

รายงานผลการวิจัย
ฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การปรับปรุงคุณภาพของใหม่สำหรับอุตสาหกรรมสิ่งทอ



งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยโดย
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

RCH ประจำปีงบประมาณ 2547

SF

557

๑๖๑๗

เลขหมู่... 68512

เลขที่ฉบับนี้... ๑๖๑๗

วัน,เดือน,ปี... 25 ส.ค. 2550

1150603ค

b.....

i.....

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

การจัดทำรายงานฉบับนี้สำเร็จลงได้เนื่องจากการได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก
เงินงบประมาณแผ่นดิน สภาวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2547

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณสุรินทร์ สุภสวัสดิ์พันธ์ ผู้จัดการโรงงาน จิมทอมป์สัน
ประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยไหมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณคมกฤษ ทำแสน บริษัท Ciba Specialty Chemical Industry ที่ให้ความ
อนุเคราะห์สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้
ความอนุเคราะห์ในการทดสอบความคงทนของสี

ขอขอบพระคุณ คุณศุภโชค สนิเสริมสุขสกุล ที่ให้ความช่วยเหลือในการใช้สเปกโทรโฟโต
มิเตอร์ในการวัดสีชิ้นงาน

และขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้อำนวยความสะดวก
ในการใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

น.ส.ลลิตา บุญโถม

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
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	4
2.2 โครงสร้างของไหม	6
2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของไฟโบรอิน	6
2.2.2 โครงสร้างทางกายภาพของไฟโบรอิน	9
2.3 สมบัติของไหม	10
2.3.1 สมบัติทางเคมี	10
2.3.3 สมบัติทางกายภาพ	11
2.4 การปรับปรุงเส้นไหมโดยวิธีทางเคมี	12
2.4.1 การลอกกวาว	12
2.4.2 การปรับปรุงสมบัติทางเคมี	13
2.5 หลักการย้อมสีสิ่งทอ	18
2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดสี	22
2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา	28

	หน้า
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	33
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้	33
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ	33
3.3 ขั้นตอนการวิจัย	34
3.3.1 ขั้นตอนการลอกกาบ	34
3.3.2 ขั้นตอนการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์	36
3.3.3 ขั้นตอนการย้อมสี	37
3.3.4 การทดสอบสมบัติต่าง ๆ	38
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	44
4.1 กระบวนการลอกกาบ	44
4.1.1 ลักษณะของเส้นใย	44
4.1.2 ความสามารถในการลอกกาบ	46
4.1.2.1 ผลของเวลา	47
4.1.2.2 ผลของอุณหภูมิ	47
4.1.2.3 ผลของชนิดสารเคมี	48
4.1.3 สมบัติทางแรงดึง	51
4.1.3.1 ผลของอุณหภูมิ	52
4.1.3.2 ผลของเวลา	58
4.1.3.3 ผลของชนิดสารเคมี	62
4.2 กระบวนการต่อกิ่ง	64
4.2.1 ความสามารถในการต่อกิ่งเส้นใยใหม่ด้วยมทาคริลาไมด์หรือ เมทิลเมทาไครเลทที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส	64
4.2.2 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยใหม่ด้วยมทาคริลาไมด์และ เมทิลเมทาไครเลทที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส	67
4.2.3 ความสามารถในการต่อกิ่งเส้นใยใหม่ด้วยมทาคริลาไมด์และ เมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ	70
4.2.4 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยใหม่ด้วยมทาคริลาไมด์และ เมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ	71

4.3	กระบวนการข้อมติ	74
4.3.1	ความสามารถในการข้อมติ	74
4.3.1.1	เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักข้อมติบนเส้นใย	74
4.3.1.2	ความสามารถในการดูดซับสี	75
4.3.2	สมบัติเชิงกลของเส้นใย	76
4.3.3	ผลการทดสอบความคงทนของสี	78
4.3.3.1	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก	78
4.3.3.2	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ	81
4.3.3.3	ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง	83
4.3.4	การวัดการเปลี่ยนแปลงสี	84
4.4	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม	86
4.4.1	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกา	86
4.4.2	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่ง	87
4.4.3	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการข้อม	88
4.5	การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมี	90
4.5.1	การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมีก่อนและหลังการลอกกา	90
4.5.2	การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมีก่อนและหลังการต่อกึ่ง	91
4.5.3	การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมีก่อนและหลังการข้อม	92
4.6	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม	94
4.6.1	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกา	94
4.6.2	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่ง	94
4.6.3	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการข้อม	96
บทที่ 5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	99
5.1	สรุปผลการวิจัย	99
5.1.1	กระบวนการลอกกา	99
5.1.2	กระบวนการต่อกึ่ง	100
5.1.3	กระบวนการข้อมติ	101
5.1.4	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม	102
5.1.5	การเปลี่ยนแปลง โครงสร้างทางเคมี	102
5.1.6	สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม	102

5.2 ข้อเสนอแนะ

เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

1.1 บทนำ

เส้นใยเป็นวัตถุดิบพื้นฐานที่สำคัญในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอชนิดต่าง ๆ เส้นใยสามารถแบ่งออกได้เป็นเส้นใยธรรมชาติ และเส้นใยประดิษฐ์ซึ่งจะมีสมบัติที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้าง วิธีการและขั้นตอนในการผลิตเส้นใยชนิดนั้น ๆ เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่ให้เส้นใยที่มีความยาวต่อเนื่องตลอดเส้นที่เกิดจากรังไหมแต่ละรัง โดยเส้นใยไหมจะมีความยาวอยู่ระหว่าง 1,300-2,000 ฟุต (390-600 เมตร) ไหมแต่ละเส้นประกอบด้วยเส้นใยสองเส้นเกาะติดกันเคลือบด้วยกาวไหม (Silk glue) ที่เรียกว่าเซริซิน (Sericin) และส่วนประกอบอื่น ๆ ในปริมาณเล็กน้อย เช่น จีฟีน คาร์โบไฮเดรต ซี สารอนินทรีย์ สิ่งสกปรก เศษดักแด้ [1] ดังนั้นในการนำเส้นใยไหมไปใช้งานจึงต้องมีการลอกกาวไหมออกก่อนเพื่อช่วยให้ความสามารถในการฟอกขาวและย้อมติดสีได้เพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยให้ผ้าไหมมีความงามเป็นพิเศษ วิธีการลอกกาวไหม [2] สามารถทำได้หลายวิธีไม่ว่าจะเป็นการลอกกาวด้วยสบู่ การลอกกาวด้วยเกลือต่าง การลอกกาวด้วยเอนไซม์โปรตีเอส (Protease) หรือการลอกกาวโดยใช้สบู่ผสมกับด่าง วิธีการลอกกาวแต่ละวิธีจะให้สมบัติในการละลายของกาวไหม ความแข็งแรง ความยืดหยุ่นของเส้นใย ความสามารถในการฟอกขาวและความสามารถในการย้อมสีที่แตกต่างกัน

ในปัจจุบันการเลี้ยงไหมและการผลิตไหมได้รับการส่งเสริมให้มีการเพาะเลี้ยงไหมเป็นระบบอุตสาหกรรมแบบเซริคัลเจอร์ (Sericulture) โดยเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนในการปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมจนกระทั่งถึงขั้นตอนการทอผ้า จากการศึกษาการพัฒนาพันธุ์ไหมและการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าพันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ พันธุ์บอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) จึงมีการส่งเสริมให้ชาวบ้านในภาคตะวันออกเฉียงเหนือปลูกหม่อนและเลี้ยงไหมพันธุ์นี้กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมไหมไทยเป็นอุตสาหกรรมที่ทำได้ให้ประเทศไทยเป็นจำนวนมาก เนื่องจากผ้าไหมสามารถนำไปใช้งานได้กว้างขวาง และได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเนื่องจากผ้าไหมมีสมบัติที่เด่นหลายประการ เช่น มีความสวยงาม มีผิวสัมผัสที่เรียบ อ่อนนุ่ม มีความมัน ความทนทาน มีสภาพยืดหยุ่น ทนต่อการยับได้ดี สวมใส่สบายทั้งในที่ที่มีอากาศร้อนชื้น หรือที่มีอากาศหนาวเย็น เพราะเส้นใยไหมสามารถดูดซับความชื้นได้ดีและระเหยได้เร็ว ผ้าไหมมีผิวเรียบ จึงไม่เปราะเปื้อนหรือกักเก็บสิ่งสกปรกที่เป็นฝุ่นละอองได้ง่าย สามารถย้อมหรือพิมพ์สีได้หลายชนิดโดยเฉพาะสีที่มีความสดใสมาก และสามารถทอเป็นผ้าที่มีโครงสร้างหลากหลาย ทั้งชนิดที่มีโครงสร้างบางเบาถึงตัวดี ไปจนถึงผ้าที่มีโครงสร้างแน่นหนักมีความแข็งแรงทนทานสูง อย่างไรก็ตามผ้าไหมก็มีจุดอ่อนที่ควรระวัง คือ การใช้สบู่และความร้อนจากเตารีดที่สูงเกินกว่า 340 °F (170°C) เนื่องจากจะทำให้ไหมมีความเหนียวและความแข็งแรงลดลงและยังทำให้ผ้าไหมมีสีเหลือง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากความร้อนที่ได้รับจะเร่งการสลายตัวของโปรตีนในเส้นใยไหมเช่นเดียวกับแสงแดด แสงเหนือม่วง (Ultraviolet, UV) และแสงฟลูออเรสเซนซ์ นอกจากนี้ไหมยังถูกทำลายได้ด้วย สารเคมีที่มีสมบัติที่เป็นกรดและด่าง

สมบัติในการทนทานต่อความร้อน แสงแดด แสงฟลูออเรสเซนซ์ กรด และเบสของไหม สามารถปรับปรุงได้โดยวิธีการตกแต่งสำเร็จทางเคมี (Chemical finishing) หลายวิธี เช่น การตกแต่ง ด้วยดีบุกเพื่อการเพิ่มน้ำหนัก [2] มีผลทำให้เนื้อผ้ามีน้ำหนักมากขึ้น มีความเงามันเป็นพิเศษ ความนุ่มดี มีความคงทนต่อการยับ และมีสีสดใสเมื่อทำการย้อม แต่อาจทำให้เส้นไหมมีสีเหลืองเนื่องจากเกิดการเสื่อมสภาพและเกิดขุ่น (Lusiness) ส่วนการตกแต่งโดยการเพิ่มน้ำหนักด้วย เทนินิน [2] มีผลให้เนื้อผ้ามีน้ำหนักมากขึ้น ให้ความเงามันเป็นพิเศษ มีสัมผัสที่นุ่มขึ้น มีความคงทนเนื่องจากมีระดับความเป็นระเบียบของโมเลกุลสูงและมีความทนทานต่อแสงเหนือม่วงเพิ่มขึ้น แต่เทนินินมีโครงสร้างที่ซับซ้อนมาก และเทนินินที่สกัดจากพืชมีสิ่งสกปรกหลายอย่างทำให้สกัดเทนินินที่บริสุทธิ์ได้ยากมากจึงไม่ได้รับความนิยม สำหรับการปรับปรุงด้วยสารประกอบของทิทาเนียม [2] มีผลให้สมบัติการขับไล่น้ำ (Water repellent) ของผ้าไหมเพิ่มขึ้น แต่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสี ความนำสัมผัส และความคงทนต่อการซักของผ้าไหมลดลง นอกจากนี้การดอกรัง [2] ให้ความคงทนต่อการยับ ความทนต่อการหดตัว ให้ความนุ่ม มีสมบัติสะท้อนน้ำ ความทนต่อแสงเหนือม่วง ความทนต่อความร้อน ความคงทนต่อการขัดสีและให้ผ้าไหมที่มีความคงรูปได้ดี แต่มีข้อเสีย คือ การปรับปรุงสมบัติเชิงกลของไหมให้ได้สมบัติตามต้องการนั้นทำได้ยาก

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยไหมพันธุ์ บอมบิกซ์โมริที่มีการเลี้ยงกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย โดยทำการศึกษา สมบัติต่าง ๆ ทั้งในขณะที่ยังไม่ทำการลอกกาวและหลังจากลอกกาวด้วยวิธีต่าง ๆ คือ การลอกกาว โดยใช้สบู่ผสมโซเดียมคาร์บอเนต สบู่ผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต สบู่ผสมโซเดียมคาร์บอเนตและ โซเดียมไบคาร์บอเนต สบู่ผสมเอทิลีนไดรเอมีน และสบู่ผสมกรดทาร์ทาริก เพื่อให้ได้ อุณหภูมิ เวลา และวิธีการที่เหมาะสมในการทำให้ไหมที่ผ่านการลอกกาวมีสมบัติที่ดีที่สุด คือ มีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นสูง จากนั้นจึงนำเส้นไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวที่เหมาะสมแล้ว มาทำการตกแต่งด้วยเรซินเพื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมบัติในการ ทนต่อความร้อนและสมบัติในการทนต่อแสงเหนือม่วง ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้มอนอเมอร์ คือ เมทาคริลลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) และเมทิลเมทาคริเลท (Methylmethacrylate, MMA) เพื่อ ศึกษาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของพอลิเมอร์ (% Polymer add on) บนเส้นใยที่เหมาะสม โดยทำการ เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมอนอเมอร์ อุณหภูมิ เวลาและอัตราส่วนระหว่างของเหลวกับวัสดุ (Liquor to material ratio) เพื่อให้ได้สมบัติและความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยที่ดีที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาชนิดของสารเคมี อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสมของกระบวนการในการลอกกาวยุคใหม่ที่ทำให้ได้ใหม่ที่มีสมบัติที่ดีที่สุด
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิ เวลา และชนิดของมอนอเมอร์ ในการต่อกิ่งเพื่อให้ได้สมบัติของเส้นใยที่ดีที่สุด
- 1.2.3 เพื่อศึกษาความแตกต่างของสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี และลักษณะของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังผ่านกระบวนการลอกกาว และหลังผ่านกระบวนการต่อกิ่ง
- 1.2.4 เพื่อศึกษาสมบัติของเส้นใยใหม่เพื่อให้เหมาะสมในการนำไปใช้งาน
- 1.2.5 เพื่อศึกษาชนิดของสีย้อมที่เหมาะสมในการย้อมเส้นใยใหม่

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการในการลอกกาวของเส้นใยใหม่
- 1.3.2 ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ เวลา และชนิดของสารเคมีต่อความสามารถในการลอกกาวใหม่
- 1.3.3 เปรียบเทียบสมบัติของเส้นใยก่อนและหลังการลอกกาว
- 1.3.4 ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ เวลา และชนิดของมอนอเมอร์ในการต่อกิ่ง
- 1.3.5 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการต่อกิ่งที่ให้เส้นใยที่มีสมบัติดีขึ้น
- 1.3.6 ศึกษาสภาวะและชนิดของสีย้อมที่เหมาะสมในการย้อมเส้นใยใหม่หลังผ่านการต่อกิ่ง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถปรับปรุงกระบวนการในการลอกกาวของเส้นใยใหม่ให้ได้เส้นใยที่มีสมบัติดีขึ้น
- 1.4.2 สามารถปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยใหม่ได้ด้วยวิธีการต่อกิ่งที่เหมาะสม
- 1.4.3 พัฒนาความรู้เกี่ยวกับความสามารถในการตกแต่งด้วยเรซินของเส้นใยใหม่โดยศึกษากระบวนการและสภาวะต่าง ๆ ในการปรับปรุงสมบัติทางเคมี
- 1.4.4 สามารถปรับปรุงเส้นใยใหม่ให้เหมาะแก่การใช้งานที่กว้างขวางขึ้น
- 1.4.5 ทราบถึงความแตกต่างของสมบัติมอนอเมอร์ที่มีผลต่อสมบัติของเส้นใยในการต่อกิ่ง
- 1.4.6 ทราบถึงความสามารถในการติดสีย้อมชนิดต่าง ๆ ของเส้นใยก่อนและหลังผ่านการต่อกิ่ง

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไหม (Silks)

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนที่ใช้กันมากในประเทศไทย มีทั้งชนิดที่เลี้ยงในประเทศและที่นำเข้าจากต่างประเทศ ซึ่งไหมแต่ละชนิดจะมีคุณสมบัติทั่วไปเหมือนกันจะแตกต่างกันเพียงขนาดของเส้นใยและความสั้นความยาวเท่านั้น ไหมดิบจะประกอบด้วยไฟโบรอินและเซรีซินหรือกาวไหม (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนชนิดต่าง ๆ ที่พบในเส้นใยไหม [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

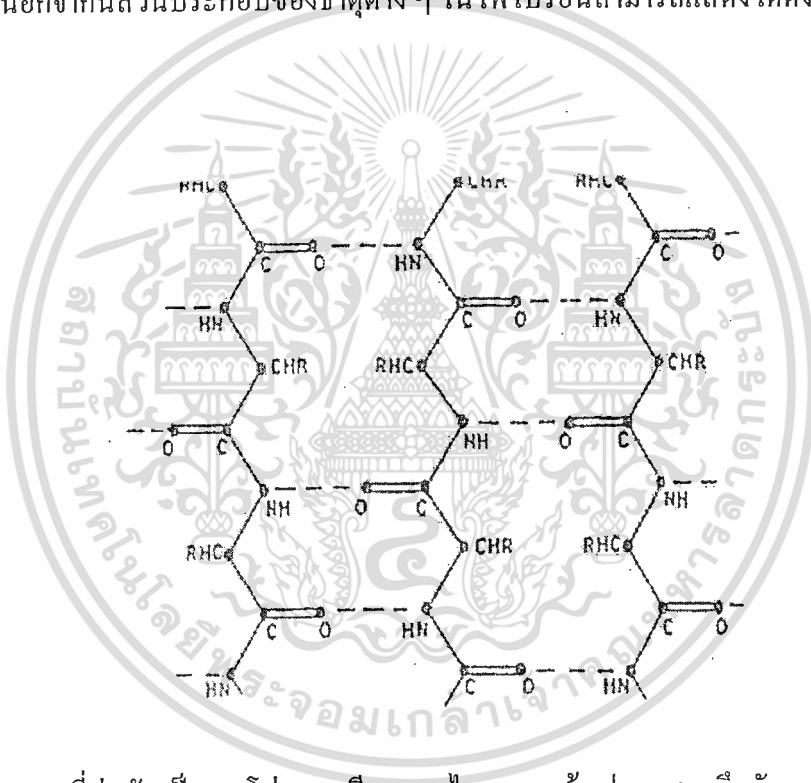
ไหมจะแสดงโครงสร้างในส่วนที่เป็นอสัณฐานและส่วนที่เป็นผลึก โดยที่ส่วนที่เป็นผลึกมีการจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบและประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดเล็ก ได้แก่ ไกลซีน อะลานีน และเซรีน ในขณะที่ส่วนที่เป็นอสัณฐาน คือ ส่วนที่โมเลกุลของกรดอะมิโนไม่สามารถจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบได้ กล่าวคือ โมเลกุลประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ 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 ลักษณะจะเป็นลูกโซ่โมเลกุลยาวเหยียด ไม่พับตัวกันเหมือนขนสัตว์โมเลกุลจึงเรียงตัวกันยาวและเกาะตัวกันได้แน่นกว่า โครงสร้างของไฟโบรอินแสดงดังรูปที่ 2.1 นอกจากนี้ส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ในไฟโบรอินสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.4



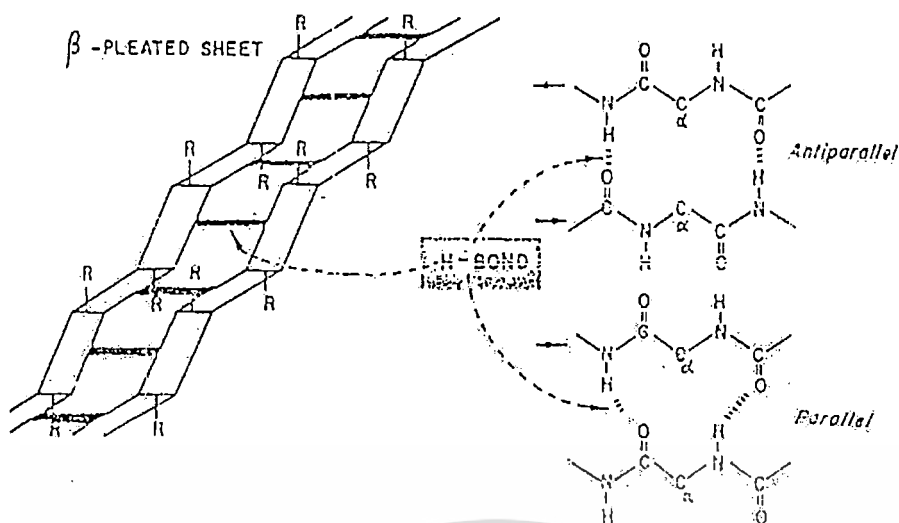
รูปที่ 2.1 โมเลกุลที่ต่อกันเป็นลูกโซ่ยาวเหยียดของไหมและเส้นประแสดงถึงพันธะไฮโดรเจน [2]

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของธาตุต่างๆ ในไฟโบรอิน [1]

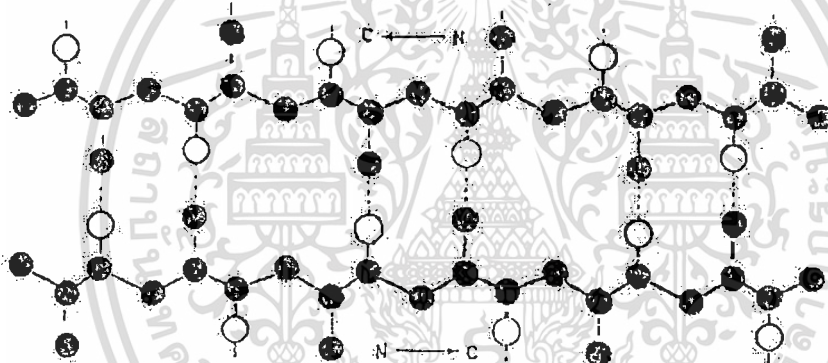
องค์ประกอบ	ปริมาณที่พบในไฟโบรอิน
คาร์บอน	48.0-49.0 %
ไฮโดรเจน	6.4-6.5 %
ไนโตรเจน	17.4-18.9 %
ออกซิเจน	26.0-27.9 %

การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินทำได้ค่อนข้างยากทั้งนี้เนื่องจากไฟโบรอินไม่ละลายในสารละลายทั่วไป แต่ละลายได้ในตัวทำละลายบางตัวเท่านั้น เช่น คิวปริ-เอทิลีนไดเอมีน (Cupri-ethylenediamine) หรือในสารละลายเข้มข้นลิเทียมไอโอไดด์ (Lithium iodide) หรือสารละลายเข้มข้นไซโอไซยานต (Thiocyanate) จากการใช้สารละลายเหล่านี้ร่วมกับการใช้หลักของการตกตะกอนในเครื่องเหวี่ยงสู่ศูนย์กลาง (Ultracentrifuge) สามารถคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินได้ประมาณ 84,000 แต่ถ้าคำนวณจากการอาศัยการวัดสมบัติทางความหนืดได้น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 55,000 หรือมีผู้ใช้การวิเคราะห์จากหมู่ของกรดอะมิโน (Terminal amino acid) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 80,000-100,000

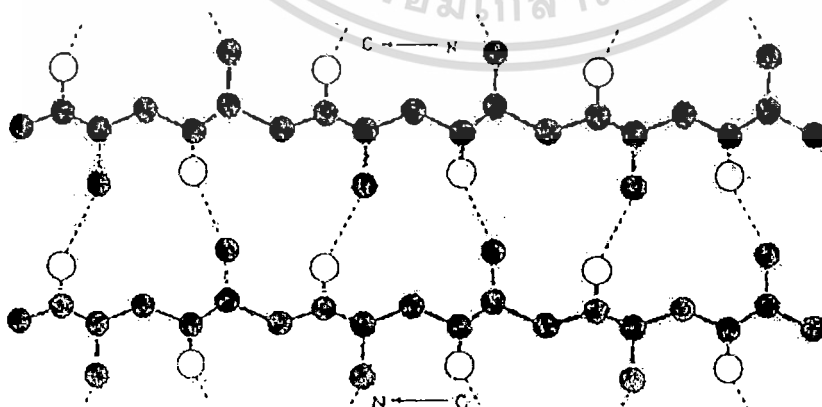
จากการศึกษาไฟโบรอินด้วยเทคนิคเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ในส่วนของกาวไหมแสดงให้เห็นถึงบริเวณที่ไม่มีผลึกและมีโครงสร้างที่ไม่เป็นระเบียบ ส่วนโมเลกุลของไฟโบรอินพบว่าสายโซ่พอลิเปปไทด์ที่ยาวของไฟโบรอินมีความเป็นระเบียบสูงจึงทำให้ไฟโบรอินมีความเป็นระเบียบสูงถึง 60 % บริเวณที่เป็นผลึกของโมเลกุลไฟโบรอินได้มาจากกรดอะมิโนที่มีโซ่ข้างเคียงเล็ก ๆ เช่น ไกลซีน อะลานีน เซรีน ฯลฯ บริเวณที่ไม่มีผลึกภายในมาจากกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ เช่น ไทโรซีน นอกจากนี้ยังพบว่าโมเลกุลไฟโบรอินมีโครงสร้างเป็นแบบเบต้า [4] (β -form) ซึ่งเกิดจากการที่สายโซ่พอลิเปปไทด์ 2 สายมาอยู่คู่ขนานกัน โดยที่หมู่คาร์บอนิลมีพันธะไฮโดรเจนกับหมู่ NH ของเอมีนจากอีกสายโซ่หนึ่งและระนาบที่เกิดจากการขนานกันของสายพอลิเปปไทด์จะมีการหักขึ้นลงเป็นแผ่นจับเหมือนรอยหยักขึ้นลงของการพับกระดาษแสดงดังรูปที่ 2.3 โมเลกุลไฟโบรอินนี้มีโครงสร้างแบบเบต้าที่สายเปปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C ตรงข้ามกัน เรียกว่า แอนติพาราเลล (Fully Extended Antiparallel) แสดงดังรูปที่ 2.4 ในขณะที่โมเลกุลของเส้นใยโปรตีนชนิดอื่นจะมีโครงสร้างแบบพาราเลล (Parallel) คือสายเปปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C เหมือนกันดังรูปที่ 2.5 นอกจากนี้โครงสร้างของโมเลกุลไฟโบรอินเป็นโครงสร้าง 3 มิติ (Well-Defined Dimension) โดยมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล คือ พันธะไฮโดรเจนบริเวณที่ผลึกของไฟโบรอินซึ่งเกิดการจัดเรียงโมเลกุลแบบเบต้าทำให้ได้โครงสร้างเป็นแผ่นรอยพับซ้อนกันหลายชั้นอย่างสม่ำเสมอ ในส่วน อสัณฐานสายโซ่กรดอะมิโนจะจัดเรียงตัวแบบสุ่ม (Random) ซึ่งบางสายโซ่ประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่ เช่น ไทโรซีน (Tyrosine) สายโซ่ในส่วนอสัณฐานนี้อาจต่อกับส่วนที่เป็นผลึกด้วยพันธะไอออนิก พันธะไฮโดรเจน พันธะไดซัลไฟด์ (Interchain disulfide) และการเชื่อมโยงเอสเทอร์ (Ester link) [5]



รูปที่ 2.2 ลักษณะ โครงสร้างแบบเบต้าชีท (β -plated sheet) [6]



รูปที่ 2.3 ลักษณะ โครงสร้างแอนติพาราเลลเบต้า-ชีท [6]



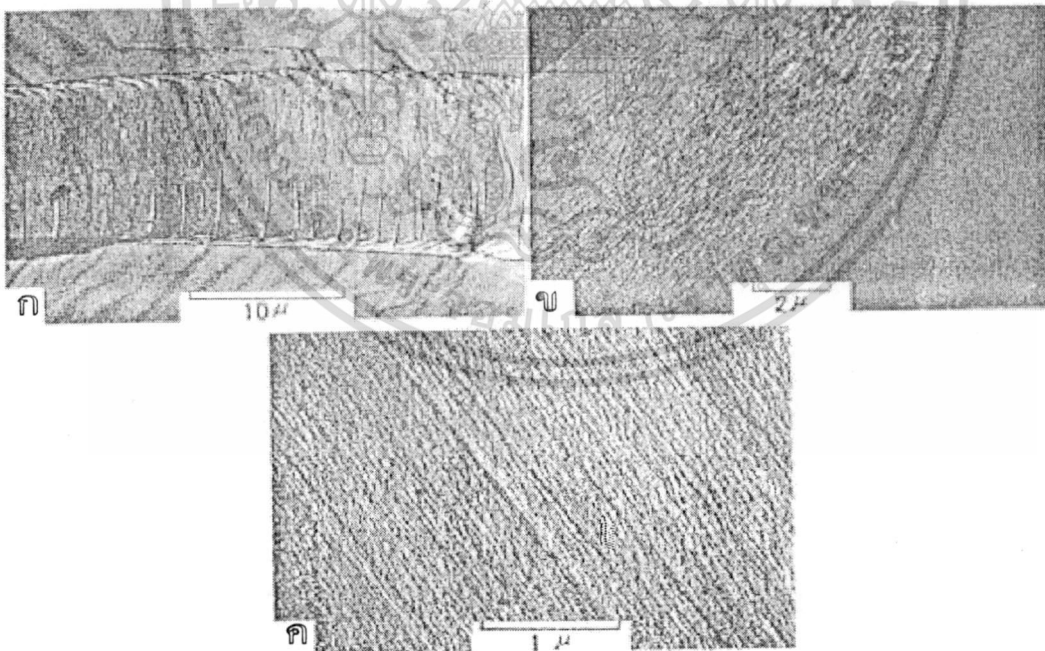
รูปที่ 2.4 ลักษณะ โครงสร้างพาราเลลเบต้า-ชีท [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 โครงสร้างทางกายภาพของไหม (Physical Structure of Silks) [2]

ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น มีพื้นผิวที่ราบเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตามความยาวของเส้นใย พื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมนและมีความละเอียดมาก ลักษณะพื้นที่หน้าตัดของเส้นใย 1 เส้นพบว่ามีความแตกต่างกันโดยที่ชั้นนอกสุดของเส้นใยมีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 100 ตารางไมครอน ชั้นกลางประมาณ 80 ตารางไมครอน และชั้นในประมาณ 60 ตารางไมครอน นอกจากนี้ไหมจะมีพื้นที่หน้าตัดไม่สม่ำเสมอแล้วยังมีความไม่สม่ำเสมอของเส้นใยไหมแต่ละเส้นทำให้เส้นใยสามารถเกาะเกี่ยวกันได้ง่าย 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 ไฟบริลเหล่านี้พันเกลียวเข้าด้วยกันและเรียงตัวเป็นโครงสร้างตาข่าย ทำให้เห็นโครงสร้างเป็นเหมือนท่อไปตามแนวความยาวของเส้นใย ดังนั้นโครงสร้างผิวที่ดูจากกล้องจุลทรรศน์แสดงให้เห็นถึงระบบธรรมชาติที่มีความละเอียดสูงซึ่งไม่พบในเส้นใยชนิดอื่น ทำให้ไหมมีความเงางามสลวยและสีสรรสวยงาม



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

ก) สภาพที่เคลือบด้วยกาวเซริซิน ข) โครงสร้างไฟบริลของผิวเส้นใยที่ลอกกาวออกแล้ว

ค) โครงสร้างไมโครไฟบริลของผิวเส้นใย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 แต่ถูกทำลายได้ดีด้วยด่างที่มีความเข้มข้นสูง และที่มีอุณหภูมิสูงพอ ซึ่งมีผลทำให้ไหมมีความมันลดลง
3. กลีออลอไรด์ ไหมถูกทำลายได้ด้วยสารที่มีส่วนผสมของกลีออลอไรด์ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาซักล้าง และน้ำเกลือทั่วไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งเหงื่อจะไปทำให้ผ้าไหมติดคราบ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ต้องสัมผัสผิวหนังต้องรักษาความสะอาดให้ดีภายหลังการใช้งานทุกครั้ง
4. สารละลายอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ไหมส่วนใหญ่มักทำความสะอาดโดยการซักแห้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นด้ายไหมหรือสีที่ใช้ย้อม ซึ่งไหมสามารถซักด้วยน้ำยาซักแห้งได้
5. สารซักฟอก ไหมมีความทนต่อสารซักฟอกคล้ายกับขนสัตว์ แต่ในกรณีของสารซักฟอกประเภทออกซิไดซ์สามารถทำลายไหมได้ เช่น สารซักฟอกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ผสมอยู่ แต่สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือโซเดียมเปอร์บอเรตภายใต้สภาวะการซักปกติจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม
6. ราและแมลง ปกติไหมมักไม่ขึ้นรา ยกเว้นในสถานะที่ค่อนข้างเปียกชื้นเป็นเวลานาน ๆ ไหมที่ขึ้นรามักเกิดจากสิ่งสกปรกที่ติดมาในขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จ
7. แสง ผ้าไหมไม่ทนทานต่อแสง โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการถูกแสงแดดเป็นเวลานาน ผ้าไหมจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและความแข็งแรงจะลดลง
8. การย้อมสี เส้นใยไหมมีความสามารถในการได้รับสีย้อมได้ดีมาก อาจย้อมได้ดีด้วยสีย้อมที่เป็นสีย้อมแอซิด สีย้อมเบสิกหรือสีย้อมไดเรกต์ ผ้าไหมเมื่อย้อมสีแล้วจะได้สีที่เข้มกว่าขนสัตว์ และสามารถย้อมได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า

2.3.2 ✓ สมบัติทางกายภาพของไหม (Physical Properties of Silks) [1]

สมบัติทางกายภาพของเส้นไหมจะเป็นตัวบ่งบอกถึงลักษณะภายนอก ความยาว ความแข็งแรง ความทนทาน และความยืดหยุ่น ดังนี้

1. ลักษณะภายนอก ไหมดิบจะเป็นลักษณะของเส้นไหมคู่เกาะติดกันด้วยกาวไหม มีความมันนุ่มนวล ผิวของไหมจะดูเรียบ แต่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นไหม หลังจากลอกเอาไหมออกแล้วจะได้เส้นใยเดี่ยว พื้นผิวเรียบ และพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน และจัดเป็นเส้นใยที่มีความละเอียดสูงมากขนาด 1.25 เดเนียร์ต่อเส้นเท่านั้น
2. ความยาว ปกติไหมมีความยาวมาก ความยาวทั่วไปอยู่ระหว่าง 390-600 เมตร และอาจพบที่ยาวถึง 1,200 เมตร
3. สี ไหมมีสีตั้งแต่เหลืองไปจนถึงเทา
4. ความมัน ภายหลังจากที่ลอกกาวไหมแล้วไหมจะมีความมันมาก ให้ลักษณะความมันที่อ่อนนุ่ม และสวยงาม
5. ความแข็งแรง ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงที่สุดและเนื่องจากไหมมีผิวที่เรียบมัน ทำให้ลดปัญหาที่เกิดจากการขาดได้ ความละเอียดของเส้นใยทำให้ผ้าไหมได้รับการออกแบบให้มีโครงสร้างที่เบาบางคงทน มีค่าความทนแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ที่ 3.5-5.0 กรัมต่อเดเนียร์ ในขณะที่แห้ง และจะมีความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยขณะเปียกประมาณ 15-25 %
6. ความยืดหยุ่น ไหมเป็นเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นตัวดี อาจขึ้นอยู่กับชนิดของไหมและ การเจริญเติบโต เส้นใยไหมสามารถยืดได้ถึง 20 % จากความยาวเดิม เมื่อเทียบกับเส้นใยขนสัตว์ พบว่าความยืดหยุ่นของไหมไม่ด้อยกว่าขนสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไหมไม่มีพันธะที่ทำให้เกิดเป็นโครงร่างตายาย ดังนั้นไหมจึงไม่สามารถกลับคืนสภาพเดิมได้ทั้งหมดเมื่อมีการดึงยืด
7. การคืนตัวจากแรงอัด ไหมมีความสามารถในการคืนตัวได้ดี ไม่เกิดการยับย่นง่าย สามารถกลับรูปเดิมได้เมื่อแขวนทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่ง
8. การดูดซับความชื้น ที่ภาวะมาตรฐานการดูดซับความชื้นของไหมมีค่าประมาณ 11 % ซึ่งจัดว่ามีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดี ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดี ผ้าไหมทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบายไม่ระคายผิว และเนื่องจากผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีจึงรักษาความอบอุ่นได้นานและเหมาะแก่การทำผ้าพันคอ ชุดสูท เป็นต้น
9. ความร้อน สามารถทนต่อความร้อนได้สูงถึง 340°F (171°C) ในเวลาสั้น ๆ แต่ที่อุณหภูมิสูงกว่านี้ไหมจะเริ่มสลายตัว จึงจัดได้ว่าไหมทนทานต่อความร้อนได้ไม่สูงนักแต่ทนทานต่อความร้อนดีกว่าขนสัตว์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. ความถ่วงจำเพาะ ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำประมาณ 1.25 และมีการทิ้งตัวที่ดี

2.4 การปรับปรุงเส้นใยไหมโดยวิธีทางเคมี (Chemical Treatment of Silks) [2]

ในการนำเส้นใยไหมดิบมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเส้นใยก่อนที่จะนำมาผลิตเนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีองค์ประกอบของกาวไหมและสารอื่น ๆ ซึ่งไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน จึงต้องนำไปผ่านกระบวนการลอกกาวก่อนนำไปทอเป็นผ้าและหลังจากนั้นต้องผ่านกระบวนการตกแต่งสำเร็จโดยการตกแต่งด้วยเรซินเพื่อเพิ่มสมบัติทางความร้อน สมบัติทางการขัดถู การสัมผัส และสมบัติทางแรงดึงเพื่อให้เหมาะแก่การนำไปใช้งาน

2.4.1 การลอกกาว (Degumming) [2]

การลอกกาว คือ กระบวนการพื้นฐานที่สำคัญอย่างหนึ่ง โดยนำเส้นไหม เส้นด้ายและผ้าไหมดิบมาลอกกาวไหมที่เคลือบผิวของเส้นใย ซึ่งนอกจากกาวไหมแล้วยังมีส่วนประกอบอย่างอื่นเล็กน้อย (ดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.1.2) เช่น จี๊ซิ่ง คาร์โบไฮเดรต ลี สารอนินทรีย์ สิ่งสกปรก และเศษดักแค้ การลอกกาวสามารถเพิ่มความสามารถในการฟอกขาวและความสามารถในการย้อมติดสี และทำให้ไหมมีความเงาเพิ่มขึ้น

ในกรณีของไหมบ้าน (*Bombyx mori*) หลังจากผ่านกระบวนการลอกกาวอย่างดีแล้ว เส้นใยไหมจะกลายเป็นสีเกือบขาวจึงไม่จำเป็นต้องฟอกขาวอีก แต่ไหมบ้านไหมป่าที่มีสีเหลือง ผ้าไหมดิบชนิดหนาและผ้าที่ใช้เส้นด้ายที่มีการบิดเป็นเกลียวสูงจะยังคงมีสีอ่อนจนถึงน้ำตาลแกมเหลืองอ่อน ๆ จำเป็นจะต้องทำให้มีสีขาวใสขึ้นโดยการฟอกขาว คือ การฟอกขาวแบบรีดิวซ์โดยใช้ไฮโดรซัลไฟท์ หรือการฟอกขาวแบบออกซิไดส์โดยใช้ไฮโดรเจนเพอออกไซด์

การลอกกาวออกจากเส้นไหมดิบเป็นการลอกกาวและสิ่งสกปรกออกจากเส้นไหมทั้งหมด เพื่อให้ได้ลักษณะของเส้นใยไหมและย้อมสีได้สะดวก มีวิธีที่ใช้อยู่ทั่วไปดังนี้

2.4.1.1 การลอกกาวด้วยสบู่

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

2.4.1.2 การลอกกาวด้วยโซดา

ขั้นตอนการลอกกาวด้วยโซดาทำได้โดยนำเส้นไหมมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตหรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จากนั้นล้างออกด้วยน้ำอุ่น $40-50^{\circ}\text{C}$ และน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง

2.4.1.3 การลอกกาวด้วยสบู่-โซดา

การลอกกาวด้วยสบู่และโซดาทำได้โดยนำเส้นไหมมาต้มด้วยสารละลายสบู่และโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิสูงกว่า 90°C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง หลังจากแยกเอาสารละลายออกแล้วจึงนำไหมมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ $40-50^{\circ}\text{C}$ ตามด้วยน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง หรือใช้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตซึ่งมีปฏิกิริยาเป็นด่างอ่อนกว่าแทนการใช้โซเดียมคาร์บอเนต การใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้างจะช่วยปรับปรุงข้อเสียในการลอกกาวด้วยสบู่เนื่องจากทำให้พื้นผิวมีความสม่ำเสมอมากขึ้น

2.4.1.4 การลอกกาวด้วยเอนไซม์

เอนไซม์สามารถนำมาใช้ในการลอกกาวได้ โดยนำเส้นไหมมาจุ่มในสารละลายเอนไซม์โปรตีเอสชนิดต่างซึ่งมีค่า pH 9.0-10.5 ที่อุณหภูมิ $40-65^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง กาวไหมจะละลายออกมา แล้วล้างด้วยน้ำอุ่น $40-50^{\circ}\text{C}$ และน้ำธรรมดาหลาย ๆ ครั้ง วิธีการลอกกาวด้วยเอนไซม์โปรตีเอสจะสามารถลอกกาวเซริซินได้อย่างสม่ำเสมอแต่มีข้อเสีย คือ เอนไซม์โปรตีเอสมีราคาแพง

2.4.1.5 การลอกกาวด้วยกรด

การลอกกาวด้วยกรด คือ การนำเส้นไหมต้มในสารละลายที่เป็นกรด แต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากมีปัญหาในการควบคุมคุณภาพของไหมที่ลอกกาว

2.4.2 การปรับปรุงสมบัติทางเคมี (Chemical Modification) [2]

เรซินที่นำมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จให้กับไหมมีอยู่หลายชนิด ที่สำคัญได้แก่ สารประกอบที่เป็นมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ เช่น ยูเรีย และเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ เป็นต้น ยูเรียเรซินที่ไวต่อปฏิกิริยา เช่น ไดเมทิลไตรอาโซน (Dimethyltriazone) และไดเมทิลอลเอธิลีนยูเรีย (Dimethylol ethylene urea) เรซินประเภทเทอร์โมเซตที่มีการใช้งานได้แก่ อีพอกซี ฟีนอลิก อะคริลามิด คาร์บอเนต และพอลิยูริเทน ซึ่งให้โครงสร้างแบบร่างแห ส่วนเรซินประเภทเทอร์โมพลาสติก ได้แก่ พอลิไวนิลเรซิน พอลิอะคริลเรซิน พอลิอะมีดเรซิน และพอลิโอลิฟินส์ ซึ่งให้โครงสร้างเป็นโซ่ตรง โดยที่เรซินประเภทเทอร์โมเซตจะทำปฏิกิริยากับตัวเองและทำปฏิกิริยาเชื่อมต่อกับโมเลกุลของเอกลเส้นใย ดังนั้นจึงช่วยในการปรับปรุงสมบัติในการคืนตัวจากการยับ ความคงทนต่อการหดตัวและทำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ผ้าคลุมรูป ส่วนเรซินประเภทเทอร์โมพลาสติกใช้สำหรับตกแต่งผิวเส้นใยช่วยให้เกิดความน่าสัมผัส ความทนต่อการขัดสี การตกแต่งและการซัก

การตกแต่งสำเร็จใหม่ด้วยเรซินเทอร์โมเซทพวกยูเรีย ไซโอยูเรีย เอธิลีนยูเรีย เอธิลีนไซโอยูเรีย เมลามีน ไกลออกซาล อะคริลิก ซิลิโคน ฟลูออรีน โพลีไวนิลและพอลิอะคริลิก มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความคงทนต่อการยับ การป้องกันการหด เพิ่มความนุ่มนวล ความคงทนต่อการขัดสี การซัก การเปลี่ยนเป็นสีเหลือง การเสื่อมสภาพ การสะท้อนน้ำและน้ำมัน

การตกแต่งสำเร็จด้วยการใช้เรซินสามารถแบ่งเป็น 2 วิธี ได้แก่การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ และการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง

2.4.2.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ [7]

การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาแบบเติมสามารถทำได้ด้วยการเติมสารเคมีที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระหรือด้วยการเติมประเภทกรด เบส หรือใช้สารประกอบออร์กาโนเมทัลลิกเพื่อให้เกิดประจุ สารเหล่านี้จะเหนี่ยวนำให้มอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่เกิดปฏิกิริยาถูกโซ่ขึ้นได้

ก. มอนอเมอร์สำหรับพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยอนุมูลอิสระ

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

ข. ตัวริเริ่มสำหรับพอลิเมอร์ไรเซชันด้วยอนุมูลอิสระ

สารเคมีที่ก่อให้เกิดอนุมูลอิสระสำหรับกลไกการเกิดพอลิเมอร์ด้วยอนุมูลอิสระมีหลายประเภท เช่น เปอร์ออกไซด์ (ROOR) เอโซ (RN≡NR) เปอร์ซัลเฟต นอกจากนี้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ความร้อน แสงอัลตราไวโอเลต หรือรังสีพลังงานสูง เช่น แกมมาและกระแสไฟฟ้าสามารถก่อให้เกิดอนุมูลอิสระบนพันธะคู่ของมอนอเมอร์ได้เช่นกัน การริเริ่มด้วยวิธีต่าง ๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 วิธีดังนี้

- การริเริ่มด้วยความร้อน

สารเคมีบางชนิดสลายตัวให้อนุมูลอิสระเมื่อได้รับความร้อนและถ้าหากอุณหภูมิของการสลายตัวนั้นตรงกับอุณหภูมิในการเกิดพอลิเมอร์ สารเคมีนั้นอาจให้เป็นตัวริเริ่มสำหรับไวนิลมอนอเมอร์ได้ ตัวอย่างเช่น ไดอัลคิลเปอร์ออกไซด์ ไดไฮโดรเปอร์ออกไซด์ สารประกอบเอโซและโทหะอัลคิล เป็นต้น สารเคมีจะทำหน้าที่เป็นตัวริเริ่มที่ดีหรือไม่ขึ้นอยู่กับอัตราเร็วของการสลายตัวด้วยความร้อนโดยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง (First-order reaction) โดยให้อนุมูลอิสระ 2 อนุภาคเป็นตัวริเริ่มต้นปฏิกิริยาถูกโซ่ ปกติการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของตัวริเริ่มจะทำให้ค่าเฉลี่ยความยาวของโซ่พอลิเมอร์ลดลง แต่ทำให้จำนวนสายโซ่มากขึ้น ดังนั้นการเลือกตัวริเริ่มและการเลือกอุณหภูมิสำหรับขึ้นเริ่มต้นสายโซ่ขึ้นกับความต้องการที่จะให้เกิดพอลิเมอร์เร็วหรือพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง

- การริเริ่มด้วยปฏิกิริยารีดอกซ์

ตัวริเริ่มประเภทนี้จะละลายน้ำได้ อนุมูลอิสระเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิของปฏิกิริยา 0-50°C ขึ้นอยู่กับระบบรีดอกซ์ที่เลือกซึ่งมีหลายระบบดังนี้

- เปอร์ออกไซด์ผสมอยู่กับตัวรีดิวซ์ เช่น ไอออนเหล็ก (Fe^{2+}) โครเมียม (Cr^{2+}) วานาเดียม (V^{2+}) ทิทาเนียม (Ti^{3+}) โคบอลต์ (Co^{2+}) และทองแดง (Cu^{2+})
- ตัวริเริ่มที่ผสมระหว่างตัวรีดิวซ์อนินทรีย์และตัวออกซิไดส์อนินทรีย์หลายชนิด
- ตัวริเริ่มผสมระหว่างคูรีดอกซ์ของสารอินทรีย์-อนินทรีย์
- มอนอเมอร์บางประเภททำตัวเป็นตัวริเริ่มเสียเองโดยเกิดเป็นคูรีดอกซ์ขึ้น เช่น อะคริลาไมด์กับไทโอซัลเฟต หรือกรดเมทาคริลิกผสมกับเมทิลเมทาคริลเลท โดยมีไดเมทิลอะนิลีน (N,N dimethylaniline) ปนอยู่ด้วย

- การริเริ่มด้วยแสงและความร้อน

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

- การริเริ่มด้วยรังสี

การใช้รังสีพลังงานสูง เช่น รังสีเอกซ์ รังสีแกมมา อนุภาคแอลฟา อิเล็กตรอนพลังงานสูง โปรตอนและอื่น ๆ เหนี่ยวนำให้มอนอเมอร์สลายตัวเป็นอนุมูลอิสระ โมเลกุลในระบบ (มอนอเมอร์และตัวทำละลาย) จะดูดกลืนพลังงานแล้วสลายให้อนุมูลอิสระกลไกของปฏิกิริยาค่อนข้างซับซ้อนเพราะนอกจากให้อนุมูลอิสระแล้วยังเกิดไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ประกอบการเรียนการสอนเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

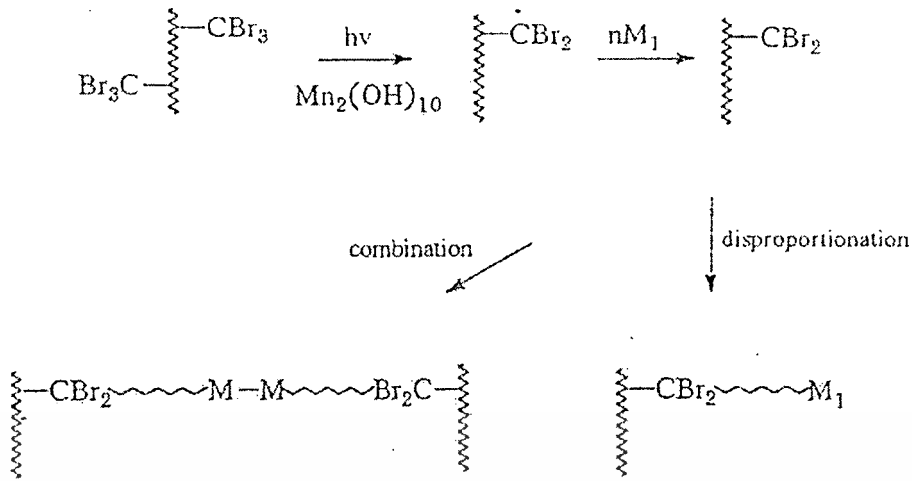
2.4.2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง (Graft Copolymer Synthesis) [8]

ในการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งมีเทคนิคที่สำคัญในการเตรียมพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งมี 3 วิธี คือ (ก) การต่อกิ่ง “จาก” (ข) การต่อกิ่ง “บน” และ (ค) การต่อกิ่งผ่านแมคโครมอนอเมอร์ (macromonomer)

ก. วิธีการต่อกิ่ง “จาก” (Grafting by Macromonomer)

วิธีการต่อกิ่งวิธีนี้เกี่ยวข้องกับการสร้างบริเวณวงไวที่สายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งสามารถกระตุ้นให้เกิดโซ่กิ่งที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ที่สอง อนุมูลอิสระสามารถเกิดขึ้นได้โดยการฉายพอลิเมอร์ด้วยรังสีแกมมาโดยมีมอนอเมอร์ตัวที่สองอยู่ด้วย วิธีนี้เป็นวิธีง่าย ๆ ที่อาจทำให้เกิดโซโม่พอลิเมอร์ด้วย

การฉายพอลิเมอร์ด้วยรังสีก่อนในสถานะที่มีออกซิเจนทำให้เกิดหมู่เปอร์ออกซีขึ้นบนพอลิเมอร์ซึ่งมีความเสถียรเพียงพอที่จะแยกออกมาและเก็บไว้เพื่อทำปฏิกิริยาต่อไป เมื่อนำพอลิเมอร์ที่เตรียมโดยวิธีนี้ไปให้ความร้อนร่วมกับมอนอเมอร์ที่สองจะทำให้เกิดกระบวนการต่อกิ่งได้ เนื่องจากหมู่เปอร์ออกซีแตกตัวแล้วเกิดบริเวณอนุมูลอิสระ วิธีนี้ใช้ในการเตรียมพอลิเมอร์ร่วมระหว่างพอลิสไตรีนและอะครีโลไนไตรล์ (poly(styrene-co-acrylonitrile)) ในการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งจะเกิดเมื่อการย้ายโซ่ให้แก่พอลิเมอร์ที่มีอยู่ก่อนแล้วมีผลต่อมอนอเมอร์ตัวที่สองที่มีอยู่ในสารผสม เช่น เมทิลอะครีเลทสามารถต่อกิ่งกับยางธรรมชาติได้เมื่อมีเบนโซอิลเปอร์ออกไซด์เป็นตัวริเริ่มแต่การต่อกิ่งโดยจะเกิดขึ้นในปริมาณที่น้อยกว่าถ้าใช้เอโซบิสไอโซบิวทีโรไนไตรล์ (Azobisisobutyronitrile) เป็นตัวริเริ่ม ประสิทธิภาพของเทคนิคการต่อกิ่งวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความว่องไวและความเป็นขี้ของอนุมูลอิสระและของมอนอเมอร์ นอกจากนี้การเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วม เช่น สายโซ่พอลิเมอร์ที่มีหมู่ข้างเป็นหมู่ไตรเฮไลด์สามารถถูกกระตุ้นได้เมื่อมีมอนอเมอร์ตัวที่สองอยู่ด้วย โดยการเกิดพอลิเมอร์แบบต่อกิ่งแทนที่จะเกิดพอลิเมอร์แบบบล็อก ปฏิกิริยาเช่นนี้อาจเกิดโครงสร้างร่างแหได้อีกถ้าอนุมูลส่วนใหญ่เกิดปฏิกิริยาแบบรวมตัว (Combination Reaction) ดังแสดงในรูปที่ 2.6

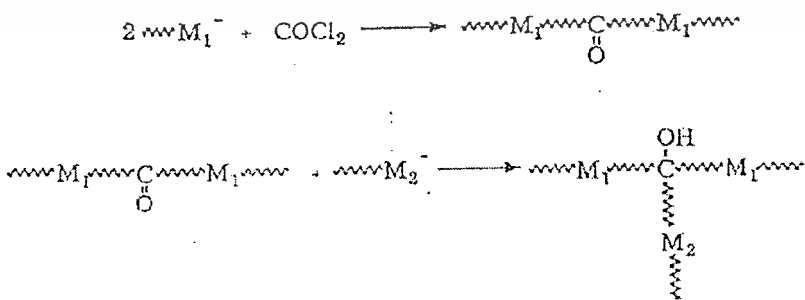


รูปที่ 2.6 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งแบบ “จาก” [8]

ข. วิธีการต่อกิ่ง “บน” (Grafting on Macromonomer)

วิธีการต่อกิ่งแบบนี้เกี่ยวข้องกับสารที่มีบริเวณบนสายโซ่หลักที่สามารถให้มอนอเมอร์ตัวที่สองเข้าไปเกาะได้ด้วยพันธะโคเวเลนต์ ตัวอย่างเช่น การเกิดพอลิเมอร์แบบแอนไอออนระหว่างฟอสจีนและมอนอเมอร์ที่มีหมู่คีโตน การเชื่อมระหว่าง 2 สายโซ่โดยฟอสจีนทำให้เกิดหมู่คีโตนซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับสายโซ่ที่สองได้ หมู่ฟังก์ชันที่ชอบอิเล็กตรอนอื่น ๆ ที่ใช้ได้ดีในปฏิกิริยานี้ ได้แก่ เอสเทอร์ ไนไตรล์ แอนไฮไดรด์ สามารถใช้เป็นบริเวณให้เกิดการต่อกิ่งโดยคาร์แบนไอออนที่ยาวออก เช่น ไอออนของพอลิสไตริล (polystyryl ion) เทคนิคการต่อกิ่งเหล่านี้มีอยู่มากมายที่เกิดโซ่กิ่งตามสายโซ่หลักยังทำให้กิ่งยาวออกได้เช่นกัน โดยจะต้องควบคุมการเกิดกราฟเพื่อให้เกิดโซ่กิ่งคล้ายหรืออย่างสม่ำเสมอซึ่งอาจทำได้โดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ของแมโครมอนอเมอร์ (macromonomer) หรือโดยการใช้ปฏิกิริยาที่เหมือนกันบนสายโซ่ที่เหมาะสม

แสดงรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาการต่อกิ่งแบบ “บน” [8] เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลง 68512 ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. วิธีการต่อกิ่งผ่านแมโครมอนอเมอร์ (Grafting via Macromonomer)

เราอาจเรียกแมโครมอนอเมอร์ (Macromonomer) ว่าแมโครเมอร์ (Macromer) ซึ่งเป็นสายพอลิเมอร์สั้น ๆ ที่มีปลายเป็นพันธะคู่ ซึ่งเตรียมได้โดยการทำให้เกิดหมู่ฟังก์ชันที่มีสายโซ่สั้น ๆ กับหน่วยไวทิล ปฏิกริยาทั่วไปสำหรับการเกิดพอลิเมอร์ของมอนอเมอร์เหล่านี้ทำให้เกิดโครงสร้างที่สามารถต่อกิ่งได้กับโซ่กิ่งที่อยู่เป็นช่วง ๆ ตามสายโซ่ ถ้าแมโครมอนอเมอร์ที่ใช้เริ่มต้นมีความยาวสม่ำเสมอแล้วโซ่กิ่งที่เกิดขึ้นก็จะสม่ำเสมอด้วยเช่นเดียวกัน การเกิดพอลิเมอร์ร่วมกับอีกมอนอเมอร์หนึ่งจะทำให้ความสม่ำเสมอของจุดแตกกิ่งจะเปลี่ยนไปแต่ในขณะที่ความยาวของโซ่กิ่งยังคงเหมือนเดิม อาจใช้พอลิแอซิดคลอไรด์ (Poly(acid chloride)) สำหรับปฏิกริยานี้ได้เช่นกัน และหน่วยของฟังก์ชันที่ตำแหน่ง ω สามารถควมแน่นที่บริเวณเหล่านี้ทำให้ได้โครงสร้างที่มีลักษณะคล้ายกับที่ได้จากการใช้ แมโครมอนอเมอร์ ดังปฏิกริยาในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะการเกิดปฏิกริยาการต่อกิ่งแบบผ่านแมโครมอนอเมอร์ [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) [9]

สีย้อมในปัจจุบันเกือบทั้งหมดเป็นสีย้อมสังเคราะห์ สีย้อมที่ดีควรมีลักษณะต่าง ๆ ดังนี้

1. มีความเข้มข้นสูง

สีย้อมที่มีค่าเฉพาะการดูดกลืนแสงสูงกว่า 10000 (molar absorptivity, Σ 10000) เป็นสีย้อมที่มีความเข้มข้นสูงซึ่งมีข้อดี คือ ต้องการสารช่วยย้อมน้อยและใช้สีในปริมาณน้อย

2. มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี

สีย้อมจะต้องสามารถละลายน้ำหรืออยู่ในรูปของสารแขวนลอย ทั้งนี้เนื่องจากการย้อมสีนั้นต้องอาศัยน้ำเป็นตัวกลางในการช่วยย้อม แม้ว่าในปัจจุบันนั้นได้มีการพัฒนาการย้อมที่อาศัยคาร์บอนไดออกไซด์เหลวเป็นตัวกลาง (Supercritical CO₂ fluid) แต่การย้อมก็ยังมีข้อจำกัดเฉพาะสีที่ไม่ละลายน้ำ (สีย้อมเพิร์ส) หน้าที่ของน้ำ คือ เป็นตัวพา (Vehicle) ให้สามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใยได้อย่างสม่ำเสมอ

3. มีแรงดึงดูดกับเส้นใย (Substantive to Fibers)

การย้อมวัสดุสิ่งทอแบบวิธีย้อมแฉะ (Exhaustion Method) จัดเป็นระบบสองวัฏภาค ประกอบด้วยวัฏภาคของแข็ง (เส้นใย) กับวัฏภาคของเหลว (น้ำย้อม) สมดุลการแพร่ของสีย้อมจากน้ำย้อมเข้าสู่เส้นใยหรือจากเส้นใยออกสู่น้ำย้อมมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิ สารช่วยย้อม อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำย้อมต่อน้ำหนักของเส้นใย (Liquor ratio) สีย้อมที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ย้อมเส้นใยนั้นควรมีสมบัติเกาะติดกับเส้นใยได้ดี (สมดุลการแพร่ของสีไหลไปทางด้านเส้นใย) สีย้อมที่มีสมบัติชอบยึดเกาะกับเส้นใยมากกว่าชอบละลายอยู่ในน้ำย้อมจัดว่าเป็นสีที่มีความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใย (ความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใย) ที่ดี แต่ในทางกลับกันสีที่เกาะติดกับเส้นใยได้ไม่ดี (สมดุลการแพร่ของสีจะไหลมาทางด้านน้ำย้อม) จัดเป็นสีที่มีความสามารถในการละลายน้ำได้ดี (Affinity to water)

4. มีความคงทนต่อการซักและการนำไปใช้งาน

สีที่มีค่าความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใยสูงมีข้อดี คือ สามารถย้อมสีเข้มได้โดยใช้สีในปริมาณน้อยและสีประเภทนี้มีความคงทนต่อการซักได้ระดับหนึ่ง แต่ก็ยังมี ความคงทนที่ไม่สูงเพียงพอต่อการนำไปใช้งานสีจะค่อย ๆ หลุดออกมาในขณะที่ทำการซักล้าง การทำกระบวนการหลังการย้อม (after-treatment) จะช่วยเพิ่มความคงทนของสีย้อมต่อการซักในระดับที่ยอมรับได้ หรือเลือกใช้สีที่สามารถทำปฏิกิริยากับเส้นใยได้ แล้วเกิดพันธะโควาเลนต์ แต่ข้อเสียของสีที่มี ความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใย สูงคือเสี่ยงต่อการย้อมที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการแก้ไขสีใหม่เพราะฉะนั้นการย้อมสีที่มีค่า ความสามารถในการเกาะติดกับเส้นใย สูงจึงต้องการความระมัดระวังสูง และมักจะมีกระบวนการย้อมที่นาน เช่น การย้อมไหมพรมด้วยสีเบสิก เป็นต้น

5. มีความคงทนต่อสภาวะในกระบวนการหลังการย้อมเช่นกระบวนการตกแต่งสำเร็จ เพื่อเพิ่มสมบัติพิเศษให้วัสดุที่ผ่านการย้อมแล้ว
6. สีย้อมควรมีความปลอดภัย
7. สะดวกต่อการใช้งานและมีราคาเหมาะสม

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าไม่มีสีตัวใดที่มีสมบัติที่ต้องการอย่างครบถ้วน ดังนั้นช่างย้อมควรมีเทคนิคและความชำนาญในการเลือกสีย้อมตัวที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับนำมาย้อมสีย้อมสีสิ่งทอที่กำหนด

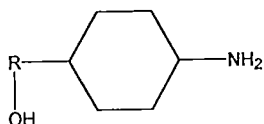
2.5.1.1 สีย้อมประเภทกรดหรือสีย้อมแอซิด (Acid Dyes)

สีกรดได้ชื่อเช่นนี้เนื่องมาจากว่า สีย้อมในกลุ่มนี้ต้องย้อมในน้ำย้อมซึ่งมีภาวะเป็นกรด ซึ่งเป็นกรดชนิดใดก็ได้ เนื่องจากสีในกลุ่มนี้เกือบทุกตัวเป็นเกลือโซเดียมของกรดอินทรีย์และมีแอนไอออนในส่วนประกอบที่ให้สี ปกติจะเป็นเกลือของกรดซัลโฟนิก มีบ้างบางตัวที่มีหมู่คาร์บอกซิล ส่วนมากผลิตออกจำหน่ายในรูปของเกลือโซเดียม การผลิตสีจะผลิตให้เป็นสีกรดแท้ ๆ นั้นทำได้ยาก เนื่องจากสีแอซิดดูดซับความชื้นจากอากาศได้ง่าย การเก็บและเข้าหีบห่อต้องระมัดระวังอย่างดี ถ้าปรากฏว่าสีดูดซับความชื้นเข้าไปจะทำให้เสื่อมสภาพได้เร็ว สีแอซิดสามารถใช้ในการย้อมเส้นใยโปรตีนได้โดยตรง คือ ผลิตขึ้นเพื่อใช้ย้อมขนสัตว์และไหมโดยไม่ดูดติดใยเซลลูโลส แต่มีสีย้อมแอซิดบางตัวที่มีส่วนประกอบ โครงสร้างทางเคมีคล้ายกับสีไครเรทท์มากจึงมีสีแอซิดบางกลุ่มที่ใช้ย้อมใยเซลลูโลสได้และใช้ย้อมเส้นใยพอลิเอไมด์ได้ด้วย

สีกรดที่ใช้กันมากมีโครงสร้างเคมี 3 แบบ ได้แก่ อะโซ (Azo) แอนทราควิโนนอยด์ (Anthraquinonoid) และ แซนเทน (Triphenylmethane) และยังมีสีในกลุ่มเอซิม (Azime) และ แซนเทน (Xanthane) อีกด้วย ตัวสีย้อมที่ใช้ย้อมขนสัตว์และใช้ย้อมไหมได้ด้วยนั้น เรียกกันทั่วไปว่า Acid wool dyes

2.5.1.2 สีย้อมประเภทเบสิก (Basic Dyes)

สีเบสิกเป็นสีสังเคราะห์ที่มีความเก่าแก่ที่สุด เมื่อใช้ในการย้อมเส้นใยเซลลูโลสจะมีความคงทนต่ำ แต่สีเบสิกมักนำมาย้อมเส้นใยอะโครลิกเนื่องจากให้ความคงทนสูงกว่าในการใช้ย้อมเซลลูโลส นิยมใช้ในการย้อมที่ต้องการสีสรรสดใสมากกว่าความคงทน โมเลกุลของสีย้อมมาจากส่วนประกอบและไอออนที่เป็นแคทไอออน โดยมีสูตรทั่วไปดังรูปที่ 2.8



เอกรูปที่ 2.9 แสดงสูตรโครงสร้างทั่วไปของสีย้อมประเภทเบสิก [10] มอนูญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สีเบสิกจัดอยู่ในกลุ่มสีที่ให้ความสดใสและความเข้มมากกว่าสีตัวอื่นๆ เช่น เบสิกมาเจนตา (Basic Magenta) กับแอซิดมาเจนตา (Acid Magenta) ซึ่งทั้งสองตัวมีโครงสร้างอย่างเดียวกัน โดยนำมาทำให้เป็นกรดด้วยวิธีซัลโฟเนชัน (Sulphonation) เมื่อใช้แอซิดมาเจนตาต้องใช้สีถึง 5 เปอร์เซ็นต์จึงจะให้ความเข้มเท่ากับสีเบสิกมาเจนตาเพียง 2-3 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ยังมีผู้นิยมใช้ในประโยชน์บางอย่างเพราะความคงทนของสีค่อนข้างต่ำ

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

2.5.2 การย้อมสี (Dyeing) [10]

การย้อมติดสีของเส้นใยเกิดจากการที่โมเลกุลของสีและเส้นใยรวมเข้าเป็นสารประกอบใหม่ชนิดหนึ่งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไปและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะสมบัติทางกายภาพ คือ ทำให้เส้นใยมีสีต่าง ๆ ขึ้นมา โมเลกุลของสีย้อมมีขนาดค่อนข้างใหญ่ แต่โมเลกุลของสีย้อมสามารถจะซึมเข้าไประหว่างโมเลกุลของเส้นใยได้เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมมีขนาดเล็กกว่าช่องว่าง (Pore) ระหว่างโมเลกุลของเส้นใยจึงเกิดการย้อมติดสีขึ้น ดังนั้นช่องว่าง (Pore) ระหว่างโมเลกุลของเส้นใยกับขนาดโมเลกุลของสีย้อมจึงมีความสัมพันธ์กัน คือ ถ้าทราบขนาดของทั้งสองอย่างทำให้การเลือกตัวสีและขบวนการย้อมทำได้ง่ายขึ้น การย้อมสีส่วนใหญ่ใช้น้ำเป็นตัวกลาง และเส้นด้ายหรือผ้าเมื่อนำไปแช่น้ำจะพองตัวในปริมาณแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำซึ่งมีอยู่ในเส้นใยนั้น การพองตัวของเส้นใยนี้จะเกิดแต่เฉพาะบริเวณของส่วนหลวมหรือช่องว่างของเส้นใยเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ช่องว่างนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น เส้นใยทุกชนิดมีขนาดช่องว่างไม่เท่ากัน ขนาดโมเลกุลของสีย้อมก็มีขนาดไม่เท่ากันด้วย จึงเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้สีบางตัวย้อมเส้นใยบางชนิดไม่ติดหรือติดสีอ่อน นอกเหนือไปจากคุณสมบัติเคมีโดยตรงระหว่างตัวสีกับเส้นใย

เมื่อโมเลกุลของสีซึมผ่านช่องว่างเข้าไปภายในเส้นใยแล้ว สีย้อมที่อยู่ในน้ำย้อมจะซึมเข้าไปในเส้นใย ดังนั้นเส้นใยจะค่อย ๆ มีโมเลกุลของสีรวมมากขึ้นทุกที สีก็จะมีความเข้มมากขึ้นไปตามลำดับ ปริมาณของสีย้อมที่จะยึดติดเส้นใยได้มากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่ก่อให้เกิดปฏิกิริยา (Reactive group) ของสีย้อมและเส้นใยนั้นๆ

การที่จะย้อมสีให้ได้ผลดีนั้น แรงยึดเหนี่ยวของสีย้อมกับเส้นใยต้องมีมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของสีย้อมกับน้ำ โมเลกุลสีย้อมจะต้องมีหมู่ฟังก์ชันซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิด

การยึดติด (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)

ในการย้อมติดสีจะต้องมีแรงอย่างน้อยอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจมีมากถึง 4 ชนิดที่จะทำให้เกิดการรวมกันของสีย้อมและเส้นใยได้ ดังนี้

1. พันธะไฮโดรเจน ไฮโดรเจนในกลุ่มไฮดรอกซี (Hydroxy group) จะยึดอย่างหลวมๆ กับอะตอมอื่นได้ ได้แก่ พันธะที่ยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับออกซิเจนในโมเลกุลของน้ำ
2. แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นแรงอย่างอ่อน ๆ ที่ทำให้อะตอมและโมเลกุลเข้ามายึดติดกันได้เอง ระหว่างตัวที่ย้อมกับเส้นใย ตัวอย่างเช่น แรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสกับสีย้อมเว็ทหรือสีไครเรทที่ดั่งเช่น โมเลกุลของเซลลูโลส สีวัตหรือสีไครเรท
3. แรงไอออนิก การยึดรวมตัวระหว่างเส้นใยและสีย้อมนี้ เกิดขึ้นได้โดยความต่างศักย์ไฟฟ้า เมื่อเส้นใยอยู่ในน้ำจะแสดงความเป็นลบและส่วนใหญ่สีย้อมซึ่งละลายน้ำเป็นแอนไอออน การดูดซึมจึงไม่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนไอออนของเส้นใยก่อนโดยการเติมเกลือลงในน้ำย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส และเติมกรดลงในน้ำย้อมสำหรับเส้นใยโปรตีนและไนลอน จะเป็นการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าซึ่งมีอยู่ในเส้นใยได้ แต่สีย้อมบางประเภทซึ่งเป็นแคทไอออนอยู่แล้ว เช่น สีที่ใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิก สีย้อมประเภทนี้จึงสามารถเกิดแรงไอออนิกกับเส้นใยได้ง่าย
4. พันธะโควาเลนต์ ในกรณีของสีรีแอคทีฟที่ยึดกับเส้นใยได้โดยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งพันธะนี้เป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกับแรงที่กล่าวมาข้างต้น

ในการจำแนกสีย้อมตามการใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 13 ชนิด สีเบสิก สีแอซิด สีเมอร์แดนท์ สีไครเรท สีดิสเพอร์ส สีอะโซอิก สีวัต สีกำมะถัน สีออกซิไดส์ สีโอเนียม สีรีแอคทีฟ สีโลหะ และสีปิกเมนต์ แต่ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติและเปรียบเทียบความคงทนของสีย้อมที่ใช้ในการย้อมเส้นใยไหม 2 ประเภท คือ สีย้อมประเภทเบสิก (Basics Dyes) และ สีย้อมประเภทกรด หรือ สีย้อมแอซิด (Acids Dyes) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.6 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดสี

สีเป็นสิ่งสำคัญที่จะดึงดูดผู้บริโภคให้มีความสนใจตลอดจนตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์นั้น ๆ การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ให้มีสีทันและรูปลักษณะภายนอกตรงตามความต้องการของลูกค้าและมีสีที่สม่ำเสมอตลอดจนการพิจารณาตัดสินใจในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์นั้นยังคงต้องใช้สายตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มนุษย์ในการมองเห็นสีทั้งนั้น แต่การมองเห็นสีของมนุษย์ที่เกิดจากตาและสมองเป็นผู้บ่งการและการตัดสินใจของมนุษย์จะมีความแตกต่างกันไปขึ้นกับ เพศ อายุและประสบการณ์ เรียกว่า Subjective ดังนั้นเพื่อควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์เพื่อจำกัดความขัดแย้งเกี่ยวกับการมองเห็นสีในอุตสาหกรรมและเพื่อให้เป็นที่เข้าใจในระดับสากลจึงมีการพัฒนาการวัดสีเป็นระบบตัวเลข เรียกว่า เป็น Objective ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงมีการนำเครื่องมือและเทคนิคที่เป็นมาตรฐานมาใช้ในการวัดสี

2.6.1 ระบบการวัดสี [11]

โดยทั่วไปมนุษย์จะระบุลักษณะสีของวัตถุที่มองเห็นเป็น 3 ลักษณะ คือ

- HUE หมายถึง สีที่ปรากฏให้เห็น เช่น สีเขียว สีแดงและสีน้ำเงิน
- VALUE (Lightness) หมายถึง ความสว่างของสี โดยดูจากการสะท้อนแสงที่ต่างกัน
- CHROMA (Saturation) หมายถึง ความสดใส ความเข้ม (Strength) หรือความบริสุทธิ์ของสี

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

- เป็นระบบที่ไม่ขึ้นกับการมองเห็นของแต่ละบุคคลทำให้ลดปัญหาขัดแย้งลงได้
- เป็นระบบการวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ดังนั้นถึงแม้ตัวอย่างจะซีดลงเนื่องจากกาลเวลาสามารถมีตัวเลขยืนยันว่าสีเดิมคือสีอะไร
- เป็นระบบที่สามารถคำนวณและทำนายสูตรสีผสมได้

เนื่องจากการวัดสีในระบบ CIE มีข้อดีดังที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้การวัดสีระบบนี้ในการวัดความแตกต่างของเส้นใยไหมตัวอย่างในแต่ละขั้นตอน ซึ่งระบบ CIE มีแนวคิดว่าการวัดสีในการมองเห็นของมนุษย์ประกอบด้วยแหล่งกำเนิดแสง วัตถุมีสีและสายตามนุษย์ เครื่องมือการวัดสีในระบบนี้จึงประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้

(ก) แหล่งกำเนิดแสงมาตรฐาน (Illuminants)

แหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการวัดสีนั้น เราสามารถวัดการกระจายพลังงานที่แต่ละความยาวคลื่น (Spectral power distribution, SPD) ได้ โดยใช้เครื่อง Spectroradiometer

เนื่องจากการมองเห็นสีของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงธรรมชาติจะแตกต่างกัน โดยการมองเห็นสีของวัตถุจากแหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติจะแตกต่างกันตามวัน เวลา ภูมิประเทศ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภูมิอากาศ ดังนั้นการตรวจสอบตัวอย่างสีในทางอุตสาหกรรมจึงต้องใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ที่สามารถทำการเปรียบเทียบมาตรฐานได้ และมีคุณภาพของแสงที่คงที่ ระบบ CIE จึงจำเป็นต้องกำหนดมาตรฐานของแหล่งกำเนิดแสงดังนี้ Illuminant A Illuminant B Illuminant C และ Illuminant D ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่มีการกระจายพลังงานแต่ละความยาวคลื่น (SPD) ใกล้เคียงกับแสงแดดตอนกลางวันเช่นกัน แต่จะแสงละเอียดตาม 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 ยังมีตัวเลขมากเท่าไรก็ยังมีสีออกฟ้าหรือน้ำเงินมากขึ้นเท่านั้น 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

การวัดสีออกมาเป็นตัวเลข ต้องสามารถหาปริมาณการตอบสนองของตามมนุษย์ต่อแสงสีแดง เขียว และน้ำเงินได้ โดยนักวิทยาศาสตร์ 2 ท่าน คือ Wright และ Guild ได้ทำการทดลองโดยฉายแสงตัวอย่างตลอดความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร จากนั้นจะให้ผู้สังเกตการณ์ 17 คน มองผ่านช่องเล็กๆ และทำการเทียบสี (Color matching) แสงสีแดง เขียว และน้ำเงินที่ส่งมาผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาดูเท่านั้น เมื่อผู้ดูเห็นใบเขียวระเขยบนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กัน ในปริมาณที่แตกต่างกันที่จอด้านบนกับแสงตัวอย่างที่จอด้านล่าง จากการทดลองสามารถนำ มาหาค่าเฉลี่ยการตอบสนองของตามมนุษย์ที่ไวต่อแสงสีแดง เขียวและน้ำเงิน ได้ค่าที่เรียกว่า CIE color-matching function curves 3 curves หรือเรียกว่า 2°1931 CIE Standard

การมองวัตถุด้วยมุม 2° จะทำให้เห็นภาพได้ไม่สมบูรณ์เหมือนการมองวัตถุตามปกติในอุตสาหกรรม เนื่องจากการมองวัตถุด้วยมุมที่แคบเพียง 2° เท่านั้น ดังนั้นในปี 1964 จึงได้ทำการทดลองซ้ำอีกครั้ง โดยทำการมองวัตถุที่มีมุมใหญ่ขึ้น คือที่มุม 10° ได้ค่าที่เรียกว่า 10°1964 Standard Observer ซึ่งจะมีการตอบสนองต่อแสงสีน้ำเงินมากกว่าการมองวัตถุที่ 2°

2.6.2 การวัดความแตกต่างของสี (Color Differences)

แม้ว่าเราจะสามารถวัดสีออกมาเป็นตัวเลขได้ แต่การใช้ประโยชน์จากการวัดสีออกมาเป็นตัวเลขที่แท้จริง คือ การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานออกมาเป็นตัวเลข

อย่างไรก็ตามการบอกความแตกต่างของสีโดยใช้ตามมนุษย์ ยังมีจุดอ่อนอยู่หลายประการ คือ

- ๑ ตามมนุษย์แต่ละคนจะมีความสามารถในการมองเห็นสีได้ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ขึ้นกับประสบการณ์ การฝึกฝนของแต่ละคน ดังนั้นการบอกความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานจึงอาจมีความขัดแย้งด้านความคิดได้
- ๑ ตามมนุษย์จะบอกความแตกต่างของสี ณ จุดต่าง ๆ บน Chromaticity Diagram ได้ไม่เท่ากัน
- ๑ ตามมนุษย์จะปรับตัวให้เข้ากับสีที่ใกล้เคียงกันได้ง่ายมาก
- ๑ ความสามารถในการมองเห็นสีขึ้นกับแสงที่ส่องผิวหน้า และขึ้นกับมุมที่สายตามองผิวหน้าของวัตถุมีสี
- ๑ ตามมนุษย์ไม่สามารถบันทึกค่าหรือบอกค่าที่แน่นอนว่าสีของตัวอย่างจะซีดได้มากน้อยเพียงใดเมื่อเวลาผ่านไป และสีเดิมเป็นอย่างไร

ดังนั้นการใช้เครื่องวัดสีเพื่อบอกความแตกต่างของสีตัวอย่างและสีมาตรฐานทำให้สามารถควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ได้อย่างมีมาตรฐานและเป็นการช่วยให้การตัดสินใจง่ายขึ้นลดความขัดแย้งระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายถ้าไม่มีการตกลงกันตั้งแต่ต้น ซึ่งความแตกต่างของสีที่วัดได้ควรเป็นตัวเลขที่สามารถบอกความแตกต่างของสี การยอมรับและบอกขนาดของความแตกต่างของสีได้ เหมือนกับที่สายตามนุษย์มองเห็นค่าความแตกต่างของสีที่นิยมใช้ คือ CIELAB Color Difference Equation

CIELAB Color Difference Equation

การวัดความแตกต่างของสีตัวอย่างกับตัวอย่างมาตรฐานสามารถหาได้จากค่าความแตกต่างระหว่างค่าความสว่าง ความเป็นสีแดง-เขียว และความเป็นสีเหลือง-น้ำเงิน ดังรูปที่ 2.11 คือ

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

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

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

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

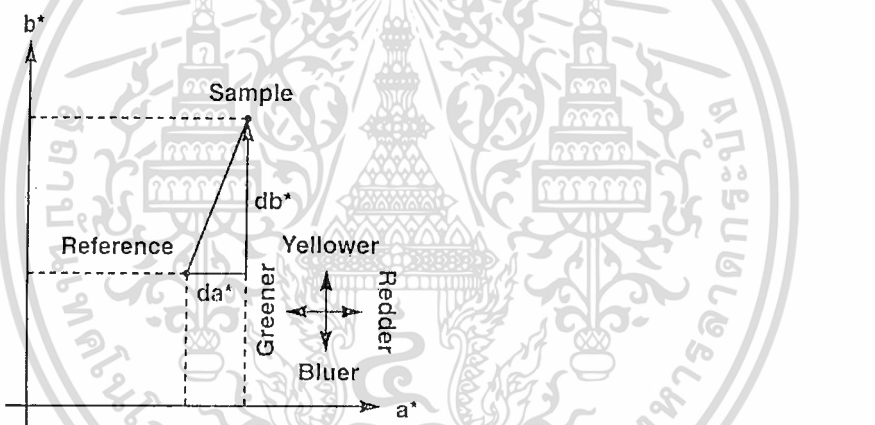
ถ้า $da^* = +$ แสดงว่าตัวอย่างแดงกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (redder)

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

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

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

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

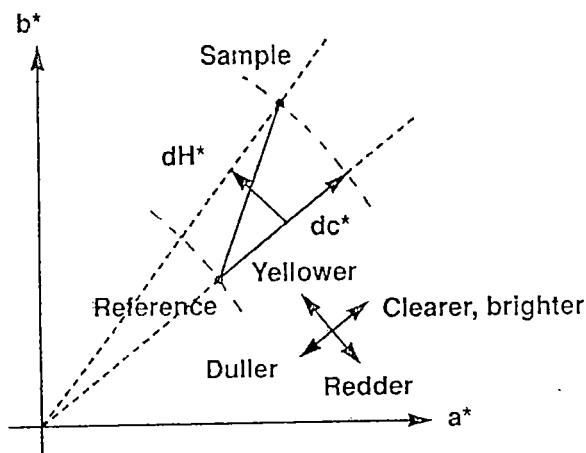


รูปที่ 2.10 ค่า da^* และ db^* ในระบบ CIELAB [12]

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]

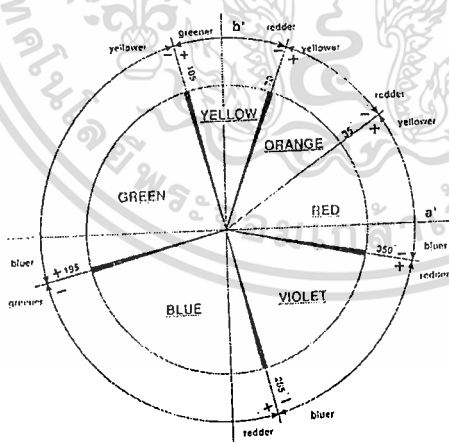
$$\text{โดย } dE^* = (dL^{*2} + dC^{*2} + dH^{*2})^{1/2}$$

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

ถ้า $dC^* = +$ แสดงว่าตัวอย่างมีความสดใสมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (brighter)

$dC^* = -$ แสดงว่าตัวอย่างมีความตุ่นมากกว่าตัวอย่างมาตรฐาน (duller)

สำหรับ dH^* แสดงความหมาย Yellower, Redder, Bluer หรือ Greener เท่านั้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าค่า dH^* นั้นเป็น + หรือ - และสีมีค่า Hue angle อยู่ใน Segment ที่เท่าไรดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 ความหมายของ dH^* ในระบบ CIELAB [12]

โดยทั่วไปค่า dE^* ที่ทางอุตสาหกรรมให้การยอมรับจะมีค่าประมาณ 1-2 หน่วย แต่ทั้งนี้ขึ้นกับสีและทิศทางเบี่ยงเบนของสีด้วย เช่น สีแดงสดที่มีค่าความแตกต่างของสี (dE^*) = 1.0 เท่ากับสีเทาอ่อน แต่ตาของมนุษย์จะมองเห็นสีเทาอ่อนที่มีค่า dE^* = 1.0 แตกต่างจากตัวอย่างมาตรฐาน ในขณะที่ตัวอย่างสีแดงตามนุษย์กลับมองไม่เห็นความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐาน หรือ ขึ้นตัวอย่างสีน้ำเงินที่มีค่า $dE^* = 1$ พบว่าเราสามารถมองเห็นความแตกต่างของสีได้เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน ในขณะที่ขึ้นตัวอย่างสีเหลืองที่มีค่า $dE^* = 1$ เท่ากัน เรากลับยังมองไม่เห็นความแตกต่างของสีเมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างมาตรฐาน ซึ่งเป็นข้อกำหนดในการกำหนดขอบเขตการยอมรับ หรือ ไม่ยอมรับสีตัวอย่าง โดยใช้ค่า dE^* เป็นพื้นฐานในการพิจารณาเพียงอย่างเดียว

2.7 งานวิจัยที่ผ่านมา

S. Chopra และคณะ [13] ศึกษาการลอกกาบสิ่งทอจากไหมมัดเบอร์รี่ (Mulberry silk) โดยใช้สารเคมีในการลอกกาบที่แตกต่างกัน คือ กรด เบส เอมีน สบู่และเอนไซม์ โดยทำการเปรียบเทียบผลในแง่ของสมบัติในการสัมผัส (Handle Properties) โดยใช้สมบัติเชิงกลของเส้นใยในการประเมินค่าในการสัมผัส (Hand value) จากการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่าการลอกกาบด้วยเบสและเอมีนให้เส้นใยที่มีสมบัติเชิงกลใกล้เคียงกับการลอกกาบด้วยสบู่ แต่การลอกกาบด้วยกรดและเอนไซม์มีผลให้สมบัติทางแรงเฉือน (Shear property) ของชิ้นงานลดลง ส่วนในด้านของการสัมผัส การลอกกาบด้วยสบู่และเบสให้ความนุ่ม (Softness) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และ ความรู้สึกเมื่อถู (Scroopy feel) ที่ดีกว่าการลอกกาบด้วยเอนไซม์ซึ่งให้เส้นใยที่เปราะและแข็งกว่า แต่ให้ความนุ่มและความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนการลอกกาบด้วยกรดและเอมีนทำให้ได้เส้นใยที่มีความนุ่มและความยืดหยุ่นปานกลาง นอกจากนี้การลอกกาบด้วยสบู่ เบสและเอมีนจะมีความสม่ำเสมอมากกว่าการลอกกาบด้วยกรดและเอนไซม์ซึ่งได้จากการสังเกตพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) การลอกกาบด้วยเอนไซม์และเอมีนจะแสดงความขาว (Whiteness) สูงสุดในขณะที่การลอกกาบด้วยสบู่และเบสให้ความขาวปานกลาง ส่วนการลอกกาบด้วยกรดยังคงมีสีเหลืองของไหมอยู่เนื่องจากการลอกกาบด้วยวิธีนี้ต้องใช้อุณหภูมิสูง

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

นอกจากนี้คณะผู้วิจัยนี้ [15] ยังได้ทำการศึกษาอิทธิพลของการบวมตัวของเส้นใยในส่วนที่ไม่เป็นผลึก (Noncrystalline Region) ของเส้นใยไหมบ้าน (*Bombyx mori* และไหมทุซซา (*Antheraea pernyi*) ที่ปรับปรุงด้วยเมทาคริลาไมด์ โดยองศาของการบวมตัว (Degree of Swelling) ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนที่ไม่เป็นผลึกของเส้นใยซึ่งสามารถวัดได้จากการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ชนิดมุมแคบ (Small-angle x-ray scattering) แล้วทำการเทียบกับต้นแบบมาตรฐาน 2 แบบ คือ ต้นแบบในส่วนที่เป็นผลึกและต้นแบบในส่วนที่ไม่เป็นผลึกที่เกิดการบวมน้ำ และศึกษาการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างเนื่องจากการตอ่กึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ชนิดมุมกว้าง (Wide-angle x-ray diffraction) พบว่าเส้นใยของไหมบ้านแสดงส่วนที่บวมตัวของส่วนที่ไม่เป็นผลึกและปริมาณของพอลิเมทาคริลาไมด์ที่ตอ่กึ่งบนผิวของเส้นใยมากกว่าไหมทухซา แต่ไหมทухซาซึ่งมีขนาดของผลึกที่เล็กกว่าไหมบ้านทำให้เส้นใยบางส่วนถูกทำลาย ในขณะที่การตอ่กึ่งมีผลทำให้ผลึกของเส้นใยไหมบ้านมีขนาดลดลงและยังพบว่าความเป็นเนื้อเดียวกันในส่วนที่เป็นเส้นใยกับพอลิเมทาคริลาไมด์ไม่ขึ้นกับขนาดของผลึก

M. Tsukada [16] ได้ทำการศึกษาโครงสร้าง ลักษณะพื้นผิวและสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมที่ผ่านการตอ่กึ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท (2-Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) และเมทาคริลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) โดยเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโคมอนอเมอร์ และวิเคราะห์สมบัติต่าง ๆ โดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffractometry) เทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (differential scanning calorimetry, DSC) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบว่าเส้นใยที่ผ่านการตอ่กึ่งด้วย HEMA/MAA ที่เปอร์เซ็นต์การตอ่กึ่ง 60 % โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง HEMA:MAA คือ 20 % และ 80 % โดยน้ำหนัก ซึ่งจะแสดงเอนโดเทอร์มิกพีค (Endothermic peak) ที่อุณหภูมิ 280°C และ 420°C คือ อุณหภูมิการสลายตัวของ MAA และ HEMA ตามลำดับ และพีคของอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยแสดงที่ 323°C สามารถสรุปได้ว่าความสามารถในการเข้ากันได้ระหว่างโมเลกุล ไฟโบรอินของไหมกับ HEMA/MAA นั้นไม่ดี ส่วนความเป็นผลึกของเส้นใยไหมที่ผ่านการตอ่กึ่งเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อมีการตอ่กึ่งมากกว่า 120 %

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M. Tsukada [17] ศึกษาการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วยเมทาคริลาไมด์ (MAA) โดยใช้ไตรบิวทิลโบเรน (Tri-n-butylborane) เป็นตัวริเริ่มและทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (IR) เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ดัชนีหักเห (Refractive index) และสมบัติทางแรงดึง (Tensile property) ในการต่อกิ่งด้วยวิธีนี้ต้องทำการปรับปรุงเส้นใยไหมก่อน (Pretreatment) ด้วยเฟอร์ริกคลอไรด์ (FeCl_3) เพื่อปรับสภาพผิวของเส้นไหม จากแถบการดูดกลืน (Absorption band) ของเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์พบส่วนที่ซ้อนทับกันของโครงสร้างแบบเบต้า (β -structure) ของไฟโบรอินและพอลิเมทิลเมทาคริลาไมด์ที่ต่อกิ่งลงบนเส้นใย เส้นใยไหมที่มีปริมาณพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น 140 % แสดงเอนโดเทอร์มิกพีค (Endothermic peak) ที่อุณหภูมิ 321°C และ 396°C นั่นคือ อุณหภูมิในการสลายตัวของไฟโบรอินและพอลิเมทาคริลาไมด์ที่ต่อกิ่งบนเส้นใยตามลำดับ จากการวัดดัชนีการหักเหของแสง พบว่าการจัดเรียงตัวของโมเลกุลและความเป็นผลึกของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น ส่วนความแข็งแรงดึงของเส้นใยมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการต่อกิ่ง

M. Tsukada และคณะ [18] ศึกษาโครงสร้าง ลักษณะพื้นผิว สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติทางความร้อนและความสามารถในการติดสีย้อมของเส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอทอกซีเมทาคริเลท (Ethoxyethylmethacrylate, ETMA) ใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยา โดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ $60-80^\circ\text{C}$ และเวลา 0-90 นาที พบว่าการเพิ่มของพอลิเมอร์ (Polymer add-on) บนเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 60 นาที จากการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบลักษณะของแผ่น (Granule) ที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอของเอทอกซีเมทาคริเลทโอลิโกเมอร์ (ETMA oligomer) บนพื้นผิวของเส้นใย และจากการวิเคราะห์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (IR Spectroscopy) แสดงให้เห็นแถบการดูดกลืน (Absorption band) ที่ซ้อนทับกันแสดงให้เห็นถึงความเหมือนกันของโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยเอทอกซีเมทาคริเลท แสดงถึงการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของเอทอกซีเมทาคริเลทในเมตริกซ์ของเส้นใยไหม และอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) สมบัติทางแรงดึงเมื่อผ่านการปรับปรุงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ความสามารถในการติดสีย้อมชนิดกรด (acid dye) เพิ่มขึ้นมากเมื่อเกิดการพอลิเมอร์ไรเซชันของเอทอกซีเมทาคริเลทบนเส้นใยไหมเพิ่มขึ้น

M. Tsukada และคณะ [19] ได้ทำการศึกษาอุณหภูมิ ชนิดของไวนิลมอนอเมอร์ คือ เมทาคริลาไมด์ (MAA) และไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท (Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) ความเข้มข้นและชนิดของตัวริเริ่มที่มีผลต่อความเหลือง (Degree of yellowing) โดยทำการต่อกิ่ง (Grafting) ที่อุณหภูมิ 70 75 80 และ 88 องศาเซลเซียส และความเข้มข้นของตัวริเริ่ม 1-4 % พบว่าในการต่อกิ่งโดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate, APS) เป็นตัวริเริ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับว่าผูกพันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยใหม่มีความเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของตัวริเริ่มและอุณหภูมิเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในการต่อกิ่งด้วย HEMA และที่อุณหภูมิ 70-88 องศาเซลเซียสใหม่จะมีความเหลืองเพิ่มขึ้นมาก ในขณะที่ใหม่ที่ต่อกิ่งด้วย MAA ไม่แสดงความเหลือง การที่ใหม่เป็นสีเหลืองเนื่องจากในการใช้ความเข้มข้นของตัวริเริ่มมากและที่อุณหภูมิสูงทำให้อัตราการเกิดปฏิกิริยาสูง (Higher reactivity) ทำให้เกิดอนุมูลอิสระขนาดใหญ่ (Macroradical formation) ทำให้เกิดเป็นโซโม่พอลิเมอร์โดยไม่เกิดการทำปฏิกิริยากับสายโซ่หลักของเส้นใยใหม่

นอกจากนี้ M. Tsukada และคณะ [20] ได้ทำการศึกษาการต่อกิ่งของใหม่กับมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ เมทาคริลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) เมทิลเมทาคริเลท (Methylmethacrylate, MMA) และไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลท (Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) โดยใช้ตัวริเริ่มต่างกัน 3 ชนิด คือ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate, APS) เอโซบิสไอโซบิวทิโรไนไตร์ด (Azobisisobutyronitrile, AIBN) และสุดท้าย คือ เอโซบิสเมทิลโพรพิโอนามิดีนไดไฮโดรคลอไรด์ (Azobismethylpropionamine dihydrochloride, ADC) พบว่าอัตราเร็วและความสามารถในการต่อกิ่งโดยใช้ตัวริเริ่มชนิดต่าง ๆ เรียงตามลำดับดังนี้ $APS > AIBN > ADS$ ในขณะที่ความเหลืองของใหม่มีเปลี่ยนแปลงดังนี้ $APS > ADS > AIBN$ แต่ในกรณีที่ใช้ MAA เป็นมอนอเมอร์ความเหลืองไม่พบการเปลี่ยนแปลงเมื่อใช้ตัวริเริ่มทุกชนิด ในกรณีของความชื้น (Moisture regain) ของเส้นใยใหม่ขึ้นกับความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำ (Hydrophilic/hydrophobic) ของมอนอเมอร์ที่ใช้ และใหม่ที่ต่อกิ่งโดยใช้ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลทและเมทาคริลาไมด์มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากการเกิดโซโม่พอลิเมอร์มาเกาะที่พื้นผิว ในขณะที่การต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ทำให้เส้นใยที่มีพื้นผิวเรียบ

A.S. Bashar และคณะ [22] ศึกษาการปรับปรุงเส้นใยธรรมชาติด้วยยูรีเทนอคริเลท (Urethane Acrylate, Ebocryl 264) ที่ต่างกัน 10 สูตร โดยใช้มอนอเมอร์ที่มี 1 หมู่ฟังก์ชันในการเกิดปฏิกิริยาตัวอื่น ๆ และสารเติมแต่งร่วมด้วย เส้นใยฝ้าย เรยอนและใหม่ที่ถูกปรับปรุงด้วยสูตรต่าง ๆ ถูกทำให้เกิดการเชื่อมโยงโดยการฉายรังสี UV เมื่อตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกล พบว่าความแข็งแรงดึงของฝ้าย ใหม่ และเรยอนเพิ่มขึ้น คือ ความแข็งแรงดึงของฝ้ายเพิ่มขึ้น 150 % ของใหม่เพิ่มขึ้น 40 % ส่วนความสามารถในการยืดของฝ้ายเพิ่มขึ้น 380 % และใหม่เพิ่มขึ้น 50 %

G. Freddi และคณะ [23] ทำการศึกษาโครงสร้าง สมบัติทางแรงดึง และสมบัติทางความร้อนของเส้นใยใหม่บ้านที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (Methacrylamide, MAA) และ 2-ไฮดรอกซีเมทาคริเลท (HEMA) ในตัวกลางที่เป็นน้ำโดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่ม ซึ่งมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถเตรียมเส้นใยที่มีปริมาณพอลิเมอร์บนเส้นใยได้ถึง 300 % โดยที่น้ำหนักของตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีในระบบการเกิดปฏิกิริยา โดยเกิดโซโม่พอลิเมอร์ (Homopolymer) เพียงเล็กน้อยในระบบที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ ในขณะที่มี

ปริมาณของไฮโดรพอลิเมอร์ของพอลิไฮดรอกซีเมทาคริเลทเกิดขึ้นที่พื้นผิวของเส้นใยมากกว่า 70 % ซึ่งขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักของตัวอย่างเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้น (Moisture content) ของเส้นใยที่ผ่านการตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์จะเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณในการตอกลงเพิ่มขึ้น แต่สภาวะในการตอกลงที่รุนแรงเป็นผลให้เกิดการสลายตัวของเส้นใยบางส่วนส่งผลให้สมบัติทางแรงดึงและความขาวของเส้นใย (Degree of fiber whiteness) ลดลง เส้นใยหลังจากผ่านการตอกลงมีค่าทนต่อการแตกหักสูงขึ้นเล็กน้อย การยืด ๓ จุดขาดลดลง แต่อุณหภูมิในการสลายตัวสูงขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. เส้นใยไหมดิบพันธุ์ *Bombyx mori* (บริษัท จิมทอมป์สัน ประเทศไทย จำกัด)
2. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
3. โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3)
4. ไตรเอทิลเอมีน (Triethylamine, TEA)
5. กรดทาร์ทาริก (Tartaric acid)
6. สปันู (Span 60)
7. มอนอเมอร์เมทาคริลตาไมด์ (Methacrylamide, MAA)
8. มอนอเมอร์เมทิลเมทาไครเลท (Methylmethacrylate, MMA)
9. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate)
10. กรดซัลฟูริก (Sulfuric acid, H_2SO_4)
11. น้ำกลั่น
12. ก๊าซไนโตรเจน
13. ลีซอลเบติก (Lanasol Blue, บริษัท ชีบาประเทศไทย จำกัด)
14. ลีซอลแอซิด (Lanaset Blue, บริษัท ชีบาประเทศไทย จำกัด)
15. แอล-ฮิสติดีนโมโน-ไฮโดรคลอไรด์โมโน-ไฮเดรต (1-histidinemono-hydrochloride monohydrate)
16. ไดโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$)
17. โซเดียมคลอไรด์
18. โซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)
19. โซเดียมไฮดรอกไซด์

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลองแบบมีฝาปิด
2. หลอดทดลอง
3. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
4. บีกเกอร์

5. ขาดวัดปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ปากคีบ
7. แท่งแก้วคน
8. pH มิเตอร์
9. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
10. จานเพาะเชื้อ
11. ตู้อบ (Oven)
12. เครื่องให้ความร้อน (Hot plate)
13. แท่งแม่เหล็ก (Magnetic bar)
14. เดซิเคเตอร์ (Desicator)
15. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
16. กล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป (Polarized optical microscopy, รุ่น Optiphot-pol; Nikon)
17. เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument)
18. เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์รุ่น DSC-50 โดยบริษัท Shimadzu
19. อินฟราเรดสเปกโตรสโคป (Infrared spectroscopy)
20. เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น 2600 D (Spectrophotometer model 2600 D) โดยบริษัท Minolta
21. เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก
22. เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ
23. เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

3.3 ขั้นตอนการวิจัย

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนในการลอกกาว ขั้นตอนในการต่อกิ่งไวนิลมอนอเมอร์ ขั้นตอนในการย้อมสีและขั้นตอนในการทดสอบสมบัติต่าง ๆ ดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนในการลอกกาว

1. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการลอกกาว
 - สารละลายกรดทาร์ทริกความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายไตรเอทิลเอมีนความเข้มข้น 0.25 โมล/ลิตร
2. ผสมสารละลายที่ใช้ในการลอกกาวดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของสารละลายชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในกระบวนการลอกกาว

วิธี	กรดทาร์ทาริก	โซเดียมคาร์บอเนต	โซเดียมไฮคาร์บอเนต	ไตรเอทิลเอมีน	สปู (Span 60)
กรด	30 มล.	-	-	-	0.09 ก.
เอมีน	-	-	-	30 มล.	-
ต่าง	-	30 มล.	-	-	0.09 ก.
	-	-	30 มล.	-	0.09 ก.
	-	15 มล.	15 มล.	-	.09 ก.

3. ชั่งเส้นใยไหมดิบ 1 กรัมด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งและจัดบันทึกน้ำหนักที่แน่นอน
4. แช่เส้นใยไหมลงในสารละลายที่เตรียมไว้ดังตารางที่ 3.1 แล้วนำไปผ่านกระบวนการลอกกาวโดยการต้มที่อุณหภูมิต่าง ๆ คือ 80 90 และ 100 °C และเปลี่ยนแปลงเวลาที่ใช้ในกระบวนการลอกกาวเป็นเวลา 20 30 40 และ 50 นาที
5. นำเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวแล้วล้างด้วยน้ำอุ่น 40-50°C และนำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้ง ชับน้ำให้แห้ง ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์จนมีน้ำหนักที่แน่นอน จัดบันทึกน้ำหนักหลังผ่านกระบวนการลอกกาว
6. หากความสามารถในการลอกกาวไหมของสารละลายชนิดต่าง 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 ขั้นตอนการตอ่กึ่งไวโนมอนอเมอร์กับเส้นใยไหม

- เตรียมสารละลายที่ใช้ในการปรับปรุงเส้นใยไหม
 - เตรียมสารละลาย MAA 0.8 โมล/ลิตร
 - เตรียมสารละลาย MMA 0.8 โมล/ลิตร
 - เตรียมสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต 0.05 โมล/ลิตร
 - กรดซัลฟูริก
- ซั่งน้ำหนักที่แน่นอนของเส้นใยไหมลั้ผ่านกระบวนการลอกกวดั้ด้วยเครื่องซั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- เตรียมสารละลายที่ใช้ในกระบวนการตอ่กึ่งดังตารางที่ 3.1
- เตรียมส่วนผสมดังตารางที่ 3.1 ปรับ pH ของสารละลายให้มิดค่าเท่ากับ 3
- ใส่ในหลอดทดลองแบบมีฝาปิด โดยอัตราส่วนของเส้นใยกับสารละลายที่ใช้ในการตอ่กึ่ง คือ 1: 100
- นำไปผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 วินาทีแล้วปิดฝาให้สนิทเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันในระหว่างการตอ่กึ่งด้วยไวโนมอนอเมอร์

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของสารละลายที่ใช้ในการตอ่กึ่งไวโนมอนอเมอร์

สูตรที่	แอมโมเนียม เปอร์ซัลเฟต (ml)	สารละลาย MAA (ml)	สารละลาย MMA (ml)
1	0.2	20	0
2	0.2	15	5
3	0.2	10	10
4	0.2	5	15
5	0.2	0	20

- นำส่วนผสมที่เตรียมไว้ไปแช่ลงในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ คือ อุณหภูมิ 50 60 70 และ 80 องศาเซลเซียส และเวลา 15 30 45 60 120 180 นาที
- นำเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการตอ่กึ่งล้างด้วยน้ำอุ่น 40-50 °C และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลาย ๆ ครั้งเพื่อกำจัดไวโนมอนอเมอร์ที่เหลือจากการเกิดพอลิเมอร์ไรเซชัน หลังจากนั้นซั่งให้แห้งและทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องแล้วนำไปใส่ในเดซิเคเตอร์จนมีน้ำหนักที่แน่นอน จดบันทึกน้ำหนักลั้ผ่านกระบวนการตอ่กึ่ง

8. คำนวณปริมาณของพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นในโครงสร้างของเส้นใยไหม (Polymer add-on, G)

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมในตอนเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักไหมหลังผ่านกระบวนการปรับปรุง

9. นำเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกขาวแล้วมาทดสอบค่าความแข็งแรงดึง เปรอร์เซ็นต์การยืด ค่ามอดุลัส เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ แล้วจึงเลือกสารเคมี อุณหภูมิและเวลา ที่เหมาะสมให้ได้สมบัติทางแรงดึงสูงสุด

10. เมื่อได้สภาวะในการด้อมที่เหมาะสมแล้วนำไปศึกษาการย้อมติดสีต่อไป

3.3.3 ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยไหม

นำเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกขาวและหลังผ่านกระบวนการด้อมที่มีสมบัติดีที่สุดมาทำการย้อมติดสีโดยใช้สีย้อมชนิดแอซิดและสีย้อมชนิดเบสิก

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยไหม 1 กรัม
2. นำเส้นใยไหมที่ชั่งได้พันรอบรอบหลอดทดลองให้มีความสม่ำเสมอ
3. เตรียมส่วนผสมของน้ำย้อมที่จะใช้ในการย้อมดังตารางที่ 3.2 โดยในการย้อมใช้อัตราส่วนของน้ำย้อมต่อเส้นใยไหม คือ 30 : 1

ตารางที่ 3.2 ส่วนผสมของสารละลายที่ใช้ในการย้อมสีเส้นใยไหม

น้ำย้อม	โซเดียม ซัลเฟต (g)	โซเดียม คาร์บอเนต (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°C

5. นำเส้นใยไหมแช่แล้วเพิ่มอุณหภูมิของน้ำย้อมจาก 30°C เป็น 90°C ในเวลา 30-50 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขอรับการดำเนินการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. จากนั้นแช่เส้นใยไหมที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 30 นาที
7. นำเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมแล้วแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ล้างจนน้ำไม่เกิดการเปลี่ยนสี
8. นำเส้นใยไปล้างสีที่ไม่ยึดติดบนเส้นใยในน้ำสบู่เข้มข้น 1 กรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 15 นาที
9. ล้างด้วยน้ำและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง
10. จดบันทึกน้ำหนักของเส้นใยก่อนและหลังผ่านกระบวนการย้อมเพื่อหาความสามารถในการดูดซับสีระหว่างเส้นใยกับสีย้อม ดังนี้

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

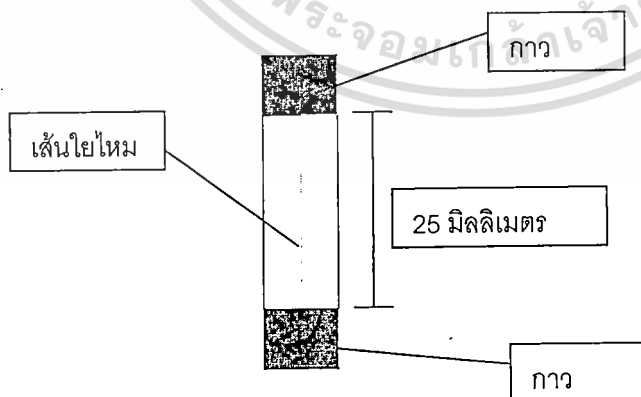
เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมก่อนการย้อม

W_2 คือ น้ำหนักไหมหลังผ่านกระบวนการย้อม

3.3.4 การทดสอบสมบัติทางด้านต่าง ๆ ของเส้นใย

1. สมบัติทางแรงดึงของเส้นใย

ศึกษาความแข็งแรงดึง เบรค์เซ็นต์การยืด และค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกขาว และเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วย ไวนิลมอนอเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบทางแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument) โดยใช้ความเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตร/นาที ระยะเวลาในการจับชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร โดยเตรียมตัวอย่างดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง [22]

2. ลักษณะพื้นผิวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยด้วยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคป

เตรียมตัวอย่างในการศึกษาโดยตัดเส้นใยเป็นเส้นสั้น ๆ ประมาณ 5 มิลลิเมตร 10 ชิ้น ต่อ 1 ตัวอย่าง แล้วนำไปวางบนกระจกสไลด์พร้อมทั้งปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ แล้วส่องด้วยกล้องโพลาไรซ์ไมโครสโคปเพื่อดูลักษณะพื้นผิวและเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยไหม [23] โดยใช้ตัวอย่าง 3 ตัวอย่างและแต่ละตัวอย่างวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ตำแหน่งในการหาค่าเฉลี่ย

3. การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหม

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของหมู่ฟังก์ชันในระดับโมเลกุลของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวย เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการต่อกึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์และเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการย้อมติดสีโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy, IR) ในช่วงความยาวคลื่น $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ โดยตัดเส้นใยที่ต้องการวิเคราะห์ให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนักโดยประมาณ 2 มิลลิกรัม นำไปบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium bromide, KBr) 200 มิลลิกรัม แล้วทำให้เป็นแผ่นโพแทสเซียมโบรไมด์ (ASTM D-276-87)

4. อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหม

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

5. สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม

ศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิว ภาคตัดขวางของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวย เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการปรับปรุงด้วยไวนิลมอนอเมอร์และเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบกราด (Scanning Electron Microscopy, SEM) โดยการนำตัวอย่างแต่ละชนิดผ่านการเคลือบด้วยทองคำมาตรฐาน แล้วนำไปส่องดูลักษณะของเส้นใยที่กำลังขยาย 200 เท่า

6. ความสามารถในการติดสีของเส้นใยไหม

ศึกษาความสามารถในการติดสีของเส้นใยไหม คือ ดูความแตกต่างของสีที่ย้อมติดเส้นใยไหมโดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น 2600 D (Spectrophotometer model 2600 D)

โดยการเตรียมตัวอย่างเส้นใยแต่ละชนิดให้เรียงกันอย่างเป็นระเบียบมีความสม่ำเสมอ กว้าง * ยาว เท่ากับ $30 * 40$ มิลลิเมตร² ซึ่งผลที่ได้จะออกมาในรูปแบบของ $L^* a^*$ และ b^* 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. ความคงทนของสีย้อม

ศึกษาความคงทนของสีย้อมต่อสภาวะต่าง ๆ เช่น ต่อดูดการซักฟอก ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ความคงทนของสีต่อแสง โดยมีวิธีการดังนี้

7.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักฟอก (มอก.121)

1. เตรียมผ้ามาตรฐานสีขาวสำหรับทดสอบซึ่งเป็นผ้าฝ้าย 1 ชั้น ผ้าไหม 1 ชั้นขนาด 4×10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน
3. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยตัวอย่างที่จะทดสอบให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่งได้
4. วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาวให้มีขนาดเท่าผ้ามาตรฐาน นำผ้าขาวมาตรฐานในข้อ 1 มาประกบแล้วเย็บริมทั้งสี่ด้าน
5. เตรียมน้ำสบู่ที่ใช้ในการซักโดยใช้สบู่ 5 กรัมต่อน้ำกัลัน 1 ลิตร
6. วางชิ้นทดสอบลงในถ้วยซักเติมน้ำสบู่ที่เตรียมไว้ โดยกำหนดให้อัตราส่วนระหว่างน้ำสบู่กับผ้าเป็น 50 ต่อ 1 ของน้ำหนัก
7. ซักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
8. นำชิ้นทดสอบออกจากเครื่องซัก ล้างให้สะอาดด้วยน้ำกัลัน 2 ครั้งแล้วล้างออกด้วยน้ำซึ่งไหลตลอดเวลา 10 นาที
9. บีบน้ำออกจากชิ้นทดสอบ และค้ำยที่เย็บออก 3 ด้านโดยเว้นด้านสั้นไว้

10. ผังชั้นทดสอบให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยกางผ้าสามชั้นออกจากกัน
11. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นทดสอบและค่าการเบี่ยงเบนสีบนผ้าขาวมาตรฐานประเมินค่าโดยใช้เกรย์สเกล
12. รายงานการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นทดสอบและค่าการเบี่ยงเบนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน

7.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (มอก. 121)

1. เตรียมผ้ามาตรฐานสีขาวสำหรับทดสอบซึ่งเป็นผ้าฝ้าย 1 ชั้น ผ้าไหม 1 ชั้นขนาด 4x10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชั้นรวมกัน
3. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยตัวอย่างที่จะทดสอบให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่งได้
4. วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาว นำผ้าขาวมาตรฐานในข้อ 1 มาประกบแล้วเย็บริมด้านตรงข้าม 2 ด้าน
5. เตรียมสารละลายเหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบ โดยเตรียมสารละลายดังนี้

- เหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นกรด

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีน โมโน-ไฮโดรคลอไรด์ โมโน-ไฮเดรต (1-histidinemono-hydrochloride mono-hydrate) 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และฟอสฟอรัสไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 2.2 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วทำให้มี pH 5.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัลในการปรับ

- เหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง

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

6. แข่งชั้นทดสอบแต่ละชั้นในสารละลายเหงื่อแต่ละชนิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับชั้นทดสอบคือ 50 ต่อ 1 ของน้ำหนัก
7. แกว่งและบีบชั้นทดสอบเป็นครั้งคราวเพื่อให้เปียกทั่วกัน
8. เทสารละลายออกแล้วใช้แท่งแก้วสองอันบีบสารละลายที่มีมากเกินไปออก

9. วางชั้นทดสอบระหว่างแผ่นแก้วขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร 2 แผ่น
10. นำไปใส่เครื่องทดสอบเหงื่อ (Perspirometer) ปรับเครื่องให้แรงกดบนชั้นทดสอบมีค่าเป็น 44 นิวตัน
11. นำเครื่องทดสอบเหงื่อใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 37+ 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
12. นำชั้นทดสอบออกจากตู้อบและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียสโดยกางผ้า 3 ชั้นออกจากกัน
13. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นทดสอบและปริมาณสีที่ติดบนผ้าขาวโคนใช้เกรย์สเกล
14. รายงานผลเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นทดสอบและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน

7.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ค) (มอก.121)

1. เตรียมผ้าสีมาตรฐานซึ่งเป็นผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินที่ย้อมด้วยสีดังในตาราง โดยจะมีค่าความคงทนจากระดับต่ำสุด คือ 1 และสูงสุด คือ 8 แต่ละระดับจะมีค่าความคงทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (โดยประมาณ)
2. เตรียมชิ้นงานทดสอบแต่ละชิ้นให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยพันรอบกระดาษแข็ง
3. วางเรียงชั้นทดสอบและผ้าสีมาตรฐานตามลำดับดังตารางที่ 3.3
4. ปิดแผ่นทึบแสงบนชั้นทดสอบและผ้ามาตรฐาน
5. ประเมินอัตราความคงทนของสีของชั้นทดสอบ โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชั้นทดสอบกับผ้าสีมาตรฐาน

8. การวัดความสามารถในการดูดซับสีของเส้นใย [28]

การตรวจวัดหาเปอร์เซ็นต์การดูดซับสี (Percentage of Exhaustion) ทำได้โดยการวัดค่าการดูดกลืนรังสีอัลตราไวโอเล็ต (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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมโดยแบ่งการวิเคราะห์สมบัติของเส้นใยไหมในลักษณะต่าง ๆ คือ เส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาว เส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการปรับปรุงสมบัติโดยการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (MAA) และเมทิลเมทาไครเลท (MMA) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยสีแอซิด (Acid Dye) และสีเบสิก (Basic Dye) โดยงานในแต่ละขั้นตอนนี้ได้ศึกษาสมบัติต่าง ๆ คือ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของ เส้นใย ความสามารถในการลอกกาว (เปอร์เซ็นต์การลอกกาว, % Degumming) ความสามารถในการ ต่อกิ่ง (เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์, % Polymer Add-on) ความสามารถในการติดสีย้อม (Dyeability) สมบัติทางแรงดึง (Tensile Property) ลักษณะรูปร่างของเส้นใย (Morphology) โดยการใช้อุปกรณ์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยโดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy, IR) และสมบัติทางความร้อน (Thermal Property) โดยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียล สแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC)

4.1 กระบวนการลอกกาว

ปัจจัยต่าง ๆ เช่น ชนิดของสารเคมี อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้มีผลต่อสมบัติของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาว ดังนั้นการวิเคราะห์ผลของการลอกกาวด้วยวิธีต่าง ๆ จึงควรพิจารณาจากปัจจัยหลายด้าน ได้แก่ ลักษณะของเส้นใย ความสามารถในการลอกกาวและสมบัติทางแรงดึง ได้แก่ ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength) ความทนแรงดึง ณ จุดขาด (Tenacity) ความสามารถในการยืด (Elongation) และค่ามอดุลัสที่ 8 % (8 % Modulus) ลักษณะรูปร่างของเส้นใย การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยและสมบัติทางความร้อน

4.1.1 ลักษณะของเส้นใย

จากการนำเส้นใยไหมดิบมาผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ คือ ไทโรเอทิล เอมีน กรดทาร์ทริก โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตโดยใช้อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 20 30 40 และ 50 นาที พบว่าลักษณะของเส้นใยจากเกณฑ์การวัดด้วยสายตาที่ได้ก่อนและหลังผ่านการลอกกาวนั้นมีลักษณะแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของเส้นใยก่อนและหลังผ่านกระบวนการลอกกา

ชนิดของเส้นใย	ลักษณะของเส้นใย
เส้นใยไหมดิบ	เส้นใยไหมมีความแข็งและหยาบกระด้าง มีสีเหลืองเข้ม ไม่มีความเงางามและความสละสลวยของเส้นใย
เส้นใยไหมหลังการลอกกาด้วยวิธีต่าง ๆ	
1. การลอกกาด้วยกรดทาร์ทาริก	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์การลอกกาต่ำ มีสีเหลืองเข้ม ความแข็งและความหยาบกระด้างสูง
2. การลอกกาด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาสูงมาก เส้นใยเป็นสีขาว มีความนุ่มและความมันเงาสูง แต่เส้นใยบางส่วนเกิดการแตกแยกออกจากกันทำให้เส้นใยมีลักษณะฟูในบางช่วง
3. การลอกกาด้วยโซเดียมคาร์บอเนต	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์การลอกกาสูง เส้นใยมีสีขาว แต่มีลักษณะแตกออกจากกันไม่เป็นระเบียบและค่อนข้างหยิกฟู
4. การลอกกาด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์การลอกกาค่อนข้างสูงและเส้นใยมีสีเข้มกว่าการลอกกาด้วยโซเดียมคาร์บอเนต
5. การลอกกาด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต	เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาค่อนข้างสูง เส้นใยเป็นสีเหลืองอ่อนจนเกือบขาวมีความมันเงาและความนุ่มสูง เส้นใยเกิดการแตกแยกออกจากกันเล็กน้อยทำให้เส้นใยมีลักษณะฟูเล็กน้อย

ลักษณะต่าง ๆ ของเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังผ่านกระบวนการลอกกาสามารถอธิบายได้ ดัง

- เส้นใยไหมดิบ มีลักษณะแข็งและหยาบกระด้าง เนื่องจากไหมดิบมีองค์ประกอบหลักคือไฟโบรอินและเซรีซินหรือกาไหม ซึ่งกาไหมเป็นตัวเคลือบบนผิวของเส้นใยที่มีองค์ประกอบหลักคล้ายกับไฟโบรอินแต่มีความเป็นระเบียบต่ำกว่ามาก [7] โดยกาไหมมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง ไม่มีความมันวาว ดังนั้นเส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการลอกกาวยังไม่แสดงความเงางามและความสวยงามของเส้นใย

- เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริก มีลักษณะแข็งกระด้างและมีสีเหลืองมากแสดงถึงการลอกกาวที่ไม่ดี เนื่องการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกเกิดผ่านปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสซึ่งจะเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส [5] แต่ในการทดลองนี้ใช้ช่วงอุณหภูมิตดลอง 80-90 องศาเซลเซียสจึงทำให้การลอกกาวเกิดขึ้นไม่มากนัก แต่ความสามารถในการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกมีแนวโน้มสูงขึ้นมากที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการลอกกาวควรสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เส้นใยที่ได้จึงสามารถนำไปใช้งานต่อไปได้
- เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยไทรเอทิลเอมีน ทำให้ได้เส้นใยสีขาว ความนุ่ม และความมันเงาสูง แต่เส้นใยบางส่วนเกิดการแตกแยกออกจากกัน การที่เส้นใยมีลักษณะเช่นนี้เนื่องจากกาวไหมที่เคลือบผิวเส้นใยละลายออกมาในสารละลายไทรเอทิลเอมีนในปริมาณที่มาก ดังนั้นเส้นใยไหมจึงแสดงลักษณะเด่น คือ ความเงา ความนุ่ม ความขาวออกมาได้ แต่การลอกกาวด้วยไทรเอทิลเอมีนมีข้อเสีย คือ สารเคมีที่ใช้มีกลิ่นของเอมีนแรงมากและความแรงของสารชนิดนี้ทำให้เส้นใยบางส่วนเกิดการแตกและเสียหาย
- เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยสารเคมีจำพวกเบส คือ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต และโซเดียมคาร์บอเนตผสมโซเดียมไบคาร์บอเนต การลอกกาวโดยใช้สารเคมีทั้ง 3 ชนิดนี้ให้ผลในทำนองเดียวกัน คือ เส้นใยไหมที่ได้มีสีเหลืองอ่อนจนเกือบขาว ความมันเงาและความนุ่มสูง เส้นใยเกิดการแตกแยกออกจากกันเล็กน้อย การแตกของเส้นใยน้อยกว่าการลอกกาวด้วยไทรเอทิลเอมีน จากการลอกของกาวไหมให้ผลค่อนข้างดี คือ ใกล้เคียงกับการลอกกาวด้วยไทรเอทิลเอมีนเล็กน้อยสังเกตได้จากสีของเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสีขาวของเส้นใยแสดงถึงความสามารถในการลอกกาวได้เนื่องจากกาวไหมมีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลือง

4.1.2 ความสามารถในการลอกกาว

ในการนำเส้นใยไหมดิบไปใช้ต้องนำเส้นใยไหมมาผ่านกระบวนการลอกกาวไหมที่เคลือบอยู่บนผิวของเส้นใยเพื่อเพิ่มความสามารถในการนำไปใช้งาน เนื่องการลอกกาวทำให้เส้นใยมีความนุ่มมากขึ้นและมีสีอ่อนลงจนขาว นอกจากนี้เส้นใยที่ไม่ผ่านกระบวนการลอกกาวมักมีสีเหลือง แข็งกระด้างและมีความยืดหยุ่นต่ำ เนื่องจากกาวไหมที่เคลือบบนผิวเส้นใยมีลักษณะเป็น ของแข็งสีเหลือง ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการลอกกาวโดยนำเส้นใยไหมมาลอกกาวไหมโดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ไทรเอทิลเอมีน กรดทาร์ทาริก โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา

เอกรสารเบนเอกรสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเฉพาะที่กรกำหนด เนื่องจากผู้ใดที่เห็นประโยชน์ประการใด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 30 40 และ 50 นาที เพื่อศึกษาถึงผลของ เวลา อุณหภูมิและชนิดของสารเคมี ต่อความสามารถในการลอกกาของเส้นใยไหม โดยดูจากเปอร์เซ็นต์การลอกกา (% degumming) ที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งหาได้จากน้ำหนักที่ลดลงหลังผ่านกระบวนการลอกกาเทียบกับน้ำหนักของเส้นใยไหมก่อนผ่านการลอกกา

4.1.2.1 ผลของเวลา

จากการนำข้อมูลของเปอร์เซ็นต์การลอกกาที่ได้จากการทดลองมาเขียนกราฟเพื่อศึกษาผลของเวลาที่มีต่อความสามารถในการลอกกาของสารเคมีแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่างๆ กัน คือ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 4.1 พบว่ามีแนวโน้มเดียวกัน คือ เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาของเส้นใยเพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่เวลาเพิ่มมากขึ้นทำให้กาไหมที่เคลือบบนผิวเส้นใยมีเวลาในการทำปฏิกิริยากับสารละลายที่ใช้มากขึ้นทำให้กาไหมสามารถละลายออกมาได้มากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด [5] ยกเว้นในกรณีของไตรเอทิลเอมีนซึ่งเวลาในการลอกกาที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์ในการลอกกาเปลี่ยนแปลงไปเพราะการลอกกาเส้นใยไหมด้วยไตรเอทิลเอมีนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาทีทำให้เกิดการลอกกาของเส้นใยจนเกือบหมดสังเกตจากเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาที่สูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจากการทดลองเพื่อหาปริมาณของกาไหมทั้งหมดในเส้นใยไหมพบว่าปริมาณของกาไหมทั้งหมดอยู่ในช่วง 28-30 เปอร์เซ็นต์ [2] (จากการทดลองโดยการนำเส้นใยไหมดิบมาผ่านกระบวนการลอกกาเป็นเวลา 1 วันโดยใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสโดยใช้ไตรเอทิลเอมีน) เนื่องจากการลอกกาขึ้นเกิดจากการละลายของกาไหมซึ่งมีโครงสร้างคล้ายกับไฟโบรอินอยู่ปริมาณหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นการลอกกาด้วยไตรเอทิลเอมีนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาทีจึงเป็นสถานะที่สามารถลอกกาจากเส้นใยไหมได้หมด ส่วนในกรณีของการลอกกาด้วยกรดทาร์ทาริกเมื่อเวลาในการลอกกาเพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาเล็กน้อยเช่นเดียวกับในกรณีที่ลอกกาด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต และสารละลายผลมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต

4.1.2.2 ผลของอุณหภูมิ

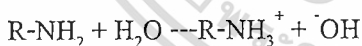
จากรูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การลอกกาโดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ อุณหภูมิ 80 90 และ 100 องศาเซลเซียส ที่เวลา 20 30 40 50 นาทีเพื่อศึกษาผลของชนิดสารเคมีและอุณหภูมิต่อความสามารถในการลอกกา พบว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้ความสามารถในการลอกกาของสารเคมีที่ใช้แต่ละชนิดให้แนวโน้มเดียวกัน คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์ การลอกกาของเส้นใยเพิ่มขึ้นและที่อุณหภูมิในการลอกกา 100 องศาเซลเซียสให้ผลในการลอกกาสูงที่สุด ซึ่งเห็นได้ชัดในกรณีของการลอกกาโดยใช้กรดทาร์ทาริก คือ เปอร์เซ็นต์การลอกกาที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสมีค่ามากกว่าการลอกกาที่อุณหภูมิ 80 และ 90 องศาเซลเซียส เนื่องจากการลอกกาด้วยกรดเกิดผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดได้ดีที่อุณหภูมิสูง [4] และเส้นใยไหมเกิดจากพันธะเปปไทด์ของกรดเอ็กสาร์นเป็นเอ็กสาร์นที่สั่นไหวสำหรับการใช้งานเพื่อการรักษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะมิโนชนิดต่าง ๆ ซึ่งหมู่อะมิโนที่ประกอบกันเป็นเส้นใยไหมนั้นสามารถแตกตัวได้สารที่มีสมบัติเป็นกรด เมื่อเกิดปฏิกิริยาจึงเกิดปฏิกิริยาได้ดีกับสารละลายที่มีสมบัติเป็นเบส สำหรับกรณีของไทรเอทิลเอมีนซึ่งเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ช่วงเวลา เนื่องจากการลอกกาวด้วยไทรเอทิลเอมีนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 20 นาทีเกิดการละลายของกาวไหมจนเกือบหมดซึ่งพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์การลอกกาวที่สูงถึง 28 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิจึงมีผลต่อความสามารถในการลอกกาวด้วยไทรเอทิลเอมีนเพียงเล็กน้อยเท่านั้น สำหรับการลอกกาวด้วยสารละลายเบสของโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตให้ผลของความสามารถในการลอกกาวเหมือนกัน คือ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มมากขึ้นเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน

4.1.2.3 ผลของชนิดสารเคมี

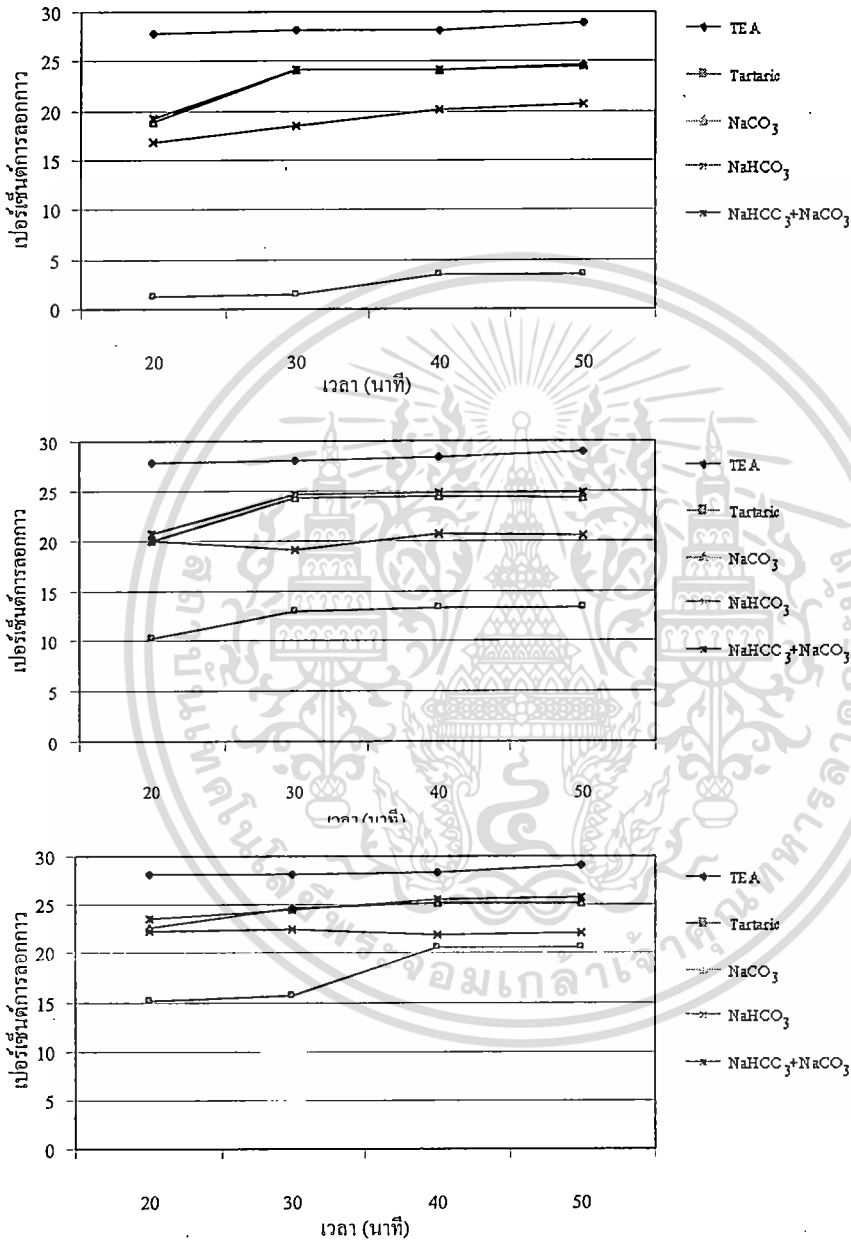
เมื่อเปรียบเทียบผลของสารเคมีแล้วพบว่าสารเคมีแต่ละชนิดให้แนวโน้มในการลอกกาวของเส้นใยไหมในลักษณะเดียวกัน กล่าวคือ เส้นใยที่ผ่านกระบวนการลอกกาวในช่วงอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียสด้วยไทรเอทิลเอมีนแสดงเปอร์เซ็นต์การลอกกาวสูงที่สุดโดยอยู่ ส่วนเส้นใยที่ผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทาริกในช่วงอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียสมีเปอร์เซ็นต์การลอกกาวต่ำที่สุด คือ ในช่วง 1-20 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตให้เปอร์เซ็นต์การลอกกาวใกล้เคียงกันและมีค่าค่อนข้างสูง คือ ในช่วง 17-26 เปอร์เซ็นต์

การลอกกาวด้วยไทรเอทิลเอมีนนั้นให้เปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวของเส้นใยไหมสูงที่สุด เนื่องจากไทรเอทิลเอมีนเป็นสารเคมีจำพวกเอมีนซึ่งเมื่อเตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการลอกกาวเกิดการแตกตัวของเอมีนในน้ำจึงเกิดเป็น ไอออนของ ไฮดรอกซิล (Hydroxyl ions, OH⁻) ดังนี้

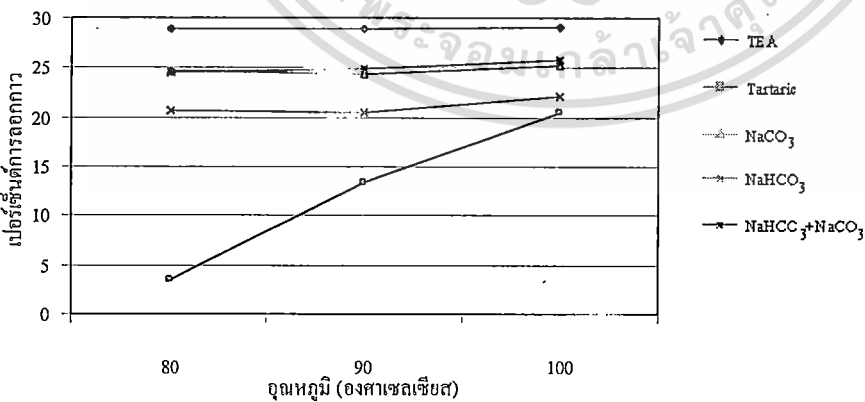
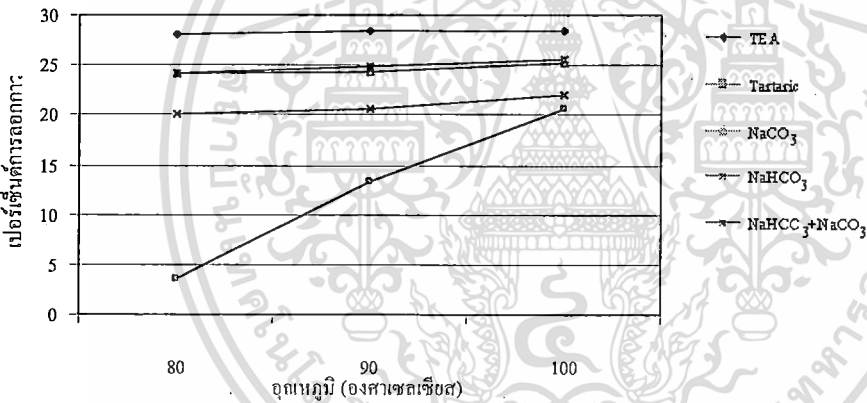
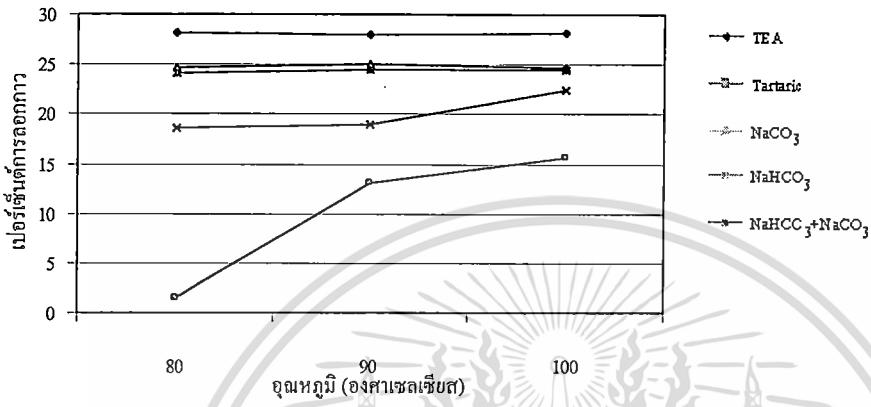
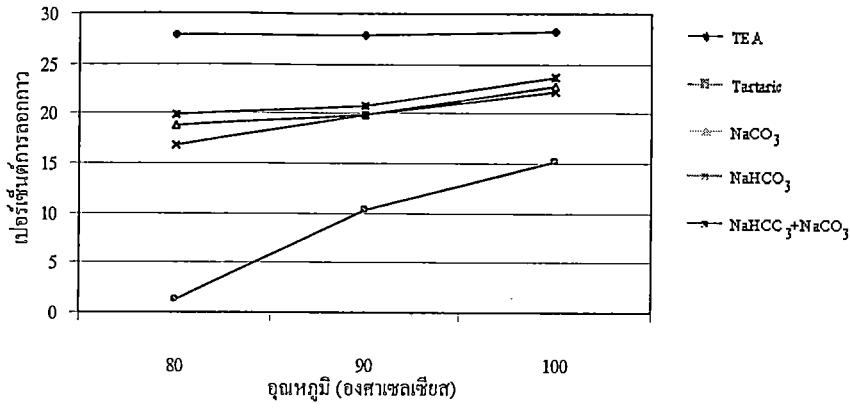


จากการแตกตัวของเอมีนในน้ำเกิดเป็น ไอออนของ ไฮดรอกซิลนั้นเป็นผลให้มีหมู่ที่แสดงความเป็นเบสสามารถทำปฏิกิริยาได้ดีกับหมู่ที่แสดงความเป็นกรดของกรดอะมิโนในสายโซ่เปปไทด์ของเส้นใยไหมจึงเป็นผลให้กาวไหมที่เคลือบอยู่บนผิวของเส้นใยไหมสามารถละลายออกมาในสารเคมีที่ใช้ในการลอกกาวได้ดี [4] ส่วนการลอกกาวด้วยสารเคมีจำพวกเบส ได้แก่ โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนต และสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต การลอกกาวเกิดขึ้นผ่านหลักการละลายของกาวไหมในสารละลายเช่นเดียวกับในกรณีของไทรเอทิลเอมีนและในทุก ๆ กราฟแสดงความสัมพันธ์นั้น พบว่าความสามารถในการลอกกาวโดยใช้โซเดียมคาร์บอเนตสูงกว่าการลอกกาวด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต เนื่องจากโซเดียมคาร์บอเนตเป็นเบสแรงกว่าโซเดียมไบคาร์บอเนตจึงมีความสามารถในการแตกตัวให้ไฮดรอกซิลไอออนได้ดีกว่าค่าเปอร์เซ็นต์การลอกกาวจึงมีค่าสูงกว่า สำหรับการลอกกาวด้วยสารเคมีจำพวกกรด คือ กรดทาร์ทาริกนั้นให้ผลในการลอกกาวต่ำ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุดที่ทุก ๆ อุณหภูมิในการลอกกาว เนื่องจากกระบวนการไฮโดรไลซิสนั้นต้องใช้อุณหภูมิที่สูงในการเกิดปฏิกิริยาได้ดี [4] ดังนั้นในการลอกกาวโดยใช้กรดทาร์ทริกนั้นจึงให้ผลในการลอกกาวที่ดีที่อุณหภูมิสูง



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



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์ผลของเวลา อุณหภูมิและชนิดของสารเคมีจึงพบว่า แนวทางในการเลือกใช้อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่างๆ โดยดูจากเปอร์เซ็นต์การลอกกาวสูงสุดที่ได้โดยใช้อุณหภูมิและเวลาน้อยที่สุดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวสำหรับสารเคมีชนิดต่าง ๆ

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

4.1.3 สมบัติทางแรงดึง

จากการนำเส้นใยไหมดิบมาผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ โดยทำการลอกกาวที่อุณหภูมิและเวลาต่าง ๆ นั้น ได้นำเส้นใยไหมที่ลอกกาวแล้วมาศึกษาสมบัติทางแรงดึงจากเครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Tensile tester) ได้แก่ ค่าความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ความสามารถในการยืด (Elongation) ค่ามอดุลัส (Modulus) และค่าเทนาซิตี (Tenacity) ซึ่งในงานวิจัยและอุตสาหกรรมทางด้านเส้นใยและสิ่งทอนิยมนำค่าเทนาซิตี มาใช้เป็นตัวในการเปรียบเทียบความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ได้จากแต่ละสถานะแสดงสมบัติของเส้นใยที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ค่าความแข็งแรงดึงและเทนาซิตีแสดงถึงความแข็งแรงของเส้นใยซึ่งหาได้จากการวัดแรงดึงที่ทำให้เส้นใยขาดออกจากกันโดย 2 ค่านี้มีความแตกต่างกัน คือ ความแข็งแรงดึงเป็นการวัดแรงต่อหน่วยพื้นที่ที่มีหน่วย คือ เมกะปาสกาล (MPa) ส่วนค่าเทนาซิตีเป็นการวัดแรงที่ใช้ในการดึงต่อน้ำหนักของเส้นใยมีหน่วยเป็นกรัมต่อเดเนียร์ (g/denier) เพื่อลดปัญหาในเรื่องของความไม่สม่ำเสมอของเส้นใย สำหรับความสามารถในการยืดซึ่งหาได้จากระยะของการยืดออกในทิศทางที่ได้รับแรงดึงมีหน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ในการยืด (% elongation) ส่วนค่ามอดุลัสแสดงถึงความแข็งกระด้างของเส้นใยโดยวัดความต้านทานต่อแรงดึงจากอัตราส่วนของความแข็งแรงดึงต่อความเครียดมีหน่วยเป็นเมกะปาสกาล (MPa) สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านการลอกกาวนำมาเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมหลังลอกกาว โดยศึกษาถึงผลของชนิดสารเคมี อุณหภูมิและเวลาต่อสมบัติทางแรงดึงเพื่อให้ได้ชนิดของสารเคมี อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวให้ได้ไหมที่มีสมบัติทางแรงดึงดีที่สุด

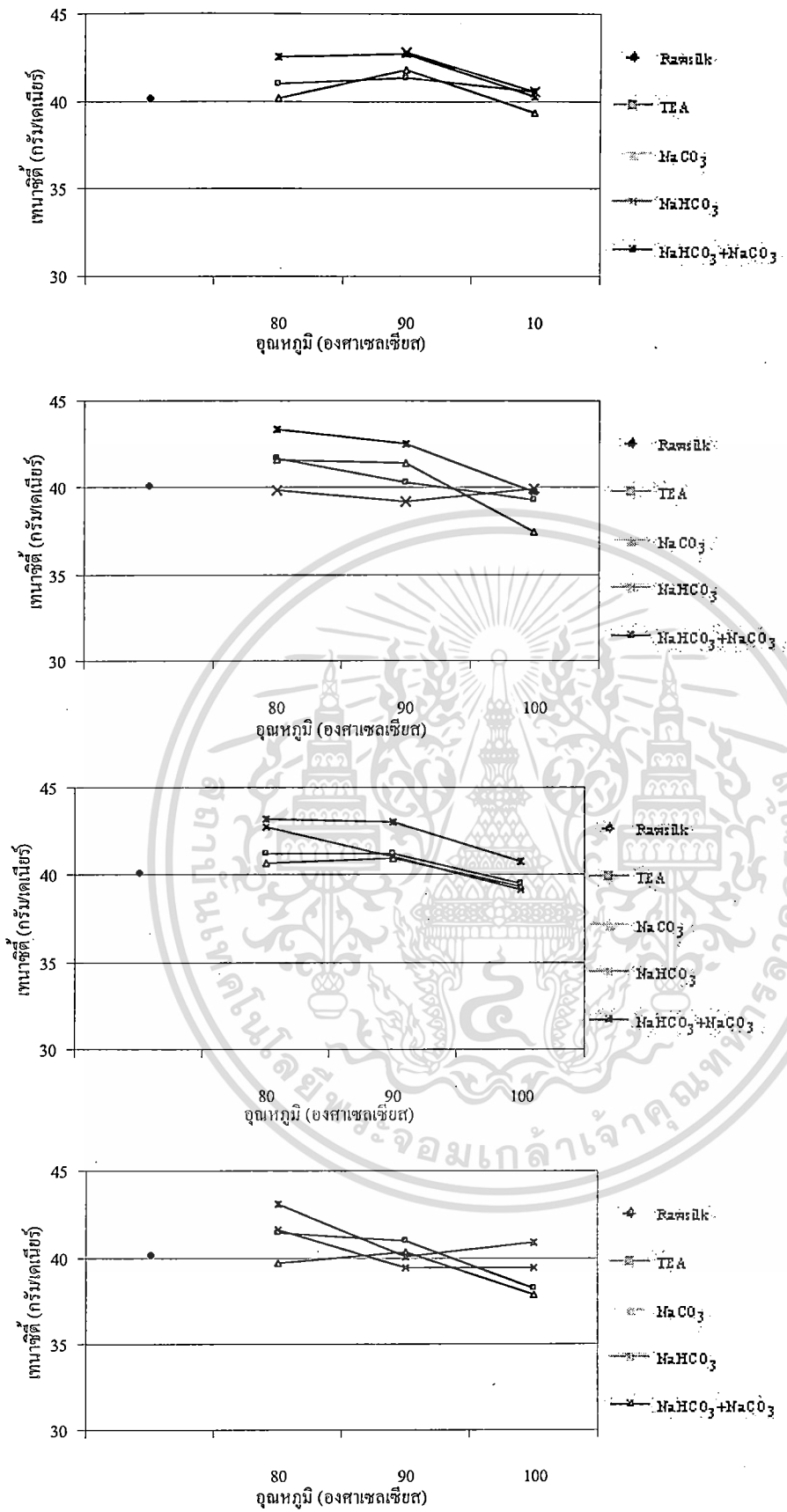
4.1.3.1 ผลของอุณหภูมิ

(ก) เทนาซิตี (Tenacity)

จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางแรงดึงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเทนาซิตีกับอุณหภูมิของสารเคมีแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.3 พบว่าค่าเทนาซิตีของเส้นใยไหมดิบมีค่า 40 กรัม/เดเนียร์ ส่วนค่าเทนาซิตีของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากค่าเทนาซิตีเป็นค่าแสดงความแข็งแรงของเส้นใยโดยเทียบกับน้ำหนักของเส้นใยไหม โดยการลอกกาวทำให้น้ำหนักของเส้นใยหายไป 20-28 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นใยไหมดิบ ในขณะที่แรงที่ใช้ในการดึงเพื่อให้เส้นใยไหมขาดลดลงเล็กน้อยจึงส่งผลให้ค่าเทนาซิตีของ เส้นใยไหมเพิ่มขึ้น และค่าเทนาซิตีมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาวสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิในการลอกกาว 100 องศาเซลเซียสค่าเทนาซิตีลดลงต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากเส้นใยไหมเป็นเส้นใยโปรตีนธรรมชาติที่มีองค์ประกอบหลักสำคัญ 2 ชนิด คือ ไหมหรือไฟโบรอินและกาวไหมหรือเซรีซิน ดังนั้นเมื่อนำเส้นใยไหมผ่านกระบวนการลอกกาวโดยใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมนั้นส่วนที่สามารถละลายออกมาได้ดีจึงเป็นส่วนของกาวไหมโดยไม่ส่งผลกระทบต่อส่วนของไฟโบรอิน ในการลอกกาวต้องทำที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้ได้เส้นใยไหมที่มีความสามารถในการลอกกาวหรือเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวสูง แต่อุณหภูมิที่สูงเกินไปนอกจากจะได้เปอร์เซ็นต์การลอกกาวที่สูงแล้วอาจส่งผลกระทบต่อส่วนไฟโบรอิน คือ ทำให้ไฟโบรอินบางส่วนถูกทำลายมีผลให้เทนาซิตีของเส้นใยลดลงได้ [2] ซึ่งสังเกตได้จากลักษณะของเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไป คือ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสมีเส้นใยไหมบางส่วนขาดออกจากกันทำให้เส้นใยไหมมีลักษณะพองฟูเป็นผลให้ค่าความทนแรงดึงของเส้นใยลดลง จึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการลอกกาวแล้วทำให้เส้นใยไหมมีความแข็งแรงดีที่สุดในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส

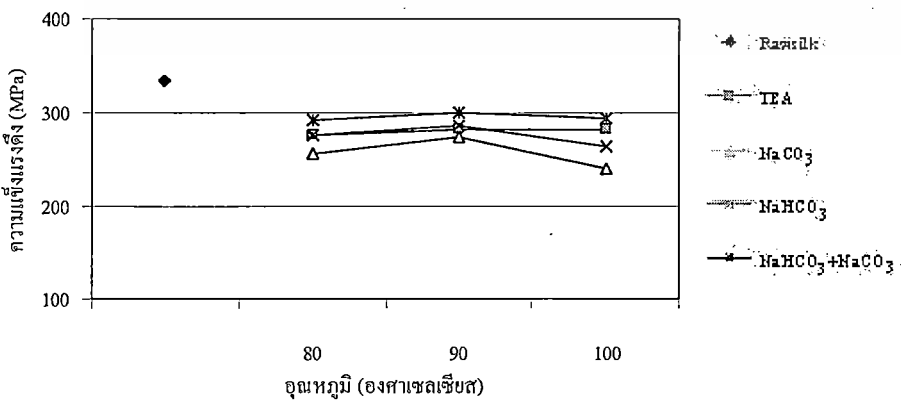
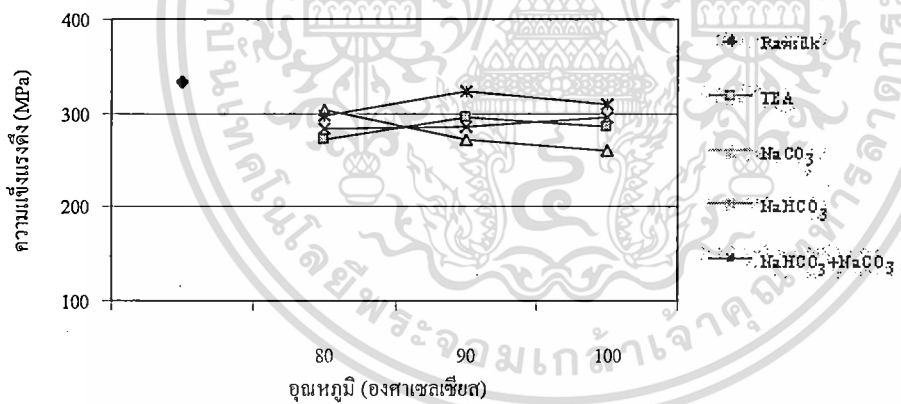
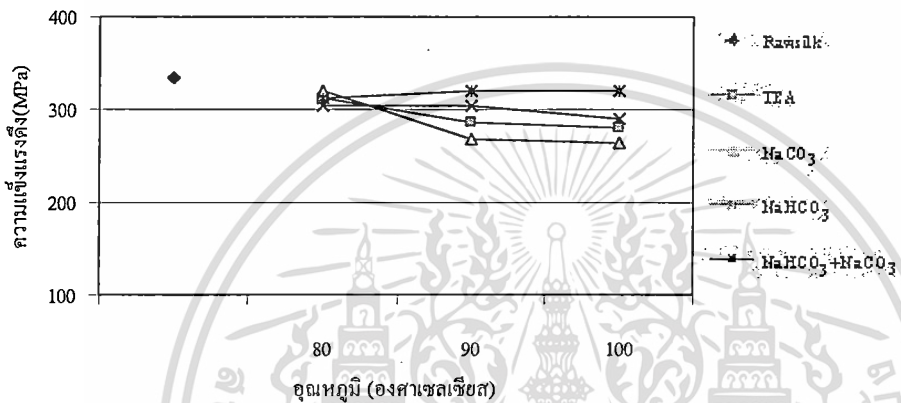
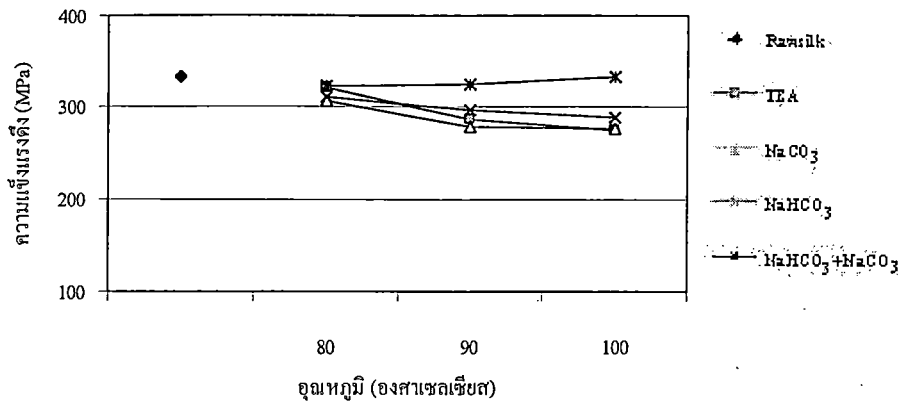
(ข) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางแรงดึงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิของสารเคมีแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.4 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมดิบมีค่า 333 MPa ส่วนค่าความทนแรงดึงของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาวสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสเนื่องจากแรงที่ใช้ในการดึงเส้นใยไหมลดลงในสัดส่วนที่มากกว่าการลดลงของพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยไหม แต่ที่อุณหภูมิในการลอกกาว 100 องศาเซลเซียสค่าเทนาซิตีลดลงต่ำกว่าในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในกราฟเช่นเดียวกับแนวโน้มที่กล่าวมาแล้วของค่าความทนต่อแรงดึงในหน่วยเทนาซิตี

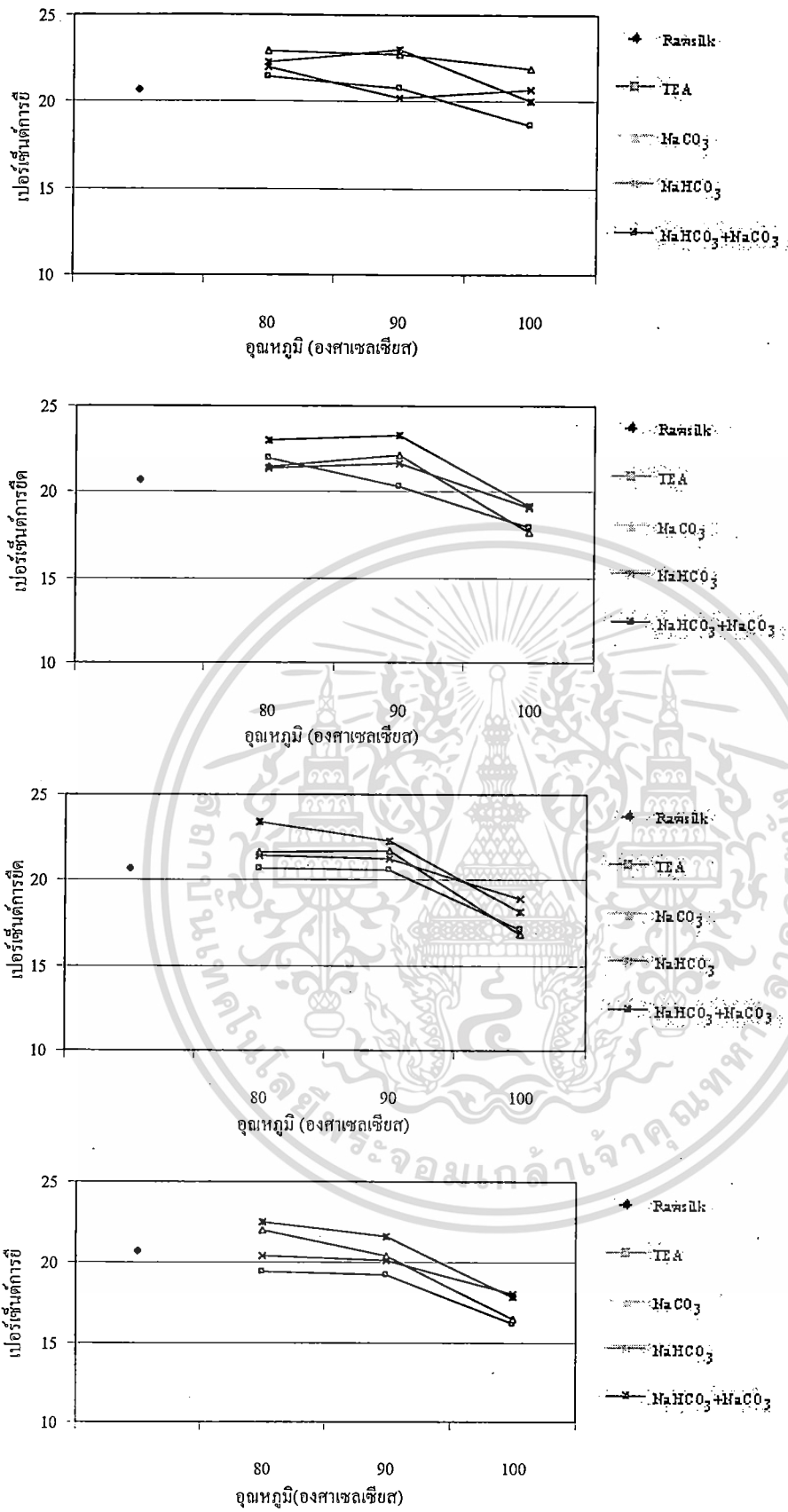


รูปที่ 4.3 ค่าเทนาคิตีของเส้นไหมใหม่หลังผ่านการลอกกวที่เวลาต่าง ๆ (ก) ที่เวลา 20 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที และ (ง) 50 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

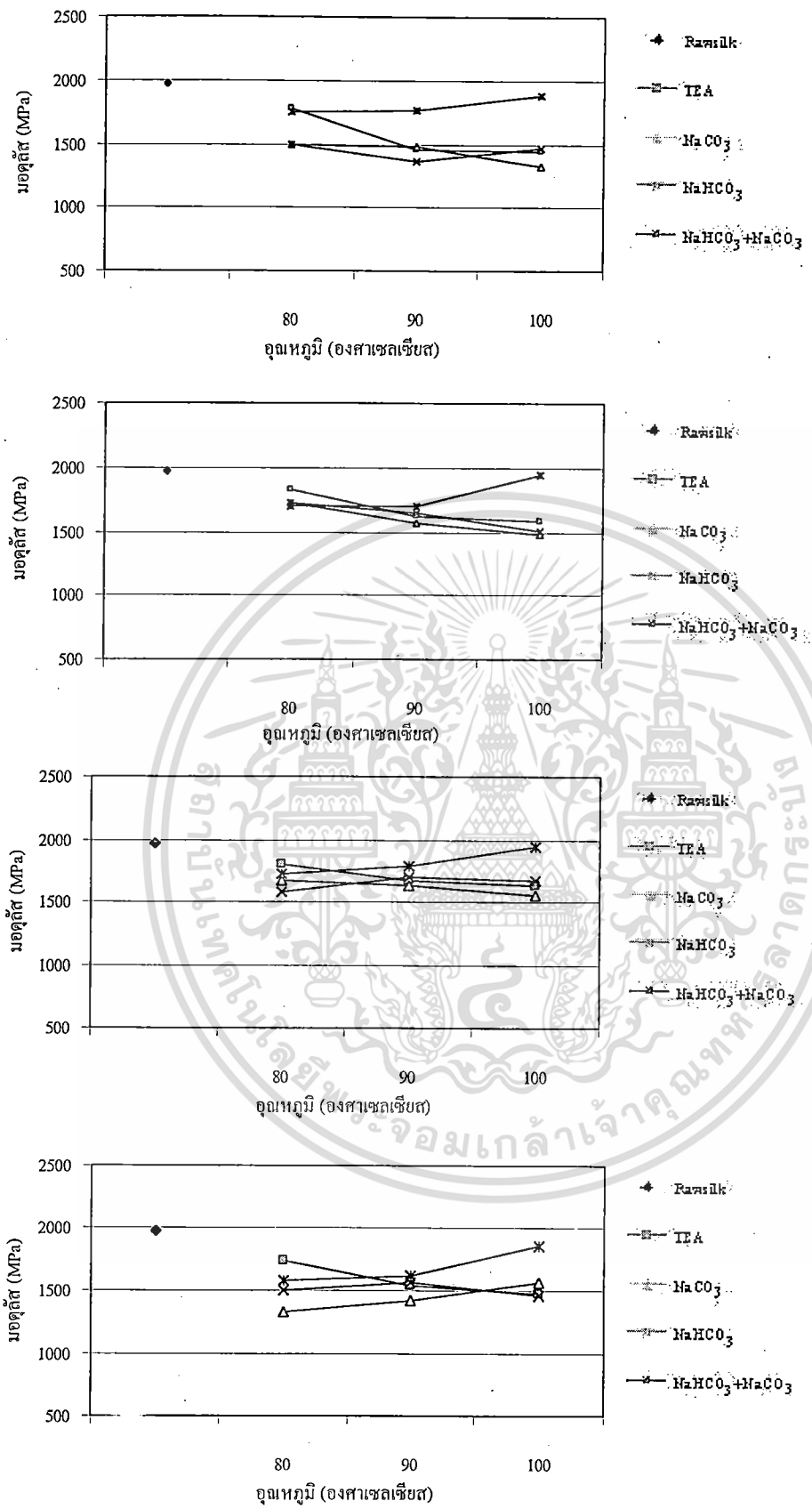


รูปที่ 4.4 ความแข็งแรงดึงของเส้นไหมหลังจากการลอกกาวที่เวลาต่าง ๆ (ก) ที่เวลา 20 นาที (ข) 30 นาที (ค) 40 นาที และ (ง) 50 นาที การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 โมดูลัสของเส้นไหมผ่านการลอกกาที่เวลาต่าง ๆ (ก) ที่เวลา 20 นาที (ข) 30 นาที (ค)

40 นาที และ (ง) 50 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) ความสามารถในการยืด (Elongation)

จากรูปที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่าความสามารถในการยืดเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิในการลอกกาวสูงขึ้น กล่าวคือ ความสามารถในการยืดของเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียสมีค่าสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ แต่เมื่อใช้อุณหภูมิในการลอกกาวสูง คือ 100 องศาเซลเซียสค่าความสามารถในการลอกกาวดังแสดงในรูปที่ 4.5 มีแนวโน้มลดลง เนื่องจากกาวไหมมีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองทำให้เส้นใยไหมมีความแข็งกระด้างและความสามารถในการยืดต่ำ ดังนั้นการลอกกาวเป็นกระบวนการที่ละลายกาวไหมที่เคลือบอยู่ที่ผิวของไฟโบรอินออกเป็นผลให้เส้นใยไหมมีความสามารถในการยืดสูงขึ้นเพราะกาวไหมที่เคลือบผิวเส้นใยอยู่นั้นไปขัดขวางการส่งผ่านแรงดึงของเส้นใยทำให้ความสามารถในการกระจายแรงของเส้นใยทำให้ความสามารถในการยืดต่ำ เมื่อทำการลอกกาวที่อุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส กาวไหมละลายออกไปทำให้เส้นใยมีความสามารถในการกระจายแรงมากขึ้นความสามารถในการยืดจึงสูงขึ้นด้วย แต่ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสค่าความสามารถในการยืดลดลงเพราะอุณหภูมิที่สูงเกินไปนั้นอาจมีผลทำให้ไฟโบรอินบางส่วนถูกทำลายเกิดการเสียสภาพของเส้นใย [2] เนื่องจากการลอกกาวนั้นมีสถานะที่เหมาะสมสถานะหนึ่งซึ่งในการทดลองนี้อุณหภูมิที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 80-90 องศาเซลเซียส

(ง) ค่ามอดูลัสที่ 8 % (8 % Modulus)

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสกับอุณหภูมิของสารเคมีแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.6 พบว่าค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมก่อนผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่า 1970 MPa และค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่าน้อยกว่าค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมดิบประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากเส้นใยไหมที่ยังไม่ผ่านกระบวนการลอกกาวนั้นมีกาวไหมที่มีลักษณะเป็นของแข็ง สีเหลืองเคลือบอยู่ทำให้ไหมมีความสามารถในการต้านแรงดึงสูงแต่ความสามารถในการยืดต่ำ ค่ามอดูลัสจึงสูงด้วยเนื่องจากค่ามอดูลัสเป็นอัตราส่วนของความแข็งแรงดึงต่อความเครียด ค่ามอดูลัสมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาวสูงขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 80-90 องศาเซลเซียส เนื่องจากเส้นใยไหมมีความสามารถในการต้านแรงดึงลดลงเล็กน้อยแต่ทำให้ความสามารถในการยืดเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวจึงลดลง แต่การลอกกาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสให้ค่ามอดูลัสสูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวที่ 80-90 องศาเซลเซียส และมีค่าใกล้เคียงกับค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมดิบ เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงเกิน 100 องศาเซลเซียสทำให้ไฟโบรอินบางส่วนในเส้นใยถูกทำลาย [2] เส้นใยไหมมีความสามารถในการต้านแรงดึงลดลงเล็กน้อยแต่ความสามารถในการยืดลดลงอย่างเห็นได้ชัดดังแสดงในรูปที่ 4.6 จึงเป็นผลให้ค่ามอดูลัสของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการลอกกาวแล้วทำให้เส้นใยไหมมีค่ามอดูลัสดีที่สุด คือ 80-90 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 ผลของเวลา

(ก) เทนาซิตี (Tenacity)

ความสัมพันธ์ระหว่างเทนาซิตีกับเวลาของสารเคมีแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ แสดงได้ดังรูปที่ 4.7 พบว่าแนวโน้มของกราฟในรูปที่ 4.7 มีแนวโน้มเดียวกัน คือ เทนาซิตีของเส้นใยหลังจากกระบวนการลอกกาวมีค่าสูงกว่าเทนาซิตีของเส้นใยใหม่เล็กน้อยเนื่องจากเหตุผลที่แสดงในหัวข้อ 4.1.3.1 เมื่อเวลาที่ใช้ในการลอกกาวมากขึ้นในช่วงเวลา 20-40 นาทีทำให้เทนาซิตีของเส้นใยไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่เมื่อเวลา 50 นาทีกราฟแสดงเทนาซิตีของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มหรือลดเวลาที่ใช้ในการลอกกาวในช่วง 20-40 นาทีไม่มีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยและเวลาที่มีผลต่อความสามารถในการลอกกาวของเส้นใยเพียงเล็กน้อย เนื่องจากไม่มีผลกระทบต่อไฟโบรอินในส่วน of เส้นใยใหม่ ดังนั้นสามารถบอกได้ว่าอุณหภูมิในการลอกกาวมีผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยมากกว่าเวลาและสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวแล้วได้เส้นใยใหม่มีความแข็งแรงดีที่สุดคือ ช่วงเวลา 20-40 นาที

(ข) ความแข็งแรงดึง (Tensile strength)

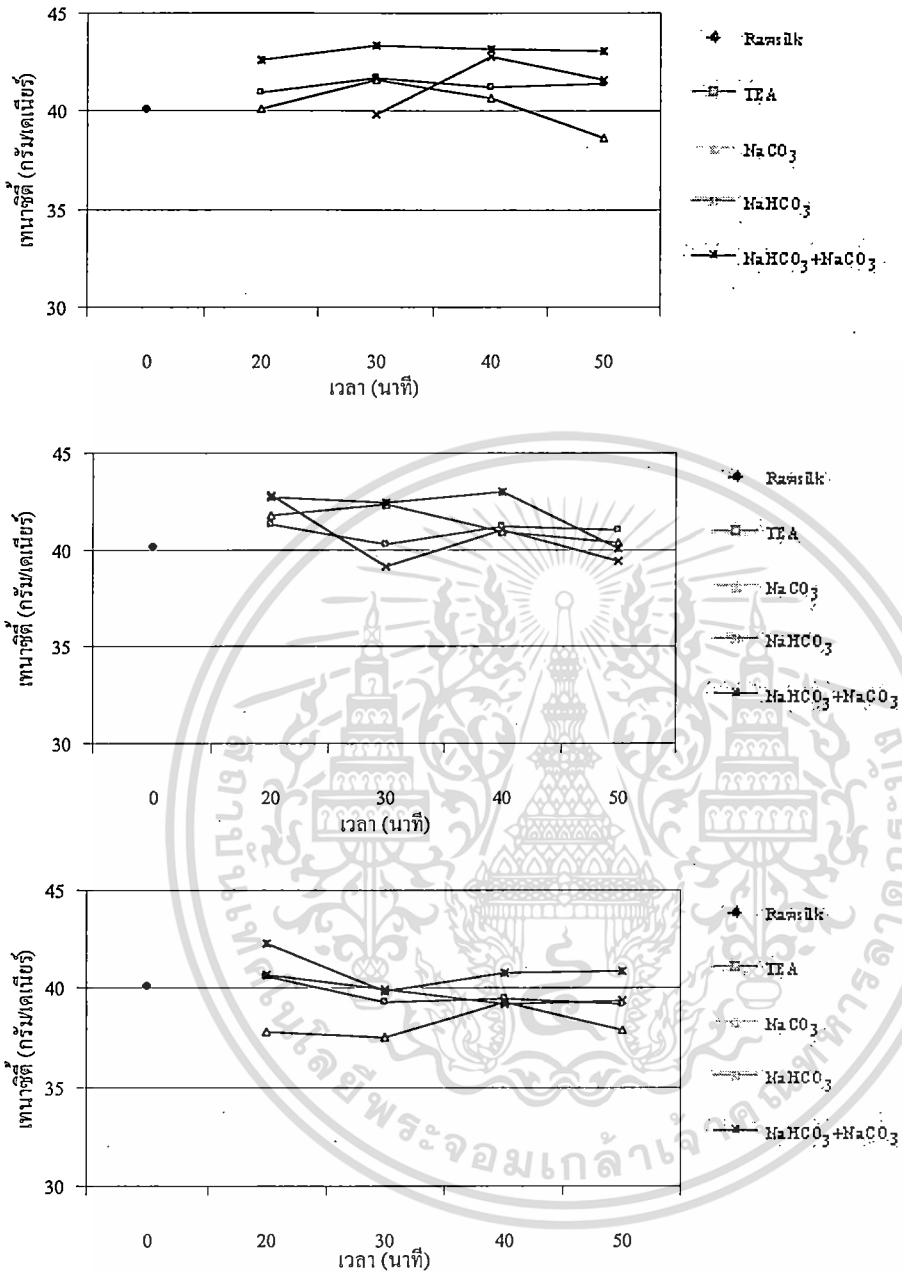
จากความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงดึงกับอุณหภูมิของสารเคมีแต่ละชนิดที่เวลาต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.8 พบว่าค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยใหม่หลังจากกระบวนการลอกกาวมีแนวโน้มของกราฟและสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับในกรณีของค่าเทนาซิตี คือ เส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวมีค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่าเส้นใยใหม่ดิบ และในช่วงเวลา 20-40 นาทีค่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่เวลาในการลอกกาว 50 นาทีความแข็งแรงดึงของเส้นใยใหม่มีแนวโน้มลดลงค่อนข้างมากเช่นเดียวกับในกรณีของค่าเทนาซิตี

4.1.3.2.3 ความสามารถในการยืด (Elongation)

ความสามารถในการยืดเป็นค่าแสดงถึงความยืดหยุ่นของเส้นใย จากการนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบสมบัติทางแรงดึงมาเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการยืดกับเวลาของสารเคมีแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ ดังรูปที่ 4.9 พบว่า ความสามารถในการยืดของเส้นใยใหม่หลังจากกระบวนการลอกกาวมีค่าสูงกว่าความสามารถในการยืดของเส้นใยใหม่ดิบ เล็กน้อย ในช่วงเวลา 20-40 นาทีค่าความสามารถในการยืดของเส้นใยมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้เวลา 50 นาทีความสามารถในการยืดของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเวลาในการลอกกาวมากขึ้นไปเป็นผลให้เส้นใยใหม่บางส่วนถูกทำลายสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยใหม่หลังจากกระบวนการลอกกาวที่เวลา 50 นาทีมีลักษณะฟูเนื่องจากการขาดออกจากกันของเส้นใยบางส่วนมากกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านกระบวนการลอกกาวที่เวลา 20-40 นาที แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มหรือลดเวลาที่ใช้ในการลอกกาวในช่วง 20-40 นาทีไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการยืด เช่นเดียวกับค่าเทนาซิตี หรือ ความแข็งแรงดึงที่กล่าวมา

อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงในการยืดที่สัมพันธ์กับเวลาไปจนถึงระยะเวลาที่ยืดหยุ่นได้นั้นค่าไม่ต่างกันแต่อย่างใด ทั้งนี้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและคุณสมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการลอกกาว

แล้วในหัวข้อ 4.1.3.2 จึงสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวยที่ทำให้เส้นใยไหมมีความสามารถในการยืดดีที่สุด คือ ช่วงเวลา 20-40 นาที



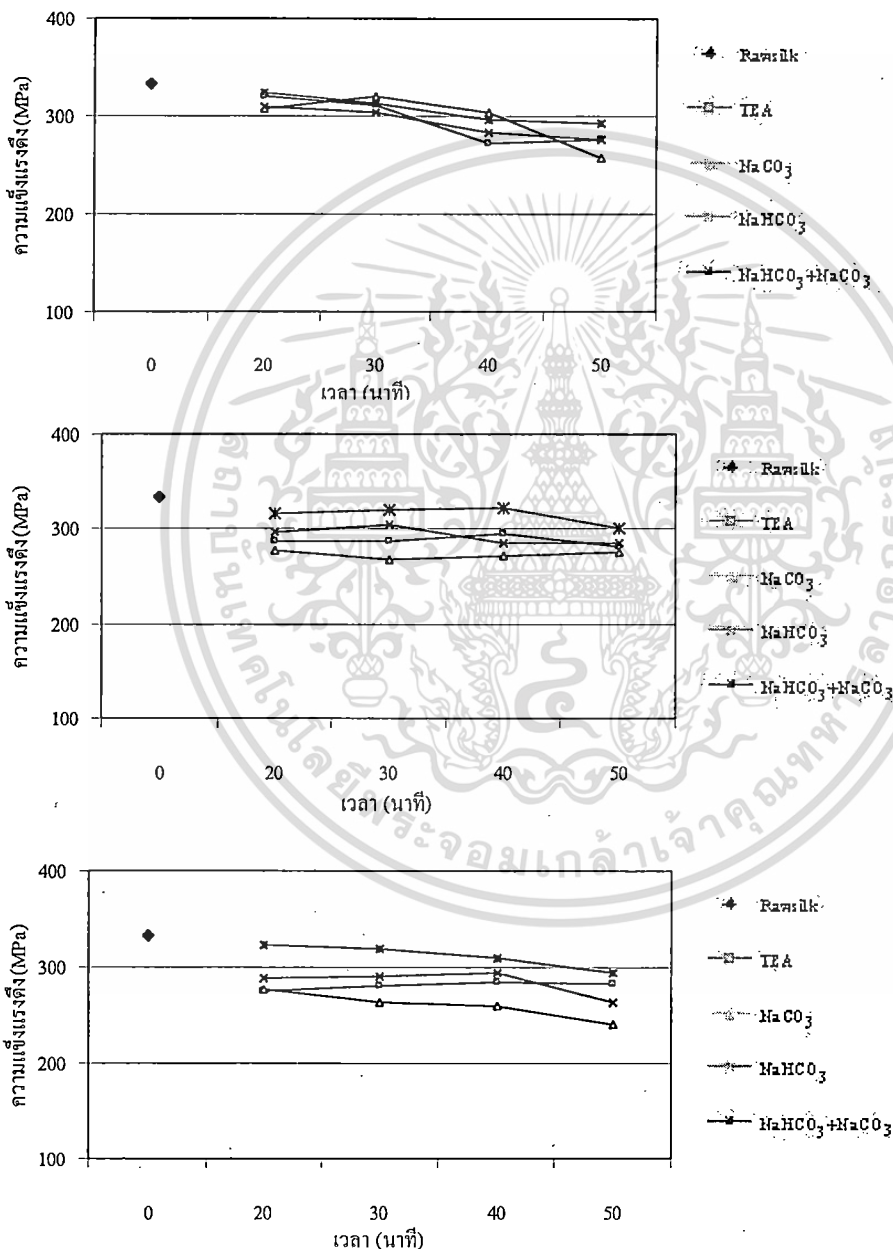
รูปที่ 4.7 ค่าเทนาคิตซ์ของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวยที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ก) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ข) 90 องศาเซลเซียส และ (ค) 100 องศาเซลเซียส

(ง) ค่ามอดุลัสที่ 8 % (8 % Modulus)

จากรูปที่ 4.10 พบว่าแนวโน้มของค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวยมีค่าต่ำกว่าค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมดิบค่อนข้างมากและในช่วงเวลาในการลอกกาวย 20-50 นาทีค่ามอดุลัส

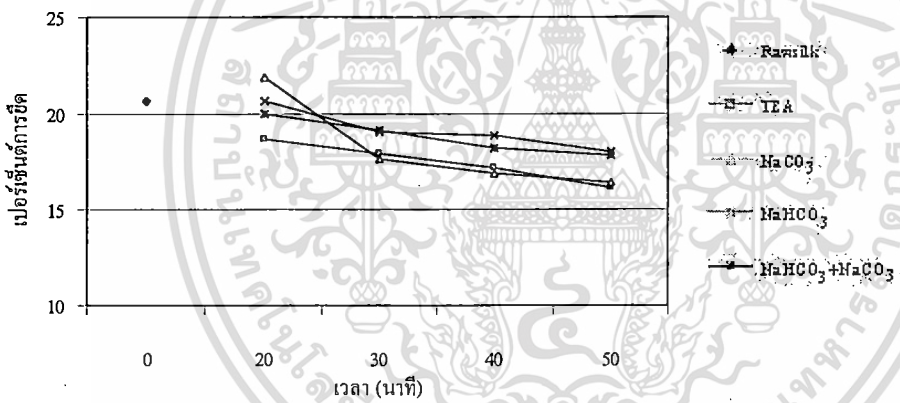
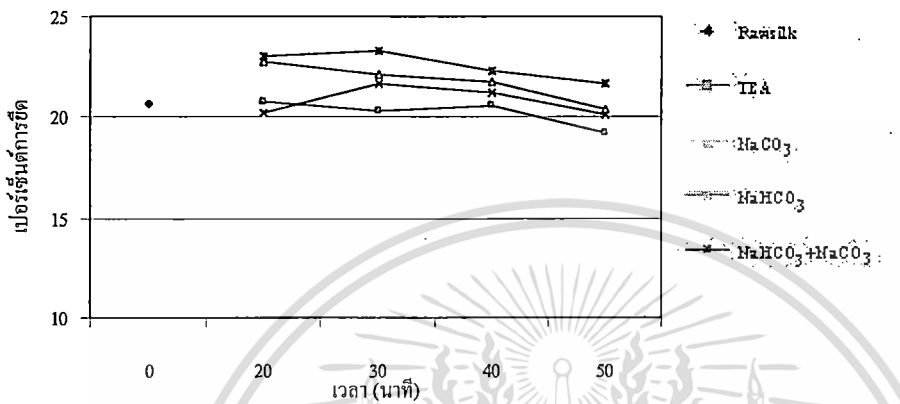
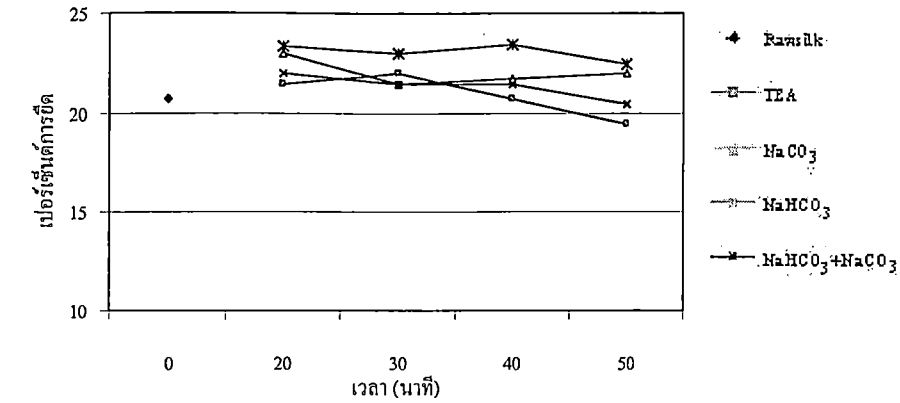
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของเส้นใยมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่เวลา 50 นาทีค่ามอดุลัสของเส้นใยมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากเวลาในการลอกกาวมากเกินไปเป็นผลให้เส้นใยไหมบางส่วนถูกทำลายทำลายสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงของเส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวที่เวลา 50 นาทีดังที่กล่าวมาแล้วและสมบัติทางแรงดึงที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด คือ ค่าความแข็งแรงและความสามารถในการยืดของเส้นใยลดลง แต่ความสามารถในการยืดของเส้นใยลดลงในปริมาณที่มากกว่าค่ามอดุลัสซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างทั้งสองค่านี้จึงมีค่าเพิ่มขึ้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเวลาที่เหมาะสมในการลอกกาวแล้วทำให้เส้นใยไหมมีค่ามอดุลัสที่ดีที่สุด คือ ช่วงเวลา 20-40 นาที



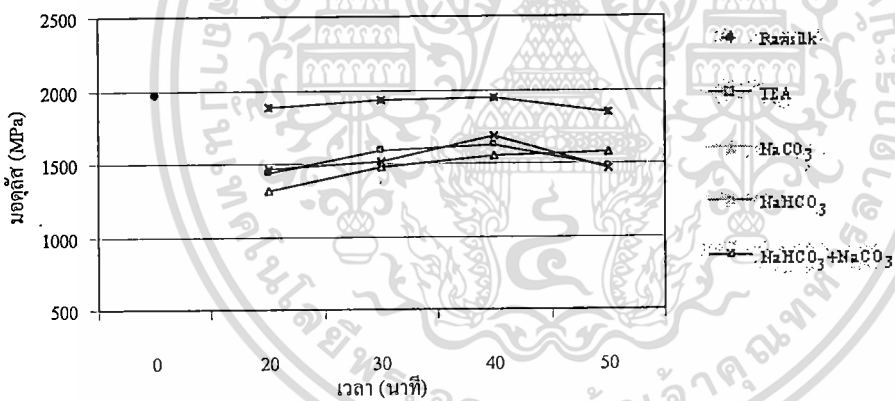
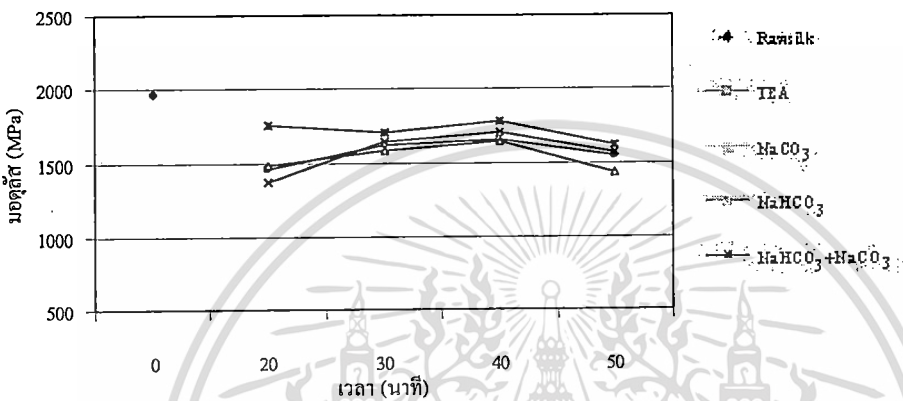
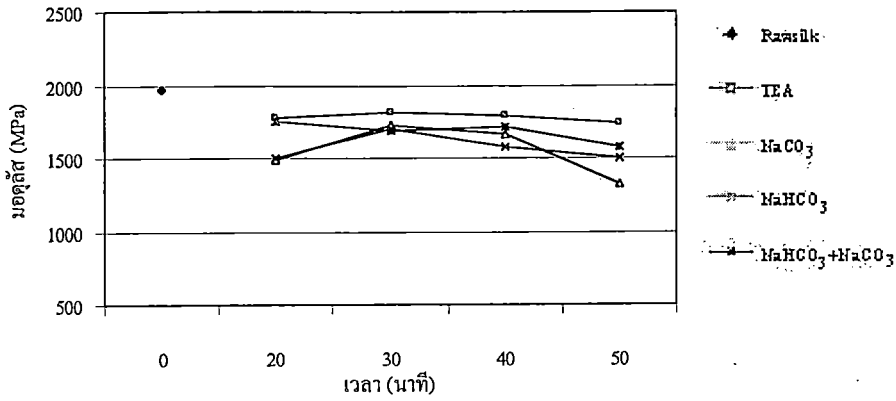
รูปที่ 4.8 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวที่อุณหภูมิต่าง ๆ (ก) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (ข) 90 องศาเซลเซียส และ (ค) 100 องศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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

การลอกกาวที่ได้จากการทดลองโดยวิเคราะห์ถึงผลของอุณหภูมิและเวลา พบว่าเปอร์เซนต์การลอกกาวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้นเปอร์เซนต์การลอกกาวของเส้นไหมเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย การเพิ่มอุณหภูมิจึงมีผลต่อสมบัติทางแรงดึงมากกว่าการเพิ่มเวลาในการลอกกาว ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ใช้ในการลอกกาวมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการลอกกาวและสมบัติทางแรงดึงของเส้นไหมมากกว่าการเปลี่ยนแปลงเวลา



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

4.1.3.3 ผลของชนิดสารเคมี

จากผลทดลองเมื่อนำเส้นใยไหมมาผ่านกระบวนการลอกกาว คือ กระบวนการนำเส้นใยไหมมาลอกกาวไหมด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ คือ ไทโรเอทิลเอมีน กรดทาร์ทริก โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต เพื่อศึกษาถึงผลของชนิดสารเคมีที่มีต่อสมบัติทางแรงดึง คือ เหนียวดี ความสามารถในการยืดและค่ามอดุลัส เห็นได้ว่าไม่สามารถนำเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยกรดทาร์ทริกมาทดสอบหาสมบัติทางแรงดึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เนื่องจากการลอกกาวด้วยกรดคาร์ทริกในช่วงเวลา 20-50 นาทีและช่วงอุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียสนั้นให้เปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวที่ต่ำมากเพราะการลอกกาวด้วยกรดจะเกิดผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิส ซึ่งเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส [9] นอกจากนี้การลอกกาวด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ คือ ไทโรเอทิลเอมีน โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตให้สมบัติทางแรงดึงใกล้เคียงกัน ส่วนการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตแสดงสมบัติทางแรงดึงที่ดีกว่าการลอกกาวด้วยสารเคมีอื่น ๆ เล็กน้อย สำหรับการลอกกาวด้วยไทโรเอทิลเอมีนแสดงสมบัติทางแรงดึงต่ำกว่าการลอกกาวด้วยวิธีอื่น ๆ เล็กน้อยเช่นกัน เนื่องจากไทโรเอทิลเอมีนเป็นสารเคมีจำพวกเอมีนซึ่งเมื่อเตรียมสารละลายเพื่อใช้ในการลอกกาวจะเกิดการแตกตัวของเอมีนในน้ำจึงเกิดเป็นไอออนของไฮดรอกซิล (Hydroxyl ions, OH^-) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ซึ่งทำให้กาวใหม่ที่เคลือบอยู่บนผิวของเส้นใยไหมละลายออกมาและอาจส่งผลกระทบต่อไฟโบรอินทำให้เส้นใยไหมบางส่วนถูกทำลายสังเกตได้จากลักษณะของเส้นใยที่ฟูเนื่องจากการขาดของเส้นใยบางส่วนและเปอร์เซ็นต์ในการลอกกาวที่สูงถึง 28 % เป็นผลให้สมบัติทางแรงดึงไม่ดีนัก ดังนั้นจากการพิจารณาเลือกสารเคมีที่จะใช้ในการลอกกาวจึงควรสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตสำหรับการลอกกาวเพื่อให้ได้เส้นใยที่มีเปอร์เซ็นต์การลอกกาวและสมบัติทางแรงดึงที่ดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

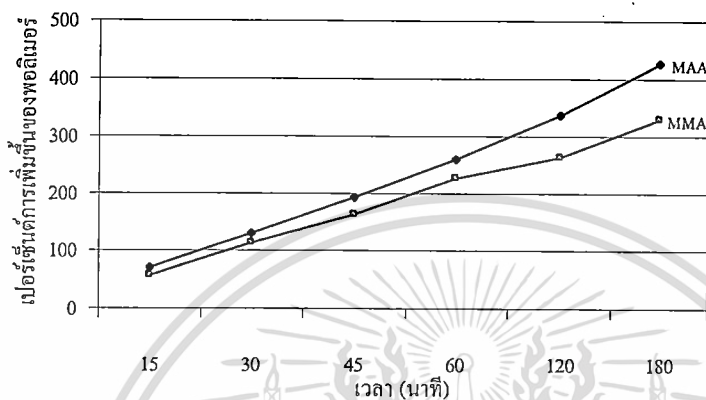
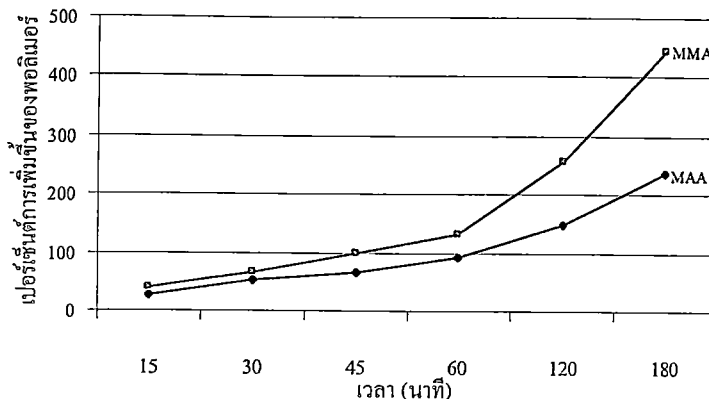
4.2 กระบวนการตอกิ่ง

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาการใช้มอนอเมอร์ชนิดเมทาคริลาไมด์ (MAA) เมทิลเมทาไครเลท (MMA) และมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทเป็นมอนอเมอร์สำหรับการตอกิ่ง โดยทั่วไปในกระบวนการตอกิ่งต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายประการเพื่อให้ได้เส้นใยใหม่ที่มีสมบัติดีขึ้นทั้งในเรื่องของลักษณะของเส้นใย ความสามารถในการตอกิ่ง สมบัติทางแรงดึง โครงสร้างของเส้นใยและสมบัติทางความร้อน ดังนั้นจึงต้องคำนึงถึงอุณหภูมิและเวลาในการตอกิ่งเพื่อให้ได้เส้นใยที่เหมาะสม โดยนำเส้นใยใหม่ผ่านการลอกกาวในสภาวะที่ได้เส้นใยมีสมบัติที่ดีที่สุด คือ ลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นเวลา 30 นาทีที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส (หัวข้อที่ 4.1) ดังนั้นในขั้นตอนแรกของการตอกิ่งจึงทำการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตอกิ่งก่อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตที่ใช้เป็นตัวริเริ่มปฏิกิริยาเกิดการแตกตัว [28-29] จากนั้นจึงใช้อุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อศึกษาเวลาและอัตราส่วนระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่เหมาะสมต่อไป

4.2.1 ความสามารถในการตอกิ่งเส้นใยใหม่ด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส

การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยใหม่ทำได้โดยการตอกิ่งด้วยมอนอเมอร์ที่มีสมบัติต่างกัน 2 ชนิด คือ เมทาคริลาไมด์ (MAA) และเมทิลเมทาไครเลท (MMA) ที่เวลา 15 30 45 60 120 180 นาที โดยเลือกศึกษาผลของความแตกต่างของ 2 อุณหภูมิ คือ 70 และ 80 องศาเซลเซียสและความสามารถในการตอกิ่งของเส้นใยพิจารณาได้จากปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย (% Polymer add on) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.11

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าการตอกิ่งบนเส้นใยใหม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น คือ มอนอเมอร์ที่ใช้สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เชชันกับเส้นใยใหม่ได้ จึงสามารถวัดการเพิ่มของพอลิเมอร์บน (Polymer add on) เส้นใยได้ กล่าวคือ เมื่อเวลาที่ใช้ในการตอกิ่งมากขึ้นความสามารถในการตอกิ่งของเส้นใยใหม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส แต่ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสความสามารถในการตอกิ่งบนเส้นใยใหม่มีค่าต่ำกว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในทุก ๆ ช่วงเวลา และมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดให้แนวโน้มความสามารถในการตอกิ่งไปในทางเดียวกัน

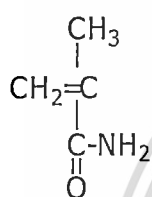


รูปที่ 4.11 ความสามารถในการตอ่กิ่งเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการตอ่กิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อุณหภูมิ (ก) 70 องศาเซลเซียสและ (ข) 80 องศาเซลเซียส

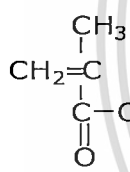
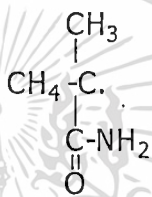
การตอ่กิ่งเส้นใยไหมด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทซึ่งเป็น มอนอเมอร์ประเภท ไวนิลมอนอเมอร์สามารถเกิดพอลิเมอร์เชนด้วยอนุมูลอิสระได้ [7] และตัวริเริ่มที่ในการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้ คือ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตซึ่งมีอุณหภูมิในการสลายตัว 70-80 องศาเซลเซียส [28] ดังนั้นเมื่อทำการทดลองที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสตัวริเริ่มจึงสามารถแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระทำให้เกิดอนุมูลอิสระบนพื้นระกู่บนไวนิลมอนอเมอร์และบนสายโซ่โครงสร้างหลักของไฟโบรอินดังรูปที่ 4.12 ดังนั้นอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจึงสามารถเกิดปฏิกิริยากันได้หลายแบบ คือ สามารถเกิดเป็นพอลิเมอร์จากมอนอเมอร์แต่ละชนิดหรือเป็นพอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ 2 ชนิด หรือ เกิดการตอ่กิ่งของมอนอเมอร์และแมคโครเมอร์ลงบนไฟโบรอิน ซึ่งในการพิจารณาว่าเกิดการพอลิเมอร์เชนแบบใดบ้างนั้นสามารถสังเกตได้จากการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางความร้อนในหัวข้อที่ 4.4 ต่อไป ซึ่งพบว่าเกิดพอลิเมอร์ร่วมระหว่างมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันระหว่างมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันและมอนอเมอร์กับเส้นใยไหม เนื่องจากเทอร์โมแกรมของเส้นใยไหมคิบ พอลิเมทาคริลาไมด์และพอลิเมทิลเมทาไครเลทมีพิกแสดงอุณหภูมิในการสลายตัว 1 ตำแหน่ง ในขณะที่เส้นใยไหมที่ผ่านการตอ่กิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และตอ่กิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทแสดงพิก 2 ตำแหน่งและเส้นใยไหมที่ผ่านการตอ่กิ่งด้วยมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทแสดงพิก 3 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

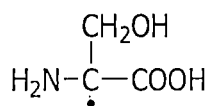
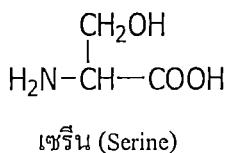
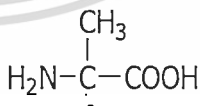
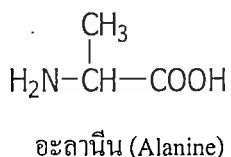
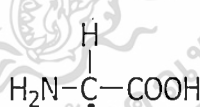
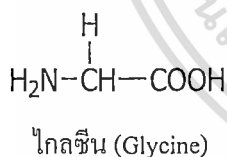
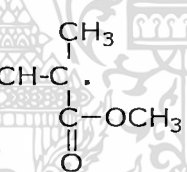
เมื่อทำการเปรียบเทียบลักษณะเส้นใยที่ผ่านการตอ กิ่งที่อุณหภูมิต่างกัน พบว่าเส้นใยมีลักษณะแข็งและไม่สม่ำเสมอมากขึ้นหลังจากผ่านการตอ กิ่งเป็นเวลานานกว่า 45 นาทีและที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เส้นใยมีลักษณะของพื้นผิวที่ขรุขระและแข็งกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอ กิ่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากการตอ กิ่งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสทำให้มีปริมาณของอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นสูงกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นโอกาสเกิดการตอ กิ่งลงบนโครงสร้างของเส้นใยใหม่จึงมีมากกว่าเส้นใยใหม่ทำให้มีความสม่ำเสมอของการตอ กิ่งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส แต่ที่เวลาในการตอ กิ่งไม่นานนัก คือ ไม่เกิน 1 ชั่วโมง ความสามารถในการตอ กิ่งและเส้นใยมีลักษณะใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงต้องทำการศึกษาถึงปริมาณการตอ กิ่งที่มีผลต่อสมบัติเชิงกลต่อไปเพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกใช้อุณหภูมิในการตอ กิ่งที่เหมาะสม



(ก)



(ข)



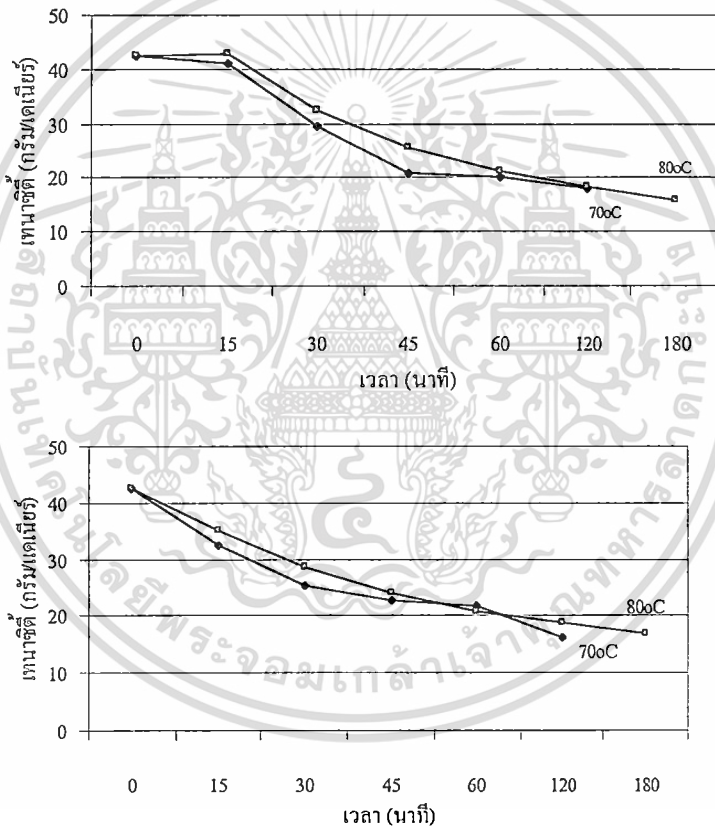
(ค)

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

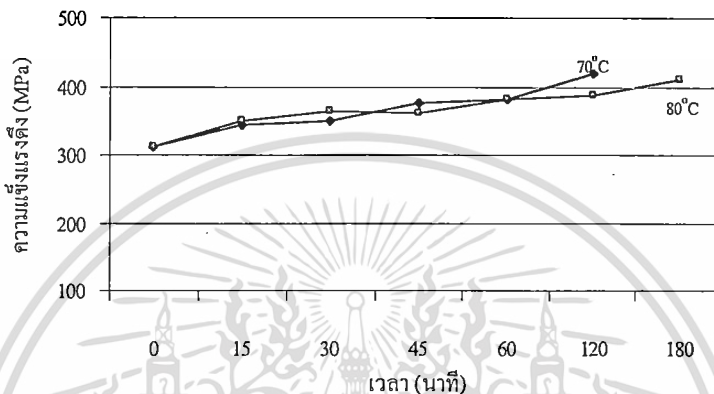
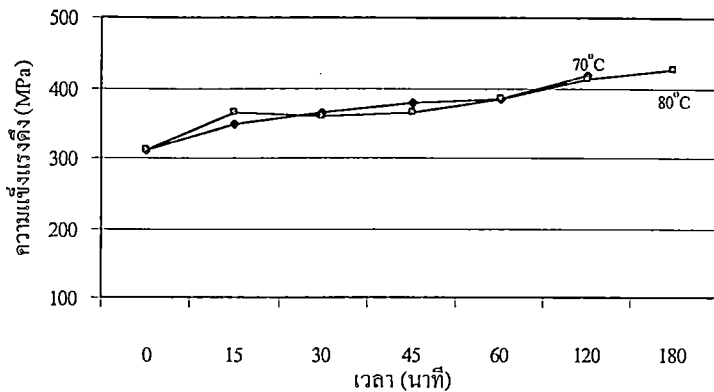
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส

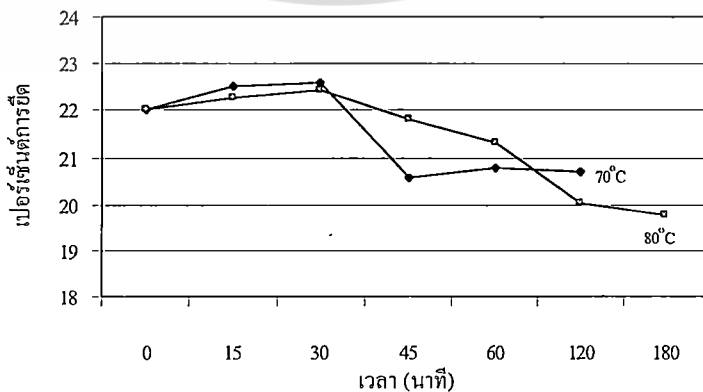
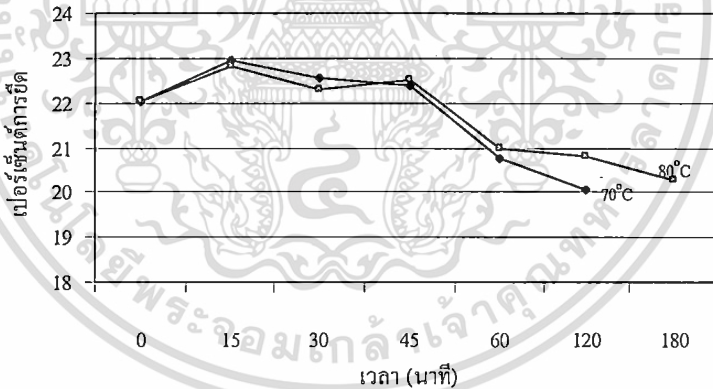
ในขั้นตอนนี้ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างมอโนเมอร์ 2 ชนิด คือ เมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทที่เหมาะสมในการต่อกิ่งเพื่อให้ได้เส้นใยที่มีสมบัติเชิงกลที่ดีโดยคำนึงถึงสถานะที่ใช้ในการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วย ซึ่งทำได้โดยการเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของ เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทที่เวลาต่าง ๆ คือ 15 30 45 60 120 180 นาที โดยเลือกศึกษาผลของความแตกต่างของ 2 อุณหภูมิ คือ 70 และ 80 องศาเซลเซียส ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.13- 4.15 ซึ่งแสดงสมบัติของเส้นใย ณ เวลา 0 นาที คือ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแต่ไม่ได้ผ่านกระบวนการต่อกิ่ง



รูปที่ 4.13 ค่าเทนาคิตของเส้นใยหลังผ่านการต่อกิ่งด้วย (ก) เมทาคริลาไมด์และ (ข) เมทิลเมทาไครเลท

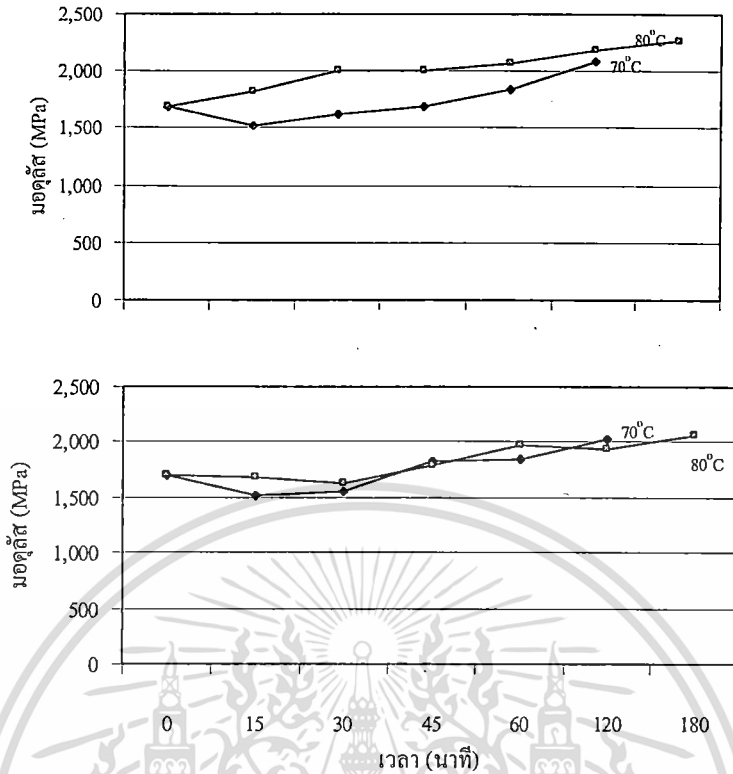


รูปที่ 4.14 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยหลังผ่านการตอ่กึ่งด้วย (ก) เมทาคริลลาไมด์และ (ข) เมทิลเมทาไครเลท



รูปที่ 4.15 ความสามารถในการยืดของเส้นใยหลังผ่านการตอ่กึ่งด้วย (ก) เมทาคริลลาไมด์และ (ข) เมทิลเมทาไครเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ค่ามอดูลัสของเส้นใยหลังผ่านการต่อกิ่งด้วย (ก) เมทาคริลาไมด์และ (ข) เมทิลเมทาไครเลท

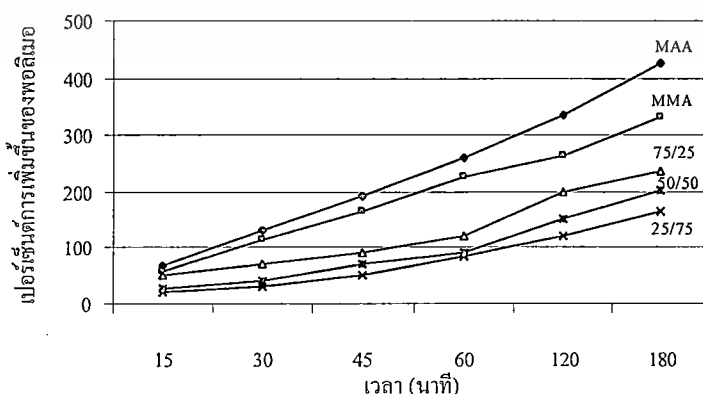
จากรูปที่ 4.13-4.15 แสดงสมบัติเชิงกลของไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียสพบว่า สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดมีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน คือ ค่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดูลัสของเส้นใยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านกระบวนการลอกกาวแต่ไม่ได้ทำการต่อกิ่ง เป็นผลเนื่องจากการต่อกิ่งทำให้เกิดพอลิเมอร์ไซชันในส่วนที่เป็นออสติฐานของเส้นใย [29-31] ทำให้เกิดพันธะระหว่างสายโซ่ของเส้นใยกับมอนอเมอร์ [32-35] ชนิดนั้นทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น ส่วนความเครียดหรือความสามารถในการยืดของเส้นใยนั้นเมื่อทำการต่อกิ่งในช่วงเวลา 15-45 นาที พบว่าเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์หรือเมทิลเมทาไครเลทมีความสามารถในการยืดสูงกว่าเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวแต่ไม่ได้ต่อกิ่ง แต่เมื่อใช้เวลาในการต่อกิ่งมากกว่า 45 นาที พบว่าความสามารถในการยืดของเส้นใยมีค่าลดลง เป็นผลเนื่องจากการต่อกิ่งที่เวลานาน ๆ ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงสูงเพราะเกิดการรวมตัวของมอนอเมอร์เกิดเป็นโคพอลิเมอร์ขนาดใหญ่มาเกาะที่พื้นผิวของเส้นใยทำให้ความสามารถในการถ่ายเทพลังงานของเส้นใยลดลงความสามารถในการยืดของเส้นใยจึงลดลง และเมื่อพิจารณาถึงค่าเทนาคิตซ์ของเส้นใยซึ่งน่าจะมีแนวโน้มเช่นเดียวกับความแข็งแรงดึงเนื่องจากเป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของเส้นใยไหมเช่นเดียวกัน แต่จากรูปที่ 4.13 พบว่าเทนาคิตซ์ของเส้นใยมีแนวโน้มลดลงเมื่อเวลาในการต่อกิ่งมากขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงดึงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากความแข็งแรงดึงหาได้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแรงที่ใช้ในการดึงเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยซึ่งหลังการตอกลงพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยเพิ่มขึ้น 36-93 เปอร์เซ็นต์ ส่วนเทนาคีตี้หาได้จากแรงในการดึงเทียบกับน้ำหนักของเส้นใยซึ่งเพิ่มขึ้นถึง 57-425 เปอร์เซ็นต์จึงเป็นผลให้เทนาคีตี้ลดลงเมื่อเวลาในการตอกลงมากขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงสมบัติเชิงกลข้างต้นนั้นเห็นได้ว่าการตอกลงที่อุณหภูมิ 70 และ 80 องศาเซลเซียส แสดงสมบัติเชิงกลที่ใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีของการตอกลงที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาทีไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้ เนื่องจากเกิดพอลิเมอร์เซชันของมอนอเมอร์ด้วยกันเองเกิดเป็นก้อนพอลิเมอร์ขนาดใหญ่เกาะรวมกับเส้นใยใหม่จึงไม่สามารถนำมาทำการทดสอบสมบัติเชิงกลได้ ส่วนการตอกลงที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 180 นาที สามารถศึกษาสมบัติเชิงกลได้ เนื่องจากความสามารถในการแตกตัวของตัวริเริ่มเป็นอนุมูลอิสระคาดว่าเกิดขึ้นในปริมาณที่มากกว่าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสความสม่ำเสมอในการเกิดปฏิกิริยาสูงกว่าจึงไม่เกิดก้อนของพอลิเมอร์ขนาดใหญ่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในการตอกลงโดยทำการศึกษาถึงอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ 2 ชนิดต่อไป

4.2.3 ความสามารถในการตอกลงเส้นใยใหม่ด้วยเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ

จากการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยโดยการตอกลงด้วยเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ กันที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองในหัวข้อ 4.2.1-4.2.2 เมื่อพิจารณาถึงความสามารถในการตอกลงของเส้นใยใหม่ด้วยมอนอเมอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ได้ผลดังรูปที่ 4.17 พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นปริมาณของพอลิเมอร์บนเส้นใยเพิ่มขึ้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.1 และเมื่อพิจารณาถึงผลของชนิดและอัตราส่วนระหว่างเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทในการตอกลง พบว่าการตอกลงด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียวให้ความสามารถในการตอกลงสูงกว่าการใช้มอนอเมอร์ 2 ชนิดผสมกันและที่อัตราส่วนที่มีเมทาครีลาไมด์ในปริมาณมากเส้นใยที่ทำการตอกลงมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของพอลิเมอร์สูงกว่าอัตราส่วนที่มีเมทิลเมทาไครเลทในปริมาณมาก

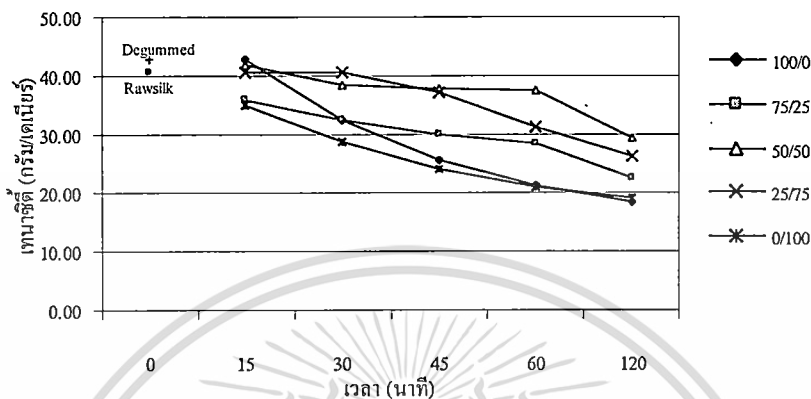


รูปที่ 4.17 ความสามารถในการตอกลงของเส้นใยใหม่ที่อัตราส่วนต่าง ๆ

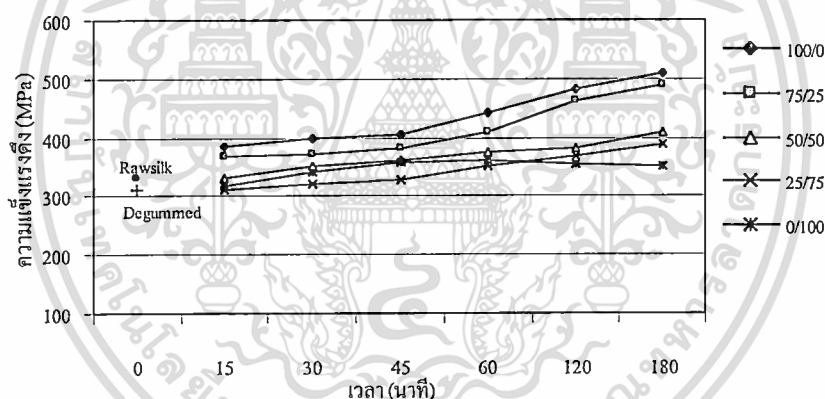
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ

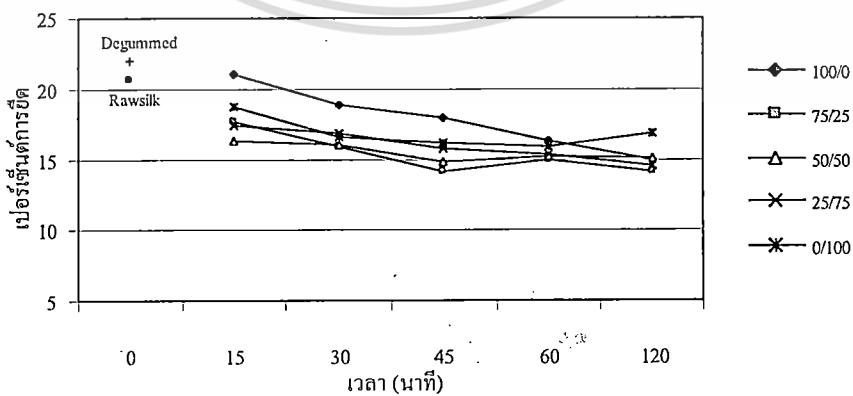
การพิจารณาความแข็งแรงของเส้นใยไหมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ใช้สมบัติเชิงกลในการพิจารณา คือ เทนาคิต ความแข็งแรงดึง ความสามารถในการยืดและมอดูลัส



รูปที่ 4.18 ค่าเทนาคิตของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ

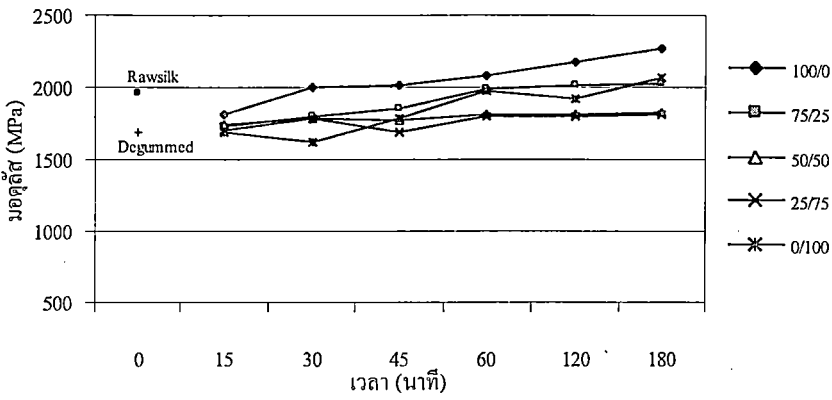


รูปที่ 4.19 ความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ



รูปที่ 4.20 เปอร์เซนต์การยืดของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.21 มอดุลัสของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วยอัตราส่วนต่าง ๆ

4.2.4.1 เทนาซิตี (Tenacity)

การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยการต่อกึ่งทำให้เส้นใยไหมทนแรงในการดึงได้สูงขึ้น เมื่อปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยสูงขึ้นแต่เทนาซิตีเป็นค่าแสดงความแข็งแรงของเส้นใยจากแรงดึงเทียบกับน้ำหนักเส้นใย 1 เดเนียร์ ผลการทดลองดังรูปที่ 4.18 เห็นได้ว่า เทนาซิตีของเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์เป็นเวลา 15 นาทีมีค่าใกล้เคียงกับเส้นใยไหมที่ลอกขาว ส่วนการต่อกึ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทและเมทาคริลาไมด์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เป็นเวลา 15 นาทีมีค่าเทนาซิตีต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว เมื่อเวลาในการต่อกึ่งสูงขึ้นเทนาซิตีของเส้นใยไหมมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการที่ความสามารถในการต่อกึ่งสูงขึ้นทำให้อัตราการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยสูงกว่าอัตราการเพิ่มแรงที่ใช้ในการดึงเส้นใยไหมให้ขาด เมื่อพิจารณาผลของชนิดมอนอเมอร์ที่ใช้ พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีค่าเทนาซิตีสูงสุด เนื่องจากการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์เกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของเส้นใยไหมและเกิดเป็นฟิล์มบาง ๆ เคลือบบนผิวของเส้นใยไหม [23, 33] ในขณะที่การต่อกึ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทเกิดปฏิกิริยาระหว่างโมเลกุลของมอนอเมอร์และเส้นใยไหมแต่บางส่วนเกิด โอลิโกเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลทบนพื้นผิวของเส้นใยไหม [36] ทำให้พื้นผิวของเส้นใยไหมไม่เรียบและความสามารถในการทนแรงดึงลดลง นอกจากนี้การต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ให้ผลใกล้เคียงกับการต่อกึ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทแต่ค่าเทนาซิตีเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วนของเมทาคริลาไมด์เพิ่มขึ้น ดังเหตุผลที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.2

4.2.4.2 ความแข็งแรงดึง

จากรูปที่ 4.19 ในกรณีของการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ พบว่าความแข็งแรงดึงของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยสูงขึ้นเช่นเดียวกับค่าเทนาซิตี แต่เมื่อความสามารถในการต่อกึ่งมากขึ้น ค่าความแข็งแรงของเส้นใยสูงขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากอัตราการเพิ่มขึ้นของขนาดเส้นใยน้อยกว่าการเพิ่มของน้ำหนักเส้นใยดังเหตุผลที่แสดงในหัวข้อ 4.2.2 คือ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งมีการเพิ่มของพื้นที่หน้าตัด 36-93 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่น้ำหนักของเส้นใยเพิ่มขึ้น 21-425 เปอร์เซ็นต์ ส่วนการต่อกึ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทและเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลท ที่อัตราส่วนต่าง ๆ มีแนวโน้มเช่นเดียวกับการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของความแข็งแรงเมื่อปริมาณพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นบนเส้นใยต่ำกว่าและความแข็งแรงของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่มีปริมาณเมทาคริลาไมด์ในอัตราส่วนที่มากมีความแข็งแรงสูงกว่าในอัตราส่วนที่น้อยในการต่อกึ่งเส้นใยไหมเช่นเดียวกับที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.4.1

4.2.4.3 ความสามารถในการยืด

จากรูปที่ 4.20 พบว่าความสามารถในการยืดของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วยมอนอเมอร์ที่อัตราส่วนต่าง ๆ เมื่อปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยมากขึ้น แต่เมื่อปริมาณการเพิ่มของพอลิเมอร์สูง ๆ การต่อกึ่งเส้นใยด้วยมอนอเมอร์ดังกล่าวทำให้เกิดฟิล์มของพอลิเมอร์เคลือบบนเส้นใยไหมและเกิดเป็นโอลิโกเมอร์บนพื้นผิวของเส้นใยทำให้เส้นใยมีลักษณะเช่นเดียวกับไหมดิบที่มีกาวไหมเคลือบอยู่ทำให้ความสามารถในการยืดต่ำลง แต่ในการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์เป็นเวลา 15-30 นาทีที่มีปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย 70-140 % มีความสามารถในการยืดใกล้เคียงกับเส้นใยไหมก่อนต่อกึ่ง เนื่องจากการเพิ่มของพอลิเมอร์ในช่วงแรกเกิดปฏิกิริยาในส่วนที่เป็น อนุพันธ์ของเส้นใยทำให้ส่วนที่เป็นอนุพันธ์ของเส้นใยมีความแข็งแรงมากขึ้น แต่ที่ปริมาณพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยมากเกินไปจะเกิดเป็นพอลิเมอร์เกาะบนผิวของเส้นใย [23, 33]

4.2.4.4 มอดูลัสที่ 8 %

จากรูปที่ 4.21 พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ เมทิลเมทาไครเลทและเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทมีค่ามอดูลัสเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากความแข็งแรงดึงที่เพิ่มขึ้นในขณะที่ความสามารถในการยืดลดลง แสดงถึงเส้นใยที่ผ่านการต่อกึ่งมีความแข็งแรงสูงขึ้นแต่เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์เป็นเวลา 15-30 นาทีมีค่ามอดูลัสสูงกว่าเส้นใยไหมดิบเล็กน้อย

ดังนั้นในการนำเส้นใยไหมที่ปรับปรุงสมบัติด้วยการต่อกึ่งไปศึกษาความสามารถในการย้อมสีด้วยสีแอซิดและสีเบสิกจึงเลือกเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาที เนื่องจากเป็นสภาวะที่ทำให้เส้นใยไหมมีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดคือ ค่าเทนาซิตีและค่าความแข็งแรงสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนความสามารถในการยืดและค่ามอดูลัสใกล้เคียงกับเส้นใยไหมลอกกาว

4.3 กระบวนการการย้อมสี

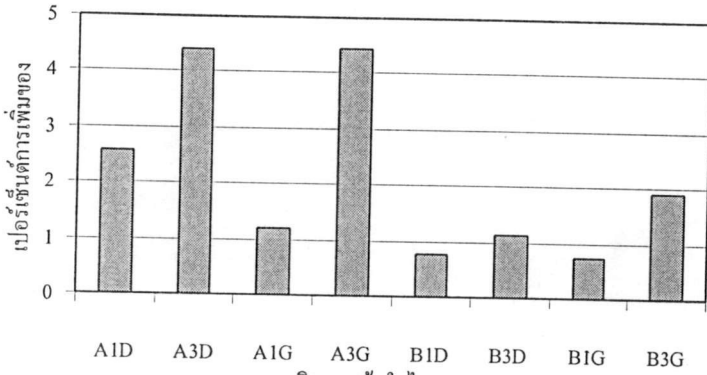
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการย้อมสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยเมทาคริลาไมด์ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที เนื่องจากให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด (หัวข้อที่ 4.2) โดยใช้สีย้อมสีน้ำเงิน 2 ประเภท คือ สีแอซิดและสีเบสิกที่ความเข้มข้น 1 และ 3 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพิจารณาผลของความสามารถในการติดสีย้อม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

4.3.1 ความสามารถในการย้อมสี

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

4.3.1.1 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใย

จากการย้อมเส้นใยไหมก่อนและหลังการดองด้วยสีแอซิดและสีเบสิกที่สภาวะในการย้อมเดียวกันที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมที่ใช้มากขึ้นทำให้ปริมาณของสีย้อมบนเส้นใยเพิ่มขึ้นด้วยทั้งในกรณีของสีแอซิดและสีเบสิกสำหรับเส้นใยไหมก่อนและหลังการดอง แสดงดังรูปที่ 4.22 เนื่องจากการเพิ่มความเข้มข้นของน้ำย้อมเป็นการเพิ่มปริมาณอนุภาคของสีย้อมเมื่ออนุภาคของสีย้อมเพิ่มขึ้น โอกาสที่อนุภาคของสีย้อมเกิดพันธะกับ โมเลกุลของเส้นใยไหมจึงเพิ่มขึ้นด้วย เมื่อพิจารณาถึงผลของชนิดสีย้อม พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการย้อมด้วยสีแอซิดมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใยไหมมากกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีเบสิก เนื่องจากการย้อมสีบนเส้นใยมีกลไกการย้อม คือ ประจุของสีถูกดูดซับด้วยประจุที่ต่างกันของ เส้นใยเกิดการแทรกซึมของสีเข้าไปในเส้นใยและเกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ระหว่างสีกับเส้นใยที่มีประจุเหมือนกัน [9, 37] และเส้นใยไหมสามารถแสดงประจุบวกหรือลบได้ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ ดังนั้นสีแอซิดและสีเบสิกจึงสามารถย้อมติดเส้นใยไหมได้ แต่ปริมาณการเพิ่มของสีแอซิดที่ความเข้มข้นเดียวกันสูงกว่าสีเบสิก เนื่องจากการเกิดประจุบวกของโมเลกุลเส้นใยไหมมีปริมาณมากกว่าการเกิดประจุลบ [37] ทำให้ปริมาณการเกิดพันธะไอออนิกบนผิวเส้นใยของการย้อมด้วยสีแอซิดสูงกว่าการย้อมด้วยสีเบสิก

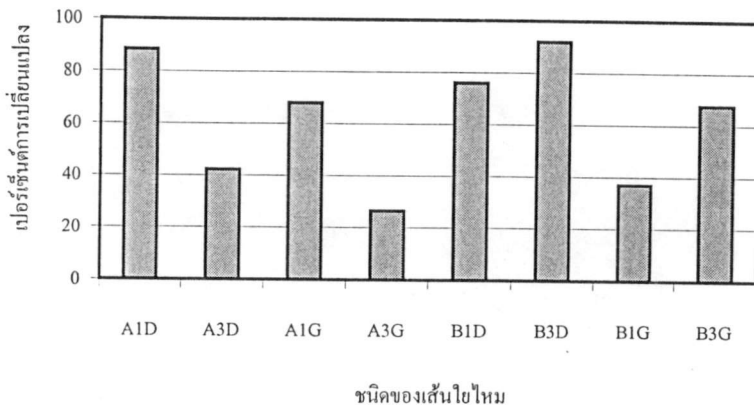


ชนิดของเส้นใยใหม่
 A₁D คือ เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยฮีแอซิด 1 % A₃D คือ เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยฮีแอซิด 3 %
 A₁G คือ เส้นใยใหม่ตอกิ่งข้อมด้วยฮีแอซิด 1 % A₃G คือ เส้นใยใหม่ตอกิ่งข้อมด้วยฮีแอซิด 3 %
 B₁D คือ เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยฮีเบสิก 1 % B₃D คือ เส้นใยใหม่ลอกกาวด้วยฮีเบสิก 3 %
 B₁G คือ เส้นใยใหม่ตอกิ่งข้อมด้วยฮีเบสิก 1 % B₃G คือ เส้นใยใหม่ตอกิ่งข้อมด้วยฮีเบสิก 3 %

รูปที่ 4.22 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักข้อมบนเส้นใยใหม่ชนิดต่าง ๆ

4.3.1.2 ความสามารถในการดูดซับสี

ในการพิจารณาความสามารถในการย้อมติดสีด้วยการวัดการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงของน้ำย้อม ทำให้โดยวัดความสามารถในการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมก่อนและหลังผ่านกระบวนการย้อมแล้ววัดการเปลี่ยนแปลงเป็นเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเมื่อเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงมาก หมายถึง น้ำย้อมมีการเปลี่ยนแปลงมาก กล่าวคือ มีการหายไปของอนุภาคของสีย้อมจากน้ำย้อมมากแสดงถึงความสามารถในการดูดซับสีย้อมของเส้นใยได้ดี ดังนั้นจากรูปที่ 4.22 เห็นได้ว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวโดยไม่ได้ทำการปรับปรุงด้วยการตอกิ่งมีเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงมากกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอกิ่งทุกความเข้มข้นและชนิดน้ำย้อม เนื่องจากเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวมีช่องว่างระหว่างเส้นใยใหม่ที่อนุภาคของสีย้อมแทรกตัวได้มากกว่าเส้นใยใหม่ที่ตอกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ แต่เมื่อพิจารณาผลของเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักข้อมบนเส้นใยใหม่ซึ่งเส้นใยใหม่ที่ผ่านกระบวนการตอกิ่งมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของน้ำหนักข้อมบนเส้นใยใหม่มากกว่าเส้นใยใหม่ที่ไม่ได้ตอกิ่ง (หัวข้อที่ 4.3.1.1) เห็นได้ว่ามีความขัดแย้งกัน เนื่องจากอนุภาคของสีที่แทรกตัวระหว่างเส้นใยภายในเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวแล้วทำให้เปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงสูงนั้น เมื่อนำเส้นใยใหม่ที่ผ่านการย้อมไปล้างด้วยน้ำสะอาด พบว่ามีสีหลุดออกมามากแสดงว่าความสามารถในการเกิดพันธะของอนุภาคของสีและ โมเลกุลของเส้นใยใหม่ที่ไม่ได้ผ่านการตอกิ่งนั้นต่ำกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์

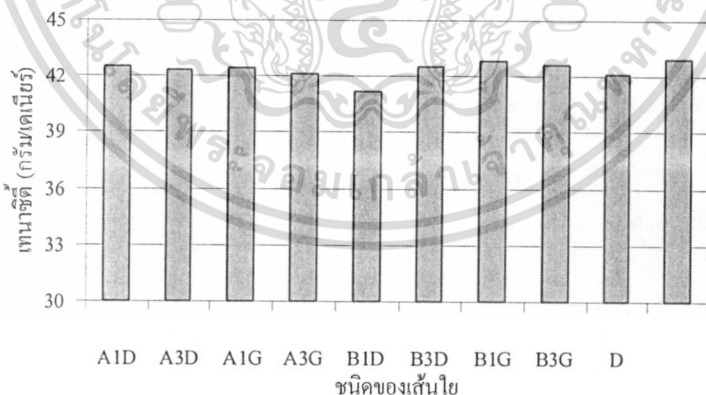


A1D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 1 % A3D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % A1G หน้ากากอนามัยตอกกึ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 1 %
 A3G หน้ากากอนามัยตอกกึ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % B1D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G หน้ากากอนามัยตอกกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G หน้ากากอนามัยตอกกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

รูปที่ 4.23 เปอร์เซนต์การเปลี่ยนแปลงความสามารถในการควบคุมแสงของหน้ากากอนามัยชนิดต่าง ๆ

4.3.2 สมบัติเชิงกลของหน้ากากอนามัย

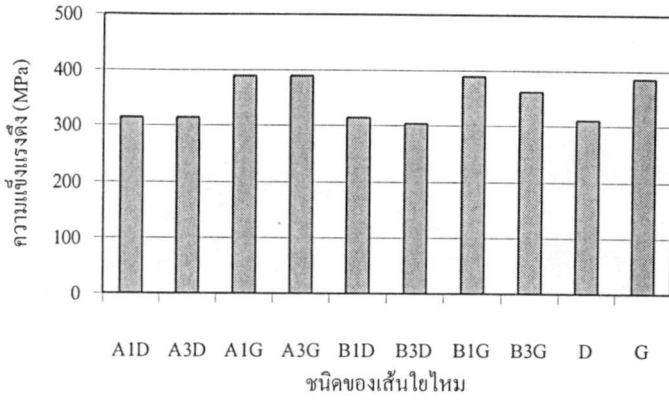
ในการพิจารณาหน้ากากอนามัยเพื่อนำไปใช้งาน นอกจากคำนึงถึงความสามารถในการย้อมติดสีแล้วต้องคำนึงถึงความแข็งแรงของหน้ากากอนามัยโดยใช้สมบัติเชิงกลในการพิจารณาความแข็งแรงคือ เหนียวดี ความแข็งแรงดึง ความสามารถในการยืดและค่ามอดูลัสดังรูปที่ 4.24-4.27



A1D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 1 % A3D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % A1G หน้ากากอนามัยตอกกึ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 1 %
 A3G หน้ากากอนามัยตอกกึ่งย้อมด้วยสีแอมซิด 3 % B1D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G หน้ากากอนามัยตอกกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G หน้ากากอนามัยตอกกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 % D หน้ากากอนามัยลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %

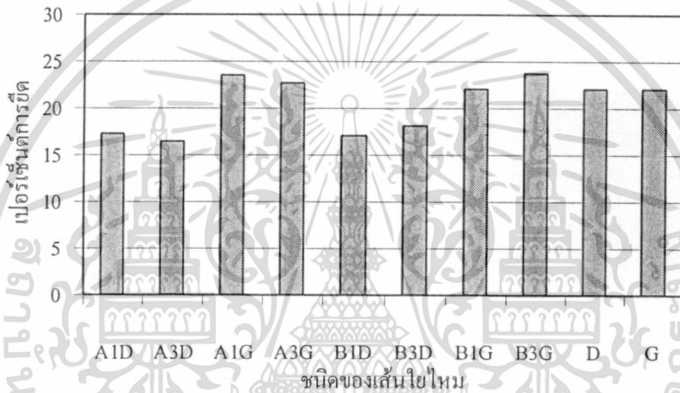
รูปที่ 4.24 ค่าเทนacityของหน้ากากอนามัยที่ย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



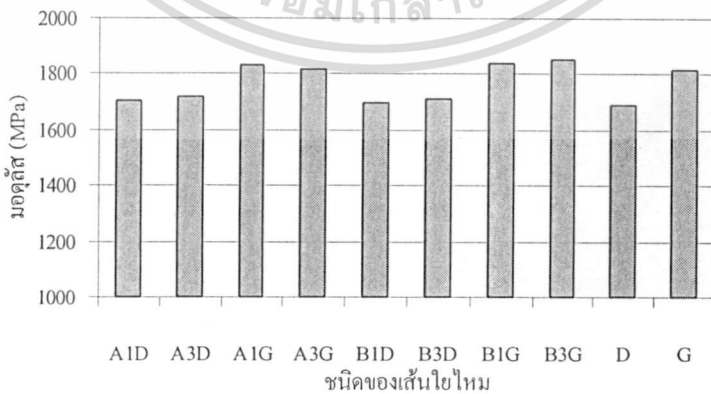
A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอสซิด 1 % A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอสซิด 3 % A1G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอสซิด 1 %
 A3G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอสซิด 3 % B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 % D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 % G เส้นใยไหมตอ กิ่ง

รูปที่ 4.25 ความเค้นของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ



A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอสซิด 1 % A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอสซิด 3 % A1G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอสซิด 1 %
 A3G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอสซิด 3 % B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 % D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 % G เส้นใยไหมตอ กิ่ง

รูปที่ 4.26 ความสามารถในการยืดของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ



A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอสซิด 1 % A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอสซิด 3 % A1G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอสซิด 1 %
 A3G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีแอสซิด 3 % B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 %
 B1G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1 % B3G เส้นใยไหมตอ กิ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3 % D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3 % G เส้นใยไหมตอ กิ่ง

รูปที่ 4.27 ค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.24-4.27 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเทนาคิตี ความแข็งแรง ความสามารถในการยึดและค่ามอดูลัส พบว่าสมบัติเชิงกลของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก ไม่มีการเปลี่ยนแปลง จึงสามารถสรุปได้ว่ากระบวนการย้อมสีไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติเชิงกลของเส้นใยใหม่

4.3.3 การทดสอบความคงทนของสี (Color fastnesses)

ในการนำเส้นใยใหม่ผ่านการย้อมสีไปใช้งานด้านวัสดุสิ่งทอต้องคำนึงถึงปัญหาเรื่องของความคงทนของสีต่อการซัก (Wet fastness) ความคงทนของสีต่อแสง (Light fastness) ความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Fastness to perspiration) ความคงทนของสีต่อความร้อน (Fastness to heat) และความคงทนต่อคลอรีน (โดยเฉพาะในชุดว่ายน้ำ) (Fastness to Chlorine) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดคุณภาพวัสดุสิ่งทอที่ใช้ในชีวิตประจำวัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำเส้นใยใหม่ผ่านกระบวนการลอกขาวและเส้นใยใหม่ผ่านกระบวนการตอกลงด้วยเมทาคริลไมด์ความเข้มข้น 0.08 โมล/ลิตร เป็นเวลา 15 นาทีที่ผ่านกระบวนการย้อมสีด้วยสีแอซิดและสีเบสิกโดยใช้ความเข้มข้นของสี 3 % ในน้ำย้อม ทดสอบความคงทนของสีที่สำคัญ 3 ประเภท คือ ความคงทนของสี ต่อการซัก ความคงทนของสีต่อเหงื่อและความคงทนของสีต่อแสงเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการยึดติดของสีบนเส้นใยที่ผ่านการตอกลงและไม่ผ่านการตอกลงและเปรียบเทียบความสามารถในการคงทนของสีแอซิดและสีเบสิก

4.3.3.1 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักฟอก

การวิเคราะห์ผลของความคงทนของต่อการซักนั้น มีผลของการเปลี่ยนแปลงที่ควรคำนึงถึง 2 ประเภท คือ ค่าการเบี่ยงสีบนผ้าขาวมาตรฐานซึ่งดูความแตกต่างระหว่างสีของผ้ามาตรฐานที่ไม่ได้ประกบกับตัวอย่างและสีของผ้ามาตรฐานที่ประกบกับตัวอย่าง โดยในการประกบนั้นประกบด้วยผ้าไหมมาตรฐานและผ้าฝ้ายมาตรฐาน แล้วทำการซักพร้อมกัน จากนั้นนำมาเปรียบเทียบกับเกรย์สเกลและขั้นตอนสุดท้าย คือ การประเมินผลความแตกต่างออกมาเป็นตัวเลข สำหรับค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเป็นค่าสำคัญที่ต้องคำนึงถึงซึ่งเป็นการเปรียบเทียบสีของตัวอย่างก่อนและหลังการซักนำมาเปรียบเทียบกับเกรย์สเกลแล้วประเมินออกมาเป็นตัวเลข

4.3-4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าการเป็อนสืบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากการซัก

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย			
	สีแอซิด		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา	4	5	3-4	5
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	4-5	5	4-5	5

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อการซักสูงหรือสีตกน้อย

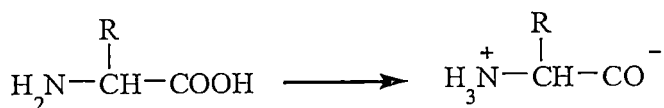
ตารางที่ 4.4 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเนื่องจากการซัก

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย	
	สีแอซิด	สีเบสิก
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา	4-5	2-3
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	4-5	3

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อการซักสูงหรือสีตกน้อย

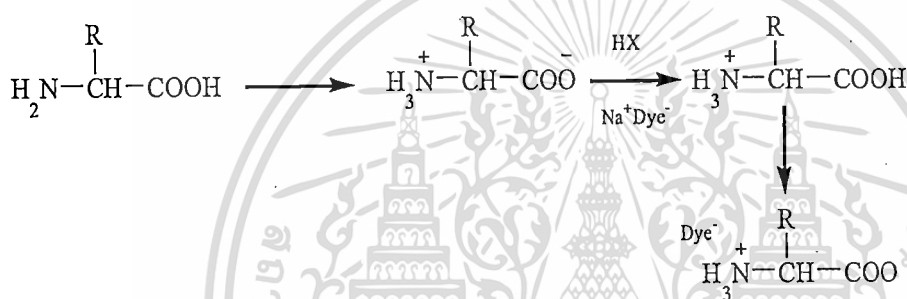
จากผลการทดลองพิจารณาถึงระดับความคงทนของสีที่ได้จากการวิเคราะห์การเป็อนสืบนผ้าขาวมาตรฐานพบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอซิดมีค่าระดับความคงทนของสีสูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีเบสิก ส่วนค่าระดับความคงทนของสีในผ้าไหมมาตรฐานและผ้าฝ้ายมาตรฐานมีแนวโน้มเดียวกัน คือ เส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งมีค่าระดับความคงทนของสีสูงกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งในทุก ๆ ตัวอย่าง แต่ค่าระดับความคงทนของสีในผ้าฝ้ายมาตรฐานมีค่าสูงกว่าในผ้าไหมมาตรฐานในทุกตัวอย่าง แสดงว่าเส้นใยไหมทั้ง 2 ชนิด คือ เส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งและเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งเมื่อผ่านการย้อมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีต่อการซักมากกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีเบสิก นอกจากนี้สีแอซิดและสีเบสิกที่ย้อมเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการต่อกึ่งมีค่าความคงทนของสีต่อการซักมากกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านกระบวนการต่อกึ่ง เนื่องจากการย้อมสืบนเส้นใยมีกลไกการย้อม คือ ประจุของสีถูกดูดซับด้วยประจุที่ต่างกันของเส้นใยเกิดการแทรกซึมของสีเข้าไปในเส้นใยและเกิดแรงวนเดอรัววัลส์ระหว่างสีกับเส้นใยที่มีประจุเหมือนกัน [5, 25, 37] ดังนั้นสีแอซิดและสีเบสิกจึงสามารถย้อมติดเส้นใยไหมได้เนื่องจากเส้นใยไหมสามารถแสดงประจุบวกหรือลบได้ขึ้นอยู่กับสถานะที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



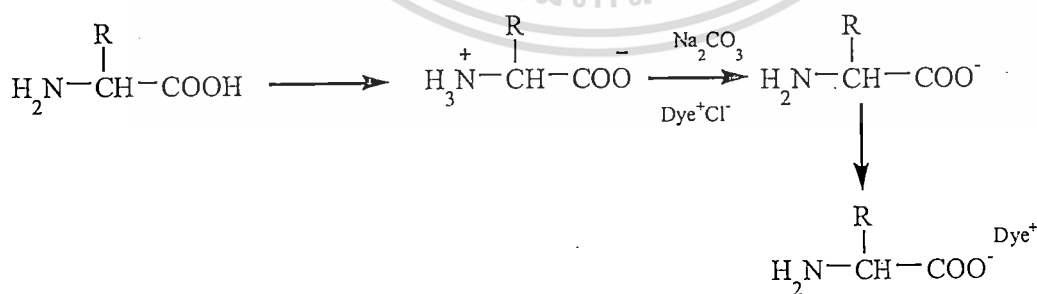
รูปที่ 4.28 ประจุบวกและลบของโมเลกุลของกรดอะมิโน [38]

ในกรณีที่ย้อมด้วยสีแอมิดซึ่งโมเลกุลของสีย้อมแสดงประจุลบ (Dyes⁻Na⁺) และย้อมในสถานะที่น้ำย้อมมีสมบัติเป็นกรด ดังนั้นโมเลกุลของเส้นใยไหมส่วนใหญ่จึงแสดงประจุบวกทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างประจุลบของสีย้อมกับประจุบวกของโมเลกุลเส้นใยไหม คือ พันธะไอออนิก (Ionic attraction) ทำให้สีย้อมแอมิดสามารถยึดติดกับเส้นใยไหมได้ดี [25, 37, 41] ดังรูปที่ 4.29



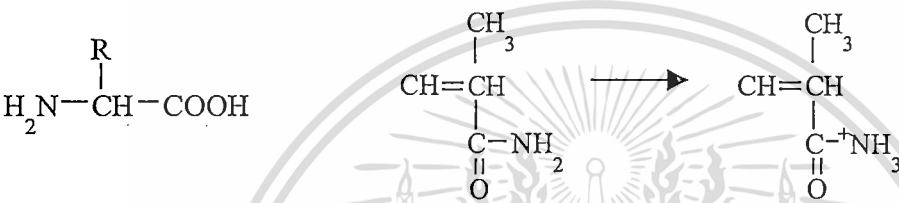
รูปที่ 4.29 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมแอมิดและเส้นใยไหม [39]

ส่วนกลไกในการย้อมเส้นใยไหมด้วยสีเบสิกจะมีลักษณะคล้ายกับการย้อมด้วยสีแอมิดแต่สีเบสิกเป็นสีย้อมที่แสดงประจุบวก (Dyes⁺Cl⁻) สามารถเกิดพันธะไอออนิกกับประจุลบของเส้นใยไหมในสถานะที่เส้นใยไหมในสารละลายที่มีสถานะเป็นเบสิกเส้นใยไหมบางส่วนจึงแสดงประจุลบทำให้สีเบสิกสามารถยึดติดกับเส้นใยไหมได้ [25,37] ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.30 การเกิดปฏิกิริยาระหว่างสีย้อมเบสิกและเส้นใยไหม

จากการทดลองย้อมเส้นใยไหมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าการย้อมด้วยสีเบสิก เนื่องจากการเกิดประจุลบของโมเลกุลเส้นใยไหมมีโอกาสเกิดน้อยกว่าการเกิดประจุบวก [35, 37-38] ทำให้ปริมาณการเกิดพันธะไอออนิกบนผิวเส้นใยของการย้อมด้วยสีแอซิดสูงกว่าการย้อมด้วยสีเบสิก ในขณะที่กลไกการย้อมสีอื่น ๆ คือ การแทรกซึมของสีในเส้นใยและแรงแวนเดอร์วาล์สระหว่างประจุเหมือนกัน และเมื่อเปรียบเทียบการย้อมเส้นใยไหมก่อนและหลังต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งแล้วนำมาผ่านกระบวนการย้อมมีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยไหมที่ไม่ผ่านการต่อกิ่งทั้งกรณีการย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก เนื่องจากเกิดพอลิเมอไรเซชันในส่วนที่เป็นอสัณฐานของเส้นใยและเมทาคริลาไมด์ มีโครงสร้างใกล้เคียงกับโมเลกุลของเส้นใยไหมดังแสดงในรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 ลักษณะที่คล้ายกันของโมเลกุลไฟโบรอินและเมทาคริลาไมด์

ในการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีโครงสร้างที่สามารถเกิดประจุบวกสำหรับการสร้างพันธะไอออนิกกับโมเลกุลของสีแอซิดได้มากขึ้นความคงทนของสีต่อการซักจึงสูงขึ้น ส่วนกรณีของการย้อมด้วยสีเบสิกนั้นการต่อกิ่งทำให้ความสามารถในการแสดงประจุบวกของเส้นใยมากขึ้นอนุภาคของสีจึงสามารถยึดติดกับเส้นใยไหมเนื่องจากเกิดแรงแวนเดอร์วาล์สระหว่างสีกับเส้นใยที่มีประจุเหมือนกันได้ดีกว่าก่อนต่อกิ่งทำให้ความคงทนของสีต่อการซักสูงขึ้น แต่น้อยกว่าการย้อมด้วยสีแอซิด เนื่องจากพันธะไอออนิกมีความแรงของพันธะมากกว่าแรงแวนเดอร์วาล์ส

4.3.3.2 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ

การวิเคราะห์ผลของความคงทนของสีต่อเหงื่อนั้นมีผลของการเปลี่ยนแปลงที่ควรคำนึงถึง 2 ประเภท คือ ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานและค่าเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเช่นเดียวกับการซัก แต่เนื่องจากเหงื่อของคนเราสมบัติที่ต่างกัน ดังนั้นในมาตรฐานจึงมีการวิเคราะห์ความคงทนของสีต่อเหงื่อที่มีความเป็นกรดและเบสดังตารางที่ 4.5-4.8 พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาวและต่อกิ่งแล้วย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกมีความคงทนของสีต่อเหงื่อที่เป็นกรดและเป็นเบสค่อนข้างต่ำและเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีเบสิกมีความคงทนของสีต่อเหงื่อต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิด เนื่องจากความแตกต่างของการเกิดกลไกในการย้อมดั่งที่ได้กล่าวมาแล้วในเรื่องความคงทนของสีต่อการซัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เหมืองเทียมที่มีสมบัติเป็นกรด

ตารางที่ 4.7 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหมืองเทียมที่เป็นกรด

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย			
	สีแอสิด		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ	2-3	4	1-2	4
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	2-3	4	1-2	4

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อเหงื่อสูงหรือสีตกน้อย

ตารางที่ 4.6 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเนื่องจากเหมืองเทียมที่เป็นกรด

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

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อเหงื่อสูงหรือสีตกน้อย

- เหมืองเทียมที่มีสมบัติเป็นเบส

ตารางที่ 4.7 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหมืองเทียมที่เป็นเบส

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย			
	สีแอสิด		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ	2-3	4	1-2	4
เส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย MAA	2-3	4	1-2	4

* ค่าตัวเลขมากแสดงถึงความคงทนของสีต่อเหงื่อสูงหรือสีตกน้อย

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 เนื่องจากความสามารถในการเกิดพันธะระหว่างเส้นใยไหมกับโมเลกุลของสีแอสิดสูงกว่าสีเบสิก และการต่อกึ่งด้วยเมทาครีลาไมด์มีโครงสร้างที่สามารถเกิดพันธะไอออนิกกับโมเลกุลของสีได้มากกว่าดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ

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

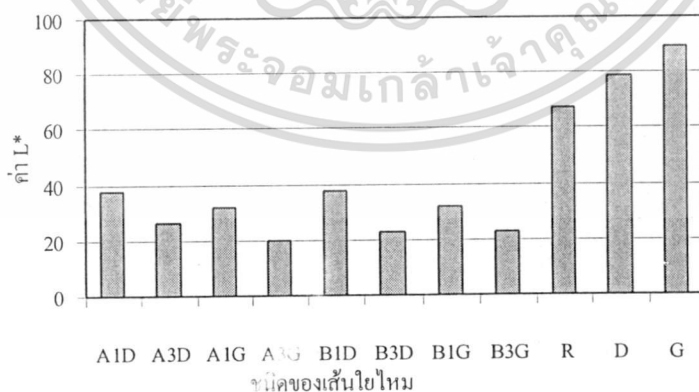
4.3.4 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี

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 พบว่าการย้อมเส้นใยไหมที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยการต่อกึ่งและที่ผ่านการต่อกึ่งมีค่าความสว่างใกล้เคียงกันที่การย้อมด้วยสีชนิดเดียวกัน แต่เมื่อพิจารณาถึงความเข้มข้นของสีย้อม เห็นว่าเมื่อความเข้มข้นของสีย้อมมากขึ้นค่าความสว่างของเส้นใยไหมลดลง แสดงให้เห็นว่าการย้อมสีเส้นใยไหมด้วยสีเบสิกและสีแอซิดที่ความเข้มข้นมากขึ้นทำให้เส้นใยไหมมีสีที่เข้มขึ้น

จากรูปที่ 4.33 แสดงว่าวัตถุเป็นสีแดงหรือสีเขียว โดยค่า a^* เป็นลบวัตถุมีสีออกแดง ค่า a^* เป็นลบวัตถุมีสีออกเขียว พบว่าการย้อมเส้นใยไหมที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยการต่อกึ่งและที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยสีแอซิดและสีเบสิกที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เมื่อความเข้มข้นของสีย้อมมากขึ้นค่า a^* สูงขึ้นตามความเข้มข้นของสีย้อม แสดงว่าสีย้อมที่ใช้มีเฉดออกสีแดงเล็กน้อย

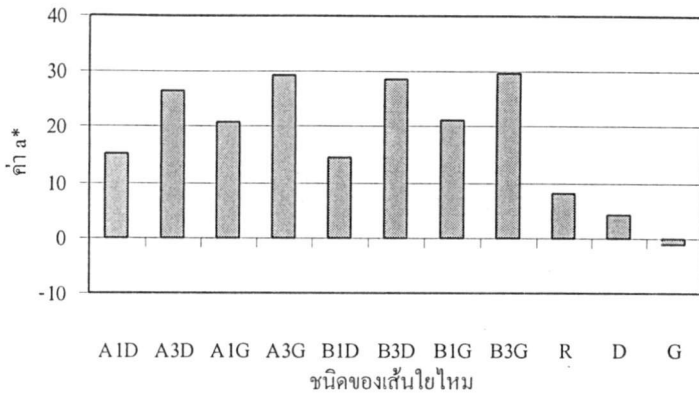
จากรูปที่ 4.34 แสดงว่าวัตถุเป็นสีแดงหรือสีเขียว โดยค่า b^* เป็นลบวัตถุมีสีออกเหลือง ค่า b^* เป็นลบวัตถุมีสีออกน้ำเงิน พบว่าการย้อมเส้นใยไหมที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยการต่อกึ่งและที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยสีเบสิกและสีแอซิดมีค่า b^* เป็นลบและมีค่าใกล้เคียงกัน เป็นการยืนยันว่าเส้นใยที่ผ่านการย้อมมีสีน้ำเงิน



A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอซิด 1% A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอซิด 3% A1G เส้นใยไหมต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอซิด 1%
 A3G เส้นใยไหมต่อกึ่งย้อมด้วยสีแอซิด 3% B1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 1% B3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีเบสิก 3%
 B1G เส้นใยไหมต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก 1% B3G เส้นใยไหมต่อกึ่งย้อมด้วยสีเบสิก 3% R เส้นใยไหมดิบ D เส้นใยไหมลอกกาวย้อม
 G เส้นใยไหมต่อกึ่ง

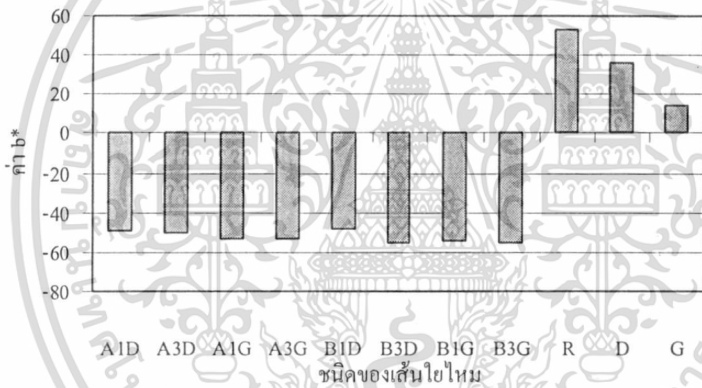
รูปที่ 4.32 ค่า ความสว่าง (L^*) ของเส้นใยชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A1D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอสซิด 1% A3D เส้นใยไหมลอกกาวย้อมด้วยสีแอสซิด 3% A1G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอสซิด 1%
 A3G เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอสซิด 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*) ของเส้นใยชนิดต่าง ๆ



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

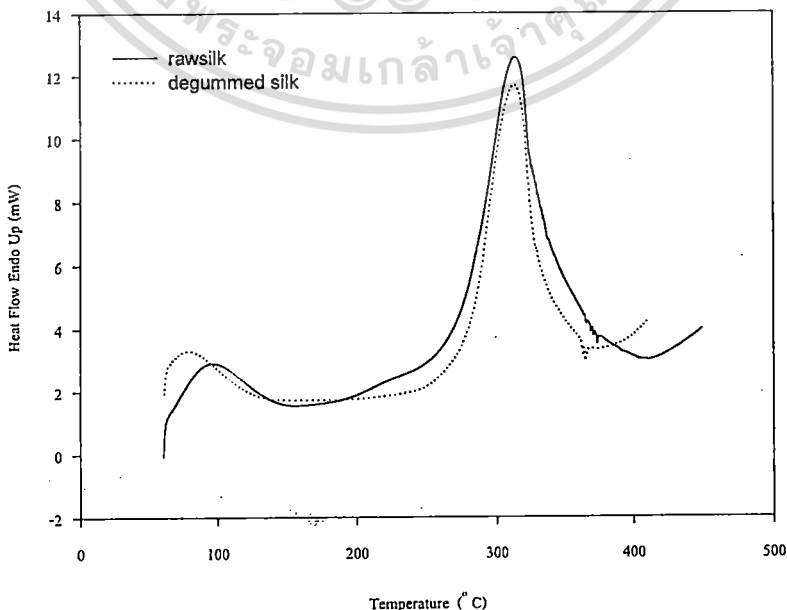
รูปที่ 4.34 ค่า (b*) ของเส้นใยชนิดต่าง ๆ

4.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม

สมบัติทางความร้อนเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในการนำเส้นใยไหมไปใช้งาน โดยเทคนิคที่ใช้วิเคราะห์ คือ ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ซึ่งในงานวิจัยนี้มีการศึกษาหลายขั้นตอนดังนั้นในการวิเคราะห์เกี่ยวกับสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมจึงแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ เส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาวย เส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลงและเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสี

4.4.1 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว

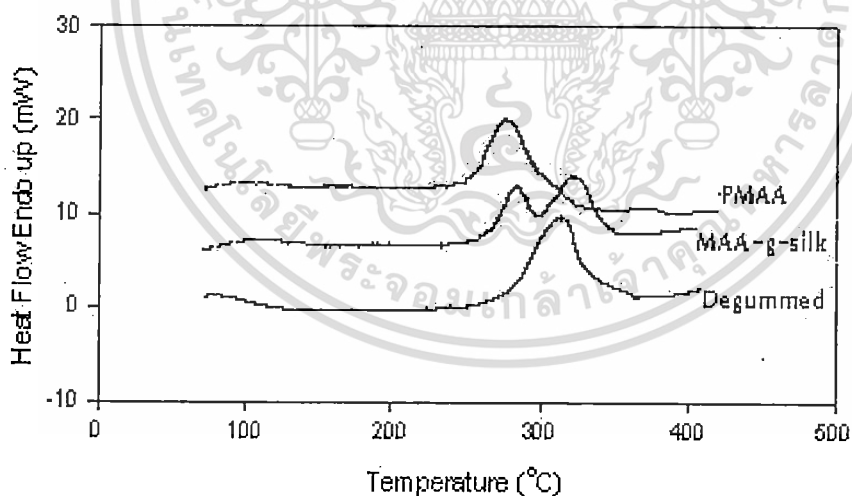
จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที (รูปที่ 4.33) พบว่าอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาวมีค่าประมาณ 313 องศาเซลเซียสตามลำดับ โดยที่อุณหภูมิในการสลายตัวนั้น คือ อุณหภูมิในการสลายตัวของไฟโบรอินในส่วนที่มีโครงสร้างเป็นแบบ เบต้าชีท [5, 17, 31, 38, 40] แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของพีค เห็นได้ว่าพีคของเส้นใยไหมดิบมีลักษณะที่กว้าง (Broad) กว่าพีคของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวและดูได้จากอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของเส้นใยไหมทั้งสองชนิดที่มีอุณหภูมิต่างกัน โดยอุณหภูมิเริ่มสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการลอกกาว คือ 274 และ 279 องศาเซลเซียสตามลำดับ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการสลายตัวของเส้นใยไหมเริ่มจากการสลายตัวของหมู่อะมิโนที่เป็นโซ่ข้างเคียง (Amino acid side chain) ตามด้วยพันธะเปปไทด์และโครงสร้างหลักที่เป็นเบต้าชีท [38] ดังนั้นในไหมดิบซึ่งมีกาวไหมที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนสายโซ่สั้น ๆ จึงมีอุณหภูมิเริ่มสลายตัวต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้ว



รูปที่ 4.35 เทอร์โมแกรมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว

4.4.2 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่ง

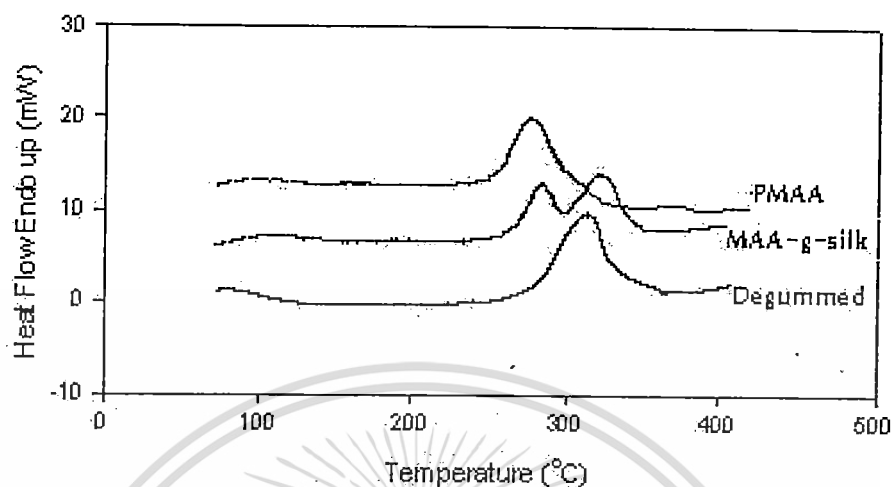
จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนโดยพิจารณาอุณหภูมิในการสลายตัวของวัสดุที่ใช้ในการต่อกิ่งก่อนผ่านกระบวนการต่อกิ่ง คือ เส้นใยไหมก่อนการต่อกิ่ง (หลังลอกขาว) พอลิเมทาคริลาไมด์ (PMAA) และพอลิเมทิลเมทาโครเลท (PMMA) มีอุณหภูมิในการสลายตัว 313 283 และ 380 องศาเซลเซียสตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 4.34 เมื่อมีการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วยเมทาคริลาไมด์ พบว่ามีพีคแสดงอุณหภูมิการสลายตัว 2 พีค คือที่ 282 และ 322 องศาเซลเซียสซึ่งแสดงให้เห็นว่าการต่อกิ่งไม่สามารถรวมเป็นเนื้อเดียวแสดงถึงความไม่สามารถในการเข้ากันได้ของเส้นใยไหมและพอลิเมทาคริลาไมด์ แต่การต่อกิ่งทำให้อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมสูงขึ้น เนื่องจากการต่อกิ่งทำให้เกิดปฏิกิริยาที่แข็งแรง (Strong interaction) ระหว่างไฟโบรอินและพอลิเมอร์ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล [31, 33, 38] เนื่องจากการต่อกิ่งทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ในส่วนที่เป็นอสังฐานของเส้นใยซึ่งเป็นเหตุผลในการยืนยันว่าการต่อกิ่งทำให้สมบัติเชิงกลของเส้นใยสูงขึ้นดังแสดงในหัวข้อที่ 4.2 และเมื่อทำการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาโครเลท พบว่ามีอุณหภูมิในการสลายตัว 2 ค่า คือ 390 และ 340 องศาเซลเซียส แสดงให้เห็นว่าการต่อกิ่งไม่สามารถทำให้โมเลกุลของเส้นใยไหมรวมเป็นเนื้อเดียวมอโนเมอร์ที่ใช้ในการต่อกิ่งเช่นกันและอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมและเมทิลเมทาโครเลทเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสามารถอธิบายเหตุผลได้เช่นเดียวกับการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์



รูปที่ 4.36 เทอร์โมแกรมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์

เมื่อศึกษาถึงผลของมอโนเมอร์แต่ละตัวที่ใช้ในการต่อกิ่งแล้ว จึงขยายการศึกษาถึงผลของอัตราส่วนระหว่างมอโนเมอร์ทั้งสองชนิดต่ออุณหภูมิในการสลายตัว พบว่าพีคที่ได้จากการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาโครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ กันนั้นปรากฏพิคแสดงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหม 3 พีค ดังตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นว่าเส้นใยไหม เมทาคริลาไมด์และเอ็กสแรนเป็นเอ็กสแรนที่สังเคราะห์ขึ้นเพื่อใช้ในการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นใบเขียวบริเวณต้นการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมทิลเมทาไครเลทไม่สามารถเข้ากันได้และอุณหภูมิจนในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังผ่านการตอ
กึ่งสูงขึ้นดังเหตุผลที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 4.37 เทอร์โมแกรมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอ กึ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท

ตารางที่ 4.10 อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมที่ผ่านการตอ กึ่ง

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

ในการย้อมสีเส้นใยไหมต้องมีการย้อมสีเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอ กึ่งด้วยเมทา
คริลาไมด์เพื่อเปรียบเทียบผลของอนุภาคสีย้อมต่อสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมและการเกิด
พันธะระหว่างโมเลกุลของสีและโมเลกุลของไฟโบรอินหรือไม่เกิดการเกิดพันธะระหว่างโมเลกุลทั้ง
สองแต่อนุภาคของสีกระจายตัวอยู่ระหว่างโมเลกุลของเส้นใยไหมหรือเกิดการย้อมทั้งสองแบบ
โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของสีแอซิดและสีเบสิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3.1 การข้อมด้วยสี่แฉด

จากสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการข้อมด้วยสี่แฉด พบว่า อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมที่ผ่านการข้อมไม่เปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 4.35 เนื่องจากการข้อมด้วยสี่แฉดทำให้โมเลกุลของสีและไฟโบรอินเกิดพันธะระหว่างกัน แต่ไม่มีผลต่อความเป็นระเบียบและความเป็นผลึกของไฟโบรอินในเส้นใยไหมจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัว

ตารางที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังข้อมด้วยสี่แฉด

ชนิดของตัวอย่าง	อุณหภูมิในการสลายตัว (องศาเซลเซียส)	
	พอลิเมทาคริลาไมด์	ไฟโบรอิน
เส้นใยไหมก่อนตอกิ่ง	-	312
เส้นใยไหมผ่านการตอกิ่ง	282	322
เส้นใยไหมก่อนตอกิ่ง+ข้อม	-	312
เส้นใยไหมผ่านการตอกิ่ง+ข้อม	285	322

4.4.3.1 การข้อมด้วยสี่เบดิก

จากสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการข้อมด้วยสี่เบดิก พบว่าการเกิดพันธะระหว่างสี่เบดิกและเส้นใยไหมไม่มีต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับการข้อมด้วยสี่แฉด ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมหลังข้อมด้วยสี่เบดิก

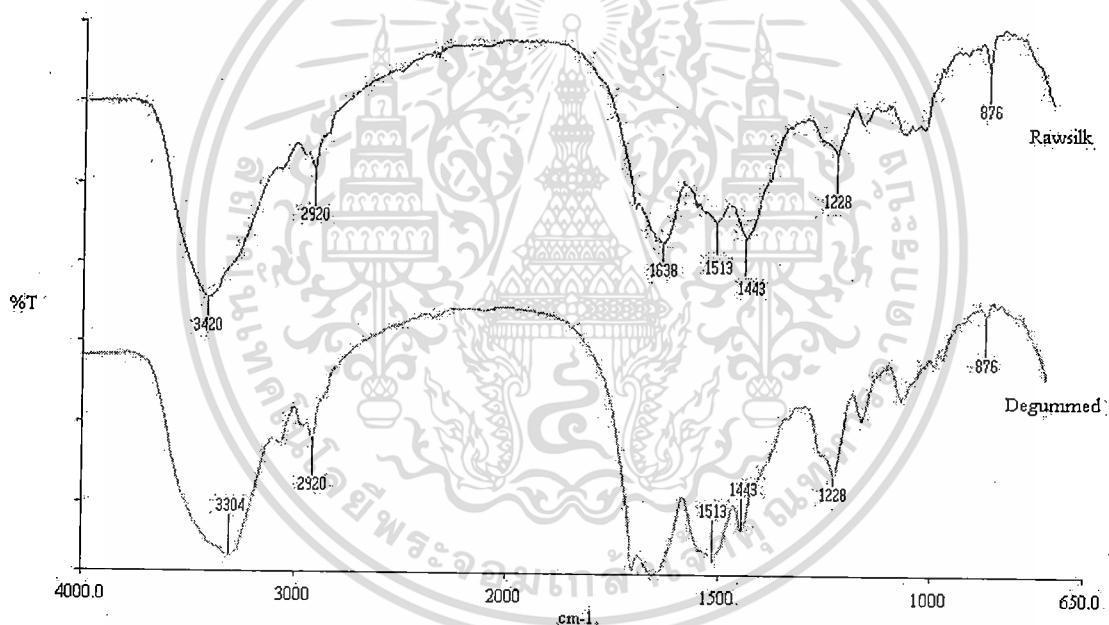
ชนิดของตัวอย่าง	อุณหภูมิในการสลายตัว (องศาเซลเซียส)	
	พอลิเมทาคริลาไมด์	ไฟโบรอิน
เส้นใยไหมก่อนตอกิ่ง	-	313
เส้นใยไหมผ่านการตอกิ่ง	282	322
เส้นใยไหมก่อนตอกิ่ง+ข้อม	-	309
เส้นใยไหมผ่านการตอกิ่ง+ข้อม	285	320

4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมี

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

4.5.1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาวดังรูปที่ 4.38 พบว่าสเปกตรัมของเส้นใยไหมดิบแสดงการดูดกลืนที่ตำแหน่งความยาวคลื่นต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.13



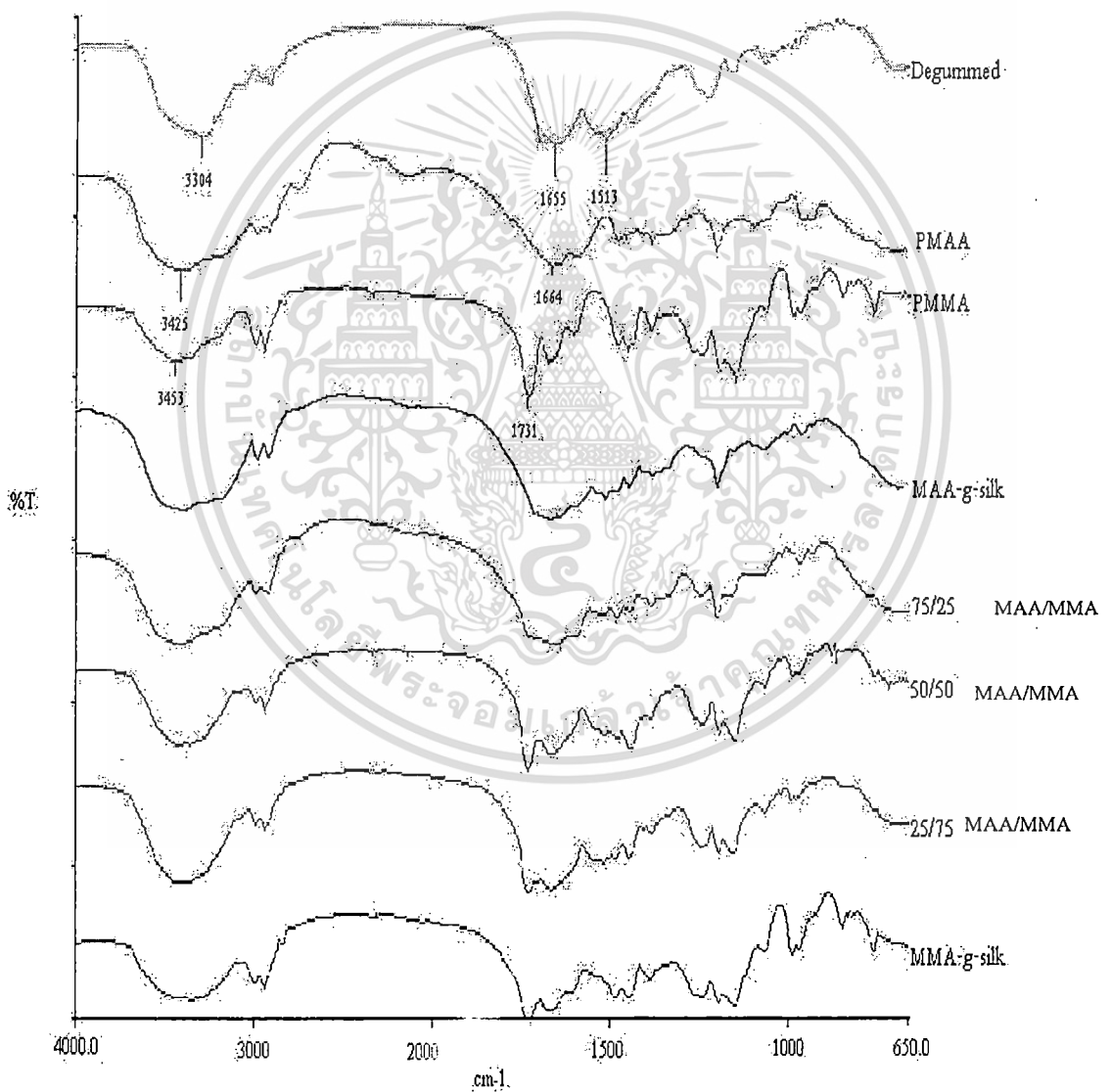
รูปที่ 4.38 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมดิบและ (ข) เส้นใยไหมหลังลอกกาว

เมื่อพิจารณาสเปกตรัมของเส้นใยไหมหลังลอกกาวพบว่าแสดงสเปกตรัมที่ตำแหน่งเดียวกันกับเส้นใยไหมดิบ 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 ช่วงการดูดกลืนของสเปกตรัมที่ปรากฏในรูปที่ 4.38

ตำแหน่งพีก (cm^{-1})	แสดงช่วงการดูดกลืนของ
3240	N-H stretching [39]
2920	C-H stretching [40]
1638	amide I [17]
1510	amide II [17]

4.5.2 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอ กิ่ง



รูปที่ 4.39 อินฟราเรดสเปกตรัมเส้นใยไหมชนิดต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการดอ กิ่งที่อัตราส่วนต่าง 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)

เมื่อพิจารณาถึงเส้นใยไหมหลังผ่านการดอ กิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าการดอ กิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์มีตำแหน่งของพีกที่เพิ่มจากสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนการดอ กิ่ง คือ 1664 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่คาร์บอนิล (Carbonyl group) ส่วนการดอ กิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทพบพีกที่เพิ่มขึ้นจากเส้นใยไหมก่อนการดอ กิ่ง คือ 1731 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึงหมู่เอสเทอร์และสเปกตรัมของเส้นใยไหมที่ดอ กิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ปรากฏสเปกตรัมเพิ่มเติมในทั้ง 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่แสดงหมู่คาร์บอนิลและหมู่เอสเทอร์ สรุปได้ว่าการดอ กิ่งทำให้โครงสร้างของเส้นใยไหมเปลี่ยนแปลงไป สังเกตได้จากพีกที่แสดงหมู่คาร์บอนิลและหมู่เอสเทอร์

4.5.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสี

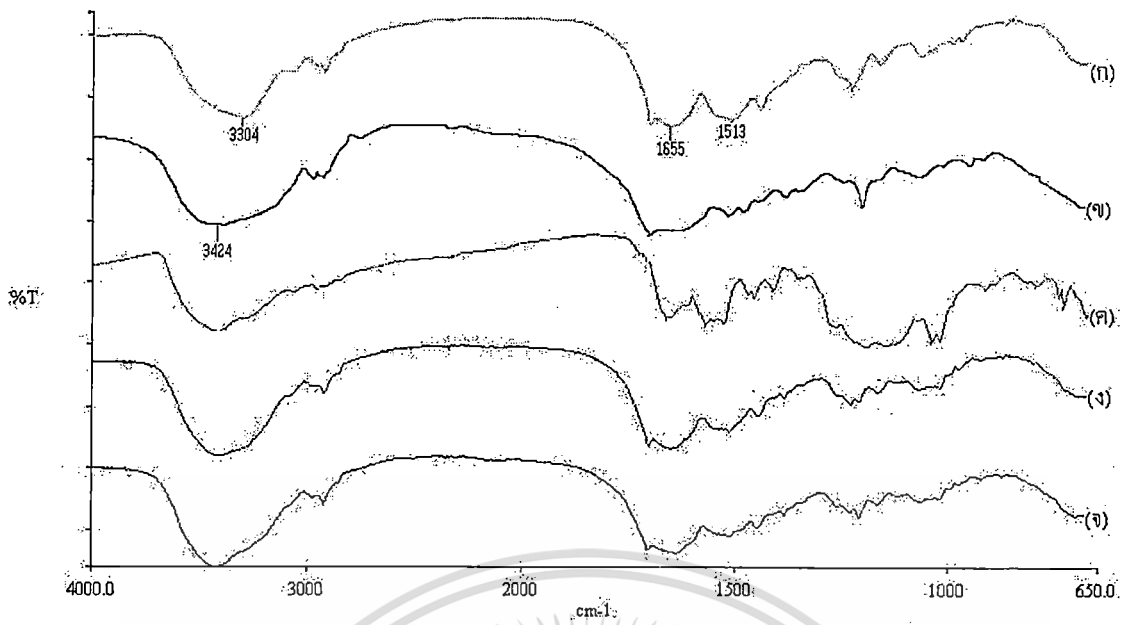
ในงานวิจัยทำการเปรียบเทียบความสามารถในการย้อมของสีแอซิดและสีเบสิก ดังนั้นการศึกษาการเปลี่ยนแปลง โครงสร้างของเส้นใยจึงต้องทำการเปรียบเทียบ โครงสร้างของเส้นใยไหม ลอกกาวและเส้นใยไหมที่ดอ กิ่งที่ย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก

4.5.3.1 การย้อมด้วยสีแอซิด

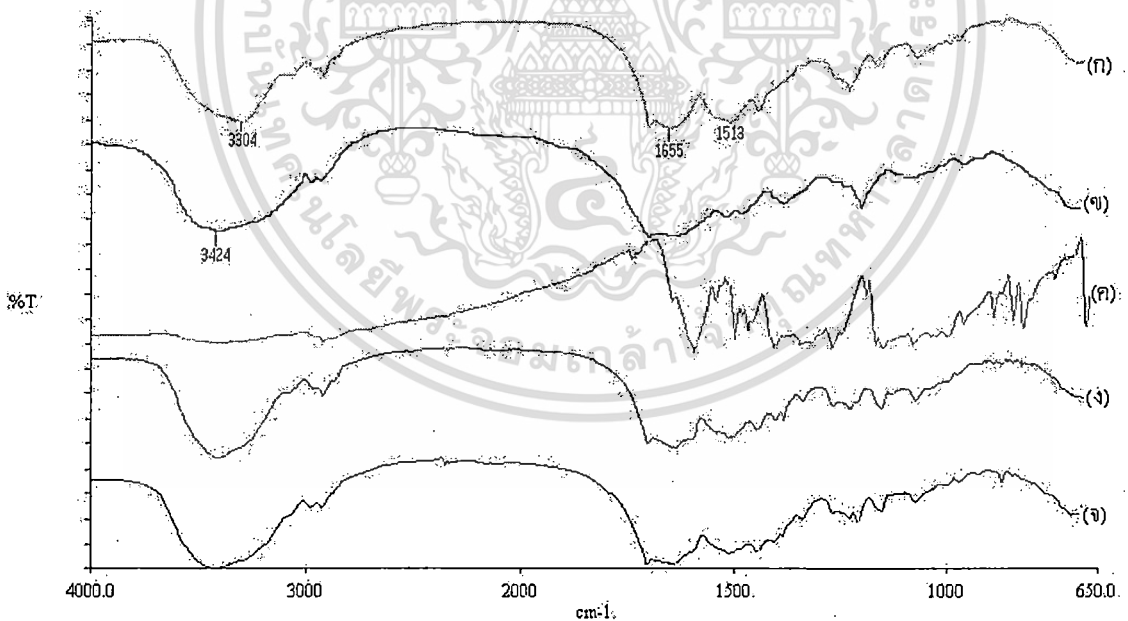
จากการสังเกตสเปกตรัมของการย้อมด้วยสีแอซิดเทียบกับเส้นใยไหมก่อนการย้อมดังรูปที่ 4.40 พบว่าโครงสร้างของเส้นใยไหมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการย้อมสีด้วยสีแอซิดจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหม

4.5.3.2 การย้อมด้วยสีเบสิก

จากการสังเกตสเปกตรัมของการย้อมด้วยเบสิกเทียบกับเส้นใยไหมก่อนการย้อมดังรูปที่ 4.41 พบว่าโครงสร้างของเส้นใยไหมไม่มีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นการย้อมสีด้วยสีเบสิกจึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหม



รูปที่ 4.40 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหม (ก) ลอกขาว (ข) ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (ค) สีแอซิด (ง) เส้นใยไหมลอกขาวและย้อมด้วยสีแอซิดและ (จ) เส้นใยไหมต่อกิ่งย้อมด้วยสีแอซิด



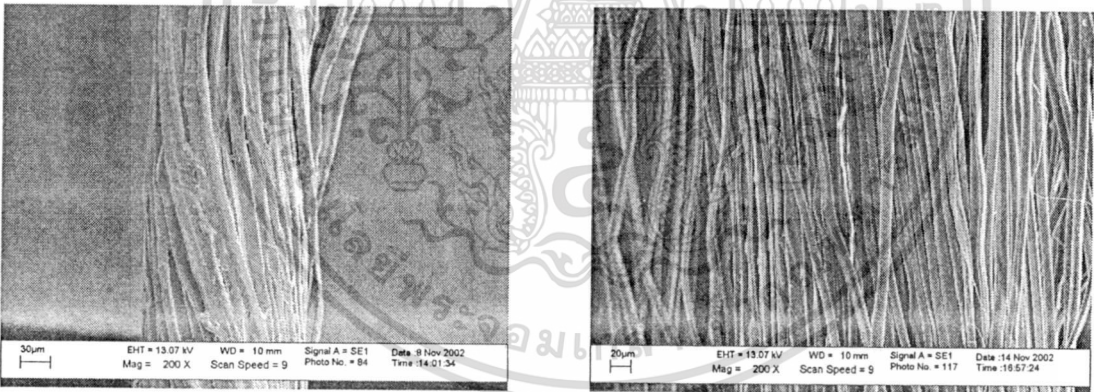
รูปที่ 4.41 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหม (ก) ลอกขาว (ข) ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (ค) สีเบสิก (ง) เส้นใยไหมลอกขาวย้อมด้วยสีเบสิกและ (จ) ต่อกิ่งย้อมด้วยสีเบสิก

4.6 ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหม

ในการศึกษาลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมโดยดูจากการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่าได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน คือ เส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาวย เส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่งและเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสี เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิวในแต่ละขั้นตอน

4.6.1 ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาว

จากลักษณะของพื้นผิวเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไฮโปคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที ดังรูปที่ 4.42 พบว่าเส้นใยไหมดิบมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบเป็นช่วง ๆ แต่ไม่สม่ำเสมอ [2, 19] เส้นใยไหมมีลักษณะเกาะรวมกันเป็นกลุ่ม เนื่องจากกาวไหมที่ปกคลุมอยู่บนพื้นผิวของเส้นใย (รูปที่ 4.42 (ก)) ส่วนลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีพื้นผิวที่เรียบและสม่ำเสมอ (รูปที่ 4.42 (ข)) เนื่องจากได้ทำการลอกกาวออกหมดแล้ว แต่เส้นใยแต่ละเส้นแยกออกจากกัน ไม่รวมกันเป็นกลุ่มเหมือนเส้นใยไหมดิบ

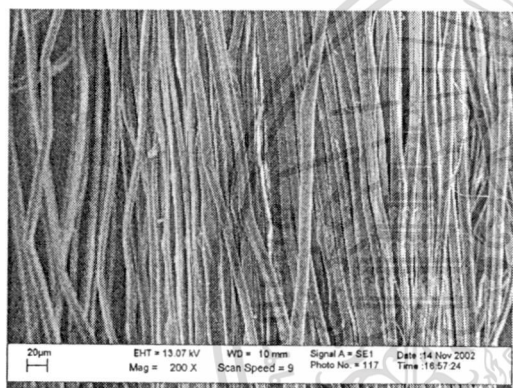


รูปที่ 4.44 ไมโครกราฟของ (ก) เส้นใยไหมดิบและ (ข) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว

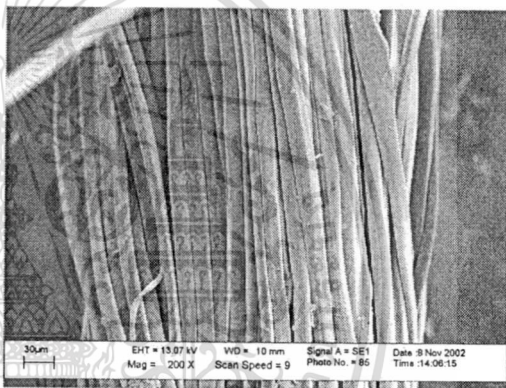
4.6.2 ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่ง

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวที่ได้จากการต่อกึ่งโดยพิจารณาถึงผลของชนิดมอนอเมอร์และอัตราส่วนระหว่างมอนอเมอร์ดังรูปที่ 4.43 พบว่าการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลลาไมด์ทำให้ได้เส้นใยไหมที่มีพื้นผิวเรียบและสม่ำเสมอ เส้นใยไหมแต่ละเส้นรวมกันเป็นกลุ่มไม่กระจายเหมือนเส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่ง เนื่องจากการต่อกึ่งนั้นเกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยไหมและเมทาคริลลาไมด์ทั้งภายในโมเลกุลและบนพื้นผิวของเส้นใยซึ่งในการเกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวทำให้เกิดเป็นฟิล์มของพอลิเมทาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

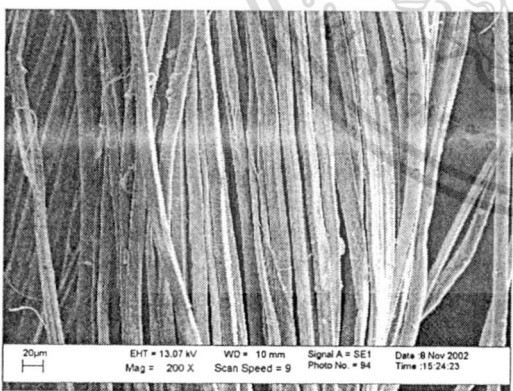
ครีลาไมด์ปกคลุมอยู่บนพื้นผิวของเส้นใย [38] เป็นผลให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่วนเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท (รูปที่ 4.43 (ง)) มีลักษณะการรวมกลุ่มของเส้นใยใหม่เช่นเดียวกับการตอกิ่งเส้นใยด้วยเมทาครีลาไมด์ แต่พื้นผิวของเส้นใยมีความขรุขระและไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเกิดพอลิเมอร์เซชันของเมทิลเมทาไครเลทเกิดเป็นกลุ่มก้อนโอลิโกเมอร์สะสมบนพื้นผิวของเส้นใย [29, 30] และเมื่อพิจารณาถึงเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอกิ่งด้วยมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลท (รูปที่ 4.43 (ค)) ที่อัตราส่วนต่าง ๆ พบว่าเส้นใยใหม่ที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นใยใหม่ที่ผ่านการตอกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท แต่ลักษณะของกลุ่มก้อนโอลิโกเมอร์ที่สะสมอยู่บนเส้นใยมีขนาดเล็กและมีความสม่ำเสมอมากกว่า เนื่องจากปริมาณของเมทิลเมทาไครเลทที่ใช้ในการตอกิ่งที่อัตราส่วนต่าง ๆ น้อยกว่าการตอกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทเพียงอย่างเดียว



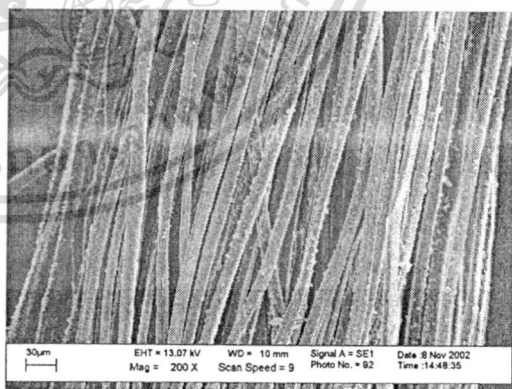
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

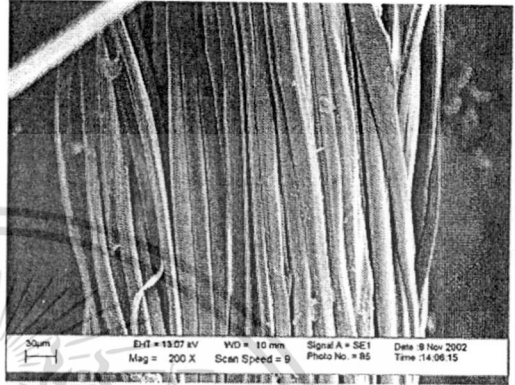
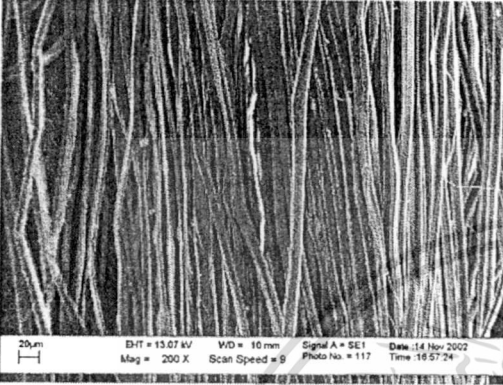
รูปที่ 4.43 ลักษณะของเส้นใยใหม่ในกระบวนการตอกิ่ง (ก) เส้นใยใหม่ก่อนผ่านกระบวนการตอกิ่ง (ข) เส้นใยใหม่หลังผ่านการตอกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์ (ค) เส้นใยใหม่หลังผ่านการตอกิ่งด้วยเมทาครีลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทและ (ง) เส้นใยใหม่หลังผ่านการตอกิ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อม

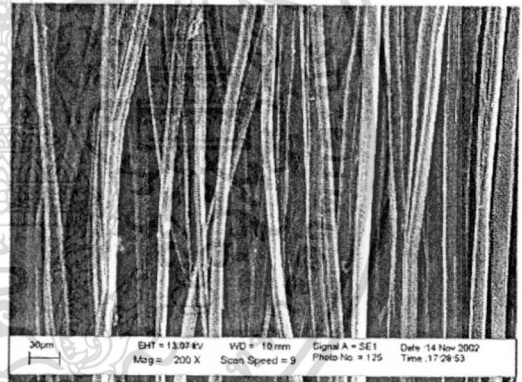
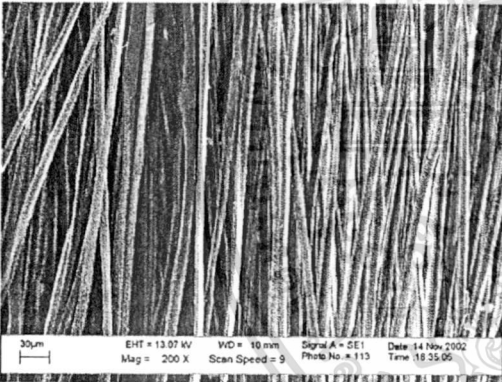
ในงานวิจัยได้ศึกษาผลของสีย้อมแอซิดและสีเบสิกต่อสมบัติของเส้นใยไหม ดังนั้นจึงศึกษาถึงสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมเพื่อคุณลักษณะของพื้นผิวเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไป โดยใช้เส้นใยไหมที่ผ่านการตอกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์

- สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีแอซิด



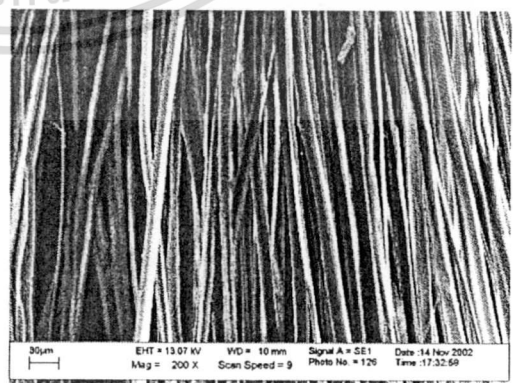
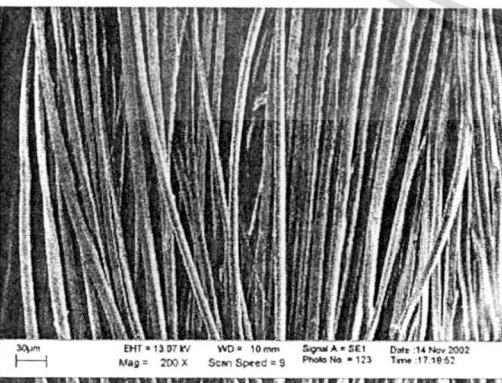
(ก)

(ง)



(ข)

(จ)



(ค)

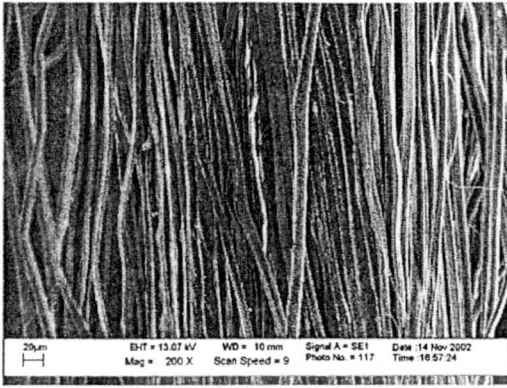
(ฉ)

รูปที่ 4.44 ลักษณะของเส้นใยไหม (ก) เส้นใยไหมหลังลอกกว ความเข้มข้นของสีย้อม (ข) 1 %

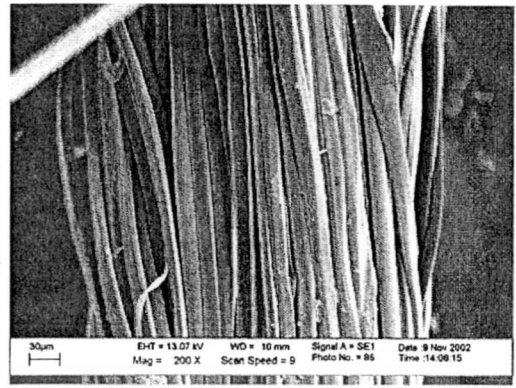
(ค) 3 % (ง) เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการตอกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ (จ) 1 % และ (ฉ) 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

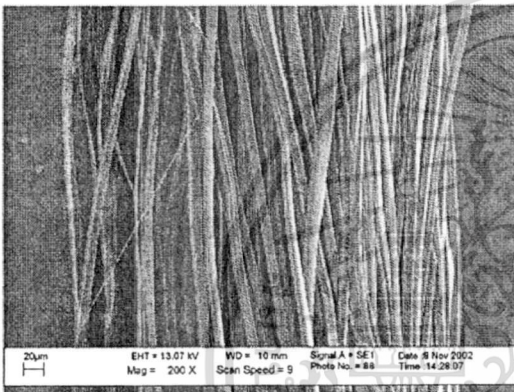
● ลักษณะวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมด้วยสีเบสิก



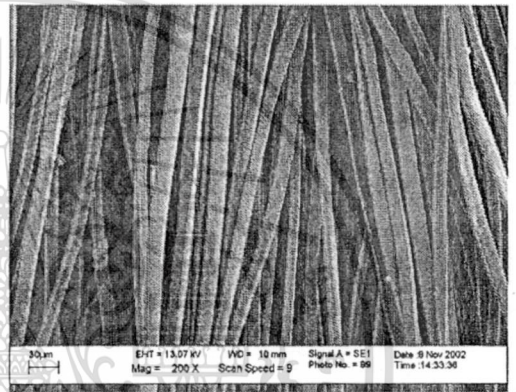
(ก)



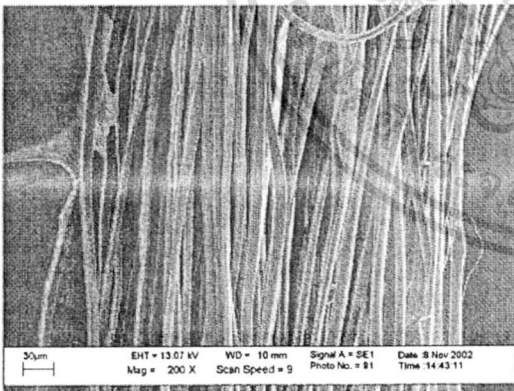
(ง)



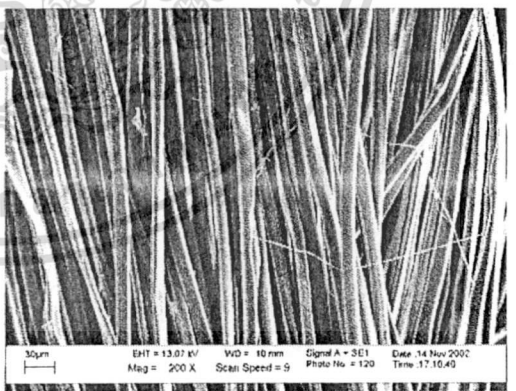
(ข)



(จ)



(ค)



(ฉ)

รูปที่ 4.45 ลักษณะของเส้นใยไหม (ก) เส้นใยไหมหลังลอกขาว ที่ความเข้มข้นของสีย้อม (ข) 1 % (ค) 3 % (ง) เส้นใยไหมหลังผ่านกระบวนการต่อกิ่งด้วยเมทาคริลลาไมด์ (จ) 1 % และ (ฉ) 3 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาหลักฐานวิทยาของเส้นใยไหมก่อนและหลังการย้อมสีดังรูปที่ 4.44-4.45 พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยไหมและไม่มีลักษณะของอนุภาคของสีย้อมบนเส้นใย ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการย้อมสีด้วยสีแอซิดและสีเบสิกไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยและการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใยไหมไม่เกิดจากการตกค้างของอนุภาคสีย้อมบนพื้นผิวของเส้นใยแต่เกิดจากพันธะระหว่างอนุภาคของสีย้อมกับ โมเลกุลของเส้นใยไหมและการดูดซับอนุภาคของสีในเส้นใยไหม



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 กระบวนการลอกกาวย

ในการพิจารณาสถานะที่เหมาะสมในการลอกกาวยควรคำนึงถึงผล 2 ข้อในการนำไปใช้งาน คือ ความสามารถในการลอกกาวยและสมบัติเชิงกล

5.1.1.1 ความสามารถในการลอกกาวย

จากการศึกษาการลอกกาวยด้วยสารเคมีชนิดต่าง ๆ คือ ไทโรเทิลเอมีน กรดทาร์ทริก โซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 80 90 และ 100 °C ช่วงเวลา 20 30 40 และ 50 นาที พบว่าความสามารถในการลอกกาวยของเส้นใยไหมเพิ่มสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการลอกกาวยเพิ่มขึ้น การลอกกาวยด้วยไทโรเทิลเอมีนให้ผลในการลอกกาวยสูงถึง 28 % ส่วนการลอกกาวยด้วย กรดทาร์ทริกให้ผลในการลอกกาวยต่ำที่สุด คือ 1-20 % ในกรณีของการลอกกาวยด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนต โซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนตให้ผลในการลอกกาวย 17 -26 % และลักษณะของเส้นใยหลังผ่านการลอกกาวยดีที่สุด คือ มีสีค่อนข้างขาว และเส้นใยไม่หยิกฟู

5.1.2 สมบัติเชิงกล

จากกระบวนการลอกกาวยพบว่า เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวยด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที ทำให้ได้เส้นใยไหมที่มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด ส่วนที่อุณหภูมิและเวลาดำกว่าสถานะนี้ความสามารถในการลอกกาวยต่ำทำให้เส้นใยไหมแข็งและเหลืองจึงไม่สามารถนำไปใช้งานได้ ส่วนการลอกกาวยด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตหรือโซเดียมคาร์บอเนตให้สมบัติเชิงกลต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ลอกกาวยด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต และการลอกกาวยด้วยโซเดียมไบคาร์บอเนตเป็นเบสที่อ่อนกว่าทำให้ความสามารถในการลอกต่ำเป็นผลทำให้สมบัติเชิงกลและลักษณะของเส้นใยไม่ดี การลอกกาวยด้วยกรดทาร์ทริกได้เปอร์เซ็นต์การลอกต่ำจึงไม่สามารถวัดสมบัติเชิงกลได้ ส่วนการลอกกาวยด้วยไทโรเทิลเอมีนให้ความสามารถในการลอกสูงที่สุด แต่สมบัติเชิงกลของเส้นใยต่ำกว่าการลอกกาวยด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมไบคาร์บอเนตและโซเดียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงเลือกสภาวะในการลอกที่เหมาะสม คือ สารละลายผสมระหว่างโซเดียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคาร์บอเนต อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งให้สมบัติเชิงกลที่ดีที่สุดและความสามารถในการลอกกาวค่อนข้างสูงสามารถนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม

5.1.2 กระบวนการต่อกึ่ง

การเลือกสภาวะในการต่อกึ่งเส้นใยไหมต้องคำนึงถึงผลการศึกษา 2 เรื่องในการเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการต่อกึ่ง คือ ความสามารถในการต่อกึ่งและสมบัติเชิงกล

5.1.2.1 ความสามารถในการต่อกึ่ง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ เมทิลเมทาไครเลทและมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่างที่อุณหภูมิ 80°C ช่วงเวลา 15-180 นาที พบว่าเส้นใยไหมมีปริมาณการเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์บนเส้นใยมากขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งนานขึ้นและเมื่ออัตราส่วนของเมทาคริลาไมด์ที่ใช้มากขึ้น สำหรับความสามารถในการต่อกึ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทน้อยกว่าเมทาคริลาไมด์ นอกจากนี้พื้นผิวเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วยสารละลายที่มีเมทิลเมทาไครเลทผสมอยู่มีลักษณะขรุขระเนื่องจากโอลิโกเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลทเกาะบนผิวเส้นใย ซึ่งความขรุขระขึ้นกับปริมาณอัตราส่วนของเมทิลเมทาไครเลทที่ใช้ในการต่อกึ่ง

5.1.2.2 สมบัติเชิงกล

เมื่อศึกษาสมบัติเชิงกลของเส้นใยหลังผ่านการต่อกึ่งด้วยมอนอเมอร์ชนิดต่าง ๆ พบว่าความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัส มีแนวโน้มสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงเทนาซิตีของเส้นใยไหมมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากการต่อกึ่งทำให้เกิดพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยเป็นผลให้น้ำหนักและพื้นที่หน้าตัดของเส้นใยเพิ่มขึ้น ส่วนความสามารถในการยึดมีแนวโน้มลดลงและเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาที ให้ผลของสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด คือ เทนาซิตีและความแข็งแรงสูง ความสามารถในการยึดและมอดุลัสใกล้เคียงกับเส้นใยไหมก่อนการต่อกึ่งซึ่งแสดงถึงเส้นใยมีความแข็งแรงและความยืดหยุ่นดี ส่วนเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วยเมทิลเมทาไครเลทหรือเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลท ที่อัตราส่วนต่าง ๆ ของเส้นใยมีสมบัติเชิงกลที่ไม่ดี คือ ความแข็งแรงดึงและมอดุลัสสูงขึ้น ในขณะที่ความสามารถในการยึดและเทนาซิตีมีแนวโน้มลดลง

ดังนั้นเมื่อนำผลทั้ง 2 เรื่องมาพิจารณา คือ ความสามารถในการต่อกึ่งและสมบัติเชิงกลเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการต่อกึ่งให้ได้เส้นใยไหมที่มีความสามารถในการต่อกึ่งและสมบัติเชิงกล

สูงได้ คือ การต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ ที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 15 นาทีซึ่งทำให้มีปริมาณพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น 70 %

5.1.3 กระบวนการย้อมสี

5.1.3.1 ความสามารถในการย้อมติดสี

จากการศึกษาน้ำหนักของสีที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย พบว่าน้ำหนักของสีย้อมที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใยแต่ละชนิดมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าการต่อกิ่งเส้นใยใหม่ด้วยเมทาคริลาไมด์ไม่ทำให้ความสามารถในการย้อมติดสีเปลี่ยนแปลง สิ่งที่มีผลต่อการย้อมติดสี คือ ความเข้มข้นของน้ำย้อมและชนิดของสี ดังนั้นเมื่อความเข้มข้นของน้ำย้อมมากขึ้น ความสามารถในการย้อมติดสีดีขึ้นทั้งในกรณีของสีแอซิดและสีเบสิก สำหรับการศึกษากการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสง พบว่าเส้นใยใหม่ก่อนการต่อกิ่งมีการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการดูดกลืนแสงมากกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่ง เนื่องจากเส้นใยใหม่ก่อนการต่อกิ่ง (ผ่านการลอกขาว) มีช่องว่างระหว่างเส้นใยมากกว่าทำให้อนุภาคของสีย้อมในน้ำย้อมแทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใย แต่เนื่องจากอนุภาคของสีที่แทรกตัวอยู่ระหว่างเส้นใยบางส่วนไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสีย้อมและเส้นใยใหม่ ดังนั้นเมื่อล้างน้ำสะอาดจึงทำให้อนุภาคของสีย้อมที่ไม่เกิดแรงยึดเหนี่ยวกับเส้นใยหลุดออกไป

5.1.3.2 สมบัติเชิงกลของเส้นใย

เมื่อนำเส้นใยใหม่ก่อนและหลังต่อกิ่งด้วยอะครีไมด์มาย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกไม่ส่งผลให้สมบัติเชิงกลของเส้นใยเปลี่ยนแปลง เนื่องจากอนุภาคของสีที่ใช้ในการย้อมไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยซึ่งส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยใหม่

5.1.3.3 ความคงทนของสี (Color fastnesses)

เส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่งมีระดับความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ไม่ผ่านการต่อกิ่ง เส้นใยใหม่ทั้งก่อนและหลังผ่านการต่อกิ่งเมื่อย้อมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีเบสิก สำหรับความคงทนของสีต่อเหงื่อ พบว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกขาวและการต่อกิ่งที่ย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกมีความคงทนของสีต่อเหงื่อที่เป็นกรดและเบสค่อนข้างต่ำ เส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีต่อเหงื่อสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีเบสิก นอกจากนี้ความคงทนของสีต่อแสงเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกขาวและการต่อกิ่งที่ย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกมีความคงทนของสีต่อแสงค่อนข้างสูง เส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีเบสิก ส่วนการวัดการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยใหม่ที่ผ่านการต่อกิ่งแล้วย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกมีแนวโน้มของค่า L^* และ b^* มากกว่าเส้นใยใหม่ที่ไม่ผ่านการต่อกิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

5.1.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาว พบว่าอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีค่าประมาณ $313\text{ }^{\circ}\text{C}$ คือ อุณหภูมิในการสลายตัวของไฟโบรอิน แสดงว่าการลอกกาวไม่ทำให้โครงสร้างของไฟโบรอินเปลี่ยนแปลง ส่วนการตอกลงเป็นผลให้อุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมสูงขึ้น เนื่องจากการตอกลงทำให้เกิดปฏิกิริยาที่แข็งแรง (Strong interaction) ระหว่างไฟโบรอินและพอลิเมอร์ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลและทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ในส่วนที่เป็นอสัณฐานของเส้นใย จากการข้อมติเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ผ่านการตอกลงด้วยฮีแอซิดและฮีเบสิก พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังผ่านกระบวนการข้อมติ

5.1.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใย

เส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมหลังผ่านการลอกกาวแสดงสเปกตรัมที่ตำแหน่งเดียวกัน แสดงว่าการลอกกาวไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยไหม สำหรับการตอกลงทำให้ตำแหน่งสเปกตรัมของเส้นใยไหมเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนการตอกลง คือ การตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์มีตำแหน่งพิกที่แตกต่างไปจากเส้นใยไหมก่อนตอกลงที่ 1664 cm^{-1} ซึ่งแสดงถึง C-O stretching และเส้นใยไหมที่ตอกลงด้วยเมทิลเมทาไครเลทมีพิกที่ตำแหน่งแตกต่างไปจากเดิม คือ 1731 cm^{-1} แสดงถึงหมู่เอสเตอร์ (Ester group, O-C=O) ส่วนเส้นใยไหมที่ตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทแสดงพิกทั้ง 2 ตำแหน่ง คือ 1664 และ 1731 cm^{-1} และจากสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการข้อมด้วยฮีแอซิดและฮีเบสิก พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเส้นใยจากการข้อมติ

5.1.6 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม

ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาวมีลักษณะต่างกัน คือ เส้นใยไหมดิบมีพื้นผิวเรียบเป็นช่วง ๆ แต่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากกาวไหมที่ปกคลุมอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหม ส่วนเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีพื้นผิวที่เรียบและสม่ำเสมอไม่มีกาวไหมปกคลุมบนพื้นผิว ส่วนเส้นใยไหมที่ตอกลงด้วยเมทาคริลาไมด์มีลักษณะพื้นผิวเรียบและสม่ำเสมอ เนื่องจากเกิดฟิล์มของพอลิเมทาคริลาไมด์ปกคลุมบนพื้นผิวของเส้นใย ส่วนการตอกลงด้วยเมทิลเมทาไครเลทและเมทาคริลาไมด์ผสมเมทิลเมทาไครเลทที่อัตราส่วนต่าง ๆ ทำให้พื้นผิวของเส้นใยไหมขรุขระและไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันของเมทิลเมทาไครเลทเกิดเป็นโพลิโอมเมอร์สะสมบนผิวของเส้นใย นอกจากนี้จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของการข้อมด้วยฮีแอซิดและฮีเบสิก พบว่าอนุภาคของฮีไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงบนพื้นผิวของเส้นใย

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 5.2.1 ศึกษาหาชนิดของตัวกลางที่ใช้ในการต่อกิ่งที่สามารถเข้าได้ดีกับเมทาคริลาไมด์และเมทิลเมทาไครเลทเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด โอลิโกเมอร์ของเมทิลเมทาไครเลทบนพื้นผิวของเส้นใย
- 5.2.2 ศึกษาชนิดของมอนอเมอร์ที่สามารถละลายได้ดีในน้ำเช่นเดียวกับเมทาคริลาไมด์เพื่อให้การพอลิเมอไรเซชันเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ
- 5.2.3 ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติไปใช้ประโยชน์ในงานด้านต่าง ๆ



เอกสารอ้างอิง

1. วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ. 2537. TS 1340
2. มินากาวะ, โมโตอิ. วิทยาการไหม. แปลโดย เข็มชัย เหมะจันทร์และเออีอิชิ คาวาอิ. คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมการค้าส่งออก. กรุงเทพฯ. 2530.
3. P. Munk, in "Introduction to Molecular Science", John Wiley & Sons, Singapore, 1990. 1665 2122
4. F. Sadov, M. Rorchagin and A. Matetsky, in "Chemical Technology of Fibrous Materials", MIV Publisher, England, 1973.
5. M. Lewin, E. M. Pierce and M. Dekker, in "Handbook of Fibre Science and Technology", New York, 1985.
6. นฤมล ศรีวิฑูรย์และวัลยา ศรีสง่า. "การเตรียมใยโครเจลจากพอลิไวนิลแอลกอฮอล์และเส้นไหมเหลือทิ้ง" โครงการพิเศษภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
7. มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์. เคมีพอลิเมอร์. พิมพ์ครั้งที่ 3 ใน คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2540.
8. ไพโรจน์ กลิ่นพิทักษ์. เคมีพอลิเมอร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปัตตานี. 2539.
9. กาวี ศรีกุลกิจ. "หลักการย้อมสีสิ่งทอ" Colourway, 33 (2001) 14-17.
10. อังฉราพร ไสละสุตม. คู่มือการย้อมสี. อักษรบัณฑิต. กรุงเทพฯ. 2517.
11. "ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการวัดสี" ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขากรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. 2538.
12. กาวี ศรีกุลกิจ. "หลักการย้อมสีสิ่งทอ" 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 fibres treated with methacrylamide", J. Appl. Polym. Sci., 61 (1996) 1359-1364.
15. Y. Kawahara, M. Shioya and A. Takaku, "Influence of swelling of noncrystalline region in silk fibres modification with methacrylamide", J. Appl. Polym. Sci., 61 (1996) 1359-1364.
16. M. Tsukada, "Structural characteristics of 2-hydroxyethylmethacrylate (HEMA)/methacrylamide (MAA)-grafted silk fibres", J. Appl. Polym. Sci., 38 (1988) 2133-2140.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. M. Tsukada, "Characterisation of methacrylonitrile-grafted silk fibres", *J. Appl. Polym. Sci.*, 39 (1990) 1289-1297.
18. M. Tsukada, T. Yamamoto, N. Nakabayashi, H. Ishikawa and G. Freddi, "Grafting of methacrylate onto silk fibres initiated by tri-n-buthylborane", *J. Appl. Polym. Sci.*, 43 (1991) 2115-2121.
19. M. Tsukada, G. Freddi, M. Matsumura, H. Shiozaki and N. Kasai, "Physical properties and dyeability of silk fibres modified with ethoxyethylmethacrylate polymer", *J. Appl. Polym. Sci.*, 44 (1992) 799-805.
20. M. Tsukada, T. Imai, G. Freddi, S. Lenka and N. Kasai, "Grafting vinyl monomers onto *silk* (*Bombyx mori*) using redox system: Yellowing of silks", *J. Appl. Polym. Sci.*, 69 (1998) 239-246.
21. M. Tsukada, T. Imai, G. Freddi, S. Lenka and N. Kasai, "Grafting vinyl monomers onto *silk* (*Bombyx mori*) using different initiators; Properties of grafted silks", *J. Appl. Polym. Sci.*, 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", *J. Appl. Polym. Sci.*, 67 (1997) 1703-1711.
23. G. Freddi, M. R. Massafra, S. Beretta, Y. Gotoh, H. Yasui and M. Tsukada, "Structural and properties of *Bombyx mori* silk fibres grafted with methacrylamide and 2-hydroxyethylmethacrylate", *J. Appl. Polym. Sci.*, 60 (1996) 1867-1876.
24. D. L. Dunaway, B. L. Thiel and C. Viney, "Tensile mechanical properties evaluation of natural and epoxide-treated silk fibres", *J. Appl. Polym. Sci.*, 58 (1995) 675-683.
25. ASTM D2130-90, Standard test method for diameter of wool and other animal fibres by microprojection, 1999.
26. ASTM D 276-87, Standard test method for identification of fibres in textiles, 1999.
27. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสิ่งทอ ความคงทนของสี ส่วนอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำนักพัฒนาอุตสาหกรรมรายสาขา กรมส่งเสริมอุตสาหกรรมสิ่งทอ 2538.
28. T. Fruzono, K. Ishihara, N. Nakabayashi and Y. Tamada, "Chemical modification of silk fibroin with 2-methacryloylethyl phosphorylcholine II. Graft polymerisation onto fabric through 2-methacryloylethyl isocyanate and interaction between fabric and platelets", *Biomaterials*, 21 (2000) 327-333.
29. M. Tsukada, "Characterisation of methyl methacrylate-grafted silk fibres", *J. Appl. Polym. Sci.*, 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 fibres", *J. Appl. Polym. Sci.*, 44 (1992) 2197-2202.
31. M. Tsukada, M. Obo, H. Kato, G. Freddi and F. Zanetti, "Structural and dyeability of *Bombyx mori* silk fibres with different filament sizes", *J. Appl. Polym. Sci.*, 60 (1996) 1619-1627.
32. M. Tsukada, G. Freddi, P. Monti, A. Bertoruzza and H. Shiozaki, "Physical properties of 2-hydroxyethyl methacrylate-grafted silk fibres", *J. Appl. Polym. Sci.*, 49 (1993) 1835-1844.
33. M. Tsukada, N. Kasai and G. Freddi, "Structural analysis of methyl methacrylate-grafted silk fibres", *J. Appl. Polym. Sci.*, 50 (1993) 885-890.
34. M. Tsukada, Y. Goto, G. Freddi, H. Shiozaki and H. Ishikawa, "Chemical modification of silk with itaconic anhydride", *J. Appl. Polym. Sci.*, 45 (1992) 1719-1725.
35. T. Arai, H. Ishikawa, G. Freddi, S. Winkler and M. Tsukada, "Chemical modification of *Bombyx mori* silk using isocyanates", *J. Appl. Polym. Sci.*, 79 (2001) 1756-1763.
36. M. Tsukada, M. Nagura, H. Ishikawa and H. Shiozaki, "Structural characteristics of silk fibres treated with epoxides", *J. Appl. Polym. Sci.*, 43 (1991) 643-649.
37. M. Tsukada, G. Freddi, Y. Ishiguro and Shiozaki, "Structural analysis of methacrylamide grafted silk fibres", *J. Appl. Polym. Sci.*, 50 (1993) 1519-1527.
38. L. G. Wade, in "Organic chemistry", Prentice Hall, 3rd ed., 1993.
39. H. Somashekarappa, V. Annadurai, G. Subramanya and R. Somashekar, "Structure-property relation in varieties of acid dye processes silk fibres", *Mater. Lett.*, 53 (2002) 415-420.
40. M. Tsukada, G. Freddi, M. R. Massafra and S. Beretta, "Structure and properties of Tussah silk fibres grafted-copolymerised with methacrylamide and 2-hydroxyethyl methacrylate", *J. Appl. Polym. Sci.*, 67 (1998) 1393-1403.
41. G. Freddi, M. Tsukada and S. Beretta, "Structure and physical properties of silk fibroin/polyacrylamide blend films", *J. Appl. Polym. Sci.*, 71 (1991) 1563-1571.