

รายงานผลการวิจัย
ฉบับสมบูรณ์

เรื่อง

การปรับปรุงสมบัติของไหมสำหรับงานด้านสิ่งทอ
ด้วยการตัดแปรรทางเคมี



T075883

โดย

ผศ.ดร. จุฑารัตน์ ปรัชญาวารากร

RCH

SF

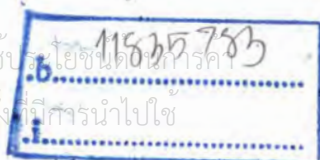
557

0131ก

เลขหมู่..... 0-1
เลขทะเบียน..... 75883
วัน,เดือน,ปี..... 12 พ.อ. 2550

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนการวิจัยโดย
สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ประจำปีงบประมาณ 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมด้วยวิธีการตอกกึ่งกับเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate, MMA) และเมทาคริลามิด (Methacrylamide, MAA) ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่งด้วย MMA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 เส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำกับตัวทำละลายผสมเป็น 25:75 และเส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่งด้วย MMA/MAA ในตัวทำละลายผสมเป็น 25:75 ให้สมบัติเชิงกลและสัญญาณวิทยาที่ดีขึ้น เส้นใยไหมที่ตอกกึ่งได้นำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) พบว่าเมื่อทำการตอกกึ่ง เส้นใยที่ได้มีหมู่ฟังก์ชันที่เป็นลักษณะเฉพาะของมอนอเมอร์ซึ่งนำมาใช้ในการตอกกึ่ง จากการวิเคราะห์ทางความร้อนด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก (Thermal Gravimetric, TGA) และเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงขึ้น นอกจากนี้เส้นใยที่ทำการตอกกึ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำให้ค่าความสามารถในการดูดซับความชื้นสูงสุด ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่งให้ ความคงทนต่อการดัดและด่างสูงขึ้น ยกเว้นเส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่งด้วย MAA ที่เปอร์เซ็นต์การตอกกึ่งสูงๆ ให้ความคงทนต่อด่างที่ลดลง นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ศึกษาถึงความสามารถในการดูดซับสีและความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ โดยสีย้อมที่เลือกนำมาศึกษา คือ สีสังเคราะห์ ได้แก่ สีย้อมแอซิดกับสีเบสิก และสีย้อมธรรมชาติซึ่งเป็นสารให้สีจากไขมัน พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่ง มีความสามารถในการดูดซับสีและสมบัติความคงทนของสีย้อม เช่น ความคงทนต่อแสง ความคงทนต่อการซักและความคงทนต่อเหงื่อสูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกทาว

ABSTRACT

This thesis proposed to modify properties of silk by grafting with methylmethacrylate (MMA) and methacrylamide (MAA) in mixture solution between water and ethanol. It was found that MMA-grafted silk in solution mixture of 25:75 and 0:100 water : ethanol, MAA-grafted silk in aqueous solution and in solution mixture of 25:75 and MMA/MAA-grafted silk in solution mixture of 25:75 presented improved mechanical and morphological properties. All the grafted silk fibers were analyzed by FTIR and the characteristic functionalities of monomer grafted onto the silks were obtained. From TGA and DSC techniques, the results revealed that MMA-, MAA- and MMA/MAA-grafted silk fibers showed improved thermal stability. Besides, MAA-grafted silk fibers in water media showed the highest moisture regain. Furthermore, all the grafted silk fibers displayed greater acid and alkaline resistances excepted for MAA-grafted silk fibers at high graft level. Moreover, dyeability and color fastness were studied in different conditions. The dyestuff chosen to study were acid dye, basic dye and natural dye extracted from curcumin (*Curcuma longa*). It was found that silk fibers grafted by MMA, MAA and MMA/MAA exhibited greater dyeability and color fastness properties such as light fastness, water fastness and perspiration fastness than the degummed silk.

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำรายงานฉบับนี้สำเร็จลงได้เนื่องจากการได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก
เงินงบประมาณแผ่นดิน สภาวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2548

ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณสุรินทร์ ศุภสวัสดิ์พันธ์ ผู้จัดการโรงงาน จิมทอมป์สัน
ประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยไหมที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ คุณคมกฤช ทำเสน บริษัท Ciba Specialty Chemical Industry ที่ให้
ความอนุเคราะห์สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ ผู้อำนวยการกรมส่งเสริมอุตสาหกรรมสิ่งทอ ที่ให้ความช่วยเหลือและให้
ความอนุเคราะห์ในการทดสอบความคงทนของสี

และขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ประจำศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ที่ให้อำนวยความสะดวก
ในการใช้กล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผศ.ดร.จุฑารัตน์ ปรัชญาวรากร

นายวัฒนา คล้ายรัศมี

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ไหม (Silks).....	4
2.2 โครงสร้างของไหม (Structure of Silks).....	5
2.3 สมบัติของไหม (Properties of Silks).....	9
2.4 การปรับปรุงเส้นใยไหมโดยวิธีทางเคมี (Chemical Treatment of Silks).....	10
2.5 การย้อมสี (Dyeing).....	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 การวิจัยและการดำเนินงาน	
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้.....	23
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ.....	23
3.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	24
3.4 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางด้านต่างๆ ของเส้นใย.....	28
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง	
4.1 การลอกกาวและการตอกิ่ง.....	34
4.2 ลักษณะภายนอกของเส้นใย.....	35
4.3 สันฐานวิทยา.....	38
4.3.1 สันฐานวิทยาของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว.....	38

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.2	สัณฐานวิทยาของเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวและการตอกกิ่งด้วย ไวนิลมอนอเมอร์.....	39
4.4	ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายผสมที่มีต่อกระบวนการตอกกิ่ง.....	44
4.4.1	ความสามารถในการตอกกิ่ง.....	44
4.4.2	สมบัติเชิงกลของเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกกิ่ง MMA และ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล.....	45
4.5	การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีการทางเคมี.....	50
4.5.1	เส้นใยใหม่ก่อนและหลังลอกกาว.....	50
4.5.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการตอกกิ่งด้วย ไวนิลมอนอเมอร์ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลอัตราส่วน 25:75.....	51
4.5.2	อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการตอกกิ่งด้วย ไวนิลมอนอเมอร์ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลอัตราส่วน 25:75.....	53
4.6	สมบัติทางความร้อนของเส้นใย.....	55
4.6.1	อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการลอกกาว.....	55
4.6.2	อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยใหม่ลอกกาวกับเส้นใยใหม่ที่ตอกกิ่งด้วย ไวนิลมอนอเมอร์.....	56
4.6.3	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังลอกกาว.....	59
4.6.4	สมบัติทางความร้อนของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังลอกกาวกับ ก่อนและหลังการตอกกิ่งด้วยมอนอเมอร์.....	60
4.7	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี.....	62
4.7.1	ความสามารถในการดูดซับความชื้น.....	62
4.7.2	ความทนทานต่อกรดและด่าง.....	63
4.8	กระบวนการย้อมสี.....	66
4.8.1	ความสามารถในการย้อมสี.....	66
4.9	การวัดการเปลี่ยนแปลงสี.....	69
4.9.1	เส้นใยใหม่ที่ทำการย้อมด้วยสีสังเคราะห์.....	70
4.9.2	เส้นใยใหม่ที่ทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ.....	71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.10 การทดสอบความคงทนของสี.....	74
4.10.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงขึ้นอนอาร์ก).....	74
4.10.2 การทดสอบความคงทนต่อการซัก.....	79
4.10.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ.....	85
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	91
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	94
เอกสารอ้างอิง.....	95



บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

อุตสาหกรรมสิ่งทอจัดเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยเป็นอย่างมาก โดยผลิตภัณฑ์สิ่งทอได้เข้ามามีบทบาททั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน ซึ่งวัตถุดิบที่จัดว่ามีความสำคัญและเป็นหัวใจในการผลิตผลิตภัณฑ์สิ่งทอเหล่านี้ก็คือเส้นใย โดยในบรรดาเส้นใยสัตว์ เส้นใยที่มีบทบาทและมีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศไทยมากที่สุด ได้แก่ เส้นใยไหม

ปัจจุบันการเลี้ยงไหมในประเทศไทยพบมากในแถบตะวันออกเฉียงเหนือ โดยพันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีและรัฐบาลไทยได้ส่งเสริมให้ประชาชนปลูกเลี้ยงกันมาก คือ พันธุ์บอมบิกซีโมริ (*Bombyx mori*) ซึ่งผ้าไหมและผลิตภัณฑ์ไหมที่ทำขึ้นจากเส้นไหมเหล่านี้ มีลักษณะสวยงาม มั่นคง มีผิวที่เรียบ อ่อนนุ่ม ทนทาน มีลักษณะยืดหยุ่นที่ดี เนื่องจากไหมมีโครงสร้างที่มีความเป็นผลึกสูงและมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถดูดซับความชื้นได้ดี จึงสามารถทำการย้อมสีหรือพิมพ์ด้วยสีชนิดต่างๆ ได้มากมายหลายชนิด โดยเฉพาะสีย้อมพวกที่มีเจดสีที่สดใส แต่ไหมมีข้อเสีย คือ เมื่อมีการใช้สารซักฟอกทำความสะอาด โดยเฉพาะสารประกอบของพวกเปอร์ออกไซด์จะทำให้ไหมมีความแข็งแรงและความเหนียวลดลง ตลอดจนความร้อนจากเตารีด (โดยเฉพาะที่อุณหภูมิ 170 °C) และแสงแดดก็เป็นสาเหตุที่ทำให้เส้นไหมมีความแข็งแรงลดลง และเปลี่ยนเป็น สีเหลือง ซึ่งเกิดจากการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีนที่เป็นโครงสร้างหลักของเส้นใยไหม [1]

ก่อนนำไหมไปใช้งานต้องทำการลอกกาวยืดติดเส้นใยไหมออกก่อน หลังจากนั้นจึงนำไปปรับปรุงด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical modification) ซึ่งนิยมทำการต่อกิ่ง (Grafting) เส้นใยด้วย ไวนิลมอนอเมอร์หรือเรซิน [2] ได้แก่ สไตรีน (Styrene), เมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate, MMA) เมทาคริลามาไมด์ (Methacrylamide, MAA) 2-ไฮดรอกซีเมทาไครเลต (2-Hydroxymethacrylate, HEMA) และอีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) เป็นต้น [2-6] เพื่อทำให้เส้นใยไหมที่ได้มีสมบัติเชิงกลบางอย่างที่ดี มีน้ำหนักเพิ่มขึ้น มีความทนทานต่อการยับ และสามารถรับสีย้อมบางชนิดได้ดี เช่น สีย้อมแอซิด และสีย้อมดิสเพิร์ส แต่เส้นใยไหมที่ได้จากการตกแต่งโดยใช้ กระบวนการเคมีดังกล่าวก็ยังมีข้อบกพร่องบางประการเหลืออยู่ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของไวโนลมอนอเมอร์ที่เลือกมาใช้ในการตกแต่งสำเร็จเส้นใยไหม เช่น ในการตกแต่งสำเร็จเส้นใยไหมโดยใช้ สไตรีน พบว่าเส้นใยที่ได้ถึงแม้จะรับสีย้อมประเภทดิสเพิร์สได้ดี แต่เส้นใยที่ได้ก็มีความแข็งกระด้าง ทำให้มีความสามารถในการสัมผัสที่ไม่ดี [2] ส่วนเส้นใยที่ได้จากการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต (MMA) พบว่าเส้นใยที่ได้มีความมันเงาลดลง และที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงๆ มักจะมีเม็ดเล็กๆ (Granule) ที่เกิดจากโอลิโกเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดนี้เกาะอยู่ที่พื้นผิวของเส้นใย [3] ในขณะที่เส้นใยที่ทำการต่อกิ่งด้วย เมทาคริล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมด์ (MAA) มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลง ในขณะที่ความแข็งแรงของเส้นใยและความคงทนต่อความร้อนไม่มีการเปลี่ยนแปลง [4]

ปัจจุบันข้อมูลและความเข้าใจเกี่ยวกับสมบัติของไหมที่ได้ในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการผลิต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการปรับปรุงด้วยวิธีการทางเคมี ตั้งแต่การลอกกาบ การตกแต่งและปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยมอนอเมอร์หรือเรซินไปจนถึงขั้นตอนการย้อมสีนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก นอกจากจะเป็นข้อมูลสำคัญที่ช่วยในการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดีขึ้นแล้ว ยังช่วยให้ผู้ผลิตสามารถที่คาดการณ์และควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้เส้นใยและผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ตรงกับความต้องการของตลาดได้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล สัณฐานวิทยา ความสามารถในการย้อมติดสีและความคงทนของสีจากการย้อมสีด้วยย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์ของเส้นไหมพื้นเมืองพันธุ์บอมบิกซ์มอริ ทั้งก่อนและหลังการตอกกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ ซึ่งไวนิลมอนอเมอร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ เมทิลเมทาคริเลต (MMA) เมทาคริลิลาไมด์ (MAA) และมอนอเมอร์ผสมระหว่างเมทิลเมทาคริเลต/เมทาคริลิลาไมด์ (MMA/MAA) โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลายสำหรับมอนอเมอร์ดังกล่าว ซึ่งคาดว่าเส้นใยที่ผ่านการตอกกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์เหล่านี้จะช่วยทำให้สมบัติบางอย่างดีขึ้น เช่น มีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น มีความสามารถในการสัมผัสที่ดีและสามารถลดการเกิดเม็ดเล็กๆ (Granule) ที่เกิดจากโพลิโกเมอร์ของพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งลงได้ นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของสีย้อม โดยสีย้อมที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นสีย้อมธรรมชาติที่ได้จากขมิ้นและสีย้อมสังเคราะห์ประเภทแอซิดและเบสิก จากนั้นจึงทำการทดสอบความสามารถในการย้อมติดสี ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนต่อการซักทั้งก่อนกับหลังการย้อม และทั้งก่อนกับหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยไวนิลมอนอเมอร์ ซึ่งผลที่ได้ในแต่ละขั้นตอนของการวิจัย คาดว่าจะสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งอุตสาหกรรมในประเทศเพื่อทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพและมีความเหมาะสมกับการใช้งานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมด้วยวิธีการตอกกิ่ง

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการตอกกิ่งโดยใช้ตัวทำละลายผสม ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยา

1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการย้อมติดสีของเส้นใยทั้งก่อนและหลังการตอกกิ่ง รวมถึงความคงทนของสีย้อม

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1.3.1 ศึกษากระบวนการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหมโดยวิธีการตอกลงด้วยไวตามินมอลเบอร์โดยใช้น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลายผสม
- 1.3.2 ศึกษาผลของตัวทำละลายผสมที่มีต่อสมบัติของเส้นใยไหมหลังการตอกลงด้วยไวตามินมอลเบอร์
- 1.3.3 ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมเส้นใยไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์
- 1.3.4 ทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยาและความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยไหม

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

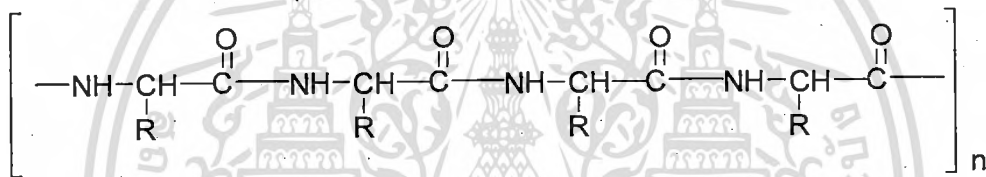
- 1.4.1 สามารถปรับปรุงขั้นตอนการตกแต่งสำเร็จทางเคมีของเส้นใยไหมด้วยไวตามินมอลเบอร์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานมากยิ่งขึ้น
- 1.4.2 สามารถปรับปรุงข้อดีและความสามารถในการรับสีย้อมชนิดต่างๆ ของเส้นใยไหมพันธุ์ บอมบิกซ์มอริ ให้ดีขึ้น
- 1.4.3 สามารถปรับปรุงสมบัติในการยึดติดของสีย้อมที่นำมาใช้ย้อมเส้นใยไหมให้มีความคงทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี โดยเฉพาะสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ
- 1.4.4 เพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการส่งเสริมให้มีการใช้สีย้อมธรรมชาติในการย้อมเส้นใยไหมในระบบอุตสาหกรรมมากขึ้น ซึ่งจะเป็นอีกหนทางหนึ่งในการลดปัญหามลภาวะที่เกิดจากการใช้สีย้อมสังเคราะห์

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไหม (Silks) [1, 7]

ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติเพียงชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาวและมีความแข็งแรงมากที่สุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมด โดยความยาวส่วนใหญ่เฉลี่ยอยู่ในช่วง 300 เมตร โครงสร้างทางเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักในไหมประกอบด้วยโปรตีนที่เกิดจากปฏิกิริยาควบแน่น (Condensation reaction) ของกรดอะมิโนหลายชนิด (รูปที่ 2.1) โดยโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไหมสามารถแยกออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ไฟโบอีน (Fibroin) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเส้นใยและกาวไหม (Sericin) ทำหน้าที่เป็นกาวยึดติดเส้นใยไฟโบอีนสองเส้นเข้าด้วยกัน กระบวนการสังเคราะห์โปรตีนดังกล่าวเกิดขึ้นภายในต่อมที่อยู่ในตัวของหนอนไหม



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีอย่างง่ายของโปรตีนที่เกิดจากการควบแน่นของกรดอะมิโน โดย R หมายถึง H หรือหมู่ข้างเคียง [7]

กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักในไฟโบอีน ได้แก่ ไกลซีน อะลานีน เซรีน และไทโรซีน โดยประมาณ 86 เปอร์เซ็นต์ของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลัก คือ กรดอะมิโน 3 ตัวแรกนี้ กล่าวมา โดยมีไทโรซีนอยู่ในโครงสร้างเพียง 8 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือเป็นกรดอะมิโนชนิดอื่น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงดู [7-8] (ตารางที่ 2.1) ในส่วนของกาวไหมประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงที่มีขนาดใหญ่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซรีน ธีโรนีน กรดกลูตามิก และกรดแอสพาทิก คิดเป็นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักกาวไหม [7] เมื่อพิจารณาส่วนประกอบดังกล่าวเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความเป็นผลึกด้วยรังสีเอกซ์ (X-ray) พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยไฟโบอีนมีความเป็นผลึกอยู่ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ และโครงสร้างส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นพับเบต้า (β-plated sheet) [1, 7, 9] ในขณะที่กาวไหมไม่มีโครงสร้างของส่วนที่เป็นผลึกอยู่เลย โดยโปรตีนในส่วนของกาวไหมมีประมาณ 20-25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนไฟโบอีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นไหมมี

โปรตีนมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือเป็นองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ไชมัน เกลือแร่ สารอนินทรีย์ และสารให้สี [1]

ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างและสมบัติทางเคมีของกรดอะมิโนที่พบในไหม [8]

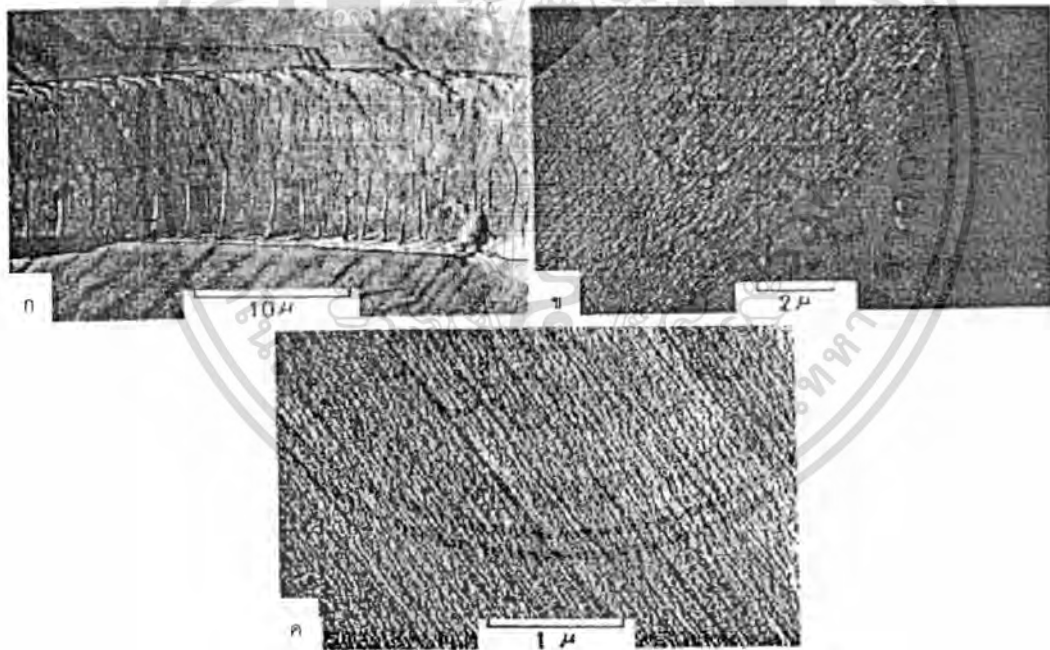
ชื่อ	โครงสร้าง	สัญลักษณ์	ลักษณะของหมู่ข้างเคียง
ไกลซีน (Glycine)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Gly (G)	มีขั้ว มีสมบัติชอบน้ำ
อะลานีน (Alanine)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Ala (A)	ไม่มีขั้ว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

2.2 โครงสร้างของไหม (Structure of Silks) [1, 7, 9]

ในการศึกษาส่วนประกอบต่างๆ ของไหม มักนิยมที่จะแยกทำการศึกษเป็นสองส่วนด้วยกัน คือ การศึกษาโครงสร้างภายนอก (ลักษณะทางกายภาพ) ได้แก่ พื้นผิว ความยาว สีและเส้นผ่านศูนย์กลาง ส่วนการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของไหมมักเน้นไปที่การศึกษาเกี่ยวกับไฟโบอินซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเส้นใย

2.2.1 โครงสร้างทางกายภาพของไหม (Physical structure of silks) [1, 7, 9]

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนที่มีความยาวต่อเนื่อง มีเส้นผ่านศูนย์กลางเป็นรูปสามเหลี่ยมมุมมน มีลักษณะที่โปร่งแสงและมีความมันเงาสูง โดยรังไหมแต่ละชนิดมีสีที่แตกต่างกัน ตั้งแต่สีเหลืองไปจนถึงสีเทาทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและสภาวะแวดล้อม เส้นใยไหมเกิดจากการที่หนอนไหมอัดโปรตีนหลอมเหลวที่ใช้ในการสร้างรังไหมผ่านท่อเล็กที่อยู่ตรงหัวของหนอนไหม เมื่อโปรตีนเหล่านี้สัมผัสกับอากาศจะเกิดการแข็งตัวกลายเป็นเส้นใย โดยเส้นใยไหมที่ได้ในขั้นตอนี้จะมี กาวไหมเคลือบอยู่ จากการศึกษาค้นคว้าโครงสร้างทางกายภาพของไหมดิบแต่ละชนิดพบว่าไหมเหล่านี้ประกอบด้วย 3 ชั้น โดยชั้นนอกสุดเมื่อตรวจสอบจากกล้องจุลทรรศน์ พบว่ามีลักษณะเป็นลูกคลื่นตลอดความยาวของเส้นใย (รูปที่ 2.2(ก)) เมื่อนำไหมออกมาจะได้เส้นใยไฟโบอีนสองเส้นที่เกิดจากการเกี่ยวพันของไฟบริล เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.2(ข) จะเห็นว่าพื้นผิวของเส้นใยไฟโบอีนมีลักษณะที่เรียกว่าเส้นไหมดิบ จากรูปที่ 2.2(ค) พบว่าโครงสร้างของไฟโบอีนมีลักษณะคล้ายโครงร่างตาข่าย ซึ่งเกิดจากการที่ไฟบริลแต่ละเส้นมาเกี่ยวพันเข้าด้วยกัน จากลักษณะดังกล่าวทำให้เส้นใยที่ได้มีความมันเงาและมีความละเอียดกว่าเส้นไหมดิบ [7]

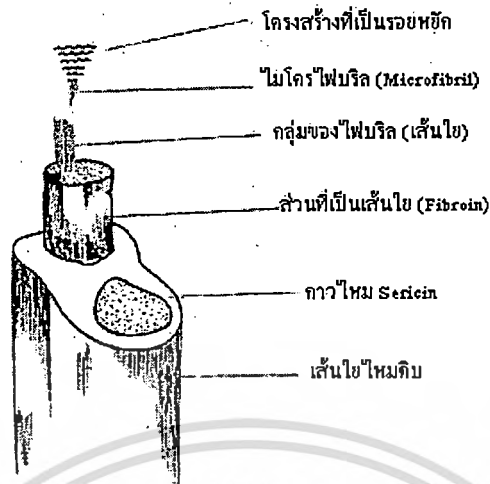


รูปที่ 2.2 ลักษณะพื้นผิวของ (ก) ไหมดิบ (ข) ไฟโบอีน และ (ค) ไฟบริลของไหมบอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) ตามลำดับ [7]

การนำเส้นไหมไปทำการลอกกาว เป็นขั้นตอนการปรับปรุงเส้นไหมที่สำคัญขั้นตอนหนึ่ง เพราะจะทำให้ได้เส้นใยที่มีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมมุมมน มีความละเอียดและมีพื้นผิวที่ราบเรียบ

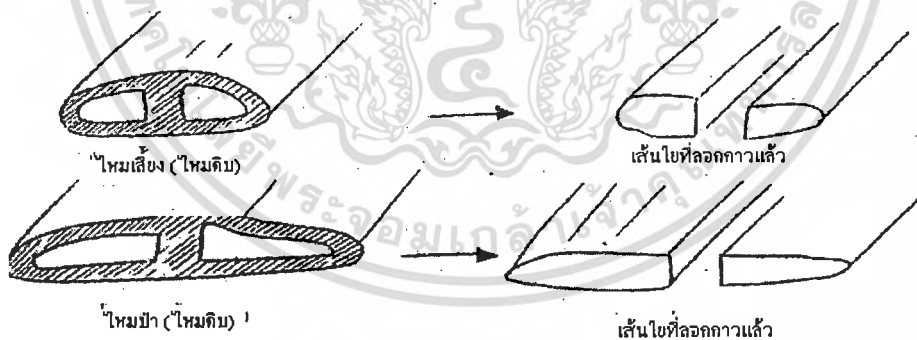
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมดิบ โดยรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวกับส่วนประกอบของเส้นไหมดิบ แสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆ ของเส้นใยไหมดิบ [9]

เมื่อนำเส้นไหมดิบและเส้นไหมลอกการของทั้งไหมบ้านและไหมป่ามาเปรียบเทียบ ลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางและความละเอียดทั้งก่อนและหลังลอกการ พบว่าเส้นไหมที่ผ่านการลอกการมีความละเอียดมากกว่าไหมดิบ และไหมบ้านที่ผ่านการลอกการแล้วมีความละเอียดมากกว่าเส้นไหมป่า [9] ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.4



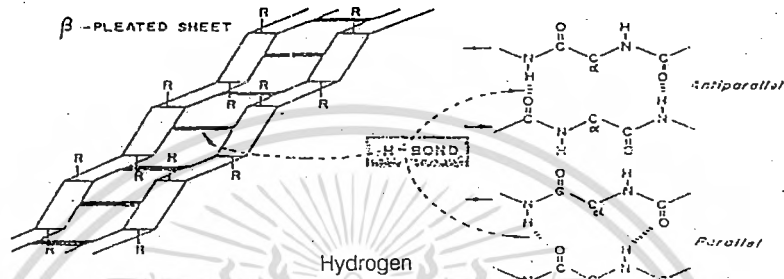
รูปที่ 2.4 ลักษณะเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใยก่อนและหลังลอกการของไหมเลี้ยงและไหมดิบ [9]

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของไหม [1, 7, 10]

ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นโปรตีน ซึ่งเกิดจากการที่กรดอะมิโนหลายชนิดมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอไมด์หรือเปปไทด์ (Amide or peptide bond) ซึ่งธาตุที่เป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ได้แก่ C H N และ O โดยมีธาตุ S เป็นองค์ประกอบอยู่น้อยมากเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

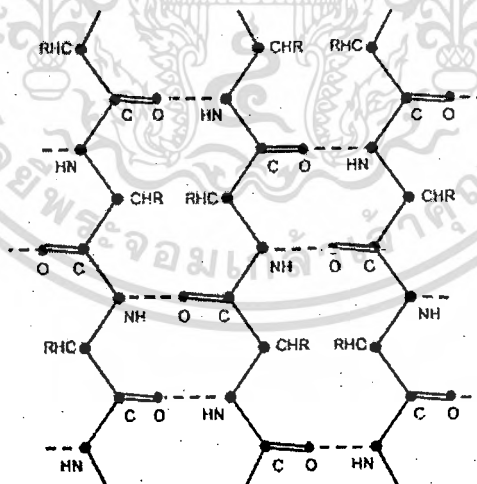
เปรียบเทียบกับเส้นใยโปรตีนชนิดอื่นๆ [1] โครงสร้างหลักของไฟโบอีนมีลักษณะของโครงแบบเป็นแบบแผ่นพับเบต้า (β -sheet) (รูปที่ 2.5) [1] โดยกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ โกลูตามีน ไทโรซีน และเซรีน ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้มีการจัดเรียงตัวแบบซ้ำๆ กันดังรูปที่ 2.6 เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.7 พบว่าโครงสร้างของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในไฟโบอีน มีพันธะไฮโดรเจนเกิดขึ้นระหว่างหมู่เอไมด์ ซึ่งพันธะไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นช่วยเพิ่มความเป็นผลึกและความแข็งแรงให้กับเส้นใยไฟโบอีน



รูปที่ 2.5 โครงแบบของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในไฟโบอีน [8]



รูปที่ 2.6 รูปแบบการจัดเรียงตัวแบบซ้ำๆ กันที่พบในโครงสร้างหลักของไฟโบอีน [10]



รูปที่ 2.7 การจัดเรียงโครงสร้างและการเกิดพันธะไฮโดรเจนของเส้นใยไฟโบอีน [1]

2.3 สมบัติของไหม (Properties of silk) [1]

โดยทั่วไปการศึกษาสมบัติเส้นไหมมีอยู่หลายแนวทางด้วยกัน ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาสมบัติของเส้นไหมออกเป็นสองส่วนด้วยกัน ได้แก่ การศึกษาสมบัติทางกายภาพและการศึกษาสมบัติทางเคมี

2.3.1 สมบัติทางกายภาพ (Physical Properties of Silks) [1, 9]

ลักษณะทางกายภาพของเส้นไหมส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นไปที่การศึกษาลักษณะพื้นผิว ความมันเงา เส้นผ่านศูนย์กลาง ความละเอียด ความยาว ความแข็งแรงและสี ดังนี้

1. ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงมากที่สุด เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ก มีความละเอียดและมีความเป็นผลึกที่สูง โดยไหมส่วนใหญ่มีค่าความแข็งแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 3.5-5.0 กรัมต่อเดเนียร์เมื่อแห้ง และมีความแข็งแรงลดลง 15-30 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปียก
2. ความยาวของไหมอยู่ในช่วง 1300-2000 ฟุต (390-600 เมตร) และบางชนิดอาจพบยาวถึง 4000 ฟุต (12000 เมตร) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะในการเลี้ยงดู
3. สีมีตั้งแต่สีเหลืองถึงสีน้ำตาล โดยไหมบ้านมีสีตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีขาว ในขณะที่ไหมป่ามีสีเหลืองเทา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ สภาวะแวดล้อม และอาหารที่ใช้เลี้ยงดู
4. ไหมมีความยืดหยุ่นที่ดี โดยอาจดึงยืดได้ถึง 20 % ของความยาวเริ่มต้น เนื่องจากไหมไม่มีพันธะซัลเฟอร์ที่เชื่อมโยงเหมือนในโครงสร้างโปรตีนของเส้นใยขนสัตว์ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การคืนกลับไม่ดี เมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์
5. ความสามารถในการดูดซับความชื้นที่สภาวะมาตรฐาน (อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 %) ไหมมีความสามารถดูดซับความชื้นได้ถึง 11 เปอร์เซ็นต์ ทำให้ไหมเป็นเส้นใยที่มีความสามารถในการรับสีย้อมต่างๆ ได้ดี ประกอบกับประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน จึงทำให้ไหมเป็นเส้นใยที่เหมาะสมในการนำมาทำเสื้อผ้า เนื่องจากไหมสามารถระบายความร้อนและสามารถดูดซับเหงื่อได้ดี จึงทำให้ผู้ใส่รู้สึกสบายเมื่อสวมใส่
6. ไหมค่อนข้างจะเป็นเส้นใยที่ไวต่อความร้อน แต่เมื่อเทียบกับเส้นใยที่ทำจากขนสัตว์แล้วพบว่ามีความทนทานต่อความร้อนดีกว่า โดยไหมสามารถทนความร้อนได้ถึง 170 องศาเซลเซียส (340°F)
7. ความตึงจำเพาะของเส้นไหมอยู่ในช่วงระหว่าง 1.32 -1.33 โดยเส้นไหมใหม่ที่มีการเพิ่มน้ำหนักอาจมีความตึงจำเพาะถึง 1.60

2.3.2 สมบัติทางเคมี (Chemical Properties of Silks) [1, 9]

ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ทำมาจากเส้นไหม เมื่อนำมาใช้งานมีโอกาสที่จะสัมผัสกับสารเคมี อุณหภูมิ แสงแดด และสภาวะแวดล้อมต่างๆ โดยสภาวะแวดล้อมเหล่านี้เป็นสาเหตุที่อาจทำให้สมบัติบางประการของเส้นไหมเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งไหมมีสมบัติทางเคมีต่างๆดังนี้

1. สภาวะที่เป็นกรด และด่างอย่างรุนแรง เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สมบัติและโครงสร้างของไหมเกิดการเปลี่ยนแปลง โดยเฉพาะที่อุณหภูมิสูงๆ สามารถที่จะละลายไหมได้ โดย pH ที่ทำให้ไหมมีความเสียหายน้อยที่สุดอยู่ในช่วง 4 - 8
2. ไหมถูกทำลายได้ด้วยสารประกอบพวกเกลือคลอไรด์ ซึ่งได้แก่ เหนือ น้ำยาดับกลิ่น และน้ำเกลือโดยเฉพาะเหนือจะทำให้เกิดคราบตรงบริเวณที่มีการสัมผัสได้
3. ไหมสามารถทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ได้ดี โดยเฉพาะสารซักแห้งที่นำมาใช้ในการทำ ความสะอาด
4. สารซักฟอกประเภทโซเดียมไฮโปคลอไรด์จะทำให้เกิดอันตรายกับเส้นไหม ได้ ยกเว้นสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์เท่านั้นที่สามารถนำมาใช้กับเส้นไหม
5. ผลิตภัณฑ์จากไหมไม่ขึ้นรา ยกเว้นเมื่ออยู่ในสภาวะที่มีความร้อนและความชื้นสูงๆ
6. ผ้าไหมไม่ทนทานต่อแสง เพราะแสงเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ความแข็งแรงลดลง และเกิดสีเหลืองขึ้นที่ผิวของเส้นใยซึ่งมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลัก
7. ไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมต่างๆได้ดีเนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันที่ขอบน้ำจึงสามารถนำมาใช้กับสีย้อมทั่วไปได้

2.4 การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical Treatment of Silks)

ไหมดิบที่ได้จากรังไหมในแต่ละรัง มีความแข็งแรงกระด้างและมีความสามารถในการสัมผัสที่ไม่ดี ลักษณะดังกล่าวเกิดจากกาวไหมที่เคลือบอยู่ ดังนั้นเพื่อให้ไหมมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในงานสิ่งทอ จึงควรที่ต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้ดีขึ้น โดยวิธีที่นิยมปฏิบัติ คือ การปรับปรุงสมบัติด้วยวิธีทางเคมี ซึ่งวิธีที่ง่ายและมีความสำคัญที่สุด คือ การลอกกาว โดยเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวจะมีลักษณะมันเงา มีความละเอียด และมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับไหมดิบ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล สมบัติในการสัมผัสและการรับสีย้อมมักนิยมนำไปตกแต่งสำเร็จ โดยการตอกกับไวนิลมอนอเมอร์และถ้าต้องการเพิ่มความสวยงามก็จะนำเส้นใยที่ได้ไปทำการย้อมด้วยสีย้อม โดยรายละเอียดต่างๆของกระบวนการดังกล่าวมีดังนี้ [3, 7]

2.4.1 การลอกกาวย [7, 11-12]

การลอกกาวยเป็นกระบวนการปรับปรุงชั้นพื้นฐานที่สำคัญ โดยเป็นการนำไหมดิบมาทำการลอกกาวยกับสารเคมี เช่น สบู่ กรด ต่าง เอมไซม์ ไทโรซิเดสและไขมัน และสารเคมีอื่นๆ เพื่อกำจัดกาวยใหม่ โดยทำให้เส้นไหมที่ได้มีความเงาและรับสีย้อมต่างๆ ได้ดีขึ้น ซึ่งวิธีการลอกกาวยที่นิยมใช้มีดังนี้

2.4.1.1 การลอกกาวยด้วยสบู่

การลอกกาวยใหม่ด้วยสบู่เป็นวิธีการลอกกาวยที่ไม่ใช้อุณหภูมิสูงมากนัก โดยอุณหภูมิที่ใช้ คือ 40°C และเวลาที่ใช้ในการลอกกาวย คือ 30 นาที ข้อเสียของวิธีนี้คือถ้าใช้น้ำกระด้างในกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดโคลสบู่ที่ผิวของเส้นใยยังทำให้เส้นใยที่ได้มีประสิทธิภาพในการลอกกาวยที่ไม่สม่ำเสมออีกด้วย

2.4.1.2 การลอกกาวยด้วยโซดา

สารละลายโซดาที่นิยมใช้ในการลอกกาวย คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และโซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) โดยอุณหภูมิที่ใช้ 90°C และเวลาที่ใช้ 2-3 ชั่วโมง วิธีนี้เป็นวิธีที่สามารถลอกกาวยได้อย่างสม่ำเสมออีกวิธีหนึ่ง แต่ข้อเสียของวิธีนี้อยู่ที่สารเคมีที่ใช้มีความเป็นด่างมากจึงอาจทำให้เส้นใยที่ได้มีสมบัติเชิงกลที่ลดลง

2.4.1.3 การลอกกาวยด้วยสบู่ผสมกับโซดา

วิธีนี้นิยมใช้น้ำสบู่ 8-15 % โดยน้ำหนักของเส้นใย ((o.w.f.) on weight of fibers) และโซเดียมคาร์บอเนต 5-8 % (o.w.f.) มาผสมกัน โดยมีอัตราส่วนของวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:50 โดยอุณหภูมิที่นิยมใช้ คือ 90°C และเวลาที่ใช้ 2-3 ชั่วโมง วิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพอีกวิธีหนึ่ง โดยเส้นใยที่ได้จะมีความขาวและมีความสม่ำเสมอในการลอกกาวย

2.4.1.4 การลอกกาวยด้วยเอนไซม์

เอนไซม์ที่นิยมนำมาใช้ในการลอกกาวย คือ เอนไซม์โปรตีเอส (Protease enzyme) โดย pH ที่ให้อยู่ในช่วง 9.0-10.5 อุณหภูมิ $40-65^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง โดยเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวยด้วยวิธีนี้สามารถกำจัดกาวยใหม่ได้อย่างสม่ำเสมอ แต่ข้อเสียของวิธีนี้อยู่ที่เอนไซม์ที่ใช้มีราคาแพง และมีกลิ่นรุนแรง

2.4.1.5 การลอกกาวยด้วยกรด

การลอกกาวยด้วยกรด คือการนำเส้นใยมาต้มกับกรดแต่วิธีนี้ไม่เป็นที่นิยมเนื่องจากให้ประสิทธิภาพในการลอกกาวยไม่ดีนัก

2.4.1.6 การลอกกาวยด้วยไทรเอทิลอะมีน

การลอกกาวยเส้นไหมด้วยวิธีนี้จะทำให้เส้นใยที่ได้มีสมบัติใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวยด้วยสบู่

2.4.2 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical finishing) [3-4, 13]

เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวยแล้ว สมบัติของเส้นใยที่ได้มีค่าลดลงประกอบกับเส้นไหมมีข้อด้อยต่างๆ เช่น เมื่อสัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลานานๆ จะเกิดสีเหลืองขึ้นที่ผิวของเส้นใย มีความสามารถในการคืนตัวเนื่องจากรอยยับที่ไม่ดี (Winkle recovery) ตลอดจนมีสมบัติที่ไวต่อความร้อนและสารเคมี ซึ่งข้อด้อยต่างๆ เหล่านี้สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยใช้วิธีการทางเคมี ซึ่งวิธีที่นิยมใช้กับเส้นใยไหมมักเป็นการตกแต่งสำเร็จโดยวิธีการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ โดยไวนิลมอนอเมอร์ที่นิยมใช้มีมากมายหลายชนิด ได้แก่ เมทิลเมทาคริเลต เมทาคริลาไมด์ 2-ไฮดรอกซีเมทาไคเลท เอทอกซีเมทาคริเลท และอีพอกซีเรซิน โดยไวนิลมอนอเมอร์เหล่านี้จะทำให้ได้เส้นใยที่มีสมบัติแตกต่างกันไป [3-4]

การตกแต่งสำเร็จไหมด้วยวิธีการต่อกิ่งมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญอยู่ 2 กลไก ได้แก่ กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ (Free radical polymerization) และกลไกการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง (Graft copolymerization) [13]

2.4.2.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาการเติมด้วยอนุมูล-อิสระ

การสังเคราะห์พอลิเมอร์โดยผ่านกลไกปฏิกิริยาการเติมด้วยอนุมูลอิสระ [13-16] เริ่มจากการใช้ตัวริเริ่มที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระ ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะไพ (π-bond) บนไวนิลมอนอเมอร์ และเกิดการสลายตัวไปเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่สามารถเข้าร่วมกับมอนอเมอร์ตัวอื่น จนกระทั่งได้พอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวออกมา ตัวริเริ่มที่นำมาใช้ต้องเป็นสารเคมีที่เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะต่างๆ ได้แก่ ความร้อน รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าและการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีสามารถให้อนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอนุมูลอิสระที่เกิดจากมอนอเมอร์ และอนุมูลอิสระดังกล่าวต้องมีความว่องไวเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยากับไวนิลมอนอเมอร์เพื่อเกิดเป็นอนุมูลอิสระใหม่ขึ้นมา โดยตัวริเริ่มปฏิกิริยาที่สำคัญมักมีโครงสร้างเป็นสารประกอบพวกรเปอร์ออกไซด์ เอโซ เปอร์ซัลเฟต ซึ่งวิธีที่สำคัญที่ใช้ในการเตรียมอนุมูลอิสระมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

(ก) การสลายตัวด้วยความร้อน [15-16]

การสลายตัวด้วยความร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดทั้งในเชิงการค้า และการศึกษา กลไกของปฏิกิริยา โดยสารริเริ่มส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้เป็นตัวริเริ่มด้วยวิธีนี้มักมีพลังงานพันธะ อยู่ในช่วง 25-40 กิโลแคลอรี/โมล เพราะสารที่มีพลังงานพันธะสูงกว่านี้จะสลายตัวช้าเกินไป ถ้าต่ำกว่านี้ก็สลายตัวเร็วเกินไปทำให้ควบคุมกลไกได้ยาก ดังนั้นสารที่นิยมใช้จึงจำกัดอยู่ที่สารที่มีพันธะ O-O S-S และ N-O โดยสารที่นิยมใช้เป็นตัวริเริ่มมากที่สุด ได้แก่สารประกอบพวก เปอร์ออกไซด์อินทรีย์ โดยตัวอย่างของเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ที่นิยมใช้กันรวบรวมไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดตัวริเริ่มประเภทเปอร์ออกไซด์อินทรีย์ที่นิยมใช้กัน [16]

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

(ข) การกำเนิดอนุมูลอิสระด้วยแสง [15]

วิธีนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวิธีโฟโตเคมีคัลโดยเริ่มจากการที่มอนอเมอร์หรือ สารริเริ่มรับพลังงานโฟตอน แล้วเคลื่อนตัวจากสภาวะพื้นไปสู่สภาวะกระตุ้น ดังสมการที่ 2.1

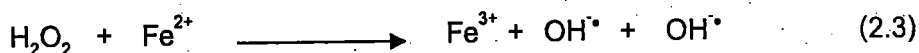


หลังจากนั้นสารที่อยู่ในสภาวะเร้าเหล่านี้จะสลายตัวให้อนุมูลอิสระออกมา ดังสมการที่ 2.2



(ค) การเกิดอนุมูลอิสระโดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ (Redox initiation) [15-16]

ปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่สามารถให้อนุมูลอิสระ โดยปฏิกิริยาที่สำคัญและนิยมใช้มาก ทั้งในการศึกษา กลไกปฏิกิริยาและในอุตสาหกรรมคือปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันของน้ำยาเฟนต์ัน (Frenton 's reagent) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างไอร์ออน (II) อีออนและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยสารทั้งสองสามารถทำปฏิกิริยากันแล้วให้อนุมูลอิสระออกมาดังสมการที่ 2.3

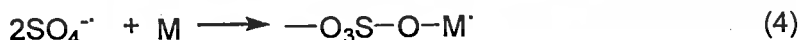
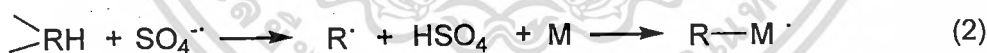


(ง) การไอออไนซ์ด้วยรังสี (Ionizing radiation) [15]

รังสี α β γ และรังสีเอกซ์ เป็นรังสีที่มีพลังงานสูงนิยมนำมาใช้ริเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยรังสีเหล่านี้จะเหนี่ยวนำให้มอนอเมอร์เกิดการสลายตัวเป็นอนุมูลอิสระ ซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยาค่อนข้างยุ่งยากเพราะนอกจากจะมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นแล้วยังมีไฮดรอกซิลและไฮดรอกซิลที่เกิดจากการสลายตัวของมอนอเมอร์เกิดขึ้นอีกด้วย

2.4.2.2 การปรับปรุงสมบัติเส้นใยด้วยวิธีการตอกกิ่งด้วยมอนอเมอร์ [3-4, 13,

การตอกกิ่งบนเส้นใยใหม่จัดเป็นการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบหนึ่ง การสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมเหล่านี้อาจทำในตัวทำละลายหรือสารละลายที่มีมอนอเมอร์และพอลิเมอร์ชนิดนั้นๆ อยู่ โดยกลไกปฏิกิริยาอาจเป็นได้ทั้งไอออนิกและอนุมูลอิสระ ซึ่งกลไกแบบหลังคาดว่ามี ความสำคัญมากที่สุดเพราะเกิดได้ง่ายและตัวร่องไวต่อปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นก็มีลักษณะเป็นกลาง จึงไม่ต้องใช้ตัวริเริ่มที่มีประจุในการเกิดปฏิกิริยา [14, 17-19] โดยมอนอเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบตอกกิ่งตรงตำแหน่งที่ร่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไฟโบรอิน ได้แก่ หมูคาร์บอนิล เอมีน และหมูไฮดรอกซิลต่างๆ ซึ่งเป็นหมู่แทนที่ของกรดอะมิโน [17-19] โดยสมบัติที่ได้จะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการปรับปรุง ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาในส่วนนี้จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโครงสร้างโปรตีน ทำให้เส้นใยที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้นและเพื่อให้เห็นภาพชัดขึ้นจึงขอยกตัวอย่างการเกิดกลไกที่เสนอขึ้นโดย มาซู ฮิโตะ ทาซูกาดะ [17] ดังสมการ



2.5 การย้อมสี (Dyeing) [20-21]

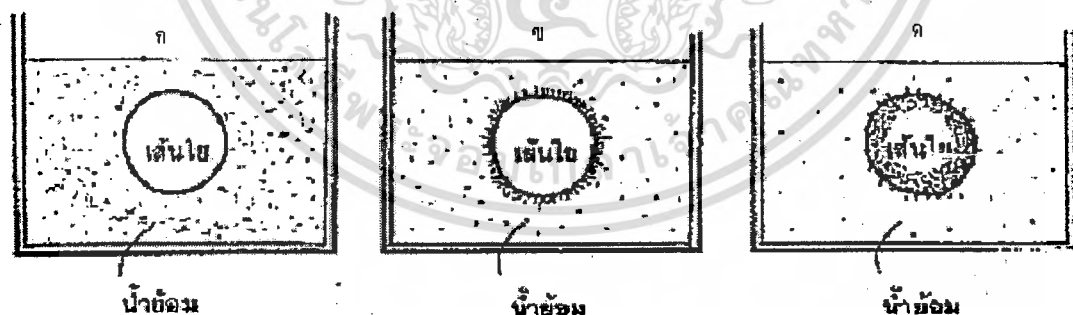
วัสดุที่นำมาใช้เป็นสีย้อมในอุตสาหกรรมสิ่งทอปกติแล้วมักเป็นสารอินทรีย์ที่ให้สีได้ โดยสารอินทรีย์เหล่านี้เมื่อนำมาใช้จะต้องละลายน้ำ และกระจายตัวในน้ำได้ดี เนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางที่สำคัญในการพาสารเหล่านี้เข้าสู่วัสดุที่นำมาย้อมและทำให้เกิดการยึดติด โดยปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการยึดติดระหว่างวัสดุที่นำมาย้อมและสีที่ใช้ย้อม คือ สีที่นำมาใช้ย้อมจะต้องมี

ความสามารถในการกระจายตัวเพื่อก่อให้เกิดการยึดติดได้ดี (Good affinity) หรือโครงสร้างทั้งสองจะต้องมีประจุที่อยู่บนโครงสร้างต่างกัน จึงจะทำให้เกิดการยึดติดระหว่างวัสดุทั้งสองขึ้น โดยกลไกที่เกี่ยวข้องกับการย้อมสีที่สำคัญมีอยู่ 3 กลไกด้วยกัน ได้แก่ [9, 20- 21]

1. การดูดซับของสีย้อมที่ผิวของเส้นใย (Sorption) เมื่อนำเส้นใยหรือวัสดุสิ่งทอใส่ลงในน้ำโมเลกุลของสีที่กระจายตัวอยู่ในน้ำจะเคลื่อนมาเกาะที่ผิวของเส้นใยหรือผิวของวัสดุที่ใช้ย้อม ซึ่งจะทำให้เกิดการยึดเกาะขึ้น (รูปที่ 2.9ก) [9, 20]

2. การดูดซึมของสีย้อมเข้าสู่เส้นใย (Diffusion) เมื่อโมเลกุลของสีย้อมเคลื่อนที่มาเกาะอยู่รอบผิวของเส้นใย ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการแทรกซึมของโมเลกุลเข้าสู่เส้นใย การเพิ่มอุณหภูมิในขณะที่ย้อมจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยทำให้โมเลกุลของสีย้อมแทรกตัวเข้าสู่เส้นใย หรือวัสดุสิ่งทอได้เร็วขึ้นโดยโมเลกุลของสีย้อมจะเคลื่อนตัวเข้าสู่เส้นใยจนถึงจุดจุดหนึ่ง ซึ่งเป็นจุดที่เส้นใยและสีย้อมมีสัมพันธภาพทางเคมีเท่ากัน (Chemical affinity) (รูปที่ 2.9ข) [9, 20]

3. การคงทนของสีบนเส้นใย (Retention) โมเลกุลของสีย้อมที่เคลื่อนตัวเข้าสู่เส้นใยจะเกิดการคงทนของสีบนเส้นใยได้โดยอาศัยกลไกทางเคมีและกายภาพ เนื่องจากสีย้อมธรรมชาติเป็นสีที่ละลายน้ำได้ เมื่อนำเส้นใยที่ย้อมด้วยสีเหล่านี้ไปทำความสะอาด โมเลกุลของสีที่ยึดติดอยู่กับเส้นใยเหล่านี้ก็จะเคลื่อนตัวออก แล้วทำให้เกิดการตกของสีขึ้น ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นตรงนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใส่มอร์แดนท์ โดยโมเลกุลของมอร์แดนท์เหล่านี้จะรวมตัวกับโมเลกุลของสีย้อมธรรมชาติ แล้วทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้นทำให้เส้นใยที่ย้อมด้วยสีเหล่านี้มีความคงทนต่อการซักเพิ่มขึ้น (รูปที่ 2.9ค) [9, 20]



รูปที่ 2.8 แบบจำลองกลไกการยึดติดและการดูดซึมระหว่างสีย้อมกับวัสดุสิ่งทอ (ก) การดูดซับของสีย้อม (ข) การดูดซึมสีย้อมที่ผิวเส้นใย (ค) การคงทนของสีบนเส้นใย [9]

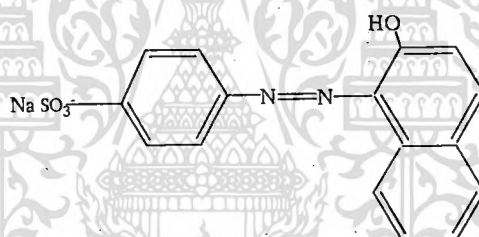
โมเลกุลของสีย้อมประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน คือ พันธะคู่สลับเดี่ยว (Conjugated double bond) โครโมโฟร์ (Chromophore) และออกโซโครม (Auxochrome) โดยทั้ง 3 ส่วนนี้มัก

ถูกเรียกรวมกันว่า โครโมเจน (Chromogen) โดยโครโมฟอร์ทำหน้าที่ให้สีในขณะที่ออกซิโครมให้ความเข้มกับสีและช่วยทำให้สียอมละลายในน้ำได้ง่ายขึ้น [20]

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสมบัติและความคงทนของสี โดยเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสียอมสังเคราะห์ ได้แก่ สียอมแอซิด กับสียอมเบสิก และสียอมธรรมชาติ ซึ่งสียอมธรรมชาติที่เลือกมาใช้ในงานวิจัยนี้เป็นสีเหลืองที่ได้จากขมิ้น โดยจะได้กล่าวถึงในรายละเอียดต่อไป

2.5.1 สียอมแอซิด (Acid dye) [9, 20]

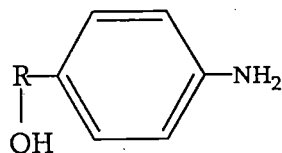
สียอมประเภทแอซิดบางครั้งอาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สียอมแอนไอออนิก เนื่องจากสียอมประเภทนี้มีโครงสร้างอยู่ในรูปเกลือของกรดอินทรีย์ (กรดซัลฟินิก) และเมื่อนำสีเหล่านี้ไปละลายน้ำจะให้ประจุลบ (รูปที่ 2.10) สียอมประเภทนี้นิยมใช้ในการย้อมเส้นใยโปรตีน ได้แก่ ขนสัตว์กับไหม และนิยมนำไปย้อมเส้นใยสังเคราะห์ในกลุ่มของเส้นใยไนลอน โดยสีในกลุ่มนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มหลัก คือ สียอมแอซิดประเภทที่ไม่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ (Non-metallic acid dye) และสียอมที่มีโลหะเป็นองค์ประกอบ (Metal-complex acid dye)



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสียอมแอซิด [20]

2.5.2 สียอมเบสิก (Basic dye) [21]

สียอมประเภทนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งได้ว่าสียอมแคทไอออนิก เนื่องจากโครงสร้างของสียอมประเภทนี้มีประจุบวกอยู่บนโครงสร้างโดยประจุบวกที่อยู่บนโครงสร้างจะไปสร้างพันธะยึดติดกับประจุลบที่อยู่บนโครงสร้างของเส้นใย สียอมในกลุ่มนี้นิยมนำไปย้อมกับเส้นใยอะคริลิกและเส้นใยโปรตีน ได้แก่ ไหมและขนสัตว์ ซึ่งเส้นใยที่ได้จากการย้อมด้วยสียอมประเภทนี้จะมีโครงสร้างที่สดใส แต่มีข้อเสีย คือ สียอมประเภทนี้จะละลายในน้ำได้น้อยแต่ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ และน้ำที่ใช้จะต้องไม่มีความเป็นด่างตลอดจนสียอมประเภทนี้มีความคงทนต่อแสงต่ำ (รูปที่ 2.11)

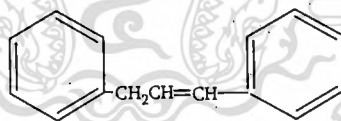


รูปที่ 2.10 ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของสียอมเบสิก [21]

2.5.3 สีย้อมธรรมชาติ (Natural dye) [22]

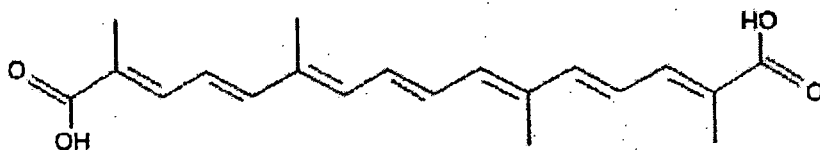
ปัจจุบันได้มีการตื่นตัวให้ความสนใจ ในการนำสีย้อมจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในงานด้านสิ่งทอมากขึ้น เนื่องจากสีธรรมชาติเป็นสีที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่ทำการย้อม นอกจากนี้สีธรรมชาติยังทำให้วัสดุที่นำมาย้อมมีสีที่อ่อนและเย็นตากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ย้อมด้วยสีย้อมสังเคราะห์ แต่สีย้อมที่ได้จากธรรมชาติก็มีข้อด้อยได้แก่ ขั้นตอนต่างๆ ที่ใช้ในการเตรียมน้ำย้อมยุ่งยาก วิธีการย้อมขึ้นอยู่กับผู้ชำนาญและเทคนิคของแต่ละบุคคล ไม่มีสูตรในการย้อมแน่นอน และสีที่ใช้ในการย้อมแต่ละครั้งไม่เหมือนเดิม ซึ่งปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าว เช่น การปรับปรุงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการย้อม การนำเอร์เดนท์และสารเคมีอื่นๆ มาช่วยในการย้อม การทดลองนำพืชชนิดต่างมาใช้ย้อมเพื่อให้ได้สีที่หลากหลายมากขึ้น โดยสีธรรมชาติได้มาจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน สามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ สีย้อมที่ได้จากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ โดยสีย้อมธรรมชาติที่ได้จากพืชมีบทบาทมากที่สุด ซึ่งส่วนต่างๆ ของพืชที่ให้สีมีมากมายหลายชนิด ได้แก่ ลำต้น แก่น เปลือก ใบ ดอกและผล โดยสีที่ได้จากส่วนที่เป็นราก แก่น และผลให้สีที่มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าส่วนอื่นๆ การที่องค์ประกอบของพืชให้สีที่แตกต่างกัน เนื่องจากในพืชนั้นมีองค์ประกอบของสารให้สีที่แตกต่างกัน โดยสารให้สีเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

(ก) สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) สารให้สีกลุ่มนี้ถูกนำมาใช้ย้อมสิ่งทอเป็นจำนวนมาก โดยสารในกลุ่มนี้มักให้สีที่มีสีเหลืองถึงสีส้มเหลือง มีสูตรโครงสร้างพื้นฐานเป็น $C_6-C_3-C_6$ โดยที่ C_6 ส่วนมากเป็นพวกวงเบนซีน (รูปที่ 2.12)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารให้สีฟลาโวนอยด์ [22]

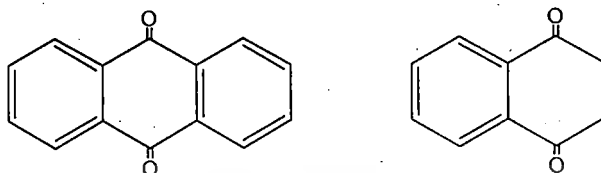
(ข) สารประกอบเทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) สารในกลุ่มนี้เป็นสารที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากสิ่งมีชีวิต โดยมีหน่วยโครงสร้างเป็นพวกไอโซพรีน เช่น โครซิทิน (Crocetin) จากหญ้าฝรั่น (Saffron) มีสีเหลือง ซึ่งมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของโครซิทิน [23]

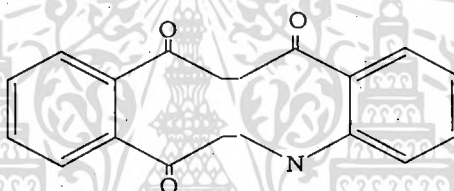
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ค) สารประกอบแอนทราควิโนนและแนฟทาควิโนน (Anthraquinones and naphthaquinones) สารในกลุ่มนี้มักให้สีแดงของแอนทราควิโนนที่ใช้เป็นสีย้อม เช่น เอลิเอลิน (Aliarin) จากรากต้นแมดเดอร์ (Madder) และจากแก่นต้นยอ (Laccaic acid) จากครั่ง ส่วนแนฟทาควิโนน เช่น Juglone จาก เปลือกมันฮ่อให้สีเขียวอมน้ำตาล มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.13 โครงสร้างของสารให้สีแอนทราควิโนนและแนฟทาควิโนน [22]

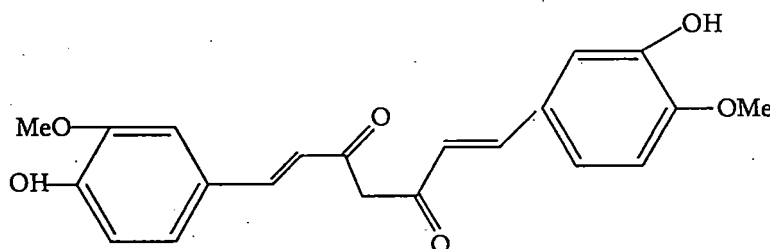
(ง) สารประกอบแอลคาลอยด์ (Alkaloids) สารในกลุ่มนี้ มักจะได้จากพืชชั้นสูงและจะมีไนโตรเจนอะตอมอยู่ในโมเลกุล ได้แก่ สีอินดิโก (Indrigo) จากต้นคราม ซึ่งให้สีน้ำเงิน มีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.14 โครงสร้างของสารให้สีอัลคาลอยด์ [22]

2.5.4 ขมิ้นและกรรมวิธีในการย้อมสีธรรมชาติ [22-24]

ขมิ้นมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* พบได้เกือบทั่วทุกภาคของประเทศไทย นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องเทศ สีส้มอาหารและสีย้อมผ้า โดยสารให้สีหลักในขมิ้นมีชื่อว่า เคอคูมิน (Curcumin) [22-23] (รูปที่ 2.16) จัดเป็นสารในกลุ่มสีฟลาโวนอยด์ สารประเภทนี้เป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดสีเหลืองในขมิ้น จึงมักมีผู้นิยมนำสารเหล่านี้ที่สกัดได้จากขมิ้นไปใช้เป็นสีผสมอาหารและสีย้อมผ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการย้อมผ้านั้นมักนำไปใช้ย้อมพวกผ้าฝ้ายและผ้าไหม [22]



รูปที่ 2.15 สูตรโครงสร้างทางเคมีของเคอคูมิน (Curcumin) [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การย้อมสีธรรมชาติมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การย้อมโดยตรงและการย้อมโดยใช้มอร์แดนต์ โดยสารให้สีบางชนิดที่สกัดจากพืชสามารถยึดติดกับเส้นใยบางชนิดได้ดี เช่น ฝ้าย ลินิน แต่อาจจะยึดติดกับเส้นใยบางชนิดได้ไม่ดี เช่น ไหมและขนสัตว์ ตลอดจนสารให้สีบางชนิดที่สกัดจากพืชเมื่อนำมาย้อมกับผ้าหรือเส้นใยแล้ว ผ้าหรือเส้นใยที่ได้จากการย้อมกับสีย้อมเหล่านี้ อาจให้สมบัติความคงทนของสีต่อการซักและสภาวะแวดล้อมบางอย่างไม่ดี การใช้มอร์แดนต์จะช่วยลดปัญหาตรงนี้ได้ มอร์แดนต์ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ เฟอริกคลอไรด์ คอปเปอร์ซัลเฟต และโพแทสเซียมอะลูมิเนียมเปอร์ซัลเฟต เป็นต้น โดยมอร์แดนต์แต่ละตัวเมื่อนำมาย้อมร่วมกับสีย้อมธรรมชาติแล้วอาจให้เฉดสีที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของมอร์แดนต์ที่นำมาใช้ย้อม รวมทั้งชนิดของสีย้อมที่นำมาใช้ [25]

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

S.Chopra และคณะ [12] ได้ทำการศึกษาผลของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการลอกกาวยาไหม มัลเบอรี่ (Mulberry silk fabric) ที่มีต่อความสามารถในการสัมผัส ซึ่งสารเคมี ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ สบู่ กรด ต่าง ไทรอทิลเอมีน (Triethylamine, TEA) และเอมไซม์ โดยได้ใช้ค่าการสัมผัสของผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยด้วยสบู่เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ ซึ่งจากการทดลองพบว่า สารเคมีเหล่านี้เมื่อลอกกาวยา ให้ประสิทธิภาพในการลอกกาวยาใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบในเชิงน้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss) แต่จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่บริเวณระหว่างพื้นผิว (Interface) ของเส้นใยพบว่าผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยาด้วยสบู่ ต่าง ไทรอทิลเอมีน มีประสิทธิภาพในการลอกกาวยดีกว่าการลอกกาวยาด้วยเอมไซม์และกรด ส่วนการศึกษาสมบัติเชิงกลแบบความเค้นต่ำ (Low stress properties) พบว่าผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยาโดยใช้สารเคมีที่แตกต่างกัน ให้สมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน ส่วนค่าการสัมผัส ผ้าไหมมัลเบอรี่ที่ทำการลอกกาวยาด้วยสบู่และต่างให้ความนุ่ม (Softness) ความยืดหยุ่น (Flexibility) และความรู้สึกเมื่อลูดีที่สุด ส่วนผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยาด้วยเอมไซม์ทำให้ได้เส้นใยที่มีลักษณะที่แข็งและเปราะ ส่วนผ้าไหมที่ทำการลอกกาวยาด้วยและไทรอทิลเอมีนให้ค่าการสัมผัสอยู่ในระดับกลาง

M. Tsukada และคณะ [28] ยังได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไหมที่ผ่านการตอกลงด้วยเมทาคริลไนไตรล์ (Methacrylonitrile, MAN) พบว่าความสามารถในการดูดซับความชื้น และค่าความคงทนต่อด่าง (NaOH) มีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่สมบัติทางความร้อนของเส้นไหมที่ได้ทำการตอกลง ซึ่งได้จากการศึกษาด้วยเทคนิคดีพีเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรีมีค่าเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เปอร์เซ็นต์การตอกลงตั้งแต่ 25 % ขึ้นไป ในขณะที่การทดสอบสมบัติการดึงพบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยสามารถยืนยันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวัดโครงสร้างที่เป็นผลึกของเส้นใยจากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบบมุมกว้าง (Wide-angle X-ray diffraction digram) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของผลึก

นอกจากนี้ M. Tsukada และคณะ [3] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและลักษณะ เส้นใยที่ทำการตอกกิ่งด้วยด้วยเมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate, MMA) โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมทรี และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าการศึกษาสมบัติทางความร้อนเส้นใยใหม่ที่มีเปอร์เซ็นต์การตอกกิ่ง 30 % โดยใช้เทคนิค ดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมทรี แสดงให้เห็นพีกเอนโดเทอร์มิก 2 ส่วนเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 326°C และในช่วง $390-410^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิสลายตัวของไฟโบอีนที่มีโครงสร้างแบบ B และอุณหภูมิการสลายตัวของโครงสร้างพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน โดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทรี แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่นำมาตอกกิ่งกับมอนอเมอร์ชนิดนี้มีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่การศึกษาความเป็นผลึกของเส้นใยใหม่โดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) พบว่ามอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อโครงสร้างที่เป็นผลึกของเส้นใย

M. Tsukada และคณะ [29] ยังได้ทำการศึกษาต่อในส่วนการตอกกิ่งเส้นใยใหม่กับเมทิลเมทาคริเลต โดยใช้ไทรอนมัลบิลทิลโบเรนเป็นตัวริเริ่ม โดยก่อนที่นำเส้นใยไปทำการพอลิเมอไรส์ได้ทำการปรับปรุงเบื้องต้นกับสารละลายเฟอร์ริกคลอไรด์ (Feric chloride, FeCl_3) ที่เปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเส้นใยใหม่ที่ทำกรปรับปรุงกับเฟอร์ริกคลอไรด์ความเข้มข้น 4% ให้เปอร์เซ็นต์การตอกกิ่งสูงสุด คือ 720 % ส่วนการศึกษาสมบัติทางความร้อน โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลลอริเมทรีแสดงให้เห็นพีกเอนโดเทอร์มิก 2 ส่วน ที่ตำแหน่ง 326°C และ 396°C ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิการสลายตัวของของโครงสร้าง B ของไฟโบอีน และโครงสร้างของพอลิเมทิลเมทาคริเลตที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งตามลำดับสำหรับการศึกษาโครงสร้างโดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีระหว่างเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการตอกกิ่ง แสดงให้เห็นถึงการดูดกลืนสเปกตรัมที่เหลื่อมซ้อนทับกันระหว่างโครงสร้างของเมทิลเมทาคริเลตกับโครงสร้าง B ของไฟโบอีน และในการศึกษาสมบัติเชิงกลพบว่ามีความแข็งแรงดิ่งที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดแม้กระทั่งที่เปอร์เซ็นต์การตอกกิ่งต่ำๆ

นอกจากการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยใหม่โดยใช้มอนอเมอร์เมทาคริโลไนไตรล์ (MAN) และเมทิลเมทาคริเลต (MMA) M. Tsukada และคณะ [5] ยังได้ทำการศึกษาลักษณะทางโครงสร้างของเส้นใยใหม่ที่ทำกรตอกกิ่งกับมอนอเมอร์ผสมระหว่าง 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-Hydroxy ethymethacrylate, HEMA)/เมทาคริลามิด (Methacrylamide) ซึ่งจากการศึกษา

สมบัติทางความร้อนด้วยเทคนิคดีพีเพอร์เรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรีของเส้นใยที่ทำการตอกกับมอนอเมอร์ผสมระหว่าง 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตและเมทาคริลาไมด์ ในอัตราส่วน 80/20 ที่มีเปอร์เซ็นต์การตอก 61 % แสดงให้เห็นพิกเนโตเทอร์มิกที่ 280 °C 323 °C และ 420 °C ตามลำดับ โดยเป็นอุณหภูมิสลายตัวของโครงสร้างเมทาคริลาไมด์ โครงสร้างไฟโบอินที่มีโครงแบบแบบ B และ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต และเมื่อพิจารณาจากการตอกกับมอนอเมอร์เหล่านี้ที่อัตราส่วนเดียวกันที่ให้เปอร์เซ็นต์การตอกสูงๆ แสดงให้เห็นพิกเนโตเทอร์มิกที่ตำแหน่ง 323 °C มีค่าที่ลดลง ในขณะที่พิกเนโตเทอร์มิกที่ตำแหน่ง 420 °C มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์ของ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตในโครงสร้างของเส้นใยเพิ่มขึ้น และจากการศึกษาความเป็นผลึกของเส้นใยด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ พบว่าการตอกด้วยมอนอเมอร์ผสมชนิดนี้ไม่มีผลใดๆ ต่อความเป็นผลึกของเส้นใย

นอกจากนี้ M. Tsukada [4] ได้ทำการศึกษาโครงสร้างของเส้นใยไหมบอมบิกซีโมริที่ทำการตอกด้วยเมทาคริลาไมด์ (MAA) โดยได้ทำการศึกษาโครงสร้างและสมบัติของเส้นใยที่ทำการตอกด้วยมอนอเมอร์เหล่านี้จากเทคนิคการวัดค่าดัชนีหักเหแสง (Refractive index) ในลักษณะที่เป็นฟังก์ชันกับน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าเส้นใยมีค่าดัชนีหักเหแสงในแนวขนานที่ลดลง ในขณะที่ค่าดัชนีหักเหแสงในแนวตั้งฉากไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยา ซึ่งผลดังกล่าวสามารถยืนยันได้จากเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ในขณะที่การทดสอบการดึงของเส้นใยทั้งในสภาวะแห้งและสภาวะแบบเปียกพบว่า เส้นใยมีค่าความแข็งแรงลดลงอย่างรวดเร็ว แตกต่างจากผลที่ได้จากค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในเส้นใยที่มีสภาวะแบบเปียก ส่วนเส้นใยที่อยู่ในสภาวะแบบแห้งค่าร้อยละการดึงยึด ณ จุดขาดไม่มีการเปลี่ยนแปลง

T. Arai และคณะ [13] ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมบอมบิกซีโมริโดยใช้สารประกอบไอโซไซยาเนต (isocyanate) ได้แก่ เฮกซะเมทิลไดไอโซไซยาเนต และฟีนิลไดไอโซไซยาเนต ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของสารประกอบไอโซไซยาเนตเหล่านี้ในลักษณะที่เป็นฟังก์ชันกับ อุณหภูมิ เวลา และตัวทำละลาย โดยในงานวิจัยใช้ ไดเมทิลซัลฟอกไซด์ (Dimethylsulfoxide, DMSO) เป็นตัวทำละลาย และยังได้ทำการศึกษาถึงผลของการปรับปรุงที่มีต่อสมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล ความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใย จากการทดลองพบว่าเส้นใยไหมที่ทำการปรับปรุงกับมอนอเมอร์เหล่านี้มีแนวโน้มที่มีความคงทนต่อกรดและด่างเพิ่มขึ้น ยกเว้นในกรณีที่ทำการตอกด้วยฟีนิลไดไอโซไซยาเนต ซึ่งเป็นตัวเหนียวนำทำให้เส้นใยเกิดการละลายในด่างได้ดีขึ้น ในขณะที่ความแข็งแรงดึงของเส้นใยที่ทำการปรับปรุงด้วยมอนอเมอร์ทั้งสองไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเกิดขึ้น ส่วนการดึงยึดมีค่าลดลงเล็กน้อย ในขณะที่สมบัติทางแสงและสมบัติทางความร้อนของเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงไม่มีการ

เปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้น แสดงให้เห็นว่าการตอกิ่งด้วยมอโนเมอร์เหล่านี้ไม่มีผลต่อโครงสร้างของเส้นใย

นฤมล ศราพันธ์ [25] ได้ทำการศึกษากายการย้อมสีผ้าไหมด้วยขมิ้นชัน โดยใช้มอร์แดนท์ 4 ชนิด คือ เหล็ก จุนสี กรดน้ำส้ม และสารส้ม ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 2 % 4 % 6% และ 8% ของน้ำหนักไหม ระยะเวลาที่ใช้ในการย้อมครั้งนี้ คือ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 80-85 °C จากผลการทดลองพบว่า การใช้มอร์แดนท์ต่างชนิดกันให้เฉดสีต่างกัน และจากการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักทั้ง 3 วิธี พบว่า เมื่อใช้เหล็ก 6 เปอร์เซ็นต์ จุนสี 2 เปอร์เซ็นต์ และสารส้ม 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไหม ให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักสูงสุด ส่วนการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง พบว่า การย้อมโดยใช้จุนสีเป็นมอร์แดนท์ในทุกระดับให้ค่าความคงทนต่อแสงสูงสุด

J.J. Leec และคณะ [31] ได้ศึกษาลักษณะของสารดูดซับรังสี ยูวี (UV Absorber) ที่มีผลต่อความคงทนต่อแสงของสีย้อมธรรมชาติ โดยได้นำผ้าขนสัตว์และผ้าไหมมาทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติทั้งในกรณีที่ใช้มอร์แดนท์และไม่ใช้มอร์แดนท์ หลังจากนั้นจึงนำไปทำการปรับปรุงกับสารดูดซับรังสี ยูวี ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ผ้าไหมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติกับมอร์แดนท์แล้วนำมาปรับปรุงด้วยสารดูดซับรังสียูวีมีความคงทนต่อแสงดีขึ้น ส่วนการวัดค่าการซีดจางของสีเนื่องจากแสง ซึ่งเป็นการหาค่าจากการวัดค่าความแตกต่างของสีของตัวอย่างก่อนและหลังฉายด้วยรังสีซินอนอาร์เป็นเวลา 20 ชั่วโมง จากผลการทดลองพบว่า ผ้าขนสัตว์สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้ดีกว่าผ้าไหม

ผ่องศรี รอดโพธิ์ทอง [32] ได้ทำการศึกษาลักษณะของวิธีและระยะเวลาเก็บรักษาน้ำสีจากเปลือกมังคุดสดที่มีต่อความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงของผ้าไหม โดยได้ทำการสกัดน้ำสีและทำการเก็บเป็นระยะเวลา 2 เดือน 4 เดือน และ 6 เดือน หลังจากนั้นจึงนำน้ำสีที่เก็บไว้มาทำการย้อมทดสอบกับผ้า โดยใช้สารส้มเป็นมอร์แดนท์ในปริมาณ 10 % ซึ่งจากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการเก็บและวิธีที่ใช้ในการจัดเก็บล้วนมีผลต่อสี ความคงทนของสีต่อการซักและความคงทนของสีต่อแสงของผ้าไหมที่ทำการย้อม

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินการ

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

1. เส้นใยไหมดิบพันธุ์บอมบิกซ์ โมริ *Bombyx mori* (บริษัท จิมทอมป์สัน ประเทศไทย จำกัด)
2. โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) (บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
3. โซเดียมไบคาร์บอเนต (NaHCO_3) (บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
4. เอทานอล ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) (บริษัท Lab scan เกรดปฏิบัติการ)
5. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) (บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
6. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (บริษัท Lab scan เกรดวิเคราะห์)
7. สปันู (Span 80) (บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
8. เมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate, MMA) (บริษัท Lab scan เกรดปฏิบัติการ)
9. เมทาคริลามิด (Methacrylamide, MAA) (บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
10. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammoniumpersulfate) (บริษัท Fluka เกรดวิเคราะห์)
11. กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) (บริษัท Merck เกรดวิเคราะห์)
12. น้ำกลั่น
13. ก๊าซไนโตรเจน
14. ขมิ้น
15. สีย้อมแอสิด Erionyl Yellow A-R, C.I. Acid Orange 67
16. สีย้อมเบสิก Maxilon Yellow 4GL 200% , C.I. Basic Yellow 87
17. โฟแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต (บริษัท Fluka เกรดปฏิบัติการ)

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

1. หลอดทดลองแบบมีฝาปิด
2. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
3. บีกเกอร์
4. ขวดวัดปริมาตร
5. ปากคีบ
6. แท่งแก้วคน
7. กระดาษวัด pH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
9. ตู้อบแบบลดความดัน
10. โถดูดความชื้น
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) : LEO รุ่น 1455 VP
12. กล้องจุลทรรศน์ และไมโครสเกล : รุ่น Optiphot-pol Nikon
13. เครื่องทดสอบสมบัติแรงดึง (Tensile tester) LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument
14. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์รุ่น : รุ่น diamond DSC Perkin Elmer
15. เครื่องเทอร์มัลกราวิมิเตอร์รุ่น (TGA) : รุ่น Pyris 1 TGA Perkin Elmer
16. พูเรียนทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform infrared Spectroscopy, FTIR) : รุ่น FTIR Spectrum GX Perkin Elmer
17. บีเปด
18. ตู้ดูดความชื้น
19. เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์รุ่น Miniscan XE Plus
20. pH มิเตอร์

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยได้แบ่งขั้นตอนในการดำเนินการวิจัยออกเป็น 4 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการลอกกาว ขั้นตอนการตอกรังด้วยมอโนเมอร์ ขั้นตอนการย้อมสีระหว่างสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์และขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมี สมบัติกายภาพ การวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชัน การศึกษาสมบัติทางความร้อน สมบัติทางสัญญาณวิทยาและการศึกษาสมบัติความคงทนของสีในสภาวะต่างๆ ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1 ขั้นตอนการลอกกาว

1. การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการลอกกาว
 - สารละลายไซเดียมคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
 - สารละลายไซเดียมไบคาร์บอเนตความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร
2. ชั่งเส้นใยไหมดิบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งโดยคำนวณน้ำหนักที่ใช้จากอัตราส่วนระหว่างวัสดุกับของเหลวที่ใช้ในการลอกกาวเป็น 1:30 (Material to liquid ratio 1:30)
3. นำเส้นใยที่ได้ไปแช่ในสารละลายลอกกาวผสมระหว่างไซเดียมคาร์บอเนตและสารละลายไซเดียมไบคาร์บอเนตที่อัตราส่วนระหว่างสารละลายผสม 1:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการลอกกาวยที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวยแล้วมาล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 80 °C และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ชับน้ำให้แห้งพอหมาดๆ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ต่อจากนั้นจึงนำไปอบด้วยตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียบ่อยออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์

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

W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านกระบวนการลอกกาวย

5. หลังจากคำนวณเปอร์เซ็นต์การลอกกาวยเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปทำการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยวิธีการต่อกิ่งต่อไป

3.3.2 ขั้นตอนการต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์

1. เตรียมสารละลายมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลตและสารละลายมอนอเมอร์เมทาคริลลาไมด์ที่ความเข้มข้น 0.8 โมล/ลิตร โดยใช้สารละลายผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำที่อัตราส่วน 100/0 75/25 50/50 25/75 และ 0/100 เป็นตัวทำละลายสำหรับใช้ในการต่อกิ่งตลอดการทดลองนี้ และเตรียมสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร สำหรับนำมาใช้เป็นตัวริเริ่มในการเกิดพอลิเมอร์ร่วม

2. ชั่งเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวยแล้วด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง โดยคำนวณน้ำหนักของเส้นใยที่ใช้ในการต่อกิ่งจากอัตราส่วนวัสดุกับของเหลวที่ใช้ในการต่อกิ่งเป็น 1:100 (Material to liquid ratio 1:100) จากนั้นจึงนำเส้นใยที่ได้จากการคำนวณมาใส่ในสารละลายมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต สารละลายมอนอเมอร์เมทาคริลลาไมด์และสารละลายผสมระหว่างมอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลตและเมทาคริลลาไมด์ ที่อัตราส่วน 1:1 โดยคำนวณปริมาณของสารละลายมอนอเมอร์ที่ใช้จากอัตราส่วนดังกล่าว

3. นำของผสมที่เตรียมได้ไปทำการปรับ pH ให้เป็น 3 ด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.05 โมล/ลิตร แล้วนำไปผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นจึงนำไปต่อกิ่งที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที

4. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด นำเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งแล้วมาล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิ 80 °C และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ชับน้ำให้แห้งพอหมาดๆ แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปอบด้วยตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้น (Polymer add-on, G)

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

W_1 คือ น้ำหนักเริ่มต้นของไหมที่ลอกกาแล้ว

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านกระบวนการกึ่ง

3.3.3 ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยไหม

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งขั้นตอนการย้อมสีออกเป็นสองขั้นตอน ได้แก่ การย้อมเส้นใยไหมด้วยสีสังเคราะห์ คือ สีย้อมแอซิดกับสีย้อมเบสิก และการย้อมสีเส้นใยไหมจากสารให้สีธรรมชาติที่ได้จากขมิ้น โดยเป็นการนำเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการลอกกาไว้ก่อนและหลังผ่านกระบวนการตอกลงด้วยมอโนเมอร์ที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุดมาทำการย้อมสีดังกล่าวซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- ขั้นตอนการย้อมเส้นใยไหมด้วยสีย้อมแอซิดและสีย้อมเบสิก

1. ชั่งน้ำหนักเส้นใยไหม 1 กรัม
2. เตรียมส่วนผสมของน้ำย้อมที่จะใช้ในการย้อมดังตารางที่ 3.3 โดยในการย้อมใช้อัตราส่วนของน้ำย้อมต่อเส้นใยไหม คือ 30 : 1

ตารางที่ 3.1 ส่วนผสมของสารละลายที่ใช้ในการย้อมสีเส้นใยไหม

สีย้อม	โซเดียม	โซเดียม	แอมโมเนียม	ERIONYL A	Maxilon	pH
	ซัลเฟต (%)	อะซิเตต (%)	อะซิเตต (g/l)	Yellow (%)	Yellow (%)	
แอซิด	0	0	1	0	3	5-6
เบสิก	5	3	0	0.3	0.3	4-4.5

4. ปรับอุณหภูมิของน้ำย้อมให้มีอุณหภูมิ 40 °C
5. นำเส้นใยไหมแช่ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นจึงเพิ่มอุณหภูมิไปที่ 95 °C ในเวลา 30-60 นาที
6. จากนั้นแช่เส้นใยไหมที่อุณหภูมิ 95 °C เป็นเวลา 45 นาที
7. นำเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมแล้วแช่ลงในน้ำที่อุณหภูมิห้อง ล้างจนน้ำไม่เกิดการเปลี่ยนสี
8. นำเส้นใยไปล้างสีที่ไม่ยึดติดบนเส้นใยในน้ำสบู่เข้มข้น 1 กรัม/ลิตร ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 15 นาที

9. ล้างด้วยน้ำและทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

10. จดบันทึกน้ำหนักของเส้นใยก่อนและหลังผ่านกระบวนการย้อมเพื่อหาความสามารถในการดูดซับสีระหว่างเส้นใยกับสีย้อม ดังนี้

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของเส้นใยใหม่ก่อนการย้อม

W_2 คือ น้ำหนักใหม่หลังผ่านกระบวนการย้อม

- ขั้นตอนการย้อมเส้นใยใหม่ด้วยสารให้สีที่ได้จากขมิ้น [25]

1. เตรียมสารให้สีที่ได้จากขมิ้น โดยนำขมิ้นผงมาแช่ในน้ำและสารละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วน 75:25 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยคำนวณปริมาณของขมิ้นที่ใช้จากอัตราส่วนวัสดุต่อของเหลว 1:20 (Material to liquid ratio 1:20) หลังจากนั้นจึงนำไปกรอง แล้วเก็บน้ำสีที่ได้เพื่อนำไปใช้ในการย้อมต่อไป

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

3. นำเส้นใยที่เตรียมได้ในข้อที่ 2 มาทำการย้อมด้วยน้ำสีที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที โดยการย้อมสีในขั้นตอนนี้มี 2 แบบ คือ การย้อมสีแบบไม่ใช้มอร์แดนต์ และการย้อมสีแบบใช้มอร์แดนต์ในขณะย้อม โดยมอร์แดนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือโพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต จำนวน 8 % โดยน้ำหนักของเส้นใย หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ได้ไปทำการล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายครั้งๆ

4. จดบันทึกน้ำหนักของเส้นใยก่อนและหลังผ่านกระบวนการย้อมเพื่อหาความสามารถในการดูดซับสี ดังนี้

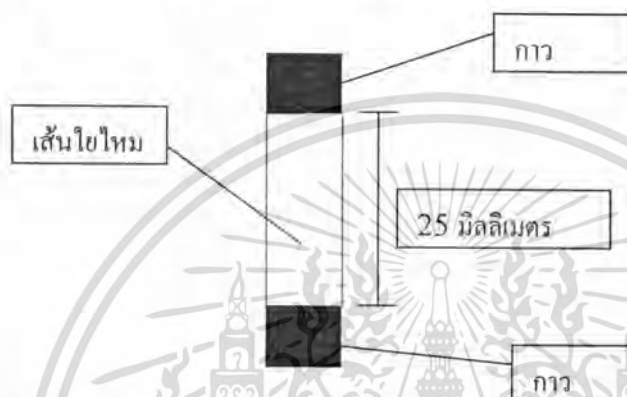
$$\% \text{ Dye uptake} = (W_2 - W_1) / W_1 \times 100$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของเส้นใยใหม่ก่อนการย้อม W_2 คือ น้ำหนักใหม่หลังผ่านกระบวนการย้อม

3.4 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใย [33-34]

ศึกษาความแข็งแรงดึง เทนacity เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมหลังจากกระบวนการลอกกาว และเส้นใยไหมหลังจากกระบวนการปรับปรุง โดยการตอกึงกับไวโนมอนอเมอร์ด้วยเครื่องทดสอบทางแรงดึง (Tensile tester LLOYD รุ่น LR 30 K; LLOYD Instrument) โดยใช้ความเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตร/นาที ระยะเวลาในการจับขึ้นงาน 25 มิลลิเมตร โดยเตรียมตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง [34]

3.4.2 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

- การทดสอบความคงทนต่อกรดและด่าง [13]

1. เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่ความเข้มข้น 3 นอร์มัล/ลิตร และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ความเข้มข้น 0.1 นอร์มัล/ลิตร

2. ชั่งตัวอย่างไหมดิบ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวและเส้นใยไหมที่ทำการตอกึงของสูตรต่างๆ มาทำการอบให้แห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งจนได้น้ำหนักคงที่

3. เทสารละลายกรดและด่างลงในหลอดทดลอง โดยแต่ละหลอดใช้ปริมาณสารละลายหลอดละ 50 มิลลิลิตร หลังจากนั้นจึงนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิจนสารละลายมีอุณหภูมิ 65 °C

4. นำเส้นใยไหมแต่ละชนิดที่ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนมาใส่ในหลอดทดลองที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3 จากนั้นจึงให้ความร้อนที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ชับให้แห้งพอสมควร แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องต่อจากนั้นจึงนำไปอบด้วยตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียไปแสดงในหน่วยของเป็นเปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านการทดสอบ

- การหาความสามารถในการดูดซับความชื้น (Moisture regain) [13]

1. นำตัวอย่างเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบและเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงของสูตรต่างๆ มาวางทิ้งไว้ในห้องควบคุมความชื้นที่มีอุณหภูมิ 21 °C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 % จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ น้ำหนักที่ได้ในส่วนนี้ คือ น้ำหนักของเส้นใยที่ดูดซับความชื้นไว้แล้ว

2. หลังจากนั้นนำเส้นใยไหมที่ได้ไปอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 100-105 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำเส้นใยไหมที่ได้มาใส่ลงในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง จึงนำค่าทั้งสองที่ได้มาคำนวณความแตกต่างเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยผลต่างที่ได้แสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหมในแต่ละสูตร

3.4.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

- การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของเส้นใย [30]

ทำการวิเคราะห์โครงสร้างเส้นใยจากการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลระหว่างเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาบ เส้นใยไหมที่ผ่านการตอกลงด้วยมอโนเมอร์และเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมสีระหว่างสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Infrared Spectroscopy, IR) โดยตัดเส้นใยออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาบดรวมกับโพแทสเซียมโบรไมด์ หลังจากนั้นจึงทำการวิเคราะห์เส้นใยเหล่านี้ในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 4000 cm^{-1} ถึง 600 cm^{-1} โดยทำการสแกนทั้งหมด 4 รอบต่อ 1 ตัวอย่าง

3.4.4 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติทางความร้อน

- การศึกษาสมบัติทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหม

ศึกษาสมบัติทางความร้อนและอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ เส้นใยไหมที่ผ่านการตอกลงด้วยมอโนเมอร์โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) และเทคนิคเทอร์โมกราวิเมทริก (Thermal gravimetric, TGA) ที่อัตราการให้ความร้อน 10 °C/นาทีก่อน โดยใช้ช่วงอุณหภูมิ 50-480 °C กับ 50-800 °C ตามลำดับ

3.4.5 การศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม [36]

ศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว เส้นใยไหมที่ผ่านการตอทิ้งด้วยมोनอเมอร์โดยใช้เทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่กำลังขยาย 200 เท่า โดยก่อนนำเส้นใยไหมไปทำการวิเคราะห์ให้ทำการเคลือบเส้นใยด้วยทองเพื่อป้องกันการเกิดประจุสะสมที่ผิวของเส้นใย

3.4.6 การทดสอบความคงทนของสีย้อม

ศึกษาความคงทนของสีย้อมต่อสภาวะต่างๆ เช่น ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนของสีต่อการซักฟอก ความคงทนของสีต่อเหงื่อ โดยเป็นการเปรียบเทียบผลที่ได้ระหว่าง การย้อมเส้นใยไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์ทั้งก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังตอทิ้งด้วยมोनอเมอร์ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักฟอก (มอก. 121)

1. เตรียมผ้าฝ้ายมาตรฐาน 1 ชิ้น ผ้าไหม 1 ชิ้นขนาด 4x10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน
3. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยไหมที่ต้องทำการทดสอบ โดยกำหนดให้น้ำหนักของเส้นใยที่ต้องทำการทดสอบเป็นครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่งได้
4. จัดวางเส้นใยให้ขนานตามความยาวของผ้ามาตรฐาน หลังจากนั้นนำผ้าไหมและผ้าฝ้ายมาตรฐานที่เตรียมไว้ในข้อที่ 1 มาประกบ ขริบเส้นใยที่มีความยาวเกิดกว่าผ้ามาตรฐานต่อจากนั้นเย็บริมขอบทั้งสี่ด้านของผ้ามาตรฐาน
5. เตรียมสารละลายน้ำสบู่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร
6. นำชิ้นตัวอย่างที่ต้องการทดสอบใส่ในกระบอกซัก หลังจากนั้นเติมสารละลายน้ำสบู่ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 5 โดยให้มีอัตราส่วนน้ำหนักระหว่างวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:50
7. นำไปซักด้วยเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซักที่อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
8. เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำชิ้นตัวอย่างออกจากเครื่องซัก ทำความสะอาดด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง หลังจากนั้นนำไปผ่านด้วยน้ำให้ไหลตลอดเวลา 10 นาที
9. บีบน้ำออกจากชิ้นทดสอบ เลาะด้ายที่เย็บออก 3 ด้านโดยเว้นด้านกว้างไว้ด้านหนึ่ง
10. ตากชิ้นตัวอย่างให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยกางผ้าสามชิ้นออกจากกัน
11. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่างโดยประเมินค่าจากการใช้เกรย์สเกลมาตรฐาน

- การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (มอก. 121)

ในการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อได้แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรด และ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นด่าง โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. เตรียมสารละลายเหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่

- สารละลายเหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นกรด

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

- สารละลายเหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง

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

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

3. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน

4. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยไหมที่ต้องการทดสอบให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่ง

5. วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาว นำผ้าขาวมาตรฐานในข้อ 1 มาประกบแล้วเย็บริมด้านตรงข้าม 2 ด้าน

6. แร่ชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นในสารละลายเหงื่อแต่ละชนิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาทีโดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับชิ้นทดสอบคือ 50 ต่อ 1 ของน้ำหนักชิ้นทดสอบ

7. แกว่งและบีบชิ้นตัวอย่างเป็นครั้งคราวเพื่อให้เปียกทั่วกัน

8. เทสารละลายออกแล้วใช้แท่งแก้วสองอันบีบสารละลายที่มีมากเกินไปออก

9. วางชิ้นทดสอบระหว่างแผ่นแก้วขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร 2 แผ่น

10. นำไปใส่เครื่องทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ (Perspirometer) ปรับเครื่องให้แรงกดดันชิ้นทดสอบมีค่าเป็น 44 นิวตัน

11. ทำการทดสอบความคงทนต่อเหงื่อที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

12. นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นกางผ้า ทั้ง 3 ส่วนออกจากกัน

13. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและปริมาณสีที่ติดบนผ้าขาวโดยเปรียบเทียบกับเกรย์สเกล

14. รายงานผลเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน

- การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก) (มอก. 121)

1. เตรียมผ้าสีมาตรฐานซึ่งเป็นผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินที่ย้อมด้วยสีดังในตาราง โดยมีค่าความคงทนจากระดับต่ำสุด คือ 1 และสูงสุด คือ 8 โดยในแต่ละระดับมีค่าความคงทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (โดยประมาณ)

2. เตรียมชิ้นงานในการทดสอบแต่ละชิ้นให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยพันรอบกระดาษแข็ง

3. วางเรียงชิ้นทดสอบและผ้าสีมาตรฐานตามลำดับดังตารางที่ 3.3

4. ปิดแผ่นทึบแสงบนชิ้นทดสอบและผ้ามาตรฐาน

5. ประเมินอัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบโดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบกับผ้าสีมาตรฐาน

ตารางที่ 3.2 สีที่ใช้ย้อมผ้าสีมาตรฐาน

อัตราความคงทนต่อแสง	สีที่ใช้ย้อม*
1	C.I. Acid Blue 104
2	C.I. Acid Blue 109
3	C.I. Acid Blue 83
4	C.I. Acid Blue 121
5	C.I. Acid Blue 47
6	C.I. Acid Blue 23
7	C.I. Solubilized Vat Blue 5
8	C.I. Solubilized Vat Blue 8

*จากหนังสือ Colour Index, second edition, volume 1. The Society of Dyers and Colourists, Bradford, Yorkshire, 1956.

3.4.7 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี

ทำการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงสีและดัชนีการเกิดสีเหลืองของชิ้นงาน ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์รุ่น Miniscan XE Plus โดยใช้ระบบของ CIE $L^* a^* b^*$ [26] เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณินใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมพันธุ์บอมบิกซ์มอริ (*Bombyx mori*) ด้วยวิธีการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล โดยเลือกใช้ MMA และ MAA เป็นมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกิ่งทดลองงานวิจัยนี้

4.1 การลอกกาวและการต่อกิ่ง

เนื่องจากไหมดิบมีลักษณะแข็งกระด้าง ไม่มีความมันเงา มีสีเหลือง จึงทำให้สมบัติที่มีอยู่เหล่านี้ไม่เหมาะสมกับการนำเส้นใยไหมดิบไปใช้ในกระบวนการสิ่งทอ ดังนั้นวิธีการเบื้องต้นที่นำมาใช้ในการปรับปรุงเพื่อให้เส้นใยเหล่านี้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอ คือ การใช้สารเคมีในการลอกกาวซึ่งจัดว่าเป็นกระบวนการพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการผลิตเส้นใยไหม ซึ่งชนิดของสารเคมี เวลา และอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อสมบัติของเส้นใยไหมที่ได้ [11-12] จากงานวิจัยของ ลลิตา บุญโถม ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของสารเคมีและสภาวะที่มีต่อสมบัติของเส้นใยไหมที่นำมาลอกกาวพบว่า เส้นใยไหมที่ทำการลอกกาวกับสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที ให้เส้นใยที่มีสมบัติโดยรวมที่ดีที่สุด คือ เส้นใยที่ได้มีความมันเงา มีความนุ่มสูง มีความฟูเล็กน้อย และเปอร์เซ็นต์ของการลอกกาวที่ได้จากวิธีนี้อยู่ในช่วง 22-25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้สภาวะนี้ ในการลอกกาวเส้นใยไหมทดลองงานวิจัยนี้ [36]

เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วแม้ว่ามีลักษณะภายนอกที่ดีขึ้น แต่ยังคงมีข้อด้อยต่างๆ ได้แก่ มีความสามารถคืนตัวเนื่องจากรอยยับและสมบัติทางความร้อนที่ไม่ดี เมื่อสัมผัสกับแสงแดดเป็นเวลานานๆ เกิดสีเหลืองเนื่องจากการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีนในเส้นใยทำให้มีสมบัติเชิงกลที่ลดลง โดยมีงานวิจัยต่างๆ ที่พยายามปรับปรุงข้อด้อยเหล่านี้ซึ่งวิธีที่นิยมและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย คือ เทคนิคการต่อกิ่งเส้นใยไหมกับไวนิลมอนอเมอร์ ซึ่งเส้นใยที่ได้มีสมบัติแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์และตัวริเริ่ม สภาวะที่ใช้ และเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งที่ได้ [3] อีกทั้งในงานวิจัยของ ลลิตา บุญโถมได้ทำการต่อกิ่งเส้นใยไหมพันธุ์บอมบิกซ์มอริ (*Bombyx mori*) ด้วยวิธีการต่อกิ่งกับ MMA MAA และมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA/MAA ที่อุณหภูมิและเวลาต่างๆ โดยใช้แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟตเป็นตัวริเริ่มพบว่า เส้นใยที่ทำการต่อกิ่งที่อุณหภูมิ 80 °C [35] ให้สมบัติโดยรวมที่ดี แต่จากการทดลองพบว่าเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA เพียงอย่างเดียวและมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA กับ MAA ให้เส้นใยที่มีเม็ดเล็กๆ (Granule) ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่วารณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดจากโอลิโกเมอร์ของมอนอเมอร์ประเภทนี้เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าว โดยเลือกใช้สภาวะในการตอกึ่งดังที่ได้กล่าวไว้ แต่ใช้ตัวกลางเป็นตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วน 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ซึ่งรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองมีดังต่อไปนี้

4.2 ลักษณะภายนอกของเส้นใย

งานวิจัยนี้ได้นำเส้นใยไหมดิบมาผ่านกระบวนการลอกกาวยโดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที และหลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ได้มาทำการตอกึ่งกับ MMA MAA และมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA และ MAA ในอัตราส่วน 1:1 ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาทีในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเส้นใยที่ได้จากเกณฑ์การพิจารณาจากสายตาและการสัมผัสด้วยมือมีสมบัติที่แตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.1 – 4.4

ตารางที่ 4.1 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมหลังลอกกาวย

ชนิดของเส้นใย	ลักษณะของเส้นใย
เส้นไหมดิบ	เส้นใยมีสีเหลืองมีลักษณะที่แข็งกระด้าง ไม่มีความมันเงา
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวย	เส้นไหมมีสีเหลืองอ่อนจนถึงสีขาว มีความมันเงา มีลักษณะภายนอกที่ดีและนุ่ม

ตารางที่ 4.2 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการตอกลงด้วย MMA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วนต่างๆ

ชนิดของเส้นใย	อัตราส่วนระหว่าง น้ำ:เอทานอล	ลักษณะของเส้นใย
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	100:0	ไม่มีความมันเงาเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา มีความแข็งกระด้าง เส้นใยมีลักษณะออกสีเหลือง และมีพื้นผิวที่ขรุขระเนื่องจากมีโอลิโกเมอร์เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	75:25	เส้นใยมีลักษณะสีขาว มีความแข็ง ไม่มีความมันเงาและแข็งกระด้าง
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	50:50	เส้นใยมีลักษณะสีขาว แข็งกระด้าง ไม่มีความมันเงา และมีลักษณะที่แข็ง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	25:75	มีลักษณะสีขาว มีความแข็งกระด้างเล็กน้อย มีความมันเงาลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยในกลุ่มเดียวกันพบว่ามีลักษณะที่ดีกว่า
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	0:100	เส้นใยที่ได้มีสีขาว มีความมันเงาที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมที่ผ่านการลอกกา แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยในกลุ่มเดียวกันพบว่ามีลักษณะที่ใกล้เคียงกับสูตรที่แล้ว

ตารางที่ 4.3 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการตอกลงด้วย MAA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วนต่างๆ

ชนิดของเส้นใย	อัตราส่วนระหว่าง น้ำ:เอทานอล	ลักษณะของเส้นใย
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	100:0	มีลักษณะเป็นสีขาว มีความมันเงาและนุ่มและใกล้เคียงกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	75:25	มีลักษณะเป็นสีขาว มีความมันเงาและนุ่มใกล้เคียงกัน
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	50:50	เป็นสีขาว มีความมันเงาและนุ่มที่ใกล้เคียงกับสูตรที่กล่าวมา
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	25:75	เส้นใยเป็นสีขาว มีความมันเงาและนุ่ม
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	0:100	เส้นใยเป็นสีขาว มีความมันเงาและนุ่ม

ตารางที่ 4.4 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการตอกกิ่งด้วย MMA และ MAA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วนต่างๆ

ชนิดของเส้นใย	อัตราส่วนระหว่างน้ำ:เอทานอล	ลักษณะของเส้นใย
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	100:0	มีลักษณะที่แข็ง มีสีขาวไม่มีความมันเงา เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาและมีลักษณะที่ขรุขระซึ่งเกิดจากโอลิโกเมอร์เกาะที่ผิวของเส้นใย
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	75:25	มีลักษณะที่แข็งกระด้างบ้าง มีความมันเงาที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมที่ผ่านการลอกกา
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	50:50	มีลักษณะที่แข็งกระด้าง มีความมันเงาที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมที่ผ่านการลอกกา
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	25:75	มีลักษณะที่แข็งกระด้าง มีความมันเงาที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาแต่เมื่อเปรียบเทียบกับในสูตรเดียวกันมีลักษณะที่ดีกว่าสูตรก่อนหน้า
เส้นไหมที่ผ่านการลอกกา	0:100	มีลักษณะที่แข็งกระด้าง มีความมันเงาที่ลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นไหมที่ผ่านการลอกกาแต่มีลักษณะเส้นใยคล้ายกับสูตรก่อนหน้า

จากตารางที่ 4.1 ถึง 4.4 สามารถสรุปลักษณะต่างๆ ของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการตอกกิ่งกับ MMA MAA และมอนอเมอร์ผสมของ MMA /MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

- เส้นใยไหมดิบมีลักษณะที่แข็งกระด้างเนื่องจากกาไหมที่เคลือบเส้นใยอยู่ โดยเมื่อพิจารณาจากลักษณะภายนอกพบว่ากาไหมที่เคลือบเส้นใยอยู่ มีลักษณะพื้นผิวที่ไม่ราบเรียบ ลักษณะคล้ายลูกคลื่นและมีความเป็นระเบียบน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา (รูปที่ 4:1(ก))
- เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาด้วยสารละลายผสมระหว่างไซเดียมคาร์บอเนตและไซเดียมไบคาร์บอเนตมีลักษณะที่มันเงา มีลักษณะที่นุ่มและมีพื้นผิวที่ราบเรียบกว่า (รูปที่ 4.1(ข))
- เส้นใยไหมที่ทำการตอกกิ่งกับ MMA พบว่าเส้นใยที่ได้มีความมันเงาที่ลดลง มีความแข็งกระด้าง เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมลอกกา โดยเฉพาะสูตรที่ใช้น้ำในอัตราส่วนมากๆ
- เส้นใยไหมที่ทำการตอกกิ่งกับ MAA พบว่าเส้นใยที่ได้มีลักษณะที่ใกล้เคียงกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา กล่าวคือ มีความมันเงา นุ่มและมีความขาวมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกา

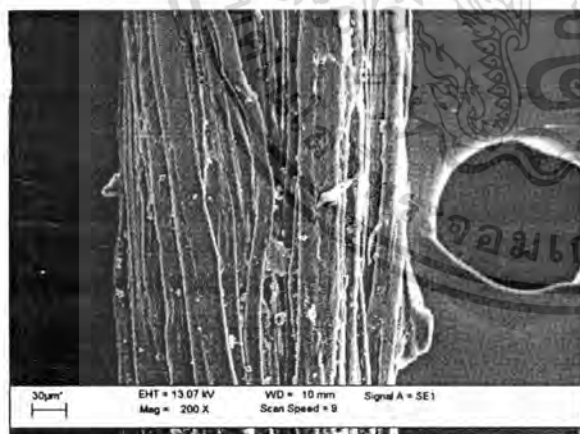
- เมื่อพิจารณาเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกกับมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA/MAA พบว่าเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกกับมอนอเมอร์ดังกล่าวโดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็น 75 :25 ให้สมบัติโดยรวมใกล้เคียงกับเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวมากที่สุด แม้ว่าความมันเงาที่ได้จะลดลงไปบ้าง แต่ความนุ่มอยู่ในลักษณะใกล้เคียงกับเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกา

4.3 สัณฐานวิทยา

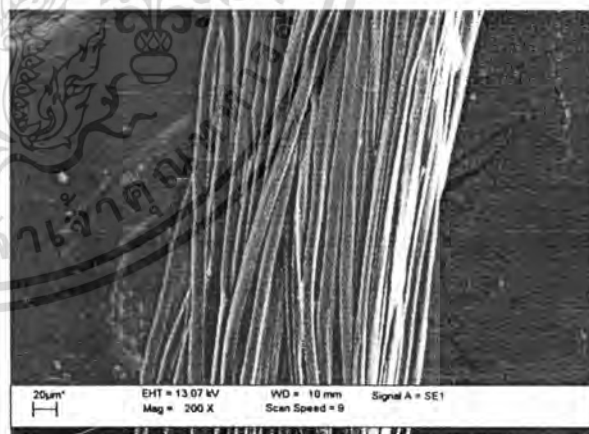
ในงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบสัณฐานวิทยาของเส้นใยใหม่ทั้งก่อนและหลังลอกกาวก่อนและหลังการตอกด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดลักษณะต่างๆ ที่ได้มีดังนี้

4.3.1 สัณฐานวิทยาของเส้นใยใหม่ดิบและเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกา

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่าเส้นใยใหม่ดิบ (รูปที่ 4.1 (ก)) มีลักษณะถูกยึดติดรวมกันและมีพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาด้วยสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนต (รูปที่ 4.1 (ข)) ลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจากกาใหม่ที่ปกคลุมเส้นใยใหม่ ในขณะที่เส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาด้วยสารละลายดังกล่าวมีลักษณะที่ราบเรียบขึ้นและเส้นใยที่ได้ไม่ถูกยึดติดรวมกันเหมือนกับเส้นใยใหม่ดิบ



(ก)



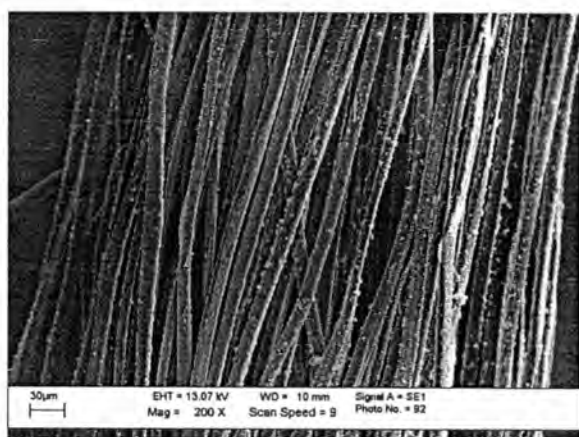
(ข)

รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ก) เส้นใยใหม่ดิบและ (ข) เส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกา

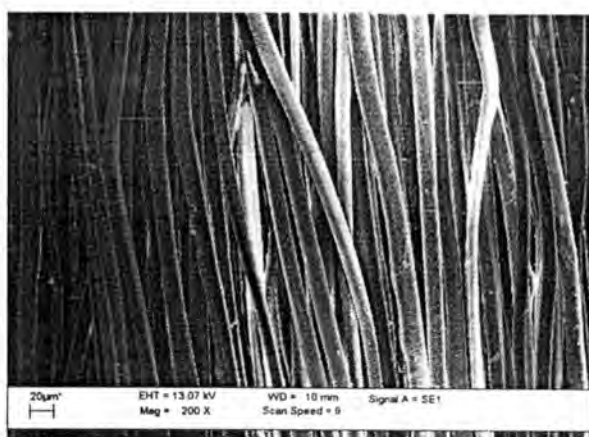
4.3.2 สันฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกทวนและการตอกกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์

เมื่อทำการลอกทวนเส้นใยไหมดิบแล้ว จึงนำเส้นใยที่ได้มาทำการตอกกิ่งกับ MMA MAA และมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA/MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ จากการพิจารณาสันฐานวิทยาของเส้นใยก่อนและหลังการตอกกิ่งด้วยมอนอเมอร์ดังกล่าว ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4.2 พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งโดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว (รูปที่ 4.2 (ก)) มีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่าเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล (รูปที่ 4.2 (ข) และ (ค)) โดยลักษณะดังกล่าวคาดว่าเป็นผลมาจากการเกิดเม็ดเล็กๆ (Granule) ซึ่งเกิดจากโอลิโกเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดนี้เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย [3] แสดงให้เห็นว่าชนิดของตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวกลางของระบบมีผลต่อการตอกกิ่งของมอนอเมอร์กับเส้นใย

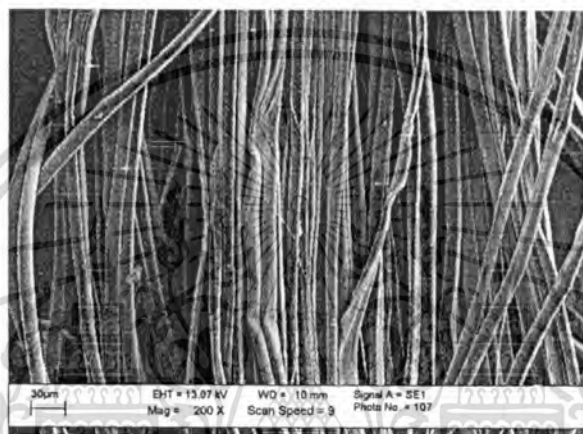
การตอกกิ่งเส้นใยไหมกับ MMA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 และ 0:100 พบว่าเป็นอัตราส่วนของตัวทำละลายที่มีความเหมาะสม เนื่องจากเส้นใยที่ได้มีพื้นผิวที่สม่ำเสมอมากกว่าการตอกกิ่งในตัวทำละลายน้ำเพียงอย่างเดียว โดยตัวทำละลายดังกล่าวอาจจะทำให้มอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบกิ่ง (Graft copolymer) บนตำแหน่งที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาซึ่งอยู่บนโครงสร้างโปรตีนของเส้นใยไฟโบรอินได้ดีกว่าการใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย นอกจากนี้ MMA ที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งยังสามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโมพอลิเมอร์ไรเซชันได้อีก ดังจะเห็นจากการมีโอลิโกเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดนี้เกาะอยู่ที่พื้นผิวของเส้นใยเมื่อใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย แสดงว่าการใช้น้ำเป็นตัวกลางของระบบเพียงอย่างเดียว ทำให้มอนอเมอร์ชนิดนี้เกิดไฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) มากกว่าเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบกิ่งตรงตำแหน่งที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยไหม



(ก)



(ข)



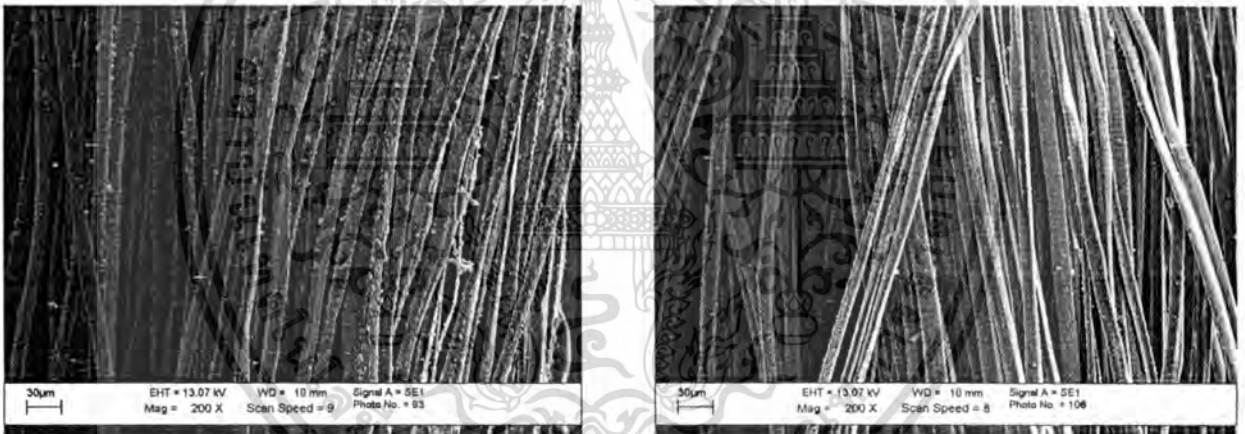
(ค)

รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเส้นใยใหม่ที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่มีตัวทำละลาย (ก) น้ำ (ข) น้ำ:เอทานอล 25:75 และ (ค) เอทานอล

เนื่องจากตำแหน่งที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของโปรตีนกับมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการต่อกิ่ง ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล หมู่เอไมด์และหมู่คาร์บอนิลที่อยู่บนโครงสร้างโปรตีน [17] โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งระหว่างมอนอเมอร์และโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยใหม่ ซึ่งคาดว่าปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นมีลักษณะดังต่อไปนี้ โดยตัวอย่างที่ยกมาเป็นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบกิ่งตรงตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นหมู่ข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดดังรูปที่ 4.4 ซึ่งเป็นของเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วยมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA และ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนระหว่าง 100:0 (รูปที่ 4.4 (ก)) และ 25:75 (รูปที่ 4.4 (ข)) พบว่าการใช้น้ำเป็นตัวทำละลายทำให้เส้นใยมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระและไม่สม่ำเสมออันเป็นผลมาจากการเกิดโพลิโกเมอร์ของ MMA พอลิเมอร์ขึ้นบนพื้นผิวเส้นใย อีกทั้งยังทำให้เส้นใยมีลักษณะที่แข็งกระด้างไม่เหมาะสมกับการนำเส้นใยไปผลิตใช้งานด้านสิ่งทอ แต่เมื่อนำลักษณะของเส้นใยดังกล่าวไปทำการเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ทำการตอกลงกับมอนอเมอร์ดังกล่าวในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วน 25:75 พบว่าเส้นใยที่ได้มีลักษณะที่พื้นผิวที่ลื่นกว่าแสดงให้เห็นว่าการใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลายผสมร่วมกับน้ำคาดว่าทำให้เกิดการซึมผ่านของ MMA ไปเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์รวมแบบกึ่งกับไฟโบรอินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของ เส้นใยไหมได้ดีกว่า อีกทั้งยังทำให้ความมันเงาของเส้นใยที่ได้จากการใช้ตัวทำละลายในอัตราส่วนนี้มีความมันเงามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียว



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วยมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA และ MAA ในตัวทำละลายที่เป็น (ก) น้ำและ (ข) น้ำ:เอทานอล 25:75

4.4 ผลของอัตราส่วนตัวทำละลายผสมที่มีต่อกระบวนการตอ่กึ่ง

นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้ศึกษาเพิ่มเติมถึงอัตราส่วนตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลซึ่งใช้เป็นตัวกลางในกระบวนการตอ่กึ่งที่มีผลต่อความสามารถในการตอ่กึ่ง โดยรายละเอียดต่างๆ มีดังต่อไปนี้

4.4.1 ความสามารถในการตอ่กึ่ง

จากการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหมโดยวิธีการตอ่กึ่งกับ MMA และ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเส้นใยที่ได้ให้ความสามารถในการตอ่กึ่งแตกต่างกัน โดยความสามารถในการตอ่กึ่งของเส้นใยไหมกับมอนอเมอร์พิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ (% Polymer add on) ผลที่ได้จากการตอ่กึ่งแสดงไว้ดังตารางที่ 4.5 จากการพิจารณาข้อมูลดังกล่าว พบว่าอัตราส่วนของตัวทำละลายผสมที่ใช้ในกระบวนการตอ่กึ่งของมอนอเมอร์แต่ละชนิด มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ ปัจจัยดังกล่าวคาดว่าอาจเกิดจากตัวทำละลายผสมที่ใช้ในแต่ละอัตราส่วน มีความสามารถในการทำให้มอนอเมอร์เกิดการตอ่กึ่งกับตำแหน่งที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของเส้นใยได้แตกต่างกัน

ตารางที่ 4.5 เปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ในเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการตอ่กึ่งกับ MMA และ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ

อัตราส่วนตัวทำละลายระหว่างน้ำ:เอทานอล	MMA	MAA	MMA และ MAA
100:0	140 ±5	145 ±5	44 ±5
75:25	216 ±7	92 ±7	38 ±4
50:50	256 ±10	45 ±7	35 ±5
25:75	54 ±3	33 ±5	36 ±5
0:100	60 ±3	25 ±7	41 ±5

จากตารางที่ 4.5 ถ้าพิจารณาในกลุ่มเส้นใยที่ทำการปรับปรุงด้วย MMA และ MAA เพียงอย่างเดียวในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลของแต่ละอัตราส่วนพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ที่แตกต่างกัน ยกเว้นเส้นใยที่ทำการตอ่กึ่งด้วย MMA/MAA ที่ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาในกลุ่มเส้นใยไหมที่ทำการตอ่กึ่งด้วย MMA ในแต่ละอัตราส่วนพบว่า มีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์แตกต่างกัน โดยเส้นใยที่ทำการตอ่กึ่งด้วย MMA

ในตัวทำละลายผสมเป็น 75:25 และ 50:50 ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ค่อนข้างสูง แต่เมื่อพิจารณาจากลักษณะภายนอกของเส้นใยจะเห็นได้ว่า เส้นใยดังกล่าวไม่มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานทางสิ่งทอ เนื่องจากมีลักษณะที่แข็งเกินไป ส่วนเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็น 25:75 กับ 0:100 แม้จะให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ที่น้อย แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.2 ประกอบ พบว่า เส้นใยที่ได้ให้พื้นผิวที่สม่ำเสมอ บ้างจึงดังกล่าวคาดว่าอาจเกิดเนื่องจากเมื่อใช้เอทานอลในอัตราส่วนที่มากขึ้น เอทานอลบางส่วนอาจจะสลายตัวให้อนุมูลอิสระ โดยอนุมูลอิสระดังกล่าวอาจไปรบกวนปฏิกิริยาการต่อกิ่งของ MMA บนเส้นใย จึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยที่ได้มีปริมาณการเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ที่ลดลง

ส่วนเส้นใยใหม่ที่ทำการต่อกิ่งกับ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้น เมื่ออัตราส่วนของน้ำที่ใช้ในตัวทำละลายผสมเพิ่มขึ้น จากตารางที่ 4.3 เห็นได้ว่าเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งกับ MAA โดยใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเพียงอย่างเดียวให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์สูงที่สุด ในขณะที่การต่อกิ่งกับมอนอเมอร์ดังกล่าวแต่ใช้อัตราส่วนของเอทานอลเพิ่มขึ้น ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ลดลงตามลำดับ เหตุผลเหมือนกับที่กล่าวไว้ใน การต่อกิ่งด้วย MMA

ส่วนการต่อกิ่งเส้นใยใหม่ด้วย MMA/MAA ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วน แสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายผสมที่ใช้ในกระบวนการต่อกิ่งของมอนอเมอร์ชนิดนี้ ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.3 กับรูปที่ 4.3 ประกอบจะเห็นได้ว่าเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA/MAA ในตัวทำละลายผสม 25:75 ให้พื้นผิวของเส้นใยที่สม่ำเสมอและมีความแข็งแรงด่างน้อยกว่า

4.4.2 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยใหม่ที่ทำการต่อกิ่ง MMA และ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่ใช้เป็นตัวกลาง ในกระบวนการปรับปรุงสมบัติเส้นใยใหม่ด้วยวิธีการต่อกิ่งกับ MMA/MAA และมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA/MAA ที่มีต่อสมบัติทางแรงดึงของเส้นใยใหม่ทั้งก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยที่ถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แรงที่ใช้ในการดึง (Load) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัส (Modulus) และเทนาซิตี

4.4.2.1 แรงที่ใช้ในการดึง (Load)

ตารางที่ 4.6 แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกกิ่งโดยไหมดิบและไหมลอกกาวมีค่าความแข็งแรงดึง 7.64 และ 7.10 MPa ตามลำดับ

อัตราส่วนตัวทำละลาย ผสมของน้ำกับเอทานอล	ความแข็งแรงดึง (MPa)		
	MMA	MAA	MMA/MAA
100:0	9.19	10.10	9.35
75:25	9.10	9.36	9.30
50:50	9.78	9.34	9.63
25:75	9.89	9.32	9.46
0:100	8.60	8.90	9.72

* ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงประมาณ ± 0.5

จากตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงที่ใช้ในการดึงระหว่างเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมลอกกาว พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อนำเส้นใยทั้งสองมาเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านการตอกกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกกิ่งมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงสูงกว่าเส้นใยทั้งสอง ลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของเส้นใยหลังการตอกกิ่ง (Weight gain) นอกจากนี้มอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งยังอาจทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โปรตีนของไฟโบรอินที่อยู่ติดกัน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เส้นใยที่ทำการตอกกิ่งมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงที่สูง [6,19] และเมื่อเปรียบเทียบค่าแรงที่ใช้ในการดึงของเส้นใยไหมที่ทำการตอกกิ่งในแต่ละกลุ่มพบว่ามีค่าแรงที่ใช้ในการดึงใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนของตัวทำละลายผสม

4.4.2.2 เปอร์เซนต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

จากการพิจารณาค่าเปอร์เซนต์การดึงยืดของเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการตอกกิ่งด้วยมอนอเมอร์ในตารางที่ 4.7 พบว่ามีความแตกต่างกัน กล่าวคือเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วมีค่าเปอร์เซนต์การดึงยืดที่สูงกว่าเส้นใยไหมดิบ โดยปัจจัยดังกล่าวเป็นผลมาจากกาวไหมที่เคลือบเส้นใยไฟโบรอิน เป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของเส้นใยไฟโบรอิน เมื่อมีแรงมากกระทำกับเส้นใยทำให้ความสามารถในการดึงยืดของเส้นใยไหมดิบลดลง

ตารางที่ 4.7 เปอร์เซ็นต์การดึงยืดดึง ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของเส้นใยไหมก่อน และหลังการตอกกึ่งโดยไหมดิบ และไหมลอกกาวมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืดเป็น 21 และ 24 ตามลำดับ

อัตราส่วนตัวทำละลาย ผสมของน้ำกับเอทานอล	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด		
	MMA	MAA	MMA/MAA
100:0	20	22	24
75:25	20	22	24
50:50	26	21	27
25:75	28	19	24
0:100	25	22	27

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงประมาณ ± 3

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่ง พบว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วมีค่าความสามารถในการดึงยืดที่สูงกว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกกึ่งในบางสูตร โดยเฉพาะเส้นใยที่ทำการตอกกึ่งด้วย MMA ในตัวทำละลายผสมที่มีอัตราส่วนของน้ำที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเส้นใยดังกล่าวมีโอลิโกเมอร์เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใยค่อนข้างมาก จึงเป็นตัวขัดขวางในการส่งผ่านแรงของเส้นใยทำให้เส้นใยมีความสามารถในการดึงยืดลดลง ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกกึ่งในตัวทำละลายผสมเป็น 50 :50 มีค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดที่สูงกว่าอาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย เนื่องจากเส้นใยดังกล่าวมีโอลิโกเมอร์เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย จึงอาจเป็นปัจจัยให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย แต่เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การดึงยืดของเส้นใยที่ทำการตอกกึ่งกับมอนอเมอร์ในกลุ่มเดียวกัน ระหว่างที่เส้นใยที่ทำการตอกกึ่งด้วย MAA และ MMA/MAA ให้ค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืดใกล้เคียงกัน

4.4.2.3 มอดุลัส 3 % (3% Modulus)

จากตารางที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบค่ามอดุลัสระหว่างเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีค่าสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากไหมที่เคลือบอยู่ทำให้เส้นใยไหมดิบมีความสามารถในการต้านแรงดึงที่สูงและมีความสามารถในการดึงยืดที่ต่ำ จึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยไหมดิบมีค่ามอดุลัสสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว แต่เมื่อนำเส้นใยดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมตอกกึ่ง พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกกึ่งมีค่ามอดุลัสสูงกว่า ปัจจัยดังกล่าวเป็นผลมาจากมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกกึ่งนอกจากจะเกิดการตอกกึ่งตรงบริเวณที่เป็นอัสติรอน

ของเส้นใยแล้วยังมีโอกาสที่จะเกิดการเชื่อมโยงระหว่างโครงสร้างของสายโซ่ไฟโบรอินที่อยู่ติดกัน [6,19] จึงเป็นผลทำให้เส้นใยที่ทำการตอกมีค่ามอดุลัสสูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาค่ามอดุลัสของเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกกับ MMA MAA และ MMA/MAA ในแต่ละกลุ่ม พบว่ามีแนวโน้มของค่ามอดุลัสใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายที่ใช้ในกระบวนการตอกไม่มีผลต่อค่ามอดุลัสของเส้นใยที่ได้มากนัก

ตารางที่ 4.8 มอดุลัสที่ 3% (3% Modulus) ของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการตอกโดยไหมดิบและไหมลอกการมีมอดุลัสเป็น 2.01 และ 1.89 ตามลำดับ

อัตราส่วนตัวทำละลายผสมของน้ำกับเอทานอล	มอดุลัส (GPa)		
	MMA	MAA	MMA/MAA
100:0	2.06	3.00	2.10
75:25	2.71	2.62	2.80
50:50	2.59	2.59	2.38
25:75	2.77	2.80	2.74
0:100	2.93	2.50	3.15

* ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงประมาณ ± 0.15

4.4.2.4 เทนาซิตี (Tenacity)

ตารางที่ 4.9 เทนาซิตีของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการตอก โดยไหมดิบและไหมลอกการมีเทนาซิตี เป็น 4.20 และ 3.95 ตามลำดับ

อัตราส่วนตัวทำละลายผสมของน้ำกับเอทานอล	เทนาซิตี		
	MMA	MAA	MMA/MAA
100:0	1.71	1.99	3.86
75:25	1.81	3.55	1.75
50:50	2.07	2.75	2.00
25:75	2.88	3.70	2.59
0:100	2.83	3.65	2.45

* ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ในช่วงประมาณ ± 1

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าค่าเทนาซิตีเป็นการวัดแรงที่ใช้ต่อน้ำหนักของเส้นใยในรูปของเดเนียร์ จากการทดลองพบว่า เส้นใยใหม่ที่ทำการตอกมีค่าเทนาซิตีต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นใยไหมลอกกาบ ปัจจัยดังกล่าวเป็นผลมาจากเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งมีน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมากกว่าแรงที่ใช้ในการดึงเส้นใย จึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยที่ทำการตอกิ่งมีค่าเทนาคิตีลดลง

เมื่อพิจารณาค่าเทนาคิตีของเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับมอนอเมอร์ในแต่ละกลุ่มเทียบกับเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ในตารางที่ 4.5 ประกอบพบว่าค่าเทนาคิตีของเส้นใยไหมในแต่ละกลุ่มมีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าเทนาคิตีในกลุ่มเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่ง พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MAA ให้ค่าเทนาคิตีที่สูงกว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MMA และ MMA/MAA

จากการพิจารณาข้อมูลในตารางที่ 4.2-4.9 และข้อมูลในรูปที่ 4.2-4.4 ประกอบซึ่งเป็นของกลุ่มเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MMA MAA และ MMA/MAA พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MMA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็น 0:100 และ 25:75 เส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลในอัตราส่วน 100:0 กับ 25:75 และเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MMA/MAA ในตัวทำละลายผสมเป็น 25:75 ให้สมบัติโดยรวมอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

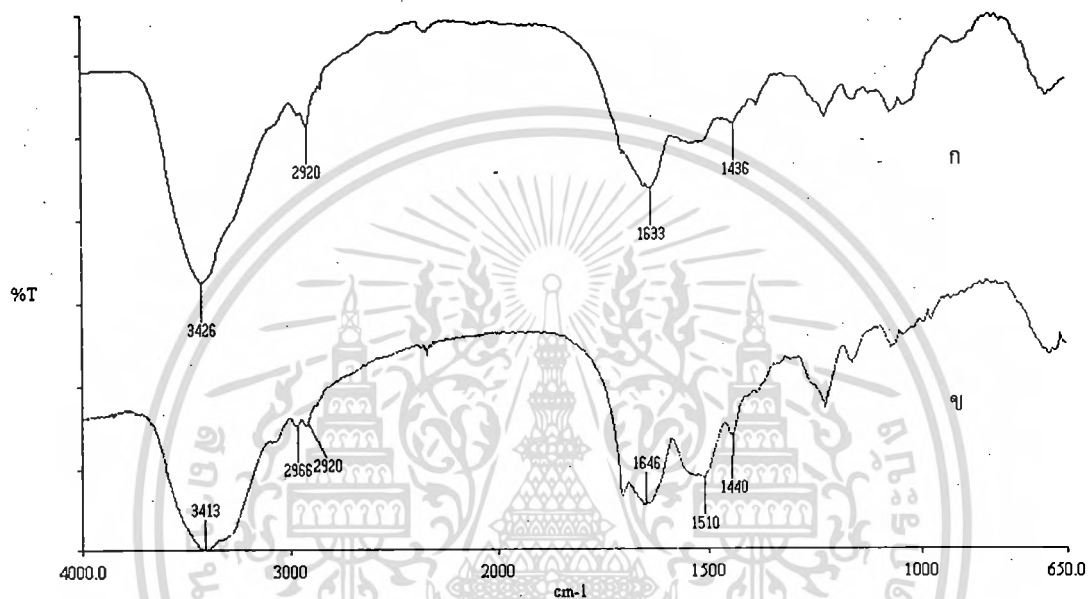
ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งมีสมบัติเชิงกลที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ โดยเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MMA MAA และ MMA/MAA มีค่าแรงที่ใช้ในการดึงสูงกว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาบ ในขณะที่ความสามารถในการดึงยืดยึดมีลักษณะที่ใกล้เคียงกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ ส่วนค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งมีค่าสูงขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ โดยมีค่าเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 11-67 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าเทนาคิตีของเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งมีค่าต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบเล็กน้อย

จากข้อมูลสมบัติเชิงกลที่ได้เมื่อนำมาพิจารณาร่วมกับข้อมูลลักษณะภายนอกและสัณฐานวิทยาของเส้นใยที่ทำการตอกิ่ง พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MMA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็น 0:100 และ 25:75 เส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลในอัตราส่วน 100:0 กับ 25:75 และเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MMA/MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 ให้เส้นใยที่มีลักษณะเหมาะสมกับการนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอ

4.5 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีการทางเคมี

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นใยไหมพันธุ์บอมบิกซ์มอริ (*Bombyx mori*) ทั้งก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการตอกกับไวนิลมอนอเมอร์ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transform spectroscopy, FTIR)

4.5.1 เส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาว



รูปที่ 4.5 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมดิบ และ (ข) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว

จากรูปที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมระหว่างเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว พบว่าตำแหน่งอินฟราเรดสเปกตรัมส่วนใหญ่ของเส้นใยทั้งสองมีตำแหน่งที่แตกต่างกันเล็กน้อย โดยตำแหน่งสำคัญ ได้แก่ ตำแหน่งเลขคลื่น 3413 และ 3426 cm^{-1} เป็นของ N-H stretching ของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว โดยถ้าพิจารณาเปรียบเทียบเลขคลื่นในช่วงนี้ พบว่าเส้นใยไหมดิบมีเลขคลื่นสูงกว่าของเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวคาดว่าเกิดจากเส้นใยไหมดิบมีกาวไหมเป็นองค์ประกอบอยู่ ดังนั้นจึงทำให้มีหมู่เอไมด์อิสระมากกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว นอกจากนี้กาวไหมยังประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงเป็นหมูกรด ปัจจัยดังกล่าวคาดว่าจะทำให้พีกของเส้นใยไหมดิบในช่วงเลขคลื่นประมาณ 3426 cm^{-1} มีลักษณะของพีกแคบกว่าพีกของเส้นใยไหมลอกกาวในช่วงเลขคลื่นนี้

ส่วนตำแหน่งเลขคลื่น 1510 และ 1633-1650 cm^{-1} เป็น C=O stretching กับ N-H bending โดยมีลักษณะของแถบสเปกตรัมที่ซ้อนทับกันระหว่างหมู่เอไมด์ปฐมภูมิ (Primary amide) และ เอไมด์ทุติยภูมิ (Secondary amide) [3, 17] ลักษณะของสเปกตรัมดังกล่าวพบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทั้งเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาบ นอกจากนี้ในงานวิจัยที่ผ่านมาทั้งของ M. Tsukada และ T.K. Maji [3, 17] กล่าวว่าตำแหน่งเหล่านี้เป็นตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันสำคัญของโครงสร้างไฟโบรอินที่มีโครงสร้างเป็นแผ่นพับเบต้า โดยโครงสร้างดังกล่าวเป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยไหม ส่วนตำแหน่งเลขคลื่นที่เหมือนกันระหว่างเส้นใยไหมทั้งสอง คือ $2920-2929\text{ cm}^{-1}$ เป็นของ C-H stretching ในขณะที่ตำแหน่งอินฟราเรดสเปกตรัมที่มีความแตกต่างกันระหว่างเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาบโดยตำแหน่งเลขคลื่นสำคัญดังกล่าวสรุปไว้ในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 สรุปตำแหน่งแถบการดูดกลืนสเปกตรัมที่ปรากฏในรูปที่ 4.5 [3, 17, 35]

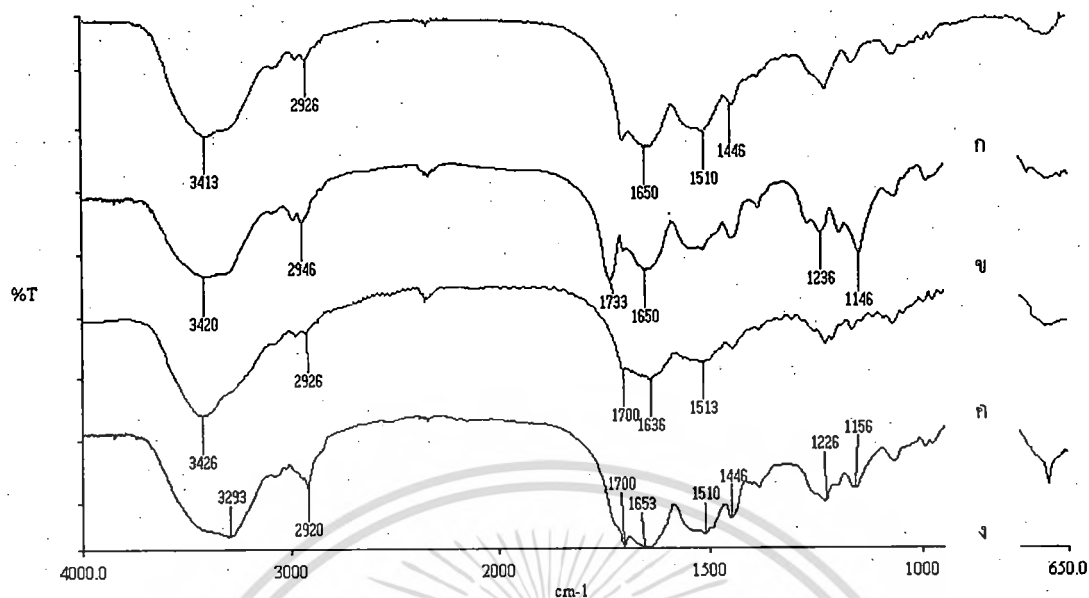
เลขคลื่น (cm^{-1})	ช่วงการดูดกลืนของ
3413-3426	N-H stretching
2920-2966	C-H stretching
1633-1646	C=O stretching และ N-H stretching ของ amide I
1510	C=O stretching และ N-H stretching ของ amide II

4.5.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการดองด้วยไวนิลมอนอเมอร์ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลอัตราส่วน 25:75

จากการพิจารณาสเปกตรัมของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ (รูปที่ 4.6 (ก)) เทียบกับเส้นใยไหมที่ทำการดองด้วยไวนิลมอนอเมอร์ (รูปที่ 4.6 (ข-ง)) พบว่าตำแหน่งเลขคลื่นในช่วง 3413 cm^{-1} ซึ่งเดิมเป็นตำแหน่ง N-H stretching ของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เมื่อทำการปรับปรุงเส้นใยด้วยวิธีการดอง โดยเส้นใยที่ทำการดองด้วย MMA และ MAA ทำให้เลขคลื่นดังกล่าวเลื่อนไปยังตำแหน่งที่สูงขึ้น ขณะที่เส้นใยไหมที่ทำการดองด้วย MMA/MAA มีการเปลี่ยนแปลงโดยเลขคลื่นเลื่อนไปยังตำแหน่งที่ต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ

โดยเมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของเส้นใยไหมก่อนและหลังการดองด้วย MMA (รูปที่ 4.6 (ข)) พบว่าตำแหน่งเลขคลื่นของเส้นใยไหมดองที่เพิ่มจากเส้นใยไหมลอกกาบคือ เลขคลื่น 1733 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C=O stretching และตำแหน่งเลขคลื่น 1236 และ 1146 cm^{-1} เป็น C-O stretching ของหมู่เอสเทอร์ ที่เป็นหมู่ข้างเคียงของ PMMA [31]

ส่วนสเปกตรัมของเส้นใยที่ทำการดองด้วย MAA ตำแหน่งเลขคลื่นที่เพิ่มจากเส้นใยไหมลอกกาบ คือ เลขคลื่น 1513 กับ 1636 ซึ่งเป็นของ C=O stretching กับ N-H bending ของหมู่เอไมด์ปฐมภูมิ (Primary amine) ซึ่งเป็นของหมู่เอไมด์ที่เป็นหมู่ข้างเคียงของ PMAA ที่นำมาใช้ในการดอง



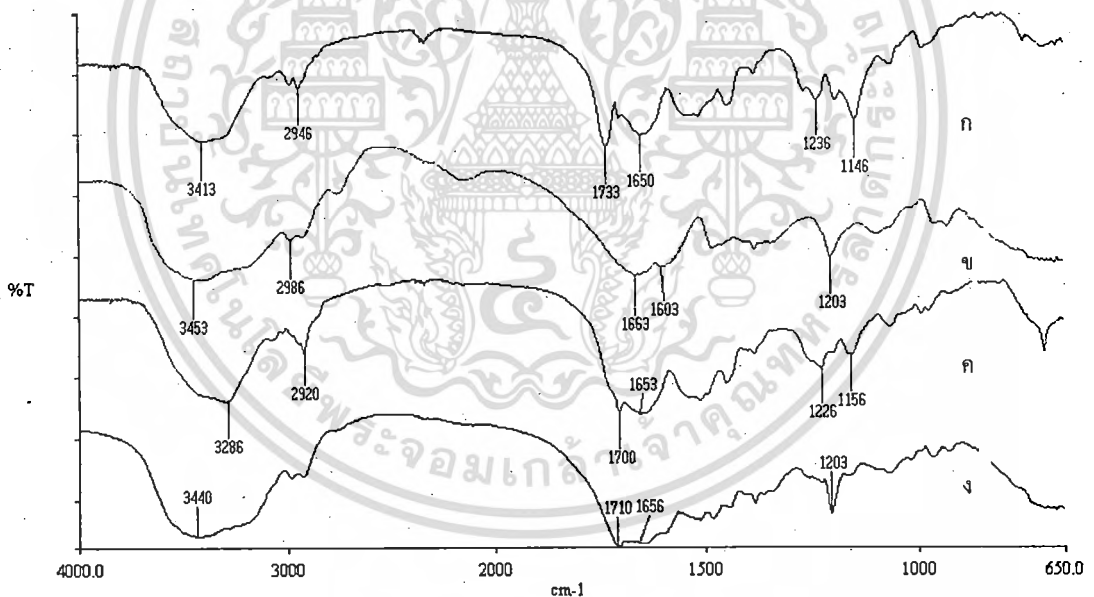
รูปที่ 4.6 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ (ข) เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA (ค) เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MAA และ (ง) เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA/MAA ในตัวทำละลายน้ำ:เอทานอล 25 :75

ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA/MAA (รูปที่ 4.6(ง)) พบตำแหน่งเลขคลื่นที่เป็นของหมู่ฟังก์ชันในมอนอเมอร์ทั้งสองปรากฏอยู่ โดยตำแหน่งเลขคลื่นในมอนอเมอร์ดังกล่าว อาจมีการเลื่อนไปยังเลขคลื่นที่ต่ำกว่าเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเลขคลื่นที่อยู่ในสเปกตรัม 4.6 (ข) และ 4.6(ค) ลักษณะดังกล่าวอาจเกิดจากการเกิดอันตรกิริยากันระหว่างมอนอเมอร์ทั้งสองที่นำมาใช้ในการต่อกิ่ง โดยตำแหน่งเลขคลื่น 1510 cm^{-1} เป็น N-H bending ของหมู่เอไมด์ปฐมภูมิ ที่เป็นหมู่ข้างเคียงใน PMAA ส่วนเลขคลื่นที่ตำแหน่ง 1226 และ 1156 cm^{-1} เป็น C-O stretching ของหมู่เอสเตอร์ซึ่งเป็นหมู่ข้างเคียงของ PMMA

ตารางที่ 4.11 สรุปตำแหน่งแถบการดูดกลืนสเปกตรัมที่ปรากฏในรูปที่ 4.6 [3,17,35-37]

ชนิดของพอลิเมอร์	เลขคลื่น (cm^{-1})	ช่วงการดูดกลืนของ
ไฟโบรอิน	3293-3413	N-H stretching
ไฟโบรอิน	2920-2926	C-H stretching
ไฟโบรอิน	1650	C=O stretching และ N-H stretching ของ amide I
ไฟโบรอิน	1510	C=O stretching และ N-H stretching ของ amide II
PMMA	1733	C=O stretching ของ ester
PMMA	1237-1146	C-O stretching ของ ester
PMAA	1636-1513	C=O stretching และ N-H stretching ของ amide I
PMAAและไฟโบรอิน	1517-1509	C=O stretching และ N-H stretching ของ amide II

4.5.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมลอกขาวที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA/MAA ในตัวทำละลายน้ำหรือเอทานอล



รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA ในตัวทำละลายเอทานอล (ข) เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MAA ในตัวทำละลายน้ำ (ค) เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA/MAA ในตัวทำละลายเอทานอลและ (ง) เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA/MAA ในตัวทำละลายน้ำ

รูปที่ 4.7 เป็นการพิจารณาสเปกตรัมของเส้นใยไหมที่ทำการตอกกิ่งด้วย MMA ในตัวทำละลายเอทานอล MAA ในตัวทำละลายน้ำและ MMA/MAA ในตัวทำละลายเอทานอลกับตัวทำละลายน้ำ พบว่าสเปกตรัมของเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งด้วย MMA (รูปที่ 4.7(ก)) ให้เลขคลื่นที่เพิ่มจากเส้นใยไหมลอกกาวที่ตำแหน่ง 1733 cm^{-1} เป็นของ C=O stretching กับเลขคลื่นที่ 1236 และ 1146 cm^{-1} เป็น C-O stretching ของหมู่เอสเตอร์ที่เป็นหมู่ข้างเคียงใน PMMA ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งด้วย PMAA ในตัวกลางน้ำ ให้เลขคลื่นที่เพิ่มจากเส้นใยไหมลอกกาวที่ตำแหน่ง 1603 กับ 1663 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C=O stretching และ N-H stretching amide I ที่เป็นของหมู่ข้างเคียงใน PMAA

เมื่อเปรียบเทียบพิจารณาสเปกตรัมระหว่างเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งด้วย MMA/MAA (รูปที่ 4.7 (ค)) ซึ่งทำการตอกกิ่งในตัวทำละลายเอทานอลพบว่าให้เลขคลื่นที่เป็นของ PMMA ที่ตำแหน่ง 1226 กับ 1156 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C-O stretching เด่นชัดกว่าเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งกับมอนอเมอร์ผสมชนิดนี้แต่ใช้ตัวกลางเป็นน้ำ ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งกับ MMA/MAA ในตัวทำละลายน้ำให้เลขคลื่นที่ตำแหน่ง 1656 cm^{-1} ซึ่งเป็นของ C=O stretching และ N-H stretching amide I ที่เป็นของหมู่ข้างเคียงใน PMAA เด่นชัดกว่าเส้นใยที่ทำการตอกกิ่งกับมอนอเมอร์ดังกล่าวแต่ใช้ตัวทำละลายเป็นเอทานอล จากข้อมูลดังกล่าวสรุปได้ว่าตัวทำละลายที่ใช้เป็นตัวกลางในปฏิกิริยาการตอกกิ่งมีผลต่อความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบกิ่งของเส้นใยไหมได้แตกต่างกัน โดยตัวทำละลายน้ำมีความเหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวกลางในการตอกกิ่งเส้นใยไหมกับ MAA ในขณะที่เอทานอลมีความเหมาะสมเป็นตัวกลางในการตอกกิ่งเส้นใยไหมกับ MMA

ตารางที่ 4.12 สรุปตำแหน่งแถบการดูดกลืนสเปกตรัมที่ปรากฏในรูปที่ 4.5-4.7 [3,17,35-37]

ชนิดของมอนอเมอร์	เลขคลื่น cm^{-1}	ช่วงการดูดกลืนของ
ไฟโบรอิน	3286-3453	N-H stretching
ไฟโบรอิน	2920-2966	C-H stretching
PMMA	1700-1733	C=O stretching ของ ester
PMAA กับไฟโบรอิน	1510-1656	C=O stretching และ N-H stretching ของ amide I และของ amide II
PMMA	1146 -1156	C-O stretching ของ ester

4.6 สมบัติทางความร้อนของเส้นใย

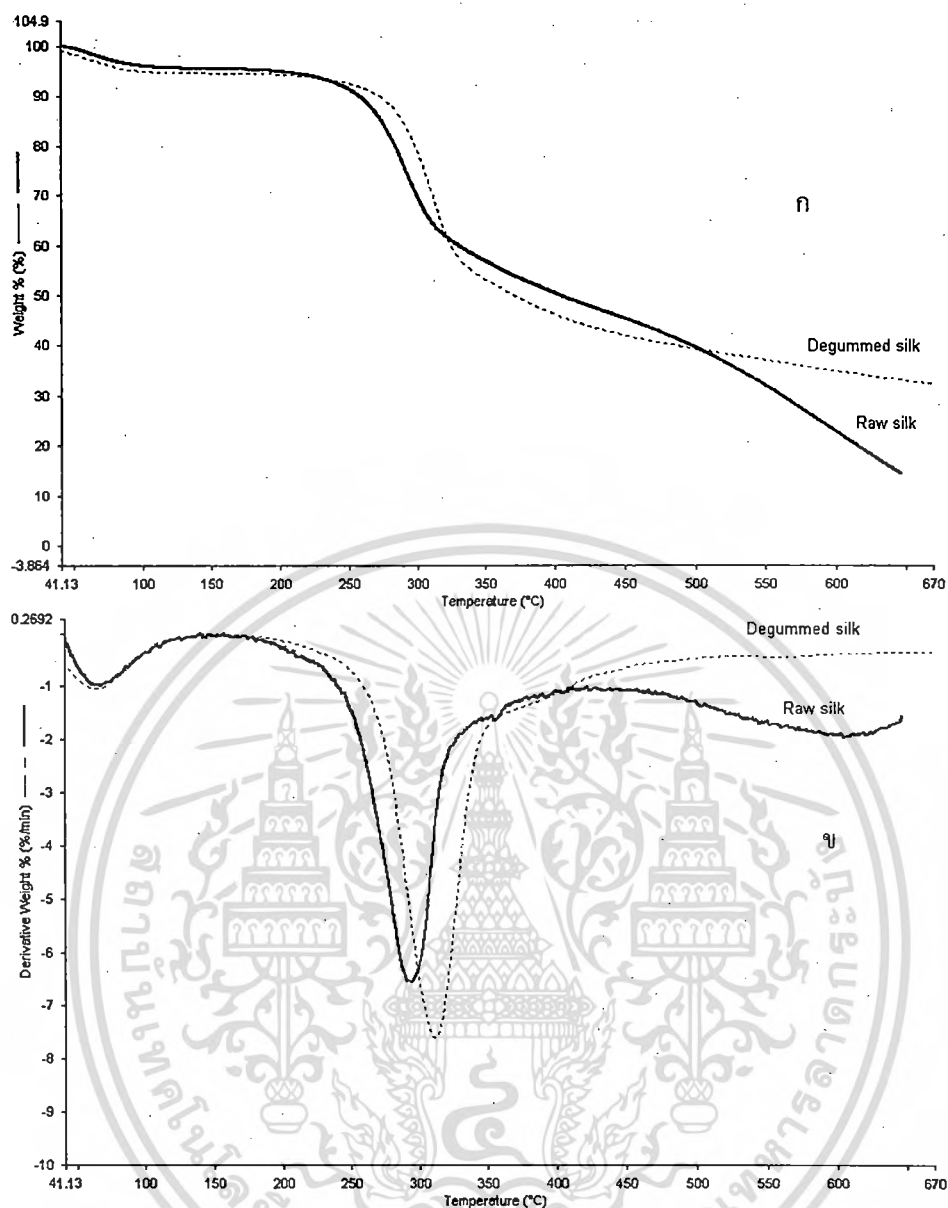
สมบัติทางความร้อนเป็นสมบัติหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการนำเส้นใยไหมไปใช้งานทางด้านสิ่งทอ ในทางวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์นิยมศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนโดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก (Thermal Gravimetric, TGA) เพื่อบอกถึงอุณหภูมิของการสลายตัวของวัสดุ ส่วนการศึกษาความเข้ากันได้ระหว่างโมเลกุล (Compatibility) สามารถใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) ในการศึกษา

4.6.1 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกาบ

รูปที่ 4.8 แสดงเทอร์โมแกรมการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบโดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก ข้อมูลที่ได้จากเทคนิคนี้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มัลกราวิเมตริก (Differential Thermal Gravimetric, -DTG) ซึ่งเป็นเทคนิคที่หาผลต่างของน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับอุณหภูมิ ข้อมูลที่ได้จากทั้งสองเทคนิคได้นำมาแสดงเปรียบเทียบกันเพื่อแสดงให้เห็นถึงอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมให้ชัดเจนมากขึ้น

เมื่อพิจารณาเทอร์โมแกรมในรูปที่ 4.8 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นใยไหมที่เกิดจากการสูญเสียน้ำหนักของเส้นใยไหมอยู่ 2 ช่วงด้วยกัน คือ ที่อุณหภูมิประมาณ 80 °C และที่อุณหภูมิประมาณ 263 - 274 °C โดยการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในช่วงแรกเกิดจากการระเหยของน้ำที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไหมทั้ง 2 ชนิด ลักษณะดังกล่าวเกิดจากการที่เส้นใยไหมมีลักษณะที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ส่วนการสลายตัวของเส้นใยไหมในช่วงอุณหภูมิประมาณ 263 °C และ 274 °C เกิดจากการสลายตัวของกาบไหมกับไฟโบรอินที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไหมดิบและโครงสร้างไฟโบรอินที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยไหมลอกกาบตามลำดับ

จากรูปที่ 4.8 สามารถสรุปได้ว่าเส้นใยไหมลอกกาบมีอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ ลักษณะดังกล่าวคาดว่าอาจเป็นผลมาจากไหมดิบมีกาบไหม ซึ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมที่ต่ำกว่าโครงสร้างไฟโบรอิน ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกิดขึ้น คาดว่าเป็นอุณหภูมิการสลายตัวของกาบไหมที่เกิดขึ้นก่อนจากนั้นจึงค่อยตามด้วยการสลายตัวของโครงสร้างไฟโบรอินที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไหมดิบ



รูปที่ 4.8 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังการลอกกา (ก)

เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริกและ (ข) ดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มัลกราวิเมตริก

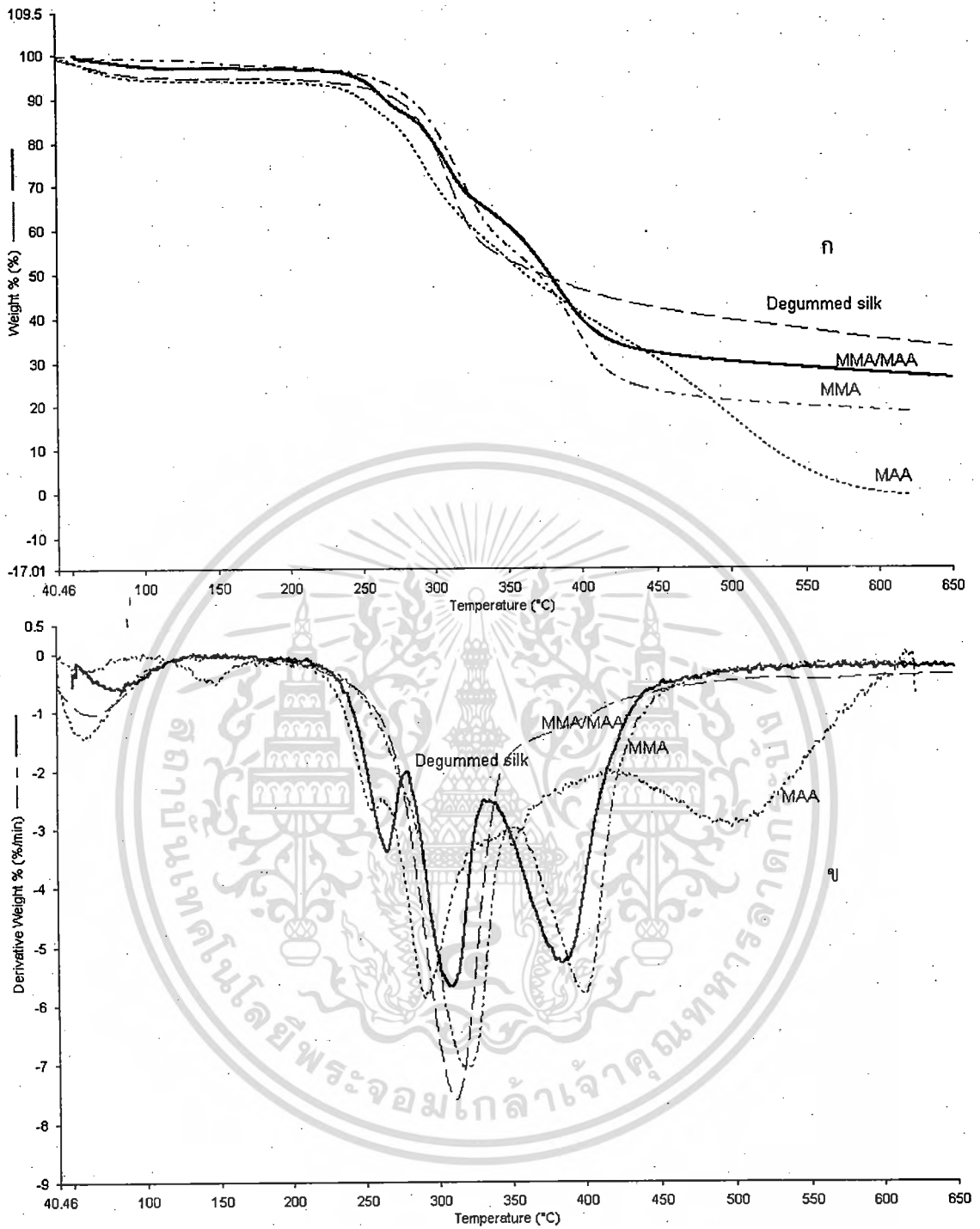
4.6.2 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกากับเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย ไวนิลมอนอเมอร์

ขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกากับเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA MAA และมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA/MAA เมื่อพิจารณาข้อมูลจากรูปที่ 4.9 พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เด่นชัดอยู่ 4 ขั้นตอน คือ ในช่วงแรกมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่ประมาณ 60-80°C ขั้นที่ 2 เกิดขึ้นในช่วงประมาณ 237 °C 248 °C และ 263-274 °C ขั้นตอนสุดท้ายเกิดที่ประมาณ 362-375 °C

การสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมตอกิ่งที่อุณหภูมิประมาณ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ เกิดจากการระเหยของน้ำที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไหม โดยเมื่อพิจารณาเทอร์โมแกรมในรูปที่ 4.9 พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกิ่งมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียน้ำ (% weight loss) ในช่วงนี้น้อยกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจาก MMA และ MMA/MAA ที่นำมาใช้ในการตอกิ่งมีคุณสมบัติไม่ชอบน้ำ จึงทำให้มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียน้ำที่ต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ในขณะที่เส้นใยที่ทำการตอกิ่งด้วย MAA มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักสูญเสียน้ำมากกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย เนื่องจากมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกิ่งมีสมบัติที่ชอบน้ำ

จากรูปที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิการสลายตัวระหว่างเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่ง พบว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีอุณหภูมิการสลายตัว $274\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในขณะที่เส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MAA มีการสลายตัว 2 ช่วง คือที่อุณหภูมิ $237\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของโครงสร้าง PMAA ที่เกิดการตอกิ่งกับเส้นใยไหม และอุณหภูมิในช่วง $278\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของโครงสร้างไฟโบรอินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยไหม ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งด้วย MMA มีอุณหภูมิการสลายตัว 2 ช่วง คือ ที่ $283\text{ }^{\circ}\text{C}$ กับ $375\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของโครงสร้างไฟโบรอินกับ PMMA ที่ตอกิ่งบนเส้นใยไหม ในขณะที่เส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งด้วย MMA/MAA มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัว 3 ช่วง คือที่อุณหภูมิประมาณ $248\text{ }^{\circ}\text{C}$ $294\text{ }^{\circ}\text{C}$ กับ $362\text{ }^{\circ}\text{C}$ โดยอุณหภูมิดังกล่าวเป็นการสลายตัวของ PMAA ที่เกิดการตอกิ่งบนเส้นใยไหม โครงสร้างของไฟโบรอิน และ PMMA ที่เกิดการตอกิ่งกับเส้นใยไหมตามลำดับ โดยได้สรุปอุณหภูมิการสลายตัวต่างๆ ไว้ในตารางที่ 4.13

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.9 สามารถสรุปได้ว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากอุณหภูมิการสลายตัวของโครงสร้างไฟโบรอินมีค่าสูงขึ้น โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับข้อมูลของเทคนิคดีพีเฟอร์เรนเชียลเทอร์มัลกราวิเมตริก ที่พีการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งเลื่อนไปยังอุณหภูมิที่สูงขึ้น แสดงว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงกว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว

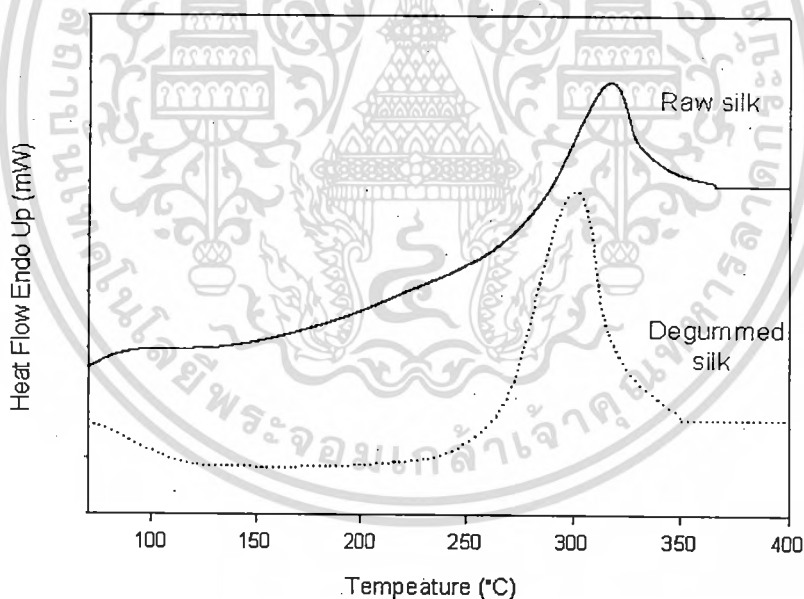


รูปที่ 4.9 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นไหมหลังลอกกากับเส้นไหมที่ทำกรต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ (ก) เทคนิคเทอร์มัลกราฟิเมตริกและ (ข) ดิฟเฟอเรนเชียลเทอร์มัลกราฟิเมตริก

ตารางที่ 4.13 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการ
ต่อกึ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ที่ได้จากเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก

ชนิดของตัวอย่าง	อุณหภูมิในการสลายตัว (°C)		
	PMAA	ไฟโบรอิน	PMMA
ไหมดิบ	-	263	-
ไหมลอกกากว	-	274	-
ไหมต่อกึ่งกับ MMA	-	283	375
ไหมต่อกึ่งกับ MAA	237	278	-
ไหมต่อกึ่งกับ MMA/MAA	248	294	362

4.6.3 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกากว



รูปที่ 4.10 เทอร์โมแกรมการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกากว

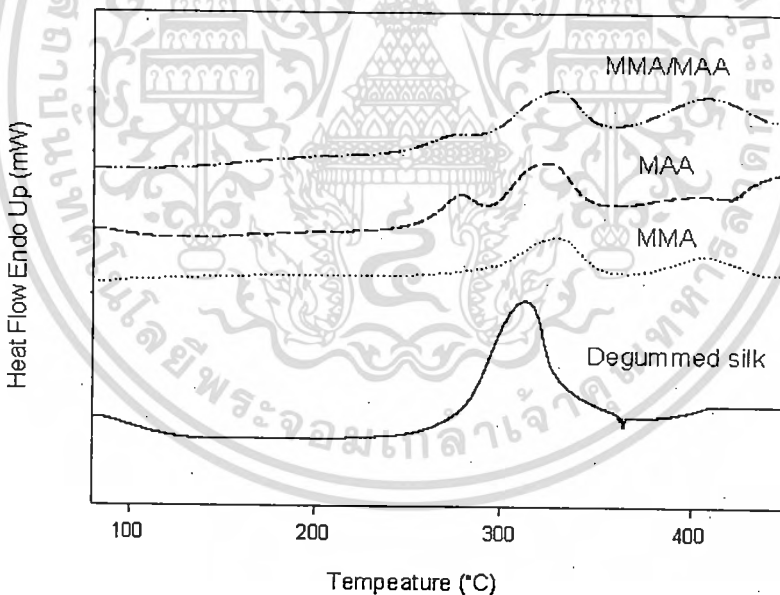
จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยที่ผ่านการลอกกากวโดยเทคนิคดีพีเฟอริเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมตรี พบว่ามีพีคแสดงอุณหภูมิการสลายตัวอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงอุณหภูมิประมาณ 80-100 °C และในช่วงประมาณ 313-315 °C โดยพีคดังกล่าวเกิดจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การระเหยของน้ำที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไหมกับ การสลายตัวทางความร้อนของโครงสร้างไฟโบรอินที่มีโครงแบบเป็นแผ่นพับเบต้า ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาฟีกการสลายตัวในช่วง 313-315 °C ระหว่างเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว พบว่ามีอุณหภูมิการสลายตัวที่ใกล้เคียงกัน แต่เมื่อพิจารณาจากลักษณะของฟีกที่ได้ พบว่าฟีกการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบมีพื้นที่ใต้ฟีกที่กว้างกว่าฟีกของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว เนื่องจากเส้นไหมดิบมีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ปัจจัยดังกล่าวเกิดจากในไหมดิบนอกจากจะมีโครงสร้างไฟโบรอินที่เป็นองค์ประกอบหลักแล้วยังมีกาวไหมที่มีโครงสร้างซึ่งมีการจัดเรียงตัวแบบสุ่ม ขณะที่เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวมีโครงสร้างเป็นไฟโบรอินเพียงอย่างเดียว จากปัจจัยดังกล่าวจึงทำให้ฟีกอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบมีพื้นที่ใต้ฟีกที่กว้างกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว

4.6.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการตอกลงด้วยมोनอเมอร์



รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการตอกลงด้วยมोनอเมอร์

จากการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการตอกลงด้วยมोनอเมอร์ โดยใช้เทคนิคเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกลงกับมोनอเมอร์ มีสมบัติทางความร้อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีขึ้น ซึ่งตรงกับข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราฟิเมทริกในหัวข้อที่ 4.6.2 โดยอุณหภูมิการสลายตัวที่ประมาณ 272 -280 °C และ 372-407 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของ PMAA และ PMMA ที่นำมาใช้ในการตอกิ่ง ส่วนอุณหภูมิประมาณ 313-330 °C เป็นอุณหภูมิการสลายตัวของโครงสร้างไฟโบรอินที่เป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอกิ่ง โดยเมื่อพิจารณาในกลุ่มของเส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MAA พบว่าอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมเลื่อนไปยังอุณหภูมิการสลายตัวที่สูงขึ้น กล่าวคือ อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยเปลี่ยนจาก 313 °C เป็น 323 °C ในขณะที่เส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับ MMA และมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA/MAA มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนที่สูงกว่า คือ 330 °C การที่เส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งมีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนที่สูงขึ้น คาดว่าอาจเป็นผลมาจากมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกิ่งมีหมู่ข้างเคียงเป็นพวกเอไมด์และเอสเทอร์ โดยหมู่เหล่านี้จะทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่ที่เกิดการตอกิ่งด้วยกัน หรืออาจเกิดอันตรกิริยาระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ที่นำมาตอกิ่งกับโครงสร้างไฟโบรอิน จากปัจจัยเหล่านี้จึง คาดว่าอาจส่งผลทำให้เส้นใยไหมที่ทำการตอกิ่งกับมอนอเมอร์เหล่านี้มีอุณหภูมิการสลายตัวทางความร้อนที่สูงขึ้น แต่เมื่อพิจารณาถึงความเข้ากันได้ระหว่างโมเลกุลของไฟโบรอินและมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกิ่งจากเทอร์โมแกรมของเทคนิคนี้พบว่ามีความสามารถเข้ากันได้ไม่ดี โดยปัจจัยดังกล่าว คาดว่าอาจจะเป็นผลมาจากหมู่ฟังก์ชันนัลมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกิ่ง อาจเป็นตัวกีดกันความเข้ากันได้ระหว่างโมเลกุลไฟโบรอิน ทำให้โอกาสที่สายโซ่ไฟโบรอินจะมาเรียงชิดกันเป็นไปได้อย่างมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุทำให้โครงสร้างของเส้นใยที่ทำการตอกิ่งมีลักษณะที่เปิดมากขึ้น จากข้อมูลที่ผ่านมาสามารถสรุปอุณหภูมิการสลายตัวในช่วงต่างๆ ของเส้นใยก่อนและหลังลอกการกับก่อนและหลังการตอกิ่งได้ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการ
ตอกลงกับไวนิลมอนอเมอร์ที่ได้จากเทคนิคดีฟเฟอร์เรนเซียสแกนนิ่งแคลอรีเมตรี

ชนิดของตัวอย่าง	อุณหภูมิในการสลายตัว (°C)		
	PMAA	ไฟโบรอิน	PMMA
ไหมดิบ	-	315	-
ไหมลอกกากว	-	313	-
ไหมตอกลงกับ MMA	-	330	407
ไหมตอกลงกับ MAA	280	323	-
ไหมตอกลงกับ MMA/MAA	272	330	372

4.7 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี

สมบัติทางกายภาพได้เลือกศึกษาสมบัติที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการดูดซับความชื้น (Moisture regain) ส่วนสมบัติทางเคมีได้เลือกทำการทดสอบความความคงทนต่อกรดและความคงทนต่อด่าง โดยรายละเอียดต่างๆ มีดังต่อไปนี้

4.7.1 ความสามารถในการดูดซับความชื้น (Moisture Regain)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังลอกกากวกับก่อนและหลังการตอกลงด้วยมอนอเมอร์ ที่สภาวะมาตรฐานคือ อุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 วัน ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับความชื้น โดยเส้นใยไหมดิบและไหมลอกกากว มีความสามารถในการดูดซับความชื้นเป็น 1.42 และ 5.80 เปอร์เซ็นต์

อัตราส่วนตัวทำละลาย ผสมของน้ำกับเอทานอล	เปอร์เซ็นต์ความสามารถในการดูดซับความชื้น		
	MMA	MAA	MMA/MAA
100:0	3.16	16.95	7.58
25:75	2.80	13.07	8.02
50:50	2.85	7.55	6.90
75:25	4.10	8.06	6.97
100:0	3.80	9.12	7.27

จากตารางที่ 4.15 ถ้าพิจารณาความสามารถในการดูดซับความชื้นระหว่างเส้นใยใหม่ดิบและเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาว พบว่าเส้นใยใหม่ดิบมีความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาว ปัจจัยดังกล่าวเป็นผลมาจากใหม่ดิบมีกาวไหมเคลือบอยู่ที่ผิวของเส้นใย ซึ่งกาวไหมเหล่านั้นนอกจากจะประกอบด้วยกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว ยังมีองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ พวกไขมันและซีมีนเคลือบอยู่ที่ผิวด้านนอกของกาวไหม [7] ลักษณะดังกล่าวทำให้เส้นใยมีลักษณะไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มากขึ้น จึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยใหม่ดิบมีความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำที่สุดในบรรดาเส้นใยทั้งหมด

ถ้าพิจารณาระหว่างเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวกับเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกกับ MMA พบว่ามีความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำกว่าเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาว ลักษณะดังกล่าวเกิดจากความไม่ชอบน้ำของ MMA ที่นำมาใช้ในการตอก แต่เมื่อพิจารณาเส้นใยในกลุ่มนี้ พบว่ามีความสามารถในการดูดซับความชื้นที่ใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าตัวทำละลายที่ใช้ไม่มีผลต่อความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใย

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับความชื้นระหว่างเส้นใยใหม่ที่ผ่านการลอกกาวกับเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกกับ MAA พบว่ามีความสามารถในการดูดซับความชื้นสูงกว่า โดยเฉพาะเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกกับ MAA ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำ มีความสามารถในการดูดซับความชื้นถึง 17 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่ออัตราส่วนของเอทานอลซึ่งเป็นตัวกลางในตัวทำละลายผสมเพิ่มขึ้น พบว่ามีความสามารถในการดูดซับความชื้นที่ลดลง ปัจจัยดังกล่าวเกิดจากเมื่อใช้อัตราส่วนของเอทานอลที่เป็นตัวกลางในระบบเพิ่มขึ้นจะเป็นสาเหตุทำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ประเภทนี้ลดลง

เมื่อพิจารณาเส้นใยใหม่ที่ทำการตอกกับมอนอเมอร์ผสมระหว่าง MMA/MAA พบว่ามีค่าสูงกว่าเส้นใยใหม่ที่ทำการลอกกาวเล็กน้อย โดยความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยในกลุ่มนี้ใกล้เคียงกัน ลักษณะดังกล่าวขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอก

4.7.2 ความทนทานต่อกรดและด่าง (Acid Resistance and Alkaline Resistance)

เนื่องจากในชีวิตประจำวันของเรามีโอกาสที่พบสารเคมีที่ออกฤทธิ์กรดและด่างเป็นจำนวนมาก ดังนั้นในงานวิจัยจึงเลือกศึกษาสมบัติความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการลอกกาวกับก่อนและหลังการตอก ดังตารางที่ 4.16-4.17

ตารางที่ 4.16 ความสามารถละลายในกรดและด่างของไหมก่อนและหลังลอกกา

ชนิดเส้นใย	กรด/ด่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่สูญเสียไป
เส้นใยไหมดิบ	กรด	21.28
เส้นใยไหมลอกกา	กรด	15.16
เส้นใยไหมดิบ	ด่าง	17.83
เส้นใยไหมลอกกา	ด่าง	7.08

ตารางที่ 4.17 ความสามารถละลายในกรดและด่างของเส้นใยไหมหลังการตอ

กรด/ด่าง	อัตราส่วนของตัวทำละลายผสมน้ำ:เอทานอล	% น้ำหนักสูญเสีย		
		MMA	MAA	MMA/MAA
กรด	100:0	3.59	3.49	4.59
กรด	72:25	3.11	3.34	3.11
กรด	50:50	3.32	3.32	3.58
กรด	25:75	3.24	3.96	3.24
กรด	0:100	3.82	3.43	3.82
ด่าง	100:0	3.50	N/A	11.56
ด่าง	72:25	2.37	10.23	9.47
ด่าง	50:50	3.46	10.44	3.55
ด่าง	25:75	3.06	4.46	3.08
ด่าง	0:100	2.58	8.22	3.41

หมายเหตุ: N/A หมายถึงเส้นใยไม่สามารถวัดได้เนื่องจากเกิดการละลายเป็นเจล

จากตารางที่ 4.16-4.17 สามารถสรุปลักษณะต่างๆของเส้นใยไหมหลังการทดสอบความคงทนต่อกรดและด่างระหว่างเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการตอ กับ MMA MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลที่อัตราส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

- เส้นใยไหมดิบเมื่อนำมาทดสอบความคงทนต่อกรด พบว่าเส้นใยไหมที่ได้เปลี่ยนเป็นสีเขียวและมีลักษณะที่กระด้างขึ้น ปัจจัยดังกล่าวเกิดจากการสลายตัวของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยไหม ในขณะที่ลักษณะของเส้นใยไหมดิบหลังการทดสอบความคงทนต่อด่าง เส้นใยไหมที่ได้เปลี่ยนเป็นสีขาว โดยเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของเส้นใยไหมแต่ละส่วนแสดงไว้ในตารางที่ 4.16

- ส่วนการทดสอบความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาพบว่าเส้นใยไหมที่ทำการทดสอบความคงทนต่อกรดมีลักษณะที่เปลี่ยนเป็นสีชาวมากขึ้นในขณะที่เส้นใยไหมที่ทำการทดสอบความคงทนต่อด่างเส้นใยที่ได้มีลักษณะที่ฟูมากกว่าเดิมและมีความขาวกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาเล็กน้อย

- สำหรับการทดสอบความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA พบว่าลักษณะของเส้นใยไหมไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ เกิดขึ้นมากนัก ยกเว้นแต่เส้นใยที่ได้หลังจากการทดสอบมีความฟูเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการทดสอบระหว่างเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบกับเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับมอนอเมอร์ประเภทนี้ พบว่าเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA มีความคงทนต่อกรดและด่างมากกว่า โดยในงานวิจัยของ T. Arai และคณะ [13] ได้กล่าวไว้ว่าความไม่ชอบน้ำของมอนอเมอร์ที่นำมาต่อกิ่งกับเส้นใยไหมอาจเป็นตัวการสำคัญทำให้เส้นใยมีความคงทนต่อกรดมากขึ้น

- ในขณะที่การทดสอบความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MAA พบว่าเส้นใยไหมที่ได้มีความคงทนต่อกรดเป็นอย่างดี โดยพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ ในขณะที่การทดสอบความคงทนต่อด่างของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MAA มีค่าลดลงเล็กน้อย นอกจากนี้ในการทดลองยังพบอีกว่า เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งในตัวกลางของระบบที่มีอัตราส่วนของน้ำเพิ่มขึ้นจะเกิดการสลายตัวเป็นเจลอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งในตัวกลางที่เป็นน้ำ พบว่าเกิดการละลายขึ้นในด่าง ลักษณะดังกล่าวคาดว่าอาจเกิดจาก MAA ที่นำมาใช้ในการต่อกิ่งมีหมู่ข้างเคียงเป็นหมู่เอไมด์ซึ่งเป็นโครงสร้างเดียวกันกับหมู่ปลายที่อยู่บนโครงสร้างไฟโบรอินในเส้นใยไหม อีกทั้งในงานวิจัยได้กล่าวว่าการที่ไหมเกิดการเสียดสภาพในด่างจะเริ่มจากการเกิดดีพอลิเมอร์ไรซ์ (Depolymerised) ตรงหมู่ปลายสายโซ่ก่อน[13] จากข้อมูลดังกล่าวคาดว่าหมู่เอไมด์ของ MAA ที่นำมาใช้ในการต่อกิ่งอาจจะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดดีพอลิเมอร์ไรซ์ขึ้นในเส้นใยไหม

- เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับ MMA/MAA พบว่าเส้นใยที่ได้มีความคงทนต่อกรดเป็นอย่างดีในขณะที่ความคงทนต่อด่างลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ บัจจุบันดังกล่าวคาดว่าอาจเกิดจากการที่ใช้น้ำที่เป็นตัวกลางของระบบในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ทำให้ MAA ที่นำมาใช้ในการต่อกิ่งมีความสามารถเข้าไปทำการต่อกิ่งกับเส้นใยไหมได้ดีกว่า MMA อีกทั้งการที่มี MAA ในบนเส้นใยไหมที่เพิ่มมากขึ้นก็อาจเป็นเหตุผลทำให้เส้นใยเสื่อมสภาพในด่างได้ง่ายมากขึ้น

4.8 กระบวนการย้อมสี

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการย้อมสีเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอ กิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยเส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยมอนอเมอร์ที่นำมาศึกษาความเป็นไปได้ในกระบวนการย้อมสี ได้แก่ เส้นใยไหมที่ทำการตอ กิ่งด้วย MMA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 และ 0:100 เส้นใยไหมที่ทำการตอ กิ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 และ 100:0 และเส้นใยไหมที่ทำการตอ กิ่งด้วยมอนอเมอร์ผสมของ MMA/MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 ส่วนสีย้อมที่นำมาศึกษา คือ สีย้อมสังเคราะห์ ได้แก่ สีย้อมแอซิด กับ สีย้อมเบสิก ส่วนสีย้อมธรรมชาติเป็นสารให้สีจากขมิ้น ซึ่งใช้น้ำและตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 เป็นตัวสกัด นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลการใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์เป็นสารช่วยในการย้อมติดว่ามีอิทธิพลต่อเฉดสีและความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ

4.8.1 ความสามารถในการย้อมสี

เกณฑ์ที่นำมาใช้วัดความสามารถในการย้อมติดสีเส้นใยไหมในงานวิจัยนี้ คือ การวัดเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสีบนเส้นใยไหม (% Dye uptake) โดยงานวิจัยได้แบ่งการศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การวัดความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยสังเคราะห์และการวัดความสามารถในการย้อมติดสีของสีย้อมธรรมชาติ

- เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย หลังทำการย้อมด้วยสีสังเคราะห์

การย้อมสีเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอ กิ่งด้วยสีย้อมแอซิดกับสีย้อมเบสิกพบว่า เส้นใยไหมที่ทำการตอ กิ่งแล้วมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของสีที่เพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ทำการลอกขาว ทั้งในกรณีที่ย้อมด้วยสีย้อมแอซิดกับย้อมด้วยสีย้อมเบสิก โดยปัจจัยดังกล่าวเกิดจากไวนิลมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอ กิ่งเกิดปฏิกิริยาการตอ กิ่งตรงบริเวณที่เป็นอสังฐานของเส้นใย จากลักษณะดังกล่าวทำให้โครงสร้างของเส้นใยตรงบริเวณนี้มีลักษณะเป็นโครงสร้างที่เปิดมากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้โมเลกุลของสีย้อมสามารถเคลื่อนเข้าสู่บริเวณส่วนนี้ได้มากขึ้น นอกจากนี้มอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอ กิ่งยังมีหมู่ข้างเคียงที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับโครงสร้างของของสีย้อมได้ดีอีกด้วย จากปัจจัยดังกล่าวจึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยที่ผ่านการ ตอ กิ่งมีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาว

ตารางที่ 4.18 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใยใหม่ที่ทำการย้อมด้วยสีย้อม
แอซิดกับสีย้อมเบสิก

ประเภทเส้นใย	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย	
	สีย้อมแอซิด	สีย้อมเบสิก
เส้นใยไหมลอกกาว	4.55	2.20
MMA (EtOH)	5.25	5.50
MMA (H ₂ O:EtOH 25:75)	5.40	5.70
MAA (H ₂ O)	7.20	4.82
MAA (H ₂ O:EtOH 25:75)	7.00	4.75
MMA/MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	7.10	4.50

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการย้อมติดสีเส้นใยที่ทำการต่อกึ่งด้วย MMA ระหว่างสีแอซิดกับสีเบสิก พบว่ามีความสามารถในการดูดซับสีที่ใกล้เคียงกัน ส่วนเส้นใยใหม่ที่ทำการต่อกึ่งด้วย MAA มีความสามารถในการดูดซับสีแอซิดมากกว่าสีเบสิก เนื่องจากให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีบนเส้นใยที่สูงกว่าการย้อมด้วยสีเบสิกเล็กน้อย ปัจจัยดังกล่าวเกิดจากหมู่เอไมด์ที่เป็นสายโซ่ข้างเคียงของ MAA มีโครงสร้างเหมือนกับหมู่ปลายในโครงสร้างของเส้นใยใหม่ ดังนั้น เมื่อนำเส้นใยดังกล่าวมาทำการย้อมด้วยสีย้อมแอซิด ซึ่งมีสภาวะในการย้อมเป็นกรด จึงทำให้หมู่แทนที่เหล่านี้มีประจุบวกมากขึ้น โดยหมู่เหล่านี้จะเกิดอันตรกิริยาระหว่างหมู่แทนที่ที่เป็นประจุลบบนโครงสร้างของสีย้อมแอซิด เช่น หมู่ซัลโฟเนต ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นจึงส่งผลทำให้เส้นใยประเภทนี้สามารถย้อมสีแอซิดได้ดีกว่าการย้อมด้วยสีเบสิก ส่วนการที่เส้นใยที่ทำการต่อกึ่งกับ MAA มีความสามารถในการดูดซับสีเบสิกลดลง คาดว่าเป็นเพราะสภาวะที่ใช้ในการย้อมสีเบสิกมีสภาวะที่เป็นกรดอ่อนๆ เหมือนกัน ประกอบกับหมู่แทนที่ที่อยู่บนโครงสร้างของสีเบสิกก็มีประจุที่เป็นบวก ดังนั้นจึงทำให้เกิดการผลักรันของประจุที่เป็นหมู่ข้างเคียงของโครงสร้างทั้งสอง ส่งผลทำให้เส้นใยประเภทนี้ย้อมสีเบสิกได้ลดลง

ส่วนเส้นใยที่ทำการต่อกึ่งด้วย MMA/MAA เมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีแอซิดให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีบนเส้นใยที่สูงกว่าเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสีเบสิก ปัจจัยดังกล่าวอาจเป็นผลมาจาก MAA ที่เป็นมอนอเมอร์ร่วมในปฏิกิริยาการต่อกึ่งอาจเป็นตัวขัดขวางทำให้เส้นใยที่ทำการต่อกึ่งกับมอนอเมอร์เหล่านี้มีความสามารถในการดูดซับสีประเภทนี้ลดลงเล็กน้อย

- เเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของสียบนเส้นใยหลังทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ การศึกษาในส่วนนี้นอกจากจะศึกษามลของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดสีที่มีต่อ ปริมาณการเพิ่มขึ้นของสียบนเส้นใยแล้ว ยังได้ทำการศึกษามลของการใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ที่มีต่อ ความสามารถในการดูดซับของสียบนเส้นใยใหม่อีกด้วย โดยรายละเอียดต่างๆ มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.19 เเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีย้อมบนเส้นใยใหม่ที่ทำกรย้อมด้วยสารให้ สีจากขมิ้น

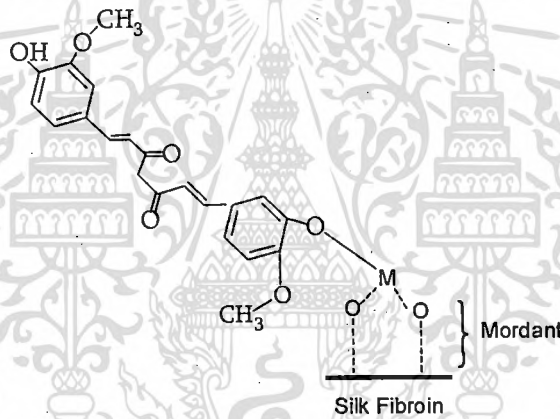
ชนิดของเส้นใย	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักสีที่เพิ่มขึ้นบนเส้นใย			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำ เป็นตัวสกัด		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสม ระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด	
	กรณีที่ใช้	กรณีที่ไม่ใช้	กรณีที่ใช้	กรณีที่ไม่ใช้
	มอร์แดนท์	มอร์แดนท์	มอร์แดนท์	มอร์แดนท์
เส้นใยใหม่ลอกกา	4.50	2.87	9.25	8.00
MMA (EtOH)	5.20	4.50	10.25	8.50
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	5.35	4.10	10.30	8.70
MAA (H ₂ O)	5.45	4.27	10.85	8.34
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	5.05	4.43	10.79	8.45
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4.9	4.35	10.2	8.57

จากการย้อมสีเส้นใยใหม่ทั้งก่อนและหลังการตอกรังด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำกับ ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 เป็นตัวสกัด พบว่าการย้อมสีเส้นใยด้วยสารให้สี ในตัวทำละลายน้ำให้ปริมาณการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสียบนเส้นใยใหม่น้อยกว่าการย้อมสีเส้นใยด้วย สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด ทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ ใช้มอร์แดนท์ ปัจจัยดังกล่าวคาดว่าอาจเป็นผลมาจากสารให้สีในขมิ้น ได้แก่ เคอร์คูมิน ซึ่งเป็น สารให้สีในกลุ่มฟลาโวนอยด์ สามารถละลายในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลได้ดีกว่า กรณีที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย [43]

ส่วนการย้อมสีเส้นใยที่ทำกรตอกรังด้วยมอนอเมอร์ พบว่ามีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้น ของน้ำหนักสียบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ทำกรตอกรัง ปัจจัยดังกล่าวคาดว่าเกิดจากมอนอเมอร์ ที่ใช้ในปฏิกิริยาการตอกรังช่วยทำให้สียย้อมกับเส้นใยเกิดอันตรกิริยาได้มากขึ้น นอกจากนี้การใช้ มอนอเมอร์ในกระบวนการตอกรังยังทำให้โครงสร้างของเส้นใยตรงบริเวณอัสฐานมีลักษณะที่

เปิดมากขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยที่ทำการต่อกึ่งดูดซับสีย้อมได้ดีกว่าเส้นใยที่ไม่ทำการต่อกึ่ง

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการย้อมติดสี กรณีที่ใช้มอร์แดนท์เป็นสารยึดติดในเส้นใยทั้งก่อนและหลังการต่อกึ่ง พบว่าการใช้อะลัมเป็นมอร์แดนท์ สามารถทำให้เส้นใยย้อมติดสีได้ดีกว่าไม่ใช้มอร์แดนท์ ส่วนการใช้มอร์แดนท์ในกระบวนการย้อมสีร่วมกับเส้นใยที่ทำการต่อกึ่งทำให้เส้นใยมีเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยที่ทำการต่อกึ่งเพียงอย่างเดียว เนื่องจากการต่อกึ่งและการใช้มอร์แดนท์นอกจากจะทำให้โครงสร้างของเส้นใยมีลักษณะที่เปิดมากขึ้นแล้ว ยังทำให้โครงสร้างของเส้นใยสามารถเกิดอันตรกิริยากับโครงสร้างของสีย้อมได้มากขึ้น โดยจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสีย้อมกับมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการต่อกึ่งและมอร์แดนท์ที่ใช้เป็นสารยึดติด จากลักษณะดังกล่าวจึงทำเส้นใยที่ทำการต่อกึ่งและใช้มอร์แดนท์ที่มีความสามารถในการดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น



รูปที่ 4.12 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับสีและเส้นใยไหม

4.9 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี

ในทางอุตสาหกรรมนิยมบอกความแตกต่างของสีทางสิ่งทอที่ใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการบอกความแตกต่างของสีเป็นไปตามมาตรฐาน CIELAB ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเทคนิคนี้มาใช้ในการบอกความแตกต่างของสีที่ได้จากการย้อมเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการต่อกึ่งโดยสีย้อมสังเคราะห์และสีย้อมธรรมชาติ

4.9.1 เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีสังเคราะห์

เมื่อทำการย้อมสีเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอกลงด้วยสีสังเคราะห์ ได้แก่ สีย้อมแอซิด และสีย้อมเบสิกแล้ว หลังจากนั้นจึงนำเส้นใยที่ได้ไปวัดค่าสีโดยใช้ระบบ CIE $L^* a^* b^* C^*$ และ h^* ผลที่ได้แสดงดังไว้ดังรูป 4.19-4.20

- เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมแอซิด

ตารางที่ 4.20 การวัดสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลงที่ทำการย้อมด้วยสีแอซิด

ชนิดของเส้นใย	L^*	a^*	b^*	C^*	h^*
เส้นใยไหมลอกกาว	59.62	36.88	74.37	83.01	63.54
MMA (EtOH)	58.65	37.33	78.40	86.50	64.43
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	60.29	36.48	76.23	84.51	64.32
MAA (H ₂ O)	58.37	36.68	67.50	76.82	61.48
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	58.98	37.20	75.91	84.53	63.88
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	58.53	36.02	67.60	76.56	62.00

จากตารางที่ 4.20 เมื่อเปรียบเทียบการวัดสีของเส้นใยก่อนและหลังการตอกลงที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมแอซิด พบว่า มีค่า L^* a^* และ h^* ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ค่า b^* ของเส้นใยไหมตอกลงด้วย MMA มีค่าสูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวเล็กน้อย ยกเว้นในกรณีที่ทำการตอกลงกับ MAA ในตัวทำละลายน้ำและเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงกับ MMA/MAA ให้ค่า b^* ต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า C^* ของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลง พบว่า เส้นใยไหมที่ทำการตอกลงมีความสดใสของสีสูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว ยกเว้นในกรณีของเส้นใยไหมทำการตอกลงกับ MAA ในตัวทำละลายน้ำและเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย MMA/MAA ในตัวทำละลายผสม ที่ให้ค่าความสดใสดำกว่ากว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวเล็กน้อย

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า มอนอเมอร์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการตอกลงไม่มีผลกระทบต่อเจดสีที่ได้จากการย้อมด้วยสีย้อมประเภทนี้ โดยเมื่อพิจารณาจากข้อมูลทั้งหมดพบว่าเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมประเภทนี้ทั้งก่อนและหลังการตอกลงให้เจดสีออกไปทางสีแดงอมเหลือง โดยเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงกับ MMA ให้เจดสีที่สว่างกว่าเส้นใยประเภทอื่นๆ เล็กน้อย

- เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมเบสิก

ตารางที่ 4.21 การวัดสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลงที่ทำการย้อมด้วยสีเบสิก

ชนิดของเส้นใย	L*	a*	b*	C*	h*
เส้นใยไหมลอกกาบ	83.24	-6.96	43.26	42.69	80.85
MMA (EtOH)	84.54	-8.25	54.90	54.27	81.44
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	82.42	-7.73	56.67	56.03	82.23
MAA (H ₂ O)	83.11	-6.08	30.32	29.70	78.64
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	81.59	-4.51	57.59	57.41	83.51
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	83.63	-7.59	45.30	44.65	80.47

จากตารางที่ 4.21 เป็นข้อมูลการวัดสีเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีเบสิกทั้งก่อนและหลังการตอกลง พบว่าค่า L* a* b* C* และ h* ของเส้นใยที่ทำการตอกลงมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นเส้นใยที่ทำการตอกลงด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำให้ค่า b* C* ที่ต่ำกว่าเล็กน้อย

จากข้อมูลที่ได้สรุปว่า เส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลงเมื่อนำมาทำการย้อมสีประเภทนี้แล้วจะให้สีไปทางสีเหลืองอมเขียว โดยมอโนเมอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการตอกลงไม่มีผลกระทบต่อค่า L* a* b* c* และ h* ยกเว้นเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำเท่านั้นที่ให้ค่าดังกล่าวต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบเล็กน้อย

4.9.2 เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ

งานวิจัยนี้ยังได้เลือกศึกษาความเป็นไปได้ในการย้อมสีธรรมชาติด้วยสารให้สีจากขมิ้นทั้งที่สกัดด้วยน้ำและสกัดด้วยเอทานอล นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ว่ามีอิทธิพลอย่างไรต่อเจดสีที่ได้อีกด้วย โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด

ตารางที่ 4.22 การวัดสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลงที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด (ไม่ใช้มอร์แดนท์)

ชนิดของเส้นใย	L*	a*	b*	C*	h*
เส้นใยไหมลอกกาบ	83.24	-4.76	35.22	34.89	82.30
MMA (EtOH)	86.57	-10.29	34.44	32.86	73.33
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	87.63	-10.30	33.90	32.29	73.14
MAA (H ₂ O)	85.30	-6.08	32.28	31.70	79.33
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	85.87	-7.83	34.31	33.40	77.16
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	86.76	-11.05	40.87	39.34	74.87

ตารางที่ 4.23 การวัดสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลงที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด (ใช้มอร์แดนท์)

ชนิดของเส้นใย	L*	a*	b*	C*	h*
เส้นใยไหมลอกกาบ	83.12	-4.18	31.82	31.54	82.51
MMA (EtOH)	85.97	-7.78	31.55	30.57	76.13
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	87.35	-9.74	30.28	28.67	72.17
MAA (H ₂ O)	85.44	-6.94	35.08	34.38	78.79
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	86.64	-7.75	32.30	31.36	76.51
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	86.31	-9.95	38.66	37.35	75.54

จากตารางที่ 4.22-4.23 เมื่อพิจารณาจากค่า L* a* b* และ C* ของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลง ทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ค่า h* ของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลงในตารางที่ 4.22-4.23 พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงมีค่า h* ต่ำกว่าเส้นใยที่ผ่านการลอกกาบเล็กน้อย ทั้งที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ เมื่อพิจารณาค่า L* a* b* C* และ h* ในกลุ่มของเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงพบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน

จากข้อมูลที่ได้สามารถสรุปได้ว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลง เมื่อทำการย้อมด้วยสีประเภทนี้ ทั้งที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์จะให้สีที่มีความสดใสและมีเฉดสีไปในทางสีเหลืองอมเขียวใกล้เคียงกัน โดยลักษณะของสีที่ได้เป็นสีเหลืองอ่อน เนื่องจากมีค่า L* ที่สูงแต่เมื่อนำไป

เปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกการพบว่าเส้นใยที่ทำการตอกให้มีความสดใสและเป็นสีเหลืองน้อยกว่าเล็กน้อย

- เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้เอทานอลเป็นตัวสกัด

ตารางที่ 4.24 การวัดสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด (ไม่ใช้มอร์แดนท์)

ชนิดของเส้นใย	L*	a*	b*	C*	h*
เส้นใยไหมลอกการ	78.07	4.85	95.24	79.37	87.08
MMA (EtOH)	81.58	-1.78	97.20	97.18	88.95
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	83.17	-3.61	97.96	97.89	87.88
MAA (H ₂ O)	80.97	-0.77	84.02	94.02	89.53
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	82.41	-3.44	85.66	85.59	87.70
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	83.11	-4.90	87.71	85.57	86.80

ตารางที่ 4.25 การวัดสีเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด (ใช้มอร์แดนท์)

ชนิดของเส้นใย	L*	a*	b*	C*	h*
เส้นใยไหมลอกการ	83.12	4.18	87.59	87.64	87.57
MMA (EtOH)	85.97	-7.78	98.60	98.60	89.42
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	87.35	-9.74	93.05	93.04	89.30
MAA (H ₂ O)	85.44	-6.94	83.85	94.40	88.90
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	86.64	-7.75	89.91	98.92	88.76
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	86.31	-9.95	98.43	98.43	89.79

จากตารางที่ 4.24 -4.25 จะเห็นว่าเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอกให้ค่า L* ที่ใกล้เคียงกัน ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกให้ค่า a* ที่เป็นลบมากกว่า แต่เมื่อพิจารณากรณีที่ใช้หรือไม่ใช้มอร์แดน พบว่าเส้นใยที่ใช้มอร์แดนท์ให้ค่า L* ที่สูงกว่า ในขณะที่ค่า a* เป็นลบมากกว่า เส้นใยที่ไม่ใช้มอร์แดนท์ เมื่อพิจารณาค่า b* ของเส้นใยไหมตอกด้วย MMA แต่ไม่ใช้มอร์แดนท์ ให้ค่า b* ใกล้เคียงกับเส้นใยไหมลอกการ ขณะที่เส้นใยที่ทำการตอกกับมอโนเมอร์ ประเภทนี้แต่ใช้มอร์แดนท์ให้ค่า b* สูงกว่าเส้นใยไหมลอกการ

เมื่อพิจารณา ค่า C^* ในตารางที่ 4.24-4.25 พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงให้ค่า C^* สูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาบทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ ขณะที่เส้นใยไหมที่ทำการตอกลงทั้งกรณีที่ใช้มอร์แดนท์และไม่ใช้มอร์แดนท์ให้ค่า C^* และ h^* ใกล้เคียงกัน โดยสีของเส้นใยก่อนและหลังการตอกลงจะออกไปในทางสีเหลืองเข้ม โดยเฉพาะเส้นใยที่ทำการตอกลงจะให้สีที่สดใสมากกว่าเส้นใยไหมลอกกาบ

4.10 การทดสอบความคงทนของสี (Color fastness)

นอกจากหาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีแล้ว การทดสอบความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ ก็เป็นสิ่งที่สำคัญ โดยในงานวิจัยนี้ได้เลือกทำการทดสอบ ความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ ได้แก่ ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนของสีต่อการซัก และความคงทนของสีต่อเหงื่อ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ต่อไปนี้

4.10.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงขึ้นอนอาร์ก)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงในเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลง โดยเป็นการเปรียบเทียบสีของชิ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปเทียบกับสีของผ้าขนสัตว์มาตรฐานภายใต้สภาวะที่กำหนด ซึ่งแยกการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาความคงทนของสีต่อแสงในสีย้อมสังเคราะห์ และความคงทนของสีต่อแสงในสีย้อมธรรมชาติ

- ความคงทนของสีต่อแสงในสีย้อมสังเคราะห์

จากการประเมินความคงทนของสีต่อแสงเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐาน ทั้งในเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกลง ผลที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.26 โดยสีย้อมสังเคราะห์ที่ถูกเลือกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ สีย้อมแอซิดและสีย้อมเบสิก นอกจากการประเมินความคงทนของสีต่อแสงโดยใช้สีของผ้าขนสัตว์มาตรฐานแล้ว ในงานวิจัยได้ทำการวัดค่า ΔE^* โดยค่า ΔE^* เป็นค่าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยที่เปลี่ยนแปลงไป โดยได้จากการเปรียบเทียบสีของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบในแต่ละสูตร ซึ่งรายละเอียดต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.26 ค่าการเปลี่ยนแปลงเอนทัลปีของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีสังเคราะห์

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสี	
	สีแอสิด	สีเบสิก
เส้นใยไหมลอกกาว	5	4
MMA (EtOH)	6	5
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	6	5
MAA (H ₂ O)	6	5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	6	5
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	6	5

เมื่อพิจารณาข้อมูลความคงทนสีของแสงในตารางที่ 4.25 ระหว่างเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการตอ กิ่ง พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอ กิ่งมีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวทั้งกรณีที่ทำกรย้อมด้วยสีย้อมแอสิดและสีย้อมเบสิก ในขณะที่การเปรียบเทียบความคงทนของสีต่อแสง ระหว่างสีย้อมแอสิดกับสีย้อมเบสิก พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมแอสิด มีความคงทนของสีต่อแสงมากกว่าเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมเบสิก

ตารางที่ 4.27 ค่าการเปลี่ยนแปลง ΔE^* ของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีสังเคราะห์

ชนิดของเส้นใยไหม	ประเภทของสี	
	สีแอสิด	สีเบสิก
เส้นใยไหมลอกกาว	27.73	10.21
MMA (EtOH)	17.82	21.61
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	18.12	18.30
MAA (H ₂ O)	11.76	22.87
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	13.87	20.53
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	15.11	11.51

เมื่อพิจารณาค่า ΔE^* ในตารางที่ 4.27 จะเห็นว่าเส้นใยไหมตอ กิ่งที่ทำกรย้อมด้วยสีแอสิดมีค่า ΔE^* น้อยกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยไหมตอ กิ่งที่ทำกรย้อมด้วยสีเบสิก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีค่า ΔE^* สูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากเส้นใยไหมลอกกาวเมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีเบสิกจะให้เจดสีที่อ่อนกว่าเจดสีที่ได้จากเส้นใยที่ทำการตอกกิ่ง ดังนั้นเมื่อนำมาทำการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง จึงส่งผลทำให้ ค่า ΔE^* ของเส้นใยไหมลอกกาวมีการเปลี่ยนแปลงของน้อยกว่าเส้นใยที่ทำการตอกกิ่ง

จากข้อมูลดังกล่าว สรุปได้ว่าเส้นใยไหมที่ตอกกิ่งด้วยมอนอเมอร์มีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว โดยปัจจัยที่ส่งเสริมให้เส้นใยไหมที่ทำการตอกกิ่งมีความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่า คาดว่าอาจเกิดจากหมู่คาร์บอนิลซึ่งเป็นหมู่ข้างเคียงของมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกกิ่งในมอนอเมอร์ทั้งสองประเภท อาจเปลี่ยนพลังงานแสงที่ได้รับ โดยเฉพาะรังสี UV ไปอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนหรือแสงฟลูออเรสเซนซ์กับแสงฟอสฟอเรสเซนซ์ [40] จากปัจจัยดังกล่าวจึงช่วยลดความรุนแรงของรังสี UV ที่มากระทำกับหมู่โครโมฟอร์ที่อยู่บนโครงสร้างของสีย้อมลง ทำให้เส้นใยที่ทำการตอกกิ่งมีความคงทนต่อแสงที่เพิ่มขึ้น

- ความคงทนของสีต่อแสงในสีย้อมธรรมชาติ

ในงานวิจัยนี้นอกจากจะศึกษาความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติแล้ว ยังได้มีการศึกษาถึงอิทธิพลการใช้มอร์แดนท์ว่ามีผลอย่างไรต่อความคงทนของสีต่อแสงอีกด้วย โดยในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน คือ การศึกษาความคงทนของสีต่อแสงในเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอกกิ่งที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นโดยใช้น้ำเป็นตัวสกัดกับสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 เป็นตัวสกัด ทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์

ตารางที่ 4.28 ค่าความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติ

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ น้ำเป็นตัวสกัด		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำ ละลายผสมน้ำเอทานอล เป็นตัวสกัด	
	ใช้มอร์ แดนท์	ไม่ใช้มอร์ แดนท์	ใช้มอร์แดนท์	ไม่ใช้มอร์ แดนท์
เส้นใยไหมลอกกา	1	1	3	2
MMA (EtOH)	1	1	4	4
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	1	1	5	5
MAA (H ₂ O)	1	1	5	5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	1	1	4	3
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	1	1	3	3

จากตารางที่ 4.28 เป็นการประเมินการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกึ่งที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้น โดยใช้น้ำเป็นตัวสกัดทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ พบว่าให้ความคงทนของสีต่อแสงต่ำกว่าเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้น ซึ่งใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด โดยผลดังกล่าวคาดว่าเป็นผลมาจากสารให้สีที่สกัดได้ด้วยน้ำ มีปริมาณค่อนข้างน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด นอกจากนี้เจดสีที่ได้ยังอ่อนกว่าอีกด้วย จากลักษณะเหล่านี้จึงคาดว่าอาจทำให้เส้นใยที่ย้อมด้วยสีประเภทนี้มีความคงทนของสีต่อแสงลดลง ในขณะที่เส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการต่อกึ่งที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นซึ่งใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกึ่งให้ความคงทนของสีต่อแสงดีกว่าเส้นใยไหมลอกกา โดยเฉพาะในกรณีที่ใช้มอร์แดนท์ บัจฉัยดังกล่าวคาดว่าจะเป็นผลจากหมู่คาร์บอนิลซึ่งเป็นหมู่ข้างเคียงของมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการต่อกึ่งจะช่วยลดพลังงานของแสง UV ที่มากระทำกับหมู่โครโมฟอร์แล้ว การใช้ มอร์แดนท์ยังทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโครงสร้างไหม โครงสร้างของสีย้อม และหมู่ข้างเคียงของมอนอเมอร์ [31] โดยความซับซ้อนของโครงสร้างเหล่านี้นอกจากจะช่วยลดความรุนแรงของแสงที่มากระทำแล้วยังเป็นตัวขัดขวางอนุมูลอิสระที่มากระทำกับหมู่โครโมฟอร์ของสี

ย่อม ซึ่งเป็นอีกสาเหตุหนึ่งที่ทำให้โครงสร้างของสีย้อมเสื่อมสลายด้วย จากปัจจัยเหล่านี้จึงคาดว่า อาจทำให้เส้นใยที่ทำการปรับปรุงด้วยวิธีการเหล่านี้มีความคงทนต่อแสงเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4.29 ค่าการเปลี่ยนแปลง ΔE^* ของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด

ชนิดของเส้นใยไหม	ประเภทของสารให้สี	
	ไม่ใช้มอร์แดนท์	ใช้มอร์แดนท์
เส้นใยไหมลอกกาว	26.86	23.31
MMA (EtOH)	27.79	25.72
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	28.97	27.67
MAA (H ₂ O)	17.05	28.73
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	18.08	24.57
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	18.80	32.53

ตารางที่ 4.30 ค่าการเปลี่ยนแปลง ΔE^* ของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 เป็นตัวสกัด

ชนิดของเส้นใยไหม	ประเภทของสารให้สี	
	ไม่ใช้มอร์แดนท์	ใช้มอร์แดนท์
เส้นใยไหมลอกกาว	78.06	72.13
MMA (EtOH)	75.94	82.17
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	74.52	75.60
MAA (H ₂ O)	74.32	67.77
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	72.17	73.27
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	71.31	82.83

จากตารางที่ 4.29-4.30 พบว่าเส้นใยตอกิ่งมีค่า ΔE^* ใกล้เคียงกับเส้นใยไหมลอกกาว ทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ ยกเว้นเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย MAA กับ MMA/MAA ที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นในตัวทำละลายน้ำและไม่ใช้มอร์แดนท์ ให้ค่าต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย ส่วนเส้นใยไหมตอกิ่งแต่ใช้มอร์แดนท์ให้ค่า ΔE^* ใกล้เคียงกับเส้นใยไหมตอกิ่ง

แต่ไม่ใช้มอร์แดนท์ (ตารางที่ 4.28-4.29) ทั้งในกรณีที่ทำการข้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำหรือตัวทำละลายผสมเป็นตัวสกัด

จากข้อมูลที่ได้สรุปว่าเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการตอกิ่งที่ทำการข้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้น โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด มีความคงทนต่อแสงสูงกว่าเส้นใยใหม่ก่อนและหลังการตอกิ่งที่ทำการข้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นแต่ใช้น้ำเป็นตัวสกัดทั้งกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ แต่เมื่อเปรียบเทียบกรณีที่ทำการข้อมสีด้วยสารให้สีที่ได้จากตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัดพบว่า เส้นใยใหม่ที่ทำการตอกิ่งให้ความคงทนของสีต่อแสงที่สูงกว่าเส้นใยใหม่ลอกกาว

4.10.2 การทดสอบความคงทนต่อการซัก

ปัจจัยที่นำมาวิเคราะห์ความคงทนต่อการซักเป็นการดำเนินการเปลี่ยนแปลง 2 ประเภทด้วยกัน ได้แก่ การประเมินการเปื้อนของสีบนผ้ามาตรฐานที่นำมาใช้ในการประกบชิ้นตัวอย่างกับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่าง โดยเป็นการเปรียบเทียบสีที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างก่อนและหลังการทดสอบ ซึ่งผลที่ได้จะถูกประเมินออกมาเป็นตัวเลข นอกจากนี้ในงานวิจัยยังได้มีการวัดค่า ΔE^* ขึ้นทดสอบอีกด้วย ในการวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นสองส่วน คือ การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักในสีย้อมสังเคราะห์กับการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักในสีย้อมธรรมชาติ

- ความคงทนของสีต่อการซักของเส้นใยใหม่ที่ทำการข้อมด้วยสีสังเคราะห์

ตารางที่ 4.31 ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยใหม่ที่ทำการข้อมด้วยสีสังเคราะห์

ชนิดของเส้นใยใหม่	ระดับความคงทนของสี	
	สีแอสิด	สีเบสิก
เส้นใยใหม่ลอกกาว	2	2
MMA (EtOH)	3	3
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	3	3
MAA (H ₂ O)	4-5	2-3
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4-5	2-3
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4-5	3

จากตารางที่ 4.31 เป็นการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักของเส้นใยไหมที่ ทำการย้อมด้วยสีย้อมแอซิดกับสีย้อมเบสิก เมื่อพิจารณาจากข้อมูลที่ได้ พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวมีความคงทนต่อการซักต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกึ่ง ทั้งในกรณีที่ทำกรย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิก เมื่อพิจารณาในกรณีเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสีแอซิด พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกึ่งด้วย MAA ให้ความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกึ่งด้วย MMA เนื่องจากจาก MAA ที่นำมาใช้ในการตอกึ่ง มีหมู่ข้างเคียงเป็นหมู่เอไมด์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายคลึงกับหมู่ปลายในเส้นใยไหม ดังนั้นเมื่อทำการย้อมสีเหล่านี้ซึ่งมีสถานะในการย้อมเป็นกรดจึงส่งผลทำให้หมู่เหล่านี้แสดงความเป็นประจุบวกมากขึ้น จากปัจจัยเหล่านี้คาดว่าอาจส่งผลทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างโครงสร้างของสีย้อมกับโครงสร้างของเส้นใยได้ง่ายขึ้น

นอกจากนี้เส้นใยไหมที่ทำการตอกึ่งด้วย MMA เมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีเบสิกให้ความคงทนของสีต่อการซักดีกว่าการย้อมด้วยสีย้อมแอซิด ปัจจัยดังกล่าวคาดว่าเป็นผลมาจากหมู่ข้างเคียงซึ่งเป็นหมู่เอสเทอร์ของเส้นใยไหมเป็นหมู่ดึงอิเล็กตรอน ทำให้มีความเป็นขั้วลบค่อนข้างมาก ดังนั้นจึงสามารถเกิดอันตรกิริยาได้ดีกับหมู่ที่มีประจุบวกบนโครงสร้างของสีเบสิก ในขณะที่เส้นใยที่ทำการตอกึ่งด้วย MAA จะแสดงความเป็นประจุบวกตรงหมู่เอไมด์ที่อยู่ตรงปลายสายโซ่ของเส้นใยไหมและหมู่ข้างเคียงของ PMAA ค่อนข้างมาก เนื่องจากสถานะที่ใช้ในการย้อมสีเบสิกมีสถานะในการย้อมที่เป็นกรดอ่อนๆ ดังนั้นจึงทำให้เส้นใยมีประจุบวกมากขึ้น ส่งผลทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างสีย้อมกับโครงสร้างของเส้นใยประเภทนี้ลดลง

จากข้อมูลที่ได้จะเห็นได้ว่าเส้นใยที่ทำการตอกึ่งด้วย MMA เมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีแอซิดให้ความคงทนของสีต่อการซักต่ำกว่าเส้นใยที่ทำการตอกึ่งด้วย MAA ในขณะที่เส้นใยไหมที่ทำการตอกึ่งด้วย MMA เมื่อทำการย้อมด้วยสีเบสิก ให้ความคงทนของสีต่อการซักที่สูงกว่าเส้นใยที่ทำการตอกึ่งด้วย MAA ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกึ่งด้วย MMA/MAA เมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีแอซิดให้ความคงทนต่อการซักที่สูงกว่าเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสีเบสิก

ส่วนผลการประเมินการเปื้อนของสีบนผ้ามาตรฐานในตารางที่ 4.32 ของเส้นใยทั้งก่อนและหลังการตอกึ่ง พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกึ่งให้การเปื้อนของสีบนผ้ามาตรฐานน้อยกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว ทั้งในกรณีของผ้าไหมและผ้าฝ้ายมาตรฐาน ในกรณีที่ทำกรย้อมด้วยสีแอซิดพบว่าเส้นใยที่ทำการตอกึ่งกับ MAA ให้ค่าการเปื้อนของสีบนผ้าไหมมาตรฐานน้อยกว่าเส้นใยที่ทำการตอกึ่งด้วย MMA ในขณะที่เส้นใยที่ทำการตอกึ่งด้วย MMA เมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีเบสิกให้ค่าการเปื้อนของสีบนผ้าไหมมาตรฐานน้อยกว่าเส้นใยที่ทำการตอกึ่งด้วย MAA

ตารางที่ 4.32 ค่าการเปลี่ยนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากการซักของสีย้อมสังเคราะห์

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสี			
	สีแอมิต		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาบ	2-3	4-5	2-3	3-4
MMA (EtOH)	3-4	5	4	4
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	5	4	4
MAA (H ₂ O)	4-5	5	3	4
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4-5	5	3	4
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4-5	5	2-3	4

ตารางที่ 4.33 ค่าการเปลี่ยนแปลง ΔE^* ของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีสังเคราะห์

ชนิดของเส้นใยไหม	ประเภทของสารให้สี	
	สีแอมิต	สีเบสิก
เส้นใยไหมลอกกาบ	25.00	33.56
MMA (EtOH)	51.63	40.72
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	41.87	40.20
MAA (H ₂ O)	32.24	48.20
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	34.01	48.87
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	26.22	27.96

จากตารางที่ 4.33 เป็นการเปรียบเทียบค่า ΔE^* ระหว่างเส้นใยไหมลอกกาบและเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วยมอนอเมอร์ พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงมีค่า ΔE^* สูงกว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาบ ลักษณะดังกล่าวคาดว่าเป็นผลจากการตอกลงอาจทำให้โครงสร้างของสีย้อมเกิดการยึดติดกับหมู่ฟังก์ชันของมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกลงมากกว่าการยึดติดกับโครงสร้างของเส้นใยไหม ปัจจัยดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยที่ตอกลงเมื่อนำไปทดสอบความคงทนต่อการซัก มีค่า ΔE^* สูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาบ ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย MAA มีการเปลี่ยนแปลงค่า ΔE^* น้อยกว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงด้วย MMA เล็กน้อย ในกรณีที่ทำกรย้อมด้วยแอมิต อาจเป็นผลมาจาก MAA ที่นำมาใช้ในการตอกลงมีหมู่ฟังก์ชันเป็นหมู่เอไมด์

ซึ่งแสดงประจวบ จึงสามารถเกิดพันธะไอออนิกกับหมู่ที่มีประจุลบของสี่แอซิดได้ดีกว่า MMA ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกด้วย MMA ที่ย้อมด้วยสีเบสิก พบว่ามีค่า ΔE^* น้อยกว่าเส้นใยที่ตอกด้วย MAA คาดว่าเป็นผลมาจากหมู่เอสเทอร์ของ MMA ที่นำมาใช้ในการตอกอาจเกิดอันตรกิริยากับหมู่ที่มีประจุบวกของสีเบสิกได้ดีกว่าเส้นใยที่ตอกด้วย MAA

- ความคงทนของสีต่อการซักของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ

ตารางที่ 4.34 ค่าการเปลี่ยนแปลงของขึ้นทสดอบเนื่องจากการซักของสีย้อมธรรมชาติ

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด	
	ใช้มอร์แดนท์	ไม่ใช้มอร์แดนท์	ใช้มอร์แดนท์	ไม่ใช้มอร์แดนท์
เส้นใยไหมลอกกาว	3	1	3	2-3
MMA (EtOH)	4-5	4-5	4	3-4
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4-5	4-5	4-5	4-5
MAA (H ₂ O)	4	4	4-5	4-5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	4-5	4-5
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	4-5	4-5

จากตารางที่ 4.34 พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวที่ใช้มอร์แดนท์ ให้ความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยที่ไม่ใช้มอร์แดนท์ ทั้งที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นซึ่งใช้น้ำเป็นตัวสกัดและสารให้สีที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกทั้งในกรณีที่ย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นซึ่งใช้น้ำและตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด ให้ค่าความคงทนต่อการซักสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ทั้งที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ ลักษณะดังกล่าวคาดว่าเกิดจากเส้นใยที่ทำการตอกด้วยมอนอเมอร์มีโอกาสที่จะเกิดอันตรกิริยาได้ดีกว่ากรณีที่ไม่มียอนอเมอร์ อีกทั้งการใช้มอร์แดนท์นอกจากจะเพิ่มโอกาสในการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสีย้อมกับเส้นใยแล้วยังทำให้เกิดโครงสร้างของสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างเส้นใยไหมกับสีที่นำมาใช้ย้อม ทำให้เส้นใยที่ปรับปรุงด้วยกระบวนการเหล่านี้มีความคงทนต่อการซักเพิ่มมากขึ้น (ดังรูปที่ 4.12) ในขณะที่เส้นใยที่ทำการตอกแต่ย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นซึ่งใช้น้ำเป็นตัวสกัด ให้ความคงทนของสีต่อการซักใกล้เคียงกับเส้นใยไหมที่ทำการตอก

กึ่งแต่ยอมด้วยสารให้สีที่ใช้ตัวทำละลายผสมเป็นตัวสกัดแสดงให้เห็นว่าปริมาณของสารให้สีที่สกัดได้ไม่มีผลต่อความคงทนของสีต่อการซัก

ตารางที่ 4.35 ค่าการเปลี่ยนสีบนผ้าขาวของสีย้อมธรรมชาติเนื่องจากการซักที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด (ไม่ใช้ฟอร์มเดนท)		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด (ใช้ฟอร์มเดนท)	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาบ	2	5	3	5
MMA (EtOH)	5	5	5	5
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	5	5	5	5
MAA (H ₂ O)	5	5	5	5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	5	5	5	5
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	5	5	5	5

ตารางที่ 4.36 ค่าการเปลี่ยนสีบนผ้าขาวของสีย้อมธรรมชาติเนื่องจากการซักที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด (ไม่ใช้ฟอร์มเดนท)		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด (ใช้ฟอร์มเดนท)	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาบ	2-3	5	3-4	5
MMA (EtOH)	5	5	5	5
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	5	5	5	5
MAA (H ₂ O)	5	5	5	5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	5	5	5	5
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	5	5	5	5

จากตารางที่ 4.35-4.36 เป็นการพิจารณาระดับความคงทนของสีที่ได้จากการวิเคราะห์การเปื้อนสีบนผ้ามาตรฐาน พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวในกรณีที่ไม่ใช้มอร์แดนท์ ให้ผลการเปื้อนของสีบนผ้าไหมมาตรฐานสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาวที่ใช้มอร์แดนท์ ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงทั้งที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากธรรมชาติที่ใช้น้ำกับสารให้สีที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด พบว่าค่าการเปื้อนของสีบนผ้าไหมและผ้าฝ้ายมาตรฐานอยู่ในระดับเดียวกันทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ โดยจะเห็นว่าเส้นใยที่ทำการตอกลงให้ผลความคงทนต่อการเปื้อนอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

จากข้อมูลที่ได้จะเห็นว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงเมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติทั้งที่ใช้น้ำหรือใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด ให้ความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ที่ดีกว่าเส้นใยไหมลอกกาวทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์

ตารางที่ 4.37 ค่าการเปลี่ยนแปลง ΔE^* ของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายน้ำ

ชนิดของเส้นใยไหม	สารให้สีจากขมิ้น	
	ไม่ใช้มอร์แดนท์	ใช้มอร์แดนท์
เส้นใยไหมลอกกาว	20.36	11.7
MMA (EtOH)	19.43	12.33
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	12.72	9.66
MAA (H ₂ O)	29.22	16.37
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	31.35	23.98
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	32.74	32.33

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.37-4.38 พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอกลงให้ค่า ΔE^* ต่ำกว่าเส้นใยที่ทำการลอกกาว ทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ และเส้นใยที่ทำการตอกลงแต่ใช้มอร์แดนท์ให้ค่า ΔE^* ต่ำกว่ากรณีที่ไม่ใช้มอร์แดนท์ ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกลงด้วยมอนอเมอร์ชนิดต่างๆ ให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE^* ใกล้เคียงกันทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์ เนื่องจากเส้นใยไหมตอกลงที่ใช้มอร์แดนท์ เมื่อนำมาย้อมด้วยสารให้สีดังกล่าวอาจเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกลง มอร์แดนท์ และสีย้อม จึงเป็นผลทำให้เส้นใยดังกล่าวเมื่อนำไปทดสอบความคงทนต่อการซักมีการเปลี่ยนแปลงของค่า ΔE^* ที่น้อย

ตารางที่ 4.38 ค่าการเปลี่ยนแปลง ΔE^* ของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด

ชนิดของเส้นใยไหม	สารให้สีจากขมิ้น	
	ไม่ใช้ฟอร์มัลเดไฮด์	ใช้ฟอร์มัลเดไฮด์
เส้นใยไหมลอกกาว	44.78	42.31
MMA (EtOH)	22.46	16.50
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	22.48	1.37
MAA (H ₂ O)	32.34	32.77
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	20.22	16.91
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	37.38	22.76

4.10.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ

เนื่องจากเหงื่อของมนุษย์เรามีทั้งที่แสดงฤทธิ์เป็นกรดและด่าง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกทำการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะเป็นกรดและด่างโดยมีรายละเอียดต่างๆดังต่อไปนี้

- การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีสังเคราะห์

จากการประเมินผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างพบว่าเส้นใยไหมที่ทำการย้อมมีความคงทนของสีต่อสภาวะเหงื่อที่เป็นกรดและด่างสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ทั้งในกรณีที่ทำกรย้อมด้วยสีย้อมแอซิดและทำการย้อมด้วยสีย้อมเบสิก เนื่องจากเส้นใยที่ทำการย้อมจะมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่ฟังก์ชันของสีย้อมได้มากกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยไหมย้อมที่ทำการย้อมด้วยสีย้อมแอซิดมีความคงทนต่อเหงื่อที่สูงกว่าสีย้อมเบสิก เนื่องจากสภาวะที่ใช้ในการย้อมสีย้อมแอซิดมีฤทธิ์เป็นกรด จึงทำให้หมู่ฟังก์ชันของเส้นใยไหมดังกล่าวแสดงความเป็นประจุบวกมากกว่าปกติ จึงเป็นสาเหตุทำให้เส้นใยดังกล่าวสามารถเกิดพันธะไอออนิกกับหมู่ที่มีประจุลบบนโครงสร้างของสีแอซิดได้ดี ขณะที่สีเบสิกมีหมู่ฟังก์ชันเป็นประจุบวก แรงดึงดูดที่เกิดขึ้นระหว่างสีย้อมกับเส้นใยจึงเป็นแค่แรงแรงแวนเดอร์วาลส์ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.38-4.41 จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีเบสิกมีความคงทนต่อเหงื่อต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีแอซิด ยกเว้นในกรณีของเส้นใยไหมลอกกาวที่มีระดับความคงทนที่เท่ากัน

ตารางที่ 4.39 ค่าความคงทนต่อเหงื่อของสีย้อมสังเคราะห์ในสภาวะที่เป็นกรด

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย	
	สีย้อมแอซิด	สีย้อมเบสิก
เส้นใยไหมลอกกาว	2-3	2-3
MMA (EtOH)	4	3
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	3
MAA (H ₂ O)	3-4	3-4
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	3-4
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	3

ตารางที่ 4.40 ค่าการเบื่อนของสีย้อมสังเคราะห์บนผ้าขาวในสภาวะที่เป็นกรด

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสี			
	สีแอซิด		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาว	3-4	4	2	3-4
MMA (EtOH)	4	4	2-3	4
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	2-3	4
MAA (H ₂ O)	4-5	4	2-3	4
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4-5	4	2-3	4
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	2-3	4

ตารางที่ 4.41 ค่าความคงทนต่อเหงื่อของสีย้อมสังเคราะห์ในสภาวะที่เป็นเบส

ชนิดของเส้นใยไหม	ระดับความคงทนของสีที่ย้อมด้วย	
	สีย้อมแอซิด	สีย้อมเบสิก
เส้นใยไหมลอกกาว	3	2
MMA (EtOH)	4	4
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4
MAA (H ₂ O)	3-4	3-4
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	3-4
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	3

ตารางที่ 4.42 ค่าการเปื้อนของสีย้อมสังเคราะห์บนผ้าขาวในสภาวะที่เป็นเบส

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสี			
	สีแอซิด		สีเบสิก	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาบ	3	4	1-2	3-4
MMA (EtOH)	4	4	2-3	4
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	2-3	4
MAA (H ₂ O)	4	4	2-3	4
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	2-3	4
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	2-3	4

- การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้น

จากการประเมินผลของการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอร์แดนท์กับกรณีที่ทำกรตอกรัดกับไม่ทำการตอกรัดให้ผลความคงทนต่อเหงื่อที่เหมือนกัน ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการทดสอบการเปื้อนของสีบนผ้ามาตรฐานหรือการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีในชิ้นตัวอย่างหลังการทดสอบ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 4.43-4.46 ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าสารให้สีจากขมิ้นที่ทำการสกัดทั้งในกรณีที่ใช้ น้ำเป็นตัวทำละลายและในกรณีที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นสารสกัดมีความคงทนต่อเหงื่อที่ดี

ตารางที่ 4.43 ค่าความคงทนต่อเหงื่อของสีย้อมธรรมชาติในสภาวะที่เป็นกรด

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ น้ำเป็นตัวสกัด		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ เอทานอลเป็นตัวสกัด	
	ใช้มอร์แดนท์	ไม่ใช้มอร์แดนท์	ใช้มอร์แดนท์	ไม่ใช้มอร์แดนท์
เส้นใยไหมลอกกาบ	3-4	3	4	3
MMA (EtOH)	3-4	3	4	3
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	3	4	3
MAA (H ₂ O)	3-4	3	4	3
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	3	4	3
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	4	4	3

ตารางที่ 4.44 ค่าการเปื้อนของสีย้อมธรรมชาติบนผ้าขาวในสภาวะที่เป็นกรด (ใช้น้ำเป็นตัวสกัด)

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ น้ำเป็นตัวสกัด (ไม่ใช้มอร์แดนท์)		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ น้ำเป็นตัวสกัด (ใช้มอร์แดนท์)	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาบ	3-4	4	3-4	4
MMA (EtOH)	4	4	4-5	4-5
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	4-5	4-5
MAA (H ₂ O)	4	4	4-5	4-5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	4-5	4-5
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	4-5	4-5

ตารางที่ 4.45 ค่าการเป็อนของสีย้อมธรรมชาติบนผ้าขาวในสภาวะที่เป็นกรด (ใช้ตัวทำละลายผสมน้ำ:เอทานอลเป็นตัวสกัด)

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้เอทานอลเป็นตัวสกัด (ไม่ใช้มอร์แดนท์)		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้เอทานอล (ใช้มอร์แดนท์)	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาบ	3-4	4-5	3-4	4-5
MMA (EtOH)	4	4-5	4-5	4-5
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4-5	4-5	4-5
MAA (H ₂ O)	4	4-5	4-5	4-5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4-5	4-5	4-5
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4	4-5	4-5	4-5

ตารางที่ 4.46 ค่าความคงทนต่อเหงื่อของสีย้อมธรรมชาติในสภาวะที่เป็นเบส

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้เอทานอลเป็นตัวสกัด	
	ใช้มอร์แดนท์	ไม่ใช้มอร์แดนท์	ใช้มอร์แดนท์	ไม่ใช้มอร์แดนท์
เส้นใยไหมลอกกาบ	3-4	3	4	3
MMA (EtOH)	3-4	3	4	3
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	3	4	3
MAA (H ₂ O)	3-4	3	4	3
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	3	4	3
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	3-4	4	4	3

ตารางที่ 4.47 ค่าการเปื้อนของสีย้อมธรรมชาติบนผ้าขาวในสภาวะที่เป็นเบส (ใช้น้ำเป็นตัวสกัด)

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ น้ำเป็นตัวสกัด (ไม่ใช้มอร์ แดนท์)		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ น้ำเป็นตัวสกัด (ใช้มอร์แดนท์)	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาบ	3-4	4	3-4	4
MMA (EtOH)	4	4	4-5	4-5
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	4-5	4-5
MAA (H ₂ O)	4	4	4-5	4-5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	4-5	4-5
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4	4	4-5	4-5

ตารางที่ 4.48 ค่าการเปื้อนของสีย้อมธรรมชาติบนผ้าขาวในสภาวะที่เป็นเบส (ใช้ตัวทำละลาย-ผสมน้ำ:เอทานอลเป็นตัวสกัด)

ชนิดของเส้นใย	ระดับความคงทนของสีย้อม			
	สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ เอทานอลเป็นตัวสกัด (ไม่ใช้มอร์แดนท์)		สารให้สีจากขมิ้นที่ใช้ เอทานอล (ใช้มอร์แดนท์)	
	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
เส้นใยไหมลอกกาบ	2.5-3	4-5	3.5-4	4-5
MMA (EtOH)	4	4-5	4-5	4-5
MMA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4-5	4-5	4-5
MAA (H ₂ O)	4	4-5	4-5	4-5
MAA (H ₂ O:EtOH25:75)	4	4-5	4-5	4-5
MMA/MAA(H ₂ O:EtOH25:75)	4	4-5	4-5	4-5

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ลักษณะภายนอกและสัณฐานวิทยา

จากการพิจารณาลักษณะภายนอกและสัณฐานวิทยาของเส้นใย พบว่าเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) มีความสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (LDPE) ซึ่งมีความสม่ำเสมอมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกกับ MMA ในตัวทำละลายน้ำให้พื้นผิวที่ขรุขระเนื่องจากมีโพลิเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดนี้เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย ขณะที่เส้นใยที่ทำการตอกกับ MMA ในตัวทำละลายผสมเป็น 25:75 และ 0:100 พบว่าให้พื้นผิวที่สม่ำเสมอมากกว่า ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกกับ MAA ให้พื้นผิวของเส้นใยที่ราบเรียบและมีความมันเงา ขณะที่เส้นใยที่ทำการตอกกับ MMA/MAA พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกในตัวทำละลายที่มีอัตราส่วนของเอทานอลที่เพิ่มขึ้นให้เส้นใยที่มีความนุ่มและมีความมันเงาใกล้เคียงกับเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง

5.1.2 ความสามารถในการตอกและสมบัติเชิงกล

ผลที่ได้จากการตอกเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) และ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกกับ MMA ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์ที่ลดลงเมื่อใช้อัตราส่วนเอทานอลในตัวทำละลายผสมเพิ่มขึ้น ในขณะที่เส้นใยที่ทำการตอกกับ MAA ในตัวทำละลายน้ำให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์มากที่สุด ส่วนเส้นใยที่ทำการตอกกับ MMA/MAA ในตัวทำละลายผสมพบว่าเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์มีลักษณะที่ใกล้เคียงกัน

จากการพิจารณาสมบัติเชิงกลของเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงก่อนและหลังลอกกากับก่อนและหลังการตอก พบว่าเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ทำการตอกมีความแข็งแรงดึงและค่ามอดุลัสสูงกว่าเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ในขณะที่ยืดมีค่าใกล้เคียงกับเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ส่วนค่าเทนacityของเส้นใยที่ทำการตอกมีค่าลดลง ที่เปอร์เซ็นต์การตอกสูงๆ

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีการทางเคมี

จากการพิจารณาสเปกตรัมของเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง พบว่า มีลักษณะใกล้เคียงกัน ขณะที่เส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงที่ทำการตอกให้สเปกตรัมที่เป็นลักษณะเฉพาะของมอนอเมอร์ที่นำมาตอก โดยเส้นใยที่ทำการตอกกับ MMA ในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล 25:75 ให้พีคที่เพิ่มจากสเปกตรัมเส้นใยโพลีเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่ตำแหน่ง 1733, 1246 และ 1146 cm^{-1} ซึ่งแสดงหมู่เอสเทอร์

ใน PMMA ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกกับ MAA ให้พิกที่เพิ่มจากสเปกทราของเส้นใยไหมลอก กาว ที่ตำแหน่ง 1510 กับ 1636 cm^{-1} ซึ่งแสดงหมู่เอไมด์ใน PMAA ขณะที่พิกของเส้นใยไหมที่ทำการตอกกับ MMA/MAA จะแสดงพิกสำคัญของมอนอเมอร์เหล่านี้รวมอยู่ด้วย

5.1.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม

จากการวิเคราะห์อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและ หลังการตอกด้วยเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริกและเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิทรี พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการตอก มีอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนที่สูงขึ้น ลักษณะดังกล่าว เป็นผลมาจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างโครงสร้างไฟโบรอิน และมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอก กิ่ง แต่เมื่อพิจารณาในเรื่องความเข้ากันได้ระหว่างมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการตอกกับโครงสร้าง ของไฟโบรอิน ด้วยเทคนิคดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิทรี พบว่ามีความสามารถในการเข้า กันได้ที่ต่ำ

5.1.5 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี

จากผลการทดลองสรุปว่าเส้นใยไหมดิบมีความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำกว่าเส้น ใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการตอกกับ MAA มีความสามารถในการดูดซับความชื้นสูง กว่าเส้นใยไหมลอกกาว โดยเฉพาะเส้นใยที่ทำการตอกในตัวทำละลายน้ำ เนื่องจากมอนอเมอร์ที่ นำมาตอกมีคุณสมบัติที่ชอบน้ำ ในขณะที่เส้นใยไหมที่ทำการตอกด้วย MMA มีความสามารถในการ ดูดซับความชื้นที่ต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากมอนอเมอร์ที่นำมาตอกมีคุณสมบัติไม่ ชอบน้ำ ส่วนเส้นใยที่ตอกด้วย MMA/MAA มีความสามารถในการดูดซับความชื้นสูงกว่าเส้นใย ไหมลอกกาวเล็กน้อย

ส่วนการทดสอบความคงทนต่อกรดและด่าง พบว่าเส้นใยที่ทำการตอกกับ MMA มีความคงทนต่อกรดและด่างสูงกว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยที่ทำการตอก กิ่งกับ MAA และ MMA/MAA มีความคงทนต่อกรดที่ดี แต่กับมีความคงทนต่อด่างลดลง โดยเฉพาะระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวกลางในกระบวนการตอกที่มากขึ้น ลักษณะดังกล่าวเกิดจาก MAA ที่ใช้ในการตอกอาจเป็นตัวแปรสำคัญในการเร่งให้เกิดดีพอลิเมอร์ไรซ์กับโครงสร้างไฟโบรอินใน เส้นใยไหมลอกกาว

5.1.6 กระบวนการย้อมสี

จากการย้อมสีเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการดอ กิ่ง พบว่าเส้นใยที่ทำการดอ กิ่งมีการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสับบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ทั้งในกรณีที่ทำ การย้อมด้วยสีสังเคราะห์และสีธรรมชาติ แต่เมื่อพิจารณาในกลุ่มของเส้นใยที่ทำการดอ กิ่ง พบว่าเส้นใยที่ทำการดอ กิ่งกับ MMA ทั้งที่ทำ การย้อมด้วยสีแอซิดและสีเบสิกให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีใกล้เคียงกัน ส่วนเส้นใยที่ทำการดอ กิ่งกับ MAA และ MMA/MAA ที่ทำการย้อมด้วยสีแอซิดให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสีสูงกว่าในกรณีที่ย้อมด้วยสีเบสิก ขณะที่เส้นใยไหมที่ทำ การย้อมด้วยสีธรรมชาติ พบว่าเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นในตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอล ให้เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของน้ำหนักสับบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นในตัวทำละลายน้ำ

ส่วนการวัดการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นใยทั้งก่อนและหลังการดอ กิ่งพบว่าเส้นใยที่ทำการดอ กิ่งเมื่อนำมาทำการย้อมสี ให้ค่า L^* a^* b^* C^* และ H^* แตกต่างกับเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่ามอ นอเมอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการดอ กิ่งไม่มีผลต่อเจดสีที่ใช้ย้อม

5.1.7 ความคงทนของสี

ในการทดสอบความคงทนของสีต่อสภาวะต่าง พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการดอ กิ่งมีความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนต่อการซักและความคงทนต่อเหงื่อสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยที่ทำการดอ กิ่งด้วยมอ นอเมอร์เมื่อนำมาทำ ย้อมด้วยสีแอซิดมีความคงทนต่อแสงสูงกว่าเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสีเบสิก ส่วนเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสารให้สีจากขมิ้นที่สกัดจากตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลให้ความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยทำการย้อมในสารให้สีที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัด ทั้งในกรณีที่ใช้และไม่ใช้มอ ร์แดนท์

การทดสอบความคงทนต่อการซัก พบว่าเส้นใยที่ทำการดอ กิ่งเมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีแอซิดให้ความคงทนต่อการซักสูงกว่าเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสีเบสิก ส่วนเส้นใยที่ทำการดอ กิ่งเมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ พบว่าให้ความคงทนของสีต่อการซักใกล้เคียงกันทั้งในกรณีที่ทำ การย้อมด้วยสารให้สีจากธรรมชาติที่ใช้น้ำเป็นตัวสกัดและในกรณีที่ใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลเป็นตัวสกัด

นอกจากนี้ในการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อพบว่าเส้นใยที่ทำการดอ กิ่งเมื่อนำมาทำการย้อมด้วยสีแอซิดให้ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะเป็นกรดสูงกว่าเส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสีเบสิก ขณะที่เส้นใยที่ทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติให้ความคงทนของสีต่อสภาวะที่เป็นกรดและเบสใกล้เคียง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเส้นใยใหม่โดยใช้มอนอเมอร์ชนิดอื่น

5.2.2 ศึกษาถึงการนำตัวกลางประเภทอื่นในกระบวนการตอกึ่งว่ามีผลต่อสมบัติของเส้นใยที่ได้อย่างไร

5.2.3 ศึกษาถึงการนำสีสังเคราะห์และสารให้สีจากธรรมชาติตัวอื่นมาใช้ในกระบวนการย้อมสี

5.2.4 ศึกษาแนวทางในการที่จะนำตัวทำละลายที่ใช้แล้วทั้งในกระบวนการตอกึ่งกับกระบวนการย้อมสีกลับมาใช้ใหม่ เพื่อเป็นการลดต้นทุนเมื่อมีการนำไปใช้ในอุตสาหกรรม

5.2.5 ศึกษาความเป็นไปได้ที่จะนำเทคนิคเทอร์มัลเกรวิเมตริกมาประยุกต์ใช้ในการหาความสามารถในการตอกึ่ง เพื่อให้ผลที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น



เอกสารอ้างอิง

- [1] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา วิทยาศาสตร์เส้นใย พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543
- [2] M. Tsukada, "Physical Properties of Silk Fiber Grafted with a Binary Mixture of Styrene and n-Butyl Methacrylate", *Journal of Applied Polymer Science*, 49 (1993) 1565-1571.
- [3] M. Tsukada, "Studies on Some Physical Properties and Structure Characteristic of Methyl Methacrylate Grafted Silk fiber", *Journal of Applied Polymer Science*, 135 (1988) 965-972.
- [4] M. Tsukada, G. Freddi, Y. Ishiguro and H. Shizaki, "Structural Analysis of Methacrylamide Grafted Silk fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, 50 (1993) 1519-1527.
- [5] M. Tsukada, "Structural Characteristic of 2-Hydroxy Ethyl Methacrylated (HEMA) / Methacrylamide (MAA) Grafted Silk Fibers". *Journal of Applied Polymer Science*, 35 (1988) 2133-2140.
- [6] M. Tsukada, M. Nagrara, H. Ishikama and H. Shiozaki, "Structural Characteristic fibers Treated with Epoxides", *Journal of Applied Polymer Science*, 43 (1991) 643-649.
- [7] มินากาวะ โมโตชิ วิทยาการไหม แปลโดยเข็มชัย เหมะจันทร์ และ เอื้ออิชิ คาวาคิ คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมการค้าส่งออก กรุงเทพฯ 2530
- [8] P. Munk, in "Introduction to Macromolecular Science" John Wiley & Sons, Singapore, 1990.
- [9] อภิชาติ สนธิสมบัติ กระบวนการเคมีสิ่งทอ พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล กรุงเทพฯ 2543
- [10] M. Feughelman, "Natural Protein Fibers", *Journal of Applied Polymer science*, 83 (2002) 489-5070.
- [11] จุฑารัตน์ ปรัชญาวรรณ และ ลลิตา บุญโฉม "สมบัติทางกายภาพของเส้นไหมหลังลอกกาว" *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง* 2 (2545) 1-9
- [12] S. Chopra, R. Chattopadhyay and M.L. Gulrajani, "Low Stress Mechanical Properties of Silk Fabric degummed by Difference Methods", *Journal of Textile Institute*, 87 (1995) 542-543.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [13] T. Arai, H. Inshikawa, G. Freddi, S. Winkler and M. Tsukada. "Chemical Modification of *Bombyx mori* Silks using Isocyanate, *Journal of Applied Polymer science*, 79 (2001) 1766-1763.
- [14] มาลินี ชัยคุภกิจสินธุ์ เคมีพอลิเมอร์ พิมพ์ครั้งที่ 3 คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 2540
- [15] J. M. G. Cowie, in "Polymer Chemistry & Physics of Modern Materials" 2nd ed. Chapman & Hall, London (1997).
- [16] ชัยวัฒน์ เจนวาณิชย์ เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน พิมพ์ครั้งที่ 1 คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย สงขลานครินทร์ ภูเก็ต กรุงเทพฯ 2527
- [17] T. K. Maji and A. N. Banerjee, "graft Copolymerization of Methyl Methacrylate on Silk Fiber Using Mohr's salt-Potassium Persulfate as Redox Initiator Under Visible Light in a limited Aqueous Medium", *Journal of Applied Polymer Science*, 62 (1996) 595-603.
- [18] M. Chanda, in "Advance Polymer Chemistry" 1st ed. Chapman & Hall, London (2001).
- [19] T. Furuzono, K. Ishihana, N. Nakabayashi and Y. Tamada "Chemical Modification of Silk Fibroin with 2-Methacryloyloxyethyl Phosphorylcholine. II Graft-Polymerization onto Fabric through 2-Methacryloyloxyethyl Isocyanate and Interaction between Fabric and Pellets", *Biomaterials*, 2 (2000) 327-333.
- [20] ลีลี โกศัยยานนท์ คู่มือวิชาการสิ่งทอ พิมพ์ครั้งที่ 1 บริษัททีทีไอเอส กรุงเทพฯ 2541
- [21] อัจฉลาพร ไชยะสุตม คู่มือการย้อมสี พิมพ์ครั้งที่ 1 อักษรบัณฑิต. กรุงเทพฯ 2517
- [22] เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอบาส "สารเคมีให้สีของพืช" วารสารคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ มหาสารคาม 12 (2536) 26-33
- [23] P. B. Karfman, L. J. Cseké, S. Warber, J. A. Duke, H. L. Brieimann, in "Natural Products", 2nd ed. Chapman & Hall, London (1999).
- [24] J. Buckingham, F. M. Macrodonal, in "Dictionary of Natural Products", 2nd ed Chapman & Hall, London (1994).
- [25] นฤมล ศราพันธ์ "การใช้สารช่วยติดในการย้อมไหมด้วยขมิ้นชัน" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ มหาลัยเกษตรศาสตร์ 2533

- [26] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ : ทฤษฎีและการนำไปใช้ พิมพ์ครั้งที่ 2 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 2543
- [27] V. Shah, in "Plastic Handbook" 2nd ed John Wiley & Sons, Singapore (1998).
- [28] ASTM D 6290-98; Standard Test Method for color Determination of Plastic Pellets.
- [29] M. Tsukada, "Characterization of Methacrylonitrile-Grafted Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, **39** (1990) 1289-1297.
- [30] M. Tsukada, T. Yamamoto, M. Nakabayashi, H. Ishikawa and G. Freddi, "Grafting of Methyl Methacrylate onto Silk Fibers Initiated by Tri-n-butyl borane, *Journal of Applied Polymer Science*, **43** (1991) 2115-2121.
- [31] J. J. Lee, H. H. Lee, S. I. Eom and J.P Kim, "UV Absorber Aftertreatment to Improve Light Fastness of Natural Dyes on Protein Fibers", *Coloration Technology*, **117** (2001) 134-138.
- [32] ผ่องศรี รอดโพธิ์ทอง "การย้อมผ้าไหมจากเปลือกมังคุด" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2540
- [33] D.L. Dunaway, B. L. Thiel and C. viney, "Tensile Mechanical Property Evaluation of Natural and Epoxide-Treated Silk Fibers", *Journal of Applied Polymer Science*, **58** (1995) 675-683.
- [34] ASTM D276-87; Standard Test Method for Identification of Fibers in Textiles, 1999.
- [35] G. Freddi, M. R. Massafra, S. Beretta, Y. Gotoh, H. Yasui and M. Tsukada, "Structure and Properties of *Bombyx mori* Silk Fibers Grafted with Methacrylamide and 2-hydroethyl Methacrylate", *Journal of Applied Polymer Science*, **60** (1996) 1867-1876.
- [36] ลลิตา บุญโฉม "สมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2546
- [37] B. Sturat, in "Modern Infrared Spectroscopy" 1st. John Wiley & Sons Chichester (1996).
- [38] H. Somashekarappa, V. Annaduri, Sangappa, G. Subramanya and R. Somashekra, "Structure-Property Relationship in Varieties of Acid Dye Processed Silk Fibers" *Materials Letter*, **53** (2002) 415-420

- [39] G. Feddi, M. Tsukada and S. Beretta, "Structure and Physical Properties of Silk Fibroin/Polyacrylamide Blend Film" *Journal of Applied Polymer Science*, 71 (1999) 1563-1571.
- [40] H. Zweifel plastic, in "Plastic Additive handbook", 5thed. Carl Hanser Verlag, Munich (2001) ..
- [41] นุจิรา รัศมีไพบูลย์ "สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไหมด้วยกลีบบดดอกดาวเรือง" วิทยานิพนธ์ปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 2543



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้