

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหม
ที่ต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลท
(2-Hydroxyethyl methacrylate , HEMA)



T107727

นางสาวกฤติยา ใจสุภาพ
นางสาวบงกช พุดแก้ว
นางสาวเพ็ญศิริ ศิลากุล

รพ.
ก 2770
2548

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 107727
วัน,เดือน,ปี 1 0 พ.ค. 2553

b. 12210810
i.....

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties of silk fibers modified by grafting with
2-Hydroxyethyl methacrylate, (HEMA)



A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement
for the Degree of Bachelor of Science
Department of Chemistry
Faculty of Science
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Academic Year 2005

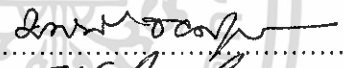

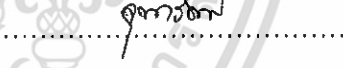
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

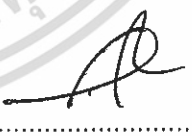
โครงการพิเศษเรื่อง สมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาไครเลท

นักศึกษา นางสาวกฤติยา ใจสุภาพ รหัสนักศึกษา 45050072
นางสาวบงกช พุฒแก้ว รหัสนักศึกษา 45050115
นางสาวเพ็ญศิริ ศิลากุล รหัสนักศึกษา 45050130

ภาควิชา เคมี คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์	
กรรมการ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย	
กรรมการ ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร	


.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษ	สมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท (2-Hydroxyethyl methacrylate , HEMA)	
นักศึกษา	นางสาวกฤติยา ใจสุภาพ	รหัสนักศึกษา 45050072
	นางสาวบงกช พุฒแก้ว	รหัสนักศึกษา 45050115
	นางสาวเพ็ญศิริ ศิลากุล	รหัสนักศึกษา 45050130
ภาควิชา	เคมี คณะวิทยาศาสตร์	
ภาควิชา	เคมีอุตสาหกรรม	
ปีการศึกษา	2548	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรีชญาวรรณ	

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเส้นไหมพันธุ์บอมบิกซ์ โมริ (*Bombyx mori*) โดยการต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท (2-Hydroxyethyl methacrylate , HEMA) ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน พบว่า เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ที่เวลา 45 นาที มีเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งมากที่สุด โดยมีความมันเงา และความนุ่มคล้ายไหมลอกกาบ เมื่อนำเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งได้มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) พบว่าเมื่อทำการต่อกิ่งเส้นใยที่ได้มีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นลักษณะเฉพาะของมอนอเมอร์ซึ่งนำมาใช้ในการต่อกิ่ง จากการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก พบว่าเส้นใยไหมที่นำมาต่อกิ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงขึ้น นอกจากนี้ยังศึกษาถึงสมบัติของเส้นใยในการย้อมติดสี และสมบัติความคงทนของสีย้อม โดยที่สีย้อมที่เลือกนำมาศึกษาคือ สีย้อมธรรมชาติ ซึ่งเป็นสารให้สีจากขมิ้น พบว่าเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งด้วย HEMA มีความสามารถในการดูดซับสีและมีสมบัติความคงทนของสีต่อการซักเพิ่มขึ้น

Special Project Title	Properties of silk fibers modified by grafting with 2- Hydroxyethyl methacrylate (HEMA)		
Name	Miss Krittiya Jaisupap	student ID.	45050072
	Miss Bongkot Putkaew	student ID.	45050115
	Miss Pensiri Silakul	student ID	45050130
Department	Chemistry		
Program	Industrial of Chemistry		
Academic Year	2005		
Special Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Jutarat Prachayawarakorn		

ABSTRACT

This research aimed to modify properties of silk fibers *Bombyx mori* by grafting with 2-hydroxyethyl methacrylate (HEMA) in different concentrations and grafting times. It's was found that the silk fibers grafted by HEMA with the concentration of 0.1 M at 45 min showed the maximum weight gain while silk glossy and softness was similar to the degummed silk. All graft silk fibers were analyzed by FTIR and the characteristics functionalities of the grafted monomer graft on to the silk were obtained. From TGA, the thermograms revealed that HEMA-graft silks showed the improved thermal stabilities. Furthermore, dyeabilities and colourfastness properties were examined. The dyestuff chosen to study was the natural dye extracted from curcumin (*Curcuma longa* Linn.). The result showed that the HEMA –graft silk fiber exhibited greater dyeability and washing colour fastness property than the degummed silk.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่าน ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ที่กรุณาให้คำแนะนำ สั่งสอน ตรวจสอบเนื้อหา และให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน ทำให้โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณท่าน รศ.ดร.มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์ และ รศ.ดร.สมศักดิ์ วรรณมงคลชัย ที่กรุณาเสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการในการสอบ อีกทั้งยังช่วยตรวจ แก้ไขและให้คำแนะนำเกี่ยวกับโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ และ เจ้าหน้าที่ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่ให้คำแนะนำและคอยให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ ศุภสวัสดิ์พันธ์ุ ผู้จัดการโรงงาน จิมทอมป์สัน ประเทศไทย ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของเส้นใยไหมดิบสำหรับงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ให้ความช่วยเหลือลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการทดสอบความคงทนต่อแสง

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ทุกท่านที่อำนวยความสะดวกในด้านต่าง ๆ

ขอขอบคุณ เพื่อน ๆ พี่ ๆ น้อง ๆ ให้คำแนะนำและการช่วยเหลือในด้านต่างๆ อีกทั้งยังคอยเป็นกำลังใจมาโดยตลอดทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ คุณพ่อ และครอบครัวเป็นอย่างยิ่งที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

กฤติยา ใจสุภาพ

บงกช พุฒแก้ว

เพ็ญศิริ ศิลากุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไหม (silk)	4
2.2 โครงสร้างของไหม	8
2.2.1 โครงสร้างทางกายภาพของไหม	8
2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของไหม	10
2.3 สมบัติของไหม	11
2.3.1 สมบัติทางกายภาพ	11
2.3.2 สมบัติทางเคมี	12
2.4 การปรับปรุงสมบัติของไหมด้วยวิธีทางเคมี	13
2.4.1 การลอกกวาว	13
2.4.2 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีทางเคมี	15
2.4.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	18
2.5 การย้อมสี	19
2.5.1 สีย้อมธรรมชาติ	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า	
2.5.2	ขมิ้นและกรรมวิธีในการย้อมสีธรรมชาติ	21
2.6	ระบบการวัดสี	22
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	24
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน		
3.1	วัสดุและสารเคมี	29
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือ	29
3.3	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	30
3.3.1	ขั้นตอนการลอกกาวย	30
3.3.2	ขั้นตอนการตอกลงด้วยมอนอเมอร์	31
3.3.3	ขั้นตอนการย้อมสี	32
3.3.4	ขั้นตอนการทดสอบสมบัติของเส้นใย	33
3.3.4.1	สมบัติทางแรงดึงของเส้นใย	33
3.3.4.2	การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน	33
3.3.4.3	สมบัติทางความร้อน	34
3.3.4.4	ความคงทนของสีย้อม	34
3.3.5	การวัดการเปลี่ยนแปลงสี	37
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง		
4.1	การลอกกาวยและการตอกลง	38
4.2	ลักษณะภายนอกของเส้นใย	39
4.3	สัณฐานวิทยา	41
4.3.1	สัณฐานวิทยาของเส้นใยใหม่ดิบและเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวย	42
4.3.2	สัณฐานวิทยาของเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวยและการตอกลงด้วย HEMA	43
4.4	ผลของความเข้มข้นและเวลาที่มีต่อกระบวนการตอกลงใหม่ด้วย HEMA	44
4.4.1	ความสามารถในการตอกลง	44
4.4.2	สมบัติเชิงกลของเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกลงด้วย HEMA	45
4.4.2.1	แรงที่ใช้ในการดึง (Load)	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.4.2.2 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)	47
4.4.2.3 มอดุลัส (Modulus)	48
4.4.2.4 เทนาซิตี (Tenacity)	49
4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีการทางเคมี	50
4.5.1 เส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาว	50
4.5.2 เส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกกิ่งด้วย HEMA	51
4.6 สมบัติทางความร้อนของเส้นใย	53
4.6.1 คุณนุภูมิภาคการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว	53
4.6.2 คุณนุภูมิภาคการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ตอกกิ่งด้วย HEMA	54
4.7 กระบวนการย้อมสี	56
4.7.1 ความสามารถในการย้อมสี	56
4.8 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี	59
4.8.1 เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ	59
4.9 การทดสอบความคงทนของสี (Color fastness)	60
4.9.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงขึ้นอนอาร์ค)	60
4.9.2 การทดสอบความคงทนต่อการซัก	61
4.9.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	65
5.1.1 ลักษณะภายนอกและลักษณะฐานวิทยา	65
5.1.2 ความสามารถในการตอกกิ่งและสมบัติเชิงกล	65
5.1.3 การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีการทางเคมี	65
5.1.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม	66
5.1.5 กระบวนการย้อมสี	66
5.2 ข้อเสนอแนะ	66
เอกสารอ้างอิง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 2.1	สูตรโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของกรดอะมิโนที่พบในไหม	7
ตารางที่ 2.2	ชนิดตัวรีมประเภทเปอร์ออกไซด์อินทรีย์	16
ตารางที่ 3.1	สีที่ใช้ย้อมผ้าสีมาตรฐาน	37
ตารางที่ 4.1	ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว	39
ตารางที่ 4.2	ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการตอกลงด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ	40
ตารางที่ 4.3	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ในเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการตอกลงด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ	44
ตารางที่ 4.4	แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมหลังการตอกลงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ	46
ตารางที่ 4.5	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของเส้นใยไหมหลังการตอกลงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ	47
ตารางที่ 4.6	มอดุลัส (Modulus) ของเส้นใยไหมหลังการตอกลงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ	48
ตารางที่ 4.7	เทนacity (Tenacity) ของเส้นใยไหมหลังการตอกลงด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ	49
ตารางที่ 4.8	อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการตอกลงด้วย HEMA ที่ได้จากเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก	55
ตารางที่ 4.9	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีย้อม บนเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้น	56
ตารางที่ 4.10	การวัดสีเส้นไหมก่อนและหลังตอกลงที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด และใช้มอร์แดนท์เป็นสารช่วยย้อมติด	59
ตารางที่ 4.11	ค่าความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยขมิ้น	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
ตารางที่ 4.12 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยขมิ้น	61
ตารางที่ 4.13 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากการซักด้วยขมิ้น	62
ตารางที่ 4.14 ค่าความคงทนของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยขมิ้นต่อเหงื่อ ในสภาวะกรด	63
ตารางที่ 4.15 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยขมิ้น ในสภาวะที่เป็นกรด	63
ตารางที่ 4.16 ค่าความคงทนของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยขมิ้นต่อเหงื่อ ในสภาวะเบส	63
ตารางที่ 4.17 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยขมิ้น ในสภาวะเบส	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ [1-2]

ไหมได้รับการยอมรับว่าเป็น"ราชินีแห่งเส้นใย"ในปัจจุบัน เนื่องจากเส้นใยที่ได้จากไหม เป็นเส้นใยที่มีความมันเงาสูง มีความละเอียดสูงและมีความพลิ้วตัวที่ดีจึงทำให้ไหม ได้รับการกล่าวขานว่าเป็นราชินีของเส้นใย สมบัติที่สำคัญของไหม คือ เมื่อหนาวจะให้ความอบอุ่น เมื่อร้อน เส้นใยไหมจะให้ความเย็น ทำให้สวมใส่แล้วเย็นสบาย จึงมีผู้นิยมใช้ผ้าไหมทำเครื่องแต่งกายและ ของใช้ต่างๆมากมาย เพราะผ้าไหมมีสีสวยงามสะอาดตา มีเนื้อมันเงาต่างจากผ้าฝ้ายหรือผ้าชนิด อื่นๆ ทำให้ผ้าไหมเป็นสินค้าออกที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย

เส้นใยไหมมีต้นกำเนิดจากประเทศจีนเมื่อประมาณ 4500 ปีมาแล้ว หลังจากนั้นก็ได้ แพร่การเลี้ยงไหมไปยังประเทศใกล้เคียง เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้มาจากหนอนไหม หนอนไหมจะสร้างเส้นใยโปรตีน เพื่อมาห่อหุ้มตัวเอง และป้องกันอันตรายในขณะที่เป็นดักแด้ เพื่อ รอกการเปลี่ยนรูปร่างไปเป็นหนอนผีเสื้อ โดยปกติแล้วไหมแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ [1]

1. ไหมเลี้ยง (Mulberry silk) มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ คือ บอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) เป็นไหมที่ได้จากการเพาะเลี้ยง ผู้เลี้ยงจะจัดหาใบหม่อนให้เป็นอาหาร ไหมชนิดนี้สีค่อนข้างขาว เมื่อ ลอกกาแล้วจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้นยกเว้นไหมเลี้ยงของไทยจะมีลักษณะเส้นไหมสีเหลือง ค่อนข้างแก่

2. ไหมป่า (Wild silk) เป็นไหมที่มนุษย์ไม่ได้เพาะเลี้ยง เรียกว่า ไหมทาชาร์ (Tussah silk) ลักษณะของไหมประเภทนี้เป็นสีน้ำตาล มีความหนาไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับไหมเลี้ยง

การเลี้ยงไหมในประเทศไทยพบมากในแถบตะวันออกเฉียงเหนือ ไหมไทยเป็นไหมที่มี ปริมาณของกาไหมมากประมาณ 38% ซึ่งมากกว่าไหมเลี้ยงชนิดอื่นๆ

ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติเพียงชนิดเดียวที่มีความแข็งแรงและความยาวต่อเนื่อง โครงสร้างและสัณฐานวิทยาของไหมที่มีความแตกต่างกันไปตามความยาวของเส้นใย ได้แก่ ขนาด ของเส้นใย การจัดเรียงตัวของโครงสร้าง รูปทรงและความเป็นผลึก เป็นต้น ปัจจัยเหล่านี้มี ผลกระทบต่อกระบวนการผลิตเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปไหมดิบที่ได้จากรังไหมประกอบด้วยเส้นใย สองเส้นที่ยึดติดกัน เรียกว่า เบฟ (Bave) ก่อนที่จะนำไปใช้งานต้องทำการลอกกาที่ยึดติดเส้นใย ไหมทั้ง 2 เส้นออกก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปปรับปรุงด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical modification) ซึ่งนิยมทำการต่อกิ่ง (Grafting) เส้นใยด้วยไวโนลมอนอเมอร์หรือเรซิน ได้แก่ เมทิลเมทาไครเลท (Methyl methacrylate, MMA) 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท (2-Hydroxyethyl methacrylate,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HEMA) และอีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) เป็นต้น เพื่อให้เส้นใยไหมที่ได้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น เพื่อทดแทนน้ำหนักของไหมที่หายไปจากการลอกกวาดและเพื่อปรับปรุงสมบัติของไหมให้ดีขึ้น

ปัจจุบันในหลายประเทศได้มีการกำหนดมาตรฐานในการนำเข้าสินค้าไม่เฉพาะในส่วนของอาหารเท่านั้นแต่ได้รวมไปถึงผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีเคมีที่มีปริมาณสารพิษซึ่งเป็นสาเหตุก่อให้เกิดโรคมะเร็งหรือเกิดการระคายเคือง ดังนั้นผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติจึงได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากผู้ซื้อรู้สึกถึงความปลอดภัยและสีที่แตกต่างไปจากการย้อมด้วยสีเคมี เพราะมีความนุ่มนวล สบายตา ปัจจุบันได้มีหลายหน่วยงานให้ความสนใจที่จะพัฒนากระบวนการย้อมสีธรรมชาติจากภูมิปัญญาท้องถิ่นให้ได้สีที่มีความหลากหลายมากขึ้นและพัฒนาคุณภาพของสีให้มีความคงทนต่อสภาวะการใช้งานเพิ่มขึ้น [2]

การศึกษาในงานวิจัยนี้จึงทำการต่อยอดเส้นใยไหมด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท และทำการย้อมสีไหมต่อยอดที่ได้โดยใช้สีย้อมธรรมชาติที่ได้จากขมิ้น จากนั้นจึงทำการทดสอบความสามารถในการย้อมติดสี ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนต่อการซักทั้งก่อนกับหลังการย้อม และทั้งก่อนกับหลังการตกแต่งสำเร็จด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท ซึ่งผลที่ได้จากการวิจัยคาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ทำจากไหม โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมในประเทศ เพื่อทำให้นักผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและมีความเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมด้วยวิธีการต่อยอดด้วยโวนิลมอนอเมอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการต่อยอด ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยทั้งก่อนและหลังการต่อยอด รวมถึงความคงทนของสีย้อม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อยอดด้วยโวนิลมอนอเมอร์ โดยใช้ 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท (2-Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) ที่ความเข้มข้นต่างๆ และเวลาที่ใช้แตกต่างกัน

- 1.3.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อน และสัณฐานวิทยาของเส้นใยก่อนและหลังการต่อยอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษานี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 1.3.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมเส้นใยไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติ
- 1.3.4 ทดสอบความคงทนของสีต่อสภาวะการใช้งานของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถปรับปรุงขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จทางเคมีของเส้นใยไหมด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น
- 1.4.2 สามารถปรับปรุงความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยด้วยสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ
- 1.4.3 สามารถปรับปรุงสมบัติในการยึดติดของสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติที่นำมาใช้ย้อมเส้นใยไหมให้มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี
- 1.4.4 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการส่งเสริมให้มีการใช้สีย้อมธรรมชาติในการย้อมเส้นใยไหมในระบบอุตสาหกรรมมากขึ้น ซึ่งเป็นวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไหม (Silks) [1, 3-5]

ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติเพียงชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาวและมีความแข็งแรงมากที่สุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมด อาจยาวถึง 600 เมตร แต่โดยเฉลี่ยแล้วมีความยาวประมาณ 300 เมตร ไหมมีความละเอียดมาก และมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 12 -30 ไมโครเมตรขึ้นกับคุณภาพ อาหารการกิน และสภาวะที่ตัวไหมผลิตไหม [3] ไหมได้เปรียบเหนือกว่าฝ้าย เนื่องจากไหมมีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในการระบายอากาศ ดูดซับความร้อน ทำให้สวมใส่สบาย ซึ่งสามารถดูดซับน้ำได้มากกว่าฝ้าย 1.5 เท่า แต่ระบายความชื้นได้เร็วกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ และดูดซับความร้อนไว้ที่เนื้อผ้าได้สูงกว่า 13-21 เปอร์เซ็นต์ ปกติอุณหภูมิของร่างกายประมาณ 33.3-34.2 องศาเซลเซียส เมื่อสวมใส่ชุดผ้าไหมจะทำให้อุณหภูมิของร่างกายบริเวณดังกล่าวลดลงเหลือ 31-33 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกอบอุ่นในฤดูหนาวแต่จะเป็นสบายในฤดูร้อน ไหมเลี้ยงสามารถแบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ คือ [1]

1. ไหมเลี้ยงที่ฟักตัวปีละครั้ง ไหมกลุ่มนี้จะเลี้ยงกันในประเทศแถบยุโรปซึ่งมีอากาศหนาวทำให้ไข่ไม่สามารถฟักตัวได้ ฉะนั้นจะฟักตัวได้ในฤดูใบไม้ผลิเท่านั้น เลยทำให้เกิดการฟักตัวปีละครั้ง
2. ไหมเลี้ยงที่ฟักตัวปีละ 2 ครั้ง ไหมกลุ่มนี้จะเลี้ยงกันในประเทศเช่น ญี่ปุ่น เกาหลีและจีน สามารถฟักตัวได้ 2 ครั้งต่อปี เนื่องจากสภาวะอากาศที่เอื้ออำนวย
3. ไหมเลี้ยงที่ฟักตัวได้หลาย ๆ ครั้งใน 1 ปี ไหมกลุ่มนี้จะเลี้ยงกันในประเทศเช่น ลาว และไทย เป็นต้น เนื่องจากประเทศเหล่านี้อยู่ในแถบร้อนชื้น อากาศร้อนตลอดปี ฉะนั้นตัวหนอนไหมจึงสามารถเจริญเติบโตและสามารถฟักได้ตลอดปี โดยเฉลี่ยประมาณ 9-12 ครั้งต่อปี

วัฏจักรและการเจริญเติบโตของไหม แบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ [3]

1. ระยะเป็นไข่ (Eggs) หากเป็นไหมที่ฟักหลายครั้งต่อปี ตามธรรมชาติจะมีอายุ 9-12 วัน ใช้เวลาน้อยหรือมากแตกต่างกัน สายพันธุ์ไหม ที่ฟักตัวออก 1-2 ครั้งต่อปี จะมีอายุถึง 4-10 เดือน
2. ระยะเป็นตัวหนอน (Larvae) ที่ฟักออกจากไข่ใหม่ๆ (New-born larvae) จะมีลำตัวสีดำหรือสีน้ำตาลไหม้ และยังมีขนปกคลุมทั้งตัว 22-25 วัน
3. ระยะเป็นดักแด้ (Pupae) หลังจากที่หนอนไหมลอกคราบ กลายเป็นดักแด้อยู่ภายในรังเฉยๆ กระทั่ง 6-7 วัน ก็จะเปลี่ยนสภาพเป็นดักแด้ และในเวลาเข้าต่อมาก็จะกลายเป็นผีเสื้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ระยะเวลาเป็นผีเสื้อ (Moth) เมื่อกลายเป็นผีเสื้อ ก็จะพ่นน้ำลายซึ่งมีฤทธิ์เป็นด่าง เพื่อละลายรังไหม แล้วดันตัวเองออกสู่ภายนอก รอยจนกระทั่งตัวผีเสื้อจะแห้ง ปีกก็จะกางออกพร้อมที่จะทำการผสมพันธุ์และวางไข่ หลังจากที่เปลี่ยนสภาพเป็นผีเสื้อได้ 7-9 วัน ผีเสื้อก็จะตายในที่สุด

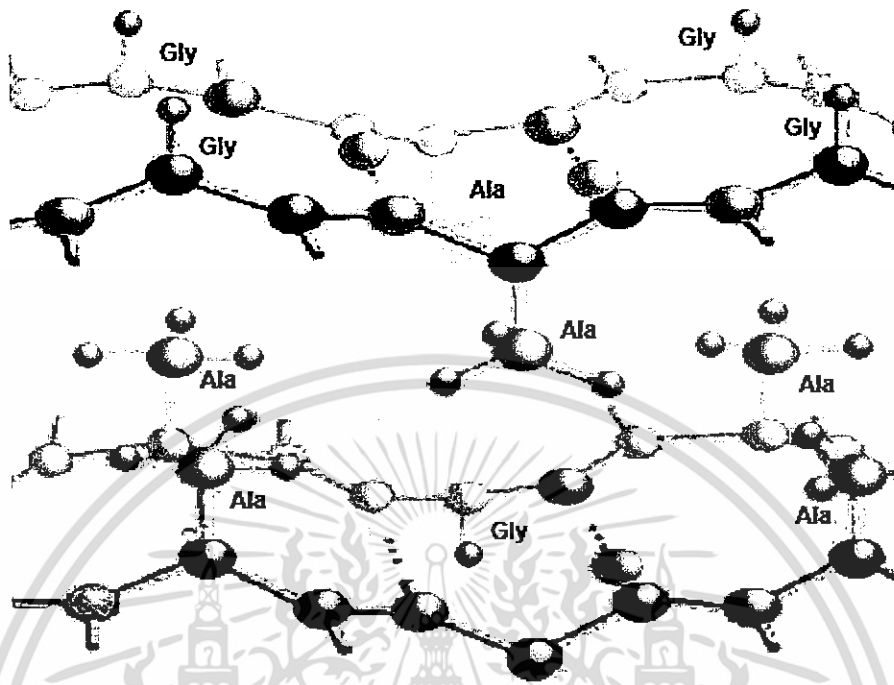
ในการนำรังไหมมาทำเส้นใยไหมนั้น ถ้าละลายรังไหมออกมาเมื่อไรเส้นใยไหมก็จะขาดหมดไม่ได้เป็นเส้นใยยาว ดังนั้นเราจึงจำเป็นต้องฆ่ามันก่อนโดยการต้มในน้ำร้อนเพื่อไม่ให้ละลายรังไหมออกมา บางส่วนจะเก็บเป็นผีเสื้อ ซึ่งผีเสื้อของไหมจะเป็นสีขาว ไหมที่ได้โดยตรงจากรังไหมดิบประกอบด้วยเส้นใยไหม 2 เส้นที่เคลือบติดกันด้วยกาไหม(Seresin) เพื่อยึดเส้นใยเข้าไว้ด้วยกัน เมื่อนำกาไหมออกแล้วเส้นใยจะถูกแยกออกจากกัน

ไหมเป็นโพลิเมอร์ของกรดอะมิโนที่เกิดจากการรวมกันของโปรตีน(พอลิเปปไทด์) เรียกว่าไฟโบรอิน (Fibroin) ไฟโบรอินประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 15 -18 ชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใย กรดอะมิโนหลัก 3 ชนิด ที่พบในไหม ได้แก่ ไกลซีน (Glycine) , อะลานีน (Alanine) และ ซีรีน (Serine) ประกอบขึ้นเป็นโครงสร้างของไฟโบรอินประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ไม่ใช้หมู่ที่เกะกะ (Bulky Groups) ในส่วนของกาไหมประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงที่มีขนาดใหญ่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซรีน ธีโรนีน กรดกลูตามิก และกรดแอสพาทิก คิดเป็นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของกาไหม เมื่อพิจารณาสวนประกอบดังกล่าวเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความเป็นผลึกด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray) พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยไฟโบรอินมีความเป็นผลึกอยู่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และโครงสร้างส่วนใหญ่มีลักษณะโครงสร้างเป็นแบบแผ่นพับเบต้า (β-plated sheet) ในขณะที่กาไหมไม่มีโครงสร้างของส่วนที่เป็นผลึกอยู่เลย โดยโปรตีนในส่วนของกาไหมมีประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนไฟโบรอินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นไหมมีโปรตีนมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ไขมัน เกลือแร่ สารอนินทรีย์และองค์ประกอบที่เป็นพวกสารให้สี

ส่วนประกอบของธาตุต่างๆในไฟโบรอิน อาจวิเคราะห์รายละเอียดออกได้ดังต่อไปนี้

คาร์บอน	48.00 - 49.00 %
ไฮโดรเจน	6.40 - 6.51 %
ไนโตรเจน	17.35 - 18.89 %
ออกซิเจน	26.00 - 27.90 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของไฟโบรอิน [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของกรดอะมิโนที่พบในไหม [5]

ชื่อ	โครงสร้าง	สัญลักษณ์	ลักษณะของหมู่ข้างเคียง
ไกลซีน (Glycine)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Gly (G)	มีขั้ว มีสมบัติชอบน้ำ
อะลานีน (Alanine)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Ala (A)	ไม่มีขั้ว มีสมบัติไม่ชอบน้ำ
เซรีน (Serine)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Ser (S)	มีขั้ว มีสมบัติชอบน้ำ
ไทโรซีน (Tyrosine)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{C}_6\text{H}_4-\text{OH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Tyr (Y)	มีขั้ว มีสมบัติชอบน้ำ
กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Gln (Q)	หมู่ข้างเคียงมีสมบัติเป็นกรด
ไลซีน (Lysine)	$\begin{array}{c} (\text{CH}_2)_4\text{NH}_2 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Lys (K)	หมู่ข้างเคียงมีสมบัติเป็นเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

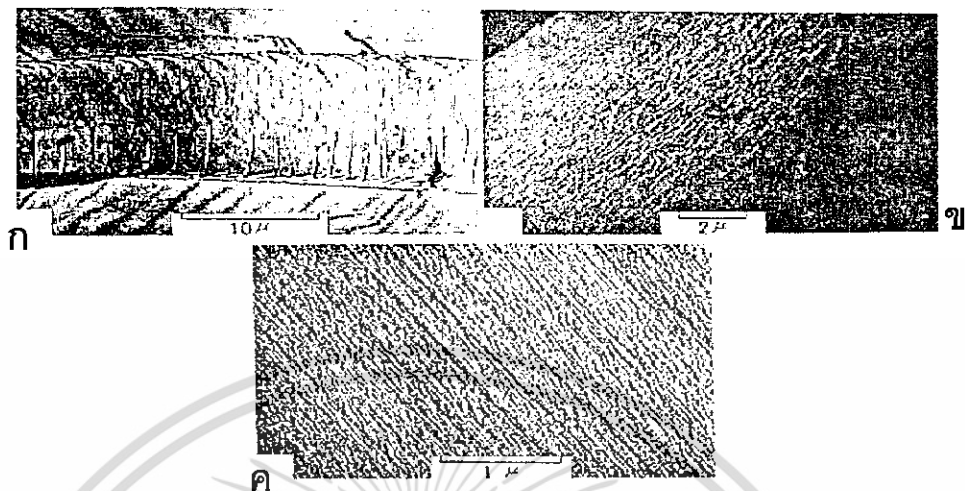
2.2 โครงสร้างไหม [1, 3, 6-8]

ในการศึกษาส่วนประกอบต่างๆ ของไหม มักนิยมที่จะแยกทำการศึกษาเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ การศึกษาโครงสร้างภายนอก (ลักษณะทางกายภาพ) ได้แก่ พื้นผิว ความยาว สีและเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไหมมักเน้นไปที่การศึกษาเกี่ยวกับไฟโบรอินซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเส้นใย

2.2.1 โครงสร้างทางกายภาพของไหม (Physical structure of silks) [1, 6-7]

ใยไหมที่เห็นแต่ละเส้นจะประกอบด้วยเส้นใยเล็กๆ สองเส้นรวมกัน สามารถฉีกแยกออกจากกันได้ ทั้งนี้รังไหมแต่ละรังจะให้สายไหมที่มีขนาดแตกต่างกัน ชั้นนอกสุดของรังจะมีความละเอียดพอสมควร ชั้นกลางจะเป็นเส้นหยาบและชั้นในสุดจะเป็นเส้นไหมที่ละเอียดที่สุด ซึ่งหนอนไหมแต่ละตัวจะชักใยยาวไม่เท่ากัน อาจสาวได้ยาวตั้งแต่ 350 - 1,200 เมตร มีสีตั้งแต่สีเหลืองไปจนถึงสีเทา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและสภาวะแวดล้อม [1]

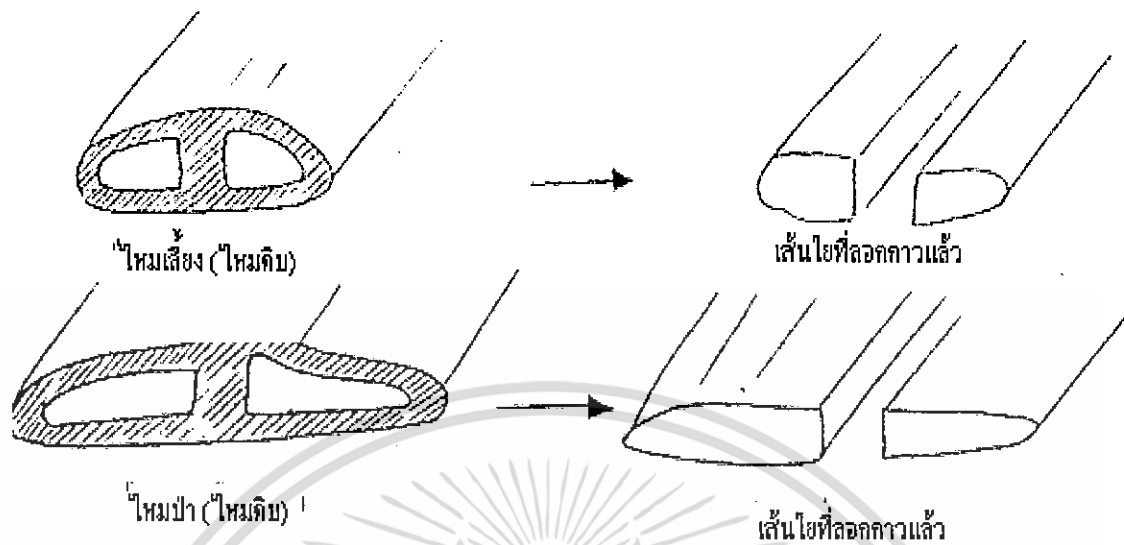
จากการศึกษาโครงสร้างทางกายภาพของไหมดิบแต่ละชนิดพบว่ากาวไหมเหล่านี้ ประกอบด้วย 3 ชั้น โดยชั้นนอกสุดเมื่อตรวจสอบจากกล้องจุลทรรศน์ พบว่ามีลักษณะเป็นลูกคลื่นตลอดความยาวของเส้นใย เมื่อนำกาวไหมออกจะได้เส้นใยไฟโบรอินสองเส้นที่เกิดจากการเกี่ยวพันของไฟบริล จะเห็นว่าพื้นผิวของเส้นใย ไฟโบรอินมีลักษณะที่เรียกว่าเส้นไหมดิบ พบว่าโครงสร้างของไฟโบรอินมีลักษณะคล้ายโครงร่างตาข่าย ซึ่งเกิดจากการที่ไฟบริลแต่ละเส้นมาเกี่ยวพันเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.2 จากลักษณะดังกล่าวทำให้เส้นใยที่ได้มีความมันเงาและมีความละเอียดกว่าเส้นไหมดิบ [6]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางกายภาพของใหม่ดิบ

(ก) ลักษณะพื้นผิวของใหม่ดิบ (ข) โครงสร้างทางกายภาพของใหม่เมื่อนำกาาใหม่ออก และ(ค) แสดงถึงการที่ไฟบริลแต่ละเส้นมาเกี่ยวพัน [6]

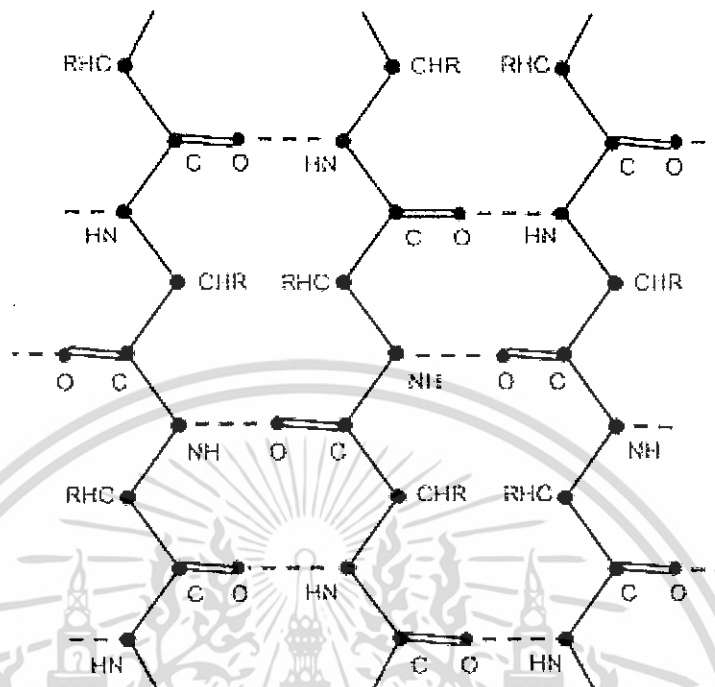
การนำเส้นไหมไปทำการลอกกาา เป็นขั้นตอนการปรับปรุงเส้นไหมที่สำคัญ เพราะจะทำให้ได้เส้นไหมที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมุมมนมีความละเอียดและมีพื้นผิวที่เรียบกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมดิบ



รูปที่ 2.3 แสดงถึงลักษณะของเส้นไหมก่อนและหลังลอกคว [7]

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของไหม [3, 8]

ไหมมีองค์ประกอบทางเคมีเป็นโปรตีนเกิดจากการที่มีกรดอะมิโนหลายชนิดมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอไมด์หรือเปปไทด์ โครงสร้างหลักของไฟโบรอินมีลักษณะของโครงแบบเป็นแบบแผ่นพับเบต้า (β -sheet) โดยมีกรดอะมิโนจัดเรียงตัวซ้ำ ๆ กัน พบว่าโครงสร้างของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบใน ไฟโบรอิน มีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นระหว่างหมู่เอไมด์ ซึ่งพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นช่วยเพิ่มความเป็นผลึกและความแข็งแรงให้กับเส้นใยไฟโบรอิน พิจารณาการจัดเรียงตัวและการเกิดพันธะได้ดังรูปที่ 2.4 [8]



รูปที่ 2.4 การจัดเรียงตัวและการเกิดพันธะของเส้นใยไฟโบรอิน [3]

2.3 สมบัติของไหม (Properties of silk) [1, 3]

2.3.1 สมบัติทางกายภาพ [1, 3]

- เป็นเส้นใยยาวและมีความแข็งแรงมากที่สุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมดส่วนใหญ่ มีค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 3.5-5.0 กรัมต่อเดเนียร์เมื่อแห้ง และมีค่าความแข็งแรงลดลง 15-30 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปียก

- มีคุณสมบัติที่ดีเยี่ยมในการระบายอากาศ ดูดซับความร้อน ดูดซับน้ำ และระบายความชื้นได้ดี ที่สภาวะมาตรฐานความสามารถในการดูดซับความชื้นจะอยู่ที่ 11 เปอร์เซ็นต์ ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดี ทำให้ไหมเป็นเส้นใยที่มีความสามารถในการรับสีย้อมต่างๆ ได้ดี

- ไหมมีความยืดหยุ่นที่ดี โดยอาจดึงยืดได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวเริ่มต้น เนื่องจากไหม ไม่มีพันธะซัลเฟอร์เชื่อมโยงเหมือนในโครงสร้างโปรตีนของเส้นใยชนิดอื่น จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์

- ความถ่วงจำเพาะของเส้นใยไหมอยู่ในช่วงระหว่าง 1.32 -1.33 มีตั้งแต่สีเหลืองถึงสีน้ำตาล โดยไหมบ้านมีสีตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีขาว ในขณะที่ไหมป่ามีสีเหลืองเทา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ สภาวะแวดล้อม และอาหารที่ใช้เลี้ยงดู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไหมดิบจะเป็นลักษณะของเส้นใยคู่เกาะติดกันด้วยกาวยไหม มีความมัน นุ่มนวล ผิววนอกดูเรียบ แต่ไม่สม่ำเสมอ พื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน มีความละเอียดสูงขนาด 1.25 เดเนียร์ต่อเส้น

- การคืนตัวจากแรงอัด ไหมมีความสามารถในการคืนกลับได้ดี ไม่เกิดการยับย่นง่าย สามารถกลับรูปเพียงเขว่นไว้ระยะหนึ่ง

- ผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี จึงรักษาความอบอุ่นได้ดี

2.3.2 สมบัติทางเคมี [1, 3]

- สภาวะที่เป็นกรด และต่างอย่างรุนแรง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สมบัติและโครงสร้างของไหมเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ สามารถที่จะละลายไหมได้ โดยค่าความเป็นกรด - ด่าง ที่ทำให้ไหมมีความเสียหายน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 4 - 8

- ไหมถูกทำลายได้ด้วยสารประกอบพวกเกลือคลอไรด์ ซึ่งได้แก่ เหนือ น้ำยาดับกลิ่น และน้ำเกลือโดยเฉพาะเหนือจะทำให้เกิดคราบตรงบริเวณที่มีการสัมผัสได้

- ไหมสามารถทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี โดยเฉพาะสารซักแห้งที่นำมาใช้ในการทำความสะอาด

- สารซักฟอกประเภทโซเดียมไฮโปคลอไรด์สามารถที่จะทำให้เกิดอันตรายกับเส้นไหมได้ ยกเว้นสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์เท่านั้นที่สามารถนำมาใช้กับเส้นไหม

- ผลลัพท์จากไหมไม่ขึ้นรายกเว้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความร้อนและความชื้นสูงๆ

- ผ้าไหมไม่ทนทานต่อแสง เพราะแสงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความแข็งแรงลดลง และเกิดสีเหลืองขึ้นที่ผิวของเส้นใยซึ่งมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลัก

- ไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมต่างๆได้ดีเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำจึงสามารถนำมาใช้กับสีย้อมทั่วไปได้

2.4 การปรับปรุงสมบัติของไหมด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical Treatment of Silks) [6, 9-16]

ไหมดิบมีความแข็งแรงกระด้างและมีความสามารถในการสัมผัสที่ไม่ดีมีความหยาบ ลักษณะดังกล่าวเกิดจากภาวะไหมที่เคลือบอยู่ ดังนั้นเพื่อให้ไหมมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในงานสิ่งทอ จึงควรมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมให้ดีขึ้น โดยวิธีที่นิยมปฏิบัติ คือ การปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งวิธีที่ง่ายและมีความสำคัญที่สุด คือ การลอกกาวย โดย เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวจะมีลักษณะมันเงา มีความละเอียด และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไหมดิบ[6, 9]

2.4.1 การลอกกาว [6, 10]

การลอกกาว คือ กระบวนการพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยนำเส้นไหม เส้นด้ายและผ้าไหมดิบ มาลอกกาวไหมที่เคลือบผิวของเส้นใย ซึ่งนอกจากกาวไหมแล้วยังมีส่วนประกอบอื่นเล็กน้อย เช่น ซัลไฟต์ คาร์โบไฮเดรต สี สารอนินทรีย์ สิ่งสกปรก และเศษดักแด้ การลอกกาวสามารถเพิ่มความสามารถในการย้อมติดสี และทำให้ไหมมีความเงาเพิ่มขึ้น การลอกกาวไหมสามารถแบ่งได้เป็น 3 ระดับดังนี้ [10]

- Ecru silk

เป็นเส้นไหมที่กาวไหมแทบจะไม่ถูกกำจัดออกไป น้ำหนักไหมจะสูญหายไปมากที่สุดประมาณ 4 % เท่านั้น เนื่องจากสิ่งที่เหลือออกไปจะเป็นเพียง กรีซ ซัลไฟต์ และสารเรซินต่างๆ เท่านั้น เส้นไหมชนิดนี้จึงยังคงแข็งแรงกระด้างไม่เงามัน จึงมักใช้เส้นด้ายชนิดนี้สำหรับทำเส้นด้ายยืนซึ่งไม่จำเป็นต้องนำไปลงแป้งก่อนทอเป็นผืนผ้า

- Half boiled silk

เป็นเส้นไหมที่มีการลอกกาวไหมออกไปเพียงบางส่วน น้ำหนักไหมจะสูญหายไปประมาณ 6-12 % ของน้ำหนักไหมก่อนลอกกาว การใช้ tartar emetic 3-4 % จะทำให้กาวไหมอ่อนตัวลง เส้นไหมชนิดนี้จึงมีความนุ่มขึ้นแต่ก็ยังคงมีความดำนไม่เงามัน

- Cuite silk

เป็นเส้นกาวไหมที่มีการกำจัดกาวไหมออกไปได้อย่างสมบูรณ์น้ำหนักไหมจะอยู่ประมาณ 18-30 % เส้นไหมชนิดนี้จึงมีสัมผัสที่อ่อนนุ่มและมีความเงามันสูง

ประสิทธิภาพของกระบวนการลอกกาวไหมสามารถตรวจสอบได้ด้วยการใช้ Pauly reagent นอกจากนี้ระดับของการลอกกาวไหมก็สามารถตรวจสอบโดยวิธี C.I. Direct Blue 22 โดยที่สีย้อมดังกล่าวจะย้อมติดส่วนที่เป็นกาวไหมเท่านั้นแต่จะไม่ย้อมติดส่วนที่เป็นเส้นใยไฟโบรอิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการลอกกาวยไหมสามารถเลือกได้ด้วยวิธีทางกายภาพหรือทางเคมี แต่ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดก็ตามต้องทำด้วยความระมัดระวังเพื่อไม่ให้เส้นไหมเกิดความเสียหาย และต้องทำให้เกิดความสม่ำเสมอเพราะหากลอกกาวยไหมสม่ำเสมอแล้วจะมีผลทำให้เส้นไหมสม่ำเสมอเกิดเป็นจุดๆ

วิธีทั่วไปที่ใช้ในการลอกกาวยไหมดังนี้ [6, 10]

2.4.1.1 การลอกกาวยไหมด้วยสบู่

การลอกกาวยไหมด้วยสบู่เป็นวิธีการลอกกาวยไหมที่ไม่ใช้อุณหภูมิสูงมากนัก โดยอุณหภูมิที่ใช้คือ 40 °C และเวลาที่ใช้ในการลอกกาวยไหม คือ 30 นาที จากนั้นจึงเติมสบู่ 15-20 % owf (on weight of fibers) (30-50 เท่าของน้ำหนักเส้นไหมดิบ) และต้มต่อเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ข้อเสียของวิธีนี้คือถ้าใช้น้ำกระด้างในกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดโคลสบู่ที่เกิดจากแคลเซียมไอออนที่ผิวของเส้นไหมยังทำให้เส้นไหมที่ได้ มีประสิทธิภาพในการลอกกาวยไหมสม่ำเสมออีกด้วย

2.4.1.2 การลอกกาวยไหมด้วยโซดา

สารละลายโซดาที่นิยมใช้ในการลอกกาวยไหม คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โดยอุณหภูมิที่ใช้ 90 °C และเวลาที่ใช้ 2-3 ชั่วโมง จากนั้นล้างออกด้วยน้ำอุ่น 40-50 องศาเซลเซียส และน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถลอกกาวยไหมได้อย่างสม่ำเสมออีกวิธีหนึ่ง แต่ข้อเสียของวิธีนี้อยู่ที่สารเคมีที่ใช้มีความเป็นด่างมากจึงอาจทำให้เส้นไหมที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ลดลง

2.4.1.3 การลอกกาวยไหมด้วยสบู่ผสมกับโซดา

ทำได้โดยนำเส้นไหมมาต้มด้วยสารละลายสบู่และโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 องศาเซลเซียสและเวลาที่ใช้ 2-3 ชั่วโมง หลังจากแยกเอาสารละลายออกแล้วจึงนำไหมมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตอุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียสและน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้งวิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง โดยเส้นไหมที่ได้จะมีความขาวและมีความสม่ำเสมอในการลอกกาวยไหม

2.4.1.4 การลอกกาวยไหมด้วยเอนไซม์

เอนไซม์ที่นิยมนำมาใช้ในการลอกกาวยไหม คือ เอนไซม์โปรตีเอส (Protease enzyme) โดย pH ที่ให้อยู่ในช่วง 9.0-10.5 อุณหภูมิ 40-65 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง กาวยไหมจะละลายออกมา จากนั้นล้างด้วยน้ำอุ่น 40-50 องศาเซลเซียสและน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง โดยเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวยไหมด้วยวิธีนี้สามารถกำจัดกาวยไหมได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ข้อเสียของวิธีนี้อยู่ที่เอนไซม์ที่ใช้มีราคาแพง และมีกลิ่นรุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1.5 การลอกกาวยด้วยกรด

การลอกกาวยด้วยกรด คือการนำเส้นใยมาต้มกับกรดแต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีปัญหาในการควบคุมคุณภาพของไหมที่ลอกกาวย

2.4.1.6 การลอกกาวยด้วยไตรเอทิลอะมีน

การลอกกาวยเส้นไหมด้วยวิธีนี้จะทำให้เส้นใยที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวยด้วยสบู่

2.4.2 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical finishing) [9, 11]

ไหมที่ผ่านการลอกกาวยแล้ว สมบัติของเส้นใยที่ได้มีค่าลดลงประกอบกับเส้นไหมมีข้อด้อยต่างๆ เช่น เมื่อสัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลานานๆ จะเกิดสีเหลืองขึ้นที่ผิวของเส้นใย มีความสามารถในการคืนตัวเนื่องจากรอยยับที่ไม่ดี (Wrinkle recovery) ตลอดจนมีสมบัติที่ไวต่อความร้อนและสารเคมี ซึ่งข้อด้อยต่างๆ เหล่านี้สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยใช้วิธีการทางเคมี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กับเส้นใยไหมมักเป็นการตกแต่งสำเร็จโดยวิธีการตอกลงกับไวนิลมอนอเมอร์ โดยไวนิลมอนอเมอร์ที่นิยมใช้มีมากมายหลายชนิด ได้แก่ เมทิลเมทาคริเลต เมทาคริลาไมด์ (MMA) , 2-ไฮดรอกซี เมทาโครเลท เอทอกซีเมทาคริเลต และอีพอกซีเรซิน โดยไวนิลมอนอเมอร์เหล่านี้จะทำให้ได้เส้นใยที่มีสมบัติแตกต่างกันไป

2.4.2.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาการเติมด้วยอนุมูลอิสระ [11-14]

การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาการเติมด้วยอนุมูลอิสระเริ่มจากการใช้ตัวริเริ่มที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะไพ (π-bond) บนไวนิลมอนอเมอร์ และเกิดการสลายตัวไปเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่สามารถเข้ารวมกับมอนอเมอร์ตัวอื่น จนกระทั่งได้พอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวออกมา ตัวริเริ่มที่นำมาใช้ต้องเป็นสารเคมีที่เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะต่างๆ ได้แก่ ความร้อน รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าและการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีสามารถให้อนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอนุมูลอิสระที่เกิดจากมอนอเมอร์ และอนุมูลอิสระดังกล่าวต้องมีความว่องไวเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยากับไวนิลมอนอเมอร์เพื่อเกิดเป็นอนุมูลอิสระใหม่ขึ้นมา โดยตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่สำคัญมักมีโครงสร้างเป็นสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์ เอโซ เปอร์ซัลเฟต ซึ่งวิธีที่สำคัญที่ใช้ในการเตรียมอนุมูลอิสระมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

- การสลายตัวด้วยความร้อน [13-14]

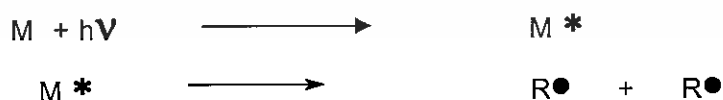
เป็นการสลายตัวด้วยความร้อนที่นิยมใช้ ทั้งในเชิงการค้า และการศึกษากลไกของปฏิกิริยา โดยสารริเริ่มส่วนใหญ่ที่นำมาใช้เป็นตัวริเริ่มด้วยการวิธีนี้มักมีพลังงานพันธะอยู่ในช่วง 25-40 กิโลคาลอรี/โมล เพราะสารที่มีพลังงานพันธะสูงกว่านี้จะสลายตัวช้าเกินไป ถ้าต่ำกว่านี้ ก็สลายตัวเร็วเกินไปทำให้ควบคุมกลไกได้ยาก ดังนั้นสารที่นิยมใช้จึงจำกัดอยู่ที่สารที่มีพันธะ O-O S-S และ N-O โดยสารที่นิยมใช้เป็นตัวริเริ่มมากที่สุด ได้แก่ สารประกอบพวก เปอร์ออกไซด์อินทรีย์ โดยตัวอย่างของเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ที่นิยมใช้กันรวบรวมไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดตัวริเริ่มประเภทเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ [14]

ชนิดตัวริเริ่ม	อุณหภูมิที่ใช้ในการริเริ่ม (°C)
Azobisisobutyronitrile	70
Dibenzoyl peroxide	70
Diacetyl peroxide	70
Di- <i>tert</i> -butyl peroxide	100
Cumyl peroxide	100
Dilauroyl peroxide	60

- การเกิดอนุมูลอิสระด้วยแสง [13]

วิธีนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวิธีโฟโตเคมีคัล



โดยเริ่มจากการที่มอนอเมอร์หรือ สารริเริ่มรับพลังงานโฟตอน แล้วเคลื่อนตัวจากสภาวะพื้น ไปสู่สภาวะกระตุ้น หลังจากนั้นสารที่อยู่ในสภาวะเร้าเหล่านี้จะสลายตัวให้อนุมูลอิสระออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเกิดอนุมูลอิสระโดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox initiation) [13-14]

ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่สามารถให้อนุมูลอิสระ โดยปฏิกิริยาที่สำคัญและนิยมใช้มาก ทั้งในการศึกษากลไกปฏิกิริยาและในอุตสาหกรรมคือปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของน้ำยาเฟนต์น (Fenton 's reagent) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไฮดรอกซิล (II) อีออนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยสารทั้งสองสามารถทำปฏิกิริยากันแล้วให้อนุมูลอิสระออกมา



- การไอออไนซ์ด้วยรังสี (Ionizing radiation) [13]

รังสี α β γ และรังสีเอกซ์ เป็นรังสีที่มีพลังงานสูงนิยมนำมาใช้ริเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยรังสีเหล่านี้จะเหนี่ยวนำให้มอนอเมอร์เกิดการสลายตัวเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างยุ่งยากเพราะนอกจากจะมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นแล้วยังมีไอออนบวกและไอออนลบที่เกิดจากการสลายตัวของมอนอเมอร์เกิดขึ้นอีกด้วย

2.4.2.2 การปรับปรุงสมบัติเส้นใยด้วยวิธีการตอกกิ่งด้วยมอนอเมอร์ [15]

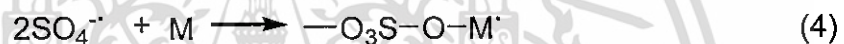
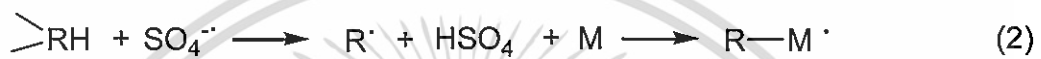
ไหมที่ผ่านการลอกกาแล้วมักมีสมบัติบางอย่างที่ลดลง การปรับปรุงด้วยวิธีทางเคมีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยทำให้สมบัติต่างๆ ของเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาดีขึ้น โดยวิธีทางเคมีที่นิยมใช้กันคือ การนำไหมมาตกแต่งสำเร็จด้วยการตอกกิ่งกับมอนอเมอร์ ซึ่งมอนอเมอร์ที่นิยมใช้มีมากมายหลายชนิด โดยแต่ละชนิดก็มีข้อดี ข้อด้อยแตกต่างกันไปทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ มอนอเมอร์ที่มักนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของไหม ได้แก่ อีพอกซีเรซิน ไดเบสิกแอนไฮไดรไรต์ และพวกไวนิลมอนอเมอร์ ได้แก่ สไตรีน (Styrene) เมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate, MMA) เมทาคริลามิเด (Methacrylamide, MAA) 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาโครเลต (2-Hydroxyethylmethacrylate, HEMA) โดยสาร 2 กลุ่มแรกมักจะเกิดปฏิกิริยากับหมู่ข้างเคียงที่ว่างไว้ในกาเกิดปฏิกิริยาของกรดอะมิโนที่อยู่บนโครงสร้างหลักของไฟโบอีน ในขณะที่สารกลุ่มหลังจะแทรกซึมเข้าไปยังเมตริกซ์ของเส้นใยแล้วจึงเกิดพอลิเมอร์ร่วม

การตอกกิ่งบนเส้นใยไหมจัดเป็นการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบหนึ่ง การสังเคราะห์ พอลิเมอร์ร่วมเหล่านี้อาจทำในตัวทำละลายหรือสารละลายที่มีมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ อยู่ โดยกลไกปฏิกิริยาอาจเป็นได้ทั้งไอออนิกและอนุมูลอิสระ ซึ่งกลไกแบบหลังคาดว่ามีความสำคัญมากที่สุดเพราะเกิดได้ง่ายและตัวว่างไวต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็มีลักษณะเป็นกลาง จึงไม่ต้องใช้ตัวริเริ่มที่มีประจุในการเกิดปฏิกิริยามอนอเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วมแบบต่อกิ่งตรงตำแหน่งที่วงไวยในการเกิดปฏิกิริยาของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไฟโบอีน ได้แก่ หมู่คาร์บอนิล เอมีน และหมู่ไฮดรอกซิลต่างๆ ซึ่งเป็นหมู่แทนที่ของกรดอะมิโน ทำให้สมบัติที่ได้แตกต่างกันไปขึ้นกับชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ การเกิดปฏิกิริยาในส่วนนี้จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโครงสร้างโปรตีน ทำให้เส้นใยที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้นและเพื่อให้เห็นภาพชัดขึ้นจึงขอยกตัวอย่างการเกิดกลไกที่เสนอขึ้นโดย มาซู ฮิโตะ ทาซูกาดะ [15] ดังนี้



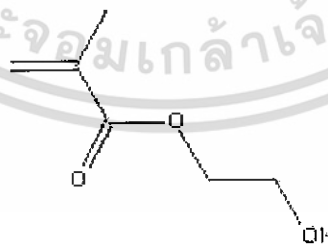
2.4.3 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง [16]

- HEMA

ชื่อทางเคมี 2-Hydroxyethyl methacrylate

ชื่อพ้องอื่น ๆ Glycol Methacrylate; Beta-Hydroxyethyl Methacrylate; Mhoromer; Heme-a; 2-Propenoic acid, 2-methyl-, 2-hydroxyethyl ester; GMA; Ethylene glycol methacrylate; Bisomer Hema;

สูตรโครงสร้าง



น้ำหนักโมเลกุล 130.14

สถานะ ของเหลว

สี ใสไม่มีสี

จุดเดือด 205 – 208 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุดหลอมเหลว- จุดเยือกแข็ง -12 องศาเซลเซียส

ความถ่วงจำเพาะ 1.0340

ความเป็นกรด ต่าง 4

การเกิดปฏิกิริยา

- ความคงตัวทางเคมี สารนี้มีความเสถียรภายใต้อุณหภูมิและความดันปกติ
- สารที่เข้ากันไม่ได้ เอมีน กรด เบส ความร้อน สารประกอบกรดเปอร์ออกไซด์
- สารที่ทำให้เสถียร ไฮโดรควิโนนโมโนทิลอีเทอร์

อันตรายต่อสุขภาพและอนามัย

สัมผัสทางผิวหนัง ทำให้เกิดการระคายเคือง เกิดภูมิแพ้

สัมผัสลูกตา ทำให้เกิดการระคายเคืองตา

อื่น ๆ ทำลายตับ ไต และประสาทส่วนกลาง

- มอร์แดนท์

ชื่อทางเคมี Potassium Aluminium Sulphate

สูตรโมเลกุล $K_2SO_4 \cdot Al_2(SO_4)_3$

คุณสมบัติ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ทำลายโอโซน

ไม่เสื่อมสภาพ มีความคงทน สารส้มเป็นสารประกอบที่มีไอออนของอลูมิเนียม ซึ่งสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสูตรโครงสร้างทางเคมีของสีและเส้นใยของผ้าทำให้สีเข้มขึ้นและติดบนเส้นใย นอกจากนี้สารส้มมีคุณสมบัติเป็นเบส อาจทำให้เจดสีเปลี่ยนไปได้

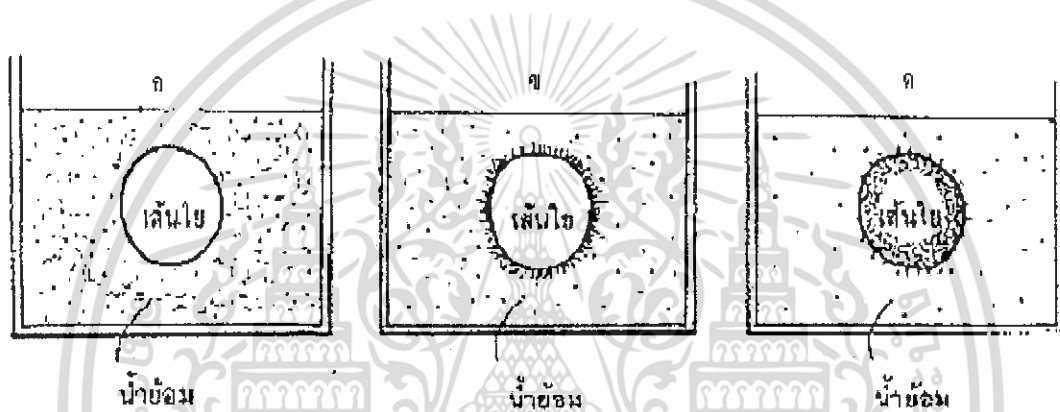
2.5 การย้อมสี (Dyeing) [1, 17-20]

การย้อมสีเส้นไหมมีบทบาทสำคัญมากเพราะสามารถเพิ่มความงามให้ผ้าไหมนำใช้มากขึ้น ซึ่งการย้อมสีผ้าไหมนั้นนิยมย้อมขณะที่เป็นเส้นด้ายก่อนที่จะนำไปทอผืนผ้า วัสดุที่นำมาใช้เป็นสีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอปกติแล้วมักเป็นสารอินทรีย์ที่ให้สีได้ โดยสารอินทรีย์เหล่านี้เมื่อนำมาใช้จะต้องละลายน้ำ และกระจายตัวในน้ำได้ดี เนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางที่สำคัญในการพา สารเหล่านี้เข้าสู่วัสดุที่นำมาย้อมและทำให้เกิดการยึดติด โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างวัสดุที่นำมาย้อมและสีที่ใช้ย้อม คือ สีที่นำมาใช้ย้อมจะต้องมีความสามารถในการกระจายตัวเพื่อก่อให้เกิดการยึดติดได้ดี (Good affinity) หรือโครงสร้างทั้งสองจะต้องมีประจุที่อยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บนโครงสร้างต่างกัน จึงจะทำให้เกิดการยึดติดระหว่างวัสดุทั้งสองชั้น โดยกลไกที่เกี่ยวข้องกับการยึดติดที่สำคัญมีอยู่ 3 กลไกด้วยกัน ได้แก่ [1, 17-18]

1. การดูดซับของสีย้อมที่ผิวของเส้นใย (Sorption)
2. การดูดซึมของสีย้อมเข้าสู่เส้นใย (Diffusion) โดยที่การเพิ่มอุณหภูมิในขณะที่ย้อมจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยทำให้โมเลกุลของสีย้อมแทรกตัวเข้าสู่เส้นใยได้ดี [1, 17]
3. การคงทนของสีบนเส้นใย (Retention) โมเลกุลของสีย้อมที่เคลื่อนตัวเข้าสู่เส้นใยจะเกิดการคงทนของสีบนเส้นใยได้โดยอาศัยกลไกทางเคมีและกายภาพ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แบบจำลองกลไกการยึดติดและการดูดซึมระหว่างสีย้อมกับวัสดุสิ่งทอ
(ก) การดูดซับของสีย้อม (ข) การดูดซึมสีย้อมที่ผิวเส้นใย และ(ค) การคงทนของสีบนเส้นใย [9]

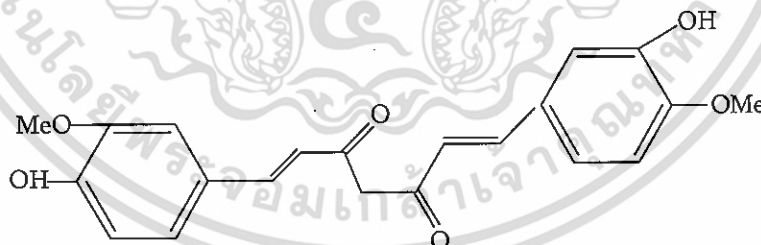
เนื่องจากสีย้อมธรรมชาติเป็นสีที่ละลายน้ำได้ เมื่อนำเส้นใยที่ย้อมด้วยสีเหล่านี้ไปทำความสะอาด โมเลกุลของสีที่ยึดติดอยู่กับเส้นใยเหล่านี้ก็จะเคลื่อนตัวออก แล้วทำให้เกิดการตกของสีขึ้น ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นตรงนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใส่มอร์แดนท์ โดยโมเลกุลของมอร์แดนท์เหล่านี้จะรวมตัวกับโมเลกุลของสีย้อมธรรมชาติ แล้วทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้นทำให้เส้นใยที่ย้อมด้วยสีเหล่านี้มีความคงทนต่อการซักเพิ่มขึ้น [1, 17] งานวิจัยนี้ได้ทดลองย้อมไหมโดยใช้มันซึ่งเป็นสีย้อมธรรมชาติ

2.5.1 สีย้อมธรรมชาติ (Natural dye) [19]

ปัจจุบันผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่ได้จากพรรณไม้ต่างๆ จะได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากผู้ซื้อผู้รักถึงความปลอดภัยและมีสีสันทึมนุ่มนวล สบายตา และให้สีที่แตกต่างไปจากการย้อมด้วยสีเคมี จึงมีการนำสีย้อมจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในงานทางด้านสิ่งทอมากขึ้น เนื่องจากสีธรรมชาติเป็นสีที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่ทำการย้อม แต่สีย้อมที่ได้จากธรรมชาติก็มีข้อด้อย ได้แก่ ขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมน้ำย้อมยุ่งยาก วิธีการย้อมขึ้นอยู่กับผู้ชำนาญและเทคนิคของแต่ละบุคคล ไม่มีสูตรในการย้อมแน่นอน และสีที่ใช้ในการย้อมแต่ละครั้งไม่เหมือนเดิม ซึ่งปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าว เช่น การปรับปรุงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการย้อม การนำมอร์แดนท์และสารเคมีอื่นๆ มาช่วยในการย้อม การทดลองนำพืชชนิดต่างๆ มาใช้ย้อมเพื่อให้ได้สีที่หลากหลายมากขึ้น

2.5.2 ขมิ้นและกรรมวิธีในการย้อมสีธรรมชาติ [19-20]

ขมิ้นมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* พบได้เกือบทั่วทุกภาคของประเทศไทย นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องเทศ สีสผสมอาหารและสีย้อมผ้า โดยสารให้สีหลักในขมิ้นมีชื่อว่า เคอคูมิน (Curcumin) [19-20] (รูปที่ 2.6) จัดเป็นสารในกลุ่มสีฟลาโวนอยด์ สารประเภทนี้เป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดสีเหลืองในขมิ้น จึงมักมีผู้นิยมนำสารเหล่านี้ที่สกัดได้จากขมิ้นไปใช้เป็นสีผสมอาหารและสีย้อมผ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการย้อมผ้านั้นมักนำไปใช้ย้อมพวกผ้าฝ้าย และผ้าไหม [19]



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเคอคูมิน (Curcumin) [19]

การย้อมสีธรรมชาติมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การย้อมโดยตรงและการย้อมโดยใช้มอร์แดนท์ โดยสารให้สีบางชนิดที่สกัดจากพืชสามารถยึดติดกับเส้นใยบางชนิดได้ดี เช่น ฝ้าย ลินิน แต่อาจจะยึดติดกับเส้นใยบางชนิดได้ไม่ดี เช่น ไหมและขนสัตว์ ตลอดจนสารให้สีบางชนิดที่สกัดจากพืชเมื่อนำมาย้อมกับผ้าหรือเส้นใยแล้ว ผ้าหรือเส้นใยที่ได้จากการย้อมกับสีย้อมเหล่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อาจให้สมบัติความคงทนของสีต่อการซักและสภาวะแวดล้อมบางอย่างไม่ดี การใช้มอร์แดนท์ จะช่วยลดปัญหาตรงนี้ได้ มอร์แดนท์ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ เฟอริกคลอไรด์ คอปเปอร์ซัลเฟต และโพแทสเซียมอะลูมิเนียมเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น โดยมอร์แดนท์แต่ละตัวเมื่อนำมาช้ย้อมร่วมกับสีย้อมธรรมชาติแล้วอาจให้เฉดสีที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของมอร์แดนท์ที่นำมาใช้ย้อม รวมทั้งชนิดของสีย้อมที่นำมาใช้ [19]

2.6 ระบบการวัดสี [7]

สามารถแบ่งออกเป็น

2.6.1 ระบบ Munsell

ระบบนี้ได้พัฒนาขึ้นมาโดย Albert Munsell ตั้งแต่ปีค.ศ. 1905 ก่อนมีการนำเครื่องวัดสีมาใช้ในการวัดสี

2.6.2. ระบบ CIE

ระบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเมื่อ Commtssion International del' Eclairage (CIE) ได้เห็นความจำเป็นที่จะต้องมีการวัดสี

2.6.3 ระบบ CIE Tristimulus Values

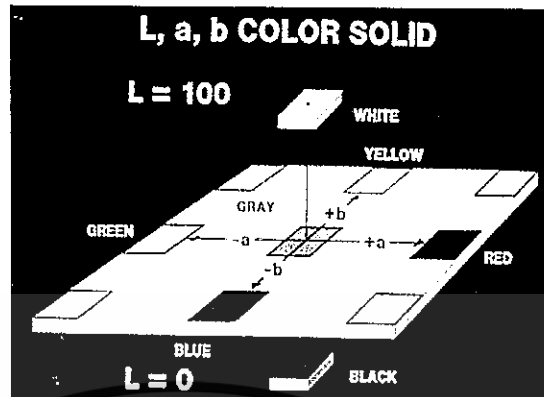
สามารถคำนวณสีหรือระบุสีออกมาเป็นตัวเลขโดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณการกระจายพลังงานของแหล่งกำเนิดแสง

2.6.4 ระบบ CIE Chromaticity Coordinates

พัฒนาจากระบบที่ 3 โดยอาศัยความสัมพันธ์ของค่าที่วัดได้กับลักษณะของสีที่มองเห็น

2.6.5 ระบบ CIE L' a' b' system

ในโครงการพิเศษนี้จะใช้ระบบนี้ในการตรวจวัดเนื่องจากการระบุสีเป็นตัวเลขมี 2 ระบบ คือ ระบบที่ระบุตัวเลขด้วยค่า CIE Tristimulus Values (X, Y และ Z) และ CIE Chromaticity coordinates (X, Y และ Z) ยังมีข้อเสียอยู่ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลง CIE Chromaticity coordinates system ไปเป็นระบบใหม่หรือสมการใหม่ที่สมารถบอกความแตกต่างของสีได้อย่างสม่าเสมอ ซึ่งก็ได้ทำการปรับปรุงและเปลี่ยนแปลงกันอย่างมากมาย จนกระทั่งปัจจุบันนี้สมการที่ใช้ในการระบุสีที่เป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางก็คือ CIE L' A' B' 1976 ซึ่งมีลักษณะของ color space ดังรูป



รูปที่ 2.7 CIE L* A* B* 1976 ซึ่งมีลักษณะของ color space

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

นอกจากนี้ในระบบ CIELAB ยังมีการปรับปรุงต่อไป โดยการเชื่อมค่า "a" และ "b" เข้ากับ "hue" และ "chroma" โดยกำหนด color term อีก 2 ตัว คือ hue angle (h^*) และ Chroma (C^*)

โดย $h^* = \tan^{-1}[b^*/a^*]$

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

hue angle เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีมีตำแหน่งอยู่ที่ใดในกราฟมีหน่วยเป็นองศา

ถ้า $h^* = 0^\circ$ แสดงว่าเป็นสีแดง

$h^* = 90^\circ$ แสดงว่าเป็นสีเหลือง

$h^* = 180^\circ$ แสดงว่าเป็นสีเขียว

$h^* = 270^\circ$ แสดงว่าเป็นสีน้ำเงิน

ส่วน Chroma คือ ความยาวของเส้นตรงที่ลากจากจุดกำเนิดที่ $a^* = h^* = 0$ ไปยังตำแหน่งของตัวอย่าง C^* จะใช้บอกค่าความสดใสของสีที่ค่าความสว่างหนึ่งๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทั่วไป ในการระบุสีของวัตถุมีสีในระบบ CIELAB นั้น มักจะระบุด้วยค่า L^* , C^* และ h^* มากกว่าค่า L^* , a^* และ b^* เนื่องจากจะทำให้เข้าใจและทราบลักษณะของสีได้ใกล้เคียงกับที่ตามนุษย์มองเห็นสี

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัฒนา คล้ายรัศมี [7] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกายภาพของโพลิเมอร์ที่ต่อกึ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลท (Methyl methacrylate, MMA) และเมทาคริลลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) ในตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 พบว่าความสามารถในการต่อกึ่งของเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย MMA และเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย MAA ลดลงเมื่ออัตราส่วนของเอทานอลในตัวทำละลายผสมเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการต่อกึ่งของเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย MMA กับ MAA มีความสามารถในการต่อกึ่งใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนของตัวทำละลายผสม นอกจากนี้สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย MMA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 เส้นใยที่ต่อกึ่งด้วยเมทาคริลลาไมด์และเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย MMA กับ MAA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วน 25:75 ให้พื้นผิวที่มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอเหมาะแก่การนำไปใช้งานในรูปสิ่งทอแต่สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ต่อกึ่งลดลงเมื่อเทียบกับเส้นใยโพลิเมอร์จากธรรมชาติ จากการศึกษาคrosslinking ของโพลิเมอร์ที่ต่อกึ่งด้วยเทคนิคพริเออร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เส้นใยที่ได้มีลักษณะเฉพาะของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกึ่ง นอกจากนี้เส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงสุด ส่วนเส้นใยที่ต่อกึ่งมีความคงทนต่อกรดและด่างสูงชันยกเว้นเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย MAA ที่เปอร์เซ็นต์การต่อกึ่งสูงๆ มีความคงทนต่อด่างลดลง นอกจากนี้เส้นใยที่ต่อกึ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น ในส่วนของการย้อมสีเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วยสีย้อมจากขมิ้น สีย้อมแอสิดและสีย้อมเบสิกพบว่าเส้นใยที่ต่อกึ่งมีความสามารถในการดูดซับสี ความคงทนต่อแสง การซักและเห็งสูงกว่่าโพลิเมอร์จากธรรมชาติ

M.Tsukada และคณะ [9] ทำการศึกษาการต่อกึ่งเส้นใยด้วยโวนิลมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ เมทิลเมทาคริเลท เมทาคริลลาไมด์ และ 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาโครเลท โดยใช้ตัวริเริ่มต่างกัน 3 ชนิด เช่น แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammoniumpersulfate, APS) 2,2'-เอโซบิส (2-อะมิดีโนโพรเพน) ไดไฮโดรคลอไรด์ (2,2'-azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride, ADC) และ 2,2'-เอโซบิส ไอโซบิวไทโรไนไตรด์ (2,2'-azobisisobutyronitrile, AIBN) พบว่าตัวริเริ่มแต่ละชนิดมี

ความสามารถในการต่อกึ่งตามลำดับดังนี้ APS > AIBN > ADC แต่การใช้ APS เป็นตัวริเริ่มทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้เส้นใยเป็นสีเหลืองมากที่สุดในการตอกลงเส้นใยด้วยเมทิลเมทาคริเลทและ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท ในขณะที่การตอกลงเส้นใยด้วยเมทาคริลาไมด์ไม่ทำให้เส้นใยเป็นสีเหลืองเมื่อใช้ตัวริเริ่มทุกชนิด ส่วนความชื้นของเส้นใย (Moisture regain) พบว่าความชื้นของเส้นใยที่ตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์เพิ่มขึ้นและเส้นใยที่ตอกลงด้วยเมทิลเมทาคริเลทลดลง ในขณะที่ความชื้นของเส้นใยที่ตอกลงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลท ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากความชื้นของเส้นใยขึ้นอยู่กับส่วนที่ชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำของมอนอเมอร์ (Hydrophilic/Hydrophobic) นอกจากนี้สมบัติการดึงยึด (Tensile property) ของเส้นใยที่ตอกลงลดลง เมื่อน้ำหนักของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นสำหรับสัณฐานวิทยาของไหมที่ตอกลงด้วยเมทิลเมทาคริเลทและ 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลท พบว่าที่ผิวของเส้นใยเกิดไฮโดรพอลิเมอร์เกาะที่พื้นผิว ในขณะที่เส้นใยที่ตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์มีพื้นผิวเรียบสม่ำเสมอ

T. Arai และคณะ [11] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงทางเคมีของไหมบอมบิกซ์โมริโดยใช้สารประกอบไอโซไซยานาตและไดไอโซไซยานาตหลายๆ ชนิดเช่น ฟีนิลไอโซไซยานาตและเฮกซะเมทิลลีนไดไอโซไซยานาต ซึ่งทำการศึกษาความว่องไวของการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอโซไซยานาตเหล่านี้โดยอธิบายในฟังก์ชันของอุณหภูมิ เวลา ปฏิกิริยาเคมีของไอโซไซยานาตและตัวละลาย พบว่าเส้นใยไหมที่ปรับปรุงด้วยเฮกซะเมทิลลีนไดไอโซไซยานาตในตัวละลายไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide, DMSO) ที่อุณหภูมิ 75 °C มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยากับไหมสูงสุดและมีน้ำหนักพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นสูง จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของไหมปรับปรุงด้วย ไอโซไซยานาตและไดไอโซไซยานาตได้ผลดังนี้ ความชื้นของเส้นใยปรับปรุงลดลงเมื่อน้ำหนักพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นสูง ในขณะที่ความคงทนต่อการดัดและต่างของเส้นใยที่ตอกลงด้วยไอโซไซยานาตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นยกเว้นการปรับปรุงด้วยฟีนิลไอโซไซยานาตซึ่งเป็น ตัวเหนียวน่าให้เกิดการละลายต่างได้ดีขึ้น ส่วนความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมปรับปรุง สมบัติทางแสงและเสถียรภาพทางความร้อนของเส้นใยปรับปรุงไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่การดึงยึด ณ จุดขาดลดลง

M. Tsukada และคณะ [24] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของไหมที่ตอกลงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลท พบว่าความแข็งแรงดึงและการยึดของไหมที่ตอกลงทั้งในสภาวะแบบแห้งและเปียกลดลง เมื่อน้ำหนักของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ส่วนมอดุลัสยืดหยุ่น (Initial modulus) ของไหมที่ตอกลงในสภาวะแบบแห้งที่เปอร์เซ็นต์การตอกลงในช่วง 0 - 16 % เพิ่มขึ้นถัดจากนั้นค่ามอดุลัสยืดหยุ่นลดลงต่ำกว่าไหมที่ไม่ได้ตอกลง จากการศึกษาโครงสร้างของไหมด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีพบว่า IR สเปกตรัมของไหมที่ตอกลงเกิดแถบการดูดกลืนที่เลขคลื่น 1724 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการดูดกลืนของหมู่เอสเทอร์ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลท สำหรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดค่าดัชนีหักเหทั้งในแนวอนและแนวตั้งฉากกับแกนเส้นใย ปรากฏการณ์ไบฟริงก์เจนท์ (Birefringence) และดัชนีหักเหแบบไอโซทรอปิก (Isotropic refractive index) มีค่าลดลงทำให้ระดับของความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) และการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ต่อกิ่งลดลง และจากการศึกษาโครงสร้างความเป็นผลึกของเส้นใยด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) พบว่า 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาโครเลท ที่ใช้ในการต่อกิ่งไม่ส่งผลต่อความเป็นผลึกของเส้นใยใหม่ ส่วนสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาโครเลท ที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง 32 % มีลักษณะผิวของเส้นใยเรียบสม่ำเสมอคล้ายคลึงกับไหมก่อนต่อกิ่ง นอกจากนี้เส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาโครเลท มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น

S.Chopra และคณะ [25] ได้ทำการศึกษาผลของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการลอกกาวยาไหมมัดเบอรี (Mulberry silk fabric) ที่มีต่อความสามารถในการสัมผัส ซึ่งสารเคมี ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ สบู่ กวด ต่าง ไทรเอทิลเอมีน (Triethylamine, TEA) และเอมไซม์ โดยได้ใช้ค่าการสัมผัสของผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยด้วยสบู่เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ ซึ่งจากการทดลองพบว่า สารเคมีเหล่านี้เมื่อลอกกาวยา ให้ประสิทธิภาพในการลอกกาวยาใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบในเชิงน้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss) แต่จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่บริเวณระหว่างพื้นผิว (Interface) ของเส้นใยพบว่าผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยาด้วยสบู่ ต่าง ไทรเอทิลเอมีน มีประสิทธิภาพในการลอกกาวยาดีกว่าการลอกกาวยาด้วยเอมไซม์และกวด ส่วนการศึกษาสมบัติเชิงกลแบบความเค้นต่ำ (Low stress properties) พบว่าผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยาโดยใช้สารเคมีที่แตกต่างกัน ให้สมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน ส่วนค่าการสัมผัสผ้าไหมมัดเบอรีที่ทำการลอกกาวยาด้วยสบู่และต่างให้ความนุ่ม (Softness) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความรู้สึกเมื่อถูกดีที่สูงสุด ส่วนผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยาด้วยเอมไซม์ทำให้ได้เส้นใยที่มีลักษณะที่แข็งและเปราะ ส่วนผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยาด้วยและไทรเอทิลเอมีนให้ค่าการสัมผัสอยู่ในระดับกลาง

ผ่องศรี รอดโพธิ์ทอง [26] ได้ทำการศึกษาผลของวิธีและระยะเวลาเก็บรักษาน้ำสีจากเปลือกมังคุดสดที่มีต่อความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงของผ้าไหม โดยได้ทำการสกัดน้ำสีและทำการเก็บเป็นระยะเวลา 2 เดือน 4 เดือน และ 6 เดือน หลังจากนั้นจึงนำน้ำสีที่เก็บไว้มาทำการย้อมทดสอบกับผ้า โดยใช้สารส้มเป็นมอร์แดนทีในปริมาณ 10 % ซึ่งจากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการเก็บและวิธีที่ใช้ในการจัดเก็บล้วนมีผลต่อสี ความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงของผ้าไหมที่ทำการย้อม

M.Tsukada และคณะ [27] ยังได้ทำการศึกษาต่อในส่วนการตอกเส้นใยใหม่กับเมทิลเมทาไครเลท โดยใช้ไทรนอมัลบิลทิลโบเรนเป็นตัวริเริ่ม โดยก่อนที่นำเส้นใยไปทำการพอลิเมอไรซ์ ได้ทำการปรับปรุงเบื้องต้นกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (Ferric chloride, FeCl_3) ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเส้นใยใหม่ที่ทำการปรับปรุงกับเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 4 % ให้เปอร์เซ็นต์การตอกสูงสุด คือ 720 % ส่วนการศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี แสดงให้เห็นพีกเอนโดเทอร์มิก 2 ส่วน ที่ตำแหน่ง 326°C และ 396°C ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิการสลายตัวของของโครงแบบ β ของไฟโบรอิน และโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาไครเลท ที่นำมาใช้ในการตอกตามลำดับสำหรับการศึกษาโครงสร้างโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทสโกปี ระหว่างเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการตอก แสดงให้เห็นถึงการดูดกลืนสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนทับกันระหว่างโครงสร้างของเมทิลเมทาไครเลทกับโครงแบบ β ของไฟโบรอิน และในการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่ามีความแข็งแรงดึงที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดแม้กระทั่งที่เปอร์เซ็นต์การตอกต่ำๆ

T. K. Maji และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยที่ตอกด้วยเมทิลเมทาไครเลท (Methyl methacrylate, MMA) ที่ทำการเตรียมในตัวทำละลายแตกต่างกันเช่น เมทานอล ไดเมทิลฟอร์มาลดีไฮด์ อะซีติก แอลกอฮอล์ และความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน พบว่าเส้นใยที่ตอกด้วย MMA มีความยืดหยุ่นและ work recovery ดีกว่าไหมที่ไม่ได้ตอกเนื่องจากการสะสมของ MMA ภายในเส้นใยทำให้ภายในเส้นใยมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลให้เกิดพลังงานในเส้นใยในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปสูงขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อการคลายความเค้น (stress relaxation) สำหรับค่าเทนาคิตีมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การตอกของเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่การดึงยึด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยที่ตอกด้วย MMA ลดลง เมื่อเปอร์เซ็นต์การตอกเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยเมื่อเตรียมในตัวละลายต่างกันั้นพบว่าค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของ >ไหมที่ไม่ตอก> >เมทานอล> >ไดเมทิลฟอร์มาลดีไฮด์> >อะซีติก

Z. Cai และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงทางเคมีของผ้าไหมบอมบิกซ์โมริด้วยอีพอกไซด์ EPSIB โดยทำการศึกษาความว่องไวของหมู่อีพอกไซด์รวมทั้งไฟโบรอินใหม่โดยใช้การวิเคราะห์กรดอะมิโน สมบัติทางกายภาพของผ้าไหมปรับปรุง เช่น การคืนตัวจากแรงอัดในสภาวะแห้งและเปียก ความชื้นและความสามารถในการละลายในตัวละลายผสมของ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \text{CaCl}_2 : \text{H}_2\text{O}$ อัตราส่วนเป็น 2 : 1 : 8 พบว่าการปรับปรุงการคืนตัวจากแรงอัดของผ้าไหมปรับปรุงเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับความชื้น ความขาวและการดูดซับสีย้อมของผ้าไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M.Tsukada และคณะ [27] ยังได้ทำการศึกษาต่อในส่วนการต่อกิ่งเส้นใยใหม่กับเมทิลเมทาไครเลท โดยใช้ไทรอนอมัลบิลทิลโบเรนเป็นตัวริเริ่ม โดยก่อนที่นำเส้นใยไปทำการพอลิเมอไรซ์ ได้ทำการปรับปรุงเบื้องต้นกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (Fereic chloride, FeCl_3) ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเส้นใยใหม่ทำการปรับปรุงกับเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 4 % ให้เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงสุด คือ 720 % ส่วนการศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมทรี แสดงให้เห็นพีคเอนโดเทอร์มิก 2 ส่วน ที่ตำแหน่ง 326°C และ 396°C ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิการสลายตัวของของโครงแบบ β ของไฟโบรอิน และโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาไครเลท ที่นำมาใช้ในการต่อกิ่งตามลำดับสำหรับการศึกษาโครงสร้างโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทสโกปี ระหว่างเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการต่อกิ่งแสดงให้เห็นถึงการดुकคลื่นสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนทับกันระหว่างโครงสร้างของเมทิลเมทาไครเลทกับโครงแบบ β ของไฟโบรอิน และในการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่ามีค่าความแข็งแรงดิ่งที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดแม้กระทั่งที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งต่ำๆ

T. K. Maji และคณะ [28] ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลและความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท (Methyl methacrylate, MMA) ที่ทำการเตรียมในตัวทำละลายแตกต่างกันเช่น เมทานอล ไดเมทิลฟอร์มาลดีไฮด์ อะซีติก แอลกอฮอล์ และความชื้นสัมพัทธ์แตกต่างกัน พบว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MMA มีความยืดหยุ่นและ work recovery ดีกว่าไหมที่ไม่ได้ต่อกิ่งเนื่องจากการสะสมของ MMA ภายในเส้นใยทำให้ภายในเส้นใยมีความหนืดเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลให้เก็บพลังงานในเส้นใยในระหว่างการเปลี่ยนแปลงรูปสูงขึ้นโดยไม่ส่งผลต่อการคลายความเค้น (stress relaxation) สำหรับค่าเทนาคิตีมีแนวโน้มลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งของเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่การดิ่งยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MMA ลดลง เมื่อเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งเพิ่มขึ้น ในขณะที่ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยเมื่อเตรียมในตัวละลายต่างกันั้นพบว่าค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นของ ไหมที่ไม่ต่อกิ่ง > เมทานอล > ไดเมทิลฟอร์มาลดีไฮด์ > อะซีติก

Z. Cai และคณะ [29] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงทางเคมีของผ้าไหมบอมบิกซ์โมริด้วยอีพอกไซด์ EPSIB โดยทำการศึกษาความว่องไวของหมู่อีพอกไซด์รวมทั้งไฟโบรอินใหม่โดยใช้การวิเคราะห์กรดอะมิโน สมบัติทางกายภาพของผ้าไหมปรับปรุง เช่น การคืนตัวจากแรงอัดในสภาวะแห้งและเปียก ความชื้นและความสามารถในการละลายในตัวละลายผสมของ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} : \text{CaCl}_2 : \text{H}_2\text{O}$ อัตราส่วนเป็น 2 : 1 : 8 พบว่าการปรับปรุงการคืนตัวจากแรงอัดของผ้าไหมปรับปรุงเพิ่มสูงขึ้น นอกจากนี้ความสามารถในการดูดซับความชื้น ความขาวและการดูดซับสีย้อมของผ้าไหม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรับปรุงเพิ่มขึ้น แต่ความทนทานต่อสบู่มิทั้งเพิ่มขึ้นและเท่าเดิม ในขณะที่องศาของการคืนตัวจากการยับของไหมขณะเปียกเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของกรดอะมิโนหลักที่เหลือตกค้าง เช่น ซีรีน ไทโรซีน ฮิสทีดีน ในไฟโบรอินไหมดัดแปลงลดลงเป็นลำดับ สำหรับสมบัติทางความร้อนของไหมบอมบ์บิกซีโมริหลังจากปรับปรุงด้วย EPSIB มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าไหมที่ไม่ได้ปรับปรุง

T. Leksopée และคณะ [30] ได้ทำการศึกษาผลของการฟอกขาวไหมด้วยสารฟอกขาวทั้งประเภทออกซิไดซ์และรีดิวซ์และการย้อมสีทั้งที่มีสารเชื่อมโยงและไม่มีสารเชื่อมโยง โดยใช้สารเชื่อมโยง 4 ชนิด ได้แก่ โซเดียมซิเตรท (Sodium citrate) กรดอะดิปิก (Adipic acid) กรดฟูมาริก (Fumaric acid) บิส (4-ฟลูออโร-3-ไนโตรฟีนิล) ซัลโฟน (bis(4-fluoro-3-nitrophenyl)sulfone) ที่ความเข้มข้นต่างๆ เพื่อหาสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมโดยทำการทดลองภายใต้อุณหภูมิและ pH แตกต่างกัน ซึ่งจากการทดลองพบว่าผ้าไหมที่ผ่านการฟอกขาวด้วยสารฟอกขาวประเภทออกซิไดซ์ มีสมบัติเชิงกลดีกว่าการฟอกขาวด้วยสารฟอกขาวประเภทรีดิวซ์และโซเดียมซิเตรทเป็นสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมที่สุดซึ่งให้ค่าความทนทานต่อการขัดถู ความแข็งแรงฉีกขาดของผ้าไหมดีขึ้น โดยไม่ส่งผลต่อความขาวของผ้า จากผลการทดลอง pH ที่เหมาะสมในการย้อมสี คือ 5.5

นฤมล ศราพันธ์ [31] ได้ทำการศึกษาการย้อมสีผ้าไหมด้วยขมิ้นชัน โดยใช้มอร์แดนท์ 4 ชนิด คือ เหล็ก จุนสี กรดน้ำส้มและสารส้ม ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 2 % 4 % 6 % และ 8 % ของน้ำหนักไหม ระยะเวลาที่ใช้ในการย้อมครั้งนี้ คือ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 80-85 °C จากผลการทดลองพบว่าการใช้มอร์แดนท์ต่างชนิดกันให้เฉดสีต่างกัน และจากการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักทั้ง 3 วิธี พบว่า เมื่อใช้เหล็ก 6 เปอร์เซ็นต์ จุนสี 2 เปอร์เซ็นต์และสารส้ม 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไหมให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักสูงสุด ส่วนการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง พบว่าการย้อมโดยใช้จุนสีเป็นมอร์แดนท์ในทุกระดับให้ค่าความคงทนต่อแสงสูงสุด

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินการ

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. เส้นใยไหมดิบพันธุ์บอมบิกซ์ โมริ *Bombyx mori* (บริษัท จิมทอมป์สัน ประเทศไทย จำกัด)
2. มอนอเมอร์ 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท (2 - Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) (บริษัท Sigma เกรตวิเคราะห)
3. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (บริษัท Merck เกรตวิเคราะห)
4. โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) (บริษัท Merck เกรตวิเคราะห)
5. เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (บริษัท Lab scan เกรตปฏิบัติการ)
6. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (บริษัท Merck เกรตวิเคราะห)
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (บริษัท Lab scan เกรตวิเคราะห)
8. สแปน (Span 80) (บริษัท Fluka เกรตวิเคราะห)
9. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammoniumpersulfate) (บริษัท Fluka เกรตวิเคราะห)
10. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) (บริษัท Merck เกรตวิเคราะห)
11. น้ำกลั่น
12. ขมิ้น
13. โฟแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต (บริษัท Fluka เกรตปฏิบัติการ)
14. แอล-ฮิสติดีนโมโน-ไฮโดรคลอไรด์โมโน-ไฮเดรต (L-histidinemono-hydrolyde mono-hydrate)
15. โซเดียมคลอไรด์
16. ผลึกไดโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลองแบบมีฝาปิด
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. ปีกเกอร์
4. ขวดวัดปริมาตร
5. ปากคืบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. แท่งแก้วคน
7. กระดาษวัด pH
8. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
9. ตู้อบแบบลดความดัน
10. เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile tester) LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument
11. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์รุ่น : รุ่น diamond DSC Perkin Elmer
12. เครื่องเทอร์มัลกราวิมิเตอร์รุ่น (TGA) : รุ่น Pyris 1 TGA Perkin Elmer
13. เครื่องฟูเรียรทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform infrared Spectroscopy, FTIR) : รุ่น FTIR Spectrum GX Perkin Elmer
14. ปีเปต
15. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่น Miniscan XE Plus

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย [7, 9, 21-22]

ในงานวิจัยได้แบ่งขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอนได้แก่ ขั้นตอนการลอก กาว ขั้นตอนการตอกกิ่งด้วยมอโนเมอร์ ขั้นตอนการย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติและขั้นตอนการ ทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบสมบัติเชิงกล การวิเคราะห์น้ำหนักแห้ง การศึกษาสมบัติ ทางความร้อน และการศึกษาสมบัติความคงทนของสีในสภาวะต่างๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ขั้นตอนการลอกกาว [21]

1. การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการลอกกาว
 - สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายโซเดียมไฮโปคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 2. ชั่งเส้นใยใหม่ติดด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งโดยคำนวณน้ำหนักที่ใช้จากอัตราส่วน ระหว่างวัสดุกับของเหลวที่ใช้ในการลอกกาวเป็น 1:30 (Material to liquid ratio 1:30)
 3. นำเส้นใยที่ได้ไปแช่ในสารละลายลอกกาวผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและ สารละลายโซเดียมไฮโปคาร์บอเนตที่อัตราส่วนระหว่างสารละลายผสม 1:1
 4. ทำการลอกกาวที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำ เส้นใยที่ผ่านการลอกกาวแล้วมาล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 80°C และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ชั้ให้แห้งพอหมาดๆ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ต่อจากนั้นจึงนำไปอบด้วยตู้อบสุญญากาศ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียไปออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังจากผ่านกระบวนการลอกกา

5. หลังจากคำนวณเปอร์เซ็นต์การลอกกาเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปทำการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยวิธีการต่อกิ่งต่อไป

3.3.2 ขั้นตอนการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์

การต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วยไวนิลมอนอเมอร์ 2 – ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท
(2 – Hydroxyethyl methacrylate, HEMA)

1. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการต่อกิ่ง

- สารละลาย 2- ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลท (HEMA) 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 และ 0.8

mol/l

- สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต 0.05 mol /l

- กรดซัลฟูริก

- อะซิโตน

2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของไหมลอกกาด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งและบันทึกน้ำหนัก

3. นำสารละลาย 2- ไฮดรอกซีเอทิล เมทาไครเลทและ สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตที่เป็นตัวริเริ่มมาปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 3 โดยใช้กรดซัลฟูริก

4. นำเส้นใยที่ผ่านการลอกกาแช่ในสารละลายที่ใช้ในการต่อกิ่งโดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:20 ปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ให้สนิท

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

6. นำเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งไปล้างด้วยอะซิโตน 2-3 ครั้งและล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้งเพื่อกำจัดไวนิลมอนอเมอร์ที่เหลือจากการพอลิเมอไรซ์ ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักของไหมหลังจากการต่อกิ่ง

7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง (Polymer addition, G)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\%G = ((W_2 - W_1) / W_1) \times 100$$

W_1 คือ น้ำหนักเริ่มต้นของไหมที่ลอกกาแล้ว

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านกระบวนการกึ่ง

3.3.3 ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยไหม [7]

สีธรรมชาติที่นำมาย้อมจะใช้สีจากขมิ้นซึ่งเป็นสารให้สีธรรมชาติ โดยการนำเส้นใยไหม ทั้งก่อนและหลังการลอกกากับก่อนและหลังผ่านกระบวนการต่อกึ่งด้วยมอโนเมอร์ที่มีสมบัติ โดยรวมดีที่สุดมาทำการย้อมสีดังกล่าวซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- ขั้นตอนการย้อมเส้นใยไหมด้วยสารให้สีที่ได้จากขมิ้น [7]

1. เตรียมสารให้สีที่ได้จากขมิ้น โดยนำขมิ้นผงมาแช่ในน้ำและสารละลายผสมระหว่าง น้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วน 75:25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยคำนวณปริมาณของขมิ้นที่ใช้จาก อัตราส่วนวัสดุต่อของเหลว 1:20 (Material to liquid ratio 1:20) หลังจากนั้นจึงนำไปกรอง แล้ว เก็บน้ำสีที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการย้อมต่อไป

2. นำเส้นใยไหมที่จะทำการย้อมทั้งก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังต่อกึ่งมาทำการแช่น้ำที่อุณหภูมิ 60-65°C เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงทำการซับให้แห้งโดยปริมาณเส้นใยที่ใช้ในการย้อมคำนวณจากอัตราส่วนวัสดุต่อของเหลว 1:30 (Material to liquid ratio 1:30)

3. นำเส้นใยที่เตรียมได้ในข้อที่ 2 มาทำการย้อมด้วยน้ำสีที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที โดยการย้อมสีในขั้นตอนนี้มี 2 แบบ คือ การย้อมสีแบบไม่ใช้ มอร์แดนท์ และการย้อมสีแบบใช้มอร์แดนท์ในขณะที่ย้อม โดยมอร์แดนท์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โพลแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต จำนวน 8 % โดยน้ำหนักของเส้นใย หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ได้ ไปทำการล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายครั้ง

4. จุดบันทึกน้ำหนักของเส้นใยก่อนและหลังผ่านกระบวนการย้อมเพื่อหาความสามารถ ในการดูดซับสี ดังนี้

$$\% \text{ Dye uptake} = ((W_2 - W_1) / W_1) \times 100$$

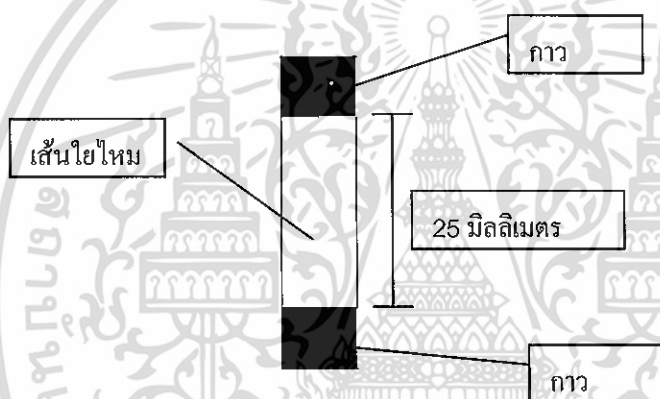
เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมก่อนการย้อม

W_2 คือ น้ำหนักไหมหลังผ่านกระบวนการย้อม

3.3.4 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ [7, 9, 22-23]

3.3.4.1 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใย [22]

ศึกษาความแข็งแรงดึง เทนacity ดี เปอร์เซ็นต์การยืด ฃน จุดขาด และค่ามอดุสของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังจากกระบวนการลอกกาว และเส้นใยไหมหลังจากกระบวนการปรับปรุง โดยการตอ่กั้กับไวนิลมอนอเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบทางแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument) โดยใช้ความเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตร/นาที ระยะเวลาในการจับชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร โดยเตรียมตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง [22]

3.3.4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

- การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเส้นใย [7]

ทำการวิเคราะห์โครงสร้างเส้นใยจากการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลระหว่างเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว เส้นใยไหมที่ผ่านการตอ่กั้ด้วยมอนอเมอร์และเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมสีย้อมธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคฟูเรียนทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform infrared Spectroscopy, FTIR) โดยตัดเส้นใยออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาบดรวมกับโพแทสเซียม โบรไมด์ หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เส้นใยเหล่านี้ในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 4000 cm^{-1} ถึง 600 cm^{-1} โดยทำการสแกนทั้งหมด 4 รอบต่อ 1 ตัวอย่าง

3.3.4.3 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางความร้อน [9]

- การศึกษาสมบัติทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหม [9]

ศึกษาสมบัติทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยมोनอเมอร์โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียล แคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) และเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทริก (Thermal gravimetric, TGA) ที่อัตราการให้ความร้อน $10^{\circ}\text{C}/\text{นาที}$ โดยใช้ช่วงอุณหภูมิ $50-480^{\circ}\text{C}$ กับ $50-800^{\circ}\text{C}$ ตามลำดับ

3.3.4.4 การทดสอบความคงทนของสีย้อม [7]

ศึกษาความคงทนของสีย้อมต่อสภาวะต่างๆ เช่น ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ของการย้อมเส้นใยไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติ ทั้งก่อนและหลังลอกกาบกับก่อนและหลังต่อกึ่งด้วยมोनอเมอร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้ [7]

— การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักฟอก (มอก. 121)

1. เตรียมผ้าฝ้ายมาตรฐาน 1 ชิ้น ผ้าไหม 1 ชิ้นขนาด 4×10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน
3. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยไหมที่ต้องทำการทดสอบ โดยกำหนดให้น้ำหนักของเส้นใยที่ต้องทำการทดสอบเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่งได้
4. จัดวางเส้นใยให้ขนานตามความยาวของผ้ามาตรฐาน หลังจากนั้นนำผ้าไหมและผ้าฝ้ายมาตรฐานที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 มาประกบ ขลิบเส้นใยที่มีความยาวเกินกว่าผ้ามาตรฐานต่อจากนั้นเย็บริมขอบทั้งสี่ด้านของผ้ามาตรฐาน
5. เตรียมสารละลายน้ำสบู่อุณหภูมิแช่เย็น 5 กรัมต่อลิตร
6. นำชิ้นตัวอย่างที่ต้องการทดสอบใส่ในกระบอกซัก หลังจากนั้นเติมสารละลายน้ำสบู่อุณหภูมิแช่เย็นในข้อที่ 5 โดยให้มีอัตราส่วนน้ำหนักระหว่างวัสดุต่อของเหลวเป็น $1:50$
7. นำไปซักด้วยเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
8. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำชิ้นตัวอย่างออกจากเครื่องซัก ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง หลังจากนั้นนำไปผานด้วยน้ำให้ไหลตลอดเวลา 10 นาที
9. บีบน้ำออกจากชิ้นทดสอบ เลาะด้ายที่เย็บออก 3 ด้านโดยเว้นด้านกว้างไว้ด้านหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ตากชิ้นตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยกางผ้าสามชั้นออกจากกัน

11. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่างโดยประเมินค่าจากการใช้เกรย์สเกลมาตรฐาน

- การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (มอก. 121)

ในการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรด และ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นด่าง โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลายเหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่

- สารละลายเหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นกรด

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีนโมโน-ไฮโดรคลอไรด์โมโนไฮเดรต (L-histidinemonohydrate) 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และผลึกโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 2.2 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตรแล้วทำให้มี pH 5.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัลในการปรับสภาวะของสารละลาย

- สารละลายเหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีนโมโน-ไฮโดรคลอไรด์โมโนไฮเดรต (L-histidinemonohydrate) 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และผลึกไดโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตรแล้วทำให้มี pH 8 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัลในการปรับสภาวะของสารละลาย

2. เตรียมผ้ามาตรฐานสีขาวสำหรับทดสอบซึ่งเป็นผ้าฝ้าย 1 ชิ้น ผ้าไหม 1 ชิ้น ขนาด 4×10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง

3. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน

4. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยไหมที่ต้องการทดสอบให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่ง

5. วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาว นำผ้าขาวมาตรฐานในข้อ 1 มาประกบแล้วเย็บริมด้านตรงข้าม 2 ด้าน

6. แข็งขันทดสอบแต่ละชิ้นในสารละลายเหงื่อแต่ละชนิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับชิ้นทดสอบคือ 50 ต่อ 1 ของน้ำหนักชิ้นทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. แกว่งและบีบขึ้นตัวอย่างเป็นครั้งคราวเพื่อให้เปียกทั่วกัน
8. เทสารละลายออกแล้วใช้แท่งแก้วสองอันบีบสารละลายที่มีมากเกินพ้อออก
9. วางขึ้นทดสอบระหว่างแผ่นแก้วขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร 2 แผ่น
10. นำไปใส่เครื่องทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ (Perspirometer) ปรับเครื่องให้แรงกดบนขึ้นทดสอบมีค่าเป็น 44 นิวตัน
11. ทำการทดสอบความคงทนต่อเหงื่อที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
12. นำขึ้นทดสอบออกจากตู้อบและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นกางผ้า ทั้ง 3 ส่วนออกจากกัน
13. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของขึ้นทดสอบและปริมาณสีที่ติดบนผ้าขาวโดยเปรียบเทียบกับเกรย์สเกล
14. รายงานผลเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีของขึ้นทดสอบและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน
 - การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก) (มอก. 121)
 1. เตรียมผ้าสีมาตรฐานซึ่งเป็นผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินที่ย้อมด้วยสีดังในตารางที่ 3.1 โดยมีความคงทนจากระดับต่ำสุด คือ 1 และสูงสุด คือ 8 โดยในแต่ละระดับมีความคงทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (โดยประมาณ)
 2. เตรียมชิ้นงานในการทดสอบแต่ละชิ้นให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยพันรอบกระดาษแข็ง
 3. วางเรียงขึ้นทดสอบและผ้าสีมาตรฐานตามลำดับดังตารางที่ 3.1
 4. ปิดแผ่นทึบแสงบนขึ้นทดสอบและผ้ามาตรฐาน
 5. ประเมินอัตราความคงทนของสีของขึ้นทดสอบโดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของขึ้นทดสอบกับผ้าสีมาตรฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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.

3.3.5 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี [23]

ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีและดัชนีการเกิดสีเหลืองของชิ้นงาน ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่น Miniscan XE Plus โดยใช้ระบบของ CIE L^* a^* b^*

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

เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมพันธุ์บอมบิกซ์ โมริ (*Bombyx mori*) โดยวิธีการตอกลงด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยเลือกใช้ HEMA เป็นมอนอเมอร์ที่ใช้ในการตอกลง ซึ่งแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น การศึกษาสมบัติต่างๆ ของเส้นใยทั้งก่อนและหลังการลอกกากับก่อนและหลังการตอกลงแล้วเลือกสภาวะที่เหมาะสมที่สุดหลังการตอกลง เพื่อนำมาทำการศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีด้วยสีย้อมจากธรรมชาติ โดยสมบัติที่ใช้ในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมคือ ลักษณะภายนอก สมบัติเชิงกลและเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ เมื่อเลือกสภาวะที่เหมาะสมและทำการย้อมแล้ว จึงจะนำเส้นใยมาศึกษาสมบัติต่างๆ ดังนี้ สันฐานวิทยา การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลงไป สมบัติทางความร้อน หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติซึ่งใช้สารให้สีจากขมิ้น ไปทำการทดสอบวัดความเข้มของสีและความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ ต่อไป

4.1 การลอกกากและการตอกลง

ไหมดิบที่ได้จากรังไหมจะมีลักษณะแข็งกระด้าง ไม่มีความมันเงา มีสีเหลือง ซึ่งไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในกระบวนการสิ่งทอ ดังนั้นจึงทำการปรับปรุงเส้นใยเหล่านี้ให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอ คือ การใช้สารเคมีในการลอกกาก จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [21] พบว่า เส้นใยไหมที่ทำการลอกกากด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมโบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ให้เส้นใยไหมที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด คือ เส้นใยที่ได้มีความมันเงา มีความนุ่มสูง และเปอร์เซ็นต์ของการลอกกากที่ได้จากวิธีนี้อยู่ในช่วง 22-25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้สภาวะนี้ ในการลอกกากเส้นใยไหมทดลองงานวิจัยนี้

เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกากแล้วแม้ว่ามีลักษณะภายนอกที่ดีขึ้น แต่ยังคงมีข้อด้อยต่างๆ ได้แก่ มีความสามารถคืนตัวเนื่องจากรอยยับและสมบัติทางความร้อนที่ไม่ดี เมื่อสัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลานานๆ เกิดสีเหลืองเนื่องจากการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีนในเส้นใย ทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ลดลง [21] ดังนั้นจึงมีงานวิจัยต่างๆ เกิดขึ้นหลากหลาย เพื่อปรับปรุงข้อด้อยเหล่านี้ ซึ่งวิธีที่นิยมและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย คือ เทคนิคการตอกลงเส้นใยไหมกับไวนิลมอนอเมอร์ ซึ่งเส้นใยที่ได้มีสมบัติแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์และตัวริเริ่มสภาวะที่ใช้ และเปอร์เซ็นต์การตอกลงที่ได้ การตอกลงจะทำให้เส้นใยไหมที่ได้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับไหม เนื่องจากเวลาซื้อขายไหมจะขายเป็นน้ำหนัก และทำให้เหมาะกับการใช้งานได้มากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ลักษณะภายนอกของเส้นใย

งานวิจัยนี้ได้นำเส้นใยไหมดิบมาผ่านกระบวนการลอกกาวยโดยใช้สารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที และหลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ได้มาทำการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 M ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 15, 30, 45, 60 และ 120 นาที พบว่าเส้นใยที่ได้จากเกณฑ์การพิจารณาจากสลายตาและการสัมผัสด้วยมือมีลักษณะภายนอกที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2

ตารางที่ 4.1 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมหลังลอกกาว

ชนิดของเส้นใย	ลักษณะของเส้นใย
เส้นไหมดิบ	เส้นใยมีสีเหลืองมีลักษณะที่แข็งกระด้าง ไม่มีความมันเงา
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาว	เส้นไหมมีสีเหลืองอ่อน มีความมันเงา มีลักษณะภายนอกที่ดีและนุ่ม

จากตารางที่ 4.1 สามารถสรุปลักษณะต่างๆ ของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาวได้ดังนี้

- เส้นใยไหมดิบมีลักษณะที่แข็งกระด้างเนื่องจากมีกาวไหมเคลือบอยู่ที่เส้นใย เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว
- เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตมีลักษณะที่มันเงา มีลักษณะที่นุ่มและมีพื้นผิวที่ราบเรียบกว่า

ตารางที่ 4.2 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการตอกลงด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลา
ต่างๆ

เวลา (นาที่) ความ เข้มข้น (M)	ลักษณะของเส้นใย ที่ทำการตอกลงด้วยเวลาที่ต่างๆ กัน (นาที่)									
	15		30		45		60		120	
0.1	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี
	ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา	
	น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม	
	ลอกขาว	เมื่อ	ลอกขาว	เมื่อ	ลอกขาว	เมื่อ	ลอกขาว	เมื่อ	ลอกขาว	เมื่อ
	สัมผัสด้วยมือ		สัมผัสด้วยมือ		สัมผัสด้วยมือ		สัมผัสด้วยมือ		สัมผัสด้วยมือ	
	มีความนิ่ม		มีความนิ่ม		มีความนิ่ม		มีความนิ่ม		มีความนิ่ม	
	ใกล้เคียงกับ		ใกล้เคียงกับที่		ใกล้เคียงกับที่		ลดลง		ลดลง	
	ไหมลอกขาว		เวลา 15 นาที		เวลา 15 นาที					
0.2	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี
	ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา	
	น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม	
	ลอกขาว	มี	ลอกขาว	มี	ลอกขาว	มี	ลอกขาว	มี	ลอกขาว	มี
	ความแข็ง		ความแข็ง		ความแข็ง		ความแข็ง		ความแข็ง	
			ใกล้เคียงกับที่		มากขึ้น		มากขึ้น		มากขึ้น	
			เวลา 15 นาที							
0.3	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี
	ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา	
	น้อยกว่าสูตร		ใกล้เคียงกับ		ใกล้เคียงกับ		ใกล้เคียงกับ		ใกล้เคียงกับ	
	ที่ผ่านมา	มี	สูตรที่ผ่านมา		สูตรที่ผ่านมา		สูตรที่ผ่านมา		สูตรที่ผ่านมา	
	ความแข็ง		มีความแข็ง		มีความแข็ง		มีความแข็ง		มีความแข็ง	
	มาก		ใกล้เคียงกับที่		มากขึ้น		มากขึ้น		มากขึ้น	
			เวลา 15 นาที							

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลา (นาที) ความ เข้มข้น (M)	ลักษณะของเส้นใย ที่ทำการตอกลงด้วยเวลาที่ต่างๆ กัน (นาที)									
	15		30		45		60		120	
0.4	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี	มีสีขาว	มี
	ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา		ความมันเงา	
	น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม		น้อยกว่าไหม	
	ลอกขาว	มี	ลอกขาว	มี	ลอกขาว	มี	ลอกขาว	มี	ลอกขาว	มี
	ความแข็ง		ความแข็ง		ความแข็ง		ความแข็ง		ความแข็ง	
	กระด้างมาก		กระด้างใกล้เคียงกับที่		กระด้างมากขึ้น		กระด้างมากขึ้น		กระด้างมากที่สุด	
			เวลา 15 นาที							

จากตารางที่ 4.1 และ 4.2 สามารถสรุปลักษณะต่างๆ ของเส้นใยใหม่ได้ดังนี้

-เส้นใยใหม่ดิบมีลักษณะที่แข็งกระด้างเนื่องจากกาวใหม่ที่เคลือบเส้นใยอยู่ โดยเมื่อพิจารณาจากลักษณะภายนอกพบว่ากาวใหม่ที่เคลือบเส้นใยอยู่ มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ ลักษณะคล้ายลูกคลื่นและมีความเป็นระเบียบน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกขาว

-เส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกขาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตมีลักษณะที่มันเงา นุ่มและมีพื้นผิวที่ราบเรียบกว่า

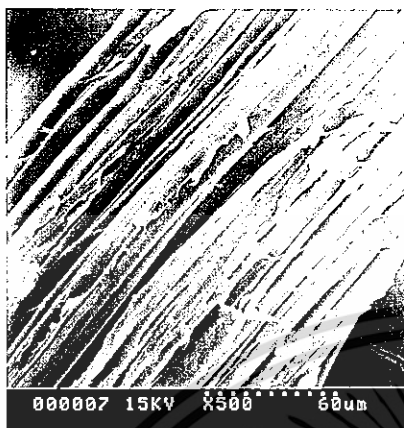
-เส้นใยใหม่ที่ทำการตอกลงด้วย HEMA พบว่าเส้นใยที่ได้มีสีขาว มีความมันเงาที่ลดลง มีความแข็งมากกว่าเส้นใยใหม่ที่ลอกขาว เมื่อเพิ่มเวลาและความเข้มข้นของสารละลาย HEMA

4.3 สันฐานวิทยา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบสันฐานวิทยาของเส้นใยใหม่ทั้งก่อนและหลังลอกขาวกับก่อนและหลังการตอกลงด้วย HEMA โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ลักษณะต่างๆ ที่ได้มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

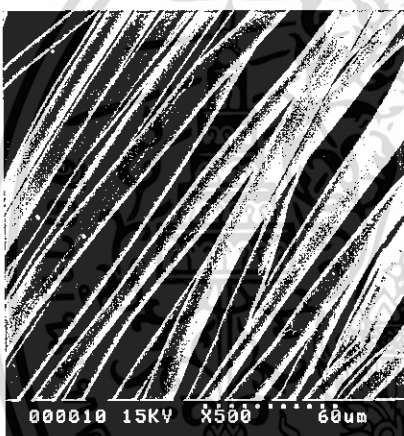
4.3.1 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว



(ก)



(ข)



(ค)



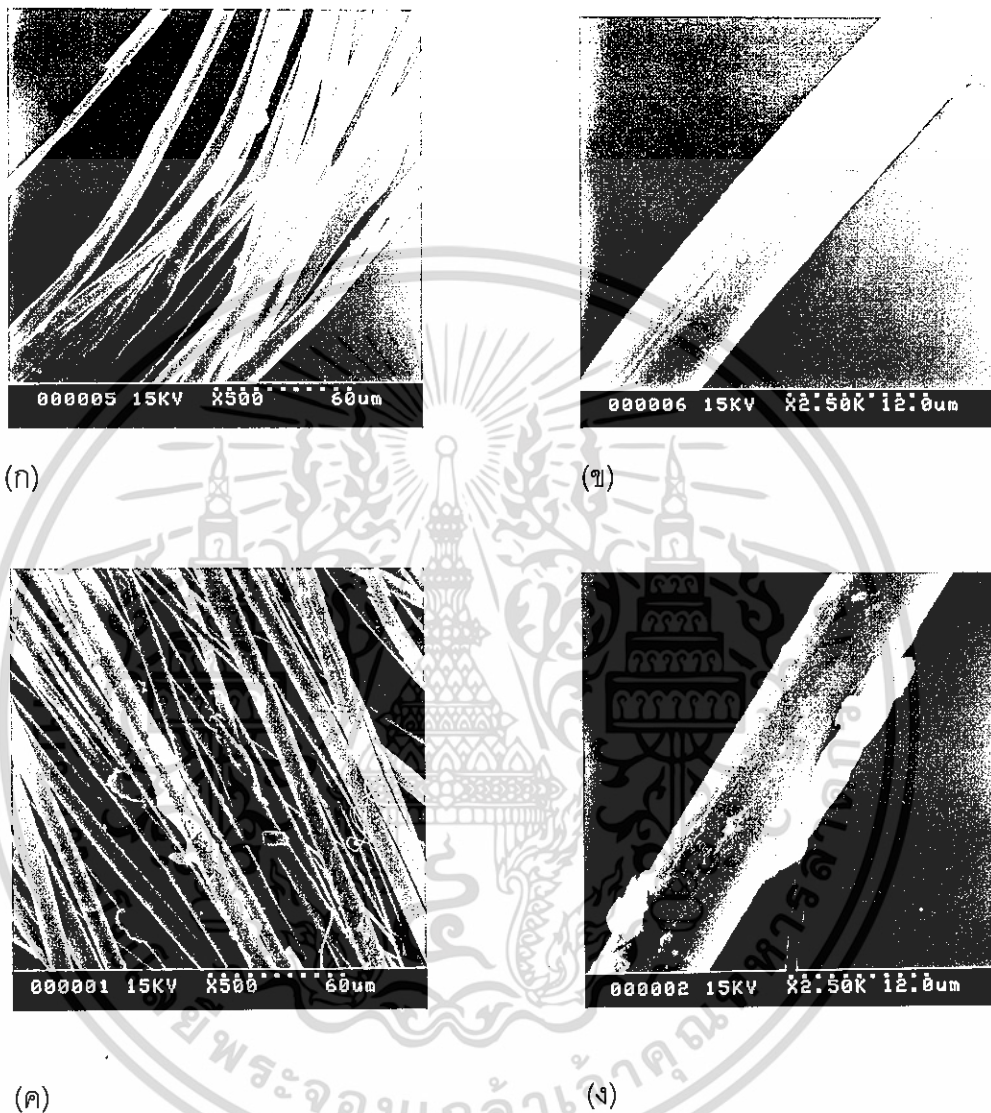
(ง)

รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของ (ก) ไหมดิบที่กำลังขยาย 500 เท่า (ข) ไหมดิบที่กำลังขยาย 2500 เท่า (ค) ไหมลอกกาวที่กำลังขยาย 500 เท่า และ (ง) ไหมลอกกาวที่กำลังขยาย 2500 เท่า

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ดังรูปที่ 4.1 พบว่าเส้นใยไหมดิบมีลักษณะถูกยึดติดรวมกันและมีพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต ลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจากกาวไหมที่ปกคลุมเส้นใยไหม ส่วนเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารละลายดังกล่าวมีลักษณะที่ราบเรียบขึ้นและเส้นใยที่ได้ไม่ถูกยึดติดรวมกันเหมือนกับเส้นใยไหมดิบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกทาวและการต่อกิ่งด้วย HEMA



รูปที่ 4.2 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1 M (ก) ที่เวลา 15 นาที กำลังขยาย 500 เท่า (ข) ที่เวลา 15 นาที กำลังขยาย 2500 เท่า (ค) ที่เวลา 45 นาที กำลังขยาย 500 เท่า และ (ง) ที่เวลา 45 นาที กำลังขยาย 2500 เท่า

เมื่อทำการลอกทาวไหมแล้วนำมาทำการต่อกิ่งด้วย HEMA ซึ่งใช้เวลาในการต่อกิ่งเป็น 15 และ 45 นาที จากการพิจารณาสัณฐานวิทยาของเส้นใยก่อนและหลังการต่อกิ่งด้วย HEMA แสดงดังรูปที่ 4.2 พบว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 15 นาที เส้นใยมีลักษณะพื้นผิวที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่อนข้างเรียบและสะอาด แต่ที่เวลา 45 นาที เส้นใยมีลักษณะที่ค่อนข้างขรุขระ เนื่องจากที่เวลา 45 นาทีที่มีปริมาณการต่อกิ่งจาก HEMA มากกว่าที่เวลา 15 นาที (ดังผลการทดลองหัวข้อ 4.4.1) ทำให้เกิดพื้นผิวขรุขระซึ่งเป็นผลมาจากการเกิดเม็ดเล็กๆ (Granule) ที่เกิดจากโพลิเมอร์ของ พอลิเมอร์ HEMA เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย

4.4 ผลของความเข้มข้นและเวลาที่มีต่อกระบวนการต่อกิ่งใหม่ด้วย HEMA

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 M และ ใช้เวลาในการต่อกิ่งได้แก่ 15, 30, 45, 60 และ 120 นาที ได้ผลการทดลองดังนี้

4.4.1 ความสามารถในการต่อกิ่ง

การปรับปรุงสมบัติเส้นใยใหม่โดยวิธีการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ และเวลาที่ใช้แตกต่างกัน พบว่าเส้นใยที่ได้ให้ความสามารถในการต่อกิ่งแตกต่างกัน โดยความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยใหม่กับมอนอเมอร์พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ (% Polymer add-on) ผลที่ได้จากการต่อกิ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ในเส้นใยใหม่ทีผ่านกระบวนการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ

เวลา (นาที) / ความเข้มข้น (M)	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ (%)				
	15	30	45	60	120
0.1	10.8 ± 1.2	13.8 ± 1.7	17.2 ± 2.3	17.9 ± 1.3	18.3 ± 1.8
0.2	24.2 ± 1.8	31.1 ± 2.1	32.4 ± 3.1	33.8 ± 1.1	34.3 ± 1.6
0.3	31.6 ± 1.3	35.7 ± 3.0	36.3 ± 2.3	44.6 ± 2.0	45.4 ± 1.5
0.4	32.5 ± 1.1	51.9 ± 2.6	51.9 ± 4.9	52.9 ± 1.9	57.1 ± 3.3

จากตารางที่ 4.3 พบว่า เส้นใยใหม่ที่ทำการต่อกิ่งด้วย HEMA เมื่อใช้ความเข้มข้นของ HEMA เพิ่มขึ้น ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ในเส้นใยใหม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อความเข้มข้นมอนอเมอร์เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์รวมแบบกึ่งกับตำแหน่งที่ว่างไว้ใน การเกิดปฏิกิริยาที่อยู่บนโครงสร้างโปรตีนซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเส้นใยใหม่ได้มากขึ้น และเมื่อเวลาในการต่อกิ่งด้วย HEMA มากขึ้น ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ในเส้นใยใหม่เพิ่มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากมีเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ในเส้นใยนั้น พบว่า ถ้าเพิ่มในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้เส้นใยมีลักษณะแข็งกระด้าง ไม่เหมาะกับการใช้งานในด้านสิ่งทอถึงแม้ว่าจะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากก็ตาม

จากการสัมผัสโดยใช้มือพบว่าเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกลงที่ความเข้มข้น 0.1 M ที่เวลา 15 นาทีที่มีความนุ่มมากที่สุด แต่เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ยังเพิ่มไม่มากนักประมาณ 10% แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ทำการตอกลงที่ความเข้มข้น 0.1 M ที่เวลา 45 นาที พบว่ามีความนุ่มใกล้เคียงกับที่เวลา 15 นาทีมากที่สุดและมีเปอร์เซ็นต์การตอกลงสูงกว่าที่เวลา 15 นาที โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ประมาณ 17 % จึงเลือกใช้เส้นใยใหม่ที่ทำการตอกลงที่ความเข้มข้น 0.1 M ที่เวลาการตอกลง 15 นาที และ 45 นาที เป็นตัวอย่างที่จะนำไปทดสอบต่อไป

4.4.2 สมบัติเชิงกลของเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกลงด้วย HEMA

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยใหม่ทั้งก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการตอกลงด้วย HEMA สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แรงที่ใช้ในการดึง (Load) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัส (Modulus) และ เทนาซิตี (Tenacity)

การศึกษาแรงที่ใช้ในการดึงเป็นการวัดแรงที่ใช้ดึงให้เส้นใยขาดออกจากกัน ส่วนค่าเทนาซิตีเป็นการวัดแรงต่อน้ำหนักมีหน่วยเป็นกรัมต่อเดเนียร์ (g/denier) โดยในทางอุตสาหกรรมค่าเทนาซิตีนิยมนำไปใช้บอกความแข็งแรงของเส้นใย เนื่องจากค่าดังกล่าวสามารถลดความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากความไม่สม่ำเสมอของเส้นใยได้ดีกว่า ส่วนความสามารถในการยืดของเส้นใยเป็นการวัดระยะทางที่เปลี่ยนแปลงในทิศทางของแรงดึงเทียบกับความยาวเริ่มต้น ซึ่งค่าที่ได้มีหน่วยเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (% Elongation) ส่วนค่ามอดุลัสแสดงถึงค่าความแข็งของเส้นใย ซึ่งเป็นการวัดความสามารถในการทนต่อแรงดึงจากภายนอก โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียด ค่าที่ได้มีหน่วยเป็น เมกะปาสคาล (MPa) ผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติของเส้นใยทั้งก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการตอกลงมีดังต่อไปนี้

4.4.2.1 แรงที่ใช้ในการดึง (Load)

ตารางที่ 4.4 แรงที่ใช้ในการดึง (load) ของเส้นใยไหมหลังทำการตอกที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ โดยไหมดิบและไหมลอกการมีค่าแรงที่ใช้ในการดึง 10.9 ± 0.7 และ 10.4 ± 0.8 MPa ตามลำดับ

เวลา (นาที) ความ เข้มข้น (M)	แรงที่ใช้ในการดึง (MPa)				
	15	30	45	60	120
0.1	9.9 ± 1.2	8.4 ± 0.3	8.3 ± 0.7	8.0 ± 0.5	7.8 ± 0.1
0.2	8.9 ± 0.1	8.6 ± 0.2	8.4 ± 0.1	7.9 ± 0.1	7.8 ± 0.1
0.3	10.1 ± 0.9	9.9 ± 0.2	9.8 ± 1.5	9.6 ± 0.5	8.2 ± 1.9
0.4	9.4 ± 0.1	8.4 ± 0.1	8.3 ± 0.3	7.8 ± 0.1	7.7 ± 0.2

จากตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการดึงระหว่างเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมลอกการ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันแตเมื่อนำเส้นใยทั้งสองมาเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านการตอกด้วย HEMA พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงต่ำกว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกการ ทั้งนี้เนื่องจากการตอกทำให้บริเวณที่เป็นอสังฐานเปิดมากขึ้น ดังนั้นจึงใช้แรงในการดึงเส้นใยต่ำลง [32] เมื่อพิจารณาในเรื่องของเวลาที่มีผลต่อค่าแรงดึงของเส้นใยไหมที่ทำการตอกด้วย HEMA พบว่าที่ความเข้มข้นเท่ากันเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแรงดึงที่ใช้มีแนวโน้มลดต่ำลง เนื่องจากมีเวลาที่ทำให้เกิดการตอกเพิ่มมากขึ้นยังทำให้บริเวณอสังฐานเปิดมากขึ้น เมื่อพิจารณาในเรื่องความเข้มข้นของ HEMA ที่มีผลต่อค่าแรงดึงของเส้นใย พบว่าเมื่อความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้นให้ค่าแรงดึงใกล้เคียงกัน [32]

4.4.2.2 เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

ตารางที่ 4.5 เปรอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของเส้นใยไหมหลังการตอ่กึ่งที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ โดยไหมดิบและไหมลอกกาวมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเป็น 17.7 ± 0.2 และ 25.2 ± 0.8 % ตามลำดับ

เวลา (นาทึ)	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%)				
	15	30	45	60	120
0.1	21.1 ± 0.8	16.7 ± 0.3	16.0 ± 0.9	14.7 ± 0.2	14.5 ± 0.2
0.2	15.5 ± 0.5	14.8 ± 0.4	13.5 ± 1.3	12.8 ± 1.4	12.7 ± 0.3
0.3	15.1 ± 1.1	13.5 ± 1.9	12.3 ± 1.5	12.1 ± 0.9	11.6 ± 0.8
0.4	14.8 ± 1.7	13.3 ± 0.9	12.1 ± 1.0	11.9 ± 1.1	10.8 ± 1.0

จากตารางที่ 4.5 พบว่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังทำการตอ่กึ่งด้วยมอนอเมอร์มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วมีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดที่สูงกว่าเส้นใยไหมดิบ เนื่องจากกาวไหมที่เคลือบเส้นใยไฟโบรอินเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของเส้นใยไฟโบรอิน เมื่อมีแรงมากระทำกับเส้นใยจะทำให้ความสามารถในการดึงยืดของเส้นใยไหมดิบลดลง [32] และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ทำการตอ่กึ่งด้วย HEMA พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วมีค่าความสามารถในการดึงยืดที่สูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการตอ่กึ่งในทุกเวลาและทุกความเข้มข้นที่ทำการทดสอบ เนื่องจากเส้นใยที่ผ่านการตอ่กึ่งอาจมีโพลิโกลิเมอร์เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใยค่อนข้างมากดังแสดงในรูปที่ 4.2 จึงเป็นตัวขัดขวางในการส่งผ่านแรงของเส้นใยทำให้เส้นใยมีความสามารถในการดึงยืดลดลง [32]

4.4.2.3 มอดุลัส (Modulus)

ตารางที่ 4.6 มอดุลัส (Modulus) ของเส้นใยไหมหลังการตอกลงที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ โดยไหมดิบ และไหมลอกการมีมอดุลัสเป็น 19.1 ± 0.5 และ 12.2 ± 0.8 GPa ตามลำดับ

เวลา (นาที) ความ เข้มข้น(M)	มอดุลัส (GPa)				
	15	30	45	60	120
0.1	13.9 ± 0.9	15.1 ± 0.9	15.7 ± 0.9	17.0 ± 0.7	17.6 ± 0.9
0.2	15.0 ± 0.8	16.1 ± 0.6	17.0 ± 1.0	17.5 ± 1.1	18.5 ± 1.0
0.3	13.0 ± 0.9	14.1 ± 1.0	15.0 ± 0.8	15.5 ± 0.9	16.5 ± 1.1
0.4	12.5 ± 0.8	13.4 ± 1.1	14.2 ± 1.1	14.8 ± 1.1	15.6 ± 0.8

จากตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบค่ามอดุลัสระหว่างเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมลอกการ พบว่าเส้นใยไหมดิบมีค่าสูงกว่าเส้นใยไหมลอกการเนื่องจากไหมที่เคลือบอยู่ทำให้เส้นใยไหมดิบมีความสามารถในการต้านแรงดึงที่สูงและมีความสามารถในการดึงยืดที่ต่ำ จึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยไหมดิบมีค่ามอดุลัสสูงกว่าเส้นใยไหมลอกการ [32] แต่เมื่อนำเส้นใยไหมที่ลอกการเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ตอกลงด้วย HEMA พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกลงมีค่ามอดุลัสสูงกว่าปัจจัยดังกล่าวเป็นผลมาจากมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกลงเพราะเมื่อทำการตอกลงด้วยมอนอเมอร์บนเส้นใย มอนอเมอร์ที่ตอกลงนั้นจะไปขัดขวางการเกิด elastic deformation ของเส้นใยจากการดึงยืด ทำให้เส้นใยที่ทำการตอกลงมีค่ามอดุลัสสูงขึ้น เมื่อพิจารณาเส้นใยที่ทำการตอกลงด้วย HEMA พบว่าที่เวลามากขึ้นค่ามอดุลัสมีค่ามากขึ้นเนื่องจากมีเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น ทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์เพิ่มมากขึ้นดังที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.6 จึงทำให้มีมอนอเมอร์ที่ขัดขวางการดึงยืดได้เพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาในเรื่องความเข้มข้น พบว่าที่ความเข้มข้นมากขึ้นทำให้ค่ามอดุลัสสูงมากขึ้นเมื่อถึงความเข้มข้นค่าหนึ่งค่ามอดุลัสมีแนวโน้มลดลง โดยที่ความเข้มข้น 0.2 M มีค่ามอดุลัสที่มากที่สุด

4.4.2.4 เทนาซิตี (Tenacity)

ตารางที่ 4.7 เทนาซิตี (Tenacity) ของเส้นใยไหมหลังการตอกลงด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ โดยไหมดิบและไหมลอกการมีค่าเทนาซิตีเป็น 4.03 ± 0.9 และ 3.92 ± 0.7 กรัมต่อเดเนียร์ ตามลำดับ

เวลา (นาท) ความ เข้มข้น (M)	เทนาซิตี (กรัมต่อเดเนียร์)				
	15	30	45	60	120
0.1	3.8 ± 0.3	3.7 ± 0.1	3.4 ± 0.1	2.9 ± 0.1	2.8 ± 0.2
0.2	3.4 ± 0.1	3.2 ± 0.1	3.0 ± 0.4	2.6 ± 0.1	2.5 ± 0.1
0.3	3.2 ± 0.3	3.1 ± 0.8	2.9 ± 0.6	2.5 ± 0.9	2.3 ± 0.4
0.4	3.1 ± 0.5	3.0 ± 0.1	2.8 ± 0.1	2.3 ± 0.4	2.1 ± 0.6

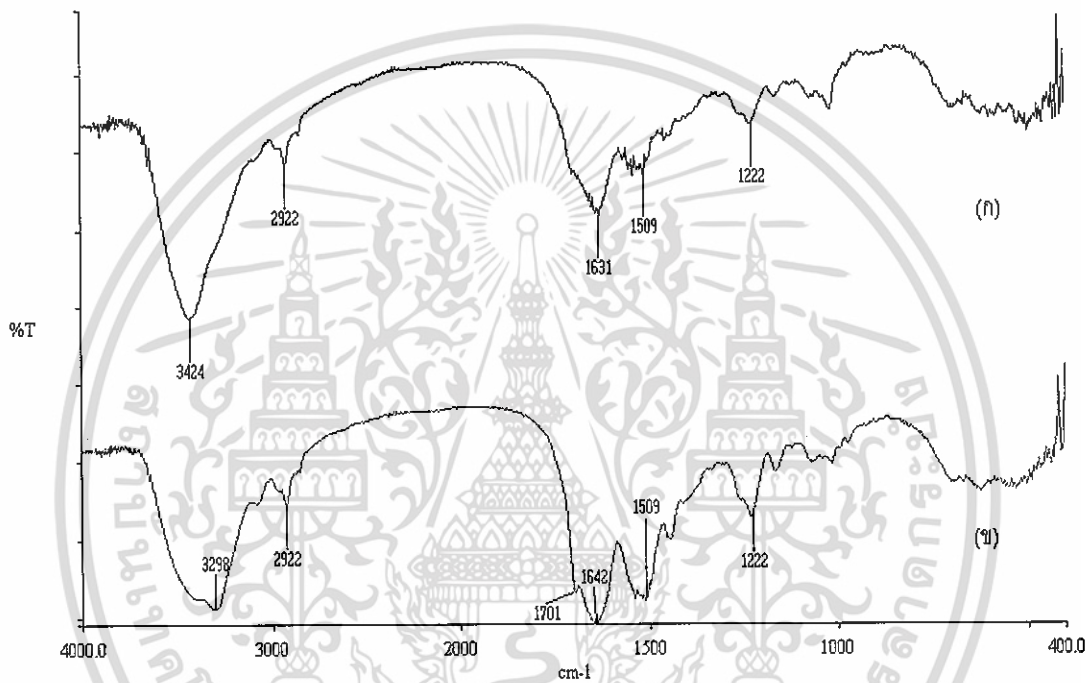
จากตารางที่ 4.7 พบว่า เส้นใยไหมที่ทำการตอกลงมีค่าเทนาซิตีที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมลอกการ เนื่องจากเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงมีน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อใช้แรงเท่าเดิม จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้ค่าเทนาซิตีลดลงในไหมที่ทำการตอกลงด้วย HEMA และพบว่าเมื่อเวลาเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าเทนาซิตีลดลง เนื่องจากเมื่อมีเวลาเพิ่มขึ้นทำให้การตอกลงมีปริมาณมากขึ้น ทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้มาก [32] และเมื่อใช้ HEMA ที่ความเข้มข้นมากขึ้นจะทำให้ค่าเทนาซิตีมีค่าลดลง เนื่องจากมีปริมาณมอนอเมอร์มากขึ้นทำให้ปริมาณการตอกลงที่เพิ่มมากขึ้นทำให้มีน้ำหนักเพิ่มขึ้นได้มากขึ้นเช่นกัน [32]

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย HEMA มีสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกการ พบว่า เส้นใยไหมที่ผ่านการตอกลงมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงต่ำกว่าเส้นใยไหมดิบและไหมลอกการ ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าน้อยกว่าไหมลอกการ ส่วนค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับไหมลอกการและมีค่าน้อยกว่าไหมดิบ ในเรื่องของค่าเทนาซิตีของไหมที่ผ่านการตอกลง พบว่ามีค่าต่ำกว่าทั้งของไหมลอกการและไหมดิบ

4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีการทางเคมี

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นใยไหมพันธุ์บอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) ทั้งก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการตอกกิ่งด้วย HEMA โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform spectroscopy, FTIR)

4.5.1 เส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกา



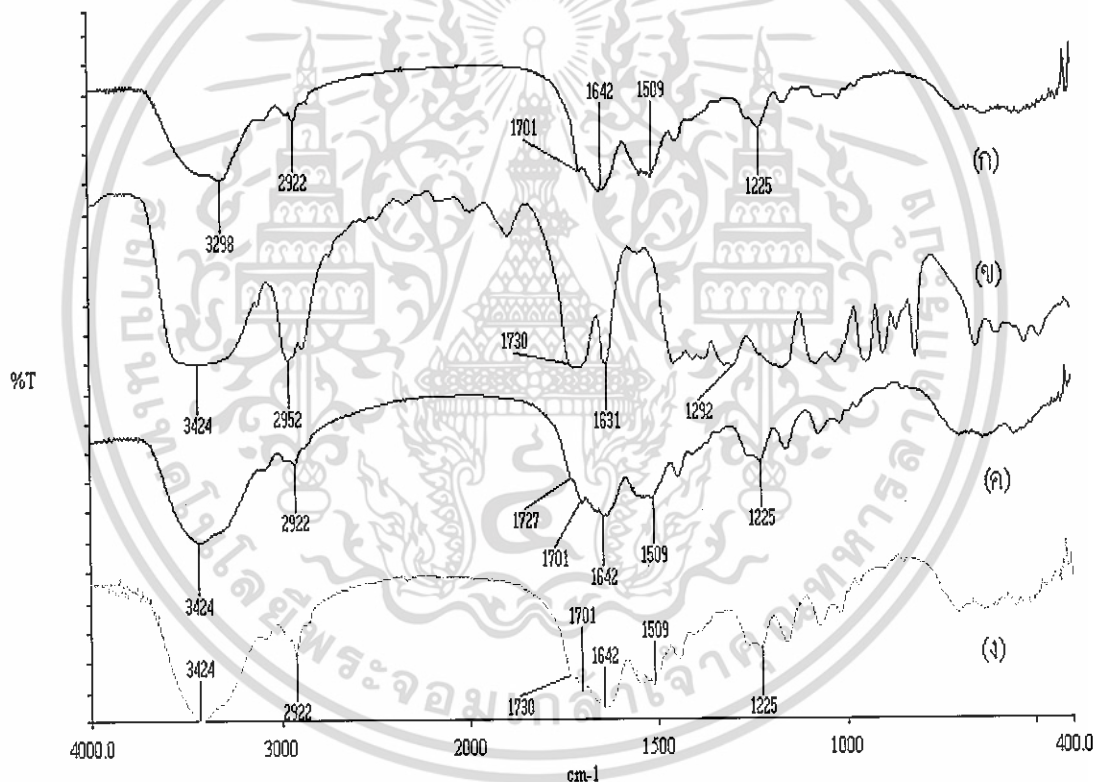
รูปที่ 4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมดิบ และ (ข) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา

จากรูปที่ 4.3 เป็นการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมระหว่างเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยทั้งสองมีตำแหน่งที่แตกต่างกันเล็กน้อย ได้แก่ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3424 และ 3298 cm^{-1} เป็นของ N-H stretching ของเส้นใยไหมทั้งสอง เส้นใยไหมดิบมีเลขคลื่นสูงกว่าของเส้นใยไหมลอกกาเล็กน้อย เนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีกากไหมเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นจึงทำให้มีหมู่เอไมด์อิสระมากกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา นอกจากนี้กากไหมยังประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงเป็นหมูกรด จึงทำให้ฟีกของเส้นใยไหมดิบในช่วงเลขคลื่นประมาณ 3424 cm^{-1} มีลักษณะของฟีกแคบกว่าฟีกของเส้นใยไหมลอกกาในช่วงเลขคลื่นนี้ [33]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนตำแหน่งเลขคลื่น 1509 และ 1630-1642 cm^{-1} เป็น C=O stretching กับ N-H bending โดยมีลักษณะของแถบสเปกตรัมที่ซ้อนทับกันระหว่างหมู่เอไมด์ปฐมภูมิ (Primary amide) และ เอไมด์ทุติยภูมิ (Secondary amide) จากงานวิจัยของ M. Tsukada [24] กล่าวว่าตำแหน่งเหล่านี้เป็นตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันสำคัญของโครงสร้างไฟโบรอิน โดยที่หมู่เอไมด์ปฐมภูมิพบได้ตรงบริเวณที่เชื่อมต่อกันของกรดอะมิโนแต่ละตัว และหมู่เอไมด์ทุติยภูมิพบได้ที่โครงสร้างแบบแผ่นพับเบต้า ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยไหม ส่วนตำแหน่งเลขคลื่น 2922 cm^{-1} ของเส้นใยไหมทั้งสองเป็นของ C-H stretching

4.5.2 เส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่งด้วย HEMA



รูปที่ 4.4 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว (ข) HEMA (ค) เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA เป็นเวลา 15 นาที และ (ง) เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA เป็นเวลา 45 นาที

จากรูปที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมระหว่างเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาวกับเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1 M เป็นเวลา 15 นาทีและเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

45 นาที พบว่า เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA แสดงตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ $1720-1735\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งเป็นพีคของ C=O stretching เนื่องจากโครงสร้างของเอสเทอร์ใน HEMA [24]

ส่วนตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ 3298 cm^{-1} ซึ่งเดิมเป็นตำแหน่ง N-H stretching ของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยโดยวิธีการต่อกิ่งด้วย HEMA เลขคลื่นดังกล่าวเลื่อนไปยังตำแหน่งที่สูงขึ้นอยู่ในช่วง $3424-3426\text{ cm}^{-1}$ และพบว่าตำแหน่งเลขคลื่นอื่นๆ ที่ได้คล้ายกัน



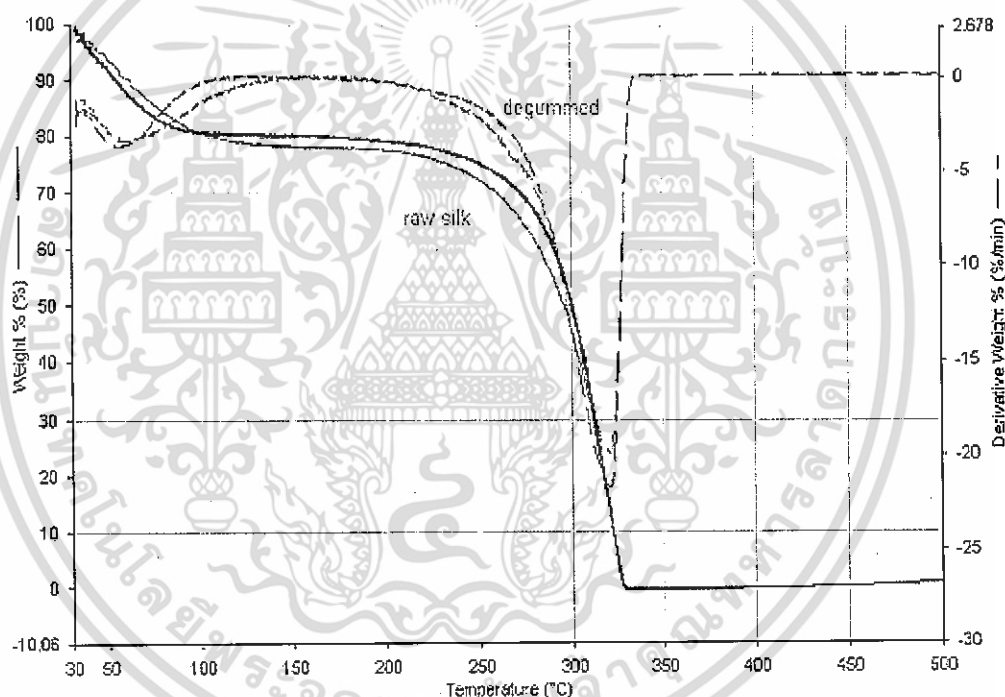
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 สมบัติทางความร้อนของเส้นใย

สมบัติทางความร้อนมีความสำคัญต่อการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอของเส้นใยไหม ในทางวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์นิยมศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนโดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermal Gravimetric, TGA) เพื่อบอกถึงอุณหภูมิของการสลายตัวของวัสดุที่ทำการทดสอบ ซึ่งในงานวิจัยมีรายละเอียดดังนี้

4.6.1 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาบ

เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบโดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก



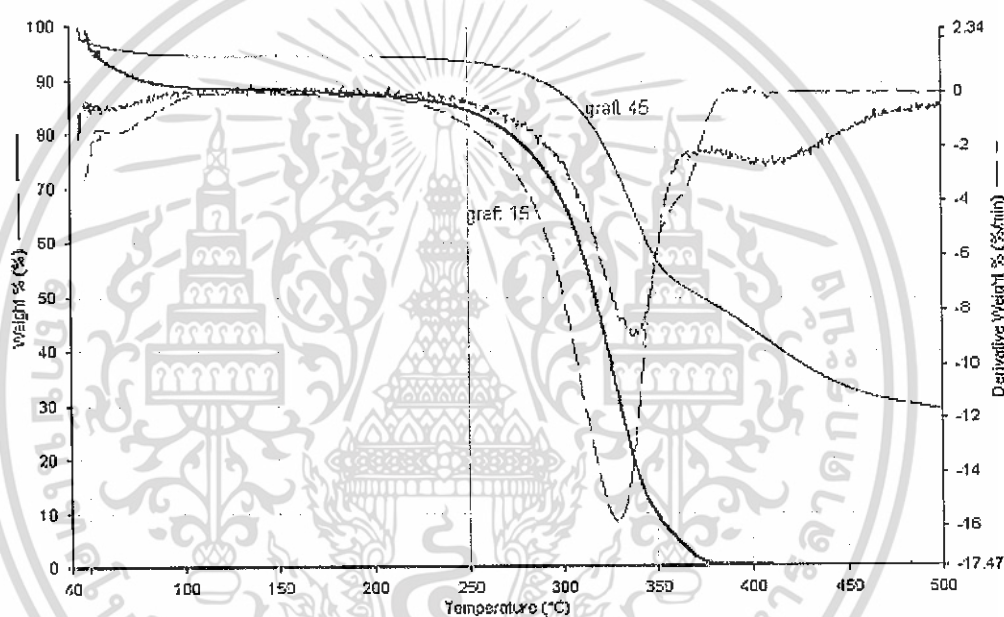
รูปที่ 4.5 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมหลังจากลอกกาบ

จากรูปที่ 4.5 พบว่าทั้งเส้นใยไหมดิบและไหมลอกกาบมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นใย 2 ช่วง พบว่าในช่วงแรกทั้งเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาบมีการเปลี่ยนแปลงความร้อนในช่วงอุณหภูมิประมาณ 60-100 °C และในช่วงที่ 2 ไหมดิบแสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในช่วงอุณหภูมิประมาณ 215-330 °C ส่วนเส้นใยไหมลอกกาบมีการเปลี่ยนแปลงความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อนในช่วงอุณหภูมิ 220-330 °C โดยการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกเกิดจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ในเส้นใยไหมทั้งสองชนิด เนื่องมาจากการที่เส้นใยไหมมีสมบัติที่ชอบน้ำ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงความร้อนในช่วงที่สองพบว่าเกิดจากการสลายตัวของไฟโบรอิน โดยที่อุณหภูมิที่เกิดการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบจะอยู่ที่ 315 °C และเส้นใยไหมลอกกาวอยู่ที่ 320 °C

4.6.2 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ผ่านการตอกด้วย HEMA ที่เวลาต่างกัน



รูปที่ 4.6 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมที่ทำการตอกด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.1 M ที่เวลา 15 และ 45 นาที

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นไหมลอกกาว เปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ทำการตอกด้วย HEMA ที่เวลา 15 และ 45 นาที จากรูปที่ 4.5 พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวจะมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน 2 ช่วง และจากรูปที่ 4.6 เส้นใยไหมที่ผ่านการตอกจะแสดงการเปลี่ยนแปลงทางความร้อน 3 ช่วง ในช่วงแรกเส้นใยทั้งลอกกาว เส้นใยที่ทำการตอกที่ 15 และ 45 นาทีมีการเปลี่ยนแปลงความร้อนในช่วงอุณหภูมิประมาณ 60-100 °C ซึ่งเป็นการสลายตัวของน้ำ ในช่วงที่ 2 พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในช่วง 220-330 °C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และมีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 320 °C เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 15 นาทีมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในช่วงที่สองอยู่ที่ 240-340 °C และมีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 330 °C ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 45 นาที มีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในช่วงที่สองอยู่ที่ 250-370 °C และมีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 340 °C ซึ่งในช่วงที่สองนี้เป็นการสลายตัวของไฟโบรอิน และในช่วงที่ 3 เส้นใยไหมต่อที่กึ่งด้วย HEMA ที่เวลา 15 นาที มีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอยู่ในช่วง 340-390 °C และมีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 370 °C ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 45 นาที มีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนอยู่ในช่วง 380-430 °C และมีอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ที่ 410 °C ซึ่งเป็นการสลายตัวของ PHEMA

จากข้อมูลที่ผ่านมาสามารถสรุปอุณหภูมิการสลายตัวในช่วงต่างๆ ของเส้นใยก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการต่อกิ่งได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.8 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ได้จากเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก

ชนิดตัวอย่าง	อุณหภูมิการสลายตัว (°C)	
	ไฟโบรอิน	PHEMA
ไหมดิบ	315	-
ไหมลอกกาว	320	-
ไหมต่อกิ่งกับ HEMA 0.1 M. ที่เวลา 15 นาที	330	370
ไหมต่อกิ่งกับ HEMA 0.1 M. ที่เวลา 45 นาที	340	410

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าเส้นใยไหมดิบแสดงอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนที่ต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากอุณหภูมิการสลายตัวของกาวไหมจะมีช่วงอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าโครงสร้างไฟโบรอิน ทำให้กาวไหมสลายตัวก่อนแล้วจึงเกิดการสลายตัวของโครงสร้างไฟโบรอิน [33]

สำหรับเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย HEMA มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าไหมลอกกาวซึ่งพิจารณาได้จากอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงขึ้นของเส้นใย อาจเป็นผลมาจากมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการต่อกิ่งมีหมู่ข้างเคียงเป็นพวกหมู่คาร์บอนิล หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้อาจจะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่ที่เกิดการต่อกิ่งด้วยกัน หรืออาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ที่นำมาต่อกิ่งกับโครงสร้างไฟโบรอิน ส่งผลทำให้เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย HEMA มีอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสลายตัวทางความร้อนที่สูงขึ้น [33] และเมื่อพิจารณาในเรื่องของเวลาที่ทำการตอกึ่ง พบว่าที่เวลาในการตอกึ่งมากขึ้นจะทำให้มีอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงขึ้นอาจเกิดเนื่องจาก ที่เวลามากจะมีเปอร์เซ็นต์การตอกึ่งมีมาก ทำให้มีหมู่ฟังก์ชันที่เกิดอันตรปฏิกิริยาได้มากขึ้น จึงมีอุณหภูมิการสลายตัวของโครงสร้างไฟโบรอินสูงขึ้นด้วย

4.7 กระบวนการย้อมสี

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการย้อมสีเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอกึ่งด้วย HEMA ส่วนสีย้อมที่นำมาศึกษา คือ สีย้อมธรรมชาติโดยใช้สารให้สีจากขมิ้น จากงานวิจัยของ นายวัฒนา คล้ายรัศมี [7] ได้ทำการศึกษา การสกัดขมิ้นด้วยสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล เปรียบเทียบกับการใช้น้ำเป็นตัวสกัด พบว่าการสกัดโดยใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลช่วยให้ปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีบนเส้นใยไหมเมื่อย้อมแล้วมากกว่าการย้อมสีแบบที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด และเมื่อใช้มอร์แดนท์ในการช่วยย้อมทำให้ความสามารถในการย้อมติดสีดีกว่าแบบที่ไม่ใช้มอร์แดนท์

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้สารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลอัตราส่วน 75:25 เป็นตัวสกัด และใช้มอร์แดนท์เป็นสารช่วยในการย้อมติด

4.7.1 ความสามารถในการย้อมสี

เกณฑ์ที่นำมาใช้วัดความสามารถในการย้อมติดสีเส้นใยไหมในงานวิจัยนี้ คือ การวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสีบนเส้นใยไหม (% Dye uptake)

เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสีบนเส้นใยหลังทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ

การศึกษาในส่วนนี้จะศึกษาหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสีบนเส้นใยหลังทำการย้อมด้วยขมิ้น

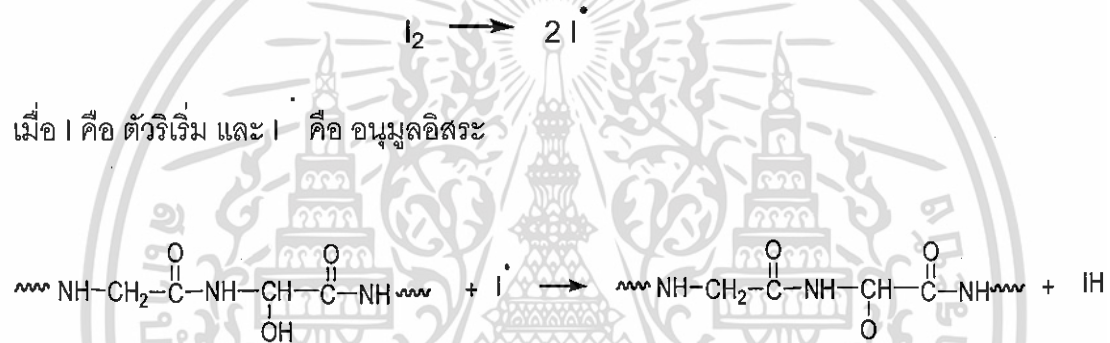
ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้น

ชนิดของเส้นใย	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสีที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย
เส้นใยไหมลอกกาบ	1.7 ± 0.1
เส้นใยไหมตอกึ่งด้วย HEMA 0.1 M. ที่เวลา 15 นาที	2.8 ± 0.2
เส้นใยไหมตอกึ่งด้วย HEMA 0.1 M. ที่เวลา 45 นาที	3.2 ± 0.1

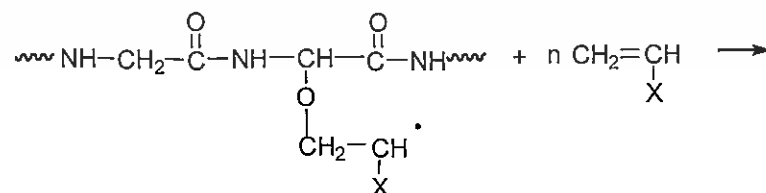
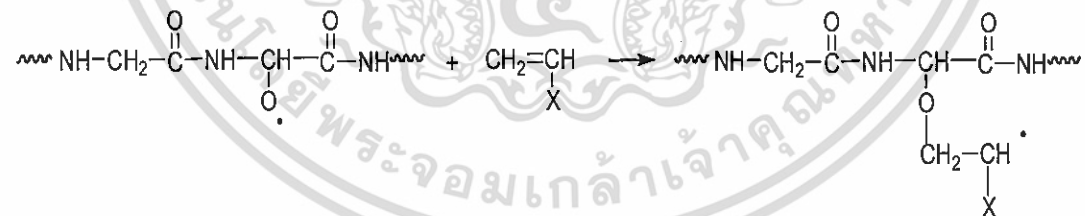
การย้อมสีเส้นใยที่ทำการตอกลงด้วยมอโนเมอร์ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ทำการตอกลง ปัจจัยดังกล่าวคาดว่าเกิดจากมอโนเมอร์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการตอกลงช่วยให้สีย้อมกับเส้นใยเกิดอันตรกิริยาได้มากขึ้น

ในการตอกลงเส้นใยด้วยมอโนเมอร์นั้น เส้นใยใหม่จะมีตำแหน่งที่ว่างไว้ในกาเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล หมู่เอไมด์และหมู่คาร์บอนิล โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกลงระหว่าง HEMA และโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยใหม่ ปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นมีลักษณะดังต่อไปนี้ [7]

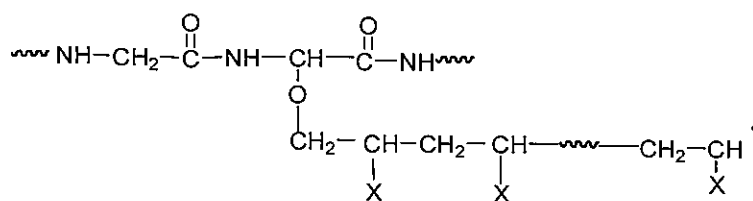
การริเริ่มปฏิกิริยา



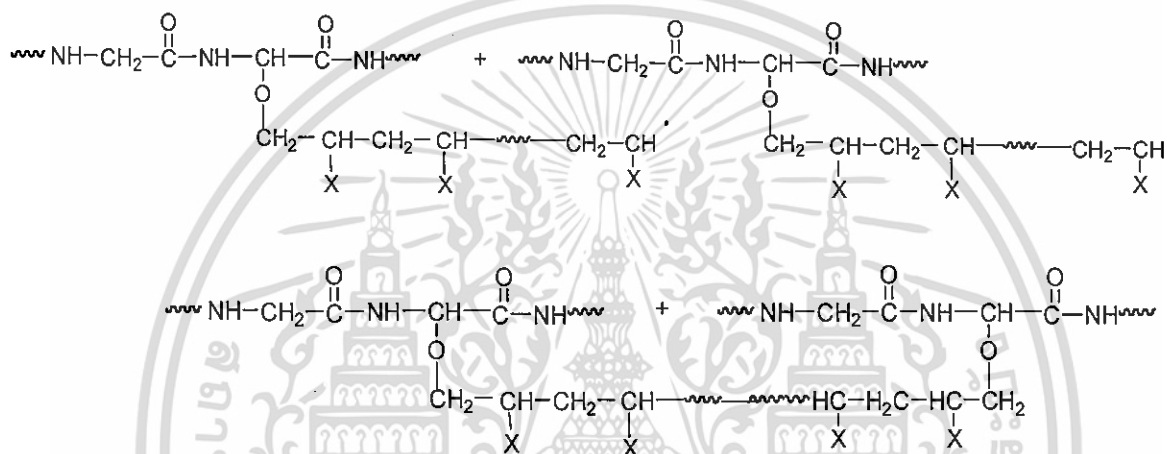
ปฏิกิริยาการขยายตัว



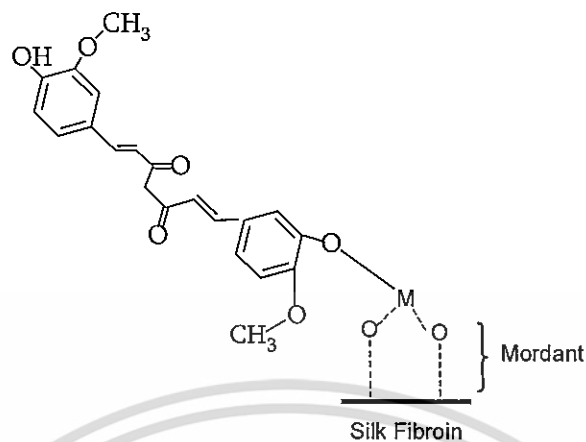
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ปฏิกิริยาการสิ้นสุด



นอกจากนี้การใช้มอนอเมอร์ในระบบการตอกยังทำให้โครงสร้างของเส้นใยตรงบริเวณอสังฐานมีลักษณะที่เป็ดมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยที่ทำการตอกดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ทำการตอก และการที่ใช้เมอร์แดนท์เป็นสารช่วยยึดติดนั้นนอกจากจะทำให้โครงสร้างของเส้นใยมีลักษณะที่เป็ดมากขึ้นแล้ว ยังทำให้โครงสร้างของเส้นใยสามารถเกิดอันตรกิริยากับโครงสร้างของสีย้อมได้มากขึ้น โดยจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสีย้อมกับมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกและเมอร์แดนท์ที่ใช้เป็นสารยึดติด จากลักษณะดังกล่าวจึงทำให้เส้นใยที่ทำการตอกและใช้เมอร์แดนท์มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น



รูปที่ 4.7 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับสีและเส้นใยไหมลอกขาว [7]

4.8 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี

ในทางอุตสาหกรรมนิยมบอกความแตกต่างของสีทางสิ่งทอที่ใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการบอกความแตกต่างของสีเป็นไปตามมาตรฐาน CIELAB ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเทคนิคนี้มาใช้ในการบอกความแตกต่างของสีที่ได้จากการย้อมเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอกลงโดยสีย้อมธรรมชาติ

4.8.1 เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ

งานวิจัยนี้ยังได้เลือกศึกษาความเป็นไปได้ในการย้อมสีธรรมชาติด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่สกัดด้วยน้ำและเอทานอล โดยมีการใช้มอร์แดนท์ ได้ผลการทดลองดังนี้

ตารางที่ 4.10 การวัดสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอ กิ่งที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัดและใช้มอร์แดนท์เป็นสารช่วยยึดติด

ชนิดของเส้นใย	L*	a*	b*	C*	h*
เส้นใยไหมลอกขาว	72.4	-0.2	55.4	55.4	89.8
เส้นใยไหมตอ กิ่งด้วย HEMA 0.1 M. ที่เวลา 15 นาที	71.2	-2.6	56.7	56.8	87.4
เส้นใยไหมตอ กิ่งด้วย HEMA 0.1 M. ที่เวลา 45 นาที	70.1	-1.2	58.9	58.9	88.8

จากตารางที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบเส้นใยไหมที่ย้อมสีด้วยขมิ้นทั้งก่อนและหลังการตอ กิ่งโดยใช้ค่า L* (Light ness) a* (Red-Green) b* (Yellow-Blue) C* (Chroma) และ h* (Hue angle) พบว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยขมิ้นทั้งสามชนิด มีค่าความสว่างใกล้เคียงกัน มีลักษณะเป็นสีเหลืองปนเขียว โดยเส้นใยไหมที่ตอ กิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 45 นาที มีความเป็นสีเหลืองมากที่สุด และมีความสดใสมากที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากเส้นใยไหมที่ตอ กิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 45 นาที มีปริมาณของพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดทำให้มีหมู่ฟังก์ชันมาก จึงสามารถเกิดปฏิกิริยากับขมิ้นได้มากที่สุด

4.9 การทดสอบความคงทนของสี (Color fastness)

นอกจากหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีแล้ว การทดสอบความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ ก็เป็นสิ่งที่สำคัญ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการทดสอบ ความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ ได้แก่ ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อเหงื่อ

4.9.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก)

ตารางที่ 4.11 ค่าความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยขมิ้น

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม
เส้นใยไหมลอกกาว	1
เส้นใยไหมตอกลงด้วย HEMA 0.1 M. ที่เวลา 15 นาที	1
เส้นใยไหมตอกลงด้วย HEMA 0.1 M. ที่เวลา 45 นาที	1

ตารางที่ 4.11 เป็นการประเมินการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงเปรียบเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานของเส้นใยไหมก่อนและหลังทำการตอกลงที่ทำการย้อมด้วยการให้สีจากขมิ้นโดยใช้เอทานอลและน้ำเป็นตัวสกัด โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อเอทานอล 75:25 โดยมีการใช้มอร์แดนท์พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยขมิ้นทั้งสามชนิดมีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับเดียวกันคือ มีค่าความคงทนของสีต่อแสงต่ำ เนื่องจากโดยปกติแล้วการใช้สีย้อมที่เป็นสารให้สีจากธรรมชาติให้ค่าความคงทนของสีต่อแสงที่ต่ำ [34]

4.9.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ความคงทนของสีต่อการซักเป็นการคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลง 2 ประเภท ได้แก่ การประเมินการเปื้อนของสีบนผ้ามาตรฐานที่นำมาใช้ในการประกบชิ้นงานตัวอย่าง กับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่าง โดยเป็นการเปรียบเทียบสีที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างก่อนและหลังการทดสอบ ซึ่งผลที่ได้จะถูกประเมินออกมาเป็นตัวเลข โดยในงานวิจัยนี้เป็นการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักที่ใช้สีย้อมจากขมิ้น ซึ่งใช้อัตราส่วนน้ำต่อเอทานอล 75:25 เป็นตัวสกัดและมีการใช้มอร์แดนท์

ตารางที่ 4.12 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยขมิ้น

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสีย้อม
เส้นใยไหมลอกกาว	3
เส้นใยไหมตอกลงด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 15 นาที	3-4
เส้นใยไหมตอกลงด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 45 นาที	3-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.12 พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย HEMA และทำการย้อมสีจะให้ค่าความคงทนต่อการซักสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อยซึ่งอาจเกิดเนื่องจากเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วยมอนอเมอร์ตัวมอนอเมอร์นั้นจะทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวต่อปฏิกิริยาได้มากขึ้น ทำให้มีโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยาได้ดีกว่าในกรณีที่ไม่มีมอนอเมอร์ และการใช้เมอร์แดนท์ยังเพิ่มโอกาสในการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมกับเส้นใยได้อีกด้วยเนื่องจากตัวเมอร์แดนท์เองสามารถทำให้เกิดโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเส้นใยไหมกับสีที่นำมาใช้ในการย้อม ทำให้เส้นใยที่ผ่านกระบวนการเหล่านี้มีความคงทนต่อการซักได้มากขึ้น เมื่อพิจารณาในเรื่องของเวลาของเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงที่เวลา 15 และ 45 นาที พบว่า ระดับความคงทนของสีย้อมของเส้นใยตอกลงทั้งสองชนิดมีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 4.13 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากการซักด้วยขมิ้น

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสี	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาว	4	3-4
เส้นใยไหมตอกลงด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 15 นาที	4	3-4
เส้นใยไหมตอกลงด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 45 นาที	4	4

จากตาราง 4.13 เป็นการพิจารณาระดับความคงทนของสีที่ได้จากการวิเคราะห์การเปื้อนสีบนผ้ามาตรฐาน โดยใช้เส้นใยไหมที่ทำการตอกลงที่ย้อมด้วยสีย้อมจากขมิ้นโดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อเอทานอล 75:25 เป็นตัวสกัด พบว่าค่าการเปื้อนของสีบนผ้าไหมและผ้าฝ้ายมาตรฐานอยู่ในระดับเดียวกัน จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกลงจะให้ค่าความคงทนต่อการซักและการเปื้อนอยู่ในเกณฑ์ดี และจากข้อมูลที่ได้ พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย HEMA ที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติให้ความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

4.9.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ

เนื่องจากเหงื่อมนุษย์เรามีทั้งที่เป็นกรดและเป็นด่าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะกรดและด่าง โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.14 ค่าความคงทนของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยขมิ้นต่อเหงื่อในสภาวะกรด

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสีขมิ้น
เส้นใยไหมลอกกาว	4 - 5
เส้นใยไหมตอกิ่งด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 15 นาที	4 - 5
เส้นใยไหมตอกิ่งด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 45 นาที	4 - 5

ตารางที่ 4.15 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยขมิ้นในสภาวะที่เป็นกรด

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสี	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาว	3	3 - 4
เส้นใยไหมตอกิ่งด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 15 นาที	3	3 - 4
เส้นใยไหมตอกิ่งด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 45 นาที	4	4

ตารางที่ 4.16 ค่าความคงทนของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยขมิ้นต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นเบส

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสีขมิ้น
เส้นใยไหมลอกกาว	4 - 5
เส้นใยไหมตอกิ่งด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 15 นาที	4 - 5
เส้นใยไหมตอกิ่งด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 45 นาที	4 - 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.17 ค่าการเบี่ยงเบนค่าของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยขมิ้นในสภาวะที่เป็นเบส

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสี	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาว	3	3 - 4
เส้นใยไหมต่อกิ่งด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 15 นาที	3	3 - 4
เส้นใยไหมต่อกิ่งด้วย HEMA 0.1 M ที่เวลา 45 นาที	3 - 4	4

จากตารางที่ 4.14 - 4.17 พบว่าค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อของเส้นใยทั้งหมดที่ทำการทดสอบมีค่าใกล้เคียงกัน โดยที่ปกติแล้วเส้นใยไหมลอกกาวมีสมบัติที่ทนต่อเหงื่อทั้งในสภาวะกรดและเบสอยู่ในเกณฑ์ที่ดีอยู่แล้ว ดังนั้นการต่อกิ่งไม่ได้ช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อการซักมากนัก ดังนั้นการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วย HEMA จะช่วยเพิ่มความคงทนต่อการซักให้ดีขึ้น แต่ไม่ช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อแสงและเหงื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ลักษณะภายนอกและสัณฐานวิทยา

เส้นใยไหมดิบมีลักษณะแข็งกระด้าง หยาบ มีความมันเงาน้อยกว่าไหมลอกกาว และมีสีเหลืองเข้ม เส้นใยไหมลอกกาวมีความนุ่ม มันเงา มีสีเหลืองอ่อน ส่วนเส้นใยไหมตอกิ่งมีสีขาว มีความมันเงาและความนุ่มใกล้เคียงกับไหมลอกกาว

เส้นใยไหมดิบมีลักษณะถูกยึดติดรวมกันด้วยกาวไหมและมีพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งด้วย HEMA จะมีผิวที่ขรุขระเนื่องจากมีโพลิเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดนี้เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย โดยที่เส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 15 นาที มีพื้นผิวที่สม่ำเสมอมากกว่า เส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 45 นาที เนื่องจากเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่เวลา 15 นาที มีเปอร์เซ็นต์การตอกิ่งที่น้อยกว่าที่เวลา 45 นาที

5.1.2 ความสามารถในการตอกิ่งและสมบัติเชิงกล

เมื่อใช้ความเข้มข้นหรือเวลาในการตอกิ่งด้วย HEMA มากขึ้น ทำให้เพิ่มความสามารถในการตอกิ่ง แต่ถ้าเพิ่มความเข้มข้นในปริมาณที่มากเกินไปส่งผลให้เส้นใยมีลักษณะแข็งกระด้าง ไม่เหมาะกับการใช้งาน ส่วนสมบัติเชิงกลเส้นใยไหมที่ผ่านการตอกิ่งมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงต่ำกว่าเส้นใยไหมดิบและไหมลอกกาว ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดมีค่าน้อยกว่าไหมลอกกาว ส่วนค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับไหมลอกกาว และมีค่าน้อยกว่าไหมดิบ ในเรื่องของค่าเทนาคีตี้ของไหมที่ผ่านการตอกิ่ง พบว่ามีค่าต่ำกว่าทั้งของไหมลอกกาวและไหมดิบ

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีการทางเคมี

เส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวให้สเปกตรามีลักษณะต่างกันเล็กน้อยที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3424 และ 3298 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ N-H stretching ของเส้นใยไหมทั้งสอง เส้นใยไหมดิบมีเลขคลื่นสูงกว่าของเส้นใยไหมลอกกาว ในขณะที่เส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ให้พีคของตำแหน่งเลขคลื่นประมาณ $1720-1730\text{ cm}^{-1}$ เด่นชัดขึ้น ซึ่งเป็นพีคของ C=O stretching ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสเทอร์ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1 M เป็นเวลา 15 นาทีกับ 45 นาที ให้ตำแหน่งเลขคลื่นคล้ายกัน

5.1.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม

เส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย HEMA มีอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนเพิ่มสูงขึ้นจากเส้นใยไหมลอกขาว โดยที่เส้นใยไหมที่ตอกลงที่เวลา 45 นาที แสดงอุณหภูมิในการสลายตัวมากกว่าเส้นใยไหมที่ตอกลงที่เวลา 15 นาที

5.1.5 กระบวนการย้อมสี

เส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย HEMA มีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยไหมลอกขาวเมื่อทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ โดยเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย HEMA ที่เวลา 45 นาที มีน้ำหนักของสีบนเส้นใยมากกว่าที่เวลา 15 นาที

การวัดการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยทั้งก่อนและหลังการตอกลงพบว่าเส้นใยที่ตอกลงเมื่อนำมาทำการย้อมสี ให้ค่า L^* a^* b^* C^* และ h^* แตกต่างกับเส้นใยไหมลอกขาวไม่มากนัก แสดงให้เห็นว่ามอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการตอกลงมีผลต่อเฉดสีที่ใช้ย้อมเพียงเล็กน้อย

ส่วนการทดสอบความคงทนของสี พบว่าการตอกลงด้วย HEMA ไม่มีผลต่อการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อเหงื่อ แต่ช่วยเพิ่มความคงทนต่อการซักได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหมโดยใช้มอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น MAA, MMA, MMA/MAA เป็นต้น

5.2.2 ศึกษาการนำสารให้สีจากธรรมชาติชนิดอื่นมาใช้ในกระบวนการย้อมสี เช่น ใบเตย มะเกลือ ดอกดาวเรือง เป็นต้น

5.2.3 ศึกษาความสามารถในการดูดซับความชื้น (Moisture Regain) ของไหมที่ผ่านการตอกลงด้วย HEMA

เอกสารอ้างอิง

- [1] อภิชาติ สนธิสมบัติ, "กระบวนการเคมีสิ่งทอ", พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ 2543.
- [2] พินัย ห่องทองแดง, "การย้อมสีเส้นไหมด้วยสีธรรมชาติ", *Colourway*, 56 (2005) 25-38.
- [3] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, "วิทยาศาสตร์เส้นใย", พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543.
- [4] <http://www.thairath.co.th/thairath1/2547/farming/oct/26/farm1.php>
- [5] P. Munk, "Introduction to Macromolecular Science", *John Wiley & Sons*, Singapore, 1990.
- [6] มินากาวะ โมโตอิ, "วิทยาการไหม", แปลโดยเข็มชัย เหมะจันทร์ และ เอื้ออิชิ คาวาอิ คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมการค้าส่งออก กรุงเทพฯ 2530.
- [7] วัฒนา คล้ายรัศมี, "การปรับปรุงสมบัติต่าง ๆ ของเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อกิ่งกับโพลีเอทิลีนออกไซด์และน้ำ", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547.
- [8] M. Feughelman, "Natural Protein Fibers", *Journal of Applied Polymer science*, 83 (2002) 489-507.
- [9] M. Tsukada, "Structural Characteristic of 2-Hydroxy Ethyl Methacrylated (HEMA) /Metahcrylamide (MAA) Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, 35 (1988) 2133-2140.
- [10] จุฑารัตน์ ปรีชาวารากร และ ลลิตา บุญโสม, "สมบัติทางกายภาพของเส้นไหมหลังลอกทอ", *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง* 2 (2545) 1-9.
- [11] T. Arai, H. Inshikawa, G. Freddi, S. Winkler and M. Tsukada, "Chemical Modification of Bombyx mori Silks using Isocyanate", *Journal of Applied Polymer Science*, 79 (2001) 1766-1763.
- [12] มาลินี ชัยศุภกิจสินธุ์, "เคมีพอลิเมอร์", พิมพ์ครั้งที่ 3 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 2540.
- [13] J.M.G. Cowie, "Polymer Chemistry & Physics of Modern Materials", 2nd ed., *Chapman & Hall*, London (1997).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์, "เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน", พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภูเก็ต โอลิมปัส กรุงเทพมหานคร 2527.
- [15] T.K. Maji and A.N. Banerjee, "Graft Copolymerization of Methyl Methacrylate on Silk Fiber Using Mohr's salt-Potassium Persulfate as Redox Initiator Under Visible Light in a limited Aqueous Medium", *Journal of Applied Polymer Science*, 62 (1996) 595-603.
- [16] <http://msds.pcd.go.th/searchName.asp?VID=297>
- [17] ลิลี่ โกศยานนท์, "คู่มือวิชาการสิ่งทอ", พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัททีทีไอเอส กรุงเทพฯ 2541.
- [18] อัจฉลพร ไสละสุตม, "คู่มือการย้อมสี", พิมพ์ครั้งที่ 1 อักษรบัณฑิต. กรุงเทพฯ 2517.
- [19] เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอภาส, "สารเคมีให้สีของพืช", วารสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม 12 (2536) 26-33.
- [20] J. Buckingham, F. M. Macdonald, "Dictionary of Natural Products", 2nd ed., *Chapman & Hall*, London (1994).
- [21] ลลิตา บุญโคม, "สมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหมที่ทำการตอกกับ ไวนิลมอนอเมอร์", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546.
- [22] ASTM D 276-87; Standard Test Method for Identification of Fibers in Textiles, (1999).
- [23] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา, "เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและการนำไปใช้", พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543.
- [24] M. Tsukada, "Studies on Some Physical Properties and Structural Characteristics of 2-Hydroxyethyl methacrylate – Grafted Silk Fiber", *Journal of Applied Polymer Science*, 35 (1988) 965 – 972.
- [25] S. Chopra, R. Chattopadhyay and M.L. Gulrajani, "Low Stress Mechanical Properties of Silk Fabric degummed by Difference Methods", *Journal of Textile Institute*, 87 (1995) 542-543.
- [26] ผ่องศรี รอดโพธิ์ทอง, "การย้อมผ้าไหมจากเปลือกมังคุด", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2540.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [27] M. Tsukada, "Characterization of Methacrylonitrile-Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, 39 (1990) 1289-1297.
- [28] T.K. Maji, D. Basu, C.Datta and A. Banerjee, "Studies of Mechanical and Moisture Regain Properties of Methyl Methacrylate Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, 84 (2002) 969 – 974.
- [29] Z. Cai, G. Jiang and Y. Qiu, "Chemical Modification of *Bombyx Mori* Silk with Epoxide EPSIB", *Journal of Applied Polymer Science*, 91 (2004) 3579 – 3586.
- [30] T. Leksophee, S. Supansomboon and N. Sombatsompop, "Effects of Crosslinking Agents, Dyeing Temperature, and pH on Mechanical Performance and Whiteness of Silk Fabric", *Journal of Applied Polymer Science*, 91 (2004) 1000 – 1007.
- [31] นฤมล ศาพันธ์, "การใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยขมิ้นชัน", วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2533.
- [32] G. Freddi, M.R. Massafra, and M. Tsukada, "Structure and Properties of *Bombyx mori* Silk Fibers Grafted with Methacrylamide (MAA) and 2-Hydroxyethyl Methacrylate (HEMA)", *Journal of Applied Polymer Science*, 60 (1996) 1867-1876.
- [33] M. Tsukada, G. Freddi and H. Shiozaki, "Physical Properties of 2-Hydroxyethyl Methacrylate-Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, 49 (1993) 1835-1844
- [34] J.J. Lee, H.H. Lee, S.I. Eom and J.P. Kim, "UV absorber aftertreatment to improve lightfastness of natural dyes on protein fibers", *Coloration Technology*, 117 (2001) 134-138.