไหมที่ลอกกาวแล้ว

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านกระบวนการตอ่กึ่ง

3.3.3 ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยไหม [19, 26]

ในขั้นตอนนี้ สีที่ใช้ในการย้อมเส้นใยไหมจะใช้สีธรรมชาติซึ่งเป็นสารให้สีที่ได้จากขมิ้น และครั่ง โดยการนำเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการลอกกากับก่อนและหลังผ่านกระบวนการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุดมาทำการย้อมสี

3.3.3.1 ขั้นตอนการย้อมเส้นใยไหมด้วยสารให้สีที่ได้จากขมิ้น [26]

1. เตรียมสารให้สีที่ได้จากขมิ้น โดยนำขมิ้นผงมาแช่ในสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วน 25:75 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยคำนวณปริมาณของขมิ้นที่ใช้จากอัตราส่วนวัสดุต่อของเหลว 1:20 (Material to liquid ratio 1:20) หลังจากนั้นนำไปกรองแบบสุญญากาศแล้วเก็บน้ำสีที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการย้อมต่อไป

2. นำเส้นใยไหมที่จะทำการย้อม ทั้งก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังต่อกิ่งมาชั่งน้ำหนักแล้วจบบันทึกลงไว้ โดยปริมาณเส้นใยที่ใช้ในการย้อมคำนวณจากอัตราส่วนวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:30 (Material to liquid ratio 1:30)

3. จากนั้นนำเส้นใยไหมที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60-65 °C เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงทำการซักให้แห้ง

4. นำเส้นใยที่เตรียมได้ในข้อที่ 3 มาทำการย้อมด้วยน้ำสีที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที โดยในงานวิจัยนี้เป็นการย้อมสีแบบไอซ์มอร์แดนท์ในขณะที่ย้อมโดยมอร์แดนท์ที่ใช้ คือ โปแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตจำนวน 8% โดยน้ำหนักของเส้นใย หลังจากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายครั้งๆ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

5. นำเส้นใยหลังผ่านกระบวนการย้อมสี หาความสามารถในการดูดซับสีจากค่า K/S โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์วัดออกมาเป็นค่า %R ที่แต่ละความยาวคลื่นแล้วนำมาคำนวณหาค่า K/S

3.3.3.2 ขั้นตอนการย้อมเส้นใยไหมด้วยสารให้สีที่ได้จากครั่ง [19]

1. เตรียมสารให้สีที่ได้จากครั่งดิบโดยนำครั่งไปบดให้ละเอียดแล้วเอาครั่งที่บดได้ไปละลายในน้ำกลั่นด้วยอัตราส่วนครั่งต่อน้ำกลั่นเป็น 1 กรัม : 20 มิลลิลิตร จากนั้นแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 วัน แล้วกรองแยกเอาเฉพาะน้ำสีเพื่อใช้ย้อมต่อไป

2. นำเส้นใยไหมที่จะทำการย้อม ทั้งก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังต่อกิ่งมาชั่งน้ำหนักแล้วจบบันทึกลงไว้ โดยปริมาณเส้นใยที่ใช้ในการย้อมคำนวณจากอัตราส่วนวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:30 (Material to liquid ratio 1:30)

3. จากนั้นนำเส้นใยไหมที่ชั่งน้ำหนักแล้ว มาแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60-65 °C เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงทำการซักให้แห้ง

4. นำเส้นใยที่เตรียมได้ในข้อที่ 3 มาทำการย้อมด้วยน้ำสีที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที โดยในงานวิจัยนี้เป็นการย้อมสีแบบไอซ์มอร์แดนท์ในขณะที่ย้อมโดยมอร์แดนท์ที่ใช้ คือ โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟตจำนวน 5% โดยน้ำหนักของเส้นใย หลังจากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

5. นำเส้นใยหลังผ่านกระบวนการย้อมสี หาความสามารถในการดูดซับสีจากค่า K/S โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์วัดออกมาเป็นค่า %R ที่แต่ละความยาวคลื่นแล้วนำมาคำนวณหาค่า K/S จากสูตร

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

เมื่อ

K = absorption coefficient

S = scattering coefficient

R = reflectance

3.4 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา

ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาบ และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยใช้เทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 1500 เท่า โดยก่อนนำเส้นใยไหมไปทำการวิเคราะห์ จะต้องทำการเคลือบเส้นใยด้วยทองเพื่อป้องกันการเกิดประจุสะสมที่ผิวของเส้นใย

3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

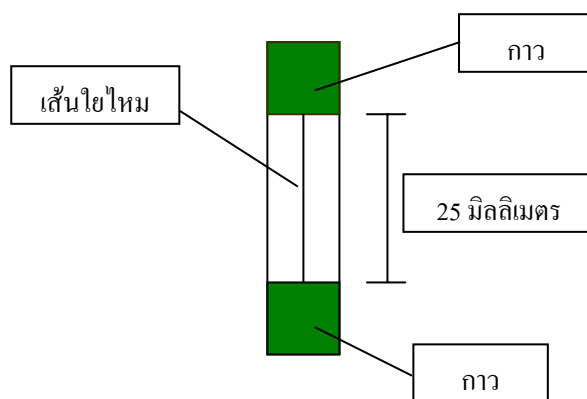
การวิเคราะห์โครงสร้างเส้นใยจากการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาบ และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยใช้เทคนิคฟูริเยนทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) โดยตัดเส้นใยออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium bromide, KBr) ทำให้เป็นแผ่นโพแทสเซียมโบรไมด์ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์เส้นใยเหล่านี้ในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 400 cm⁻¹ ถึง 4000 cm⁻¹ โดยทำการสแกนทั้งหมด 4 รอบต่อ 1 ตัวอย่าง

3.4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

ศึกษาสมบัติทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก (Thermal gravimetric analysis, TGA) ที่อัตราการให้ความร้อน $10^{\circ}\text{C}/\text{นาที่}$ ในช่วงอุณหภูมิ $50\text{--}800^{\circ}\text{C}$ ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยรายงานเป็นอุณหภูมิเริ่มเกิดการสลายตัว (onset temperature)

3.4.4 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใย [36-37]

ศึกษาความแข็งแรงดึง เทนาซิตี เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาว และเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงโดยการต่อกึ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบทางแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument) โดยใช้ load cell ขนาด 100 นิวตัน ใช้ความเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตร/นาที่ ระยะในการจับชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร โดยเตรียมตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง [37]

3.4.5 การทดสอบสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

3.4.5.1 การหาความชื้นรีเจน (Moisture regain) [11]

1. นำตัวอย่างเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งของสูตรต่างๆ มาวางทิ้งไว้ในห้องควบคุมความชื้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65% จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ น้ำหนักที่ได้ในส่วนนี้ คือ น้ำหนักของเส้นใยที่ดูดซับความชื้นไว้แล้ว

2. หลังจากนั้นนำเส้นใยไหมที่ได้ไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ $100\text{--}105^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำเส้นใยไหมใส่ลงในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง จึงนำค่าทั้งสองที่ได้มาคำนวณความแตกต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยผลต่างที่ได้แสดงถึงเปอร์เซ็นต์ความชื้นรีเจนของเส้นใยไหมในแต่ละสูตร

$$\% \text{Moisture regain} = [(W_2 - W_1) / W_1] \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านการทดสอบ

3.4.5.2 การทดสอบความคงทนต่อกรดและด่าง [11]

1. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 3 นอร์มัล/ลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล/ลิตร
2. ชั่งตัวอย่างเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ้งของสูตรต่างๆ มาอบให้แห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. เทสารละลายกรดและด่างลงในหลอดทดลอง โดยแต่ละหลอดใช้ปริมาณสารละลายหลอดละ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิจนสารละลายมีอุณหภูมิ 65 °C
4. นำเส้นใยไหมแต่ละชนิดที่ชั่งน้ำหนักแล้ว มาใส่ในหลอดทดลองที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3 จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ซับให้แห้งพอหมาดๆ ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปอบด้วยตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียไปในหน่วยของเปอร์เซ็นต์

$$\% \text{Weight loss} = [(W_1 - W_2) / W_1] \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านการทดสอบ

3.4.6 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี [38]

ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น Miniscan XE Plus โดยใช้ระบบของ CIE L^* a^* b^* ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D65 / 10° เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงาน

โดย L^* : ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$L = 0$ = perfect black sample

$L = 100$ = perfect white sample

a^* : ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (red-green)

a เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีแดง

a เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีเขียว

b^*	:	ใช้กำหนดสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน (yellow-blue)
		b เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีเหลือง
		b เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีน้ำเงิน
C^* (Chroma)	:	ความสดใของสี
จากสูตร		$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$
h° (Hue angle)	:	เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีนั้นมีตำแหน่งอยู่ที่ใดมีหน่วยเป็นองศา
จากสูตร		$h^\circ = \tan^{-1} [b^* / a^*]$

3.4.7 การทดสอบความคงทนของสีย้อม

ศึกษาความคงทนของสีย้อมต่อสภาวะต่างๆ เช่น ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ความคงทนของสีต่อการซักฟอกของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติทั้งเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วยไวโนมอนอเมอร์ ดังนี้

3.4.7.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก) (ISO 105-B04)

1. เตรียมผ้าสีมาตรฐานซึ่งเป็นผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินที่ย้อมด้วยสีดังในตารางที่ (3.1) โดยมีค่าความคงทนจากระดับต่ำสุด คือ 1 และสูงสุด คือ 8 โดยในแต่ละระดับมีค่าความคงทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (โดยประมาณ)
2. เตรียมชิ้นงานในการทดสอบแต่ละชิ้นให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยพันรอบกระดาษแข็ง
3. วางเรียงชิ้นทดสอบและผ้าสีมาตรฐานตามลำดับดังตารางที่ 3.1
4. ปิดแผ่นทึบแสงบนชิ้นทดสอบและผ้ามาตรฐาน
5. ประเมินอัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบโดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบกับผ้าสีมาตรฐาน

ตารางที่ 3.1 สีที่ใช้ย้อมผ้าสีมาตรฐาน

อัตราความคงทนต่อแสง	สีที่ใช้ย้อม*
1	C.I. Acid Blue 104
2	C.I. Acid Blue 109
3	C.I. Acid Blue 83
4	C.I. Acid Blue 121
5	C.I. Acid Blue 47
6	C.I. Acid Blue 23
7	C.I. Solubilized Vat Blue 5
8	C.I. Solubilized Vat Blue 8
*จากหนังสือ Colour Index, second edition, volume 1. The Society of Dyers and Colourists, Bradford, Yorkshire, 1956.	

3.4.7.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (ISO 105-E04)

ในการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรด และ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นด่าง โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. เตรียมสารละลายเหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่

(ก) สารละลายเหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นกรด

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีนโมโน-ไฮโดรคลอไรด์โมโนไฮเดรต (L-histidinemonohydrochloride monohydrate) 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และฟอสฟอริกไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 2.2 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วปรับสถานะของสารละลายให้มี pH 5.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

(ข) สารละลายเหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีนโมโน-ไฮโดรคลอไรด์โมโนไฮเดรต (L-histidinemonohydrochloride monohydrate) 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และฟอสฟอริกไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตรแล้วปรับสถานะของสารละลายทำให้มี pH 8 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

2. เตรียมผ้ามาตรฐานสีขาวสำหรับทดสอบซึ่งเป็นผ้าฝ้าย 1 ชิ้น ผ้าไหม 1 ชิ้น ขนาด 4x10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง

3. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน

4. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยใหม่ที่ต้องการทดสอบให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนัก
ผ้ามาตรฐานที่ชั่ง
5. วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาว นำผ้าขาวมาตรฐานในข้อ 2 มาประกบแล้วเย็บ
ริมด้านตรงข้าม 2 ด้าน
6. แช่ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นในสารละลายเหงื่อแต่ละชนิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา
30 นาที โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับชิ้นทดสอบคือ 50 ต่อ 1 ของน้ำหนักชิ้นทดสอบ
7. แกว่งและบีบชิ้นตัวอย่างเป็นครั้งคราวเพื่อให้เปียกทั่วกัน
8. เทสารละลายออกแล้วใช้แท่งแก้วสองอันบีบสารละลายที่มีมากเกินไปออก
9. วางชิ้นทดสอบระหว่างแผ่นแก้วขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร 2 แผ่น
10. นำไปใส่เครื่องทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ (Perspirometer) ปรับเครื่องให้แรงกด
บนชิ้นทดสอบมีค่าเป็น 44 นิวตัน
11. นำเครื่องการทดสอบความคงทนต่อเหงื่อใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียส
เป็นเวลา 4 ชั่วโมง
12. นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียสโดย
กางผ้าทั้ง 3 ส่วนออกจากกัน
13. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและปริมาณสีที่ติดบนผ้าขาวโดย
เปรียบเทียบกับเกรย์สเกล
14. รายงานผลเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาว
มาตรฐาน

3.4.7.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักฟอก (ISO 105-C06 Test A-C)

1. เตรียมผ้ามาตรฐานสีขาวสำหรับทดสอบซึ่งเป็นผ้าฝ้าย 1 ชิ้น ผ้าไหม 1 ชิ้นขนาด
4x10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน
3. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยตัวอย่างที่จะทดสอบ ให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐาน
ที่ชั่งได้
4. วางเส้นใยให้ขนานตามความยาวให้มีขนาดเท่าผ้ามาตรฐาน จากนั้นนำผ้าไหมและ
ผ้าฝ้ายมาตรฐานในข้อ 1 มาประกบ ขริบเส้นใยที่มีความยาวเกินกว่าผ้ามาตรฐาน แล้วเย็บริมขอบทั้ง
สี่ด้านของผ้ามาตรฐาน
5. เตรียมสารละลายน้ำสบู่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร
6. นำชิ้นตัวอย่างที่ต้องการทดสอบใส่ในกระบอกซัก หลังจากนั้นเติมสารละลายน้ำ
สบู่ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 5 โดยให้มีอัตราส่วนน้ำหนักระหว่างวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:50

7. นำไปซักด้วยเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
8. นำชิ้นตัวอย่างออกจากเครื่องซัก ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง แล้วนำไปผ่านด้วยน้ำซึ่งไหลตลอดเวลา 10 นาที
9. บีบน้ำออกจากชิ้นทดสอบ และด้ายที่เย็บออก 3 ด้านโดยเว้นด้านกว้างไว้ด้านหนึ่ง
10. ตากชิ้นตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยกางผ้าสามชิ้นออกจากกัน
11. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่างและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน โดยประเมินค่าจากการใช้เกรย์สเกล