

สมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหม
ดัดแปลงด้วยไวน์มอนอเมอร์

PHYSICAL PROPERTIES AND DYEABILITY OF FIBERS
GRAFTED WITH VINYL MONOMERS

ลลิตา บุญโฉม
LALIDA BOONCHOME

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 074-324-070-3

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหม
ต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์

PHYSICAL PROPERTIES AND DYEABILITY OF FIBERS
GRAFTED WITH VINYL MONOMERS



ลลิดา บุญโฉม

LALIDA BOONCHOME

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 47711
วัน, เดือน, ปี..... 22 ส.ค. 2546

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-670-3

**PHYSICAL PROPERTIES AND DYEABILITY OF FIBERS
GRAFTED WITH VINYL MONOMERS**

LALIDA BOONCHOME

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN POLYMER TECHNOLOGY
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-324-670-3

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ สมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์
PHYSICAL PROPERTIES AND DYEABILITY OF SILK FIBERS
GRAFTED WITH VINYL MONOMERS

ชื่อนักศึกษา นางสาวลลิตา บุญโถม

รหัสประจำตัว 43065618

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีพอลิเมอร์

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.มาลินี	ชัยสุภกิจสินธุ์	
ดร.ชลดดา	ฤตวิรุพห์	
ผศ.ดร.ประณัฐ	โพธิยะราช	
ดร.จุฑารัตน์	ปรัชญาวรากร	

วัน/เดือนปี ที่สอบ 28 เมษายน 2546 เวลา 9.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ อาคารจุฬารณวลัยลักษณ์ 1 ชั้น 6 ห้อง 602



วันที่.....4.....เดือน.....กุมภาพันธ์.....พ.ศ. 2546.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	สมบัติทางกายภาพและการยึดติดสีของเส้นใยไหมต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์
นักศึกษา	นางสาวลลิตา บุญโคม
รหัสประจำตัว	43065618
สาขาวิชา	เทคโนโลยีพอลิเมอร์
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
พ.ศ.	2546
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเพื่อปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติในการยึดติดสีของเส้นใยไหมโดยทำการศึกษาการลอกกาวด้วยสารเคมีหลายชนิด ได้แก่ กรดทาร์ทาริก โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนตและไตรเอทิลเอมีนในช่วงอุณหภูมิและช่วงเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าความสามารถในการลอกกาวของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้นและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีมีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากนั้นศึกษากระบวนการต่อกิ่งไวนิลมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ เมทาคริลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) และเมทิลเมทาไครเลท (Methylmethacrylate, MMA) ที่อัตราส่วนระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทต่าง ๆ ในช่วงอุณหภูมิและช่วงเวลาที่แตกต่างกัน เส้นใยไหมต่อกิ่งมีปริมาณการเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์บนเส้นใย (Polymer add-on) มากขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งมากขึ้นและการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีให้สมบัติเชิงกลและลักษณะของเส้นใยดีที่สุด จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทและเมทาคริลาไมด์ผสมเมทิลเมทาไครเลทมีพื้นผิวที่ขรุขระเนื่องจากโอลิโกเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลทบนเส้นใยไหม ส่วนเส้นใยไหมต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีลักษณะพื้นผิวเรียบขึ้น จากการวิเคราะห์ด้วยดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังผ่านการต่อกิ่ง ขั้นตอนต่อไป คือ การนำ เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งแล้วไปศึกษาความสามารถในการยึดติดสีโดยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการยึดของสี 2 ชนิด คือ สีแอซิด (Acid dye) และสีเบสิก (Basic dye) พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีปริมาณการเพิ่มของสียึดบนเส้นใยใกล้เคียงกับเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านการต่อกิ่ง แต่เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งมีความคงทนของสี (Color fastness) สูงกว่า นอกจากนี้เส้นใยไหม

ก่อนและหลังผ่านการตอกิ่งแล้วข้อมด้วยสีแฉะมีความคงทนของสีมากกว่าข้อมด้วยสีเบสิก ส่วนการวิเคราะห์โครงสร้างหลักของไฟโบรอินในเส้นใยไหมด้วยอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy, IR) ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างของเส้นใยไหมเนื่องจากการ ลอกทอ การตอกิ่งหรือการข้อมสี

Thesis Title	Physical Properties and Dyeability of Silk Fibers Grafted with Vinyl Monomers	
Student	Ms.Lalida	Boonchome
Student ID.	43065618	
Programme	Polymer Technology	
Year	2003	
Thesis Advisor	Dr. Jutarat	Prachayawarakorn

ABSTRACT

This thesis proposed to modify physical properties and dyeability of silk fibers. Raw silk fibers were degummed using different chemical reagents (Tartaric acid, Sodium carbonate, Sodium bicarbonate and Triethylamine) with various temperatures and times. It was found that % degumming of raw silk fiber were increased when reaction temperature and time were raised. The optimum condition for degumming that provided the best mechanical properties, was 80 °C for 30 minutes with solution mixture of sodium bicarbonate and sodium carbonate. The degummed silk fibers were then grafted with vinyl monomers, i.e. methacrylamide (MAA) and methylmethacrylate (MMA) using several comonomer compositions, temperatures and times. Grafted-silk fibers showed improved polymer add-on when reaction time were increased. The optimum condition for grafting was 80 °C and 15 minutes with MAA, leading to great mechanical properties and fiber characteristic. SEM analysis revealed the formed MMA oligomers on the fiber surface, grafted with MMA and MAA/MMA. DSC curves of the grafted silk fibers indicated the slightly increase in thermal decomposition temperatures. Then, the grafted silk fibers were dyed using acid dye and basic dye, and the dyeability were as the compared. It was found that MAA-grafted silk fibers showed the same acid and basic dye uptake as the ungrafted silk fiber but color fastnesses of the grafted silks were better. Moreover acid dyed grafted and ungrafted silk fiber presented better color fastnesses than that of the basic dyed grafted and ungrafted silk fiber. In addition, the structure of silk fibroin, characterised by IR technique, remained unchanged by the degumming, grafting or dyeing processes.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยความเอาใจใส่อันดี การชี้แนะและให้คำปรึกษาโดย ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมงานวิจัยเกี่ยวกับงานวิจัยและยังเป็นผู้ตรวจสอบเนื้อหาและรูปแบบของวิทยานิพนธ์จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความเอาใจใส่และเสียสละเวลาเพื่อผู้ทำงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผศ. ดร. มาลินี ชัยสุภกิจสินธุ์ ผศ. ดร. ประณัฐ โพธิยะราชและ ดร. ชลลดา ฤตวิรุฬห์ ที่เสียสละเวลาเพื่อเป็นกรรมการในการสอบช่วยตรวจแก้ไขและให้คำแนะนำในการแก้ไขรูปเล่มและช่วยให้ผู้ทำการวิจัยเข้าใจในปัญหาที่เกิดขึ้น

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ สุภสวัสดิ์พันธุ์ ผู้จัดการ โรงงาน จิมทอมป์สัน ประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของเส้นใยไหมดิบที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณคมกฤช ทำแสน บริษัท Ciba Specialty Chemical Industry ที่ให้ความอนุเคราะห์ในเรื่องของสีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมสิ่งทอที่ให้ความช่วยเหลือและให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบความคงทนของสี

ขอขอบคุณ คุณสุภโชค สนิเสริมสุขสกุลที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ในการวัดการแสดงสีของชิ้นงาน

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ นักศึกษาทุกคนที่ช่วยเหลือและให้กำลังใจทำให้งานวิจัยสำเร็จด้วยดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง นายวัฒนา คล้ายรัศมีที่มีส่วนช่วยให้งานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและน้อง ๆ ที่ให้กำลังใจ โดยเฉพาะทุนทรัพย์ในการศึกษาต่อและการวิจัย

ลลิตา บุญโสม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ไหม (Silks).....	4
2.2 โครงสร้างของไหม (Structure of Silks).....	6
2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของไฟโบรอิน (Chemical Structure of Fibroin).....	6
2.2.2 โครงสร้างทางกายภาพของไฟโบรอิน (Physical Structure of Fibroin).....	9
2.3 สมบัติของไหม (Properties of Silks).....	10
2.3.1 สมบัติทางเคมี (Chemical Properties of Silks).....	10
2.3.2 สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties of Silks).....	10
2.4 การปรับปรุงเส้นใยไหมโดยวิธีทางเคมี (Chemical Treatment of Silks).....	12
2.4.1 การลอกกาว (Degumming).....	12
2.4.2 การปรับปรุงสมบัติทางเคมี (Chemical Modification).....	13
2.5 หลักการย้อมสีสิ่งทอ (Principle of Textile Dyeing).....	18
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดสี.....	22
2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	27

บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน.....	32
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้.....	32
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	32
3.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	33
3.3.1 ขั้นตอนในการลอกกาว.....	33
3.3.2 ขั้นตอนในการต่อกึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์.....	35
3.3.3 ขั้นตอนในการข้อมสี.....	36
3.3.4 การทดสอบสมบัติทางด้านต่าง ๆ.....	37
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
4.1 กระบวนการลอกกาว.....	43
4.1.1 ลักษณะของเส้นใย.....	43
4.1.2 ความสามารถในการลอกกาว.....	45
4.1.2.1 ผลของอุณหภูมิ.....	46
4.1.2.2 ผลของเวลา.....	46
4.1.2.3 ผลของชนิดสารเคมี.....	47
4.1.3 สมบัติทางแรงดึง.....	48
4.1.3.1 ผลของอุณหภูมิ.....	51
4.1.3.2 ผลของเวลา.....	57
4.1.3.3 ผลของชนิดสารเคมี.....	63
4.2 กระบวนการต่อกึ่ง.....	64
4.2.1 ความสามารถในการต่อกึ่งเส้นใยใหม่ด้วยเมทาคริลาไมด์ หรือ เมทิลเมทา ไครเลขที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส.....	64
4.2.2 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยใหม่ที่ต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทา ไครเลขที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส.....	67
4.2.3 ความสามารถในการต่อกึ่งเส้นใยใหม่ด้วยเมทาคริลาไมด์และ เมทิลเมทาไครเลขที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	70
4.2.4 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยใหม่ที่ต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทา ไครเลขที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	71
4.3 กระบวนการข้อมสี.....	75
4.3.1 ความสามารถในการข้อมสี.....	75
4.3.1.1 เปอร์เซนต์การเพิ่มของน้ำหนักสีข้อมบนเส้นใย.....	75

4.3.1.2	การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสง.....	76
4.3.2	สมบัติเชิงกลของเส้นใย.....	77
4.3.3	ผลการทดสอบความคงทนของสี.....	79
4.3.3.1	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก.....	79
4.3.3.2	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ.....	82
4.3.3.3	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง.....	84
4.3.4	การวัดการเปลี่ยนแปลงสี.....	85
4.4	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม.....	88
4.4.1	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกา.....	88
4.4.2	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกั.....	89
4.4.3	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อม.....	90
4.5	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี.....	92
4.5.1	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไหมก่อนและหลัง การลอกกา.....	92
4.5.2	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไหมก่อนและหลัง การต่อกั.....	93
4.5.3	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไหมก่อนและหลัง การย้อม.....	93
4.6	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม.....	96
4.6.1	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกา.....	96
4.6.2	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกั.....	96
4.6.3	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อม.....	98
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	101
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	101
5.1.1	กระบวนการลอกกา.....	101
5.1.2	กระบวนการต่อกั.....	102
5.1.3	กระบวนการย้อมสี.....	102
5.1.4	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม.....	103
5.1.5	การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี.....	103
5.1.6	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม.....	103
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	104

เอกสารอ้างอิง.....	105
ภาคผนวก.....	109
ประวัติผู้เขียน.....	122

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบที่สำคัญในเส้นใยไหม.....	4
2.2 องค์ประกอบของกรดอะมิโนที่สำคัญในไฟโบรอิน.....	4
2.3 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ที่พบในเส้นใยไหม.....	5
2.4 ส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ในไฟโบรอิน.....	6
3.1 ส่วนผสมของสารละลายชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการลอกกา.....	34
3.2 ส่วนผสมของสารละลายที่ใช้ในการต่อกิ่งไวนิลมอนอเมอร์.....	35
4.1 ลักษณะของเส้นใยก่อนและหลังการลอกกา.....	44
4.2 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ.....	48
4.3 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากการซัก.....	80
4.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีบนชิ้นทดสอบเนื่องจากการซัก.....	80
4.5 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหงื่อเทียมที่เป็นกรด.....	83
4.6 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเนื่องจากเหงื่อเทียมที่เป็นกรด.....	83
4.7 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหงื่อเทียมที่เป็นเบส.....	83
4.8 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเนื่องจากเหงื่อเทียมที่เป็นเบส.....	84
4.9 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเนื่องจากแสง.....	84
4.10 อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังผ่านการต่อกิ่ง.....	90
4.11 อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีแอซิด.....	91
4.12 อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีเบสิก.....	91
4.13 ตำแหน่งการดูดกลืนของอินฟราเรดสเปกตรัม.....	93

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โมเลกุลที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวเหยียดของไหมและเส้นประ.....	6
2.2 ลักษณะโครงสร้างแบบเบต้าชีท (β -plated sheet).....	8
2.3 ลักษณะโครงสร้างแอนติพาราเลลเบต้า-ชีท.....	8
2.4 ลักษณะโครงสร้างพาราเลลเบต้า-ชีท.....	8
2.5 สภาพผิวของใยจากรังไหมและไฟโบรอินของไหมเลี้ยง (<i>Bombyx mori</i>).....	9
2.6 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งแบบ “จาก”.....	16
2.7 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งแบบ “บน”.....	17
2.8 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งแบบผ่านแมคโครมอนอเมอร์.....	18
2.9 สูตรโครงสร้างทั่วไปของสีย้อมประเภทเบสิก.....	20
3.1 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง.....	37
4.1 ความสามารถในการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ.....	49
4.2 ความสามารถในการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	50
4.3 เทนาซิตีของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ.....	52
4.4 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ.....	53
4.5 ความสามารถในการยืดของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ.....	54
4.6 มอดูลัสของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ.....	55
4.7 เทนาซิตีของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	59
4.8 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	60
4.9 ความสามารถในการยืดของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	61
4.10 มอดูลัสของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ.....	62
4.11 ความสามารถในการต่อกิ่งเส้นใยไหมที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส.....	65
4.12 อนุโมลอิสระของโมเลกุล.....	66
4.13 เทนาซิตีของเส้นใยต่อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ หรือ เมทิลเมทาไครเลท.....	67
4.14 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยต่อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ หรือ เมทิลเมทาไครเลท.....	68
4.15 ความสามารถในการยืดของเส้นใยต่อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ หรือ เมทิลเมทาไครเลท.....	68
4.16 มอดูลัสของเส้นใยต่อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ หรือ เมทิลเมทาไครเลท.....	69

4.17 ความสามารถในการดอ่กึ่งของเส้นใยไหมด้วยเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทา โครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	71
4.18 เทนาคิตีของเส้นใยไหมที่ดอ่กึ่งด้วยเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาโครเลทที่ อัตราส่วนต่าง ๆ.....	71
4.19 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมที่ดอ่กึ่งด้วยเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทา โครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ.....	71
4.20 ความสามารถในการยึดของเส้นใยไหมที่ดอ่กึ่งด้วยเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทา โครเลทอัตราส่วนต่าง.....	72
4.21 มอดูลัสของเส้นใยไหมที่ดอ่กึ่งด้วยเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาโครเลทที่ อัตราส่วนต่าง ๆ.....	72
4.22 เปอร์เซนต์การเพิ่มของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใยไหม.....	76
4.23 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงของเส้นใยไหม.....	77
4.24 เทนาคิตีของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ.....	77
4.25 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ.....	78
4.26 ความสามารถในการยึดของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ.....	78
4.27 มอดูลัสของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ.....	78
4.28 ประจุบวกและลบของกรโคอะมิโน.....	81
4.29 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีแอซิดและเส้นใยไหม.....	81
4.30 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีเบสิกและเส้นใยไหม.....	81
4.31 โครงสร้างโมเลกุลของไฟโบรอินและเมทาครีลาไมด์.....	82
4.32 ค่าความสว่าง L^* ของเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ.....	86
4.33 ค่า a^* ของเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ.....	86
4.34 ค่า b^* ของเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ.....	86
4.35 ค่า c^* ของเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ.....	87
4.36 เทอร์โมแกรมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว.....	88
4.37 เทอร์โมแกรมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการดอ่กึ่งด้วยเมทาครีลาไมด์และ เมทิลเมทาโครเลทและเมทาครีลาไมด์ผสมเมทิลเมทาโครเลท.....	89
4.38 อินฟราเรดสเปกตร้าของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว.....	92
4.39 อินฟราเรดสเปกตร้าของเส้นใยไหมก่อนและหลังการดอ่กึ่ง.....	93
4.40 อินฟราเรดสเปกตร้าของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีแอซิด.....	95
4.41 อินฟราเรดสเปกตร้าของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีเบสิก.....	95

รูปที่	หน้า
4.42 ภาพ SEM ของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกขาว.....	96
4.43 ภาพ SEM ของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่ง.....	97
4.44 ภาพ SEM ของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีแฉะด.....	98
4.45 ภาพ SEM ของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีเบสิก.....	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

เส้นใยเป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอชนิดต่าง ๆ เส้นใยสามารถแบ่งออกได้เป็นเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยประดิษฐ์ซึ่งจะมีสมบัติที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้าง วิธีการและขั้นตอนในการผลิตเส้นใยชนิดนั้น ๆ เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่ให้เส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องตลอดเส้นที่เกิดจากรังไหมแต่ละรังโดยเส้นใยไหมมีความยาวอยู่ระหว่าง 1,300-2,000 ฟุต (390-600 เมตร) ไหมแต่ละเส้นประกอบด้วยเส้นใยสองเส้นเกาะติดกันเคลือบด้วยกาวไหม (Silk glue) ที่เรียกว่าเซริซิน (Sericin) และส่วนประกอบอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น ซีสต์ คาร์โบไฮเดรต สี สารอนินทรีย์ สิ่งสกปรก เศษดักแด้ [1] ดังนั้นในการนำเส้นใยไหมไปใช้งานจึงต้องมีการลอกกาวไหมออกก่อนเพื่อช่วยให้ความสามารถในการฟอกขาวและย้อมติดสีได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ผ้าไหมมีความเงางามเป็นพิเศษ วิธีการลอกกาวเส้นใยไหม [2] สามารถทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการลอกกาวด้วยสบู่ การลอกกาวด้วยเกลือต่าง การลอกกาวด้วยเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) หรือ การลอกกาวโดยใช้สบู่ผสมกับด่าง วิธีการลอกกาวแต่ละวิธีให้สมบัติในการละลายของกาวไหม ความแข็งแรง ความยืดหยุ่นของเส้นใย ความสามารถในการฟอกขาวและความสามารถในการย้อมสีที่แตกต่างกัน

ในปัจจุบันการเลี้ยงไหมและการผลิตไหมได้รับการส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงไหมเป็นระบบอุตสาหกรรมแบบเซริคัลเจอร์ (Sericulture) โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนในการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมจนกระทั่งถึงขั้นตอนการทอผ้า จากการศึกษาการพัฒนาพันธุ์ไหมและการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าพันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ พันธุ์บอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) จึงมีการส่งเสริมให้ชาวบ้านในภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมพันธุ์นี้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมไหมไทยเป็นอุตสาหกรรมที่ทำได้ให้ประเทศไทยเป็นจำนวนมาก เนื่องจากผ้าไหมสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวางและได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเนื่องจากผ้าไหมมีสมบัติที่เด่นหลายประการ เช่น มีความสวยงาม มีผิวสัมผัสที่เรียบ อ่อนนุ่ม มีความทนทาน มีสภาพยืดหยุ่น ทนต่อการยับได้ดี สวมใส่สบายทั้งในที่ที่มีอากาศร้อนชื้น หรือ ที่มีอากาศหนาวเย็นเพราะเส้นใยไหมสามารถดูดซับความชื้นได้ดีและระเหยได้เร็ว ผ้าไหมมีผิวเรียบจึงไม่เปราะเปื้อนหรือกักเก็บสิ่งสกปรกที่เป็นฝุ่นละอองได้ง่าย สามารถย้อมหรือพิมพ์สีได้หลายชนิด โดยเฉพาะสีที่มีความสดใสมากและสามารถทอเป็นผ้าที่มีโครงสร้างหลากหลายทั้งชนิดที่มีโครงสร้างบางเบาถึงตัวดีไปจนถึงผ้าที่มีโครงสร้างแน่นหนาก็มีความแข็งแรงและทนทานสูง อย่างไรก็ตามผ้าไหมก็มีจุดอ่อนที่ควรระวัง คือ การใช้สบู่และความร้อนจากเตารีดที่สูงเกินกว่า

340 °F (171 °C) เนื่องจากจะทำให้ไหมมีความเหนียวและความแข็งแรงลดลงและยังทำให้ผ้าไหมมีสีเหลือง เนื่องจากความร้อนที่ได้รับจะเร่งการสลายตัวของโปรตีนในเส้นใยไหมเช่นเดียวกับแสงแดด แสงเหนือม่วง (Ultraviolet, UV) และแสงฟลูออเรสเซนซ์ นอกจากนี้ไหมยังถูกทำลายได้ด้วยสารเคมีที่มีสมบัติที่เป็นกรดและด่าง

สมบัติในการทนทานต่อความร้อน แสงแดด แสงฟลูออเรสเซนซ์ กรด และเบสของไหมสามารถปรับปรุงได้โดยวิธีการตกแต่งสำเร็จทางเคมี (Chemical finishing) หลายวิธี เช่น การตกแต่งด้วยดีบุกเพื่อการเพิ่มน้ำหนัก [2] มีผลทำให้เนื้อผ้ามีน้ำหนักมากขึ้น มีความเงามันเป็นพิเศษ ความนุ่มดี มีความคงทนต่อการยับ และมีสีสดใสเมื่อทำการย้อม แต่อาจทำให้เส้นไหมมีสีเหลืองเนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพและเกิดขน (Lusiness) ส่วนการตกแต่งโดยการเพิ่มน้ำหนักด้วยแทนนิน [2] มีผลให้เนื้อผ้ามีน้ำหนักมากขึ้น ให้ความเงามันเป็นพิเศษ มีสัมผัสที่นุ่มขึ้น มีความคงทนเนื่องจากมีระดับความเป็นระเบียบของโมเลกุลสูงและมีความทนทานต่อแสงเหนือม่วงเพิ่มขึ้น แต่แทนนินมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมากและแทนนินที่สกัดจากพืชมีสิ่งสกปรกหลายอย่างทำให้สกัดแทนนินที่บริสุทธิ์ได้ยากมากจึงไม่ได้รับความนิยม สำหรับการปรับปรุงด้วยสารประกอบของทิตาเนียม [2] มีผลให้สมบัติการขับไล่น้ำ (Water repellent) ของผ้าไหมเพิ่มขึ้น แต่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี ความนำสัมผัสและความคงทนต่อการซักของผ้าไหมลดลง นอกจากนี้การต่อกิ่ง [2] ให้ความคงทนต่อการยับ ความทนต่อการหดตัว ความนุ่ม สมบัติสะท้อนน้ำ ความทนต่อแสงเหนือม่วง ความทนต่อความร้อน ความคงทนต่อการขัดสีและให้ผ้าไหมที่มีความคงรูปได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของไหมให้ได้สมบัติตามต้องการนั้นทำได้ยาก

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยไหมพันธุ์บอมบิกซ์โมริที่มีการเลี้ยงกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยโดยทำการศึกษาสมบัติต่าง ๆ ทั้งในขณะที่ยังไม่ทำการลอกกาวและหลังจากลอกกาวด้วยวิธีต่าง ๆ คือ การลอกกาวโดยใช้สบู่ผสมโซเดียมคาร์บอเนต สบู่ผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต สบู่ผสมโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต สบู่ผสมเอทิลีนไดรเอมีน และสบู่ผสมกรดทาร์ทาริก เพื่อให้ได้ อุณหภูมิ เวลาและวิธีการที่เหมาะสมในการทำให้ไหมที่ผ่านการลอกกาวมีสมบัติที่ดีที่สุด คือ มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง จากนั้นจึงนำเส้นไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวที่เหมาะสมแล้วมาทำการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์เพื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้ดีขึ้น ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ เมทาคริลลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) และเมทิลเมทาคริเลท (Methylmethacrylate, MMA) เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของพอลิเมอร์ (% Polymer add on) บนเส้นใยที่เหมาะสม โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ เวลาและอัตราส่วนระหว่างของเหลวกับวัสดุ (Liquor to material ratio) เพื่อให้ได้สมบัติและความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาชนิดของสารเคมี อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมของกระบวนการในการลอกกาวไหมที่ทำให้ได้ไหมที่มีสมบัติที่ดีที่สุด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลาและชนิดของมอนอเมอร์ในการต่อกึ่งเพื่อให้ได้สมบัติของเส้นใยที่ดีที่สุด
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและลักษณะของเส้นใยไหมก่อนและหลังผ่านกระบวนการลอกกาว และหลังผ่านกระบวนการต่อกึ่ง
- 1.2.4 เพื่อศึกษาสมบัติของเส้นใยไหมเพื่อให้เหมาะสมในการนำไปใช้งาน
- 1.2.5 เพื่อศึกษาชนิดของสีย้อมที่เหมาะสมในการย้อมเส้นใยไหม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการในการลอกกาวของเส้นใยไหม
- 1.3.2 ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ เวลาและชนิดของสารเคมีที่ใช้ต่อความสามารถในการลอกกาวไหม
- 1.3.3 เปรียบเทียบสมบัติของเส้นใยก่อนและหลังการลอกกาว
- 1.3.4 ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ เวลาและชนิดของมอนอเมอร์ในการต่อกึ่ง
- 1.3.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการต่อกึ่งที่ให้เส้นใยที่มีสมบัติดีขึ้น
- 1.3.6 ศึกษาสภาวะและชนิดของสีย้อมที่เหมาะสมในกระบวนการย้อมสีเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการต่อกึ่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถปรับปรุงกระบวนการในการลอกกาวของเส้นใยไหมให้ได้เส้นใยที่มีสมบัติของเส้นใยที่ดีขึ้น
- 1.4.2 สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยไหมได้ด้วยวิธีการต่อกึ่งที่เหมาะสม
- 1.4.3 พัฒนาความรู้เกี่ยวกับความสามารถในการตกแต่งด้วยเรซินของเส้นใยไหมโดยศึกษากระบวนการและสภาวะต่าง ๆ ในการปรับปรุงสมบัติทางเคมี
- 1.4.4 สามารถปรับปรุงเส้นใยไหมให้เหมาะแก่การใช้งานที่กว้างขวางขึ้น
- 1.4.5 ทราบถึงความแตกต่างของสมบัติมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยในการต่อกึ่ง
- 1.4.6 ทราบถึงความสามารถในการติดสีย้อมชนิดต่าง ๆ ของเส้นใยก่อนและหลังผ่านการต่อกึ่ง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไหม (Silks)

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนที่ใช้กันมากในประเทศไทย มีทั้งชนิดที่เลี้ยงในประเทศและที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งไหมแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทั่วไปเหมือนกันจะแตกต่างกันเพียงขนาดของเส้นใยและความสั้นความยาวเท่านั้น ไหมดิบประกอบด้วยไฟโบรอินและเซรีซิน หรือ กาวไหม (fibroin-sericin) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้ยังมีเกลือแร่ ไขมัน สีและสารอินทรีย์อื่น ๆ เล็กน้อย โดยทั่วไปเส้นใยไหมมีองค์ประกอบดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบที่สำคัญในเส้นใยไหม [1]

องค์ประกอบที่สำคัญ	ปริมาณในเส้นใย (เปอร์เซ็นต์)
กาวไหมหรือเซรีซิน	22-25
ไหมหรือไฟโบรอิน	62.5-67
น้ำ	10-11
เกลือและอื่น ๆ	1-1.5

ส่วนไฟโบรอินหรือไหมประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด กรดอะมิโนที่สำคัญแสดงในตารางที่ 2.2 และโครงสร้างแสดงดังตารางที่ 2.3 ส่วนโครงสร้างของกาวไหมที่เคลือบเส้นใยไหมหรือไฟโบรอินอยู่ประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ เช่นเดียวกับในส่วนของไฟโบรอิน แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าในไฟโบรอิน

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบของกรดอะมิโนที่สำคัญในไฟโบรอิน [2]

กรดอะมิโนที่สำคัญ	ปริมาณในไฟโบรอิน (เปอร์เซ็นต์)
ไกลซีน (Glycine)	38
อะลานีน (Alanine)	22
เซรีน (Serine)	15
ไทโรซีน (Tyrosine)	9
กรดอะมิโนชนิดอื่น ๆ	16

ตารางที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ที่พบในเส้นไหม [3]

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)	$\begin{array}{c} \text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Glu (E)	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

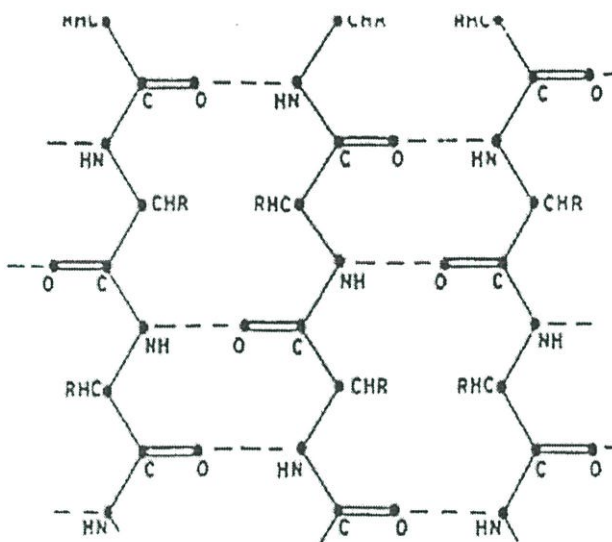
ไหมจะแสดงโครงสร้างในส่วนที่เป็นอสัณฐานและส่วนที่เป็นผลึกโดยส่วนที่เป็นผลึกมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดเล็ก ได้แก่ ไกลซีน อะลานีน และเซรีน ในขณะที่ส่วนที่เป็นอสัณฐาน คือ ส่วนที่โมเลกุลของกรดอะมิโนไม่สามารถจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบได้ กล่าวคือ โมเลกุลประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ ได้แก่ ไทโรซีน เป็นต้น [4]

2.2 โครงสร้างของไหม (Structure of Silks)

ในการศึกษาโครงสร้างของไหมสามารถทำได้ใน 2 ลักษณะ คือ ศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไฟโบรอินและโครงสร้างทางกายภาพของไหม ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของไฟโบรอิน (Chemical Structure of Fibroin) [2]

องค์ประกอบหลักทางเคมีของไหม คือ โปรตีนที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (Fibroin) โปรตีนชนิดนี้ประกอบด้วยธาตุที่สำคัญ ได้แก่ คาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) ซึ่งมีปริมาณน้อยมาก ลักษณะจะเป็นลูกโซ่โพลีเมอร์ยาวเหยียดไม่พับตัวกันเหมือนขนสัตว์โพลีเมอร์จึงเรียงตัวกันยาวและเกาะตัวกันได้แน่นกว่าโครงสร้างของไฟโบรอินแสดงดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้ส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ในไฟโบรอินสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.4



รูปที่ 2.1 โมเลกุลที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวเหยียดของไหมและเส้นประแสดงถึงพันธะไฮโดรเจน [2]

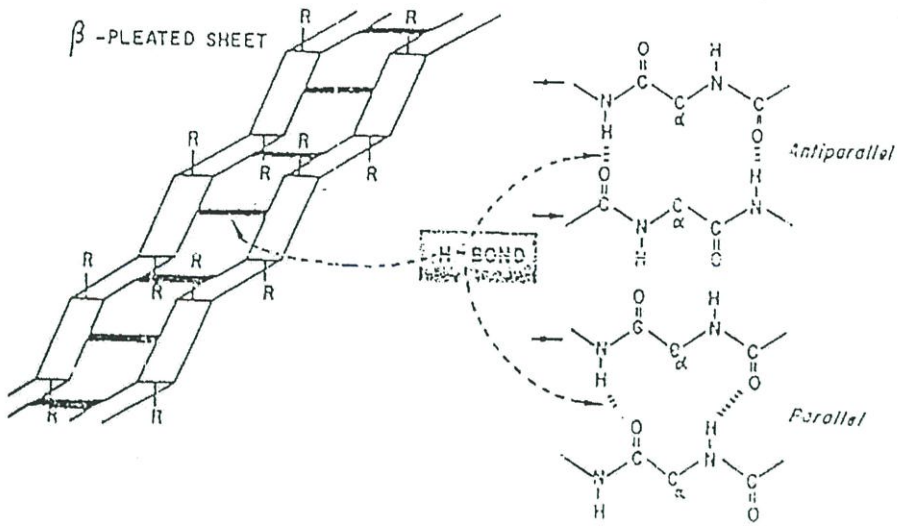
ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ในไฟโบรอิน [1]

องค์ประกอบ	ปริมาณที่พบในไฟโบรอิน
คาร์บอน	48.0-49.0 %
ไฮโดรเจน	6.4-6.5 %
ไนโตรเจน	17.4-18.9 %
ออกซิเจน	26.0-27.9 %

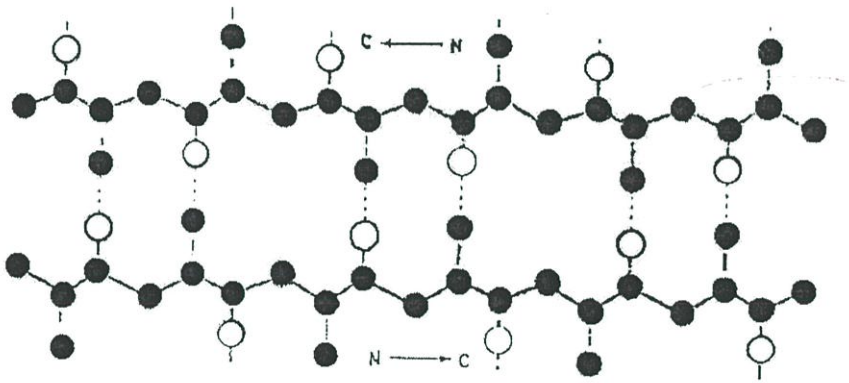
การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินทำได้ค่อนข้างยากทั้งนี้เนื่องจากไฟโบรอินไม่ละลายในสารละลายทั่วไป แต่ละลายได้ในตัวทำละลายบางตัว เช่น คิวปริ-เอทิลีนไดเอมีน (Cupri-ethylenediamine) หรือ ในสารละลายเข้มข้นลิเทียมไอโอไดด์ (Lithium iodide) หรือ สารละลายเข้มข้นไซโอไซยานต (Thiocyanate) จากการใช้สารละลายเหล่านี้ร่วมกับการใช้หลักของการตกตะกอนในเครื่องเหวี่ยงสุญญากาศ (Ultracentrifuge) สามารถคำนวณน้ำหนักโมเลกุล

ของไฟโบรอินได้ประมาณ 84,000 แต่ถ้านำมาจากการอาศัยการวัดสมบัติทางความหนืดได้น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 55,000 หรือ มีผู้ใช้การวิเคราะห์จากหมู่ของกรดอะมิโน (Terminal amino acid) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 80,000-100,000

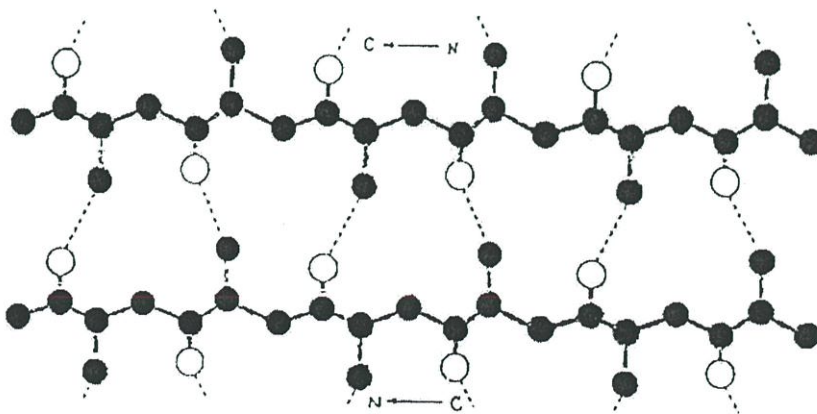
จากการศึกษาไฟโบรอินด้วยเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ในส่วนของกาวไหมแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่ไม่มีผลึกและมีโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ ส่วนโมเลกุลของไฟโบรอินพบว่าสายโซ่พอลิเพปไทด์ที่ยาวของไฟโบรอินมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ไฟโบรอินมีความเป็นระเบียบสูงถึง 60 % บริเวณที่เป็นผลึกของโมเลกุลไฟโบรอินได้มาจากกรดอะมิโนที่มีโซ่ข้างเคียงเล็ก ๆ เช่น โกลูซีน อะลานีน เซรีน ฯลฯ บริเวณที่ไม่มีผลึกภายในมาจากกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ เช่น ไทโรซีน นอกจากนี้ยังพบว่าโมเลกุลของไฟโบรอินมีโครงสร้างเป็นแบบเบต้า [4] (β -form) ซึ่งเกิดจากการที่สายโซ่พอลิเพปไทด์ 2 สายมาอยู่คู่ขนานกัน โดยที่หมู่คาร์บอนิลมีพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ NH ของเอมีนจากอีกสายโซ่หนึ่งและระนาบที่เกิดจากการขนานกันของสายพอลิเพปไทด์จะมีการหักขึ้นลงเป็นแผ่นจิบเหมือนรอยหยักขึ้นลงของการพับกระดาษแสดงดังรูปที่ 2.2 โมเลกุลไฟโบรอินนี้มีโครงสร้างแบบเบต้าที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C ตรงข้ามกัน เรียกว่า แอนติพาราเลล (Fully Extended Antiparallel) แสดงดังรูปที่ 2.3 ในขณะที่โมเลกุลของเส้นใยโปรตีนชนิดอื่นจะมีโครงสร้างแบบพาราเลล (Parallel) คือสายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C เหมือนกันดังรูปที่ 2.4 นอกจากนี้โครงสร้างของโมเลกุลไฟโบรอินเป็นโครงสร้าง 3 มิติ (Well-Defined Dimension) โดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล คือ พันธะไฮโดรเจนบริเวณที่ผลึกของไฟโบรอินซึ่งเกิดการจัดเรียงโมเลกุลแบบเบต้าทำให้ได้โครงสร้างเป็นแผ่นรอยพับซ้อนกันหลายชั้นอย่างสม่ำเสมอ ในส่วนที่เป็นอสัณฐานสายโซ่ของกรดอะมิโนจัดเรียงตัวแบบสุ่ม (Random) ซึ่งบางสายโซ่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ เช่น ไทโรซีน (Tyrosine) สายโซ่ในส่วนอสัณฐานนี้อาจต่อกับส่วนที่เป็นผลึกด้วยพันธะ



รูปที่ 2.2 ลักษณะโครงสร้างแบบเบต้าชีท (β -pleated sheet) [6]



รูปที่ 2.3 ลักษณะโครงสร้างแอนติพาราเลลเบต้าชีท [6]

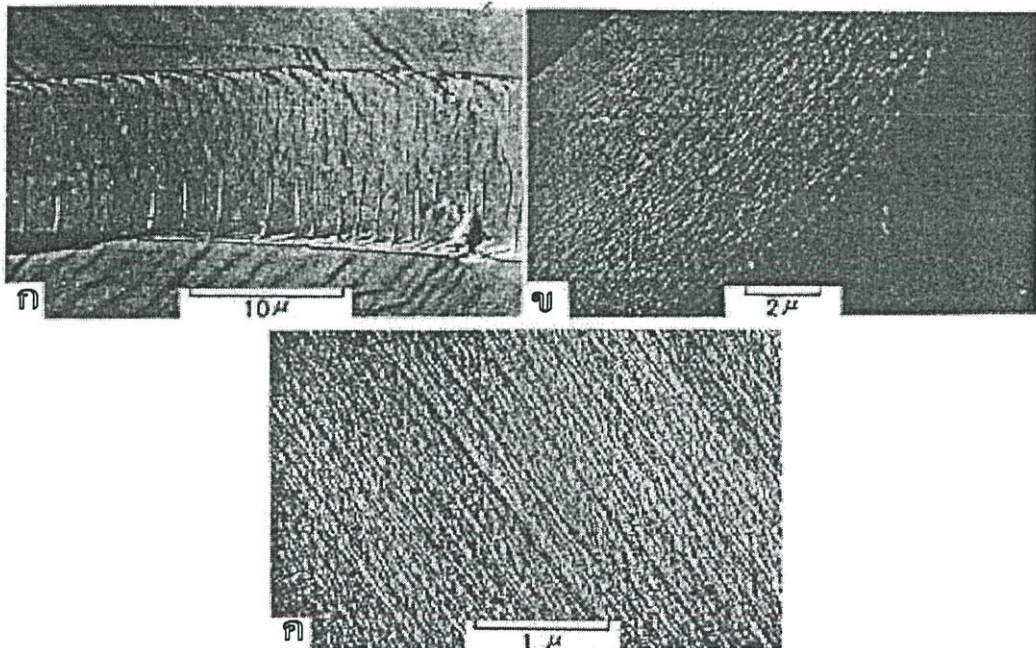


รูปที่ 2.4 ลักษณะโครงสร้างพาราเลลเบต้าชีท [6]

2.2.2 โครงสร้างทางกายภาพของไหม (Physical Structure of Silks) [2]

ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น มีพื้นผิวที่ราบเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตามความยาวของเส้นใย พื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมนและมีความละเอียดมาก ลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยไหม 1 เส้นพบว่ามีความแตกต่างกัน โดยที่ชั้นนอกสุดของเส้นใยมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 100 ตารางไมครอน ชั้นกลางประมาณ 80 ตารางไมครอน และชั้นในประมาณ 60 ตารางไมครอน นอกจากเส้นใยไหมมีพื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอแล้วยังมีความไม่สม่ำเสมอของเส้นใยไหมแต่ละเส้นทำให้เส้นใยสามารถเกาะเกี่ยวกันได้ง่าย นอกจากนี้เส้นใยไหมยังมีความเงา มีสีสรรและความนุ่มนวลดี

พื้นผิวของเส้นใยไหมชั้นนอกมีกาวไหมอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งกาวไหมมีลักษณะเป็นคลื่นปกคลุมไปตามความยาวของเส้นใยอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) ส่วนเส้นใยไหมที่ลอกกาวไหมออกหมดแล้ว (รูปที่ 2.5 ข) จะมีพื้นผิวของเส้นใยที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านการลอกกาว แต่พื้นผิวของเส้นใยไหมที่ชั้นกลางและชั้นใน (รูปที่ 2.5 ค) จะมีลักษณะที่สม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยไหมที่ลอกกาวไหมออกหมดแล้ว นอกจากนี้พบว่ามีไฟโบรอินมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.04-0.05 ไมครอน ไฟบริลเหล่านี้พันเกลียวเข้าด้วยกันและเรียงตัวเป็นโครงสร้างตาข่ายทำให้เห็นโครงสร้างเป็นเหมือนท่อไปตามแนวความยาวของเส้นใย ดังนั้นโครงสร้างผิวที่ดูจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นถึงระบบธรรมชาติที่มีความละเอียดสูงซึ่งไม่พบในเส้นใยชนิดอื่นทำให้ไหมมีความเงางามสละสลวยและสีสรรสวยงาม



รูปที่ 2.5 สภาพผิวของใยจากรังไหมและไฟโบรอินของไหมเลี้ยง (*Bombyx mori*) [2]

- ก) สภาพที่เคลือบด้วยกาวเซรีซิน ข) โครงสร้างไฟบริลของผิวเส้นใยที่ลอกกาวออกแล้ว
ค) โครงสร้างไมโครไฟบริลของผิวเส้นใย

2.3 สมบัติของไหม (Properties of Silks) [1]

เนื่องจากไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีโครงสร้างซับซ้อน ดังนั้นการพิจารณาถึงสมบัติต่าง ๆ ของไหมจึงแบ่งเป็น สมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ ดังนี้

2.3.1 สมบัติทางเคมีของไหม (Chemical Properties of Silks) [1]

เนื่องจากเส้นใยไหมเป็นที่นิยมในการผลิตเสื้อผ้า ซึ่งต้องสัมผัสกับสารเคมีและสิ่งต่าง ๆ มากมาย เช่น เหงื่อ ผงซักฟอก น้ำยาปรับผ้านุ่ม ดังนั้นในการนำผ้าไหมใช้งานจำเป็นต้องรู้ถึงความสามารถในการทนทานต่อสารเคมีของไหม ดังนี้

1. กรด ไหมไม่ถูกทำลายด้วยกรดทั่วไป แต่ไม่ทนต่อกรดที่มีความเข้มข้นสูง
2. ด่าง ไหมมีความทนต่อด่างได้ดีกว่าขนสัตว์ แต่ถูกทำลายได้ด้วยด่างที่มีความเข้มข้นสูงและที่มีอุณหภูมิสูงพอ ซึ่งมีผลทำให้ไหมมีความมันลดลง
3. กลีออลอไรด์ ไหมถูกทำลายได้ด้วยสารที่มีส่วนผสมของกลีออลอไรด์ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาคับกลืนและน้ำเกลือทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหงื่อจะไปทำให้ผ้าไหมติดคราบ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ต้องสัมผัสผิวหนังต้องรักษาความสะอาดให้ดีภายหลังการใช้งานทุกครั้ง
4. สารละลายอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ไหมส่วนใหญ่มักทำความสะอาดโดยการซักแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นด้ายไหมหรือสีที่ใช้ย้อม ซึ่งไหมสามารถซักด้วยน้ำยาซักแห้งได้
5. สารซักฟอก ไหมมีความทนต่อสารซักฟอกคล้ายกับขนสัตว์ แต่ในกรณีของสารซักฟอกประเภทออกซิไดซ์สามารถทำลายไหมได้ เช่น สารซักฟอกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ผสมอยู่ แต่สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ โซเดียมเปอร์บอเรตภายใต้สภาวะการซักปกติ จะไม่เกิดผลเสียต่อไหม
6. ราและแมลง ปกติไหมมักไม่ขึ้นรา ยกเว้นในสภาวะที่ค่อนข้างเปียกชื้นเป็นเวลานาน ๆ ไหมที่ขึ้นรามักเกิดจากสิ่งสกปรกที่ติดมาในขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ
7. แสง ผ้าไหมไม่ทนทานต่อแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการถูกแสงแดดเป็นเวลานานผ้าไหมจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและความแข็งแรงจะลดลง
8. การย้อมสี เส้นใยไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมได้ดีมาก อาจย้อมได้ดีด้วยสีย้อมที่เป็นสีย้อมแอซิด สีย้อมเบสิกหรือสีย้อมไคเรทท์ ผ้าไหมเมื่อย้อมสีแล้วจะได้สีที่เข้มกว่าขนสัตว์และสามารถย้อมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า

2.3.1 สมบัติทางกายภาพของไหม (Physical Properties of Silks) [1]

สมบัติทางกายภาพของเส้นใยไหมจะเป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะภายนอก ความยาว ความแข็งแรง ความทนทานและความยืดหยุ่น ดังนี้

1. ลักษณะภายนอก ไหมดิบจะเป็นลักษณะของเส้นใยคู่เกาะติดกันด้วยกาวไหมมีความมันผิวของไหมจะดูเรียบ แต่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใย หลังจากลอกเอากาวไหมออกแล้วจะได้เส้นใยเดี่ยว พื้นผิวเรียบ และพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมนและจัดเป็นเส้นใยที่มีความละเอียดสูงมากขนาด 1.25 เดเนียร์ต่อเส้นเท่านั้น
2. ความยาว ปกติไหมมีความยาวมาก ความยาวทั่วไปอยู่ระหว่าง 390-600 เมตรและ อาจพบที่ยาวถึง 1,200 เมตร
3. สี ไหมมีสีตั้งแต่เหลืองไปจนถึงเทา
4. ความมัน ภายหลังจากที่ลอกกาวไหมแล้วไหมจะมีความมันมาก ให้ลักษณะความมัน อ่อนนุ่มและสวยงาม
5. ความแข็งแรง ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงที่สุดและเนื่องจากไหมมีผิวที่เรียบมันทำให้ลดปัญหาที่เกิดจากการขาดได้ ความละเอียดของเส้นใยทำให้ผ้าไหมได้รับการออกแบบให้มีโครงสร้างที่เบาบางคงทน มีค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ที่ 3.5-5.0 กรัมต่อเดเนียร์ ในขณะที่แห้งและจะมีความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยขณะเปียกประมาณ 15-25 %
6. ความยืดหยุ่น ไหมเป็นเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นตัวดี อาจขึ้นอยู่กับชนิดของไหมและการเจริญเติบโต เส้นใยไหมสามารถยืดได้ถึง 20 % จากความยาวเดิม เมื่อเทียบกับเส้นใยขนสัตว์ พบว่าความยืดหยุ่นของไหมไม่ดีเท่ากับขนสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไหมไม่มีพันธะที่ทำให้เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย ดังนั้นไหมจึงไม่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ทั้งหมดเมื่อมีการดึงยืด
7. การคืนตัวจากแรงอัด ไหมมีความสามารถในการคืนตัวได้ดีไม่เกิดการยับย่นง่าย สามารถกลับรูปเดิมได้เมื่อแขวนทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง
8. การดูดซับความชื้น ที่ภาวะมาตรฐานการดูดซับความชื้นของไหมมีค่าประมาณ 11 % ซึ่งจัดว่ามีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดี ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดี ผ้าไหมทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบายไม่ระคายผิว และเนื่องจากผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีจึงรักษาความอบอุ่นได้นานและเหมาะแก่การทำผ้าพันคอ ชุดสูท เป็นต้น
9. ความร้อน สามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึง 340°F (171°C) ในเวลาสั้น ๆ แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ไหมจะเริ่มสลายตัว จึงจัดได้ว่าไหมทนทานต่อความร้อนได้ไม่สูงนักแต่ทนทานต่อความร้อนดีกว่าขนสัตว์
10. ความถ่วงจำเพาะ ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำประมาณ 1.25 และมีการทิ้งตัวที่ดี

2.4 การปรับปรุงเส้นใยไหมโดยวิธีทางเคมี (Chemical Treatment of Silks) [2]

ในการนำเส้นใยไหมดิบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเส้นใยก่อนที่จะนำมาผลิตเนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีองค์ประกอบของกาวไหมและสารอื่น ๆ ซึ่งไม่เหมาะสม

แก่การนำไปใช้งานจึงต้องนำไปผ่านกระบวนการลอกกาวก่อนนำไปทอเป็นผ้าและหลังจากนั้นต้องผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติทางเคมีเพื่อเพิ่มสมบัติทางความร้อน สมบัติทางการขัดถู การสัมผัสและสมบัติทางแรงดึงเพื่อให้เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

2.4.1 การลอกกาว (Degumming) [2]

การลอกกาว คือ กระบวนการพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งโดยนำเส้นไหม เส้นด้ายและผ้าไหมดิบมาลอกกาวไหมที่เคลือบผิวของเส้นใย ซึ่งนอกจากกาวไหมแล้วยังมีส่วนประกอบอย่างอื่นเล็กน้อย (ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.1.2) เช่น จี๊ฟี่ง์ คาร์โบไฮเดรต สี สารอนินทรีย์ สิ่งสกปรกและเศษคักเค้ การลอกกาวสามารถเพิ่มความสามารถในการฟอกขาวและความสามารถในการย้อมติดสี และทำให้ไหมมีความเงาเพิ่มขึ้น

ในกรณีของไหมบ้าน (*Bombyx mori*) หลังจากทีผ่านกระบวนการลอกกาวอย่างดีแล้วเส้นใยไหมจะกลายเป็นสีเกือบขาวจึงไม่จำเป็นต้องฟอกขาวอีก แต่ไหมบ้านไหมป่าที่มีสีเหลืองผ้าไหมดิบชนิดหนาและผ้าที่ใช้เส้นด้ายที่มีการบิดเป็นเกลียวสูงจะยังคงมีสีอ่อนจนถึงน้ำตาลแกมเหลืองอ่อน ๆ จำเป็นจะต้องทำให้มีสีขาวใสขึ้นโดยการฟอกขาว คือ การฟอกขาวแบบรีดิวซ์โดยใช้ไฮโดรซัลไฟท์ หรือ การฟอกขาวแบบออกซิไดส์โดยใช้ไฮโครเจนเพอออกไซด์

การลอกกาวออกจากเส้นไหมดิบเป็นการลอกกาวและสิ่งสกปรกออกจากเส้นไหมทั้งหมดเพื่อให้ได้ลักษณะของเส้นใยไหมและข้อมสีได้สดใส มีวิธีที่ใช้อยู่ทั่วไปดังนี้

2.4.1.1 การลอกกาวด้วยสบู่

การลอกกาวด้วยสบู่เริ่มต้นจากการจุ่มเส้นไหมดิบลงในน้ำอุ่นที่อุณหภูมิ 40 °C เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นเซริซินจะอ่อนตัวลง จากนั้นจึงเติมสบู่ 15-20 % owf. (30-50 เท่าของน้ำหนักเส้นใยไหมดิบ) ลงไปและต้มต่อเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง กาวไหมจะลอกออกเกือบทั้งหมด การลอกกาวโดยใช้สบู่ให้เส้นไหมที่เงางามและเรียบสวย แต่ทำให้เกิดการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอได้ง่ายและเกิดสีหมองคล้ำอันเกิดจากโคลสบู่ที่เกิดจากแคตไอออน (Cation) ในน้ำ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดการข้อมสีในขั้นต่อไปเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การขจัดสบู่ด้วยการล้างทำได้ยากจึงทำให้เกิดสีเหลืองและมีปัญหามลภาวะด้าน น้ำเสียอีกด้วย

2.4.1.2 การลอกกาวด้วยโซดา

ขั้นตอนการลอกกาวด้วยโซดาทำได้โดยนำเส้นไหมมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต หรือ โซเดียมไฮโครเจนคาร์บอเนตที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 °C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จากนั้นล้างออกด้วยน้ำอุ่น 40-50 °C และน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง

2.4.1.3 การลอกกาวด้วยสบู่-โซดา

การลอกกาวด้วยสบู่และโซดาทำได้โดยนำเส้นใยไหมมาต้มด้วยสารละลายสบู่และโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง หลังจากแยกเอาสารละลายออกแล้วจึงนำไหมมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 40-50 °C ตามด้วยน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง หรือใช้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตซึ่งมีปฏิกิริยาเป็นด่างอ่อนกว่าแทนการใช้โซเดียมคาร์บอเนต การใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้างจะช่วยปรับปรุงข้อเสียในการลอกกาวด้วยสบู่ เนื่องจากทำให้พื้นผิวมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

2.4.1.4 การลอกกาวด้วยเอนไซม์

เอนไซม์สามารถนำมาใช้ในการลอกกาวได้ โดยนำเส้นใยไหมมาจุ่มในสารละลายเอนไซม์โปรตีเอสชนิดต่างซึ่งมีค่า pH 9.0-10.5 ที่อุณหภูมิ 40-65 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง กาวไหมจะละลายออกมา แล้วล้างด้วยน้ำอุ่น 40-50 °C และน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง วิธีการลอกกาวด้วยเอนไซม์โปรตีเอสจะสามารถลอกกาวเซริซินได้อย่างสม่ำเสมอแต่มีข้อเสีย คือ เอนไซม์โปรตีเอสมีราคาแพง

2.4.1.5 การลอกกาวด้วยกรด

การลอกกาวด้วยกรด คือ การนำเส้นใยไหมต้มในสารละลายที่เป็นกรด แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีปัญหาในการควบคุมคุณภาพของไหมที่ลอกกาว

2.4.2 การปรับปรุงสมบัติทางเคมี (Chemical Modification) [2]

เรซินที่นำมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จให้กับไหมมีอยู่หลายชนิด ที่สำคัญได้แก่ สารประกอบที่เป็นมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ เช่น ยูเรีย และเมลามีนฟอรัมาลดีไฮด์ เป็นต้น ยูเรียเรซินที่ไวต่อปฏิกิริยา เช่น ไดเมทิลไตรอาโซน (Dimethyltriazone) และไดเมทิลอลเอทิลีนยูเรีย (Dimethylol ethylene urea) เรซินประเภทเทอร์โมเซตที่มีการใช้งานได้แก่ อีพอกซี ฟีนอลิก อะคริลามิด คาร์บอเนตและพอลิยูรีเทน ซึ่งให้โครงสร้างแบบร่างแห ส่วนเรซินประเภทเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิไวนิลเรซิน พอลิอะคริลิกเรซิน พอลิอะมีดเรซิน และพอลิโอลิฟินส์ ซึ่งให้โครงสร้างเป็นโซ่ตรง โดยที่เรซินประเภทเทอร์โมเซตจะทำปฏิกิริยากับตัวเองและทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อกับ โมเลกุลของ เส้นใย ดังนั้นจึงช่วยในการปรับปรุงสมบัติในการคืนตัวจากการยับ ความคงทนต่อการหดตัว และ ทำให้ผ้าคงรูป ส่วนเรซินประเภทเทอร์โมพลาสติกใช้สำหรับตกแต่งผิวเส้นใยช่วยให้เกิดความน่าสัมผัส ความทนต่อการขัดสี การตกแต่งและการซัก

การตกแต่งสำเร็จไหมด้วยเรซินเทอร์โมเซตพวกยูเรีย ไทโอยูเรีย เอทิลีนยูเรีย เอทิลีนไทโอ ยูเรีย เมลามีน ไกลออกซาลอะคริลิก ซิลิโคน ฟลูออรีน พอลิไวนิลและพอลิอะคริลิกมีวัตถุประสงค์

เพื่อเพิ่มความคงทนต่อการยับ การป้องกันการหด เพิ่มความนุ่มนวล ความคงทนต่อการขัดสี การซัก การเปลี่ยนเป็นสีเหลือง การเสื่อมสภาพ การสะท้อนน้ำและน้ำมัน

การตกแต่งสำเร็จด้วยการใช้เรซินสามารถแบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่การสังเคราะห์พอลิเมอร์ โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระและการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง

2.4.2.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ [7]

การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบเติมสามารถทำได้ด้วยการเติมสารเคมีที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระหรือด้วยการเติมประเภทกรด เบส หรือ ใช้สารประกอบออร์กาโนเมทัลลิก เพื่อให้เกิดประจุ สารเหล่านี้จะเหนี่ยวนำให้มอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่เกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ขึ้นได้

ก. มอนอเมอร์สำหรับพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยอนุมูลอิสระ

โดยทั่วไปแล้วพลาสติก สารยึดหยุ่นและเส้นใยมักสังเคราะห์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระซึ่งปฏิกิริยาแบบนี้มีความสำคัญอย่างมากในเชิงพาณิชย์ พอลิเมอร์ไรเซชันชนิดนี้เกิดกับมอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่เรียกว่า ไวนิลมอนอเมอร์ ตัวอย่างของมอนอเมอร์ เช่น เอทิลีน (Ethylene) สไตรีน (Styrene) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl chloride) แอลลิลแอลกอฮอล์ (Allyl alcohol) อะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) อะคริลามิด (Acrylamide) เมทิลเมทาไครเลต (Methyl methacrylate) เป็นต้น มอนอเมอร์ที่เกิดปฏิกิริยาได้เร็วส่วนมากมีหมู่แทนที่ 2 หมู่หรือมีหมู่ที่ดึงอิเล็กตรอนอยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาร์บอน

ข. ตัวริเริ่มสำหรับพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยอนุมูลอิสระ

สารเคมีที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระสำหรับกลไกการเกิดพอลิเมอร์ด้วยอนุมูลอิสระมีหลายประเภท เช่น เปอร์ออกไซด์ (ROOR) เอโซ (RN=NR) เปอร์ซัลเฟต นอกจากนี้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ความร้อน แสงอัลตราไวโอเล็ต หรือ รังสีพลังงานสูง เช่น แกมมาและกระแสไฟฟ้า สามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระบนพันธะคู่ของมอนอเมอร์ได้เช่นกัน การริเริ่มด้วยวิธีต่าง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีดังนี้

1. การริเริ่มด้วยความร้อน

สารเคมีบางชนิดสลายตัวให้อนุมูลอิสระเมื่อได้รับความร้อนและถ้าหากอุณหภูมิของการสลายตัวนั้นตรงกับอุณหภูมิในการเกิดพอลิเมอร์ สารเคมีนั้นอาจให้เป็นตัวริเริ่มสำหรับไวนิลมอนอเมอร์ได้ ตัวอย่างเช่น ไดอัลคิลเปอร์ออกไซด์ ไดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ สารประกอบเอโซและโลหะอัลคิล เป็นต้น สารเคมีจะทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มที่ดีหรือไม่ขึ้นกับอัตราเร็วของการสลายตัวด้วยความร้อนโดยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order reaction) โดยให้อนุมูลอิสระ 2 อนุมูลเป็นตัว

เริ่มต้นปฏิกิริยาถูกโซ่ ปกติการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวริเริ่มจะทำให้ค่าเฉลี่ยความยาวของโซ่พอลิเมอร์ลดลง แต่ทำให้จำนวนสายโซ่มากขึ้น ดังนั้นการเลือกตัวริเริ่มและการเลือกอุณหภูมิสำหรับขั้นเริ่มต้นสายโซ่ขึ้นกับความต้องการที่จะให้เกิดพอลิเมอร์เร็วหรือพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

2. การริเริ่มด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์

ตัวริเริ่มประเภทนี้จะละลายน้ำได้ อนุมูลอิสระเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิของปฏิกิริยา 0-50°C ขึ้นอยู่กับระบบรีดอกซ์ที่เลือกซึ่งมีหลายระบบดังนี้

- เปอร์ออกไซด์ผสมอยู่กับตัวริดิคซ์ เช่น ไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) โครเมียม (Cr^{2+}) วานาเดียม (V^{2+}) ทิทาเนียม (Ti^{3+}) โคบอลต์ (Co^{2+}) และทองแดง (Cu^{2+})
- ตัวริเริ่มที่ผสมระหว่างตัวริดิคซ์อนินทรีย์และตัวออกซิไดส์อนินทรีย์หลายชนิด
- ตัวริเริ่มผสมระหว่างคูรีดอกซ์ของสารอินทรีย์-อนินทรีย์
- มอนอเมอร์บางประเภททำตัวเป็นตัวริเริ่มเสียเอง โดยเกิดเป็นคูรีดอกซ์ขึ้น เช่น อะคริลาไมด์กับไทโอซัลเฟต หรือ กรดเมทาคริลิกผสมกับเมทิลเมทาคริเลท โดยมีไดเมทิลอะนิลีน (N,N dimethylaniline) ปนอยู่ด้วย

3. การริเริ่มด้วยแสงและความร้อน

มอนอเมอร์บางชนิดเกิดพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อนหรือได้รับแสงตัวอย่าง เช่น สไตรีน มอนอเมอร์ กลไกปฏิกิริยาเริ่มจากโมเลกุล 2 โมเลกุลชนกัน เกิดอนุมูลอิสระ 2 ตัว (Diradical) จากนั้นอนุมูลอิสระตัวนี้เข้าทำปฏิกิริยากับมอนอเมอร์ตัวอื่น ๆ

4. การริเริ่มด้วยรังสี

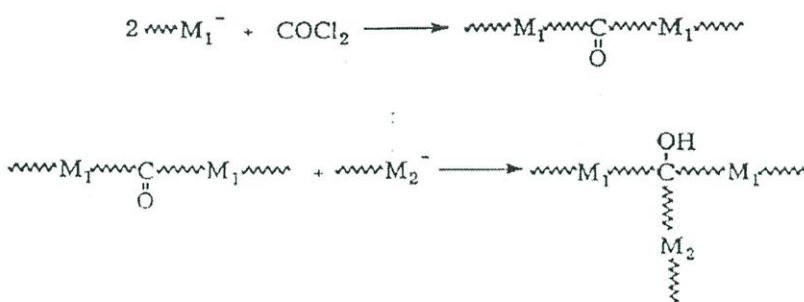
การใช้รังสีพลังงานสูง เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา อนุภาคแอลฟาอิเล็กตรอนพลังงานสูง โปรตอนและอื่น ๆ เหนี่ยวนำให้มอนอเมอร์สลายตัวเป็นอนุมูลอิสระ โมเลกุลในระบบ (มอนอเมอร์และตัวทำละลาย) จะดูดกลืนพลังงานแล้วสลายให้อนุมูลอิสระกลไกของปฏิกิริยาค่อนข้างซับซ้อน เพราะนอกจากให้อนุมูลอิสระแล้วยังเกิดไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบด้วย

2.4.2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง (Graft Copolymer Synthesis) [8]

ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งมีเทคนิคที่สำคัญในการเตรียมพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งมี 3 วิธี คือ (ก) การต่อกิ่ง “จาก” (ข) การต่อกิ่ง “บน” และ (ค) การต่อกิ่งผ่านแมกโครมอนอเมอร์ (Macromonomer)

ข. วิธีการต่อกิ่ง “บน” (Grafting on Macromonomer)

วิธีการต่อกิ่งแบบนี้เกี่ยวข้องกับสารที่มีบริเวณบนสายโซ่หลักที่สามารถให้มอนอเมอร์ตัวที่สองเข้าไปเกาะได้ด้วยพันธะโคเวเลนต์ เช่น การเกิดพอลิเมอร์แบบแอนไอออนิกระหว่างฟอสจีนและมอนอเมอร์ที่มีหมู่คีโตน การเชื่อมระหว่าง 2 สายโซ่โดยฟอสจีนทำให้เกิดหมู่คีโตนซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสายโซ่ที่สองได้ หมู่ฟังก์ชันที่ชอบอิเล็กตรอนอื่น ๆ ที่ใช้ได้ดีในปฏิกิริยานี้ ได้แก่ เอสเทอร์ ไนไตรล์ แอนไฮไดรด์ สามารถใช้เป็นบริเวณให้เกิดการต่อกิ่งโดยคาร์เบนไอออนที่ยาวออก เช่น ไอออนของพอลิสไตริล (Polystyryl ion) เทคนิคการต่อกิ่งเหล่านี้มีอยู่มากมายที่เกิดโซ่กิ่งตามสายโซ่หลักยังทำให้กิ่งยาวออกได้เช่นกัน โดยจะต้องควบคุมการเกิดการต่อกิ่งเพื่อให้เกิดโซ่กิ่งคล้ายหรืออย่างสม่ำเสมอซึ่งอาจทำได้โดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของแมโครมอนอเมอร์ (Macromonomer) หรือ โดยการใช้ปฏิกิริยาที่เหมือนกันบนสายโซ่ที่เหมาะสม แสดงรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งแบบ “บน” [8]

ค. วิธีการต่อกิ่งผ่านแมโครมอนอเมอร์ (Grafting via Macromonomer)

เราอาจเรียกแมโครมอนอเมอร์ (Macromonomer) ว่าแมโครเมอร์ (Macromer) ซึ่งเป็นสายพอลิเมอร์สั้น ๆ ที่มีปลายเป็นพันธะคู่ ซึ่งเตรียมได้โดยการทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีสายโซ่สั้น ๆ กับหน่วยไวนิล ปฏิกิริยาทั่วไปสำหรับการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์เหล่านี้ทำให้เกิดโครงสร้างที่สามารถต่อกิ่งได้ดีกับโซ่กิ่งที่อยู่เป็นช่วง ๆ ตามสายโซ่ ถ้าแมโครมอนอเมอร์ที่ใช้เริ่มต้นมีความยาวสม่ำเสมอแล้ว โซ่กิ่งที่เกิดขึ้นก็จะสม่ำเสมอด้วยเช่นเดียวกัน การเกิดพอลิเมอร์ร่วมกับอีกมอนอเมอร์หนึ่งจะทำให้ความสม่ำเสมอของจุดแตกกิ่งจะเปลี่ยนไปแต่ในขณะที่ความยาวของโซ่กิ่งยังคงเหมือนเดิมอาจใช้พอลิแอซิดคลอไรด์ (Poly(acid chloroide)) สำหรับปฏิกิริยานี้ได้เช่นกันและหน่วยของฟังก์ชันที่ตำแหน่ง ω สามารถควบคุมที่บริเวณเหล่านี้ทำให้ได้โครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายกับที่ได้จากการใช้ แมโครมอนอเมอร์ ดังปฏิกิริยาในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งแบบผ่านแมกโครมอนอเมอร์ [8]

2.5 หลักการย้อมสีสิ่งทอ (Principle of Textile Dyeing) [9]

การย้อมสีวัสดุสิ่งทอเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เทคโนโลยีการย้อมมีวัตถุประสงค์หลัก 2 ประการ คือ

1. ความสม่ำเสมอของเฉดสี (Levelling Dyeing) และลดปัญหาการย้อมซ้ำ (Redyeing)
2. ความคงทนของสีต่อกระบวนการผลิตหลังย้อมและเมื่อนำไปใช้งาน เช่น กระบวนการตกแต่งสำเร็จ (Finishing)

ความคงทนต่อการใช้งาน (Fastness Properties) ที่สำคัญที่เป็นเงื่อนไขในการผลิตสินค้าให้ได้มาตรฐานตามที่ลูกค้าต้องการ ได้แก่

1. ความคงทนของสีต่อการซัก (Wet Fastness)
2. ความคงทนของสีต่อแสง (Light Fastness)
3. ความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Fastness to Perspiration)
4. ความคงทนของสีต่อความร้อน (Fastness to Heat)
5. ความคงทนของสีต่อคลอรีน (โดยเฉพาะในชุดว่ายน้ำ) (Fastness to Chlorine)
6. ความคงทนของสีเฉพาะอื่น ๆ

2.5.1 สีย้อมสิ่งทอ (Textile Dyes) [25]

สีย้อมในปัจจุบันเกือบทั้งหมดเป็นสีย้อมสังเคราะห์ สีย้อมที่ดีควรมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1. มีความเข้มสูง

สีย้อมที่มีค่าเฉพาะการดูดกลืนแสงสูงกว่า 10000 (molar absorptivity, Σ 10000) เป็นสีย้อมที่มีความเข้มสูงซึ่งมีข้อดี คือ ใช้สารช่วยย้อมและสีในปริมาณน้อย

2. มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี

สีย้อมจะต้องสามารถละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของสารแขวนลอย ทั้งนี้เนื่องจากการย้อมสีนั้นต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการช่วยย้อม แม้ว่าในปัจจุบันนั้นได้มีการพัฒนาการย้อมที่อาศัยคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นตัวกลาง (Supercritical CO₂ fluid) แต่การย้อมก็ยังมีข้อจำกัดเฉพาะสีที่ไม่ละลายน้ำ (สีย้อมเพิร์ล) น้ำที่ของน้ำ คือ เป็นตัวพา (Vehicle) ให้สามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้อย่างสม่ำเสมอ

3. มีแรงดึงดูดกับเส้นใย (Substantive to Fibers)

การข้อมวัสดุสิ่งทอแบบวิธีข้อมแช่ (Exhaustion Method) จัดเป็นระบบสองวัฏภาค ประกอบด้วยวัฏภาคของแข็ง (เส้นใย) กับวัฏภาคของเหลว (น้ำข้อม) สมดุลการแพร่ของสีข้อมจากน้ำข้อมเข้าสู่เส้นใยหรือจากเส้นใยออกสู่น้ำข้อมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ สารช่วยข้อม อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำข้อมต่อน้ำหนักของเส้นใย (Liquor ratio) สีข้อมที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ข้อมเส้นใยนั้นควรมีสสมบัติเกาะติดกับเส้นใยได้ดี (สมดุลการแพร่ของสีไหลไปทางด้านเส้นใย) สีข้อมที่มีสมบัติชอบยึดเกาะกับเส้นใยมากกว่าชอบละลายอยู่ในน้ำข้อมจัดว่าเป็นสีที่มีความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใย (ความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใย) ที่ดี แต่ในทางกลับกันสีที่เกาะติดกับเส้นใยได้ไม่ดี (สมดุลการแพร่ของสีจะไหลมาทางด้านน้ำข้อม) จัดเป็นสีที่มีความสามารถในการละลายน้ำ ได้ดี (Affinity to water)

4. มีความคงทนต่อการซักและการนำไปใช้งาน

สีที่มีค่าความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใยสูงมีข้อดี คือ สามารถข้อมสีเข้มได้โดยใช้สีในปริมาณน้อยและสีประเภทนี้มีความคงทนต่อการซักได้ระดับหนึ่ง แต่ก็ยังมีความคงทนที่ไม่สูงเพียงพอต่อการนำไปใช้งานสีจะค่อย ๆ หลุดออกมาในขณะที่ทำการซักล้าง การทำกระบวนการหลังการข้อม (After-treatment) จะช่วยเพิ่มความคงทนของสีข้อมต่อการซักในระดับที่ยอมรับได้ หรือเลือกใช้สีที่สามารถทำปฏิกิริยากับเส้นใยได้ แล้วเกิดพันธะโควาเลนต์ แต่ข้อเสียของสีที่มีความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใยสูง คือ เสี่ยงต่อการข้อมที่ไม่สม่ำเสมอทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขสีใหม่เพราะฉะนั้นการข้อมสีที่มีค่าความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใยสูงจึงต้องการความระมัดระวังสูงและมักจะมีกระบวนการข้อมที่นาน เช่น การข้อมไหมพรมด้วยสีเบสิก เป็นต้น

5. มีความคงทนต่อสภาวะในกระบวนการหลังการข้อมเช่นกระบวนการตกแต่งสำเร็จเพื่อเพิ่มสมบัติพิเศษให้วัสดุที่ผ่านการข้อมแล้ว

6. สีข้อมควรมีความปลอดภัย

7. สะดวกต่อการใช้งานและมีราคาเหมาะสม

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า ไม่มีสีตัวใดที่มีสมบัติที่ต้องการอย่างครบถ้วน ดังนั้นช่างข้อมควรมีเทคนิคและความชำนาญในการเลือกสีข้อมตัวที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับนำมาข้อมสีบนวัสดุสิ่งทอที่กำหนด

2.5.1.1 สีข้อมประเภทกรดหรือสีข้อมแอซิด (Acid Dyes)

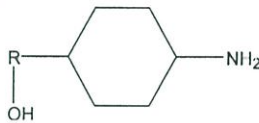
สีกรดได้ชื่อเช่นนี้เนื่องมาจากว่า สีข้อมในกลุ่มนี้ต้องข้อมในน้ำข้อมซึ่งมีภาวะเป็นกรด ซึ่งเป็นกรดชนิดใดก็ได้ เนื่องจากสีในกลุ่มนี้เกือบทุกตัวเป็นเกลือ โซเดียมของกรดอินทรีย์และมีแอนไอออนในส่วนประกอบที่ให้สี ปกติจะเป็นเกลือของกรดซัลโฟนิก มีบ้างบางตัวที่มีหมู่

คาร์บอกซิล ส่วนมากผลิตออกจำหน่ายในรูปของเกลือโซเดียม การผลิตสีจะผลิตให้เป็นสีกรดแท้ ๆ นั้นทำได้ยาก เนื่องจากสีแอซิดดูดซับความชื้นจากอากาศได้ง่าย การเก็บและเข้าหีบห่อต้องระมัดระวังอย่างดี ถ้าปรากฏว่าสีดูดซับความชื้นเข้าไปจะทำให้เสื่อมสภาพได้เร็ว สีแอซิดสามารถใช้ในการย้อมเส้นใยโปรตีนได้โดยตรง คือ ผลิตขึ้นเพื่อใช้ย้อมใยขนสัตว์และไหม โดยไม่ดูดติดใยเซลลูโลส แต่มีสีย้อมแอซิดบางตัวที่มีส่วนประกอบโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับสีไครเรทท์มากจึงมีสีแอซิดบางกลุ่มที่ใช้ย้อมใยเซลลูโลสได้และใช้ย้อมเส้นใยพอลิเอไมด์ได้ด้วย

สีกรดที่ใช้กันมากมีโครงสร้างเคมี 3 แบบ ได้แก่ อะโซ (Azo) แอนทราควิโนนอยด์ (Anthraquinonoid) และ ไทรฟีนิลมีเทน (Triphenylmethane) และยังมีสีในกลุ่มแอซิม (Azime) และแซนแทน (Xanthane) อีกด้วย ตัวสีย้อมที่ใช้ย้อมขนสัตว์และใช้ย้อมไหมได้เรียกกันทั่วไปว่า Acid wool dyes

2.5.1.2 สีย้อมประเภทเบสิก (Basic Dyes)

สีเบสิกเป็นสีสังเคราะห์ที่มีความเก่าแก่ที่สุด เมื่อใช้ในการย้อมเส้นใยเซลลูโลสจะมีความคงทนต่ำ แต่สีเบสิกมักนำมาย้อมเส้นใยอะคริลิกเนื่องจากให้ความคงทนสูงกว่าในการใช้ย้อมเซลลูโลส นิยมใช้ในการย้อมที่ต้องการสีสรรสดใสมากกว่าความคงทน โมเลกุลของสีย้อมมาจากส่วนประกอบและไอออนที่เป็นแคทไอออน โดยมีสูตรทั่วไปดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 สูตรโครงสร้างทั่วไปของสีย้อมประเภทเบสิก [10]

สีเบสิกจัดอยู่ในกลุ่มสีที่ให้สีสันและความเข้มมากกว่าสีตัวอื่นๆ เช่น เบสิกมาเจนตา (Basic Magenta) กับแอซิดมาเจนตา (Acid Magenta) ซึ่งทั้งสองตัวมีโครงสร้างอย่างเดียวกันโดยนำมาทำให้เป็นกรดด้วยวิธีซัลโฟเนชัน (Sulphonation) เมื่อใช้แอซิดมาเจนตาต้องใช้สีถึง 5 เปอร์เซ็นต์จึงจะให้ความเข้มเท่ากับสีเบสิกมาเจนตาเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ทำให้ยังมีผู้นิยมใช้ในประโยชน์บางอย่างเพราะความคงทนของสีค่อนข้างต่ำ

สีย้อมเบสิกจะละลายในแอลกอฮอล์ แต่ละลายในน้ำได้ยาก สีเบสิกบางตัว เช่น Auramine (C.I. Basic Yellow 2) จะละลายในน้ำเดือดจึงต้องย้อมที่อุณหภูมิ 60-65 องศาเซลเซียส แม้ว่าสีค่อนข้างจะคงทนแต่อาจเกิดการสลายตัวไปบ้างเมื่อต้มเป็นเวลานานๆ ถ้านำสีเบสิกไปทำปฏิกิริยากับด่างจะสลายตัวเป็นเบสของสีย้อม (dye base) ซึ่งไม่มีสี นอกจากนี้ น้ำย้อมที่มีด่าง หรือ เป็นน้ำกระด้างใช้ย้อมสีเบสิกไม่ได้ จึงต้องทำให้น้ำย้อมเป็นกลางโดยใช้กรดน้ำส้ม

2.5.2 การย้อมสี (Dyeing) [10]

การย้อมติดสีของเส้นใยเกิดจากการที่โมเลกุลของสีและเส้นใยรวมเข้าเป็นสารประกอบใหม่ชนิดหนึ่งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไปและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะสมบัติทางกายภาพ คือ ทำให้เส้นใยมีสีต่าง ๆ ขึ้นมา โมเลกุลของสีย้อมมีขนาดค่อนข้างใหญ่ แต่โมเลกุลของสีย้อมสามารถจะซึมเข้าไประหว่าง โมเลกุลของเส้นใยได้เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมมีขนาดเล็กกว่าช่องว่าง (Pore) ระหว่างโมเลกุลของเส้นใยจึงเกิดการย้อมติดสีขึ้น ดังนั้น ช่องว่าง (Pore) ระหว่างโมเลกุลของเส้นใยกับขนาดโมเลกุลของสีย้อมจึงมีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าทราบขนาดของทั้งสองอย่างทำให้การเลือกตัวสีและขบวนการย้อมทำได้ง่ายขึ้น การย้อมสีส่วนใหญ่ใช้น้ำเป็นตัวกลางและเส้นด้าย หรือ ผ้าเมื่อนำไปแช่น้ำจะพองตัวในปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำซึ่งมีอยู่ในเส้นใยนั้น การพองตัวของเส้นใยนี้จะเกิดแต่เฉพาะบริเวณของส่วนหลวมหรือช่องว่างของเส้นใยเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ช่องว่างนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น เส้นใยทุกชนิดมีขนาดช่องว่างไม่เท่ากัน ขนาดโมเลกุลของสีย้อมก็มีขนาดไม่เท่ากันด้วยจึงเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้สีบางตัวย้อมเส้นใยบางชนิดไม่ติดหรือติด สีอ่อนนอกเหนือไปจากคุณสมบัติเคมีโดยตรงระหว่างตัวสีกับเส้นใย

เมื่อ โมเลกุลของสีซึมผ่านช่องว่างเข้าไปภายในเส้นใยแล้ว สีย้อมที่อยู่ในน้ำย้อมจะซึมเข้าไปในเส้นใย ดังนั้นเส้นใยจะค่อย ๆ มีโมเลกุลของสีรวมมากขึ้นทุกที สีก็จะมีความเข้มมากขึ้นไปตามลำดับ ปริมาณของสีย้อมที่จะยึดติดเส้นใยได้มากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา (Reactive group) ของสีย้อมและเส้นใยนั้นๆ

การที่จะย้อมสีให้ได้ผลดีนั้น แรงยึดเหนี่ยวของสีย้อมกับเส้นใยต้องมีมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของสีย้อมกับน้ำ โมเลกุลสีย้อมจะต้องมีหมู่ฟังก์ชันซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการยึดติด (Substantivity) กับเส้นใยแล้วเกิดพันธะ (Bond) ยึดกันแน่น อาจกล่าวได้ว่าแรงที่ทำให้สีย้อมยึดติดกับเส้นใยได้มี 4 ชนิด คือ

1. พันธะไฮโดรเจน (Hydrogen bond)
2. แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' forces)
3. แรงไอออนิก (Ionic forces)
4. พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond)

ในการย้อมติดสีจะต้องมีแรงอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจมีมากถึง 4 ชนิดที่จะทำให้เกิดการรวมกันของสีย้อมและเส้นใยได้ ดังนี้

1. พันธะไฮโดรเจน ไฮโดรเจนในกลุ่มไฮดรอกซี (Hydroxy group) จะยึดอย่างหลวมๆ กับอะตอมอื่นได้ ได้แก่ พันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำ

2. แรงแวนเคอร์วาล์ส แรงแนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นแรงอย่างอ่อน ๆ ที่ทำให้อะตอมและโมเลกุลเข้ามายึดติดกันตัวเอง ระหว่างตัวสีเชื่อมกับเส้นใย ตัวอย่างเช่น แรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสกับสีเชื่อมเวที หรือ สีไคเรกท์

3. แรงแออนิก การยึดรวมตัวระหว่างเส้นใยและสีชนิดนี้ เกิดขึ้นได้โดยความต่างศักย์ไฟฟ้า เมื่อเส้นใยอยู่ในน้ำจะแสดงความเป็นลบและส่วนใหญ่สีเชื่อมซึ่งละลายน้ำเป็นแอนไอออน การดูซึมจึงไม่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนไอออนของเส้นใยก่อน โดยการเติมเกลือลงในน้ำย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสและเติมกรดลงในน้ำย้อมสำหรับเส้นใยโปรตีนและไนลอนจะเป็นการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าซึ่งมีอยู่ในเส้นใยได้ แต่สีย้อมบางประเภทซึ่งเป็นแคทไอออนอยู่แล้ว เช่น สีที่ใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิก สีย้อมประเภทนี้จึงสามารถเกิดแรงแออนิกกับเส้นใยได้ง่าย

4. พันธะโควาเลนต์ ในกรณีของสีรีแอคทีฟยึดกับเส้นใยได้โดยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งพันธะนี้เป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกับแรงที่กล่าวมาข้างต้น

ในการจำแนกสีย้อมตามการใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 13 ชนิด สีเบสิก สีแอซิด สีเมอร์แคนท์ สีไคเรกท์ สีดีสเพอร์ส สีอะโซอิก สีวัต สีกำมะถัน สีออกซิไดส์ สีโอเนียม สีรีแอคทีฟ สีโลหะและสีปีกเมนต์ แต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติและเปรียบเทียบความคงทนของสีย้อมที่ใช้ใน การย้อมเส้นใยไหม 2 ประเภท คือ สีย้อมประเภทเบสิก (Basics Dyes) และสีย้อมประเภทกรด หรือ สีย้อมแอซิด (Acids Dyes) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดสี

สีเป็นสิ่งสำคัญที่จะดึงดูดผู้บริโภคให้มีความสนใจตลอดจนตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์นั้น ๆ การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีสีทันและรูปลักษณะภายนอกตรงตามความต้องการของลูกค้าและมีสีที่สม่ำเสมอตลอดจนการพิจารณาตัดสินใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นั้นยังคงต้องใช้สายตามนุษย์ในการมองเห็นสีทั้งนั้น แต่การมองเห็นสีของมนุษย์ที่เกิดจากตาและสมองเป็นผู้บงการและการตัดสินใจของมนุษย์จะมีความแตกต่างกันไปขึ้นกับ เพศ อายุและประสบการณ์ เรียกว่า Subjective ดังนั้นเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อกำจัดความขัดแย้งเกี่ยวกับการมองเห็นสีในอุตสาหกรรมและเพื่อให้เป็นที่เข้าใจในระดับสากลจึงมีการพัฒนาการวัดสีเป็นระบบตัวเลขเรียกว่าเป็น Objective ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงมีการนำเครื่องมือและเทคนิคที่เป็นมาตรฐานมาใช้ในการวัดสี

2.6.1 ระบบการวัดสี [11]

โดยทั่วไปมนุษย์จะระบุลักษณะสีของวัตถุที่มองเห็นเป็น 3 ลักษณะ คือ

- HUE หมายถึง สีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีเขียว สีแดงและสีน้ำเงิน
- VALUE (Lightness) หมายถึง ความสว่างของสีโดยดูจากการสะท้อนแสงที่ต่างกันไป

- CHROMA (Saturation) หมายถึง ความสดใส ความเข้ม (Strength) หรือ ความบริสุทธิ์ของสี

ระบบการวัดสีที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมีหลายระบบ คือ ระบบ Munsell และระบบ Commission Internationale de l'Eclairage (CIE) ซึ่งระบบ CIE เป็นระบบการวัดสีที่ไม่ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความคิดเห็นมนุษย์ในการวัดสี (Objective) และการวัดสีได้ค่าเป็นตัวเลขแต่ในระบบ Munsell เป็นระบบที่บอกลักษณะและจัดลำดับสีโดยใช้ความนึกคิดและประสบการณ์ของผู้มองแต่ละคน (Subjective) ดังนั้นการวัดสีในระบบ CIE จึงมีข้อดี คือ

- เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคลทำให้ลดปัญหาขัดแย้งลงได้
- เป็นระบบการวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นถึงแม้ตัวอย่างจะซีดลงเนื่องจากกาลเวลาสามารถมีตัวเลขยืนยันว่าสีเดิมคือสีอะไร
- เป็นระบบที่สามารถคำนวณและทำนายสูตรสีผสมได้

เนื่องจากการวัดสีในระบบ CIE มีข้อดีดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้การวัดสีระบบนี้ในการวัดความแตกต่างของเส้นใยไหมตัวอย่างในแต่ละขั้นตอน ซึ่งระบบ CIE มีแนวคิดว่าปัจจัยในการมองเห็นของมนุษย์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสีและสายตามนุษย์ เครื่องมือการวัดสีในระบบนี้จึงประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

(ก) แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (Illuminants)

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการวัดสีนั้นเราสามารถวัดการกระจายพลังงานที่ตำแหน่งแต่ละความยาวคลื่น (Spectral power distribution, SPD) ได้โดยใช้เครื่อง Spectroradiometer

เนื่องจากการมองเห็นสีของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติจะแตกต่างกันโดยการมองเห็นสีของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติจะแตกต่างกันตามวัน เวลา ภูมิภาค ภูมิอากาศ ดังนั้นการตรวจสอบตัวอย่างสีในทางอุตสาหกรรมจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่สามารถทำการปรับเทียบมาตรฐานได้และมีคุณภาพของแสงที่คงที่ระบบ CIE จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงดังนี้ Illuminant A Illuminant B Illuminant C และ Illuminant D ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีการกระจายพลังงานแต่ละความยาวคลื่น (SPD) ใกล้เคียงกับแสงแดดตอนกลางวันเช่นกัน แต่จะแสดงแสงละเอียดตาม color temperature จากสีเหลืองจนถึงสีน้ำเงิน เช่น D55 D60 D65 และ D75

โดย D65 : D = Daylight

65 = Color temperature ของแสงแดดตอนกลางวัน 6500° K

D75 : D = Daylight

75 = Color temperature ของแสงแดดตอนกลางวัน 7500° K

Illuminant D ที่มีตัวเลขน้อยต่อท้ายจะมีสีออกเหลืองมากกว่าที่มีตัวเลขมากต่อท้ายและ Illuminant D ยิ่งมีตัวเลขมากเท่าไรก็ยิ่งจะมีสีออกฟ้าหรือน้ำเงินมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตาม Illuminant D 65 ก็เป็นที่นิยมใช้มากที่สุด

(ข) วัตถุที่มีสี

แสงที่สะท้อนออกมาจากวัตถุสามารถวัดออกมาเป็นตัวเลขได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Spectrophotometer ซึ่งจะวัดปริมาณการสะท้อนแสงของวัตถุเปรียบเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงได้ เป็น Reflectance curve ดังรูปที่ 12 วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี Reflectance curve ต่างกันเช่น

วัตถุสีขาว	แสงสะท้อนที่ทุกความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร
วัตถุสีน้ำเงิน	แสงสะท้อนมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 430-460 นาโนเมตร
วัตถุสีเขียว	แสงสะท้อนมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 500-530 นาโนเมตร
วัตถุสีเหลือง	แสงสะท้อนมากที่สุดที่ความยาวคลื่นของแสงสีเขียว เหลือง และแดง แต่จะมีการสะท้อนแสงต่ำมากที่สุดที่ความยาวคลื่นของแสงสีน้ำเงิน
วัตถุสีแดง	แสงสะท้อนมากที่สุดที่ความยาวคลื่น 620-700 นาโนเมตร
วัตถุสีดำ	มีการสะท้อนแสงต่ำมากที่สุดที่ทุกความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร

(ค) ผู้สังเกตการณ์มาตรฐาน

การวัดสีออกมาเป็นตัวเลขต้องสามารถหาปริมาณการตอบสนองของตามมนุษย์ต่อแสง สีแดง เขียวและน้ำเงินได้โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน คือ Wright และ Guild ได้ทำการทดลองโดยฉายแสงตัวอย่างตลอดความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร จากนั้นให้ผู้สังเกตการณ์ 17 คนมองผ่านช่องเล็ก ๆ และทำการเทียบสี (Color matching) แสงสีแดง เขียวและน้ำเงินที่ส่องมาผสมกันในปริมาณที่แตกต่างกันที่จอด้านบนกับแสงตัวอย่างที่จอด้านล่าง จากการทดลองสามารถนำมาหาค่าเฉลี่ยการตอบสนองของตามมนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง เขียวและน้ำเงินได้ค่าที่เรียกว่า CIE color-matching function curves 3 curves หรือเรียกว่า 2° 1931 CIE Standard

การมองวัตถุด้วยมุม 2° จะทำให้เห็นภาพได้ไม่สมบูรณ์เหมือนการมองวัตถุตามปกติในอุตสาหกรรม เนื่องจากการมองวัตถุด้วยมุมที่แคบเพียง 2° เท่านั้น ดังนั้นในปี 1964 จึงได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้งโดยทำการมองวัตถุที่มุมใหญ่ขึ้น คือ ที่มุม 10° ได้ค่าที่เรียกว่า 10° 1964 Standard Observer ซึ่งมีการตอบสนองต่อแสงสีน้ำเงินมากกว่าการมองวัตถุที่ 2°

2.6.2 การวัดความแตกต่างของสี (Color Differences)

แม้ว่าเราจะสามารถวัดสีออกมาเป็นตัวเลขได้ แต่การใช้ประโยชน์จากการวัดสีออกมาเป็นตัวเลขที่แท้จริง คือ การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานออกมาเป็นตัวเลข อย่างไรก็ตามการบอกความแตกต่างของสีโดยใช้ตามนุษย์ยังมีจุดอ่อนอยู่หลายประการคือ

- ตามนุษย์แต่ละคนจะมีความสามารถในการมองเห็นสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นกับประสบการณ์และการฝึกฝนของแต่ละคน ดังนั้นการบอกความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานจึงอาจมีความขัดแย้งด้านความคิดได้
- ตามนุษย์จะบอกความแตกต่างของสี ณ จุดต่าง ๆ บน Chromaticity Diagram ได้ไม่เท่ากัน
- ตามนุษย์จะปรับตัวให้เข้ากับสีที่ใกล้เคียงกันได้ง่ายมาก
- ความสามารถในการมองเห็นสีขึ้นกับแสงที่ส่องผิวหนังและขึ้นกับมุมที่สายตามองผิวหนังของวัตถุมีสี
- ตามนุษย์ไม่สามารถบันทึกค่าหรือบอกค่าที่แน่นอนว่าสีของตัวอย่างจะซีดได้มากน้อยเพียงใดเมื่อเวลาผ่านไป และสีเดิมเป็นอย่างไร

ดังนั้นการใช้เครื่องวัดสีเพื่อบอกความแตกต่างของสีตัวอย่างและสีมาตรฐานทำให้สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีมาตรฐานและเป็นการช่วยให้การตัดสินใจง่ายขึ้นลดความขัดแย้งระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายถ้าไม่มีการตกลงกันตั้งแต่ต้น ซึ่งความแตกต่างของสีที่วัดได้ควรเป็นตัวเลขที่สามารถบอกความแตกต่างของสี การยอมรับและบอกขนาดของความแตกต่างของสีได้เหมือนกับที่สายตามนุษย์มองเห็นค่าความแตกต่างของสีที่นิยมใช้ คือ CIELAB Color Difference Equation

CIELAB Color Difference Equation

การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานสามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง-เขียวและความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ดังรูปที่ 2.11 คือ

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

ถ้า $dL^* = +$ แสดงว่าตัวอย่างมีความสว่างมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (lighter)

ถ้า $dL^* = -$ แสดงว่าตัวอย่างจะมีดกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (darker)

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

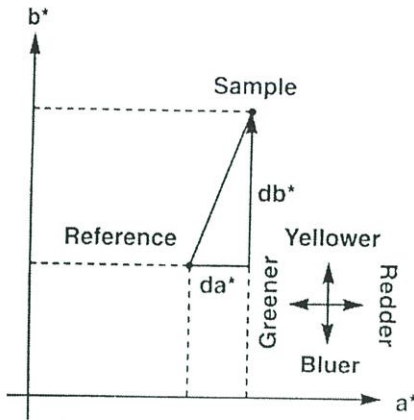
ถ้า $da^* = +$ แสดงว่าตัวอย่างแดงกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (redder)

ถ้า $da^* = -$ แสดงว่าตัวอย่างเขียวกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (greener)

$db^* = b^*$ ของตัวอย่าง - b^* ของตัวอย่างมาตรฐาน

ถ้า $db^* = +$ แสดงตัวอย่างเหลืองกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (yellower)

ถ้า $db^* = -$ แสดงว่าตัวอย่างน้ำเงินกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (bluer)

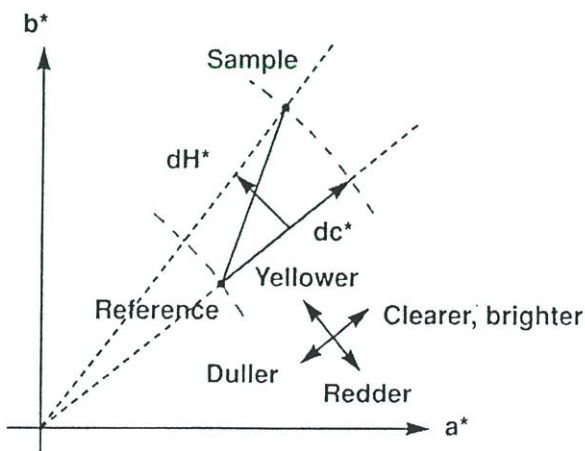


รูปที่ 2.10 ค่า da^* และ db^* ในระบบ CIELAB [12]

นอกจากบอกความแตกต่างด้วยค่า dL^* da^* และ db^* แล้วยังได้กำหนดให้มีค่าตัวเลขเดียวซึ่งแทนค่าความแตกต่างของสีระหว่างตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐาน (total color difference, dE^*)

$$\text{โดย } dE^* = (dL^{*2} + da^{*2} + db^{*2})^{1/2}$$

นอกจากนี้เรายังสามารถบอกความแตกต่างของสีให้สอดคล้องหรือใกล้เคียงกับที่ตามองเห็นในแง่ของสีที่ปรากฏและความสดใสของสีได้จากค่า dH^* และ dC^* ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 ค่า dH^* และ dC^* ในระบบ CIELAB [12]

$$\text{โดย } dE^* = (dL^{*2} + dC^{*2} + dH^{*2})^{1/2}$$

และ $dC^* = C^*$ ของตัวอย่าง - C^* ของตัวอย่างมาตรฐาน

การลอกกาวด้วยสบู่และเบสให้ความนุ่ม (Softness) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความรู้สึกเมื่อถู (Scrippy feel) ที่ดีกว่าการลอกกาวด้วยเอนไซม์ซึ่งให้เส้นใยที่เปราะและแข็งกว่า แต่ให้ความนุ่มและความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนการลอกกาวด้วยกรดและเอมีนทำให้ได้เส้นใยที่มีความนุ่มและความยืดหยุ่นปานกลาง นอกจากนี้การลอกกาวด้วยสบู่ เบสและเอมีนจะมีความสม่ำเสมอมากกว่าการลอกกาวด้วยกรดและเอนไซม์ซึ่งได้จากการสังเกตพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) การลอกกาวด้วยเอนไซม์และเอมีนจะแสดงความขาว (Whiteness) สูงสุดในขณะที่การลอกกาวด้วยสบู่และเบสให้ความขาวปานกลาง ส่วนการลอกกาวด้วยกรดยังคงมีสีเหลืองของไหมอยู่เนื่องจากการลอกกาวด้วยวิธีนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูง

Y. Kawahara และคณะ [14] ศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ผ่านการตกแต่งด้วยเมทาคริลามิเด (Methacrylamide, MAA) โดยการจุ่มเส้นใยไหมลงในสารละลายเมทาคริลามิเดที่มีความเข้มข้น 0.08 โมล/ลิตร โดยมีแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มและทำการทดลองที่อุณหภูมิ 50°C และเปลี่ยนแปลงระยะเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา พบว่าความแข็งแรงของเส้นใยไหมไม่เปลี่ยนแปลง แต่ความแข็ง (Rigidity) และค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Young's Modulus) มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อปริมาณพอลิเมอร์ (Polymer add-on) บนเส้นใยเพิ่มขึ้นและพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเมทาคริลามิเดเพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิดการตอ่กึ่งของพอลิเมทาคริลามิเดบนพื้นผิว

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยนี้ [15] ยังได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการบวมตัวของเส้นใยในส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Noncrystalline Region) ของเส้นใยไหมบ้าน (*Bombyx mori*) และไหมทุซซา (*Antheraea pernyi*) ที่ปรับปรุงด้วยเมทาคริลามิเดโดยองศาของการบวมตัว (Degree of Swelling) ในส่วนที่ไม่เป็นผลึกของเส้นใยซึ่งสามารถวัดได้จากการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ชนิดมุมแคบ (Small-angle x-ray scattering) แล้วทำการเทียบกับต้นแบบมาตรฐาน 2 แบบ คือ ต้นแบบในส่วนที่เป็นผลึกและต้นแบบในส่วนที่ไม่เป็นผลึกที่เกิดการบวมน้ำ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างเนื่องจากการตอ่กึ่งด้วยเมทาคริลามิเดโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ชนิดมุมกว้าง (Wide-angle x-ray diffraction) พบว่าเส้นใยของไหมบ้านแสดงส่วนที่บวมตัวของส่วนที่ไม่เป็นผลึกและปริมาณของพอลิเมทาคริลามิเดที่ตอ่กึ่งบนผิวของเส้นใยมากกว่าในไหมทุซซา แต่ไหมทุซซาซึ่งมีขนาดของผลึกที่เล็กกว่าไหมบ้านทำให้เส้นใยบางส่วนถูกทำลาย ในขณะที่การตอ่กึ่งมีผลทำให้ผลึกของเส้นใยไหมบ้านมีขนาดลดลงและยังพบว่าความเป็นเนื้อเดียวกันในส่วนที่เป็นเส้นใยกับพอลิเมทาคริลามิเดไม่ขึ้นกับขนาดของผลึก

M. Tsukada [16] ได้ทำการศึกษาโครงสร้าง ลักษณะพื้นผิวและสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมที่ผ่านการตอ่กึ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท (2-Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) และเมทาคริลามิเด (Methacrylamide, MAA) โดยเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโคมอนอเมอร์ และวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometry) เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (differential scanning calorimetry, DSC) และกล้อง

จุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเส้นใยที่ผ่านการดองด้วย HEMA/MAA ที่เปอร์เซ็นต์การดอง 60 % โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง HEMA:MAA คือ 20 % และ 80 % โดยน้ำหนัก ซึ่งจะแสดงเอนโดเทอร์มิกพีค (Endothermic peak) ที่อุณหภูมิ 280°C และ 420°C คือ อุณหภูมิการสลายตัวของ MAA และ HEMA ตามลำดับและพีคของอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยแสดงที่ 323°C สามารถสรุปได้ว่าความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างโมเลกุลไฟโบรอินของไหมกับ HEMA/MAA นั้นไม่ดี ส่วนความเป็นผลึกของเส้นใยไหมที่ผ่านการดองเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการดองมากกว่า 120 %

นอกจากนี้ M. Tsukada [17] ยังวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไหมที่ผ่านการดองด้วยเมทาคริโลไนไตรล์ (Methacrylonitrile, MAN) พบว่าความสามารถในการละลายของตัวอย่างในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และการดูดซับความชื้น (Moisture absorption) มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อมีการปรับปรุงด้วยเมทาคริโลไนไตรล์ ในขณะที่สมบัติทางแรงดึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง ส่วนตำแหน่งของเอนโดเทอร์มิกพีค (Endothermic peak) ที่แสดงอุณหภูมิในการสลายตัวของไฟโบรอินมีค่าสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มของพอลิเมทาคริโลไนไตรล์บนเส้นใยมากกว่า 25 % และเริ่มมีค่าคงที่ที่อุณหภูมิ 328 °C ที่ปริมาณของพอลิเมทาคริโลไนไตรล์มากกว่า 40 % ในส่วนของไดอะแกรมที่ได้จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ชนิดมุมกว้าง (Wide-range x-ray diffraction diagram) ของเส้นใยไหมที่มีปริมาณการเพิ่มของพอลิเมอร์บนเส้นใย 10 % แสดงการกระเจิงแสงสูงสุด ส่วนความเป็นผลึกของเส้นใยยังคงไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการปรับปรุงด้วยเมทาคริโลไนไตรล์

M. Tsukada [18] ศึกษาการดองเส้นใยไหมด้วยเมทาคริลาไมด์ (MAA) โดยใช้ไตรบิวทิลโบเรน (Tri-n-butylborane) เป็นตัวริเริ่มและทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (IR) เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ดัชนีหักเห (Refractive index) และสมบัติทางแรงดึง (Tensile property) ในการดองด้วยวิธีนี้ต้องทำการปรับปรุงเส้นใยไหมก่อน (Pretreatment) ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl₃) เพื่อปรับสภาพผิวของเส้นไหม จากแถบการดูดกลืน (Absorption band) ของเส้นใยที่ผ่านการดองด้วยเมทาคริลาไมด์ พบส่วนที่ซ้อนทับกันของโครงสร้างแบบเบต้า (β -structure) ของไฟโบรอินและพอลิเมทาคริลาไมด์ที่ดองลงบนเส้นใยเส้นใยไหมที่มีปริมาณพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น 140 % แสดงเอนโดเทอร์มิกพีค (Endothermic peak) ที่อุณหภูมิ 321°C และ 396°C นั่นคือ อุณหภูมิในการสลายตัวของไฟโบรอินและพอลิเมทาคริลาไมด์ที่ดองบนเส้นใยตามลำดับ จากการวัดดัชนีการหักเหของแสง พบว่าการจัดเรียงตัวของโมเลกุลและความเป็นผลึกของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการดองเพิ่มขึ้น ส่วนความแข็งแรงดึงของเส้นใยมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการดอง

M. Tsukada และคณะ [19] ศึกษาโครงสร้าง ลักษณะพื้นผิว สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติทางความร้อนและความสามารถในการติดสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอทอกซีเมทา

คริลเลท (Ethoxyethylmethacrylate, ETMA) ใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ 60-80°C และเวลา 0-90 นาที พบว่าการเพิ่มของพอลิเมอร์ (Polymer add-on) บนเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 60 นาที จากการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบลักษณะของแผ่น (Granule) ที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอของเอทอกซีเมทาคริลเลทโอลิโกเมอร์ (ETMA oligomer) บนพื้นผิวของเส้นใย และจากการวิเคราะห์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (IR Spectroscopy) แสดงให้เห็นแถบการดูดกลืน (Absorption band) ที่ซ้อนทับกันแสดงให้เห็นถึงความเหมือนกันของโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยเอทอกซีเมทาคริลเลท แสดงถึงการเกิดพอลิเมอร์เชชันของเอทอกซีเมทาคริลเลทในเมตริกซ์ของเส้นใยไหม และอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) สมบัติทางแรงดึงเมื่อผ่านการปรับปรุงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ความสามารถในการติดสีย้อมชนิดกรด (Acid dye) เพิ่มขึ้นมากเมื่อเกิดการพอลิเมอร์เชชันของเอทอกซีเมทาคริลเลทบนเส้นใยไหมเพิ่มขึ้น

M. Tsukada และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิ ชนิดของไวนิลมอนอเมอร์ คือ เมทาคริลลาไมด์ (MAA) และไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริลเลท (Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) ความเข้มข้นและชนิดของตัวริเริ่มที่มีผลต่อความเหลือง (Degree of yellowing) โดยทำการต่อกิ่ง (Grafting) ที่อุณหภูมิ 70 75 80 และ 88 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของตัวริเริ่ม 1-4 % พบว่าในการต่อกิ่งโดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate, APS) เป็นตัวริเริ่มเส้นใยไหมมีความเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวริเริ่มและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในการต่อกิ่งด้วย HEMA และที่อุณหภูมิ 70-88 องศาเซลเซียสไหมจะมีความเหลืองเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่ไหมที่ต่อกิ่งด้วย MAA ไม่แสดงความเหลือง การที่ไหมเป็นสีเหลืองเนื่องจากการใช้ความเข้มข้นของตัวริเริ่มมากและที่อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง (Higher reactivity) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขนาดใหญ่ (Macroradical formation) ทำให้เกิดเป็นไฮโปพอลิเมอร์โดยไม่เกิดการทำปฏิกิริยากับสายโซ่หลักของเส้นใยไหม

นอกจากนี้ M. Tsukada และคณะ [21] ได้ทำการศึกษาการต่อกิ่งของไหมกับมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ เมทาคริลลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) เมทิลเมทาคริลเลท (Methylmethacrylate, MMA) และไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริลเลท (Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) โดยใช้ตัวริเริ่มต่างกัน 3 ชนิด คือ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate, APS) เอโซบิสไอโซบิวทิโรไนไตรล์ (Azobisisobutyronitrile, AIBN) และสูดท่าย คือ เอโซบิสเมทิลโพรพิโอนามิดินไดไฮโดรคลอไรด์ (Azobismethylpropionamine dihydrochloride, ADC) พบว่าอัตราเร็วและความสามารถในการต่อกิ่งโดยใช้ตัวริเริ่มชนิดต่าง ๆ เรียงตามลำดับดังนี้ APS > AIBN > ADS ในขณะที่ความเหลืองของไหมมีเปลี่ยนแปลงดังนี้ APS > ADS > AIBN แต่ในกรณีที่ใช้ MAA เป็นมอนอเมอร์

ความเหลืองไม่พบการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ตัวริเริ่มทุกชนิด ในกรณีของความชื้น (Moisture regain) ของเส้นใยไหมขึ้นกับความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic/hydrophobic) ของมอนอเมอร์ที่ใช้ และไหมที่ต่อกิ่งโดยใช้ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลทและเมทาคริลาไมด์ที่มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากการเกิดโฮโมพอลิเมอร์มาเกาะที่พื้นผิว ในขณะที่การต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ทำให้เส้นใยที่มีพื้นผิวเรียบ

A.S. Bashar และคณะ [22] ศึกษาการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยยูรีเทนอะคริเลท (Urethane Acrylate, Ebocryl 264) ที่ต่างกัน 10 สูตร โดยใช้มอนอเมอร์ที่มี 1 หมู่ฟังก์ชันในการเกิดปฏิกิริยาตัวอื่น ๆ และสารเติมแต่งร่วมด้วย เส้นใยฝ้าย เรยอนและไหมที่ถูกปรับปรุงด้วยสูตรต่าง ๆ ถูกทำให้เกิดการเชื่อมโยงโดยการฉายรังสี UV เมื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล พบว่าความแข็งแรงดึงของฝ้าย ไหม และเรยอนเพิ่มขึ้น คือ ความแข็งแรงดึงของฝ้ายเพิ่มขึ้น 150 % ของไหมเพิ่มขึ้น 40 % ส่วนความสามารถในการยืดของฝ้ายเพิ่มขึ้น 380 % และไหมเพิ่มขึ้น 50 %

G. Freddi และคณะ [23] ทำการศึกษาโครงสร้าง สมบัติทางแรงดึง และสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมบ้านที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) และ 2-ไฮดรอกซีเมทาคริเลท (HEMA) ในตัวกลางที่เป็นน้ำโดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา ซึ่งมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถเตรียมเส้นใยที่มีปริมาณพอลิเมอร์บนเส้นใยได้ถึง 300 % โดยที่น้ำหนักของตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีในระบบการเกิดปฏิกิริยา โดยเกิดโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) เพียงเล็กน้อยในระบบที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ ในขณะที่มีปริมาณของโฮโมพอลิเมอร์ของพอลิไฮดรอกซีเมทาคริเลทเกิดขึ้นที่พื้นผิวของเส้นใยมากกว่า 70 % ซึ่งขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักของตัวอย่างเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้น (Moisture content) ของเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณในการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น แต่สภาวะในการต่อกิ่งที่รุนแรงเป็นผลให้เกิดการสลายตัวของเส้นใยบางส่วนส่งผลให้สมบัติทางแรงดึงและความขาวของเส้นใย (Degree of fiber whiteness) ลดลง เส้นใยหลังจากผ่านการต่อกิ่งมีค่าทนต่อการแตกหักสูงขึ้นเล็กน้อย การยืด ๓ จุดขาดลดลง แต่อุณหภูมิในการสลายตัวสูงขึ้น

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. เส้นใยไหมคิบพันธุ์ *Bombyx mori* (บริษัท จิมทอมป์สัน ประเทศไทย จำกัด)
2. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3 บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
3. โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3 บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
4. ไทริเอทิลเอมีน (Triethylamine, TEA บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
5. กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
6. สปันู (Span 60 บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
7. มอนอเมอร์เมทาคริลาไมด์ (Methacrylmid, MAA บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
8. มอนอเมอร์เมทิลเมทาไครเลท (Methylmethacrylate, MMA บริษัท Lab scan เกรดวิเคราะห์)
9. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammoniumpersulfate บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
10. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4 บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
11. น้ำกลั่น
12. ก๊าซไนโตรเจน
13. สีข้อมเบสิก (Lanasol Blue บริษัท Ciba Specialty Chemical Industry)
14. สีข้อมแอซิด (Lanaset Blue บริษัท Ciba Specialty Chemical Industry)
15. แอล-ฮิสติดีน โมโน-ไฮโดรคลอไรด์ โมโน-ไฮเดรต (1-histidinemono-hydrochloride mono-hydrate บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
16. โซเดียมคลอไรด์ (บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
17. โซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลองแบบมีฝาปิด
2. หลอดทดลอง
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. บีกเกอร์
5. ขวดวัดปริมาตร
6. ปากกิบ
7. แท่งแก้วคน

8. pH มิเตอร์
9. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
10. จานเพาะเชื้อ
11. ตู้อบ (Oven)
12. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
13. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
14. เดซิเคเตอร์ (Desiccator)
15. กล้องจุลทรรศน์ และไมโครสเกล
16. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
17. กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป (Polarized optical microscopy, รุ่น Optiphot-pol; Nikon)
18. เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument)
19. เครื่องคิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC-50 บริษัท Shimadzu)
20. เครื่องอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform infrared Spectroscopy, FTIR) : รุ่น FTIR Spectrum GX Perkin Elmer)
21. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น 2600 D (Spectrophotometer model 2600 D บริษัท Minolta)
22. เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก
23. เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ
24. เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนในการลอกกาวย ขั้นตอนในการต่อกิ่งไวนิลมอนอเมอร์ ขั้นตอนในการย้อมสีและขั้นตอนในการทดสอบสมบัติ ต่าง ๆ ดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนในการลอกกาว

1. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการลอกกาว
 - สารละลายกรดทาร์ตริกความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายไทโรเอทิลเอมีนความเข้มข้น 0.25 โมล/ลิตร

2. ผสมสารละลายที่ใช้ในการลอกกาวดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของสารละลายชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการลอกกาว

วิธี	กรดทาร์ทาริก (%)	โซเดียมคาร์บอเนต (%)	โซเดียมไบคาร์บอเนต (%)	ไตรเอทิลเอมีน (%)	สปู (Span 60) (g/l)
กรด	100	-	-	-	3
เอมีน	-	-	-	100	3
ต่าง	-	100	-	-	3
	-	-	100	-	3
	-	50	50	-	3

3. ชั่งเส้นใยไหมดิบ 1 กรัมด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งและจดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
4. แช่เส้นใยไหมลงในสารละลายที่เตรียมไว้ดังตารางที่ 3.1 แล้วนำไปผ่านกระบวนการลอกกาวโดยการต้มที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียสและเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในกระบวนการลอกกาวเป็นเวลา 20 30 40 และ 50 นาที
5. นำเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวแล้วล้างด้วยน้ำอุ่น 40-50 องศาเซลเซียสและนำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้ง ชับให้แห้ง ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปใส่ในเคซิเคเตอร์จนมีน้ำหนักที่แน่นอน จดบันทึกน้ำหนักหลังผ่านกระบวนการลอกกาว
6. หาความสามารถในการลอกกาวไหมของสารละลายชนิดต่าง ๆ ที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ โดยการคำนวณน้ำหนักที่หายไปของเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมในตอนเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาว

7. นำเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวแล้วมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ค่ามอดุลัส เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ แล้วจึงเลือกสารเคมี อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมให้ได้สมบัติทางแรงดึงสูงสุด
8. เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมแล้วนำไปทำการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ต่อไป

3.3.2 ขั้นตอนการตอ่กึ่งไวนิลมอนอเมอร์กับเส้นใยไหม

1. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใยไหม
 - เตรียมสารละลาย MAA 0.8 โมล/ลิตร
 - เตรียมสารละลาย MMA 0.8 โมล/ลิตร
 - เตรียมสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต 0.05 โมล/ลิตร
 - กรดซัลฟูริก
2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
3. เตรียมสารละลายที่ใช้ในกระบวนการตอ่กึ่งดังตารางที่ 3.1
4. เตรียมส่วนผสมดังตารางที่ 3.1 ปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 3
5. ใส่ในหลอดทดลองแบบมีฝาปิด โดยอัตราส่วนของเส้นใยกับสารละลายที่ใช้ในการตอ่กึ่งคือ 1: 100
6. นำไปผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 วินาทีแล้วปิดฝาให้สนิทเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการตอ่กึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของสารละลายที่ใช้ในการตอ่กึ่งไวนิลมอนอเมอร์

สูตรที่	แอมโมเนียม เปอร์ซัลเฟต (%)	สารละลาย MAA (%)	สารละลาย MMA (%)
1	1	100	0
2	1	75	25
3	1	50	50
4	1	25	75
5	1	0	100

7. นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ไปแช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ คือ อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส และเวลา 15 30 45 60 120 180 นาที
8. นำเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการตอ่กึ่งล้างด้วยน้ำอุ่น 40-50 องศาเซลเซียสและน้ำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้งเพื่อกำจัดไวนิลมอนอเมอร์ที่เหลือจากการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน หลังจากนั้นให้แห้ง และทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปใส่ในเคซิเคเตอร์จนมีน้ำหนักที่แน่นอนและจดบันทึกน้ำหนักหลังผ่านกระบวนการตอ่กึ่ง
9. คำนวณปริมาณของพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของเส้นใยไหม (Polymer add-on, G)

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมในตอนเริ่มต้น
 W_2 คือ น้ำหนักไหมหลังผ่านกระบวนการต่อกึ่ง

10. นำเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งแล้วมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ค่ามอดูลัส เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ แล้วจึงเลือกสารเคมี อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมให้ได้สมบัติทางแรงดึงสูงสุด

11. เมื่อได้สภาวะในการต่อกึ่งที่เหมาะสมแล้วนำไปศึกษาการย้อมติดสีต่อไป

3.3.3 ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยไหม

นำเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกขาวและหลังผ่านกระบวนการต่อกึ่งที่มีสมบัติดีที่สุดมาทำการย้อมติดสีโดยใช้สีย้อมชนิดแอซิดและสีย้อมชนิดเบสิก

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยไหมด้วยทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. นำเส้นใยไหมใส่ในหลอดทดลองที่มีฝาปิด
3. เตรียมส่วนผสมของน้ำย้อมที่จะใช้ในการย้อมดังตารางที่ 3.2 ในการย้อมใช้อัตราส่วนของน้ำย้อมต่อเส้นใยไหม คือ 30 : 1

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของสารละลายที่ใช้ในการย้อมสีเส้นใยไหม

น้ำย้อม	โซเดียมซัลเฟต (g)	โซเดียมคาร์บอเนต (g)	กรดแอซิดิก (g)	Lanasol Blue (g)	Lanaset Blue (g)
แอซิด	0.1	0	1	0	0.01
	0.1	0	1	0	0.03
เบสิก	0.1	0.1	0	0.01	0
	0.1	0.1	0	0.03	0

4. ปรับอุณหภูมิของน้ำย้อมให้มีอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส
5. นำเส้นใยไหมแช่แล้วเพิ่มอุณหภูมิของน้ำย้อมจาก 30 องศาเซลเซียส เป็น 90 องศาเซลเซียส ในเวลา 30-50 นาที
6. จากนั้นแช่เส้นใยไหมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
7. นำเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมแล้วแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ถ้าจนน้ำไม่เกิดการเปลี่ยนสี

8. นำเส้นใยไปล้างสีที่ไม่ยึดติดบนเส้นใยในน้ำสบู่เข้มข้น 1 กรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที

9. ล้างด้วยน้ำและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

10. จดบันทึกน้ำหนักของเส้นใยก่อนและหลังผ่านกระบวนการย้อมเพื่อหาความสามารถในการดูดซับสีระหว่างเส้นใยกับสีย้อม ดังนี้

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

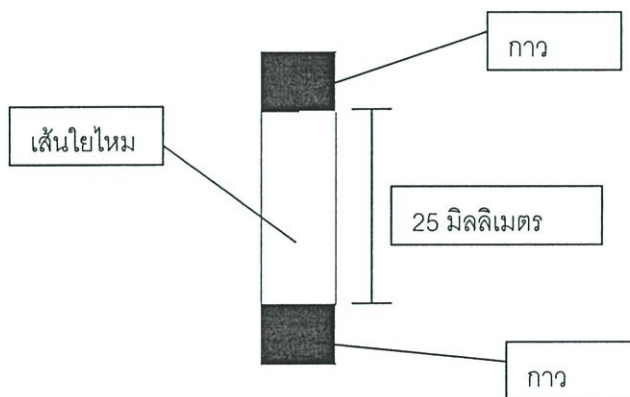
เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของเส้นใยใหม่ก่อนการย้อม

W_2 คือ น้ำหนักใหม่หลังผ่านกระบวนการย้อม

3.3.4 การทดสอบสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของเส้นใย

1. สมบัติทางแรงดึงของเส้นใย

ศึกษาความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืดและค่ามอดุลัสของเส้นใยใหม่ดิบ เส้นใยใหม่หลังผ่านกระบวนการลอกขาวและเส้นใยใหม่หลังผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยไวนิลมอนอเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบทางแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument) โดยใช้ความเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตร/นาที ระยะในการจับชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร โดยเตรียมตัวอย่างดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยใหม่เพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง [24]

2. ลักษณะพื้นผิวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยด้วยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

เตรียมตัวอย่างในการศึกษาโดยตัดเส้นใยเป็นเส้นสั้น ๆ ประมาณ 5 มิลลิเมตร 10 ชิ้นต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วนำไปวางบนกระจกสไลด์พร้อมทั้งปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ แล้วส่องด้วยกล้อง

โพลาริซไมโครสโคปเพื่อคุณลักษณะพื้นผิวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยไหม [25] โดยใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างและแต่ละตัวอย่างวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ตำแหน่งในการหาค่าเฉลี่ย

3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหม

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันในระดับโมเลกุลของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวย เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์และเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการย้อมติดสีโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy, IR) ในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 4000 cm^{-1} โดยตัดเส้นใยที่ต้องการวิเคราะห์ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนักโดยประมาณ 2 มิลลิกรัม นำไปบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium bromide, KBr) 200 มิลลิกรัม แล้วทำให้เป็นแผ่นโพแทสเซียมโบรไมด์ (ASTM D-276-87) [26]

4. อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหม

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวย เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์และเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimetry, DSC) โดยตัดตัวอย่างเป็นชิ้นเล็ก ๆ ให้น้ำหนัก 5 มิลลิกรัม ใส่ในภาชนะอลูมิเนียมบรรจุตัวอย่าง มีอัตราการให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาทีในช่วงอุณหภูมิ 60-400 องศาเซลเซียส

5. ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหม

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิว ภาควัดขวางของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวย เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยไวนิลมอนอเมอร์และเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยการนำตัวอย่างแต่ละชนิดผ่านการเคลือบด้วยทองคำมาตรฐาน แล้วนำไปส่องดูลักษณะของเส้นใยที่กำลังขยาย 200 เท่า

6. การทดสอบความสามารถในการติดสีของเส้นใยไหม [27]

ศึกษาความสามารถในการติดสีของเส้นใยไหม คือ ดูความแตกต่างของสีที่ย้อมติดเส้นใยไหมโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น 2600 D (Spectrophotometer model 2600 D) โดยเตรียมตัวอย่างเส้นใยแต่ละชนิดให้เรียงกับอย่างเป็นระเบียบมีความสม่ำเสมอ คือ กว้าง * ยาว เท่ากับ 30 * 40 มิลลิเมตร² ซึ่งผลที่ได้จะออกมาในรูปแบบของ $L^* a^* b^*$ และ c^* เป็นค่าที่แสดงถึงความแตกต่างของสี

โดย L^* ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$L = 0$ = วัตถุไม่มีสีดำ

$L = 100$ = วัตถุไม่มีสีขาว

a^* ใช้กำหนดสีแดง หรือสีเขียว

a เป็น + วัตถุมีสีออกแดง

a เป็น - วัตถุมีสีออกเขียว

b^* ใช้กำหนดสีเหลือง หรือสีน้ำเงิน

b เป็น + วัตถุมีสีออกเหลือง

b เป็น - วัตถุมีสีออกน้ำเงิน

7. ความคงทนของสีต่อการย้อม

ศึกษาความคงทนของสีย้อมต่อสภาวะต่าง ๆ เช่น ต่อสีต่อการซักฟอก ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทน โดยมีวิธีการดังนี้

7.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักฟอก (มอก. 121)

1. เตรียมผ้ามาตรฐานสีขาวสำหรับทดสอบซึ่งเป็นผ้าฝ้าย 1 ชั้น ผ้าไหม 1 ชั้นขนาด 4×10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน
3. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยตัวอย่างที่จะทดสอบให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่งได้
4. วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาวให้มีขนาดเท่าผ้ามาตรฐาน นำผ้าไหมและผ้าฝ้ายมาตรฐานในข้อ 1 มาประกบแล้วเย็บริมทั้งสี่ด้าน
5. เตรียมน้ำสบู่ที่ใช้ในการซักโดยใช้สบู่ 5 กรัมต่อน้ำกลั่น 1 ลิตร
6. วางชิ้นทดสอบลงในถ้วยซักเติมน้ำสบู่ที่เตรียมไว้ โดยกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างน้ำสบู่กับผ้าเป็น 50 ต่อ 1 ของน้ำหนัก
7. นำไปซักด้วยเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
8. นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องซัก ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้งแล้วล้างออกด้วยน้ำซึ่งไหลตลอดเวลา 10 นาที
9. บีบน้ำออกจากชิ้นทดสอบ และด้ายที่เย็บออก 3 ด้านโดยเว้นด้านสั้นไว้
10. ผึ่งชิ้นทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยกางผ้าสามชิ้นออกจากกัน

11. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน ประเมินค่าโดยใช้เกรย์สเกล

12. รายงานการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน

7.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (มอก. 121)

1. เตรียมผ้ามาตรฐานสีขาวสำหรับทดสอบซึ่งเป็นผ้าฝ้าย 1 ชิ้น ผ้าไหม 1 ชิ้นขนาด 4x10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง

2. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน

3. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยตัวอย่างที่จะทดสอบให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่งได้

4. วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาว นำผ้าขาวมาตรฐานในข้อ 1 มาประกบแล้ว เย็บริมด้านตรงข้าม 2 ด้าน

5. เตรียมสารละลายเหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบ โดยเตรียมสารละลายดังนี้

- เหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นกรด

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีน โมโน-ไฮโดรคลอไรด์ โมโน-ไฮเดรต (1-histidinemono-hydrongsaเชลเซียสทรอลิด โมโน-ไฮเดรต) 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 ลิตร แล้วทำให้มี pH 5.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัลในการปรับสภาวะของสารละลาย

- เหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีน โมโน-ไฮโดรคลอไรด์ โมโน-ไฮเดรต (1-histidinemono-hydrongsaเชลเซียสทรอลิด โมโน-ไฮเดรต) 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และผลึกไดโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วทำให้มี pH 8 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัลในการปรับสภาวะของสารละลาย

6. แข่งชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นในสารละลายเหงื่อแต่ละชนิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับชิ้นทดสอบคือ 50 ต่อ 1 ของน้ำหนักชิ้นทดสอบ

7. แก้วและบิบชิ้นทดสอบเป็นครั้งคราวเพื่อให้เปียกทั่วกัน

8. เทสารละลายออกแล้วใช้แท่งแก้วสองอันบิบสารละลายที่มีมากเกินพอกออก

9. วางชิ้นทดสอบระหว่างแผ่นแก้วขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร 2 แผ่น

10. นำไปใส่เครื่องทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ (Perspirometer) ปรับเครื่องให้แรงกดบนชิ้นทดสอบมีค่าเป็น 44 นิวตัน
11. นำเครื่องทดสอบเหงื่อความคงทนต่อใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 37+2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
12. นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยกางผ้า 3 ชั้นออกจากกัน
13. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและปริมาณสีที่ติดบนผ้าขาวโดยเปรียบเทียบกับเกรย์สเกล
14. รายงานผลเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน

7.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก) (มอก. 121)

1. เตรียมผ้าสีมาตรฐานซึ่งเป็นผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินที่ย้อมด้วยสีดั่งในตาราง โดยมีค่าความคงทนจากระดับต่ำสุด คือ 1 และสูงสุด คือ 8 แต่ละระดับจะมีค่าความคงทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (โดยประมาณ)
2. เตรียมชิ้นงานในการทดสอบแต่ละชิ้นให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยพันรอบกระดาษแข็ง
3. วางเรียงชิ้นทดสอบและผ้าสีมาตรฐานตามลำดับดังตารางที่ 3.3
4. ปิดแผ่นทึบแสงบนชิ้นทดสอบและผ้ามาตรฐาน
5. ประเมินอัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบโดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบกับผ้าสีมาตรฐาน

8. การวัดความสามารถในการดูดซับสีของเส้นใย [28]

การตรวจวัดหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสี (Percentage of Exhaustion) ทำได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเลต (Absorbance, A) ของน้ำย้อมก่อนและหลังการย้อมด้วยเครื่อง UV/VIS Spectrophotometer เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการดังนี้

$$\% \text{ Exhaustion} = 100 (1 - A_1/A_0)$$

เมื่อ A_0 คือ ค่า Absorbance ของน้ำย้อมก่อนการย้อม
 A_1 คือ ค่า Absorbance ของน้ำย้อมหลังการย้อม

ตารางที่ 3.3 สีที่ใช้ย้อมผ้าสีมาตรฐาน

อัตราความคงทน ต่อแสง	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.	

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหม โดยแบ่งการวิเคราะห์สมบัติของเส้นใยไหมในลักษณะต่าง ๆ คือ เส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติโดยการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (MAA) และเมทิลเมทาไครเลท (MMA) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยสีแอซิด (Acid Dye) และสีเบสิก (Basic Dye) โดยงานในแต่ละขั้นตอนได้ศึกษาสมบัติต่าง ๆ คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของเส้นใย ความสามารถในการลอกกาว (เปอร์เซ็นต์การลอกกาว, % Degumming) ความสามารถในการต่อกิ่ง (เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์, % Polymer Add-on) ความสามารถในการติดสีย้อม (Dyeability) สมบัติทางแรงดึง (Tensile Property) สัณฐานวิทยาของเส้นใย (Morphology) โดยการใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy, IR) และสมบัติทางความร้อน (Thermal Property) โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

4.1 กระบวนการลอกกาว

ปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของสารเคมี อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้มีผลต่อสมบัติของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาว ดังนั้นการวิเคราะห์ผลของการลอกกาวด้วยวิธีต่าง ๆ จึงควรพิจารณาจากปัจจัยหลายด้าน ได้แก่ ลักษณะของเส้นใย ความสามารถในการลอกกาวและสมบัติทางแรงดึง ได้แก่ ความแข็งแรงดึง ณ จุดคราก (Tensile Strength at Yield) เทนาซิตี (Tenacity) ความสามารถในการยืด (Elongation) และค่ามอดูลัสที่ 8 % (8 % Modulus) สัณฐานวิทยาของเส้นใย การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยและสมบัติทางความร้อน

4.1.1 ลักษณะของเส้นใย

จากการนำเส้นใยไหมดิบมาผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ คือ ไทโรเอทิลเอมีน กรดทาร์ทาริก โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตโดยใช้อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียสในช่วงเวลา 20 30 40 และ 50 นาที พบว่าลักษณะของเส้นใยจากเกณฑ์การวัดด้วยสายตาที่ได้ก่อนและหลังผ่านการลอกกาวนั้นมีลักษณะแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของเส้นใยก่อนและหลังผ่านกระบวนการลอกกาว

ชนิดของเส้นใย	ลักษณะของเส้นใย
เส้นใยไหมดิบ	เส้นใยไหมมีความแข็งแรงและหยابกระด้าง มีสีเหลืองเข้ม ไม่มีความเงางามและความสละสลวยของเส้นใย
เส้นใยไหมหลังการลอกกาวด้วยวิธีต่าง ๆ	
1. การลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริก	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์การลอกกาวต่ำ มีสีเหลืองเข้ม ความแข็งแรงและความหยابกระด้างสูง
2. การลอกกาวด้วยไทรเอทิลเอมีน	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวสูงมาก เส้นใยเป็นสีขาว มีความนุ่มและความมันเงาสูง แต่เส้นใยบางส่วนเกิดการแตกแยกออกจากกันทำให้เส้นใยมีลักษณะฟูในบางช่วง
3. การลอกกาวด้วยโซเดียมคาร์บอเนต	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์การลอกกาวสูง เส้นใยมีสีขาว แต่มีลักษณะแตกออกจากกันไม่เป็นระเบียบและค่อนข้างหยิกฟู
4. การลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์การลอกกาวค่อนข้างสูงและเส้นใยมีสีเข้มกว่าการลอกกาวด้วยโซเดียมคาร์บอเนต
5. การลอกกาวด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวค่อนข้างสูง เส้นใยเป็นสีเหลืองอ่อนจนเกือบขาวมีความมันเงาและความนุ่มสูง เส้นใยเกิดการแตกแยกออกจากกันเล็กน้อยทำให้เส้นใยมีลักษณะฟูเล็กน้อย

ลักษณะต่าง ๆ ของเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการลอกกาวสามารถอธิบายได้ดังนี้

- เส้นใยไหมดิบมีลักษณะแข็งแรงและหยابกระด้าง เนื่องจากไหมดิบมีองค์ประกอบหลักคือ ไฟโบรอินและเซรีซินหรือกาวไหม ซึ่งกาวไหมเป็นตัวเคลือบบนผิวของเส้นใยที่มีองค์ประกอบหลักคล้ายกับไผ่โบรอินแต่มีความเป็นระเบียบต่ำกว่ามาก [6] โดย

กาวใหม่มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองไม่มีความมันวาว ดังนั้นเส้นใยใหม่ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการลอกกาวจึงไม่แสดงความเงางามและความสวยงามของเส้นใย

- เส้นใยใหม่หลังผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกมีลักษณะแข็งกระด้าง และมีสีเหลืองมากแสดงถึงการลอกกาวที่ไม่ดี เนื่องการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกเกิดผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส [13] แต่ในการทดลองนี้ใช้ช่วงอุณหภูมิตดลอง 80-90 องศาเซลเซียสจึงทำให้การลอกกาวเกิดขึ้นไม่มากนัก แต่ความสามารถในการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกมีแนวโน้มสูงขึ้นมากที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากเส้นใยใหม่มีสีขาวยและนุ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการลอกกาวควรสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เส้นใยที่ได้จึงสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้
- เส้นใยใหม่หลังผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยไตรเอทิลเอมีนทำให้ได้เส้นใยสีขาวย ความนุ่ม และความมันเงาสูง แต่เส้นใยบางส่วนเกิดการแตกแยกออกจากกัน การที่เส้นใยมีลักษณะเช่นนี้เนื่องจากกาวใหม่ที่เคลือบผิวเส้นใยละลายออกมาในสารละลายไตรเอทิลเอมีนในปริมาณที่มาก ดังนั้นเส้นใยใหม่จึงแสดงลักษณะเด่น คือ ความเงา ความนุ่ม ความขาวออกมาได้ แต่การลอกกาวด้วยไตรเอทิลเอมีนมีข้อเสีย คือ สารเคมีที่ใช้มีกลิ่นของเอมีนแรงมากและความแรงของสารชนิดนี้ทำให้เส้นใยบางส่วนเกิดการแตกและเสียสภาพ
- เส้นใยใหม่หลังผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยสารเคมีจำพวกเบส คือ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตผสม โซเดียมไบคาร์บอเนต การลอกกาวโดยใช้สารเคมีทั้ง 3 ชนิดนี้ให้ผลในทำนองเดียวกัน คือ เส้นใยใหม่ที่ได้มีสีเหลืองอ่อนจนเกือบขาว ความมันเงาและความนุ่มสูง เส้นใยเกิดการแตกแยกออกจากกันเล็กน้อย การแตกของเส้นใยน้อยกว่าการลอกกาวด้วยไตรเอทิลเอมีน จากการลอกของกาวใหม่ให้ผลค่อนข้างดี คือ ใกล้เคียงกับการลอกกาวด้วยไตรเอทิลเอมีนเล็กน้อยสังเกตได้จากสีของเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสีขาวยของเส้นใยแสดงถึงความสามารถในการลอกกาวได้ เนื่องจากกาวใหม่มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง

4.1.2 ความสามารถในการลอกกาว

ในการนำเส้นใยใหม่ดิบไปใช้ต้องนำเส้นใยใหม่มาผ่านกระบวนการลอกกาวใหม่ที่เคลือบอยู่บนผิวของเส้นใยเพื่อเพิ่มความสามารถในการนำไปใช้งาน เนื่องจากการลอกกาวทำให้เส้นใยมีความนุ่มมากขึ้นและมีสีอ่อนลงจนขาว นอกจากนี้เส้นใยที่ยังไม่ผ่านกระบวนการลอกกาวมักมีสีเหลือง แข็งกระด้างและมีความยืดหยุ่นต่ำ เนื่องจากกาวใหม่ที่เคลือบบนผิวเส้นใยมีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการลอกกาวโดยนำเส้นใยใหม่มาลอก

กาวใหม่โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไทโรเอทิลเอมีน กรดทาร์ทาริก โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 20 30 40 และ 50 นาที เพื่อศึกษาถึงผลของ เวลา อุณหภูมิและ ชนิดของสารเคมี ต่อความสามารถในการลอกกาวของเส้นใยไหม โดยสังเกตจากเปอร์เซ็นต์การลอกกาว (% degumming) ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหาได้จากน้ำหนักที่ลดลงหลังผ่านกระบวนการลอกกาวเทียบกับน้ำหนักของเส้นใยไหมก่อนผ่านการลอกกาว

4.1.2.2 ผลของอุณหภูมิ

จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การลอกกาวโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 20 30 40 50 นาทีเพื่อศึกษาผลของชนิดสารเคมีและ อุณหภูมิต่อความสามารถในการลอกกาว พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ความสามารถในการลอกกาวของสารเคมีที่ใช้แต่ละชนิดให้แนวโน้มเดียวกัน คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การลอกกาวของเส้นใยเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิในการลอกกาว 100 องศาเซลเซียสให้ผลในการลอกกาวสูงที่สุด ซึ่งเห็น ได้ชัดในกรณีของการลอกกาวโดยใช้กรดทาร์ทาริก คือ เปอร์เซ็นต์การลอกกาวที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสมีค่ามากกว่า การลอกกาวที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากการลอกกาวด้วยกรดเกิดผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง [4] และ เส้นใยไหมเกิดจากพันธะเปปไทด์ของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ซึ่งหมู่อะมิโนที่ประกอบกันเป็นเส้น ใยไหมนั้นสามารถแตกตัวได้สารที่มีสมบัติเป็นกรด เมื่อเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดปฏิกิริยาได้ดีกับ สารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส สำหรับกรณีของไทโรเอทิลเอมีนซึ่งเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวมี แนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ช่วงเวลา เนื่องจากการลอกกาวด้วย ไทโรเอทิลเอมีนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาทีเกิดการละลายของกาวใหม่จนเกือบ หมด ซึ่งพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์การลอกกาวที่สูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงมี ผลต่อความสามารถในการลอกกาวด้วยไทโรเอทิลเอมีนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับการลอกกาว ด้วยสารละลายเบสของโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่าง โซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตให้ผลของความสามารถในการลอกกาวเหมือนกัน คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.1.2.1 ผลของเวลา

จากการนำข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การลอกกาวที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟเพื่อศึกษาผล ของเวลาที่มีต่อความสามารถในการลอกกาวของสารเคมีแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ กัน คือ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.1 พบว่ามีแนวโน้มเดียวกัน คือ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ในการ ลอกกาวของเส้นใยเพิ่มขึ้นเนื่องจากการที่เวลาเพิ่มมากขึ้นทำให้กาวใหม่ที่เคลือบบนผิวเส้นใยมี

เวลาในการทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ใช้มากขึ้นทำให้กาวใหม่สามารถละลายออกมาได้มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด [4] ยกเว้นในกรณีของไตรเอทิลเอมีนซึ่งเวลาในการลอกกาวที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวเปลี่ยนแปลงไปเพราะการลอกกาวเส้นใยใหม่ด้วยไตรเอทิลเอมีนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาทีทำให้เกิดการลอกกาวของเส้นใยจนเกือบหมดสังเกตจากเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวที่สูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองเพื่อหาปริมาณของกาวใหม่ทั้งหมดในเส้นใยใหม่พบว่าปริมาณของกาวใหม่ทั้งหมดอยู่ในช่วง 28-30 เปอร์เซ็นต์ [2] (จากการทดลองโดยการนำเส้นใยใหม่คืบมาผ่านกระบวนการลอกกาวเป็นเวลา 24 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยใช้ไตรเอทิลเอมีน) เนื่องจากการลอกกาวนั้นเกิดจากการละลายของกาวใหม่ซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับไฟโบรอินอยู่ปริมาณหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการลอกกาวด้วยไตรเอทิลเอมีนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาทีจึงเป็นสถานะที่สามารถลอกกาวจากเส้นใยใหม่ได้หมด ส่วนในกรณีของการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกเมื่อเวลาในการลอกกาวเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวเล็กน้อยเช่นเดียวกับในกรณีที่ลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต

4.1.2.3 ผลของชนิดสารเคมี

เมื่อเปรียบเทียบผลของสารเคมีแล้วพบว่าสารเคมีแต่ละชนิดมีแนวโน้มในการลอกกาวของเส้นใยใหม่ในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ เส้นใยที่ผ่านกระบวนการลอกกาวในช่วงอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียสด้วยไตรเอทิลเอมีนแสดงเปอร์เซ็นต์การลอกกาวสูงที่สุด โดยอยู่ ส่วนเส้นใยที่ผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกในช่วงอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียสมีเปอร์เซ็นต์การลอกกาวต่ำที่สุด คือ ในช่วง 1-20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตให้เปอร์เซ็นต์การลอกกาวใกล้เคียงกันและมีค่าค่อนข้างสูง คือ ในช่วง 17-26 เปอร์เซ็นต์

การลอกกาวด้วยไตรเอทิลเอมีนนั้นให้เปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวของเส้นใยใหม่สูงที่สุดเนื่องจากไตรเอทิลเอมีนเป็นสารเคมีจำพวกเอมีนที่มีค่า pH สูงถึง 10.7 ดังนั้นความเป็นเบสของสารละลายจึงสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกับหมู่ที่แสดงความเป็นกรดของกรดอะมิโนในสายโซ่เปปไทด์ของเส้นใยใหม่จึงเป็นผลให้กาวใหม่ที่เคลือบอยู่บนผิวของเส้นใยใหม่สามารถละลายออกมาในสารเคมีที่ใช้ในการลอกกาวได้ดี [4] ส่วนการลอกกาวด้วยสารเคมีจำพวกเบส ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต และสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต การลอกกาวเกิดขึ้นผ่านหลักการละลายของกาวใหม่ในสารละลายเช่นเดียวกับในกรณีของไตรเอทิลเอมีนและในทุก ๆ กราฟแสดงความสัมพันธ์นั้น พบว่าความสามารถในการลอกกาวโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตสูงกว่าการลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต เนื่องจากโซเดียมคาร์บอเนตเป็นเบสแรงกว่าโซเดียมไบคาร์บอเนตจึงมีความสามารถในการแตกตัวให้ไฮดรอกไซด์

ไอออนได้ดีกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การลอกกาวจึงมีค่าสูงกว่า สำหรับการลอกกาวด้วยสารเคมีจำพวกกรด คือ กรดทาร์ทริกนั้นให้ผลในการลอกกาวต่ำที่สุดที่ทุก ๆ อุณหภูมิในการลอกกาว เนื่องจากกระบวนการไฮโดรไลซิสนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในการเกิดปฏิกิริยาได้ดี [4] ดังนั้นในการลอกกาวโดยการใช้กรดทาร์ทริกนั้นจึงให้ผลในการลอกกาวที่ดีที่อุณหภูมิสูง

จากการวิเคราะห์ผลของเวลา อุณหภูมิและชนิดของสารเคมีจึงพบว่าแนวทางในการเลือกใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ โดยดูจากเปอร์เซ็นต์การลอกกาวสูงสุดที่ได้โดยใช้อุณหภูมิและเวลาน้อยที่สุดดังตารางที่ 4.2

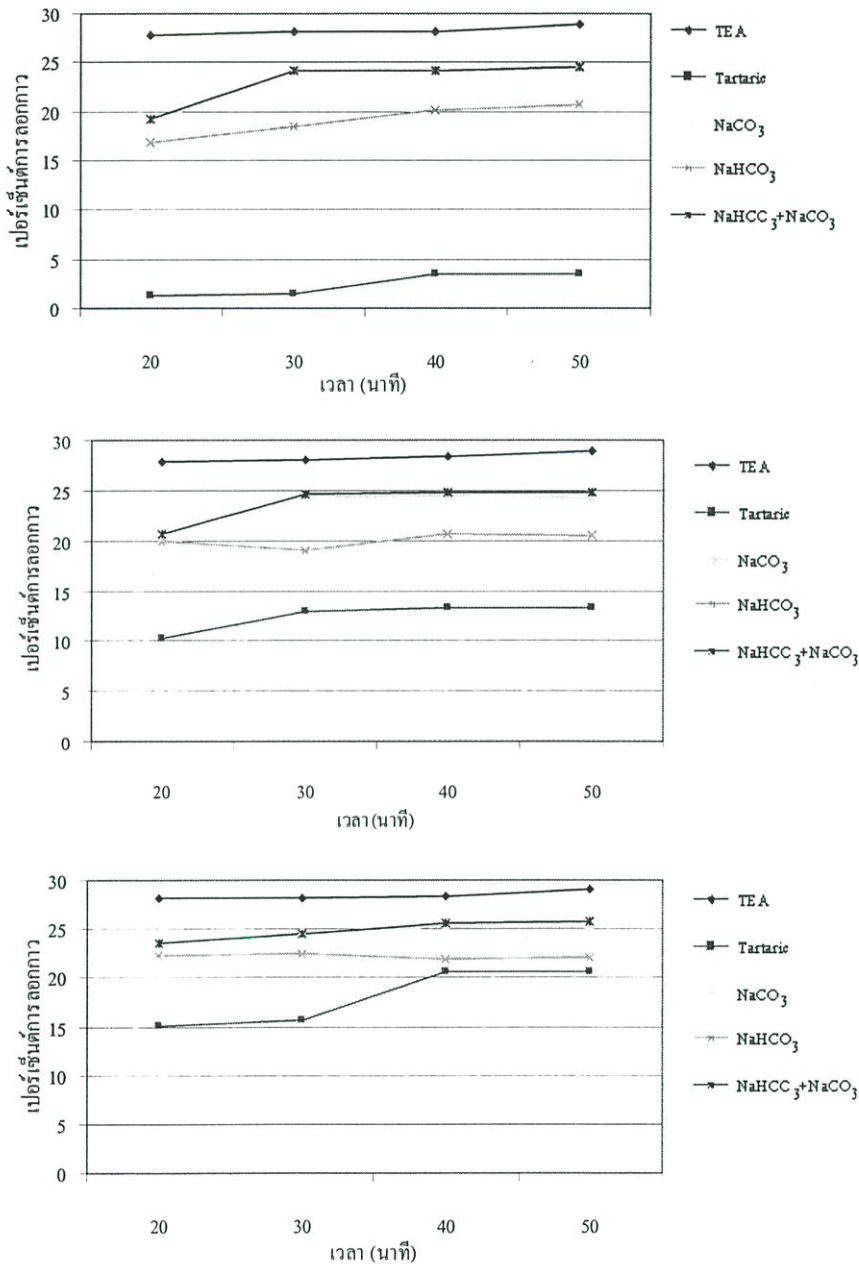
ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวสำหรับสารเคมีชนิดต่าง ๆ

สารเคมี	อุณหภูมิ(องศาเซลเซียส)	เวลา (นาที)
ไตรเอทิลเอมีน	80	20
กรดทาร์ทริก	> 100	30-40
โซเดียมไบคาร์บอเนต	80	40
โซเดียมคาร์บอเนต	80	30
โซเดียมไบคาร์บอเนตผสมกับ โซเดียมคาร์บอเนต	80	30

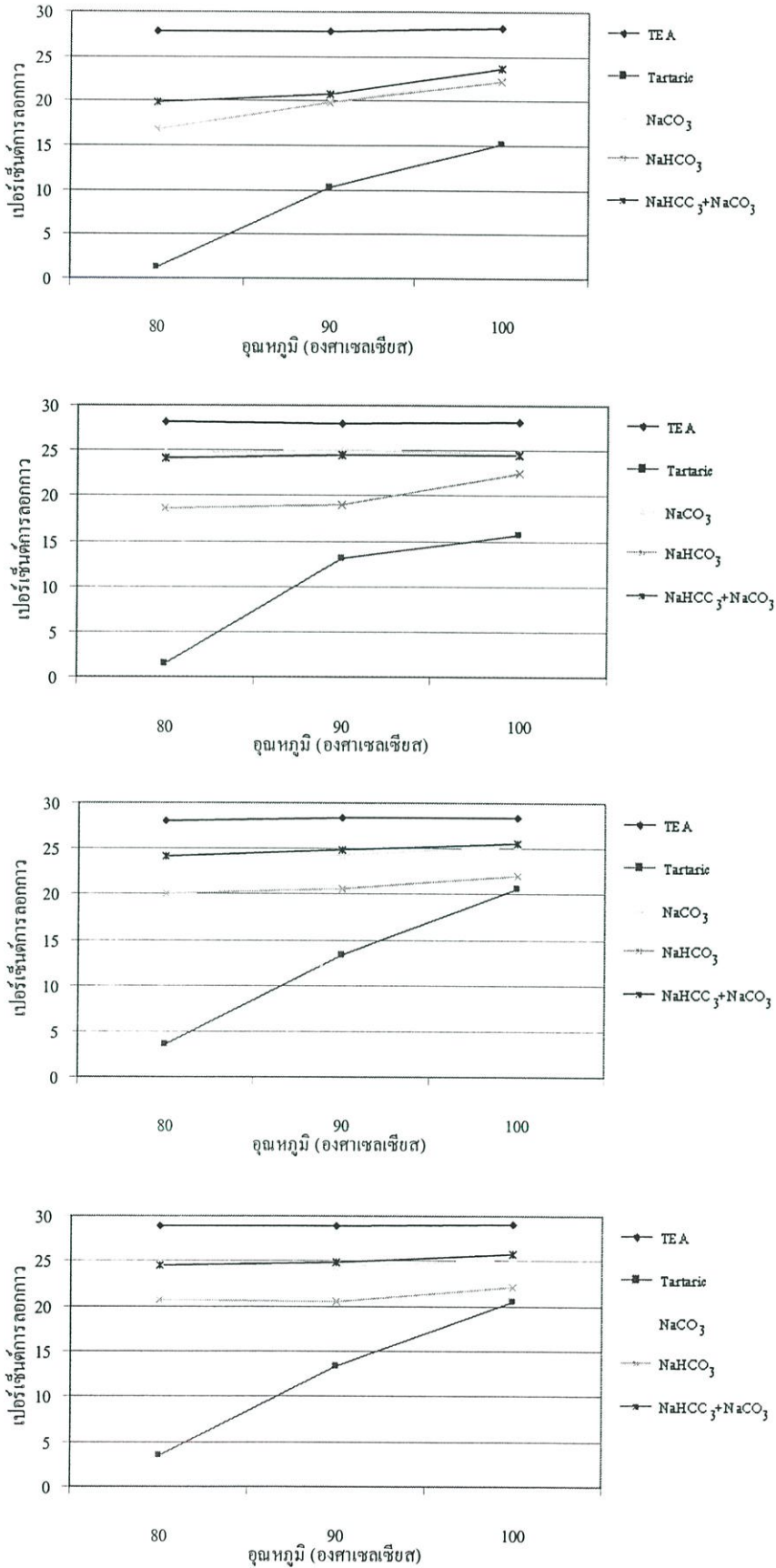
4.1.3 สมบัติทางแรงดึง

จากการนำเส้นใยไหมดิบมาผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ โดยทำการลอกกาวที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ นั้น ได้นำเส้นใยไหมที่ลอกกาวแล้วมาศึกษาสมบัติทางแรงดึง จากเครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Tensile tester) ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความสามารถในการยืด (Elongation) ค่ามอดุลัส (Modulus) และเทนาซิตี (Tenacity) ซึ่งในงานวิจัยและอุตสาหกรรมทางด้านเส้นใยและสิ่งทอนิยมนำค่าเทนาซิตีมาใช้เป็นค่าในการเปรียบเทียบความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ได้จากแต่ละสถานะแสดงสมบัติของเส้นใยที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงดึงและเทนาซิตีแสดงความแข็งแรงของเส้นใยซึ่งหาได้จากการวัดแรงดึงที่ทำให้เส้นใยขาดออกจากกันโดย 2 ค่านี้มีความแตกต่างกัน คือ ความแข็งแรงดึงเป็นการวัดแรงต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วย คือ เมกะปาสกาล (MPa) ส่วนค่าเทนาซิตีเป็นการวัดแรงที่ใช้ในการดึงต่อน้ำหนักของเส้นใยมีหน่วยเป็นกรัมต่อเดนิเยร์ (g/denier) เพื่อลดปัญหาในเรื่องของความไม่สม่ำเสมอของเส้นใย สำหรับความสามารถในการยืดซึ่งหาได้จากระยะของการยืดออกในทิศทางที่ได้รับแรงดึงมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ในการยืด (% elongation) ส่วนค่ามอดุลัสแสดงถึงความแข็งแรงกระด้างของเส้นใยโดยวัดความต้านทานต่อแรงดึงจากอัตราส่วนของความแข็งแรงดึงต่อความเครียดมีหน่วย

เป็นเมกะปาสกาล (MPa) สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านการลอกกาวนำมาเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมหลังลอกกาวโดยศึกษาถึงผลของชนิดสารเคมี อุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติทางแรงดึงเพื่อให้ได้ชนิดของสารเคมี อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวให้ได้เส้นใยไหมไหมที่มีสมบัติทางแรงดึงดีที่สุด



รูปที่ 4.1 ความสามารถในการลอกกาวในเวลาต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ (ก) 80 องศาเซลเซียส (ข) 90 องศาเซลเซียสและ (ค) 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน โดยรูป (ก) ที่เวลา 20 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที และ (ง) 50 นาที

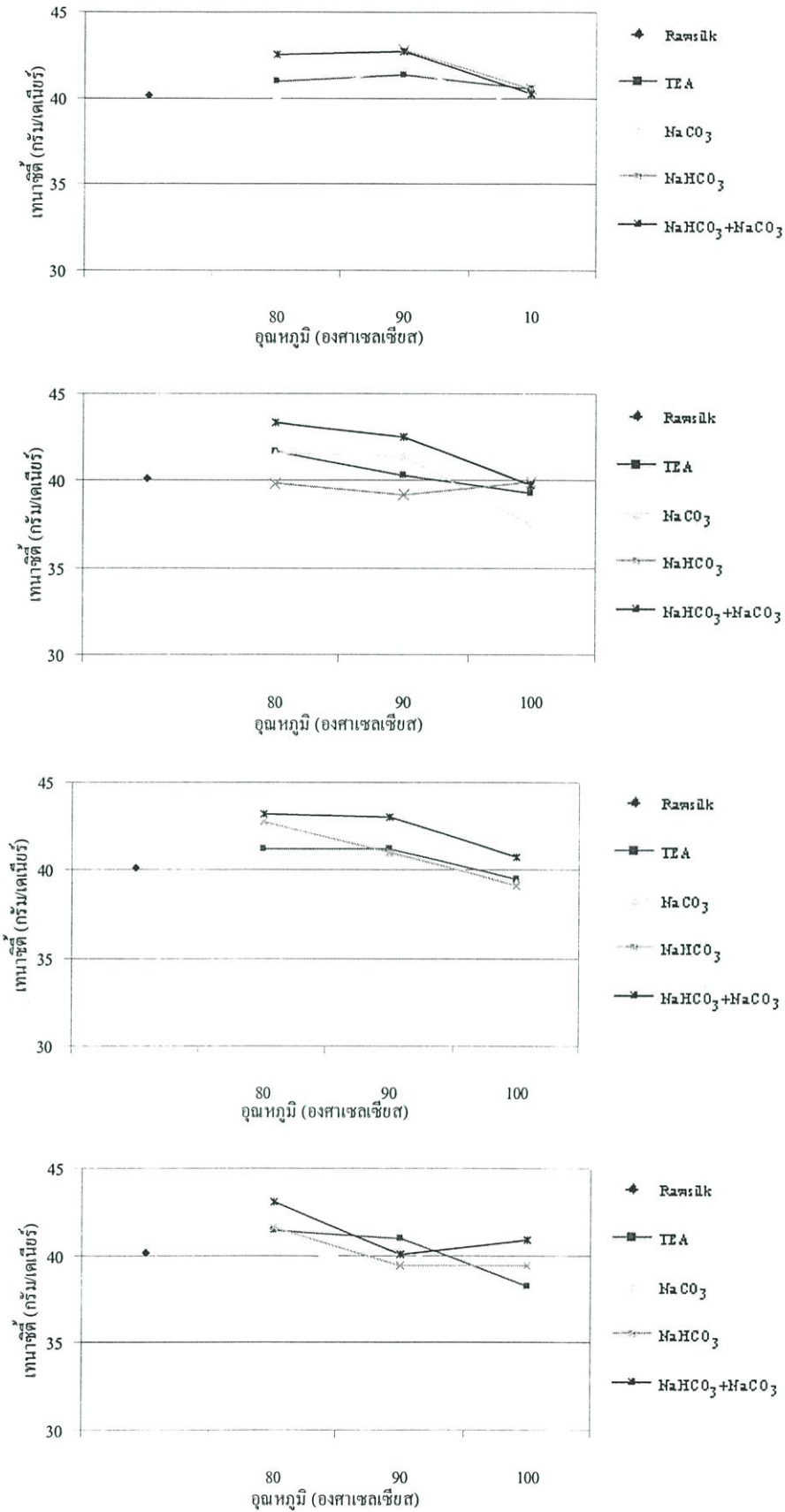
4.1.3.1 ผลของอุณหภูมิ

(ก) เทนาซิตี (Tenacity)

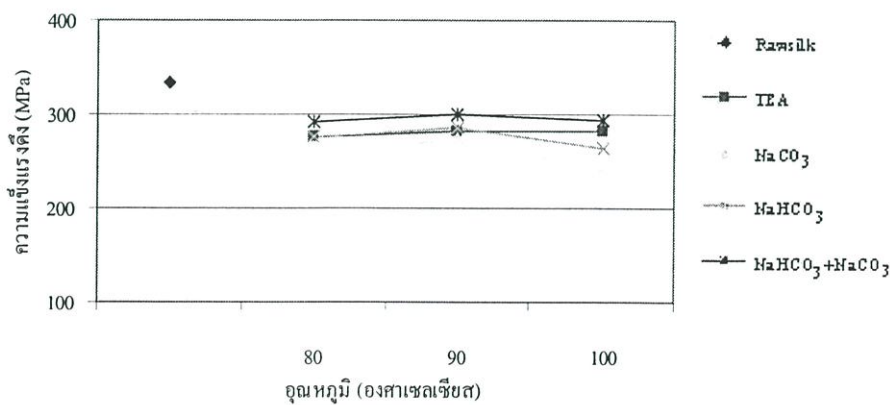
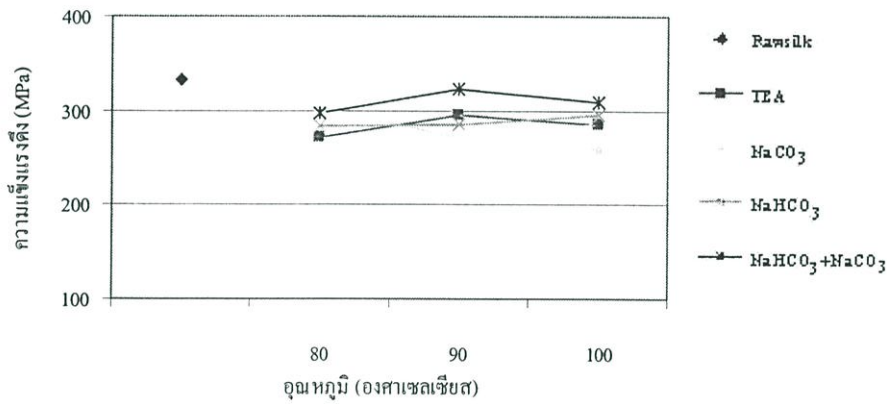
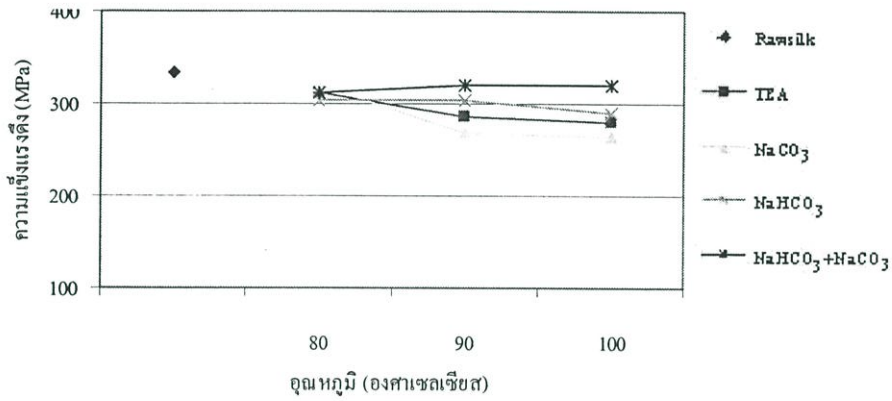
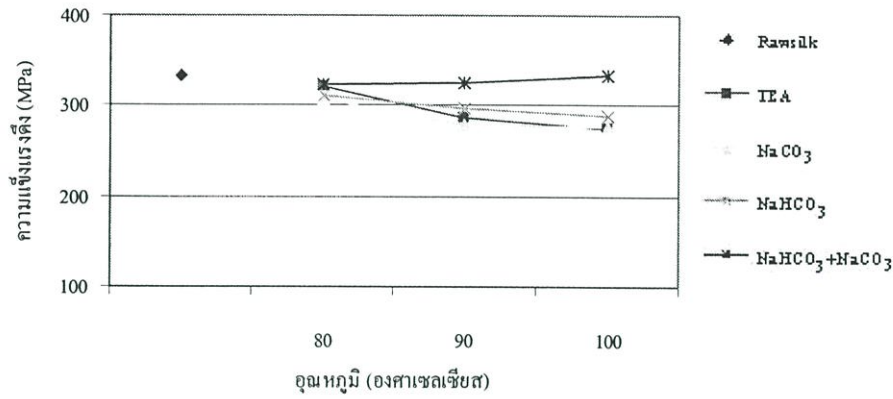
จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางแรงดึงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทนาซิตีกับอุณหภูมิของสารเคมีแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.3 พบว่าค่าเทนาซิตีของเส้นใยไหมดิบมีค่า 40 กรัม/เดเนียร์ ส่วนเทนาซิตีของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากค่าเทนาซิตีเป็นค่าแสดงความแข็งแรงของเส้นใยเทียบกับน้ำหนักเส้นใยไหม โดยการลอกกาวทำให้น้ำหนักของเส้นใยหายไป 20-28 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นใยไหมดิบ ในขณะที่แรงที่ใช้ในการดึงเพื่อให้เส้นใยไหมขาดลดลงเล็กน้อยจึงส่งผลให้เทนาซิตีของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นและค่าเทนาซิตีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาวสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิในการลอกกาว 100 องศาเซลเซียสค่าเทนาซิตีลดลงต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเส้นใยไหมเป็นเส้นใยโปรตีนธรรมชาติที่มีองค์ประกอบหลักสำคัญ 2 ชนิด คือ ไหม หรือ ไฟโบรอินและกาวไหม หรือ เซรีซิน ดังนั้นเมื่อนำเส้นใยไหมผ่านกระบวนการลอกกาวโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นส่วนที่สามารถละลายออกมาได้ดีจึงเป็นส่วนของกาวไหมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อส่วนของไฟโบรอิน ในการลอกกาวต้องทำที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้เส้นใยไหมที่มีความสามารถในการลอกกาว หรือ เปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวสูง แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปนอกจากจะได้เปอร์เซ็นต์การลอกกาวที่สูงแล้วอาจส่งผลกระทบต่อส่วนไฟโบรอิน คือ ทำให้ไฟโบรอินบางส่วนถูกทำลายมีผลให้เทนาซิตีของเส้นใยลดลงได้ [2] ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของเส้นใยที่เปลี่ยนแปลง คือ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสมีเส้นใยไหมบางส่วนขาดออกจากกันทำให้เส้นใยไหมมีลักษณะพองฟูเป็นผลให้ค่าความทนแรงดึงของเส้นใยลดลงจึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการลอกกาวแล้วทำให้เส้นใยไหมมีความแข็งแรงดีที่สุดอยู่ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส

(ข) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

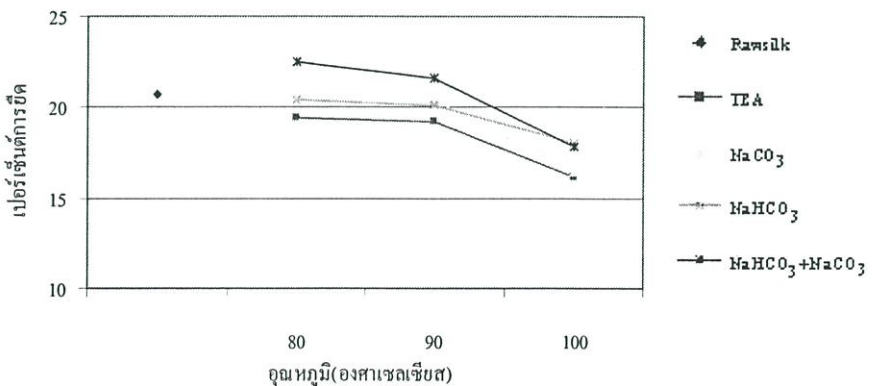
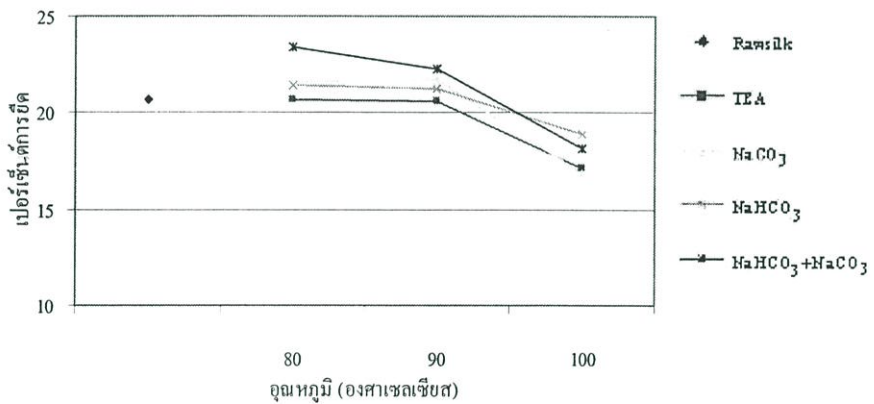
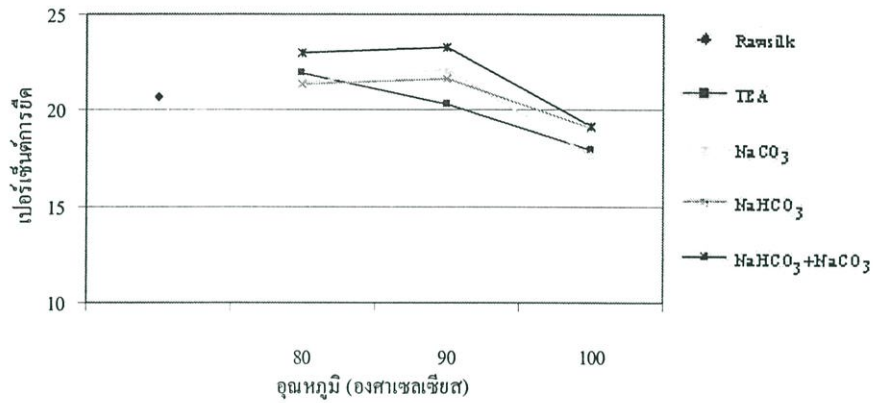
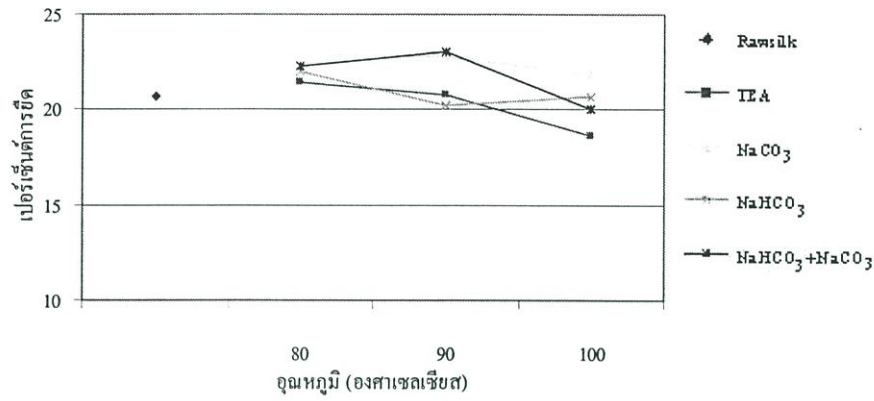
จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางแรงดึงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิของสารเคมีแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมดิบมีค่า 333 MPa ส่วนค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาวสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสเนื่องจากแรงที่ใช้ในการดึงเส้นใยไหมลดลงในสัดส่วนที่มากกว่าการลดลงของพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยไหม แต่ที่อุณหภูมิในการลอกกาว 100 องศาเซลเซียส ค่าเทนาซิตีลดลงต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในกราฟเช่นเดียวกับแนวโน้มที่กล่าวมาแล้วในเรื่องของค่าเทนาซิตี



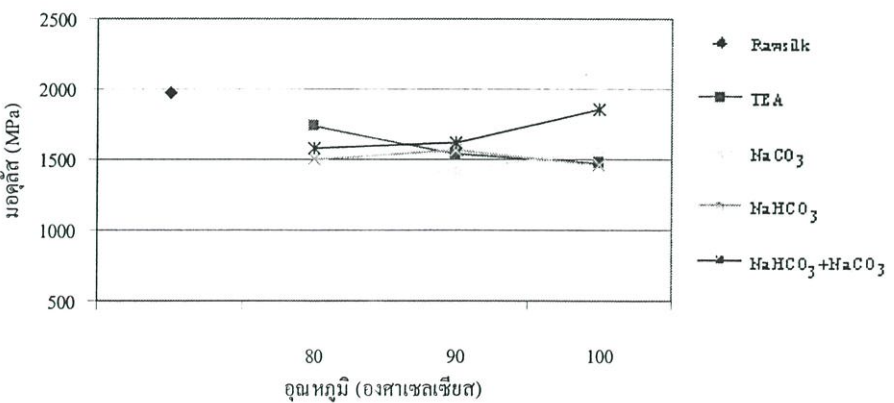
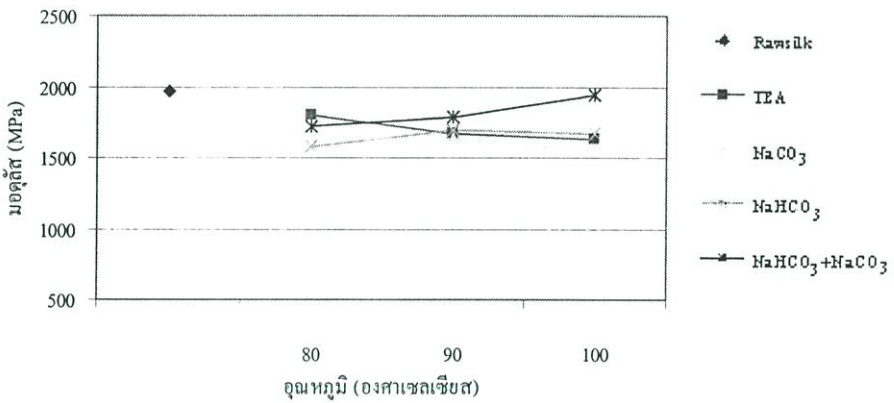
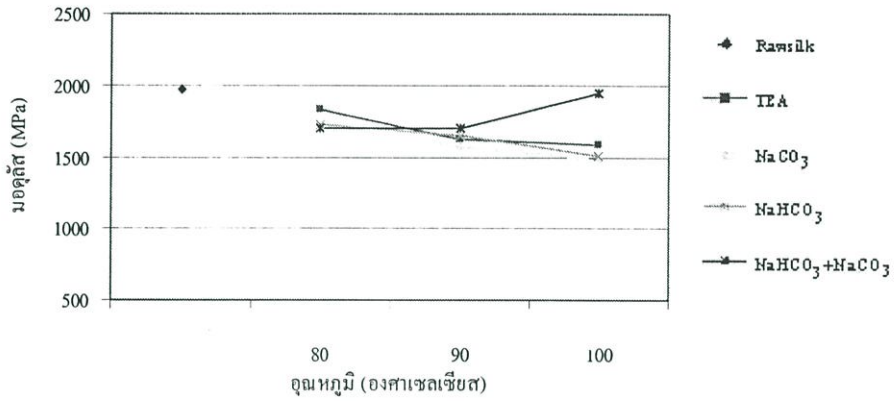
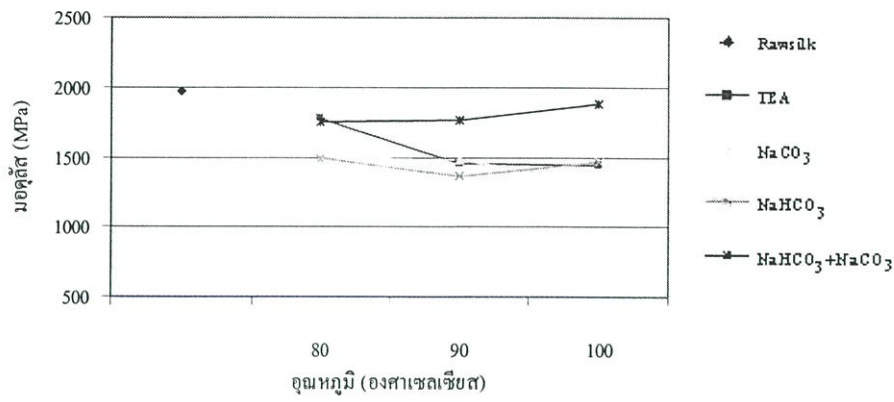
รูปที่ 4.3 เทนาซี้ดของเส้นใยไหมหลังจากการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ (ก) ที่เวลา 20 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที และ (ง) 50 นาที



รูปที่ 4.4 ความแข็งแรงดึงของเส้นไหมหลังจากการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ (ก) ที่เวลา 20 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที และ (ง) 50 นาที



รูปที่ 4.5 ความสามารถในการยืดของเส้นไหมหลังจากการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ (ก) ที่เวลา 20 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที และ (ง) 50 นาที



รูปที่ 4.6 มอดูลัสของเส้นใยไหมหลังจากการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ (ก) ที่เวลา 20 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที และ (ง) 50 นาที

(ค) ความสามารถในการยืด (Elongation)

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่าความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการลอกกาวสูงขึ้น กล่าวคือ ความสามารถในการยืดของเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสมีค่าสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการลอกกาวสูง คือ 100 องศาเซลเซียสค่าความสามารถในการลอกกาวดังแสดงในรูปที่ 4.5 มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากกาวไหมมีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองทำให้เส้นใยไหมมีความแข็งแรงและความสามารถในการยืดต่ำ ดังนั้นการลอกกาวเป็นกระบวนการที่ละลายกาวไหมที่เคลือบอยู่ที่ผิวของไฟโบรอินออกเป็นผลให้เส้นใยไหมมีความสามารถในการยืดสูงขึ้นเพราะกาวไหมที่เคลือบผิวเส้นใยอยู่นั้นไปขัดขวางการส่งผ่านแรงดึงของเส้นใยทำให้ความสามารถในการกระจายแรงของเส้นใยทำให้ความสามารถในการยืดต่ำ เมื่อทำการลอกกาวที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส กาวไหมละลายออกไปทำให้เส้นใยมีความสามารถในการกระจายแรงมากขึ้น ความสามารถในการยืดจึงสูงขึ้นด้วย แต่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสค่าความสามารถในการยืดลดลงเพราะอุณหภูมิที่สูงเกินไปนั้นอาจมีผลทำให้ไฟโบรอินบางส่วนถูกทำลายเกิดการเสียหายของเส้นใย [2] เนื่องจากการลอกกาวนั้นมีสภาวะที่เหมาะสมสภาวะหนึ่งซึ่งในการทดลองนี้ อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส

(ง) ค่ามอดูลัสที่ 8 % (% Modulus)

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสกับอุณหภูมิของสารเคมีแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.6 พบว่าค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมก่อนผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่า 1970 MPa และค่ามอดูลัสของเส้นใยหลังผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่าน้อยกว่าค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมดิบประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการลอกกาวนั้นมีกาวไหมที่มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเหลืองเคลือบอยู่ทำให้ไหมมีความสามารถในการต้านแรงดึงสูงแต่ความสามารถในการยืดต่ำ ค่ามอดูลัสจึงสูงด้วยเนื่องจากค่ามอดูลัสเป็นอัตราส่วนของความแข็งแรงดึงต่อความเครียด ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาวสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เนื่องจากเส้นใยไหมมีความสามารถในการต้านแรงดึงลดลงเล็กน้อยแต่ทำให้ความสามารถในการยืดเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นมอดูลัสของเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวจึงลดลง แต่การลอกกาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสให้ค่ามอดูลัสสูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวที่ 80-90 องศาเซลเซียสและมีค่าใกล้เคียงกับค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมดิบ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกิน 100 องศาเซลเซียสทำให้ไฟโบรอินบางส่วนในเส้นใยถูกทำลาย [2] เส้นใยไหมมีความสามารถในการต้านแรงดึงลดลงเล็กน้อยแต่ความสามารถในการยืดลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูปที่ 4.6 จึงเป็นผลให้ค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการลอกกาแล้วทำให้เส้นใยไหมมีค่ามอดูลัสที่ดีที่สุด คือ 80-90 องศาเซลเซียส

4.1.3.2 ผลของเวลา

(ก) เทนาซิตี (Tenacity)

ความสัมพันธ์ระหว่างเทนาซิตีกับเวลาของสารเคมีแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.7 พบว่าแนวโน้มของกราฟในรูปที่ 4.7 มีแนวโน้มเดียวกัน คือ เทนาซิตีของเส้นใยหลังจากผ่านกระบวนการลอกกามีค่าสูงกว่าเทนาซิตีของเส้นใยไหมดิบเล็กน้อยเนื่องจากเหตุผลที่แสดงในหัวข้อ 4.1.3.1 เมื่อเวลาที่ใช้ในการลอกกาวมากขึ้นในช่วงเวลา 20-40 นาทีทำให้เทนาซิตีของเส้นใยไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเวลา 50 นาทีกราฟแสดงเทนาซิตีของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม หรือ ลดเวลาที่ใช้ในการลอกกาวในช่วง 20-40 นาทีไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยและเวลามีผลต่อความสามารถในการลอกกาวของเส้นใยเพียงเล็กน้อย เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อไฟโบรอินในส่วนของเส้นใยไหม ดังนั้นสามารถบอกได้ว่าอุณหภูมิในการลอกกาวมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยมากกว่าเวลา จึงสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวแล้วได้เส้นใยไหมมีความแข็งแรงดีที่สุด คือ ช่วงเวลา 20-40 นาที

(ข) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิของสารเคมีแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังจากผ่านกระบวนการลอกกาวมีแนวโน้มของกราฟและสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับในกรณีของค่าเทนาซิตี คือ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าเส้นใยไหมดิบแลในช่วงเวลา 20-40 นาทีค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่เวลาในการลอกกาว 50 นาทีความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมมีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมากเช่นเดียวกับในกรณีของค่าเทนาซิตี

(ค) ความสามารถในการยืด (Elongation)

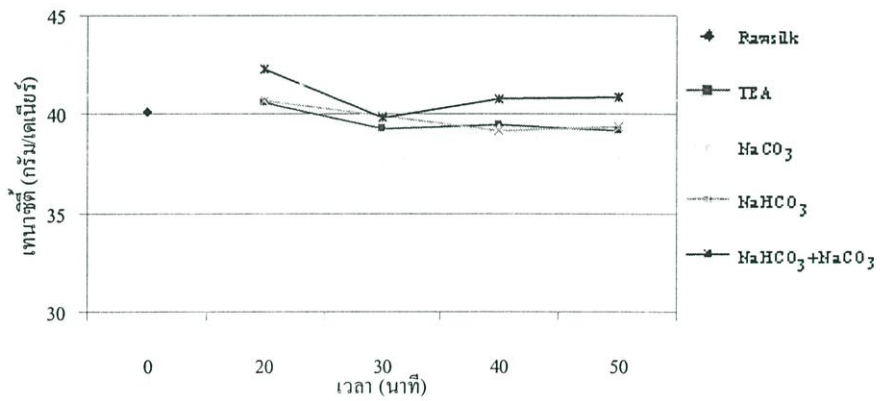
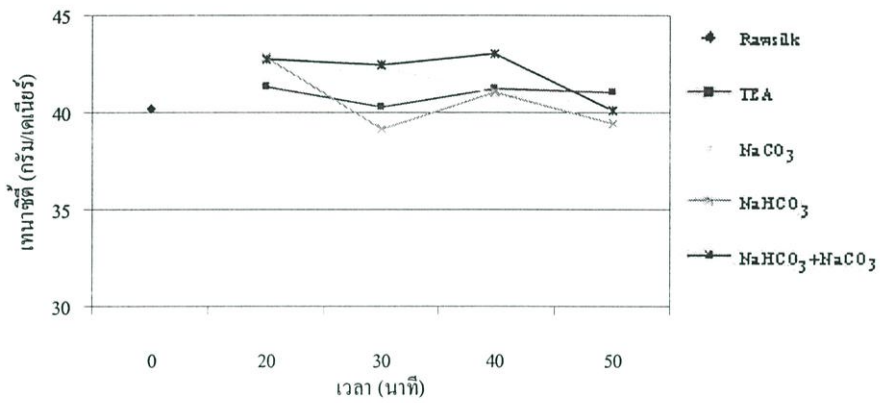
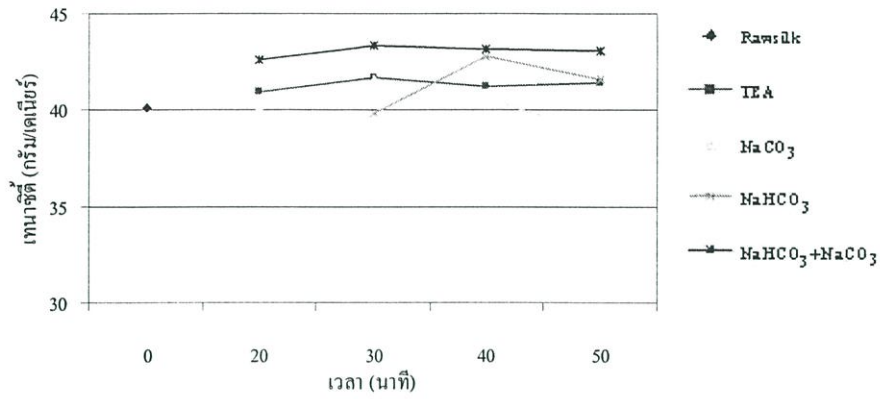
ความสามารถในการยืดเป็นค่าแสดงถึงความยืดหยุ่นของเส้นใย จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางแรงดึงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการยืดกับเวลาของสารเคมีแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.9 พบว่า ความสามารถในการยืดของเส้นใยไหมหลังจากผ่านกระบวนการ ลอกกาวมีค่าสูงกว่าความสามารถในการยืดของเส้นใยไหมดิบเล็กน้อยในช่วงเวลา 20-40 นาทีค่าความสามารถในการยืดของเส้นใยมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้เวลา 50 นาทีความสามารถในการยืดของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเวลาในการลอกกาวมากเกินไปเป็นผลให้เส้นใยไหมบางส่วนถูกทำลายสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยไหมหลัง

ผ่านกระบวนการลอกกาวที่เวลา 50 นาทีมีลักษณะฟูเนื่องจากการขาดออกจากกันของเส้นใย บางส่วนมากกว่าเส้นใยใหม่ผ่านกระบวนการลอกกาวที่เวลา 20-40 นาที แสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม หรือ ลดเวลาที่ใช้ในการลอกกาวในช่วง 20-40 นาทีไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการยึด เช่นเดียวกับค่าเทนาซิตี หรือ ความแข็งแรงดึงที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.3.2 จึงสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวที่ทำให้เส้นใยใหม่มีความสามารถในการยึดที่ดีที่สุด คือ ช่วงเวลา 20-40 นาที

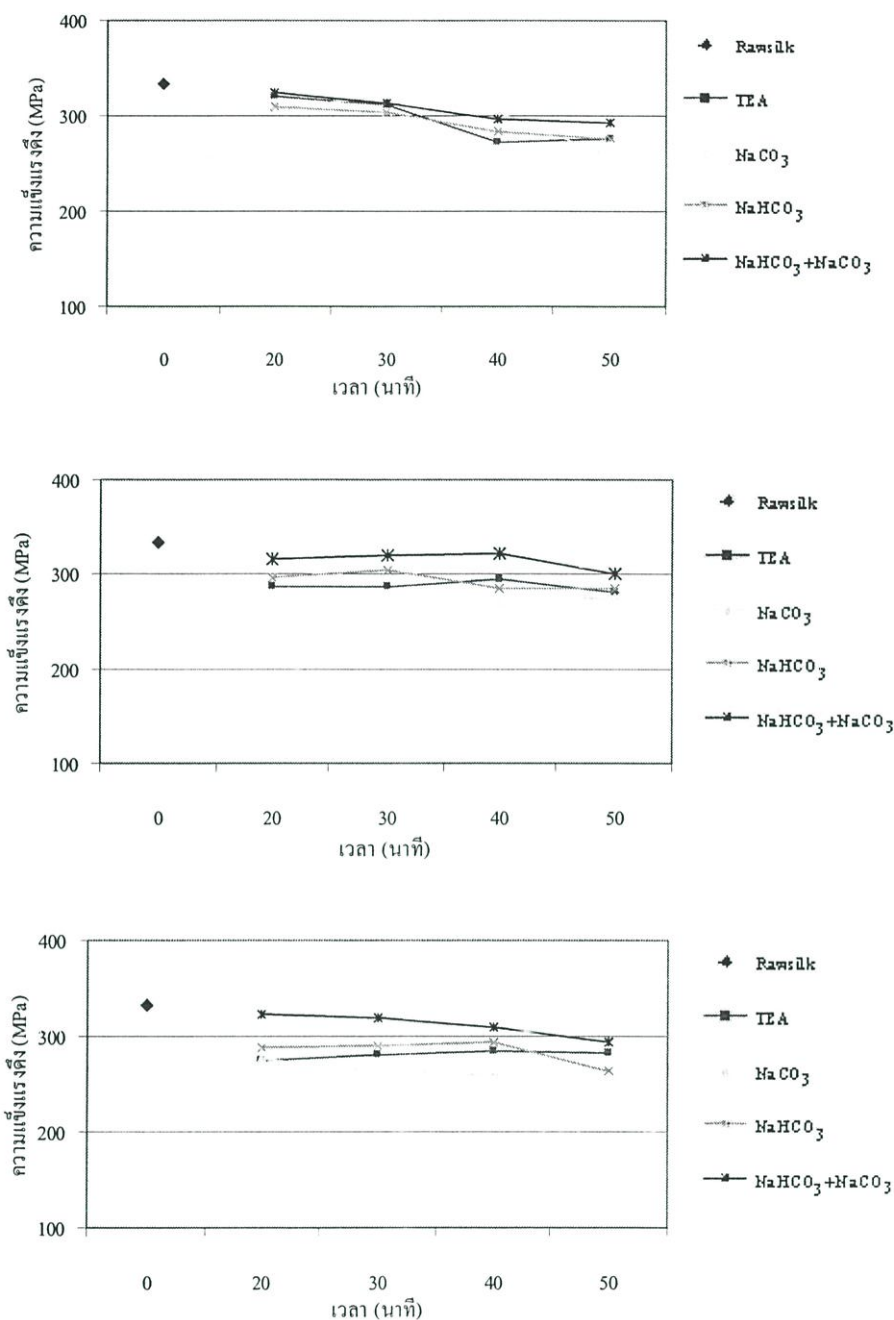
(ง) ค่ามอดูลัสที่ 8 % (% Modulus)

จากรูปที่ 4.10 พบว่าแนวโน้มของค่ามอดูลัสของเส้นใยหลังผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่าต่ำกว่าค่ามอดูลัสของเส้นใยใหม่ดิบค่อนข้างมากและในช่วงเวลาในการลอกกาว 20-50 นาทีค่ามอดูลัสของเส้นใยมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่เวลา 50 นาที ค่ามอดูลัสของเส้นใยมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากเวลาในการลอกกาวมากเกินไป เป็นผลให้เส้นใยใหม่บางส่วนถูกทำลายทำลายสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยใหม่หลังผ่านกระบวนการลอกกาวที่เวลา 50 นาทีดังที่กล่าวมาแล้ว และสมบัติทางแรงดึงที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด คือ ค่าความแข็งแรงและความสามารถในการยึดของเส้นใยลดลง แต่ความสามารถในการยึดของเส้นใยลดลงในปริมาณที่มากกว่าค่ามอดูลัสซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างทั้งสองค่านี้จึงมีค่าเพิ่มขึ้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวแล้วทำให้เส้นใยใหม่มีค่ามอดูลัสที่ดีที่สุด คือ ช่วงเวลา 20-40 นาที

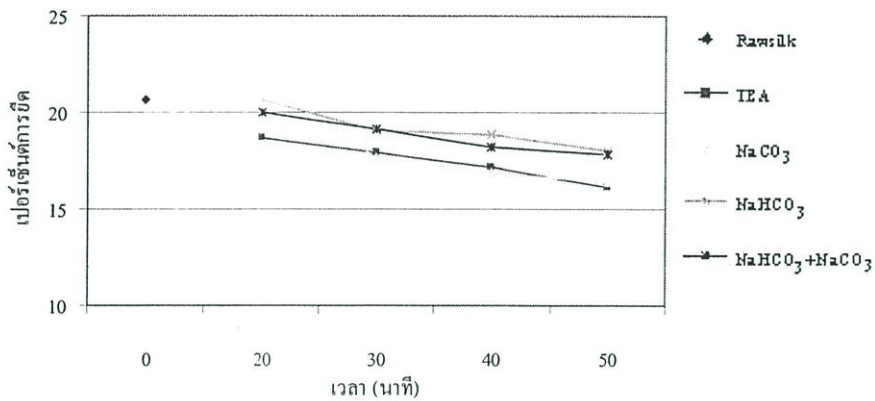
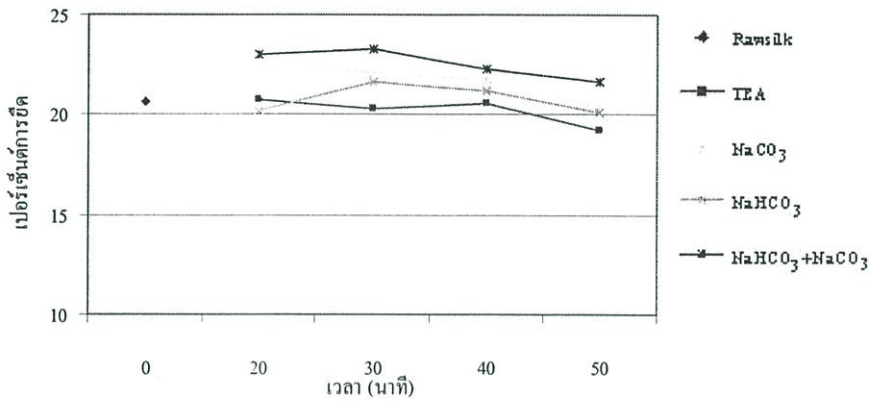
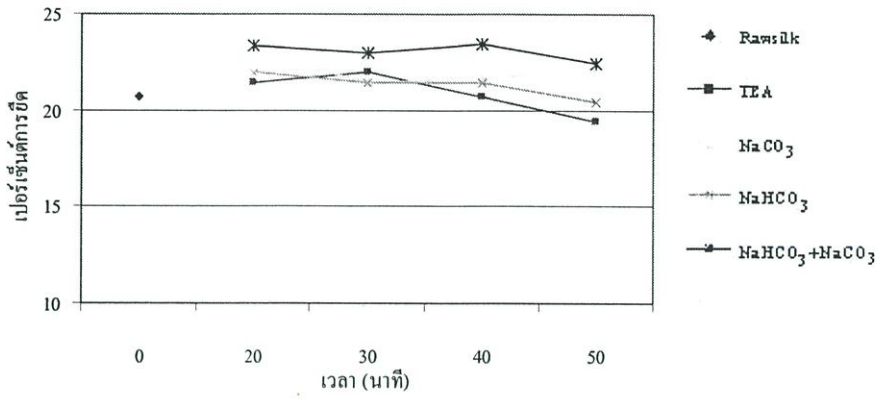
การลอกกาวที่ได้จากการทดลองโดยวิเคราะห์ถึงผลของอุณหภูมิและเวลา พบว่าเปอร์เซ็นต์การลอกกาวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การลอกกาวของเส้นใยเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การเพิ่มอุณหภูมิจึงมีผลต่อสมบัติทางแรงดึงมากกว่าการเพิ่มเวลาในการลอกกาว ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการลอกกาวและสมบัติทางแรงดึงของเส้นใยมากกว่าการเปลี่ยนแปลงเวลา



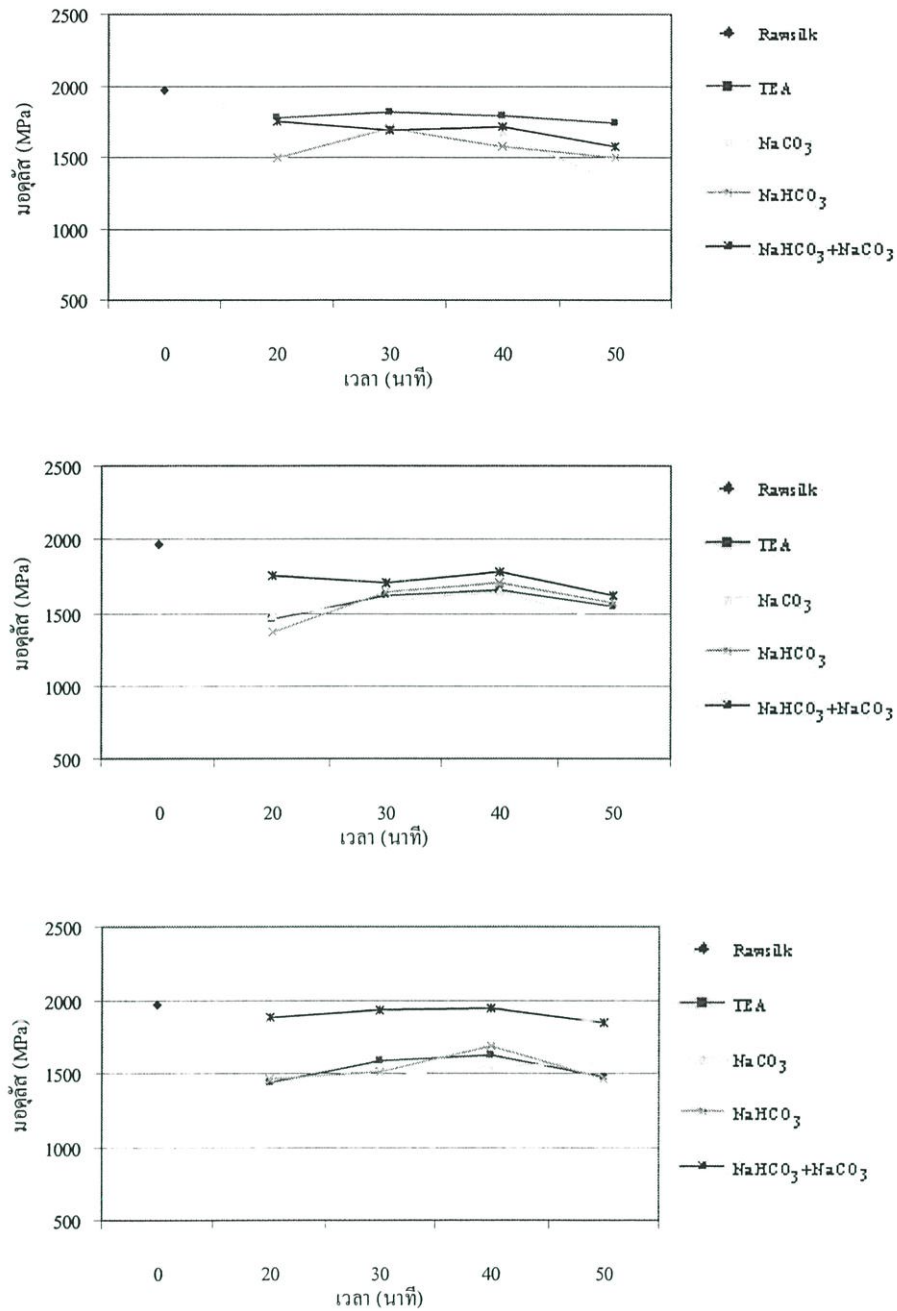
รูปที่ 4.7 เหนือชัดของเส้นใยไหมหลังจากการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ก) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ข) 90 องศาเซลเซียส และ (ค) 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ก) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ข) 90 องศาเซลเซียส และ (ค) 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การยึดของเส้นไหมใหม่หลังผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ก) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ข) 90 องศาเซลเซียส และ (ค) 100 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.10 มอดูลัสของเส้นไหมใหม่หลังจากการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ก) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ข) 90 องศาเซลเซียส และ (ค) 100 องศาเซลเซียส

4.1.3.3 ผลของชนิดสารเคมี

จากการทดลองเมื่อนำเส้นใยไหมมาผ่านกระบวนการลอกกาว คือ กระบวนการนำ เส้นใยไหมมาลอกกาวไหมด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ คือ ไทโรเอทิลเอมีน กรดทาร์ทาริก โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อศึกษาถึงผลของชนิดสารเคมีที่มีต่อสมบัติทางแรงดึง คือ เหนียวดี ความสามารถในการยืดและค่ามอดุลัส เห็นได้ว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกในช่วงเวลา 20-50 นาทีและช่วงอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียสนั้นซึ่งให้เปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวที่ต่ำมากและเส้นใยไหมเกาะรวมกันเป็นก้อนจึงไม่สามารถนำเส้นใยมาทดสอบสมบัติได้เพราะการลอกกาวด้วยกรดจะเกิดผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส [4] นอกจากนี้การลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ คือ ไทโรเอทิลเอมีน โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตให้สมบัติทางแรงดึงใกล้เคียงกัน ส่วนการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตแสดงสมบัติทางแรงดึงที่ดีกว่าการลอกกาวด้วยสารเคมีอื่น ๆ เล็กน้อยสำหรับการลอกกาวด้วยไทโรเอทิลเอมีนแสดงสมบัติทางแรงดึงต่ำกว่าการลอกกาวด้วยวิธีอื่น ๆ เล็กน้อยเช่นกัน เนื่องจากไทโรเอทิลเอมีนเป็นสารเคมีจำพวกเอมีนซึ่งมีความเป็นเบสสูงดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้กาวไหมที่เคลือบอยู่บนผิวของเส้นใยไหมละลายออกมาและอาจส่งผลกระทบต่อไฟโบรอินทำให้เส้นใยไหมบางส่วนถูกทำลายสังเกตได้จากลักษณะของเส้นใยที่ฟูเนื่องจากการขาดของเส้นใยบางส่วนและเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวที่สูงถึง 28 % เป็นผลให้สมบัติทางแรงดึงไม่ดิ่งคั้งนั้นจากการพิจารณาเลือกสารเคมีที่จะใช้ในการลอกกาวจึงควรสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและ โซเดียมคาร์บอเนตสำหรับการลอกกาวเพื่อให้ได้เส้นใยที่มีเปอร์เซ็นต์การลอกกาวและสมบัติทางแรงดึงที่ดี

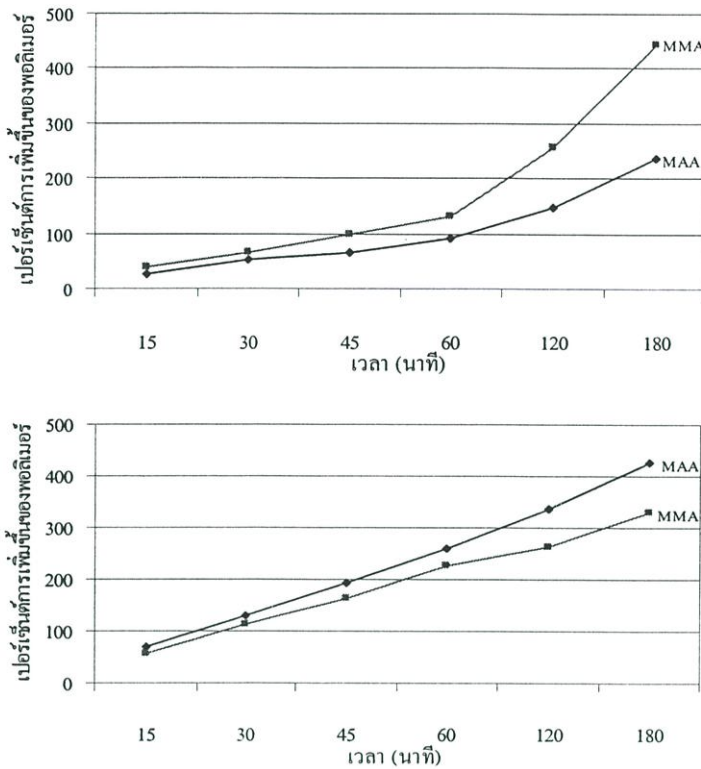
4.2 กระบวนการตอ่กิ่ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการใช้มอนอเมอร์ชนิดเมทาคริลาไมด์ (MAA) เมทิลเมทาไครเลท (MMA) และมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทเป็นมอนอเมอร์สำหรับการตอ่กิ่ง โดยทั่วไปในกระบวนการตอ่กิ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการเพื่อให้ได้เส้นใยไหมที่มีสมบัติดีขึ้นทั้งในเรื่องของลักษณะของเส้นใย ความสามารถในการตอ่กิ่ง สมบัติทางแรงดึง โครงสร้างของเส้นใยและสมบัติทางความร้อน ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและเวลาในการตอ่กิ่งเพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสม โดยนำเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวในสภาวะที่ได้เส้นใยมีสมบัติดีที่สุด คือ ลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (หัวข้อที่ 4.1) ดังนั้นในขั้นต้นแรกของการตอ่กิ่งจึงทำการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตอ่กิ่งที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตที่ใช้เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาเกิดการแตกตัว [28, 29] จากนั้นจึงใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อศึกษาเวลาและอัตราส่วนระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่เหมาะสมต่อไป

4.2.1 ความสามารถในการตอ่กิ่งเส้นใยไหมด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทอุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส

การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมทำได้โดยการตอ่กิ่งด้วยมอนอเมอร์ที่มีสมบัติต่างกัน 2 ชนิด คือ เมทาคริลาไมด์ (MAA) และเมทิลเมทาไครเลท (MMA) ที่เวลา 15 30 45 60 120 และ 180 นาทีโดยเลือกศึกษาผลของความแตกต่างของ 2 อุณหภูมิ คือ 70 และ 80 องศาเซลเซียสและความสามารถในการตอ่กิ่งของเส้นใยพิจารณาได้จากปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย (% Polymer add on) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11

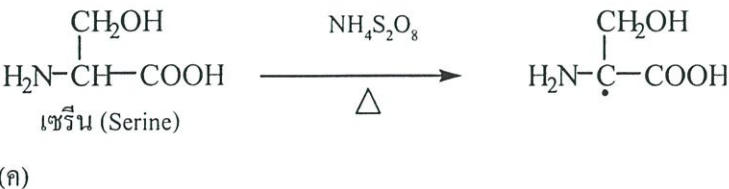
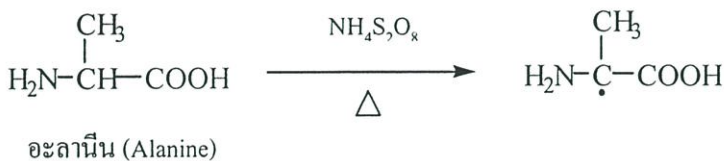
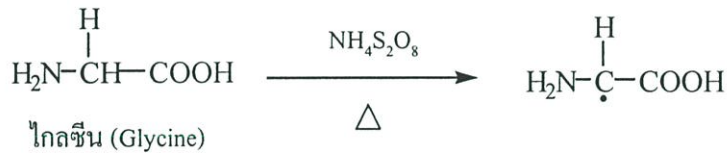
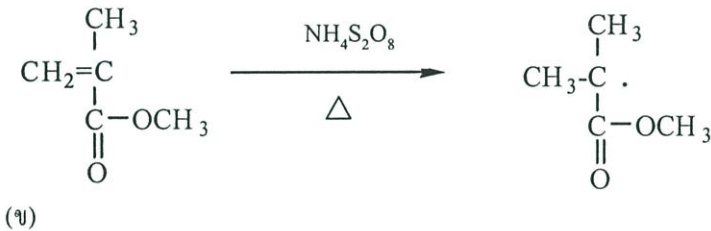
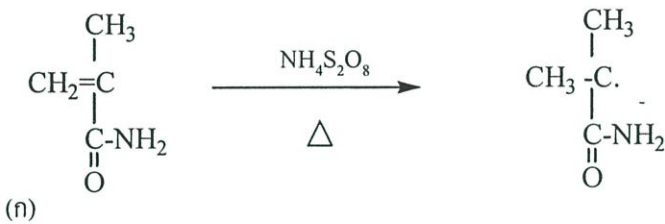
จากผลการทดลองที่ได้พบว่า การตอ่กิ่งบนเส้นใยไหมทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือ มอนอเมอร์ที่ใช้สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ชันกับเส้นใยไหมได้ จึงสามารถวัดการเพิ่มของพอลิเมอร์บน (Polymer add on) เส้นใยได้ กล่าวคือ เมื่อเวลาที่ใช้ในการตอ่กิ่งมากขึ้นความสามารถในการตอ่กิ่งของเส้นใยไหมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสความสามารถในการตอ่กิ่งบนเส้นใยไหมมีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในทุก ๆ ช่วงเวลาและมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดให้แนวโน้มความสามารถในการตอ่กิ่งไปในทางเดียวกัน



รูปที่ 4.11 ความสามารถในการต่อกิ่งเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อุณหภูมิ (ก) 70 องศาเซลเซียสและ (ข) 80 องศาเซลเซียส

การต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทซึ่งเป็นมอนอเมอร์ประเภทไวนิลมอนอเมอร์สามารถเกิดพอลิเมอร์ไซเคชันด้วยอนุมูลอิสระได้ [7] และตัวริเริ่มที่ในการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้ คือ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตซึ่งมีอุณหภูมิในการสลายตัว 70-80 องศาเซลเซียส [28] ดังนั้นเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสตัวริเริ่มจึงสามารถแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนพันธะคู่บนไวนิลมอนอเมอร์และบนสายโซ่โครงสร้างหลักของไฟโบรอินดังรูปที่ 4.12 ดังนั้นอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจึงสามารถเกิดปฏิกิริยากันได้หลายแบบ คือ สามารถเกิดเป็นพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์แต่ละชนิด หรือ เป็นพอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ 2 ชนิด หรือ เกิดการต่อกิ่งของมอนอเมอร์และแมโครเมอร์ลงบนไฟโบรอิน ซึ่งในการพิจารณาว่าเกิดการพอลิเมอร์ไซเคชันแบบใดบ้างนั้นสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนในหัวข้อที่ 4.4 ต่อไป ซึ่งพบว่าเกิดพอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันและระหว่างมอนอเมอร์กับเส้นใยไหม เนื่องจากเทอร์โมแกรมของ เส้นใยไหมดิบ พอลิเมทาคริลาไมด์และพอลิเมทิลเมทาไครเลทมีพีคแสดงอุณหภูมิในการสลายตัว 1 ตำแหน่ง ในขณะที่เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทแสดงพีค 2 ตำแหน่งและเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทแสดงพีค 3 ตำแหน่ง

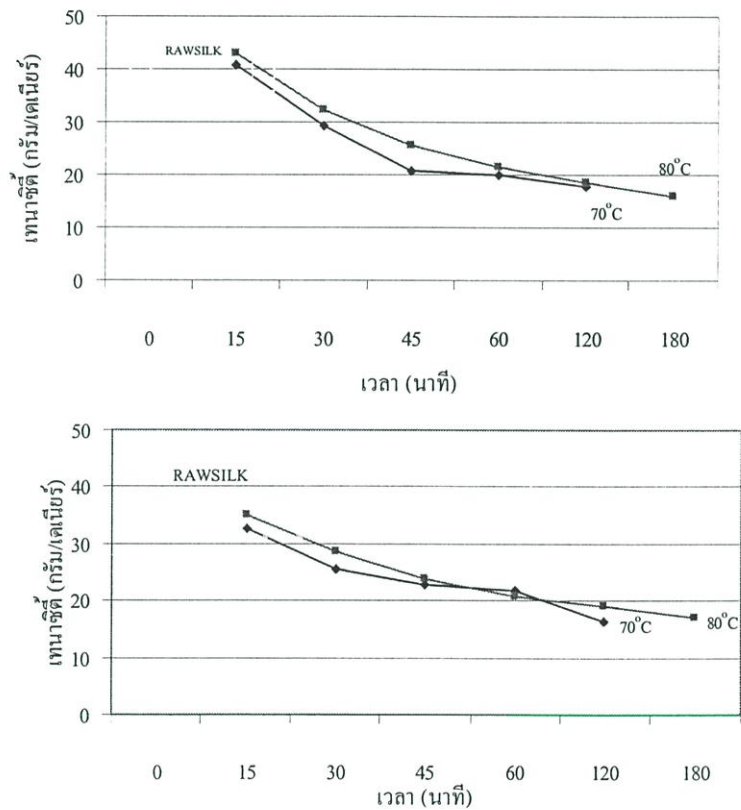
เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะเส้นใยที่ผ่านการต่อกึ่งที่อุณหภูมิและเวลาต่างกัน พบว่าเส้นใยมีลักษณะแข็งและไม่สม่ำเสมอมากขึ้นหลังจากผ่านการต่อกึ่งเป็นเวลานานกว่า 45 นาทีและที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เส้นใยมีลักษณะของพื้นผิวที่ขรุขระและแข็งกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกึ่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากการต่อกึ่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสทำให้มีปริมาณของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นโอกาสเกิดการต่อกึ่งลงบนโครงสร้างของเส้นใยใหม่จึงมีมากกว่าเส้นใยใหม่ทำให้มีความสม่ำเสมอของการต่อกึ่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แต่ที่เวลาในการต่อกึ่งไม่นานนัก คือ ไม่เกิน 1 ชั่วโมง ความสามารถในการต่อกึ่งและเส้นใยมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาถึงปริมาณการต่อกึ่งที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลต่อไปเพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกใช้อุณหภูมิในการต่อกึ่งที่เหมาะสม



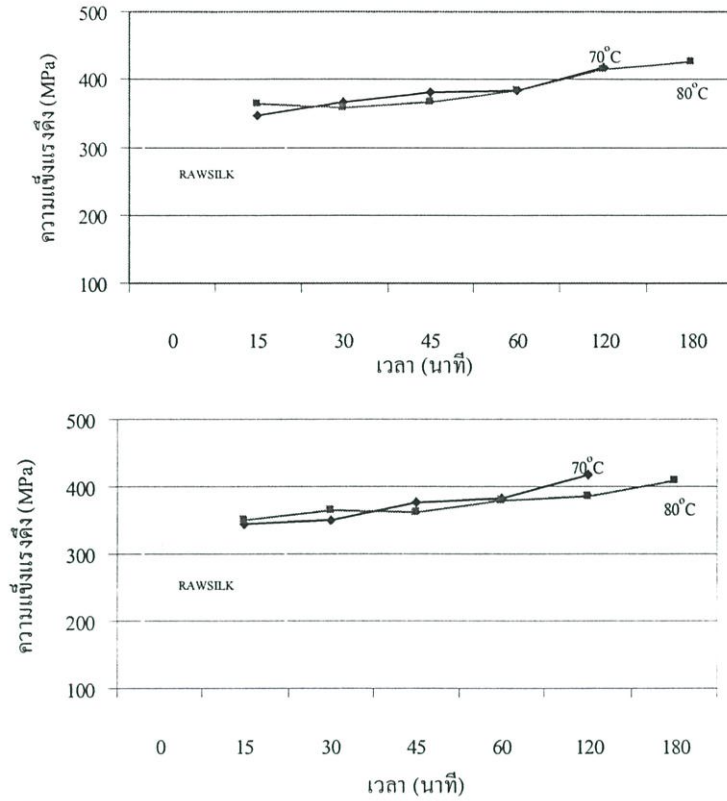
รูปที่ 4.12 อนุมูลอิสระของ (ก) เมทาคริลาไมด์ (ข) เมทิลเมทาไครเลทและ (ค) กรดอะมิโนหลักที่เป็นสายโซ่ของไฟโบรอิน

4.2.2 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทที่ อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส

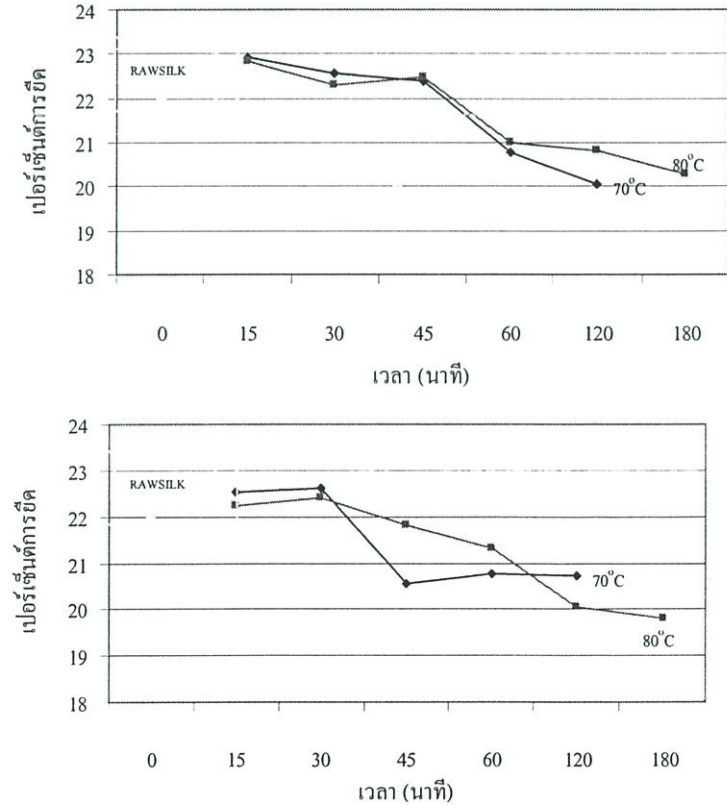
ในขั้นตอนนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ เมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทที่เหมาะสมในการต่อกิ่งเพื่อให้ได้เส้นใยที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีโดยคำนึงถึงสถานะที่ใช้ในการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วย ซึ่งทำได้โดยการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทที่เวลาต่าง ๆ คือ 15 30 45 60 120 180 นาที โดยเลือกศึกษาผลของความแตกต่างของ 2 อุณหภูมิ คือ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.13- 4.15



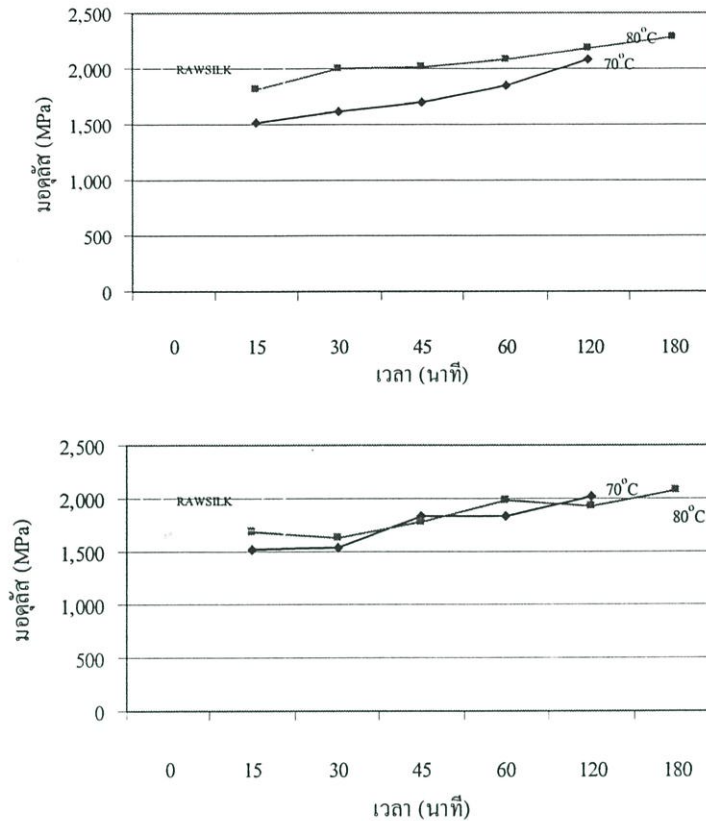
รูปที่ 4.13 เหนียวตัวของเส้นใยไหมหลังผ่านการต่อกิ่งด้วย (ก) เมทาคริลาไมด์และ (ข) เมทิลเมทาไครเลท



รูปที่ 4.14 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยหลังผ่านการตอ่กึ่งด้วย (ก) เมทาคริลาไมด์และ (ข) เมทิลเมทาไครเลท



รูปที่ 4.15 ความสามารถในการยืดของเส้นใยหลังผ่านการตอ่กึ่งด้วย (ก) เมทาคริลาไมด์และ (ข) เมทิลเมทาไครเลท



รูปที่ 4.16 มอดุลัสของเส้นใยหลังผ่านการต่อกิ่งด้วย (ก) เมทาคริลาไมด์และ (ข) เมทิลเมทาไครเลท

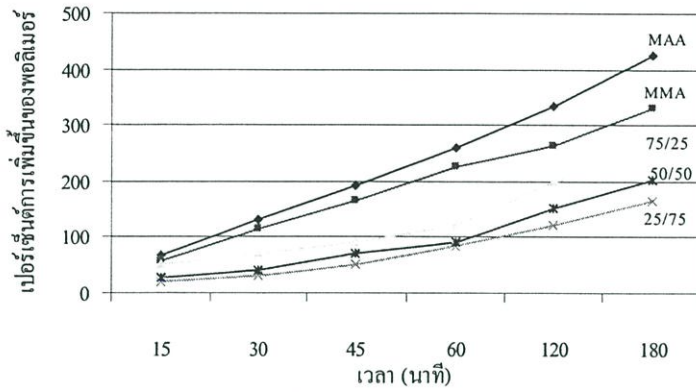
จากรูปที่ 4.13-4.16 แสดงสมบัติเชิงกลของไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ หรือ เมทิลเมทาไครเลทที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสพบว่า สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสของเส้นใยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านกระบวนการลอกกาวแต่ไม่ได้ทำการต่อกิ่งเป็นผลเนื่องจากการต่อกิ่งทำให้เกิดพอลิเมอร์เชชันในส่วนที่เป็นอสังฐานของเส้นใย [29, 30, 31] ทำให้เกิดพันธะระหว่างสายโซ่ของเส้นใยกับมอนอเมอร์ [32, 33, 34, 35] ชนิดนั้นทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น ส่วนความเครียดหรือความสามารถในการยืดของเส้นใยนั้นเมื่อทำการต่อกิ่งในช่วงเวลา 15-45 นาที พบว่าเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทมีความสามารถในการยืดสูงกว่าเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวแต่ไม่ได้ต่อกิ่ง แต่เมื่อใช้เวลาในการต่อกิ่งมากกว่า 45 นาที พบว่าความสามารถในการยืดของเส้นใยมีค่าลดลง เนื่องจากการต่อกิ่งที่เวลานานทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงสูงเพราะเกิดการรวมตัวของมอนอเมอร์เกิดเป็นโพลิเมอร์ขนาดใหญ่มาเกาะที่พื้นผิวของเส้นใยทำให้ความสามารถในการถ่ายเทพลังงานของเส้นใยลดลงความสามารถในการยืดของเส้นใยจึงลดลงและเมื่อพิจารณาถึงค่าเทนาคิตีของเส้นใยซึ่งน่าจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความแข็งแรงดึงเนื่องจากเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของเส้นใยไหมเช่นเดียวกัน แต่จากรูปที่ 4.13 พบว่าเทนาคิตีของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการต่อกิ่งมากขึ้น ในขณะที่ความ

แข็งแรงจึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความแข็งแรงจึงพิจารณาได้จากแรงที่ใช้ในการดึงเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยซึ่งหลังการตอกลงโดยเวลาที่ใช้ในการตอกลง 15-180 นาที พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยเพิ่มขึ้น 36-93 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเทนาคีตี้หาได้จากแรงในการดึงเทียบกับน้ำหนักของเส้นใยซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 57-425 เปอร์เซ็นต์ เห็นได้ว่าการเพิ่มของน้ำหนักมีค่ามากกว่าการเพิ่มของพื้นที่หน้าตัดอย่างมากเป็นผลให้เทนาคีตี้ลดลงเมื่อเวลาในการตอกลงมากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงสมบัติเชิงกลข้างต้นนั้นเห็นได้ว่าการตอกลงที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสแสดงสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีของการตอกลงที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาทีไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้ เนื่องจากเกิดพอลิเมอร์โซลชันของมอนอเมอร์ด้วยกันเองเกิดเป็นก้อนพอลิเมอร์ขนาดใหญ่เกาะรวมกับเส้นใยใหม่จึงไม่สามารถนำมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกลได้ ส่วนการตอกลงที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาที สามารถศึกษาสมบัติเชิงกลได้ เนื่องจากความสามารถในการแตกตัวของตัวริเริ่มเป็นอนุมูลอิสระคาดว่าเกิดขึ้นในปริมาณที่มากกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสความสม่ำเสมอในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าจึงไม่เกิดก้อนของพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ผิวของเส้นใยมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในการตอกลงโดยทำการศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ 2 ชนิดต่อไป

4.2.3 ความสามารถในการตอกลงเส้นใยใหม่ด้วยเมทาคริลลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ

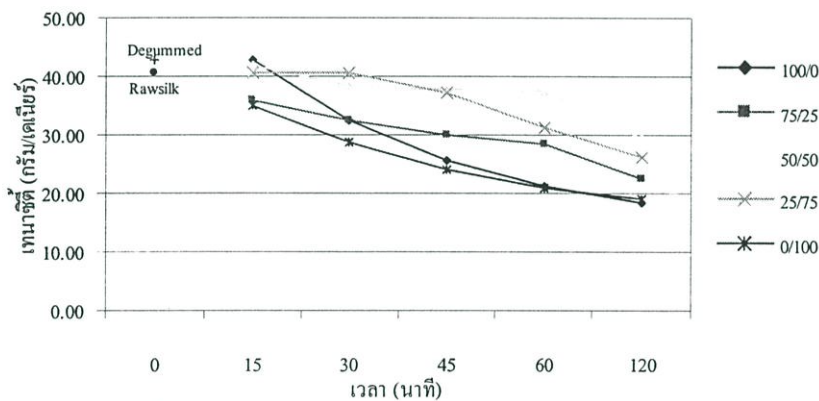
จากการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยโดยการตอกลงด้วยเมทาคริลลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1-4.2.2 เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการตอกลงของเส้นใยใหม่ด้วยมอนอเมอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้ผลดังรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของพอลิเมอร์บนเส้นใยเพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.1 และเมื่อพิจารณาถึงผลของชนิดและอัตราส่วนระหว่างเมทาคริลลาไมด์และเมทิล เมทาไครเลทในการตอกลง พบว่าการตอกลงด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียวให้ความสามารถในการตอกลงสูงกว่าการใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิดผสมกันและที่อัตราส่วนที่มีเมทาคริลลาไมด์ในปริมาณมากเส้นใยที่ทำการตอกลงมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของพอลิเมอร์สูงกว่าอัตราส่วนที่มีเมทิลเมทาไครเลทในปริมาณมาก



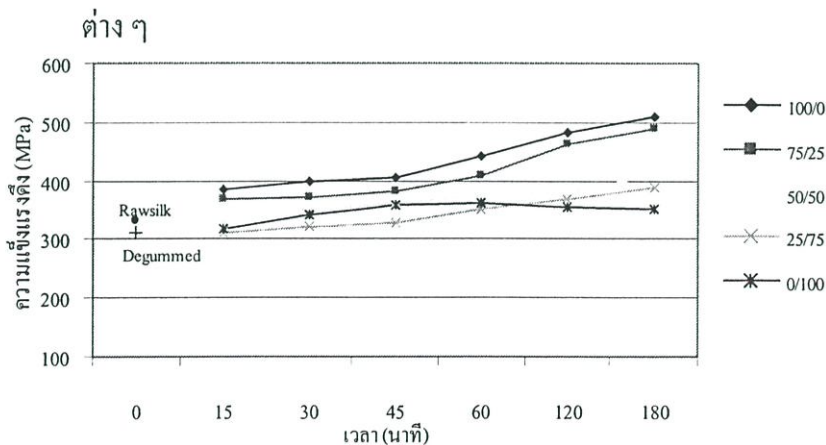
รูปที่ 4.17 ความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยไหมด้วยเมทาคริลไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.2.4 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ

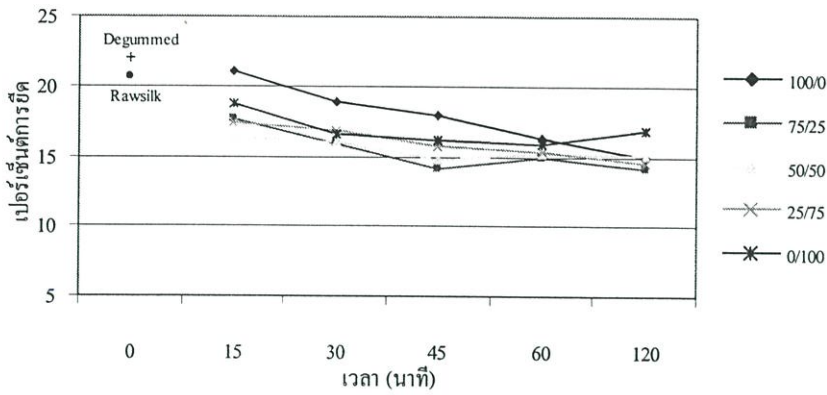
การพิจารณาความแข็งแรงของเส้นใยไหมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใช้สมบัติเชิงกลในการพิจารณา คือ เทนาซิตี ความแข็งแรงดึง ความสามารถในการยืดและมอดูลัส



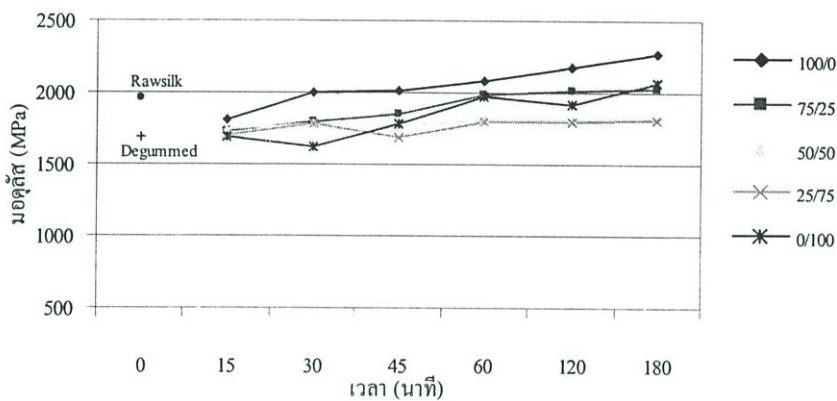
รูปที่ 4.18 เทนาซิตีของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.19 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.20 เปอร์เซนต์การขาดของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.21 มอดุลัสของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ

4.2.4.1 เทนาซิตี (Tenacity)

การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยการต่อกิ่งทำให้เส้นใยไหมทนแรงในการดึงได้สูงขึ้นเมื่อปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยสูงขึ้นแต่เทนาซิตีเป็นค่าแสดงความแข็งแรงของเส้นใยจากแรงดึงเทียบกับน้ำหนักเส้นใย 1 เดเนียร์ ผลการทดลองดังรูปที่ 4.18 เห็นได้ว่าเทนาซิตีของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์เป็นเวลา 15 นาทีมีค่าใกล้เคียงกับเส้นใยไหมที่ลอกขาว ส่วนการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทและเมทาคริลาไมด์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เป็นเวลา 15 นาทีมีค่าเทนาซิตีต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว เมื่อเวลาในการต่อกิ่งสูงขึ้นเทนาซิตีของเส้นใยไหมมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการที่ความสามารถในการต่อกิ่งสูงขึ้นทำให้อัตราการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยสูงกว่าอัตราการเพิ่มแรงที่ใช้ในการดึงเส้นใยไหมให้ขาด เมื่อพิจารณาผลของชนิดมอนอเมอร์ที่ใช้ พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีค่าเทนาซิตีสูงสุด เนื่องจากการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของเส้นใยไหมและเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบบนผิวของเส้นใยไหม [23, 33] ในขณะที่การต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของ

มอนอเมอร์และเส้นใยไหมแต่บางส่วนเกิดโอลิโกเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลทบนพื้นผิวของเส้นใยไหม [36] ทำให้พื้นผิวของเส้นใยไหมไม่เรียบและความสามารถในการทนแรงดึงลดลง นอกจากนี้การต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ให้ผลใกล้เคียงกับการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทแต่ค่าเทนาซิตีเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเมทาคริลาไมด์เพิ่มขึ้น ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.2

4.2.4.2 ความแข็งแรงดึง

จากรูปที่ 4.19 ในกรณีของการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ พบว่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยสูงขึ้น เช่นเดียวกับค่าเทนาซิตี แต่เมื่อความสามารถในการต่อกิ่งมากขึ้น ค่าความแข็งแรงของเส้นใยสูงขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากอัตราการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นใยน้อยกว่าการเพิ่มของน้ำหนักเส้นใยดังเหตุผลที่แสดงในหัวข้อ 4.2.2 คือ เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งมีการเพิ่มของพื้นที่หน้าตัดน้อยกว่าการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทและเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลท ที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงเมื่อปริมาณพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นบนเส้นใยต่ำกว่าและความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่มีปริมาณเมทาคริลาไมด์ในอัตราส่วนที่มากมีความแข็งแรงสูงกว่าในอัตราส่วนที่น้อยในการต่อกิ่งเส้นใยไหมเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.4.1

4.2.4.3 ความสามารถในการยืด

จากรูปที่ 4.20 พบว่าความสามารถในการยืดของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยมากขึ้น แต่เมื่อปริมาณการเพิ่มของพอลิเมอร์สูง ๆ การต่อกิ่งเส้นใยด้วยมอนอเมอร์ดังกล่าวทำให้เกิดฟิล์มของพอลิเมอร์เคลือบบนเส้นใยไหมและ/หรือเกิดเป็นโอลิโกเมอร์บนพื้นผิวของเส้นใยทำให้เส้นใยมีลักษณะเช่นเดียวกับไหมดิบที่มีกาวไหมเคลือบอยู่ทำให้ความสามารถในการยืดต่ำลง แต่การต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์เป็นเวลา 15-30 นาทีที่มีปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย 70-140 % มีความสามารถในการยืดใกล้เคียงกับเส้นใยไหมก่อนต่อกิ่ง เนื่องจากการเพิ่มของพอลิเมอร์ในช่วงแรกเกิดปฏิกิริยาในส่วนที่เป็น อดัฐานของเส้นใยทำให้ส่วนที่เป็น อดัฐานของเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ที่ปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย มากเกินไปจะเกิดเป็นพอลิเมอร์เกาะบนผิวของเส้นใย [23, 33, 33]

4.2.4.4 มอดูลัสที่ 8 %

จากรูปที่ 4.21 พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์ เมทิลเมทาไครเลทและเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทมีค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการตอกลงเพิ่มขึ้น เนื่องจากความแข็งแรงดึงที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ความสามารถในการยืดลดลงแสดงถึงเส้นใยที่ผ่านการตอกลงมีความแข็งแรงสูงขึ้นแต่เส้นใยไหมที่ตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์เป็นเวลา 15-30 นาทีมีค่ามอดูลัสสูงกว่าเส้นใยไหมดิบเล็กน้อย

ดังนั้นในการนำเส้นใยไหมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยการตอกลงไปศึกษาความสามารถในการย้อมสีด้วยสีแอซิดและสีเบสิกจึงเลือกเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที เนื่องจากเป็นสถานะที่ทำให้เส้นใยไหมมีสมบัติเชิงกลดีที่สุด คือ ค่าเทนาซิตีและค่าความแข็งแรงสูงกว่าเส้นใยไหมที่ลอกขาว ส่วนความสามารถในการย้อมและค่ามอดูลัสใกล้เคียงกับเส้นใยไหมลอกขาว

4.3 กระบวนการการย้อมสี

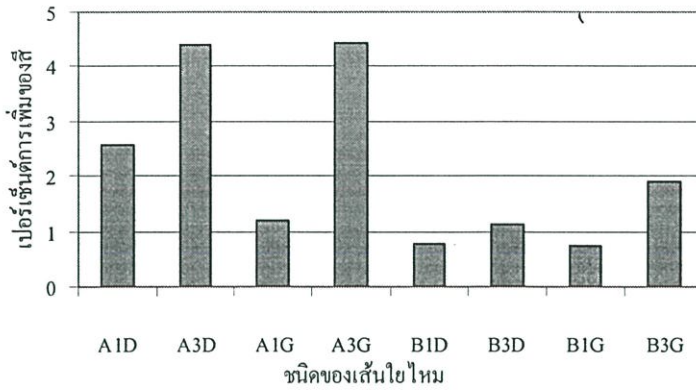
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการย้อมสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยเมทาคริลามิคด์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที เนื่องจากให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด (หัวข้อที่ 4.2) โดยใช้สีย้อมสีน้ำเงิน 2 ประเภท คือ สีแอสิดและสีเบสิกที่ความเข้มข้น 1 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพิจารณาผลของความสามารถในการติดสีย้อม สมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมก่อนและหลังผ่านการย้อมรวมถึงความคงทนของสีต่อการซัก เหงื่อและแสง

4.3.1 ความสามารถในการย้อมสี

ในการพิจารณาความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยได้นั้นมีวิธีในการทดสอบเพื่อยืนยันผล 2 วิธี คือ น้ำหนักของสีที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย (% Dye uptake) และความสามารถในการดูดซับสี (% Exhaustion) ที่ได้จากการวัดการเปลี่ยนแปลงค่าการดูดกลืนแสงจากเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโทรสโกปี (UV-vis Spectroscopy) ดังนี้

4.3.1.1 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใย

จากการย้อมเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่งด้วยสีแอสิดและสีเบสิกที่สภาวะในการย้อมเดียวกันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมที่ใช้มากขึ้นทำให้ปริมาณของสีย้อมบนเส้นใยเพิ่มขึ้นด้วยทั้งในกรณีของสีแอสิดและสีเบสิกสำหรับเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่งแสดงดังรูปที่ 4.22 เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของ น้ำย้อมเป็นการเพิ่มปริมาณอนุภาคของสีย้อม เมื่ออนุภาคของสีย้อมเพิ่มขึ้น โอกาสที่อนุภาคของสีย้อมเกิดพันธะกับ โมเลกุลของเส้นใยไหมจึงเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาถึงผลของชนิดสีย้อม พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการย้อมด้วยสีแอสิดมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใยไหมมากกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีเบสิก เนื่องจากการย้อมสีบนเส้นใยมีกลไกการย้อม คือ ประจุของสีถูกดูดซับด้วยประจุที่ต่างกันของเส้นใยเกิดการแทรกซึมของสีเข้าไปในเส้นใยและเกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างสีกับเส้นใยที่มีประจุเหมือนกัน [9, 37] และเส้นใยไหมสามารถแสดงประจุบวกหรือลบได้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ ดังนั้นสีแอสิดและสีเบสิกจึงสามารถย้อมติดเส้นใยไหมได้ แต่ปริมาณการเพิ่มของสีแอสิดที่ความเข้มข้นเดียวกันสูงกว่าสีเบสิก เนื่องจากการเกิดประจุบวกของ โมเลกุลในเส้นใยไหมมีปริมาณมากกว่าการเกิดประจุลบ [37] ทำให้ปริมาณการเกิดพันธะไอออนิกบนผิวเส้นใยของการย้อมด้วยสีแอสิดสูงกว่าการย้อมด้วยสีเบสิก



A₁D คือ เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยซีแอซิก 1 %

A₃G คือ เส้นใยใหม่ค่อกึ่งข้อมด้วยซีแอซิก 1 %

B₁D คือ เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยซีเบสิก 1 %

B₃G คือ เส้นใยใหม่ค่อกึ่งข้อมด้วยซีเบสิก 1 %

A₃D คือ เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยซีแอซิก 3 %

A₃G คือ เส้นใยใหม่ค่อกึ่งข้อมด้วยซีแอซิก 3 %

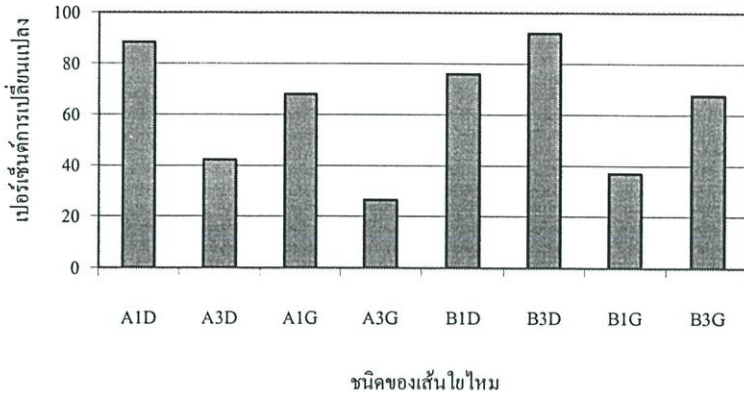
B₃D คือ เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยซีเบสิก 3 %

B₃G คือ เส้นใยใหม่ค่อกึ่งข้อมด้วยซีเบสิก 3 %

รูปที่ 4.22 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักซีข้อมบนเส้นใยใหม่ชนิดต่าง ๆ

4.3.1.2 ความสามารถในการดูดซับซี

ในการพิจารณาความสามารถในการข้อมติดซีด้วยการวัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงของน้ำข้อม ทำได้โดยวัดความสามารถในการดูดกลืนแสงของน้ำข้อมก่อนและหลังผ่านกระบวนการข้อมแล้ววัดการเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงมาก หมายถึง น้ำข้อมมีการเปลี่ยนแปลงมาก กล่าวคือ มีการหายไปของอนุภาคของซีข้อมจากน้ำข้อมมากแสดงถึงความสามารถในการดูดซับซีข้อมของเส้นใยได้ดี ดังนั้นจากรูปที่ 4.22 เห็นได้ว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวโดยไม่ได้ทำการปรับปรุงด้วยการตอกลงมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงมากกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอกลงทุกความเข้มข้นและชนิดของน้ำข้อม เนื่องจากเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวมีช่องว่างระหว่างเส้นใยใหม่ที่อนุภาคของซีข้อมแทรกตัวได้มากกว่าเส้นใยใหม่ที่ตอกลงด้วยเมทาคริลไมด์ แต่เมื่อพิจารณาผลของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักซีข้อมบนเส้นใยใหม่ซึ่งเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอกลงมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักซีข้อมบนเส้นใยใหม่มากกว่าเส้นใยใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการตอกลง (หัวข้อที่ 4.3.1.1) เห็นได้ว่ามีความขัดแย้งกันระหว่างมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักซีข้อมและเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสง เนื่องจากอนุภาคของซีที่แทรกตัวระหว่างเส้นใยของเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวเมื่อนำเส้นใยใหม่ที่ผ่านการข้อมไปล้างด้วยน้ำสะอาด พบว่ามีซีหลุดออกมาแสดงว่าความสามารถในการเกิดพันธะของอนุภาคของซีและโมเลกุลของเส้นใยใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการตอกลงนั้นต่ำกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอกลงด้วยเมทาคริลไมด์

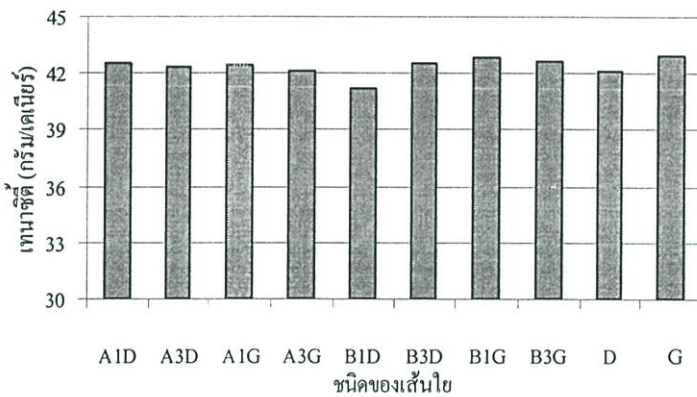


A1D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 1 % A3D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % A1G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 1 %
 A3G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % B1D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

รูปที่ 4.23 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูคลื่นแสงของเส้นใยใหม่ชนิดต่าง ๆ

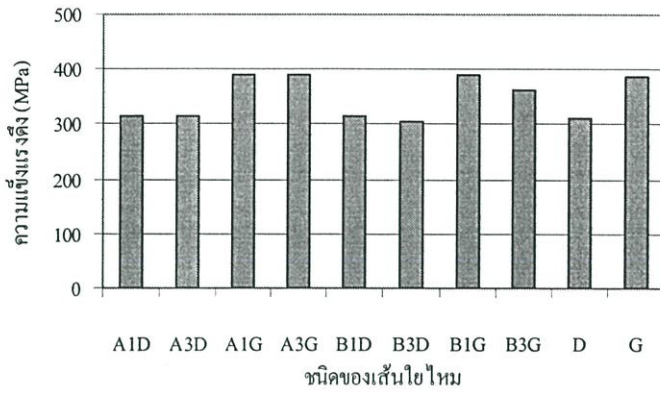
4.3.2 สมบัติเชิงกลของเส้นใย

ในการพิจารณาเส้นใยใหม่เพื่อนำไปใช้งาน นอกจากคำนึงถึงความสามารถในการย้อมติดสีแล้วต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของเส้นใยใหม่โดยใช้สมบัติเชิงกลในการพิจารณาค่าเทนาซีตีความแข็งแรงดึง ความสามารถในการยืดและค่ามอดุลัสดังรูปที่ 4.24-4.27



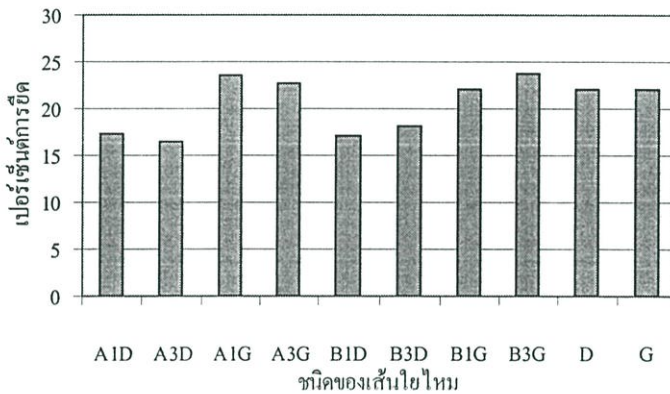
A1D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 1 % A3D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % A1G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 1 %
 A3G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % B1D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 % D เส้นใยใหม่ลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % G เส้นใยใหม่ต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

รูปที่ 4.24 เทนาซีตีของเส้นใยใหม่หลังผ่านการย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ



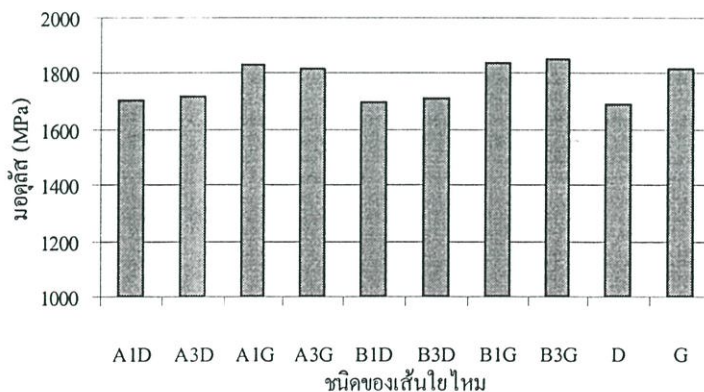
A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแฉะ 1% A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแฉะ 3% A1G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีแฉะ 1%
 A3G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีแฉะ 3% B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1% B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3%
 B1G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 1% B3G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 3% D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1% G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 3%

รูปที่ 4.25 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ



A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแฉะ 1% A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแฉะ 3% A1G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีแฉะ 1%
 A3G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีแฉะ 3% B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1% B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3%
 B1G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 1% B3G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 3% D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1% G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 3%

รูปที่ 4.26 ความสามารถในการซึบของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ



A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแฉะ 1% A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแฉะ 3% A1G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีแฉะ 1%
 A3G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีแฉะ 3% B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1% B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3%
 B1G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 1% B3G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 3% D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1% G เส้นใยไหมตอกิ่งข้อมด้วยสีเบสิก 3%

รูปที่ 4.27 มอดุลัสของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ

จากรูปที่ 4.24-4.27 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเทนาคิตี ความแข็งแรงดึง ความสามารถในการยืดและค่ามอดูลัส พบว่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่าง โซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตและเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลไมด์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาทีหลังจากย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการย้อมสีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหม

4.3.3 การทดสอบความคงทนของสี (Color fastnesses)

ในการนำเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมสีไปใช้งานด้านวัสดุสิ่งทอต้องคำนึงถึงปัญหาเรื่องของความคงทนของสีต่อการซัก (Wet fastness) ความคงทนของสีต่อแสง (Light fastness) ความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Fastness to perspiration) ความคงทนของสีต่อความร้อน (Fastness to heat) และความคงทนต่อคลอรีน (โดยเฉพาะในชุดว่ายน้ำ) (Fastness to Chlorine) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดคุณภาพวัสดุสิ่งทอที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเส้นใยไหมที่ผ่านการกระบวนการลอกกาวและเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลไมด์ความเข้มข้น 0.08 โมลลิตร เป็นเวลา 15 นาทีที่ผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยสีแอซิดและสีเบสิกโดยใช้ความเข้มข้นของสี 3 % ในน้ำย้อม ทดสอบความคงทนของสีที่สำคัญ 3 ประเภท คือ ความคงทนของสีต่อการซัก ความคงทนของสีต่อเหงื่อและความคงทนของสีต่อแสงเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยึดติดของสีบนเส้นใยที่ผ่านการต่อกึ่งและไม่ผ่านการต่อกึ่งและเปรียบเทียบความสามารถในการคงทนของสีแอซิดและสีเบสิก

4.3.3.1 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักฟอก

การวิเคราะห์ผลของความคงทนต่อการซักนั้น มีผลของการเปลี่ยนแปลงที่ควรคำนึงถึง 2 ประเภท คือ ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานซึ่งดูความแตกต่างระหว่างสีของผ้ามาตรฐานที่ไม่ได้ประกบกับตัวอย่างและสีของผ้ามาตรฐานที่ประกบกับตัวอย่าง โดยในการประกบนั้นประกอบด้วยผ้าไหมมาตรฐานและผ้าฝ้ายมาตรฐาน แล้วทำการซักพร้อมกัน จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับเกรย์สเกลและขั้นตอนสุดท้าย คือ การประเมินผลความแตกต่างออกมาเป็นตัวเลขสำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเป็นค่าสำคัญที่ต้องคำนึงถึงซึ่งเป็นการเปรียบเทียบสีของตัวอย่างก่อนและหลังการซักนำมาเปรียบเทียบกับเกรย์สเกลแล้วประเมินออกมาเป็นตัวเลขดังตารางที่ 4.3-4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากการซัก

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย			
	สีแอสิด		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว	4	5	2	3-4
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	4-5	5	3	4-5

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อการซักสูงหรือสีตกน้อย

ตารางที่ 4.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเนื่องจากการซัก

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย	
	สีแอสิด	สีเบสิก
	เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว	4-5
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	4-5	3

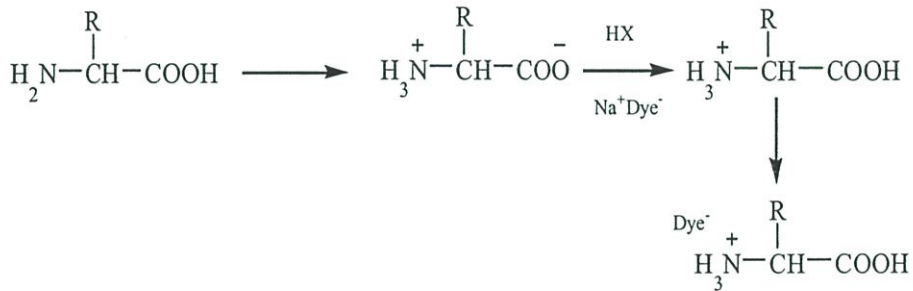
* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อการซักสูงหรือสีตกน้อย

จากผลการทดลองพิจารณาถึงระดับความคงทนของสีที่ได้จากการวิเคราะห์การเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานพบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอสิดมีค่าระดับความคงทนของสีสูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีเบสิก ส่วนค่าระดับความคงทนของสีในผ้าไหมมาตรฐานและผ้าฝ้ายมาตรฐานมีแนวโน้มเดียวกัน คือ เส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งมีค่าระดับความคงทนของสีสูงกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งในทุก ๆ ตัวอย่าง แต่ค่าระดับความคงทนของสีในผ้าฝ้ายมาตรฐานมีค่าสูงกว่าใน ผ้าไหมมาตรฐานในทุกตัวอย่าง แสดงว่าเส้นใยไหมทั้ง 2 ชนิด คือ เส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งและเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งเมื่อผ่านการย้อมด้วยสีแอสิดมีความคงทนของสีต่อการซักมากกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีเบสิก นอกจากนี้สีแอสิดและสีเบสิกที่ย้อมเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งมีค่าความคงทนของสีต่อการซักมากกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านกระบวนการต่อกึ่ง เนื่องจากการย้อมสีบนเส้นใยมีกลไกการย้อม คือ ประจุของสีถูกดูดซับด้วยประจุที่ต่างกันของเส้นใยเกิดการแทรกซึมของสีเข้าไปในเส้นใยและเกิดแรงแวนเดอร์วาล์สระหว่างสีกับเส้นใยที่มีประจุเหมือนกัน [5, 25, 37] ดังนั้นสีแอสิดและสีเบสิกจึงสามารถย้อมติดเส้นใยไหมได้เนื่องจากเส้นใยไหมสามารถแสดงประจุบวกหรือลบ ได้ขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.22



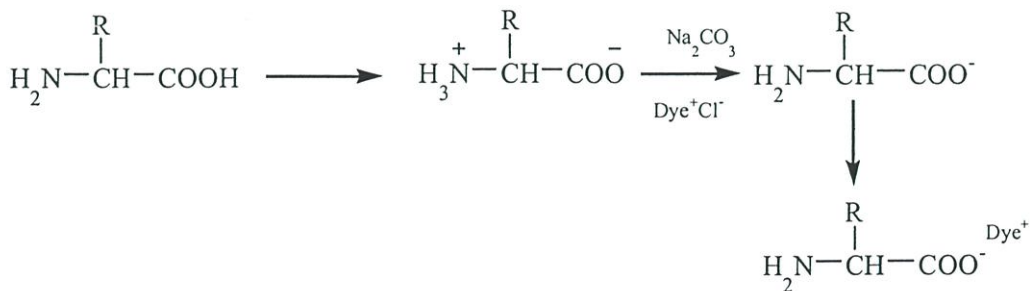
รูปที่ 4.28 ประจุบวกและลบของกรดอะมิโน [38]

ในกรณีที่ข้อมด้วยสีแอสิดซึ่งโมเลกุลของสีข้อมแสดงประจุลบ (Dyes⁻Na⁺) และข้อมในสภาวะที่น้ำข้อมมีสมบัติเป็นกรด ดังนั้น โมเลกุลของเส้นใยไหมส่วนใหญ่จึงแสดงประจุบวกทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุลบของสีข้อมกับประจุบวกของโมเลกุลเส้นใยไหม คือ พันธะไอออนิก (Ionic attraction) ทำให้สีข้อมแอสิดสามารถยึดติดกับ เส้นใยไหมได้ดี [25, 37, 41] ดังรูปที่ 4.29



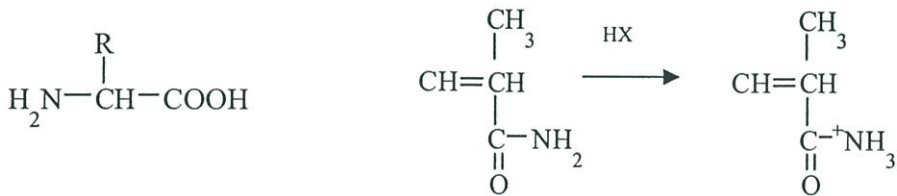
รูปที่ 4.29 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีแอสิดและเส้นใยไหม [39]

ส่วนกลไกในการข้อมเส้นใยไหมด้วยสีเบสิกจะมีลักษณะคล้ายกับการข้อมด้วยสีแอสิดแต่สีเบสิกเป็นสีข้อมที่แสดงประจุบวก (Dyes⁺Cl⁻) สามารถเกิดพันธะไอออนิกกับประจุลบของเส้นใยไหมในสภาวะที่เส้นใยไหมในสารละลายที่มีสภาวะเป็นเบสิกเส้นใยไหมบางส่วนจึงแสดงประจุลบทำให้สีเบสิกสามารถยึดติดกับเส้นใยไหมได้ [9, 39] ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีเบสิกและเส้นใยไหม

จากการทดลองย้อมเส้นใยไหมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าการย้อมด้วยสีเบสิก เนื่องจากการเกิดประจุลบของ โมเลกุลเส้นใยไหมมีโอกาสเกิดน้อยกว่าการเกิดประจุบวก [35, 37, 38] ทำให้ปริมาณการเกิดพันธะไอออนิกบนผิวเส้นใยของ การย้อมด้วยสีแอซิดสูงกว่าการย้อมด้วยสีเบสิก ในขณะที่กลไกการย้อมสีอื่น ๆ คือ การแทรกซึมของสีในเส้นใยและแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างประจุเหมือนกัน เมื่อเปรียบเทียบการย้อมเส้นใยไหมก่อนและหลังด้อมกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการด้อมกึ่งแล้วนำมาผ่านกระบวนการย้อมมีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านการด้อมกึ่งทั้งกรณีของการย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก เนื่องจากการเกิดพอลิเมอร์เชนในส่วนที่เป็นออสัญฐานของเส้นใยและเมทาคริลาไมด์มีโครงสร้างใกล้เคียงกับ โมเลกุลของเส้นใยไหมดังแสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 โครงสร้างโมเลกุลของไฟโบรอินและเมทาคริลาไมด์

ในการด้อมกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีโครงสร้างที่สามารถเกิดประจุบวกสำหรับการสร้างพันธะไอออนิกกับ โมเลกุลของสีแอซิดได้มากขึ้นความคงทนของสีต่อการซักจึงสูงขึ้น ส่วนกรณีของการย้อมด้วยสีเบสิกนั้นการด้อมกึ่งทำให้ความสามารถในการแสดงประจุบวกของเส้นใยมากขึ้นอนุภาคของสีจึงสามารถยึดติดกับเส้นใยไหมเนื่องจากเกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างสีกับเส้นใยที่มีประจุเหมือนกัน ได้ดีกว่าก่อนด้อมกึ่งทำให้ความคงทนของสีต่อการซักสูงขึ้น แต่น้อยกว่าการย้อมด้วยสีแอซิด เนื่องจากพันธะไอออนิกมีความแรงของพันธะมากกว่าแรงแวนเดอร์วาลส์

4.3.3.2 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ

การวิเคราะห์ผลของความคงทนของสีต่อเหงื่อนั้นมีผลของการเปลี่ยนแปลงที่ควรคำนึงถึง 2 ประเภท คือ ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานและค่าเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเช่นเดียวกับการซัก แต่เนื่องจากเหงื่อของคนเรามีสมบัติที่ต่างกัน ดังนั้นในมาตรฐานจึงมีการวิเคราะห์ความคงทนของสีต่อเหงื่อที่มีความเป็นกรดและเบสดังตารางที่ 4.5-4.8 พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวและด้อมกึ่งแล้วย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกมีความคงทนของสีต่อเหงื่อที่เป็นกรดและเป็นเบสค่อนข้างต่ำและเส้นใยไหมที่ย้อมด้วย สีเบสิกมีความคงทนของสีต่อเหงื่อต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิด เนื่องจากความแตกต่างของการเกิดกลไกในการย้อมด้อมที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องความคงทนของสีต่อการซัก

- เหยื่อเทียมที่มีสมบัติเป็นกรด

ตารางที่ 4.7 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหยื่อเทียมที่เป็นกรด

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย			
	สีแอมซิด		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว	2-3	4	1-2	3-4
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	2-3	4	1-2	3-4

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อเหยื่อสูงหรือสีตกน้อย

ตารางที่ 4.6 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของจีนทดสอบเนื่องจากเหยื่อเทียมที่เป็นกรด

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย	
	สีแอมซิด	สีเบสิก
	เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว	4-5
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	4-5	3-4

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อเหยื่อสูงหรือสีตกน้อย

- เหยื่อเทียมที่มีสมบัติเป็นเบส

ตารางที่ 4.7 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหยื่อเทียมที่เป็นเบส

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย			
	สีแอมซิด		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว	2	4	1	3
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	2	4	1	3

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อเหยื่อสูงหรือสีตกน้อย

ตารางที่ 4.8 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นทดสอบเนื่องจากเหงื่อเทียมที่เป็นเบส

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย	
	สีแอสิด	สีเบสิก
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ	4-5	2-3
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	4-5	3-4

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อเหงื่อสูงหรือสีตกน้อย

4.3.3.3 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก)

ในการวิเคราะห์ผลความคงทนของสีต่อแสงทำได้โดยดูค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นทดสอบดังตารางที่ 4.9 เห็นได้ว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอสิดมีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีเบสิกและเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยเมทาครีลาไมด์มีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยไหมที่ลอกกาบโดยไม่ได้ต่อกึ่ง เนื่องจากความสามารถในการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยไหมกับ โมเลกุลของสีแอสิดสูงกว่าสีเบสิกและการต่อกึ่งด้วยเมทาครีลาไมด์มีโครงสร้างที่สามารถเกิดพันธะไอออนิกกับ โมเลกุลของสีได้มากกว่าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.3.3.1 เมื่อพิจารณาระดับความคงทนของสีต่อแสงที่ทดสอบได้ พบว่าระดับความคงทนของสีต่อแสงในเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งและผ่านการต่อกึ่งแล้วย้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิกอยู่ในเกณฑ์ที่ดีในทุก ๆ ชั้นทดสอบ

ตารางที่ 4.9 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นทดสอบเนื่องจากแสง

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย	
	สีแอสิด	สีเบสิก
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ	4-5	4
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	5-6	5

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีสูงหรือสีมีการเปลี่ยนแปลงน้อย

ดังนั้นจากการวิจัยในขั้นตอนการย้อมสีโดยพิจารณาถึงผลของความสามารถในการย้อมสมบัติเชิงกลและความคงทนของสีจึงสามารถสรุปได้ว่าการต่อกึ่งเส้นใยไหมด้วยเมทาครีลาไมด์สามารถปรับปรุงสมบัติในการติดสีย้อมให้ดีขึ้นได้ ส่วนสีย้อมที่เหมาะสมในการย้อมเส้นใยไหมคือ สีย้อมแอสิด

4.3.4 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี

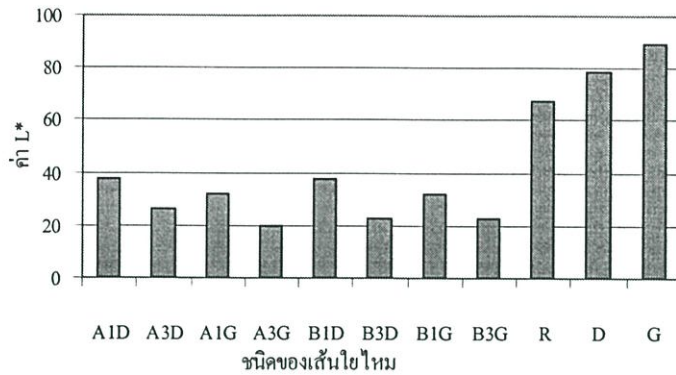
จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในหัวข้อ 4.3.1-4.3.3 เป็นผลซึ่งแสดงถึงความสามารถในการย้อมสี ความแข็งแรงของเส้นใยและความคงทนของสีต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ โดยยังไม่พิจารณาถึงผลของสีในลักษณะต่าง ๆ ซึ่งสีเป็นสิ่งที่สำคัญในการดึงดูดความสนใจของผู้บริโภคเพื่อเลือกสินค้าและผลิตภัณฑ์นั้น ๆ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้ทำการวัดความแตกต่างของสีด้วยเครื่องวัดสี (Spectrophotometer) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.32

จากรูปที่ 4.32 แสดงความสว่างของเส้นใยโดยค่า L^* สูงแสดงว่าวัตถุมีความสว่างมาก ค่า L^* ต่ำแสดงถึงความเข้มและความทึบของวัสดุ พบว่าการย้อมเส้นใยไหมที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยการดอ่กังและที่ผ่านการดอ่กังมีค่าความสว่างใกล้เคียงกันที่การย้อมด้วยสีชนิดเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของสีย้อม เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมมากขึ้นค่าความสว่างของเส้นใยไหมลดลงแสดงให้เห็นว่าการย้อมสีเส้นใยไหมด้วยสีเบสิกและสีแอซิดที่ความเข้มข้นมากขึ้นทำให้เส้นใยไหมมีสีที่เข้มขึ้น

จากรูปที่ 4.33 แสดงว่าวัตถุเป็นสีแดงหรือสีเขียว โดยค่า a^* เป็นบวกวัตถุมีสีออกแดง ค่า a^* เป็นลบวัตถุมีสีออกเขียว พบว่าการย้อมเส้นใยไหมที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยการดอ่กังและที่ผ่านการดอ่กังด้วยสีแอซิดและสีเบสิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมมากขึ้นค่า a^* สูงขึ้นตามความเข้มข้นของสีย้อม แสดงว่าสีย้อมที่ใช้มีเฉดออกสีแดงเล็กน้อย

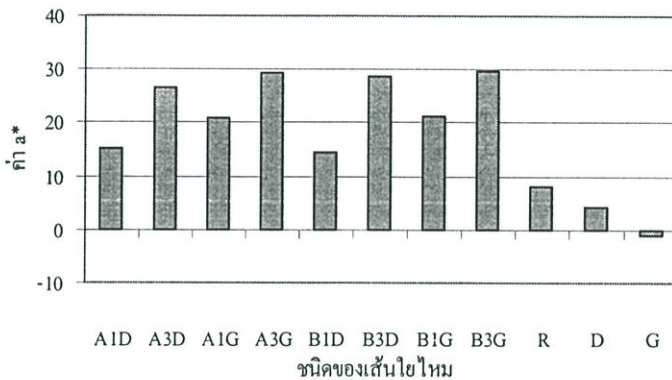
จากรูปที่ 4.34 แสดงว่าวัตถุเป็นสีเหลืองหรือสีน้ำเงิน โดยค่า b^* เป็นบวกวัตถุมีสีออกเหลือง ค่า b^* เป็นลบวัตถุมีสีออกน้ำเงิน พบว่าการย้อมเส้นใยไหมที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยการดอ่กังและที่ผ่านการดอ่กังด้วยสีเบสิกและสีแอซิดมีค่า b^* เป็นลบและมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นการยืนยันว่าเส้นใยที่ผ่านการย้อมมีสีน้ำเงิน

จากรูปที่ 4.35 ค่า c^* ซึ่งแสดงถึงเฉดสีของชิ้นทดสอบ คือ ความสดใและความเข้มของตัวอย่าง พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการดอ่กังด้วยเมทาคริลาไมด์ให้ค่า c^* สูงกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ได้ดอ่กังในทุก ๆ ความเข้มข้นแสดงว่าเส้นใยไหมที่ดอ่กังแสดงสีน้ำเงินที่เข้มกว่าและเส้นใยไหมก่อนและหลังการดอ่กังที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกที่ความเข้มข้น 3 % แสดงค่า c^* สูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีเข้มขึ้น 1 % แสดงว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสี 3 % แสดงสีน้ำเงินที่เข้มกว่าการย้อมด้วยสีเข้มขึ้น 1 %



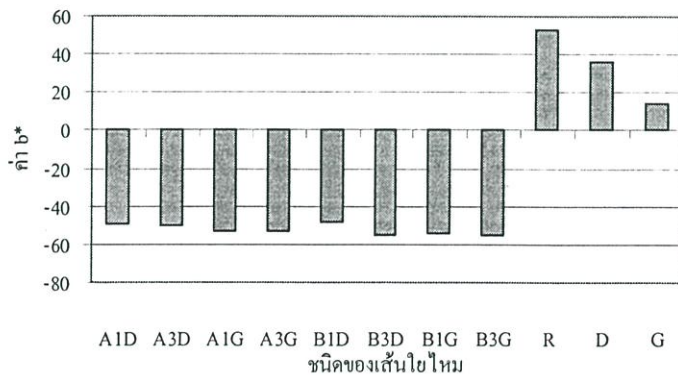
A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 1 % A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % A1G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 1 %
 A3G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 % R เส้นใยไหมดิบ D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 G เส้นใยไหมต่อกิ่ง

รูปที่ 4.32 ค่าความสว่าง (L*) ของเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ



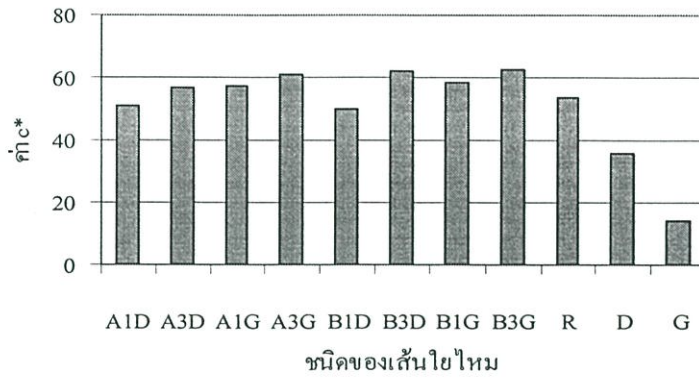
A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 1 % A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % A1G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 1 %
 A3G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 % R เส้นใยไหมดิบ D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 G เส้นใยไหมต่อกิ่ง

รูปที่ 4.33 ค่า a* ของเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ



A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 1 % A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % A1G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 1 %
 A3G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 % R เส้นใยไหมดิบ D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 G เส้นใยไหมต่อกิ่ง

รูปที่ 4.34 ค่า b* ของเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ



A1D เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยดีเอสแอลชนิด 1% A3D เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยดีเอสแอลชนิด 3% A1G เส้นใยใหม่ตอกิ่งด้วยดีเอสแอลชนิด 1%
 A3G เส้นใยใหม่ตอกิ่งด้วยดีเอสแอลชนิด 3% B1D เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยดีเอสแอลชนิด 1% B3D เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยดีเอสแอลชนิด 3%
 B1G เส้นใยใหม่ตอกิ่งด้วยดีเอสแอลชนิด 1% B3G เส้นใยใหม่ตอกิ่งด้วยดีเอสแอลชนิด 3% R เส้นใยใหม่คืบ D เส้นใยใหม่ลอกกาว
 G เส้นใยใหม่ตอกิ่ง

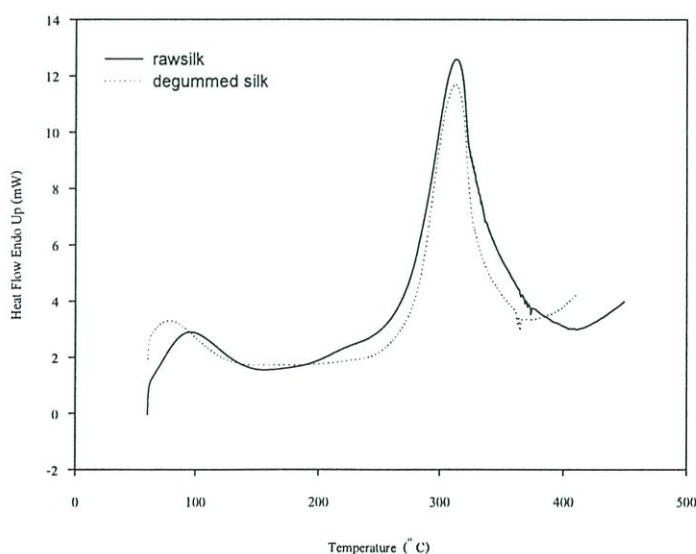
รูปที่ 4.35 ค่า c^* ของเส้นใยใหม่ชนิดต่าง ๆ

4.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม

สมบัติทางความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการนำเส้นใยไหมไปใช้งาน โดยเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ คือ ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการศึกษาหลายขั้นตอนดังนั้นในการวิเคราะห์เกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมจึงแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ เส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว เส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่งและเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสี

4.4.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว

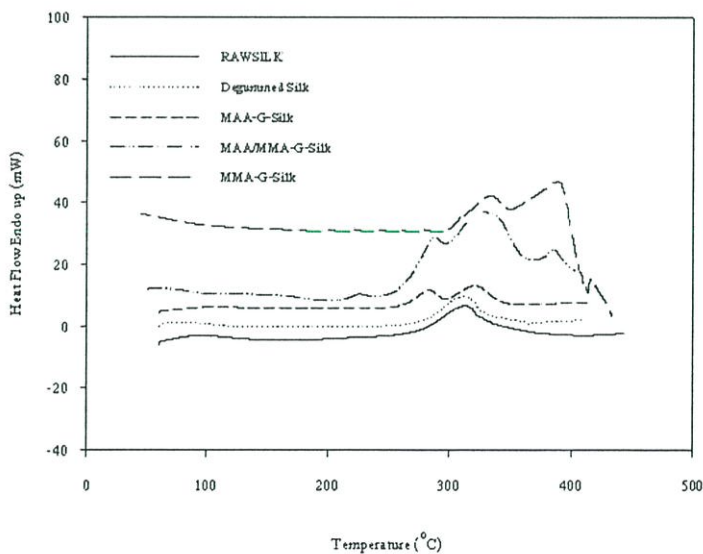
จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที (รูปที่ 4.35) พบว่าอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่าประมาณ 313 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิในการสลายตัวนั้น คือ อุณหภูมิในการสลายตัวของไฟโบรอินในส่วนที่มีโครงสร้างเป็นแบบเบต้าชีท [5, 17, 31, 38, 40] แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของพีก เห็นได้ว่าพีกของเส้นใยไหมดิบมีลักษณะที่กว้าง (Broad) กว่าพีกของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวและดูได้จากอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของเส้นใยไหมทั้งสองชนิดที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาว คือ 274 และ 279 องศาเซลเซียสตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการสลายตัวของเส้นใยไหมเริ่มจากการสลายตัวของหมู่อะมิโนที่เป็นโซ่ข้างเคียง (Amino acid side chain) ตามด้วยพันธะเปปไทด์และโครงสร้างหลักที่เป็นเบต้าชีท [38] ดังนั้นในไหมดิบซึ่งมีกาวไหมที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนสายโซ่สั้น ๆ จึงมีอุณหภูมิเริ่มสลายตัวต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้ว



รูปที่ 4.36 เทอร์โมแกรมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว

4.4.2 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการด็อกิ่ง

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยพิจารณาอุณหภูมิในการสลายตัวของวัสดุที่ใช้ในการด็อกิ่งก่อนผ่านกระบวนการด็อกิ่ง คือ เส้นใยไหมก่อนการด็อกิ่ง (หลังลอกกาบ) พอลิเมทาครีลาไมด์ (PMAA) และพอลิเมทิลเมทาไครเลท (PMMA) มีอุณหภูมิในการสลายตัว 313 283 และ 380 องศาเซลเซียสตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.37 เมื่อมีการด็อกิ่งเส้นใยไหมด้วยเมทาครีลาไมด์ พบว่ามีพิกแสดงอุณหภูมิการสลายตัว 2 พิก คือที่ 282 และ 322 องศาเซลเซียสซึ่งแสดงให้เห็นว่าการด็อกิ่งไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวแสดงถึงความไม่สามารถในการเข้ากันได้ของเส้นใยไหมและพอลิเมทาครีลาไมด์ แต่การด็อกิ่งทำให้อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมสูงขึ้น เนื่องจากการด็อกิ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาที่แข็งแรง (Strong interaction) ระหว่างไฟโบรอินและพอลิเมออร์ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล [31, 33, 38] เนื่องจากการด็อกิ่งทำให้เกิดเป็นพอลิเมออร์ในส่วนที่เป็นอัสติฐานของเส้นใยซึ่งเป็นเหตุผลในการยืนยันว่าการด็อกิ่งทำให้สมบัติเชิงกลของเส้นใยสูงขึ้นดังแสดงในหัวข้อที่ 4.2 และเมื่อทำการด็อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท พบว่ามีอุณหภูมิในการสลายตัว 2 ค่า คือ 390 และ 340 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการด็อกิ่งไม่สามารถทำให้โมเลกุลของเส้นใยไหมรวมเป็นเนื้อเดียวมอโนเมอร์ที่ใช้ในการด็อกิ่งเช่นกันและอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมและเมทิลเมทาไครเลทเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลได้เช่นเดียวกับการด็อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์



รูปที่ 4.37 เทอร์โมแกรมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการด็อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ เมทิลเมทาไครเลทและเมทาครีลาไมด์ผสมเมทิลเมทาไครเลท

เมื่อศึกษาถึงผลของมอโนเมอร์แต่ละตัวที่ใช้ในการด็อกิ่งแล้ว จึงขยายการศึกษาถึงผลของอัตราส่วนระหว่างมอโนเมอร์ทั้งสองชนิดต่ออุณหภูมิในการสลายตัว พบว่าพิกที่ได้จากการด็อกิ่ง

ด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ กันนั้นปรากฏพิกแสดงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหม 3 พิก ดังตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยไหมเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทไม่สามารถเข้ากันได้และอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังผ่านการตอกลงสูงขึ้นดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว

ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมที่ผ่านการตอกลง

อัตราส่วนระหว่าง MAA:MMA	อุณหภูมิในการสลายตัว (องศาเซลเซียส)		
	PMAA	ไฟโบรอิน	PMMA
0	-	313	-
100:0	282	340	-
75:25	293	340	390
50:50	291	337	388
25:75	287	335	386
0:100	-	340	390

4.4.3 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสี

ในการย้อมสีเส้นใยไหมต้องทำการย้อมสีเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์เพื่อเปรียบเทียบผลของอนุภาคสีย้อมต่อสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมและการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลของสีและโมเลกุลของไฟโบรอินหรือไม่มีการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลทั้งสองแต่อนุภาคของสีกระจายตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของเส้นใยไหมหรือเกิดการย้อมทั้งสองแบบ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของสีแอซิดและสีเบสิก

4.4.3.1 การย้อมด้วยสีแอซิด

จากสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีย้อมแอซิด พบว่าอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมไม่เปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 4.11 เนื่องจากการย้อมด้วยสีแอซิดทำให้โมเลกุลของสีและไฟโบรอินเกิดพันธะระหว่างกัน แต่ไม่มีผลต่อความเป็นระเบียบและความเป็นผลึกของไฟโบรอินในเส้นใยไหมจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัว

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังย้อมด้วยสีแอซิด

ชนิดของตัวอย่าง	อุณหภูมิในการสลายตัว (องศาเซลเซียส)	
	พอลิเมทาคริลลาไมด์	ไฟโบรอิน
เส้นใยไหมก่อนตอ กิ่ง	-	312
เส้นใยไหมผ่านการตอ กิ่ง	282	322
เส้นใยไหมก่อนตอ กิ่ง+ย้อม	-	312
เส้นใยไหมผ่านการตอ กิ่ง+ย้อม	285	322

4.4.3.2 การย้อมด้วยสีเบสิก

จากสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีย้อมเบสิก พบว่าการเกิดพันธะระหว่างสีย้อมและเส้นใยไหมไม่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการย้อมด้วยสีแอซิด ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังย้อมด้วยสีเบสิก

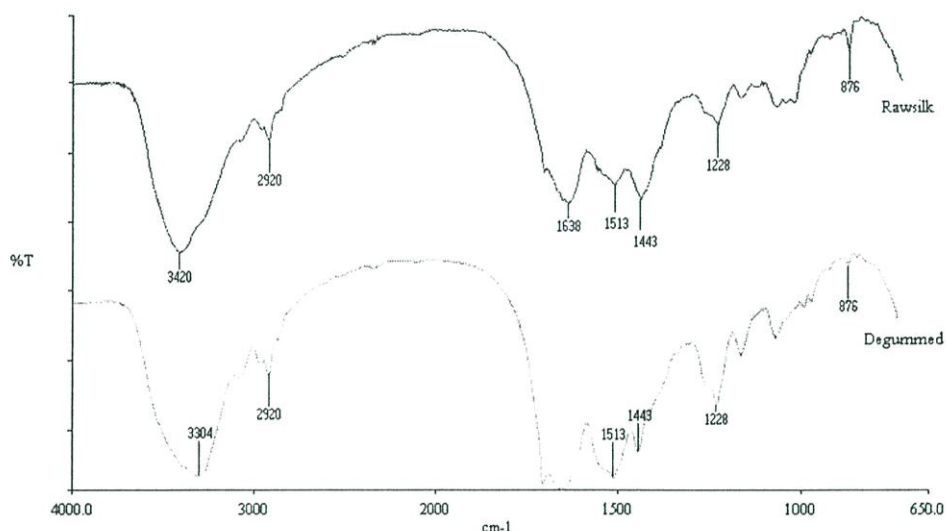
ชนิดของตัวอย่าง	อุณหภูมิในการสลายตัว (องศาเซลเซียส)	
	พอลิเมทาคริลลาไมด์	ไฟโบรอิน
เส้นใยไหมก่อนตอ กิ่ง	-	313
เส้นใยไหมผ่านการตอ กิ่ง	282	322
เส้นใยไหมก่อนตอ กิ่ง+ย้อม	-	309
เส้นใยไหมผ่านการตอ กิ่ง+ย้อม	285	320

4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหมในขั้นตอนต่าง ๆ โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared spectroscopy, FTIR) ซึ่งสามารถสังเกตการเปลี่ยนแปลงของโครงสร้างได้จากการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสัญญาณจากอินฟราเรดสเปกตรัม (IR Spectrum) ในการแสดงและวิจารณ์ผลการทดลองได้แบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ เส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว เส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่งและเส้นใยไหมก่อนและหลังการข้อม

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาวดังรูปที่ 4.38 พบว่าสเปกตรัมของเส้นใยไหมดิบแสดงการดูดกลืนที่ตำแหน่งความยาวคลื่นต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.13



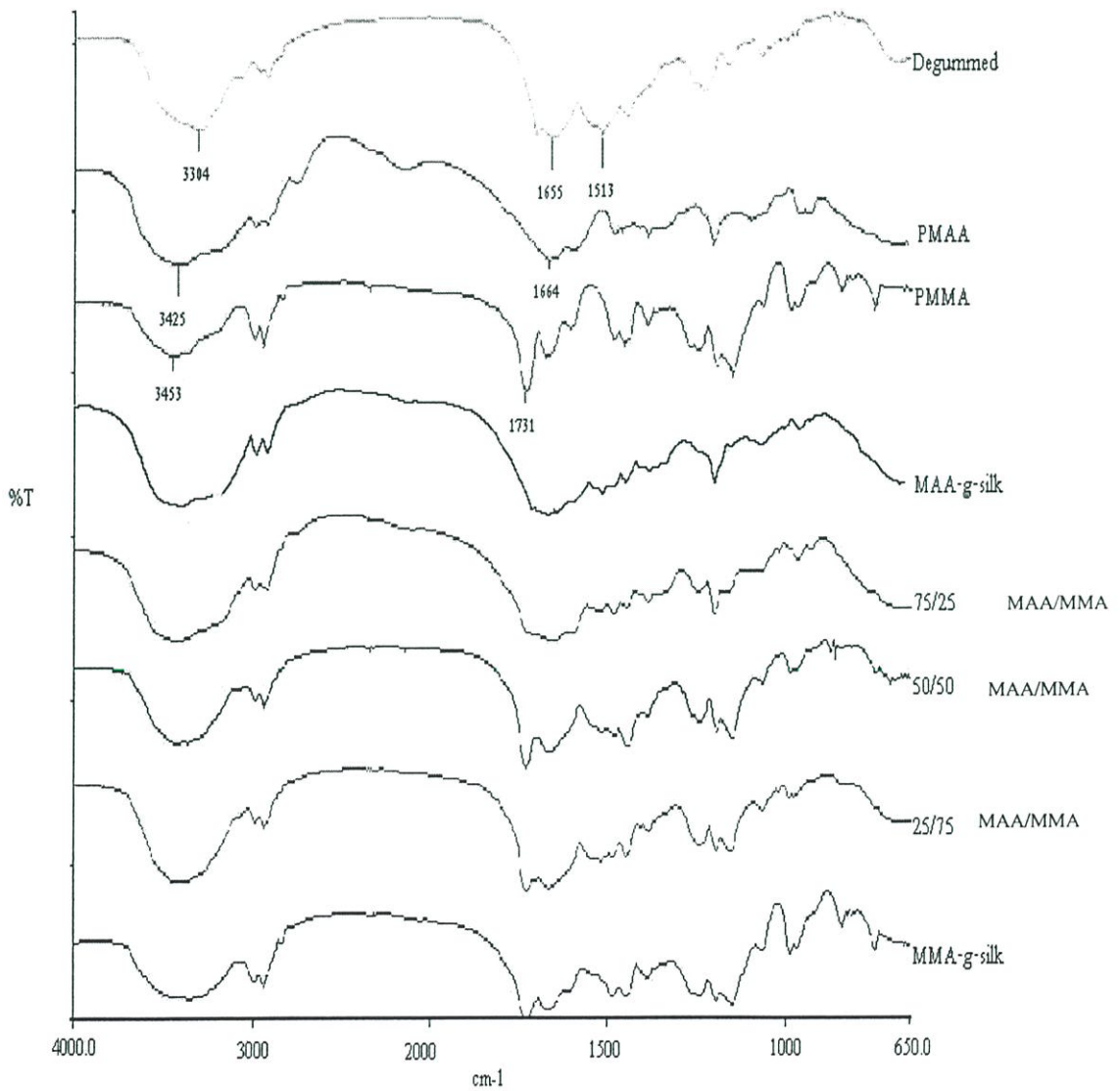
รูปที่ 4.38 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมดิบและ (ข) เส้นใยไหมหลังลอกกาว

เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของเส้นใยหลังลอกกาวพบว่าแสดงสเปกตรัมที่ตำแหน่งเดียวกับเส้นใยไหมดิบ คือ ที่ตำแหน่ง 2920 1638 และ 1513 cm^{-1} ซึ่งแสดงหมู่ฟังก์ชันเช่นเดียวกับเส้นใยไหมดิบ ยกเว้นที่ตำแหน่ง 3304 cm^{-1} ที่แสดง N-H stretching เช่นเดียวกับสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 3420 cm^{-1} ในไหมดิบ เห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของสเปกตรัมเนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีส่วนที่เป็นหมู่เอไมด์อิสระ (Free amide group) มากกว่าเส้นใยไหมหลังลอกกาว

ตารางที่ 4.13 ช่วงการดูดกลืนของสเปกตราที่ปรากฏในรูปที่ 4.38

ตำแหน่งพีก (cm^{-1})	แสดงช่วงการดูดกลืนของ
3240	N-H stretching [39]
2920	C-H stretching [40]
1638	amide I [37]
1510	amide II [37]

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่ง



รูปที่ 4.39 อินฟราเรดสเปกตราเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่า ตำแหน่งสเปกตรัมของพอลิเมทาคริลาไมด์มีตำแหน่งใกล้เคียงกับเส้นใยไหมเนื่องจากมีโครงสร้างที่คล้ายกัน คือ 3425 และ 2993 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึง N-H stretching และ C-H stretching แต่มีพีกที่แตกต่างจากเส้นใยไหม คือ 1664 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึง C-O stretching และเมื่อพิจารณาถึงสเปกตรัมของพอลิเมทิลเมทาไครเลทมีตำแหน่งใกล้เคียงกับเส้นใยไหม คือ 3453 และ 2952 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึง O-H stretching และ C-H stretching และพีกที่ต่างกัน คือ 1731 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่เอสเทอร์ (Ester group, O-C=O)

เมื่อพิจารณาถึงเส้นใยไหมหลังผ่านการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีตำแหน่งของพีกที่เพิ่มจากสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่ง คือ 1664 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) ส่วนการต่อกึ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทพบพีกที่เพิ่มขึ้นจากเส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่ง คือ 1731 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่เอสเทอร์และสเปกตรัมของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ปรากฏสเปกตรัมเพิ่มเติมในทั้ง 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่แสดงหมู่คาร์บอนิลและหมู่เอสเทอร์ สรุปได้ว่าการต่อกึ่งทำให้โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไหมเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสังเกตได้จากพีกที่แสดงหมู่คาร์บอนิลและหมู่เอสเทอร์

4.5.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสี

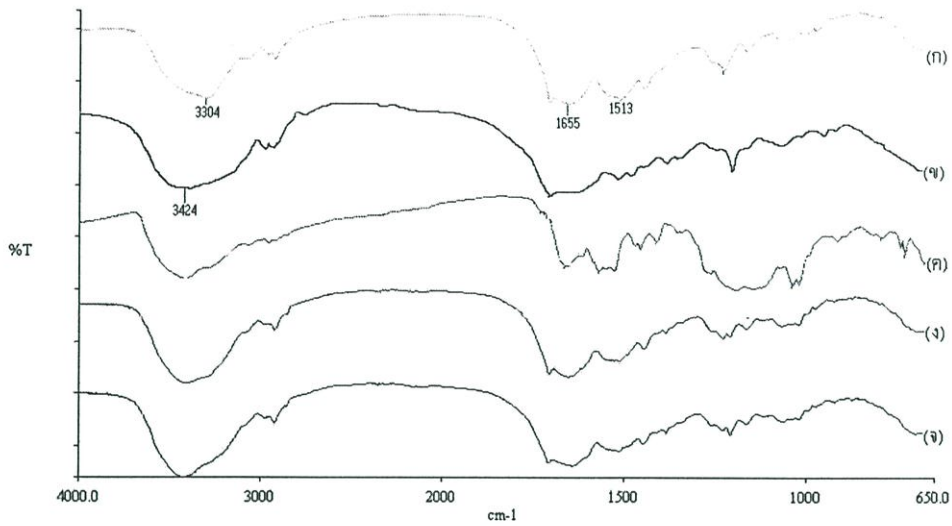
ในงานวิจัยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการย้อมของสีแอซิดและสีเบสิก ดังนั้น การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยจึงต้องทำการเปรียบเทียบโครงสร้างของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งที่ย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก

4.5.3.1 การย้อมด้วยสีแอซิด

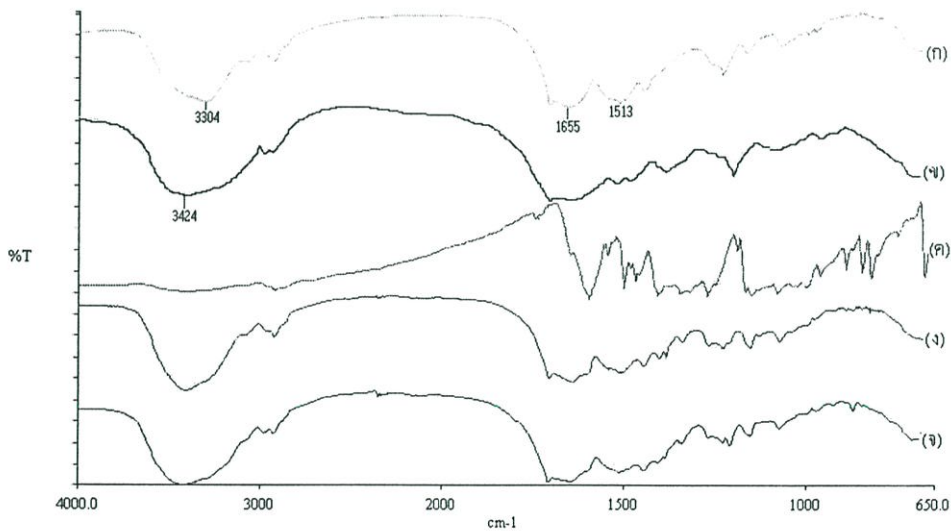
จากการสังเกตสเปกตรัมของการย้อมด้วยสีแอซิดเทียบกับเส้นใยไหมก่อนการย้อม ดังรูปที่ 4.40 พบว่าโครงสร้างของเส้นใยไหมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการย้อมสีด้วยสีแอซิดจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหม

4.5.3.2 การย้อมด้วยสีเบสิก

จากการสังเกตสเปกตรัมของการย้อมด้วยเบสิกเทียบกับเส้นใยไหมก่อนการย้อมดังรูปที่ 4.41 พบว่าโครงสร้างของเส้นใยไหมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการย้อมสีด้วยสีเบสิกจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหม



รูปที่ 4.40 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหม (ก) หลังลอกกาว (ข) หลังต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (ค) สีแอซิด (ง) เส้นใยไหมลอกกาวและย้อมด้วยสีแอซิดและ (จ) เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอซิด



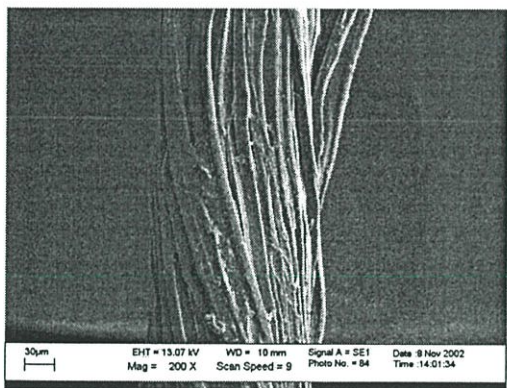
รูปที่ 4.41 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหม (ก) หลังลอกกาว (ข) หลังต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (ค) สีเบสิก (ง) เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิกและ (จ) ต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก

4.6 ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหม

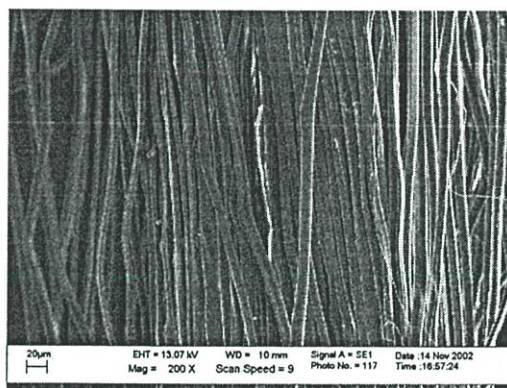
ในการศึกษาลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า ได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน คือ เส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาวย เส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่งและเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสี เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยไหมในแต่ละขั้นตอน

4.6.1 ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว

จากลักษณะของพื้นผิวเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ดังรูปที่ 4.42 พบว่าเส้นใยไหมดิบมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบเป็นช่วง ๆ แต่ไม่สม่ำเสมอ [2, 19] เส้นใยมีลักษณะเกาะรวมกันเป็นกลุ่ม เนื่องจากกาวที่ปกคลุมอยู่บนพื้นผิวของเส้นใย (รูปที่ 4.42 (ก)) ส่วนลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีพื้นผิวที่เรียบและสม่ำเสมอ (รูปที่ 4.42 (ข)) เนื่องจากได้ทำการลอกกาวออกหมดแล้ว แต่เส้นใยแต่ละเส้นแยกออกจากกัน ไม่รวมกันเป็นกลุ่มเหมือนเส้นใยไหมดิบ



(ก)



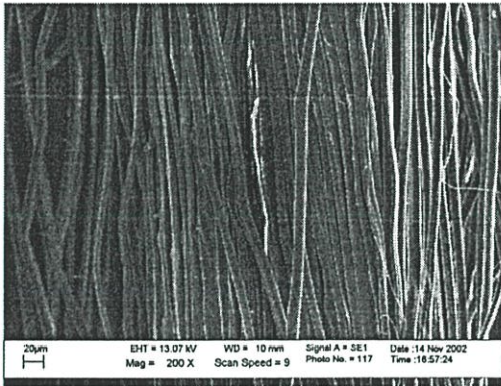
(ข)

รูปที่ 4.42 ภาพ SEM ของ (ก) เส้นใยไหมดิบและ (ข) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว

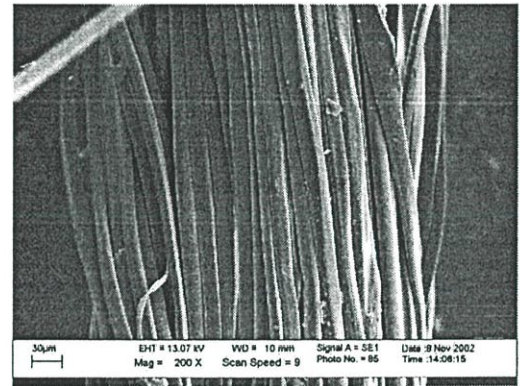
4.6.2 ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่ง

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวที่ได้จากการต่อกึ่งโดยพิจารณาถึงผลของชนิดมอนอเมอร์และอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ดังรูปที่ 4.43 พบว่าการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลลาไมด์ (รูปที่ 4.43 (ข)) ทำให้เส้นใยไหมมีพื้นผิวเรียบและสม่ำเสมอและเส้นใยไหมแต่ละเส้นรวมกันเป็นกลุ่มไม่กระจายเหมือนเส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่ง เนื่องจากการต่อกึ่งนั้นเกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยไหมและเมทาคริลลาไมด์ทั้งภายใน โมเลกุลและบนพื้นผิวของเส้นใยซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวทำให้เกิดเป็น

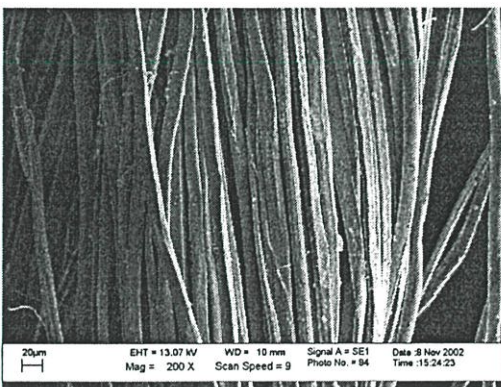
ฟิล์มของพอลิเมทาคริลาไมด์ปกคลุมอยู่บนพื้นผิวของเส้นใย [38] เป็นผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นและเส้นใยมีสมบัติทางแรงดึงที่ดีขึ้น ส่วนเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท (รูปที่ 4.43 (ง)) มีลักษณะการรวมกลุ่มของเส้นใยใหม่เช่นเดียวกับการต่อกิ่งเส้นใยด้วยเมทาคริลาไมด์ แต่พื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระและไม่สม่ำเสมอเนื่องจากเกิดพอลิเมอไรเซชันของเมทิลเมทาไครเลทเกิดเป็นกลุ่มก้อนโพลิโกเมอร์สะสมบนพื้นผิวของเส้นใย [29, 30] ความไม่สม่ำเสมอของเส้นใยเป็นผลให้สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยแยลง เมื่อพิจารณาถึงเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลท (รูปที่ 4.43 (ค)) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเส้นใยใหม่ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท แต่ลักษณะของก้อน โพลิโกเมอร์ที่สะสมอยู่บนเส้นใยมีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากปริมาณของเมทิลเมทาไครเลทที่ใช้ในการต่อกิ่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ น้อยกว่าการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทเพียงอย่างเดียว



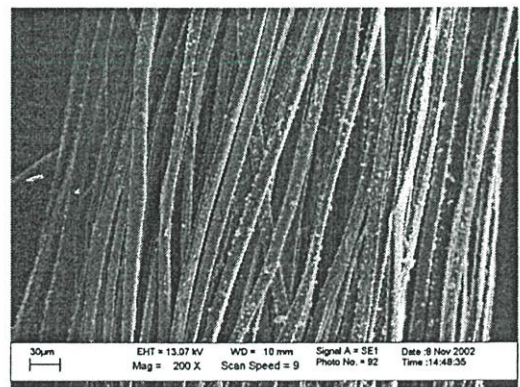
(ก)



(ข)



(ค)



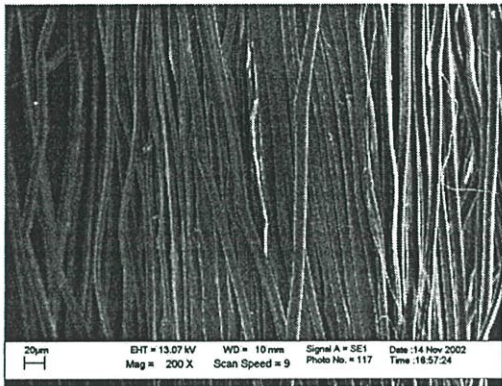
(ง)

รูปที่ 4.43 ภาพ SEM ของเส้นใยใหม่ในกระบวนการต่อกิ่ง (ก) เส้นใยใหม่ก่อนผ่านกระบวนการต่อกิ่ง (ข) เส้นใยใหม่หลังผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (ค) เส้นใยใหม่หลังผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทและ (ง) เส้นใยใหม่หลังผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท

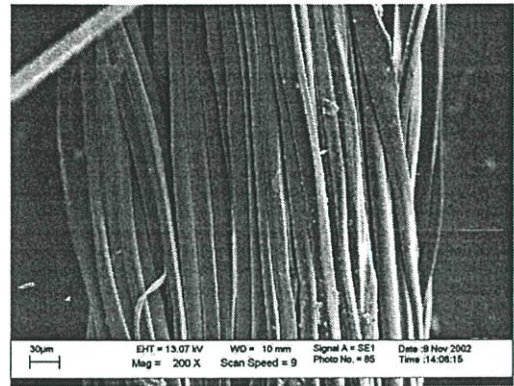
4.6.3 ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อม

ในงานวิจัยได้ศึกษาผลของสีย้อมแอซิดและสีเบสิกต่อสมบัติของเส้นใยไหม ดังนั้นจึงศึกษาถึงลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมเพื่อคุณลักษณะของพื้นผิวเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์

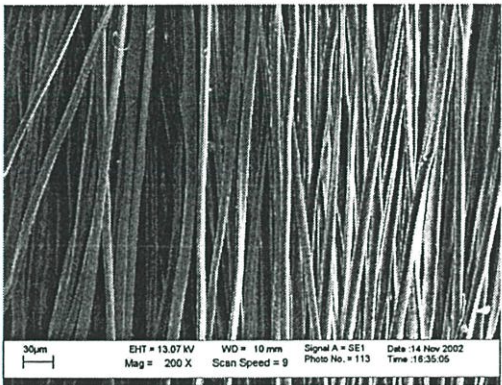
- ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีแอซิด



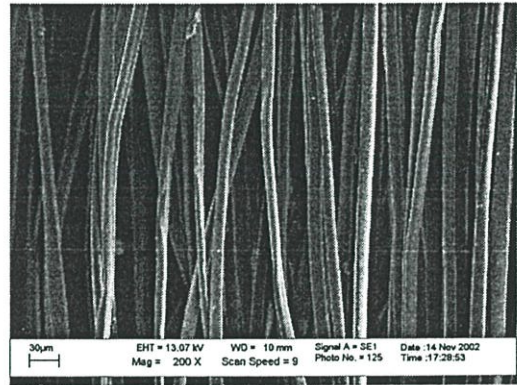
(ก)



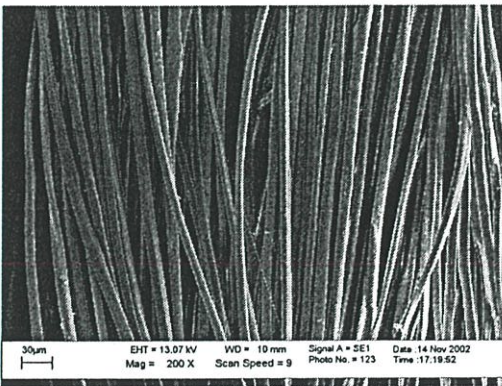
(ง)



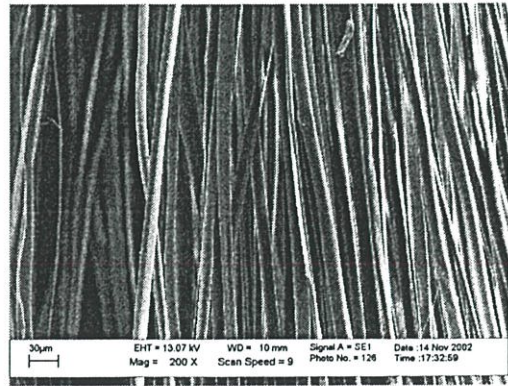
(จ)



(ฉ)



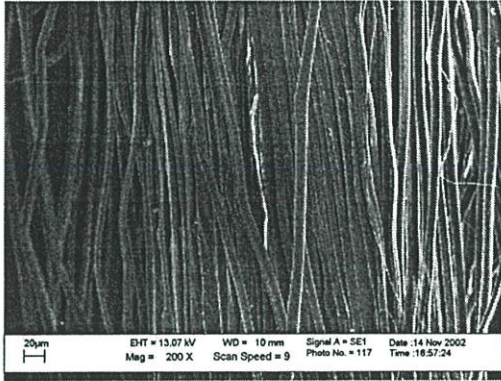
(ค)



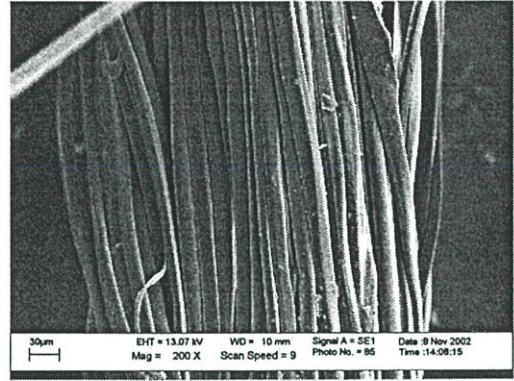
(ฉ)

รูปที่ 4.44 ภาพ SEM ของเส้นใยไหม (ก) หลังลอกกว แล้วย้อมด้วยสี (ข) 1 % (ค) 3 % (ง) หลังผ่านกระบวนการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ แล้วย้อมด้วยสี (จ) 1 % และ (ฉ) 3 %

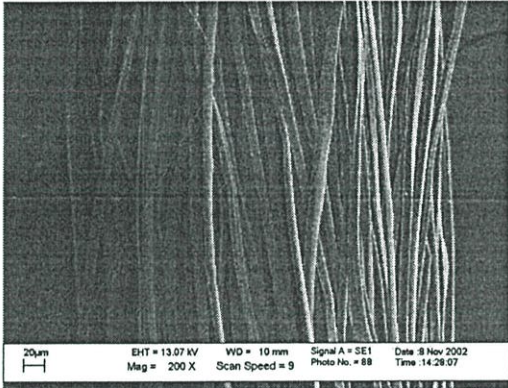
- **สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีเบสิก**



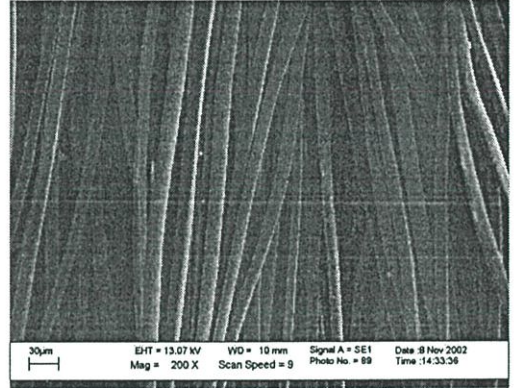
(ก)



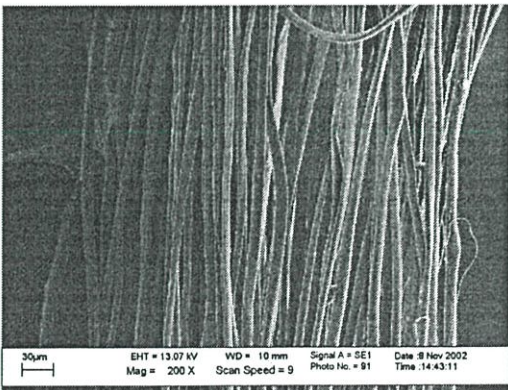
(ง)



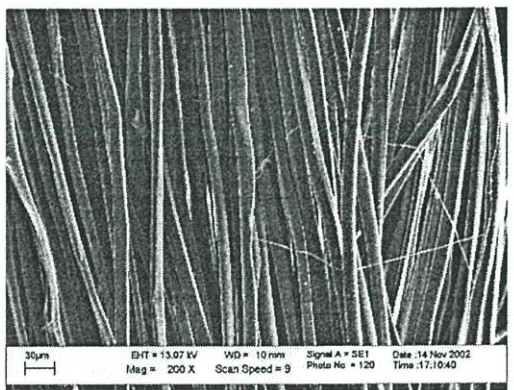
(จ)



(ฉ)



(ค)



(ฅ)

รูปที่ 4.45 ภาพ SEM ของเส้นใยไหม (ก) หลังลอกกวแล้วย้อมด้วยสี (ข) 1 % (ค) 3 % (ง) หลังผ่านกระบวนการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลลาไมด์แล้วย้อมด้วยสี (จ) 1 % และ (ฉ) 3 %

จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสีดังรูปที่ 4.44-4.45 พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยไหมและไม่มีลักษณะของอนุภาคของสีย้อมบนเส้นใย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการย้อมสีด้วยสีแฉิดและสีเบติกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยและการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใยไหมไม่เกิดจากการตกค้างของอนุภาคสีย้อมบนพื้นผิวของเส้นใยแต่เกิดจากพันธะระหว่างอนุภาคของสีย้อมกับโมเลกุลของเส้นใยไหมและการดูดซับอนุภาคของสีในเส้นใยไหม

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 กระบวนการลอกกา

จากการศึกษาการลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ คือ ไทโรเอทิลเอมีน กรดทาร์ทาริก โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100°C ช่วงเวลา 20 30 40 และ 50 นาที พบว่าความสามารถในการลอกกาวของเส้นใยไหมเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลอกกาวเพิ่มขึ้น การลอกกาวด้วยไทโรเอทิลเอมีนให้ผลในการลอกกาวสูงถึง 28 % ส่วนการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกให้ผลในการลอกกาวต่ำที่สุด คือ 1-20 % ในกรณีของการลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตให้ผลในการลอกกาว 17-26 % และลักษณะของเส้นใยหลังผ่านการลอกกาวดีที่สุด คือ มีสีค่อนข้างขาวและเส้นใยไม่หยิกฟู

เมื่อนำเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมาทดสอบสมบัติทางแรงดึง พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ได้เส้นใยไหมที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิและเวลาดำกว่าสภาวะนี้ความสามารถในการลอกกาวต่ำทำให้เส้นใยไหมแข็งและเหลืองจึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ส่วนการลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตให้สมบัติเชิงกลต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตและการลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นเบสที่อ่อนกว่าทำให้ความสามารถในการลอกต่ำเป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลและลักษณะของเส้นใยไม่ดี การลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกได้เปอร์เซ็นต์การลอกต่ำจึงไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้ ส่วนการลอกกาวด้วยไทโรเอทิลเอมีนให้ความสามารถในการลอกสูงที่สุด แต่สมบัติเชิงกลของ เส้นใยต่ำกว่าการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต ดังนั้นจึงเลือกสภาวะในการลอกกาวที่เหมาะสม คือ สารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดและความสามารถในการลอกกาวค่อนข้างสูงสามารถนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

5.1.2 กระบวนการต่อกิ่ง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการต่อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ เมทิลเมทาไครเลทและมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่างที่อุณหภูมิ 80°C ในช่วงเวลา 15-180 นาที พบว่าเส้นใยไหมมีปริมาณการเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์บนเส้นใยมากขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งนานขึ้นและเมื่ออัตราส่วนของเมทาครีลาไมด์ที่ใช้มากขึ้น สำหรับความสามารถในการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทน้อยกว่าเมทาครีลาไมด์ นอกจากนี้พื้นผิวเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยสารละลายที่มีเมทิลเมทาไครเลทผสมอยู่มีลักษณะขรุขระเนื่องจากโอลิโกเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลทเกาะบนผิวเส้นใย ซึ่งความขรุขระขึ้นกับปริมาณอัตราส่วนของเมทิลเมทาไครเลทที่ใช้ในการต่อกิ่ง

เมื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยหลังผ่านการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ชนิดต่าง ๆ พบว่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัส มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงเทนาซิตีของเส้นใยไหม มีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการต่อกิ่งทำให้เกิดพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยเป็นผลให้น้ำหนักและพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนความสามารถในการยึดมีแนวโน้มลดลงและเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาที ให้ผลของสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ เทนาซิตีและความแข็งแรงสูง ความสามารถในการยึดและมอดุลัสใกล้เคียงกับเส้นใยไหมก่อนการต่อกิ่งซึ่งแสดงถึงเส้นใยมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นดี ส่วนเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท หรือ เมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของเส้นใยมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี คือ ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสสูงขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการยึดและเทนาซิตีมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาผลทั้ง ความสามารถในการต่อกิ่งและสมบัติเชิงกลสามารถสรุปได้ว่าสภาวะที่เหมาะสมในการต่อกิ่งให้ได้เส้นใยไหมที่มีความสามารถในการต่อกิ่งและสมบัติเชิงกลสูง คือ การต่อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาทีซึ่งทำให้มีปริมาณพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น 70 %

5.1.3 กระบวนการย้อมสี

จากการศึกษาน้ำหนักของสีที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย พบว่าน้ำหนักของสีย้อมที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วยเมทาครีลาไมด์ไม่ทำให้ความสามารถในการย้อมติดสีเปลี่ยนแปลง สิ่งที่มีผลต่อการย้อมติดสี คือ ความเข้มข้นของน้ำย้อมและชนิดของสี ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำย้อมมากขึ้น ความสามารถในการย้อมติดสีดีขึ้นทั้งในกรณีของสีแอซิดและสีเบสิก สำหรับการศึกษาการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงพบว่าเส้นใยไหมก่อนการต่อกิ่งมีการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงมากกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่ง เนื่องจากเส้นใยไหมก่อนการต่อกิ่ง (ผ่านการลอกกว) มีช่องว่างระหว่างเส้นใยมากกว่าทำให้อนุภาคของสีย้อมในน้ำย้อมแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใย แต่เนื่องจาก

อนุภาคของสียที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยบางส่วนไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่าง โมเลกุลสีย้อมและเส้นใยใหม่ ดังนั้นเมื่อดึงน้ำสะอาดจึงทำให้อนุภาคของสีย้อมที่ไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับเส้นใยหลุดออกไป

เมื่อนำเส้นใยใหม่ก่อนและหลังต่อกิ่งด้วยอะครีไมล์มาข้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิกไม่เป็นผลให้สมบัติเชิงกลของเส้นใยเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอนุภาคของสียที่ใช้ในการข้อมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของเส้นใยซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยใหม่ จากนั้นนำเส้นใยที่ได้ไปทดสอบความคงทนของสี พบว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่งมีระดับความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ไม่ผ่านการต่อกิ่ง เส้นใยใหม่ทั้งก่อนและหลังผ่านการต่อกิ่งเมื่อข้อมด้วยสีแอสิดมีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีเบสิก สำหรับความคงทนของสีต่อเหงื่อ พบว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกขาวและการต่อกิ่งที่ย้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิกมีความคงทนของสีต่อเหงื่อที่เป็นกรดและเบสค่อนข้างต่ำ เส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีแอสิดมีความคงทนของสีต่อเหงื่อสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีเบสิก นอกจากนี้ความคงทนของสีต่อแสงเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกขาวและการต่อกิ่งที่ย้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิกมีความคงทนของสีต่อแสงค่อนข้างสูง เส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีแอสิดมีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีเบสิก ส่วนการวัดการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่งแล้วข้อมด้วยสีแอสิดและสีเบสิกมีแนวโน้มของค่า L^* a^* b^* และ c^* มากกว่าเส้นใยใหม่ที่ไม่ผ่านการต่อกิ่ง

5.1.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยใหม่

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังลอกขาว พบว่าอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยใหม่ดิบและเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกขาวมีค่าประมาณ 313 °C คือ อุณหภูมิในการสลายตัวของไฟโบรอิน แสดงว่าการลอกขาวไม่ทำให้โครงสร้างของไฟโบรอินเปลี่ยนแปลง ส่วนการต่อกิ่งเป็นผลให้อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยใหม่สูงขึ้น เนื่องจากการต่อกิ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาที่แข็งแรง (Strong interaction) ระหว่างไฟโบรอินและพอลิเมอร์ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลและทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ในส่วนที่เป็นอสัณฐานของเส้นใย จากการข้อมสีเส้นใยใหม่ลอกขาวและเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยสีแอสิดและสีเบสิก พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังผ่านกระบวนการข้อมสี

5.1.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใย

เส้นใยใหม่ดิบและเส้นใยใหม่หลังผ่านการลอกขาวแสดงสเปกตรัมที่ตำแหน่งเดียวกัน แสดงว่าการลอกขาวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของเส้นใยใหม่ สำหรับการต่อกิ่งทำให้ตำแหน่งสเปกตรัมของเส้นใยใหม่เกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากสเปกตรัมของเส้นใยใหม่ก่อนการต่อกิ่ง คือ การต่อกิ่งด้วยเมทาครีลาไมล์มีตำแหน่งพีกที่แตกต่างไปจากเส้นใยใหม่ก่อนต่อกิ่งที่

1664 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึง C-O stretching และเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาโครเลทมีพีกที่ตำแหน่งแตกต่างไปจากเดิม คือ 1731 cm^{-1} แสดงถึงหมู่เอสเทอร์ (Ester group, O-C=O) ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาโครเลทแสดงพีกทั้ง 2 ตำแหน่ง คือ 1664 และ 1731 cm^{-1} และจากสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีแอสซิดและสีเบสิก พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยจากการย้อมสี

5.1.6 ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหม

ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาวมีลักษณะต่างกัน คือ เส้นใยไหมดิบมีพื้นผิวเรียบเป็นช่วง ๆ แต่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากกาวไหมที่ปกคลุมอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหม ส่วนเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีพื้นผิวที่เรียบและสม่ำเสมอ ไม่มีกาวไหมปกคลุมบนพื้นผิว ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีลักษณะพื้นผิวเรียบและสม่ำเสมอ เนื่องจากเกิดฟิล์มของพอลิเมทาคริลาไมด์ปกคลุมบนพื้นผิวของเส้นใย ส่วนการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาโครเลทและเมทาคริลาไมด์ผสมเมทิลเมทาโครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ทำให้พื้นผิวของเส้นใยไหมขรุขระและไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเกิดพอลิเมอไรเซชันของเมทิลเมทาโครเลทเกิดเป็นโพลิโกเมอร์สะสมบนผิวของเส้นใย นอกจากนี้จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของการย้อมด้วยสีแอสซิดและสีเบสิก พบว่าอนุภาคของสีไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวของเส้นใย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ศึกษาหาชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการต่อกิ่งที่สามารถเข้าได้ดีกับเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาโครเลทเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิดโพลิโกเมอร์ของเมทิลเมทาโครเลทบนพื้นผิวของเส้นใยไหม
- 5.2.2 ศึกษาชนิดของมอนอเมอร์ที่สามารถละลายได้ดีในน้ำเช่นเดียวกับเมทาคริลาไมด์เพื่อให้การพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ
- 5.2.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ

เอกสารอ้างอิง

1. วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ ฯ : 2537.
2. มินะกาอะ, โมโตอิ. วิทยาการไหม. แปลโดยเข็มชัย เหมะจันทร์และเออีอิชิ คาวาอิ. คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมการส่งออก. กรุงเทพฯ ฯ : 2530.
3. P. Munk, in “Introduction to Macromolecular Science”, John Willey & sons, Singapore, 1990.
4. F. Sadvov, M. Rorchagin and A. Matetsky, in “Chemical Technology of Fibrous Materials”, Miv Publisher, English, 1973.
5. M. Leuin, E.M. Pearce and M. Dekker. in “Handbook of Fibre Science and Technology”, 1st edition, New York , 1985.
6. นฤมล ศรีวิฑูรย์และวัลยา ศรีสง่า. “การเตรียมไฮโดรเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นไหมเหลือทิ้ง” โครงการพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
7. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์. เคมีพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 3. คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. กรุงเทพฯ ฯ : 2540.
8. ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. เคมีพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. ปัตตานี: 2539.
9. กาวี ศรีภูถกิจ, “หลักการย้อมสีสิ่งทอ (Principle of Textile Dyeing)”, *Colourway*, 33 (2001) 14-17.
10. อัจฉราพร ไสละสุตม, คู่มือการย้อมสี. อักษรบัณฑิต. กรุงเทพฯ ฯ : 2517.
11. ทอ. 38, “ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดสี ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ”, สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม หน้า 1-30.
12. กาวี ศรีภูถกิจ, “หลักการย้อมสีสิ่งทอ (Principle of Textile Dyeing)”, *Colourway*, 37 (2001) 82-85.
13. S. Chopra, R. Chattopadhyay and M.L. Gulrajani, “ Low Stress Mechanical Properties of Silk Fabric Degummed by Different Methods”, *J. Text. Inst.*, **87** (1995) 542-553.
14. Y. Kawahara, M. Shioya and A. Takaku, “Mechanical Properties of Silk Fibers Treated with Methacrylamide”, *Journal of Applied Polymer Science*, **61** (1996) 1359-1364.
15. Y. Kawahara, M. Shioya and A. Takaku, “Influence of Swelling of Noncrystalline Region in Silk Fibers on Modification with Methacrylamide”, *Journal of Applied Polymer Science*, **59** (1996) 51-56.

16. M. Tsukada, "Structural Characteristics of 2-Hydroxyethylmethacrylate (HEMA)/Methacrylamide (MAA)-Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, **35** (1988). 2133-2140.
17. M. Tsukada, "Characterization of Methacrylonitrile-Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science.*, **39** (1990) 1289-1297.
18. M. Tsukada, T. Yamamoto, N. Nakabayashi, H. Ishikawa and G. Freddi, "Grafting of Methacrylate onto Silk Fibers Initiated by Tri-*n*-Butylborane", *Journal of Applied Polymer Science.*, **43** (1991) 2115-2121.
19. M. Tsukada, G. Freddi, M. Matsumura, H. Shiozaki and N. Kasai, "Physical Properties and Dyeability of Silk Fibers Modified with Ethoxyethylmethacrylate Polymer", *Journal of Applied Polymer Science*, **44** (1992) 799-805.
20. M. Tsukada, T. Imai, G. Freddi, S. Lenka and N. Kasai, "Grafting of Vinyl Monomers onto Silk Using Redox System. Yellowing of Silk". *Journal of Applied Polymer Science.*, **69** (1998) 239-246.
21. M. Tsukada, T. Arai, G. Freddi, T. Imai and N. Kasai, "Grafting Vinyl Monomers onto Silk (*Bombyx mori*) Using Different Initiators: Properties of Grafted Silk", *Journal of Applied Polymer Science.*, **81** (2001) 1401-1409.
22. A.S. Bashar, M. A. Khan and K.M. Idriss, "Modification of Cotton, Rayon and Silk with Urethane Acrylate under Ultraviolet Radiation", *Journal of Applied Polymer Science*, **67** (1997). 1703-1711.
23. G. Freddi, M.R. Massafra, S. Beretta, Y. Gotoh, H. Yasui and M. Tsukada, "Structure and Properties of *Bombyx mori* Silk Fibers Grafted with Methacrylamide and 2-Hydroxyethyl Methacrylate", *Journal of Applied Polymer Science.*, **60** (1996) 1867-1876.
24. D. L. Dunaway, B. L. Thiel and C. viney, "Tensile Mechanical Property Evaluation of Natural and Epoxide-Treated Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, **58** (1995) 675-683.
25. ASTM D 2130-90; Standard Test Method for Diameter of Wool and Other Animal Fibers by Microprojection, 1999.
26. ASTM D 276-87; Standard Test Method for Identification of Fibers in Textiles, 1999.
27. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสิ่งทอ:ความคงทนของสี ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมพิมพ์ครั้งที่ 3, 2538.

28. T. Furuzono, K. Ishihara, N. Nakabayashi and Y. Tamada, "Chemical Modification of Silk Fibroin with 2-Methacryloyloxyethyl phosphorylcholine. II. Graft-Polymerization onto Fabric through 2-Methacryloyloxyethyl Isocyanate and Interaction between Fabric and platelets", *Biomaterials*, **21** (2000) 327-333.
29. M. Tsukada, "Studies on Some Physical Properties and Structural Characteristics of Methyl Methacrylate-Grafted Silk Fiber", *Journal of Applied Polymer Science*, **35** (1988) 965-972.
30. M. Tsukada, Y. Goto, G. Freddi, T. Yamamoto and N. Nakabayashi, "Molecular Weight Distribution of the Methyl Methacrylate (MMA) Polymer Separated from the MMA-Grafted Silk Fiber", *Journal of Applied Polymer Science*, **44** (1992) 2197-2202.
31. M. Tsukada, M. Obo, H. Kato, G. Freddi and F. Zanetti, "Structure and Dyeability of Bombyx mori Silk Fibers with Different Filament Sizes", *Journal of Applied Polymer Science*, **60** (1996) 1619-1627.
32. M. Tsukada, G. Freddi, P. Monti, A. Bertoruzza and H. Shiozaki, "Physical Properties of 2-Hydroxyethyl Methacrylate-Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, **49** (1993) 1835-1844.
33. M. Tsukada, N. Kasai and G. Freddi, "Structural Analysis of Methyl Methacrylate-Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, **50** (1993) 885-890.
34. M. Tsukada, Y. Goto, G. Freddi, H. Shiozaki and H. Ishikawa, "Chemical Modification of Silk with Itaconic Anhydride", *Journal of Applied Polymer Science*, **45** (1992) 1719-1725.
45. T. Arai, H. Ishikawa, G. Freddi, S. Winkler and M. Tsukada, "Chemical Modification of Bombyx mori Silk Using Isocyanates", *Journal of Applied Polymer Science*, **79** (2001) 1756-1763.
36. M. Tsukada, M. Nagura, H. Ishikawa and H. Shiozaki, "Structural Characteristics of Silk Fibers Treated with Epoxides", *Journal of Applied Polymer Science*, **43** (1991) 643-649.
37. M. Tsukada, G. Freddi, Y. Ishiguro and H. Shiozaki, "Structural Analysis of Methacrylamide Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, **50** (1993) 1519-1527.
38. L. G. Wade, Jr, in "Organic Chemistry", Prentice Hall International, Third Edition, 1993.

39. H. Somashekarappa, V. Annadurai, Sangappa, G. Subramanya and R. Somashekar, "Structure-property relation in varieties of acid dye processed silk fibers", *Materials Letters*, 53 (2002) 415-420.
40. M. Tsukada, G. Freddi, M.R. Massafra and S. Beretta, "Structure and Properties of Tussah Silk Fibers Graft-Copolymerized with Methacrylamide and 2-Hydroxyethyl Methacrylate", *Journal of Applied Polymer Science*, 67 (1998) 1393-1403.
41. G. Freddi, M. Tsukada and S. Beretta, "Structure and Physical Properties of Silk Fibroin/Polyacrylamide Blend Films", *Journal of Applied Polymer Science*, 71 (1999) 1563-1571.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กระบวนการลอกกาว

ตารางที่ ก 1 เปอร์เซ็นต์การลอกกาวของเส้นใยไหมหลังผ่านการตอกกิ่งด้วยไทรเอทิลเอมีน

เวลา (นาที)	20	30	40	50
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
80	27.78	28.11	28.13	28.88
90	27.80	28.06	28.35	28.99
100	28.19	28.13	28.34	29.03

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ ก 2 เปอร์เซ็นต์การลอกกาวของเส้นใยไหมหลังผ่านการตอกกิ่งด้วยกรดทาร์ทาริก

เวลา (นาที)	20	30	40	50
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
80	1.27	1.41	3.47	3.56
90	10.31	13.02	13.26	13.32
100	15.11	15.71	20.56	20.54

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ ก 3 เปอร์เซ็นต์การลอกกาวของเส้นใยไหมหลังผ่านการตอกกิ่งด้วยโซเดียมคาร์บอเนต

เวลา (นาที)	20	30	40	50
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
80	19.80	24.10	24.22	25.64
90	20.95	24.28	24.35	25.31
100	23.73	24.64	25.22	26.29

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ 4 เปอร์เซ็นต์การลอกกาวของเส้นใยไหมหลังผ่านการตอ่กึ่งด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต

เวลา (นาที)	20	30	40	50
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
80	16.82	18.55	20.04	20.60
90	19.89	19.03	20.58	20.49
100	22.31	22.48	21.95	22.14

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์การลอกกาวของเส้นใยไหมหลังผ่านการตอ่กึ่งด้วยสารละลายผสมโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต

เวลา (นาที)	20	30	40	50
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)				
80	20.82	24.16	24.13	25.42
90	20.71	24.55	24.86	25.87
100	23.63	25.43	25.62	26.74

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ 6 เทนาคิตีของเส้นใยไหมหลังลอกกาวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
ไหมดิบ	40.15	40.15	40.15	40.15
ไตรเอทิลเอมีน	40.99	41.65	41.24	41.45
โซเดียมคาร์บอเนต	40.14	41.63	40.65	39.66
โซเดียมไบคาร์บอเนต	–	39.85	42.77	41.62
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	42.57	42.92	42.19	42.09

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 4

ตารางที่ ก 7 เหนือซีดีของเส้นใยไหมหลังลอกกาวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
กรดทาร์ทาริก	40.15	40.15	40.15	40.15
ไตรเอทิลเอมีน	41.36	40.28	41.2	41
โซเดียมคาร์บอเนต	41.81	41.37	40.91	40.34
โซเดียมไบคาร์บอเนต	41.84	39.48	41.05	39.44
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	41.73	41.46	42.3	40.1

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 4

ตารางที่ ก 8 เหนือซีดีของเส้นใยไหมหลังลอกกาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
กรดทาร์ทาริก	40.15	40.15	40.15	40.15
ไตรเอทิลเอมีน	40.55	39.31	38.49	38.21
โซเดียมคาร์บอเนต	38.81	38.50	38.31	37.91
โซเดียมไบคาร์บอเนต	40.71	39.9	39.17	39.43
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	41.31	39.8	40.75	40.85

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 4

ตารางที่ ก 9 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังลอกกาวที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
ไหมดิบ	333.19	333.19	333.19	333.19
ไตรเอทิลเอมีน	320.08	311.63	271.32	275.56
โซเดียมคาร์บอเนต	307.31	320.02	304.08	256.65
โซเดียมไบคาร์บอเนต	310	303.63	283.54	276.12
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	323.44	312.58	296.74	292.3

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 30

ตารางที่ ก 10 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังลอกกาวที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
กรดทาร์ทาริก	333.19	333.19	333.19	333.19
ไตรเอทิลเอมีน	287.01	286.13	294.89	281.59
โซเดียมคาร์บอเนต	277.45	267.9	271.3	274.97
โซเดียมไบคาร์บอเนต	296.49	304.13	285.16	285.04
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	315.6	319.88	322.64	300.78

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 30

ตารางที่ ก 11 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังลอกกาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
กรดทาร์ทาริก	333.19	333.19	333.19	333.19
ไตรเอทิลเอมีน	274.19	281	284.83	281.97
โซเดียมคาร์บอเนต	276.84	263.3	259.6	240.8
โซเดียมไบคาร์บอเนต	289	290.03	294.41	263.5
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	322.2	319.06	310.01	294.1

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 30

ตารางที่ ก 12 ความสามารถในการยืดที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
กรดทาร์ทาริก	20.7	20.7	20.7	20.7
ไตรเอทิลเอมีน	21.46	21.97	20.66	19.44
โซเดียมคาร์บอเนต	22.96	21.42	21.67	22
โซเดียมไบคาร์บอเนต	22	21.4	21.42	20.43
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	23.31	23.03	23.4	22.48

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ ก 13 ความสามารถในการยึดที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
กรดทาร์ทาริก	20.7	20.7	20.7	20.7
ไตรเอทิลเอมีน	20.78	20.32	20.57	19.22
โซเดียมคาร์บอเนต	22.74	22.15	21.75	20.4
โซเดียมไบคาร์บอเนต	20.21	21.69	21.25	20.14
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	23.01	23.32	22.32	21.65

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ ก 14 ความสามารถในการยึดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
กรดทาร์ทาริก	20.7	20.7	20.7	20.7
ไตรเอทิลเอมีน	18.67	17.92	17.16	16.12
โซเดียมคาร์บอเนต	21.93	17.68	16.88	16.41
โซเดียมไบคาร์บอเนต	20.69	19.07	18.89	18.04
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	20.04	19.15	18.2	17.86

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ ก 15 มอดูลัส 8 % ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
ไหมดิบ	1970	1970	1970	1970
ไตรเอทิลเอมีน	1780	1820	1790	1740
โซเดียมคาร์บอเนต	1490	1730	1660	1320
โซเดียมไบคาร์บอเนต	1500	1700	1570	1500
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	1750	1690	1710	1580

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 170

ตารางที่ ก 16 มอดุลัส 8 % ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
ไหมดิบ	1970	1970	1970	1970
ไตรเอทิลเอมีน	1460	1620	1660	1540
โซเดียมคาร์บอเนต	1480	1580	1640	1430
โซเดียมไบคาร์บอเนต	1370	1640	1700	1570
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	1760	1700	1780	1620

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 170

ตารางที่ ก 17 มอดุลัส 8 % ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

สารเคมีที่ใช้	เวลา (นาที)			
	20	30	40	50
ไหมดิบ	1970	1970	1970	1970
ไตรเอทิลเอมีน	1440	1590	1620	1470
โซเดียมคาร์บอเนต	1320	1480	1550	1570
โซเดียมไบคาร์บอเนต	1460	1510	1680	1460
โซเดียมไบคาร์บอเนต+โซเดียมคาร์บอเนต	1880	1930	1940	1850

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 170

ภาคผนวก ข
กระบวนการตอ่กิ่ง

ตารางที่ ข 1 ความสามารถในการตอ่กิ่งของเส้นใยไหมด้วยไวนิลมอนอเมอร์อัตราส่วนต่าง ๆ

อัตราส่วนระหว่าง MAA/MMA	เวลา (นาที)					
	15	30	45	60	120	180
100/0	69.19	131.41	192.57	260.15	335.56	425.94
75/25	51.37	71.52	90.87	123.27	198.6	224.84
50/50	26.25	40.83	60.89	81.26	132.19	201.91
25/75	21.22	31.22	52.26	83	122.26	164.14
0/100	57.42	114.21	164.34	225.93	264.91	330.28

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 5

ตารางที่ ข 2 เหนียวที่ดีของเส้นใยก่อนและหลังผ่านการตอ่กิ่ง

อัตราส่วนระหว่าง MAA/MMA	เวลา (นาที)					
	15	30	45	60	120	180
100/0	42.95	32.39	25.54	21.35	18.41	15.97
75/25	35.85	32.61	30.06	28.52	22.36	21.81
50/50	41.90	38.54	37.83	37.40	29.25	22.85
25/75	40.56	40.53	37.19	31.16	26.35	23.13
0/100	34.95	28.68	23.94	20.78	18.97	16.85

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 4

ตารางที่ ข 3 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยก่อนและหลังผ่านการตอ่กิ่ง

อัตราส่วนระหว่าง	เวลา (นาที)					
	MAA/MMA	15	30	45	60	120
100/0	385.69	399.00	406.00	441.79	482.75	510.52
75/25	369.04	371.12	381.96	407.30	463.30	487.89
50/50	330.11	350.96	363.28	375.20	382.35	409.77
25/75	312.99	321.04	329.11	352.75	368.40	389.06
0/100	318.03	340.85	356.75	362.58	355.11	351.62

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 30

ตารางที่ ข 4 ความสามารถในการยืคของเส้นใยก่อนและหลังผ่านการตอ่กิ่ง

อัตราส่วนระหว่าง	เวลา (นาที)					
	MAA/MMA	15	30	45	60	120
100/0	22.05	19.82	17.87	16.33	14.99	14.30
75/25	17.71	15.95	14.08	14.99	14.17	13.38
50/50	16.25	16.01	14.76	15.14	15.05	14.52
25/75	17.33	16.78	15.72	15.37	14.52	15.48
0/100	18.75	16.58	16.20	15.90	16.80	16.88

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 2

ตารางที่ ข 5 มอดุลัสของเส้นใยก่อนและหลังผ่านการตอ่กิ่ง

อัตราส่วนระหว่าง	เวลา (นาที)					
	MAA/MMA	15	30	45	60	120
100/0	1815.39	2006.46	2008.56	2076.90	2177.68	2276.15
75/25	1733.15	1791.20	1855.31	1987.11	2011.70	2026.40
50/50	1745.65	1780.10	1765.80	1809.40	1815.20	1827.30
25/75	1702.50	1787.64	1689.69	1796.24	1800.46	1813.15
0/100	1682.90	1626.86	1781.34	1976.24	1925.45	2068.32

*ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วง 170

ภาคผนวก ค

กระบวนการซ่อม

ตารางที่ ค 1 ความสามารถในการติดสีซ่อมของเส้นใยไหม

ชนิดของเส้นใยไหม	การเพิ่มขึ้นของสีบนเส้นใยไหม (%)	การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสง (%)
A1D	2.56	88.42
A3D	4.39	26.33
A1G	1.19	68.03
A3G	4.43	42.21
B1D	0.76	75.99
B3D	1.12	91.98
B1G	0.75	36.91
B3G	1.9	67.61

A1D เส้นใยไหมก่อนการดองย้อมด้วยสีเอซิก 1 %

A1G เส้นใยไหมหลังการดองย้อมด้วยสีเอซิก 1 %

B1D เส้นใยไหมก่อนการดองย้อมด้วยสีเบสิก 1 %

B1G เส้นใยไหมหลังการดองย้อมด้วยสีเบสิก 1 %

A3D เส้นใยไหมก่อนการดองย้อมด้วยสีเอซิก 3 %

A3G เส้นใยไหมหลังการดองย้อมด้วยสีเอซิก 3 %

B3D เส้นใยไหมก่อนการดองย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

B3G เส้นใยไหมหลังการดองย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

ตารางที่ ค 2 สมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมหลังผ่านการซ่อม

ชนิดของเส้นใยไหม	เทนacity (กรัม/เดนิเยร์)	ความแข็งแรงดึง (MPa)	ความสามารถในการยืด (%)	มอดุลัส 8 % (MPa)
A1D	42.51	314.65	20.33	1702.51
A3D	42.35	313.42	19.48	1718.26
A1G	42.43	392.1	22.75	1829.49
A3G	42.12	391.06	23.47	1817.97
B1D	41.18	316.22	19.48	1696.58
B3D	42.52	306.7	18.04	1709.42
B1G	42.80	391.23	22.12	1838.67
B3G	42.61	381.95	23.84	1851.35

A1D เส้นใยไหมก่อนการดองย้อมด้วยสีเอซิก 1 %

A1G เส้นใยไหมหลังการดองย้อมด้วยสีเอซิก 1 %

B1D เส้นใยไหมก่อนการดองย้อมด้วยสีเบสิก 1 %

B1G เส้นใยไหมหลังการดองย้อมด้วยสีเบสิก 1 %

A3D เส้นใยไหมก่อนการดองย้อมด้วยสีเอซิก 3 %

A3G เส้นใยไหมหลังการดองย้อมด้วยสีเอซิก 3 %

B3D เส้นใยไหมก่อนการดองย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

B3G เส้นใยไหมหลังการดองย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

ตารางที่ ค 3 ค่า L^* a^* และ b^* ของเส้นใยไหมหลังผ่านการย้อม

ชนิดของเส้นใยไหม	L^*	a^*	b^*	c^*
A1D	37.29	15.01	-48.77	51.03
A3D	26.21	26.35	-50.34	56.83
A1G	31.70	20.70	-53.30	57.19
A3G	20.17	29.53	-53.38	61.0
B1D	37.64	14.33	-48.02	50.11
B3D	22.42	28.64	-55.07	62.07
B1G	32.17	21.27	-54.24	58.26
B3G	22.88	29.88	-55.32	62.88
RAW	67.12	8.17	53.12	53.74
DE	78.91	4.04	35.81	36.03
G15	89.38	-1.01	14.21	14.25

A1D เส้นใยไหมก่อนการตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอซิด 1 %

A1G เส้นใยไหมหลังการตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอซิด 1 %

B1D เส้นใยไหมก่อนการตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 %

B1G เส้นใยไหมหลังการตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 %

RAW เส้นใยไหมดิบ

G15 เส้นใยไหมผ่านการตอ กิ่ง

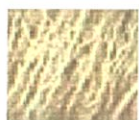
A3D เส้นใยไหมก่อนการตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอซิด 3 %

A3G เส้นใยไหมหลังการตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอซิด 3 %

B3D เส้นใยไหมก่อนการตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

B3G เส้นใยไหมหลังการตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

DE เส้นใยไหมผ่านการลอกกว



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ ค 1 (ก) เส้นใยไหมดิบ (ข) เส้นใยไหมหลังลอกกาวด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตและ (ค) เส้นใยไหมหลังตอทิ้งด้วยเมทาคริลาไมด์



(ก)



(ข)

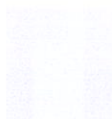


(ค)



(ง)

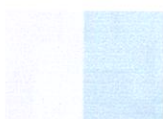
รูปที่ ค 2 เส้นใยไหมหลังผ่านการย้อมด้วยสีแอสซิดและสีเบสิกที่ความเข้มข้น 3 เปอร์เซ็นต์
(ก) เส้นใยไหมก่อนการตอทิ้งย้อมด้วยสีแอสซิด (ข) เส้นใยไหมหลังการตอทิ้งย้อมด้วยสีแอสซิด
(ค) เส้นใยไหมก่อนการตอทิ้งย้อมด้วยสีเบสิกและ (ง) เส้นใยไหมหลังการตอทิ้งย้อมด้วยสีเบสิก



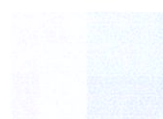
(ก)



(ข)

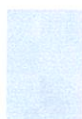


(ค)

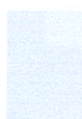


(ง)

รูปที่ ค 3 การเปลี่ยนสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมบนผ้าฝ้ายมาตรฐานหลังผ่านการซัก
(ก) เส้นใยไหมก่อนการตอทิ้งย้อมด้วยสีแอสซิด (ข) เส้นใยไหมหลังการตอทิ้งย้อมด้วยสีแอสซิด
(ค) เส้นใยไหมก่อนการตอทิ้งย้อมด้วยสีเบสิกและ (ง) เส้นใยไหมหลังการตอทิ้งย้อมด้วยสีเบสิก



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ ค 4 การเปลี่ยนสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมบนผ้าไหมมาตรฐานหลังผ่านการซัก
(ก) เส้นใยไหมก่อนการตอทิ้งย้อมด้วยสีแอสซิด (ข) เส้นใยไหมหลังการตอทิ้งย้อมด้วยสีแอสซิด
(ค) เส้นใยไหมก่อนการตอทิ้งย้อมด้วยสีเบสิกและ (ง) เส้นใยไหมหลังการตอทิ้งย้อมด้วยสีเบสิก



(ก)



(ข)



(ค)

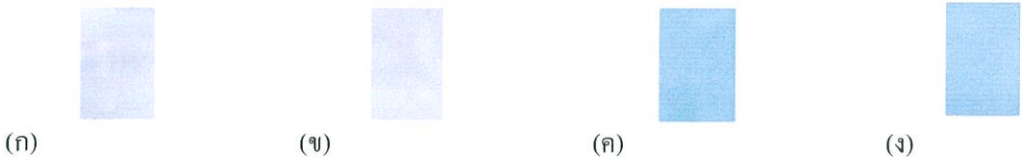


(ง)

รูปที่ ค 5 การเปลี่ยนสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมบนผ้าฝ้ายมาตรฐานหลังผ่านเครื่องที่เป็นกรด
(ก) เส้นใยไหมก่อนการตอทิ้งย้อมด้วยสีแอสซิด (ข) เส้นใยไหมหลังการตอทิ้งย้อมด้วยสีแอสซิด
(ค) เส้นใยไหมก่อนการตอทิ้งย้อมด้วยสีเบสิกและ (ง) เส้นใยไหมหลังการตอทิ้งย้อมด้วยสีเบสิก



รูปที่ ๖ การเปลี่ยนสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมบนผ้าไหมมาตรฐานหลังผ่านเหงื่อที่เป็นกรด
 (ก) เส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอสิด (ข) เส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอสิด
 (ค) เส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิกและ (ง) เส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก



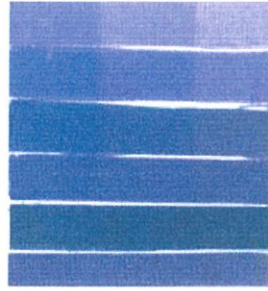
รูปที่ ๗ การเปลี่ยนสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมบนผ้าฝ้ายมาตรฐานหลังผ่านเหงื่อที่เป็นเบส
 (ก) เส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอสิด (ข) เส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอสิด
 (ค) เส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิกและ (ง) เส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก



รูปที่ ๘ การเปลี่ยนสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมบนผ้าฝ้ายมาตรฐานหลังผ่านเหงื่อที่เป็นเบส
 (ก) เส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอสิด (ข) เส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอสิด
 (ค) เส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิกและ (ง) เส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก



(ก)



(ข)

รูปที่ ๙ เส้นใยไหมผ่านการทดสอบความคงทนต่อแสงเทียบกับบลูวูล (Blue wool) มาตรฐาน

- (ก) 1 เส้นใยไหมหลังต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอสิด
- (ก) 2 เส้นใยไหมหลังต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก
- (ก) 3 เส้นใยไหมก่อนต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอสิด
- (ก) 4 เส้นใยไหมก่อนต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก

- (ข) 1 บลูวูลมาตรฐานที่ 2
- (ข) 2 บลูวูลมาตรฐานที่ 3
- (ข) 3 บลูวูลมาตรฐานที่ 4
- (ข) 4 บลูวูลมาตรฐานที่ 5
- (ข) 5 บลูวูลมาตรฐานที่ 6
- (ข) 6 บลูวูลมาตรฐานที่ 7

ประวัติผู้เขียน

นางสาวลลิตา บุญโถม เกิดเมื่อวันที่ 18 มีนาคม 2522 ที่จังหวัดชลบุรี สำเร็จการศึกษา
วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง ปีการศึกษา 2542 จากนั้นศึกษาในระดับปริญญาโทต่อที่คณะวิทยาศาสตร์ สาขาวิชา
เทคโนโลยีพอลิเมอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2546

ผลงานทางวิชาการ

ปี 2545 บทความ เรื่อง “สมบัติทางกายภาพของเส้นไหมหลังลอกกาว” ได้รับการตีพิมพ์ลง
ในวารสารวิทยาศาสตรลาดกระบัง ปี 2545 เล่ม 2 หน้า 1-9