

สมบัติทางกายภาพและสมบัติการย้อมติดสีของเส้นไหมไหม (Bombyx mori) ที่
ดัดแปลงด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตและไวนิลไตร-2-เมทอกซีเอทอกซีไซเลน

PHYSICAL AND DYEING PROPERTIES OF SILKS (*Bombyx mori*)
GRAFTED BY 2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE AND
VINYLTRIS-(2-METHOXYETHOXY) SILANE

จิราธร บุญญา
JIRATORN BUNYA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานที่ผลิตตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์

มหาวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

KMITL-2007-SC-14-014-008

สมบัติทางกายภาพและสมบัติการย้อมติดสีของเส้นไหม (*Bombyx mori*) ที่
ต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตและไวนิลไตร-2-เมทอกซีเอทอกซีไซเลน

PHYSICAL AND DYEING PROPERTIES OF SILKS (*Bombyx mori*)
GRAFTED BY 2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE AND
VINYLTRIS-(2-METHOXYETHOXY) SILANE

จิราธร บุญญา
JIRATORN BUNYA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2550

KMITL-2007-SC-M-014-003

**PHYSICAL AND DYEING PROPERTIES OF SILKS (*Bombyx mori*)
GRAFTED BY 2-HYDROXYETHYL METHACRYLATE AND
VINYLTRIS-(2-METHOXYETHOXY) SILANE**

JIRATORN BUNYA

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

2007

KMITL-2007-SC-M-014-003

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 อิทธิพลของความเข้มข้นและเวลาที่มีผลต่อกระบวนการต่อกิ่ง เส้นใยไหมด้วยไวนิลมอนอเมอร์.....	47
4.2.1 ความสามารถในการต่อกิ่ง.....	47
4.3 สัณฐานวิทยา.....	54
4.3.1 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว.....	55
4.3.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย HEMA.....	56
4.3.3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย Silane.....	57
4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันโดยวิธีการทางเคมี.....	58
4.4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว.....	58
4.4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M.....	60
4.4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 M.....	61
4.5 สมบัติทางความร้อนของเส้นใย.....	63
4.5.1 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว.....	63
4.5.2 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M.....	64
4.5.3 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 M.....	66
4.6 สมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane.....	68
4.6.1 แรงที่ใช้ในการดึง (Load).....	68
4.6.2 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break).....	70
4.6.3 มอดุลัส (Modulus).....	71
4.6.4 เทนาซิตี (Tenacity).....	73
4.7 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี.....	74
4.7.1 ความชื้นรีเจน (Moisture Regain).....	74
4.7.2 ความคงทนต่อกรดและด่าง (Acid Resistance and Alkaline Resistance)....	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.8 กระบวนการย้อมสี.....	77
4.8.1 ความสามารถในการย้อมสี.....	78
4.8.2 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี	81
4.8.2.1 เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ.....	81
4.9 การทดสอบความคงทนของสี (Color fastness).....	82
4.9.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก).....	83
4.9.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ.....	84
4.9.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก.....	88
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยขอเสนอแนะ.....	93
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	93
5.1.1 ลักษณะภายนอกและสัณฐานวิทยา.....	93
5.1.2 ความเข้มข้นและเวลาที่มีผลต่อการตอ่กึ่งเส้นใยไหมด้วย HEMA และ Silane A-172.....	93
5.1.3 การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชัน.....	93
5.1.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม.....	94
5.1.5 สมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย HEMA และ Silane.....	94
5.1.6 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี.....	94
5.1.7 ความสามารถในการย้อมสี.....	95
5.1.8 การทดสอบความคงทนของสี.....	95
5.2 ขอเสนอแนะ.....	96
เอกสารอ้างอิง.....	97
ภาคผนวก.....	101
ประวัติผู้เขียน.....	102

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	สูตร โครงสร้างของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ที่พบในเส้นใยไหม.....6
2.2	กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในไฟโบรอิน.....8
2.3	ธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนในไฟโบรอิน.....9
2.4	ตัวอย่างสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ.....25
2.6	ข้อเปรียบเทียบระหว่างสีย้อมธรรมชาติและสีย้อมสังเคราะห์.....25
3.1	สีที่ใช้ย้อมผ้าสีมาตรฐาน.....43
4.1	ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ เทียบกับไหมลอกขาว.....49
4.2	ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ เทียบกับไหมลอกขาว.....50
4.3	สรุปตำแหน่งแถบการดูดกลืนของไหมดิบและไหมลอกขาว ที่ปรากฏในรูปที่ 4.8.....59
4.4	สรุปแถบการดูดกลืนของไหมลอกขาวและไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ปรากฏในรูปที่ 4.9.....61
4.5	สรุปแถบการดูดกลืนของไหมลอกขาวและไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ปรากฏในรูปที่ 4.10.....62
4.6	อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกขาวและ เส้นใยไหมต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ได้จากเทคนิคเทอร์มัลกราฟิมेटริก.....68
4.7	แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน.....69
4.8	แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน.....69
4.9	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่ง ด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน.....70
4.10	เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของเส้นใยไหม ที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน.....70
4.11	มอดุลัส (Modulus) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน.....72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 โมดูลัส (Modulus) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน.....	72
4.13 เทนาซิตี (Tenacity) ของเส้นใยไหมต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน.....	73
4.14 เทนาซิตี (Tenacity) ของเส้นใยไหมต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน.....	73
4.15 เปอร์เซ็นต์ความชื้นรีแกนของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมต่อกิ่ง.....	75
4.16 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปในการกดและด่างของไหมดิบและไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172.....	76
4.17 ความสามารถในการย้อมสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ทำการย้อมสีด้วยสีย้อมขมื่น.....	78
4.18 ความสามารถในการย้อมสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ทำการย้อมสีด้วยสีย้อมครั้ง.....	79
4.19 การวัดสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมื่น.....	81
4.20 การวัดสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั้ง.....	82
4.21 ค่าความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมื่น และครั้ง.....	83
4.22 ค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรดของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมื่น และครั้ง.....	85
4.23 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรดของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมื่น และครั้ง.....	85
4.24 ค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นด่างของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมื่น และครั้ง.....	86
4.25 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหงื่อในสภาวะที่เป็นด่างของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมื่น และครั้ง.....	86

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.26 ค่าความคงทนของสีต่อการซักของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกึ่ง ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง.....	88
4.27 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากการซักของเส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมต่อกึ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติคือ ขมิ้น และครั่ง.....	89
4.28 สรุปค่าความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ ของเส้นใยไหมลอกกาวและ เส้นใยไหมต่อกึ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง.....	91
4.29 สรุปค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากสภาวะต่างๆ ของเส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมต่อกึ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง.....	92

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	สูตรโครงสร้างทางเคมีของโปรตีนที่เกิดจากการควบแน่นของกรดอะมิโน.....5
2.2	ภาคตัดขวางของเส้นใยไหมและไฟโบรอินที่ล้อมรอบด้วยกาวไหม.....7
2.3	ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยจากรังไหมและไฟโบรอินของไหมเลี้ยง.....7
2.4	โครงสร้างของเส้นใยไหม.....8
2.5	โครงแบบแผ่นจับเบต้าของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในไฟโบรอิน.....9
2.6	การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่อะมิโนของ สายโมเลกุลพอลิเปปไทด์ของเส้นไหม 2 โมเลกุล.....10
2.7	การเกิดพันธะไอออนิกหรือ salt linkages ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่เอมีน ซึ่งเป็นหมู่ข้างเคียงของสายโซ่โมเลกุลพอลิเปปไทด์ของเส้นไหม.....10
2.8	ลักษณะโครงสร้างแบบเบต้าชีท.....11
2.9	โครงสร้างของสารให้สีฟลาโวนอยด์.....26
2.10	โครงสร้างของโครซีทิน.....26
2.11	โครงสร้างของสารให้สีแอนทราควิโนนและแนฟทราควิโนน.....27
2.12	โครงสร้างของสารให้สีอัลคาลอยด์.....27
2.13	โครงสร้างทางเคมีของเคอคูมิน (Curcumin).....28
2.14	โครงสร้างของ Laccic acid A, B, C และ E.....28
3.1	ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง.....40
4.1	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการตอ้งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 M. ที่เวลา 15 30 45 60 และ 120 นาที.....48
4.2	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการตอ้งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 M. ที่เวลา 15 30 45 60 และ 120 นาที.....48
4.3	ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ้งระหว่าง HEMA กับโปรตีน ที่เป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยไหม.....53
4.4	ปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ้งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง Silane A-172 กับโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยไหม.....54
4.5	สัณฐานวิทยาของ (ก) ไหมดิบที่กำลังขยาย 500 เท่า (ข) ไหมดิบที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ค) ไหมลอกกาวที่กำลังขยาย 500 เท่า และ (ง) ไหมลอกกาวที่กำลังขยาย 1500 เท่า.....55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6	
(ก) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M. เวลา 15 นาที	
(ข) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M. เวลา 15 นาที	
(ค) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 15 นาที	
(ง) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.4 M.	
เวลา 15 นาที กำลังขยาย 1500 เท่า.....	56
4.7	
(ก) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 15 นาที	
(ข) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 15 นาที	
(ค) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.6 M.	
เวลา 15 นาที กำลังขยาย 500 เท่า และ (ง) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172	
ความเข้มข้น 0.6 M. เวลา 15 นาที กำลังขยาย 1500 เท่า.....	57
4.8	
อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมดิบ และ (ข) เส้นใยไหมลอกกาว.....	58
4.9	
อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว	
(ข) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M.	
มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่ง 24.88% และ	
(ค) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.4 M	
มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่ง 38.26 %.....	60
4.10	
อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว	
(ข) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.4 M.	
มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่ง 8.34% และ	
(ค) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.6 M	
มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่ง 15.03 %.....	61
4.11	
เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ เส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว.....	63
4.12	
เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมลอกกาวและ	
เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M.....	65
4.13	
เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหม	
ที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 M.....	66
4.14	
การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสีย้อมหมึ้นกับ โลหะและเส้นใยไหม.....	80
4.15	
การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสีย้อมครั้งกับ โลหะและเส้นใยไหม.....	80

สัญลักษณ์และคำย่อ

ADC	Azobismethylpropionamidine dihydrochloride
AIBN	Azobisisobutyronitrile
APS	Ammoniumpersulfate
DSC	Differential Scanning Calorimetry
ETMA	Ethoxyethylmethacrylate
FTIR	Fourier Transform infrared Spectroscopy
HEMA	2 – Hydroxyethyl methacrylate
MAA	Methacrylamide
MMA	Methylmethacrylate
PHEMA	Polyhydroxyethyl methacrylate
PMMA	Polyethylmethacrylate
SEM	Scanning Electron Microscope
Silane A-172	Vinyltris-(2-methoxyethoxy) silane
TEA	Triethylamine
TGA	Thermal Gravimetric Analysis
VTMSi	Vinyltrimethoxysilane

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนที่ได้จากธรรมชาติ จัดเป็นเส้นใยที่มีค่าและสวยงามที่สุดชนิดหนึ่ง มีสมบัติที่ดีหลายประการด้วยกัน คือ มีความสวยงาม น่าสัมผัส เป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงสูง มีสภาพยืดหยุ่นและทนต่อการยับได้ดี ให้ความสบายในการสวมใส่เพราะเส้นใยดูดซับความชื้นได้ดี แห้งเร็ว ไม่จับฝุ่นง่าย สามารถย้อมหรือพิมพ์สีได้หลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งสีที่สดใสมากๆ จึงมักนำมาผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพและราคาสูง อย่างไรก็ตาม ความร้อนจากเตาที่สูงเกินกว่า 340 °F (171°C) จะทำให้ไหมอ่อนแอลงและเปลี่ยนสีเป็นเหลือง นอกจากนี้การที่ไหมมีการกินตัวจากแรงอัดค้ำเมื่อเปียกเป็นข้อเสียที่ทำให้ผ้าไหมยับง่ายเมื่อเปียกและเมื่อผ่านการซัก ดูแลรักษายาก และได้สร้างควมรำคาญให้แก่ผู้สวมใส่ ดังนั้นจึงยังเห็นความพยายามของบุคคลหลายฝ่ายในการพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของไหม โดยยังคงเอกลักษณ์ของความเป็นไหมไว้

การปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยสามารถทำได้ด้วยวิธีการตกแต่งสำเร็จทางเคมี (Chemical finishing) ซึ่งก่อนนำเส้นใยไหมไปใช้งานนั้น จะต้องทำการลอกกาวไหมออกก่อนเนื่องจากเส้นไหมดิบประกอบด้วยเส้นใยไฟโบรอินสองเส้นที่เกาะติดกันและเคลือบด้วยกาวไหม เมื่อกำจัดกาวไหมออกแล้วจะทำให้น้ำหนักของไหมลดลง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มน้ำหนักของผ้าให้มีความทึงตัวที่ดี จับจีบได้ดีขึ้น ทนต่อรอยยับ และสามารถดูดซับสีย้อมได้เพิ่มขึ้น ทำได้โดยการตกแต่งสำเร็จด้วยเกลือของโลหะหรือสารเคมีชนิดอื่นเพื่อแทนที่กาวไหม โลหะที่ใช้เพิ่มน้ำหนัก เช่น ดีบุก พลวง สังกะสี โซเดียมซัลไฟด์ เป็นต้น แต่มีข้อเสียคือ ไหมเพิ่มน้ำหนักจะมีความยืดหยุ่นลดน้อยลง ไม่ทนต่อแสงแดด เหงื่อและสารซักแห้ง ขาดง่ายกว่าไหมธรรมดา เนื่องจากถ้าปริมาณน้ำหนักโลหะที่ได้เพิ่มขึ้นเกินกว่าร้อยละ 10 คุณภาพของไหมจะเสื่อมลงมากเพราะโลหะเหล่านี้เข้าไปตกผลึกอยู่ภายในเส้นใยทำให้ขาดง่าย ปัจจุบันมีความนิยมเสื่อมลงและมีอยู่เป็นส่วนใหญ่เท่านั้น

นอกจากนี้ยังมีการปรับปรุงด้วยวิธีการต่อกิ่งกับสารเคมีที่เป็น ไวนิลมอนอเมอร์หรือเรซิน เช่น สไตรีน (Styrene) เมทาคริลามิเด (Methacrylamide, MAA) เมทิลเมทาคริเลต (Methylmethacrylate, MMA) 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลต (2-Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) อีพอกซีเรซิน (Epoxy resin) และไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน (Vinyltrimethoxysilane, VTMSi) เป็นต้น เพื่อให้เส้นใยมีสมบัติเชิงกลบางอย่างที่ดี แต่เส้นใยไหมที่ได้จากการตกแต่งโดยใช้กระบวนการเคมีดังกล่าวมีข้อบกพร่องอยู่บางประการ ขึ้นอยู่กับชนิดของไวนิลมอนอเมอร์ที่เลือกใช้ในการตกแต่งสำเร็จ เช่น การตกแต่งโดยใช้ MMA ทำให้เส้นใยมีความมันเงาตกลงและที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงๆ มักมีเม็ดเล็กๆ (Granule) ที่เกิดจากโพลิโเมอร์ของพอลิเมอร์ชนิดนี้

เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย [9] ในขณะที่เส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ช่วยปรับปรุงความสบายในการสวมใส่ เพราะมอนอเมอร์นี้มีส่วนที่ชอบน้ำสูง แต่ไหมที่ต่อกิ่งมีขนาดใหญ่เทอะทะ (Bulkiness) ทำให้มีข้อจำกัดในการนำไปใช้ในงานด้านสิ่งทอเนื่องจากเส้นใยที่ได้แข็งและเกิดโพลิโกเมอร์ที่ผิวของเส้นใยและยังพบว่าสมบัติการดึงยืดลดลงเมื่อน้ำหนักของเส้นใยที่ถูกต่อกิ่งเพิ่มขึ้น [29, 33] ส่วนการต่อกิ่งด้วยไวนิลไตรเมทอกซีไซเลน (VTMSi) ทำให้เส้นใยมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น ความต้านทานต่อการเกิดออกซิเดชัน สมบัติการขับไล่น้ำ (Water repellent) และการคืนตัวจากการยับของไหมดีขึ้น [31]

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมลอกกว พันธุ์บอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) โดยการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ ซึ่งไวนิลมอนอเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด คือ 2-ไฮดรอกซีเอทิล เมทาคริเลต (2-Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) และไวนิลไตร-2-เมทอกซีเอทอกซีไซเลน (Vinyltris-(2-methoxyethoxy) silane, A-172) เพื่อทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มของพอลิเมอร์บนเส้นใยที่เหมาะสม โดยทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของมอนอเมอร์และเวลาที่ใช้ต่างๆ กัน แล้วนำไปศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา นอกจากนี้ได้ทำการศึกษาโดยเน้นในส่วนของ การย้อมสีและความคงทนของสี โดยเลือกสภาวะที่ดีที่สุดของเส้นใยที่ต่อกิ่งไปย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติและมีการใช้มอร์แคนท์ซึ่งเป็นสารเคมีที่ช่วยให้สีย้อมติดบนเส้นใยได้ดีขึ้น โดยสีย้อมธรรมชาติที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นสารให้สีที่ได้จากขมิ้นและครั่ง จากนั้นจึงทำการทดสอบความสามารถในการย้อมติดสีและความคงทนของสีจากการย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้คาดว่า เมื่อเส้นใยไหมผ่านการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์จะช่วยปรับปรุงสมบัติบางประการของเส้นใยไหมให้ดีขึ้นเพื่อให้สามารถนำไปเป็นข้อมูลในการพัฒนาและปรับปรุงผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพเหมาะแก่การนำไปใช้งานในด้านต่างๆ ต่อไป

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมด้วยวิธีการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์
- 1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติของเส้นใยไหมที่ได้หลังจากการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์
- 1.2.3 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเส้นใยในการติดสีของสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ และความคงทนของสีย้อมในเส้นใยก่อนและหลังจากการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์

1.2 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ศึกษาผลของการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหม โดยวิธีการตอ่กึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ HEMA และ silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาแตกต่างกัน

1.3.2 ศึกษาสมบัติของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอ่กึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ ได้แก่ สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมี สมบัติเชิงกล สมบัติทางความร้อนและสัณฐานวิทยา

1.3.3 ศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอ่กึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยใช้สีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ 2 ชนิด คือ ขมิ้น และครั่ง

1.3.4 ศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีและความคงทนของสีย้อมธรรมชาติที่แตกต่างกัน 2 ชนิดของเส้นใยไหมก่อนและหลังการตอ่กึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมที่ได้หลังจากการตอ่กึ่งให้ดีขึ้น

1.4.2 สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลในการส่งเสริมให้มีการใช้สีย้อมธรรมชาติในการย้อมเส้นใยไหม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ไหม (Silks) [1-5]

เส้นไหมได้ชื่อว่าเป็น “ราชินีแห่งเส้นใย” เนื่องจากไหมเป็นเส้นใยที่มีเอกลักษณ์ไม่เหมือนเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น มีความสวยงาม แลดูหรูหรา และมีคุณค่าด้วยการที่ไหมมีความเงามันนุ่มนวล มีการทึงตัวที่ดี ดูซึมความชื้นได้ดี แห้งง่าย ไม่เหนียวเหนอะหนะ ทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกสบาย มีพื้นผิวที่เรียบ ทำให้ฝุ่นหรือสิ่งสกปรกเปื้อนติดได้ยาก มีความแข็งแรงสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ จึงยังคงทำให้ไหมได้รับความนิยมตลอดกาล

เส้นไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้มาจากโปรตีนที่หนอนไหมขับออกมาเพื่อป้องกันตัวมันเองขณะเป็นดักแด้ เส้นใยจะมีความยาวต่อเนื่อง (Filaments) ซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาวต่างจากเส้นใยธรรมชาติชนิดอื่น เช่น ฝ้าย ขนสัตว์ ลินิน ที่ล้วนเป็นเส้นใยสั้น เส้นไหมเป็นเส้นใยที่ได้จากโปรตีนเช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ แต่ไม่เหมือนกับเส้นใยขนสัตว์คือ เส้นไหมมีปริมาณของซัลเฟอร์จำนวนน้อยมาก โดยทั่วไปสามารถจำแนกไหมออกเป็น 2 ประเภท คือ

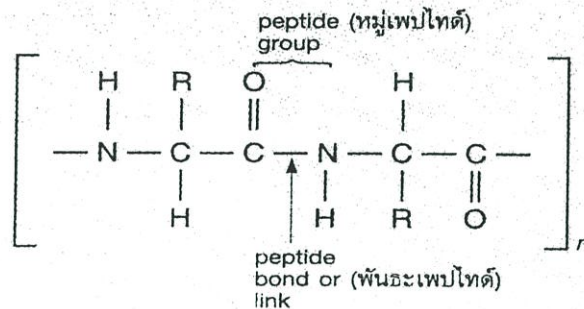
2.1.1 ไหมเลี้ยง (Mulberry Silk) หรือ ไหมบอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) เป็นหนอนไหมที่มนุษย์เพาะเลี้ยงกันภายใต้ภาวะการควบคุม โดยจัดหาอาหารให้ คือ ใบหม่อน (Mulberry Leaves) สดๆ ซึ่งไหมชนิดนี้จะมีสีค่อนข้างขาวและหลังการลอกกาวแล้วจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้น

2.1.2 ไหมป่า (Wild Silk) เป็นไหมที่มนุษย์ไม่ได้เพาะเลี้ยง ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นไหมทาชาร์ (Tussah Silk) จะมีแหล่งกำเนิดอยู่ที่จีนและอินเดีย กินใบโอ๊กเป็นอาหาร หนอนพวกนี้เจริญเติบโตเอง สามารถเก็บรังดักแด้ได้จากต้นไม้ ไหมป่าให้เส้นใยที่มีสีน้ำตาล มีความหยาบ และไม่สม่ำเสมอเมื่อเทียบกับเส้นใยจากไหมเลี้ยง

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการพบว่าพันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีที่สุด คือ พันธุ์บอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) และสำหรับไหมไทยถือว่าเป็นไหมเลี้ยงนิยมเลี้ยงกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคเหนือของไทย ซึ่งไหมไทยจะมีลักษณะเส้นใยที่มีสีเหลืองและค่อนข้างหยาบ มีส่วนประกอบที่เป็นกาวไหมปริมาณมากถึง 38% มากกว่าไหมเลี้ยงชนิดอื่นๆ ที่ปกติมีกาวไหมเพียง 20 - 25% เท่านั้น ทำให้เส้นไหมไทยมีลักษณะเฉพาะตัวเมื่อทอผ้า

2.2 โครงสร้างของเส้นใยไหม (Structure of Silks) [1-3, 5-6]

ไหมเป็นไฮโปรตีนธรรมชาติ เกิดจากการที่ตัวหนอนไหมโตเต็มวัยเริ่มเป็นดักแด้ฟั่นของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภายในตัวหนอน สารละลายนี้จะถูกอัดผ่านท่อสองท่อในหัวของตัวหนอนไหมไปสู่บริเวณที่เป็นรูเล็กๆ ส่วนที่เป็นของเหลวหนืดซึ่งเป็นไฟโบรอิน (Fibroin) จะถูกเคลือบด้วยโปรตีนอีกชนิดหนึ่งซึ่งเป็นกาวไหม หรือที่เรียกว่า เซรีซิน (Sericin) ทำให้เส้นใย 2 เส้นติดกัน โปรตีนทั้งสองชนิดยึดติดกันโดยการสัมผัสกับอากาศทำให้แข็งตัวและเกิดเส้นใยยาวต่อเนื่อง ดังนั้นเส้นใยไหมจะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ไฟโบรอิน ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเส้นใยมีประมาณ 75% โดยน้ำหนัก และกาวไหม (เซรีซิน) ทำหน้าที่เป็นตัวยึดติดเส้นใยไฟโบรอินสองเส้นเข้าไว้ด้วยกัน มีประมาณ 25% โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ในเส้นไหมมีไขมันและน้ำมันอยู่ประมาณ 0.5-1% และสารสีธรรมชาติ ประมาณ 1-1.4% ซึ่งโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไหมเกิดจากปฏิกิริยาควมน้ำ (Condensation reaction) ของกรดอะมิโนหลายชนิด



รูปที่ 2.1 สูตรโครงสร้างทางเคมีของโปรตีนที่เกิดจากการควมน้ำของกรดอะมิโน (R หมายถึง H หรือหมู่ข้างเคียง) [1]

ไฟโบรอินประกอบด้วยกรดอะมิโน ประมาณ 15 ชนิด แต่กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักในไฟโบรอิน มี 4 ชนิด คือ ไกลซีน อะลานีน เซรีนและไทโรซีน ในส่วนของกาวไหมประกอบด้วยกรดอะมิโนชนิดเดียวกับไฟโบรอิน จะแตกต่างกันที่ปริมาณของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบ ซึ่งกาวไหมจะมีกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดใหญ่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซรีน ธีโรนีน กรดกลูตามิกและกรดแอสพาทิก คิดเป็นประมาณ 60% ของน้ำหนักกาวไหม

ตารางที่ 2.1 สูตร โครงสร้างของกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ที่พบในเส้นใยไหม [7]

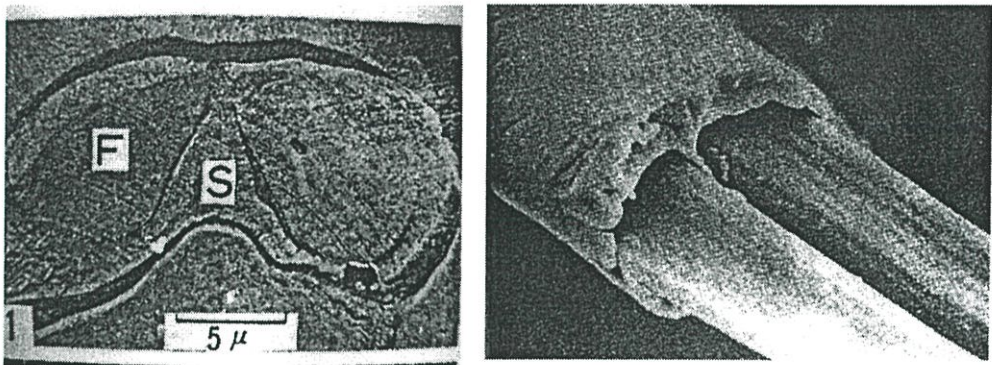
ชื่อ	โครงสร้าง	สัญลักษณ์	ลักษณะของหมู่ข้างเคียง
ไกลซีน (Glycine)	$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Gly (G)	มีขั้ว มีสมบัติชอบน้ำ
อะลานีน (Alanine)	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ \\ \text{H}_2\text{N}-\text{CH}-\text{COOH} \end{array}$	Ala (A)	ไม่มีขั้ว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

กาวไหมเป็นสารที่มีสีเหลืองเข้มและไม่ยึดหยุ่นตัว ป้องกันอันตรายให้กับเส้นใย (ไฟโบรอิน) และเป็นส่วนที่ปิดบังความมันเงาของไฟโบรอิน กาวไหมถือว่าเป็นส่วนที่ไม่เป็นระเบียบ (Amorphous) จึงไม่มีความเป็นผลึก เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลของพอลิเปปไทด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าไฟโบรอิน จึงทำให้กาวไหมละลายได้ในน้ำร้อนและยังสามารถละลายได้ในน้ำสบู่ร้อน สำหรับไฟโบรอินมีโครงสร้างที่ค่อนข้างเป็นระเบียบและมีการจัดเรียงตัวที่ดี มีความเป็นผลึกมาก ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวของกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงขนาดเล็ก

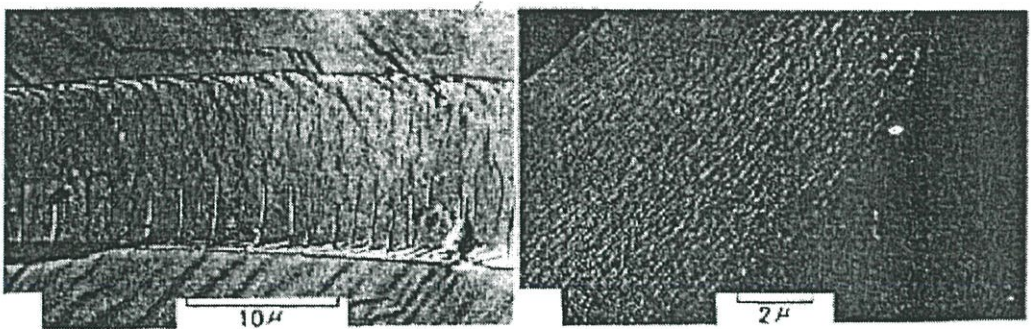
ในการศึกษาโครงสร้างของเส้นใยไหม จะศึกษาใน 2 ลักษณะคือ ศึกษาโครงสร้างทางกายภาพ (ลักษณะภายนอก) และศึกษาโครงสร้างทางเคมี จะเน้นเกี่ยวกับไฟโบรอินซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเส้นใย

2.2.1 โครงสร้างทางกายภาพของไหม (Physical Structure of Silk) [1-3, 6]

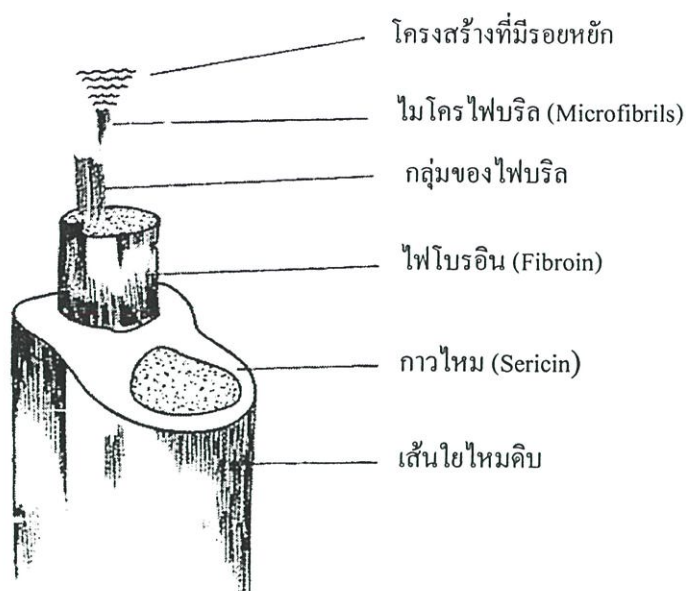
ไหมดิบเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น มีผิวที่ราบเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใยเนื่องจากผิวของเส้นไหมชั้นนอกมีกาวเซริซินซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นมากมายปกคลุมตามความยาวของเส้นใย ทำให้เส้นไหมมีความแข็งแรงกระด้าง ไม่เงามัน สีของเส้นใยไหมดิบจะมีสีเหลืองไปจนถึงสีครีม ที่ภาคตัดขวางของเส้นไหมจะเห็นเส้นใยต่อเนื่องที่เรียกว่า ไฟโบรอินอยู่ 2 เส้น มีพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน ล้อมรอบด้วยกาวไหม แสดงดังรูปที่ 2.2 (ก) และ(ข) หลังจากลอกเอากาวไหม (เซริซิน) ออกแล้วจะได้เส้นใยไฟโบรอิน 2 เส้นที่ถูกแยกออกจากกันเป็นเส้นใยเดี่ยวมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบกว่าเส้นไหมดิบที่ยังไม่ผ่านการลอกกาว แสดงดังรูปที่ 2.3 (ก) และ(ข)



รูปที่ 2.2 (ก) ภาคตัดขวางของเส้นไหมจากรังไหม *Bombyx mori* F; ไฟโบรอิน (Fibroin), S; กาวเซริซิน (Sericin) และ (ข) ไฟโบรอินที่ล้อมรอบด้วยกาวไหม [1, 6]



รูปที่ 2.3 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยจากรังไหมและไฟโบรอินของไหมเลี้ยง (*Bombyx mori*) (ก) ไหมดิบ และ (ข) ไฟโบรอินของผิวเส้นใยที่ลอกกาวแล้ว [6]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเส้นใยไหม [3]

นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยไฟโบรอิน เกิดจากการพันเกลียวเข้าด้วยกันของไฟบริลจำนวนมากและเรียงตัวกันเป็นโครงสร้างตาข่าย ทำให้เห็นเป็นเหมือนท่อไปตามแนวยาวของเส้นใย หลังจากการลอกกาวแล้วจะได้เส้นใยขามีลักษณะเป็นสามเหลี่ยมปลายมนทั้งสองเส้นที่มีความมันเงาและ มีความละเอียดสูง

2.2.2 โครงสร้างทางเคมีของไหม (Chemical Structure of Silk) [1-2, 6]

ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็น โปรตีน ที่เรียกว่า ไฟโบรอิน ซึ่งเกิดจากการที่กรดอะมิโนหลายชนิดมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอไมด์หรือเปปไทด์ (Amide or Peptide bond) ด้วยการควบแน่นเกิดเป็นพอลิเอไมด์หรือพอลิเปปไทด์ โดยกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบหลักในไฟโบรอิน ได้แก่ ไกลซีน อะลานีน เซรีนและไทโรซีน ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและอาหารที่ใช้ในการเลี้ยงดู แสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 กรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบสำคัญในไฟโบรอิน [1]

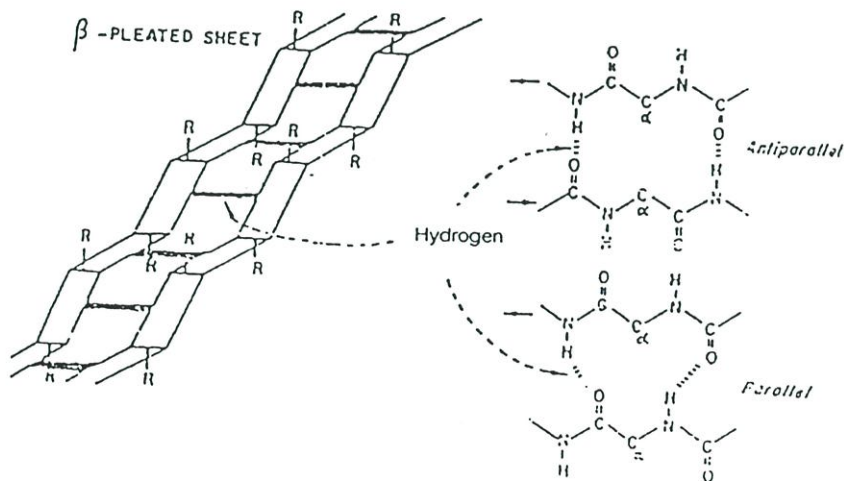
กรดอะมิโนที่สำคัญ	ปริมาณที่พบในไฟโบรอิน (เปอร์เซ็นต์)
ไกลซีน (Glycine)	43.99
อะลานีน (Alanine)	26.54
เซรีน (Serine)	11.41
ไทโรซีน (Tyrosine)	5.35

ธาตุที่สำคัญในไฟโบรอิน ได้แก่ คาร์บอน (C) ออกซิเจน (O) ไนโตรเจน (N) และไฮโดรเจน (H) สำหรับซัลเฟอร์ (S) จะมีปริมาณน้อยมากขึ้นกับโมเลกุลข้างเคียงจึงทำให้เส้นใยไหมแตกต่างจากเส้นใยขนสัตว์ซึ่งต่างก็เป็นเส้นใยโปรตีนเหมือนกัน แต่เส้นใยขนสัตว์เป็นโปรตีนชนิดเคราติน (Keratin) และมีปริมาณของซัลเฟอร์ 0.7-5% ปริมาณของธาตุต่างๆในไฟโบรอินแสดงดังตารางที่ 2.3

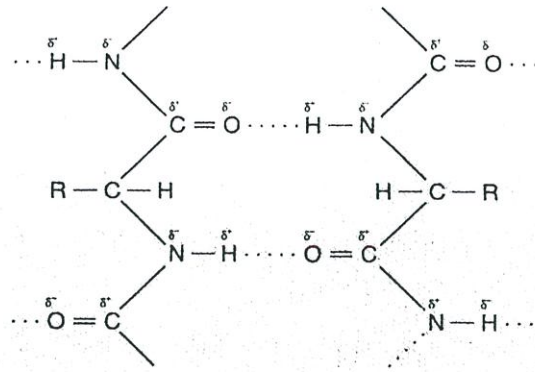
ตารางที่ 2.3 ธาตุต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของกรดอะมิโนในไฟโบรอิน [1]

ธาตุที่เป็นองค์ประกอบ	ปริมาณที่พบในไฟโบรอิน (เปอร์เซ็นต์)
คาร์บอน (C)	48.0 – 49.0
ออกซิเจน (O)	26.0 – 28.0
ไนโตรเจน (N)	17.0 – 19.0
ไฮโดรเจน (H)	6.4 – 6.5

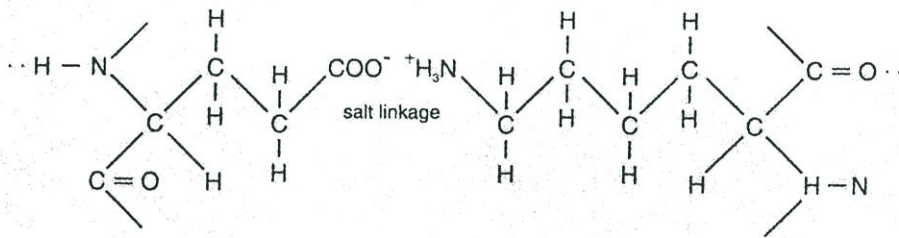
เนื่องจากโปรตีนของไฟโบรอินอยู่ในลักษณะที่มีการจัดเรียงตัวแบบแผ่นพับเบต้า (β -sheet) ซึ่งเกิดจากสายโซ่โมเลกุลของพอลิเปปไทด์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีลักษณะเหยียดยาวไม่พับตัวกันเหมือนขนสัตว์ โมเลกุลจึงเรียงตัวกันยาวและเกาะกันได้แน่นกว่า โดยยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจนที่แข็งแรงระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่อะมิโนเกิดโครงสร้างที่เป็นแผ่นพับของระนาบที่เกิดจากการขนานกันของสายพอลิเปปไทด์ มีการหักขึ้นลงเป็นแผ่นพับเหมือนรอยหยักขึ้นลงของการพับกระดาษกลายเป็นโครงสร้าง 3 มิติซ้อนกันหลายชั้นอย่างสม่ำเสมอ ทำให้มีการจัดเรียงตัวที่เป็นระเบียบมีความเป็นผลึกมากจึงทำให้ไฟโบรอินไม่ละลายน้ำ ส่วนพันธะไอออนิกพบได้เป็นส่วนน้อยในโครงสร้างของไหม



รูปที่ 2.5 โครงแบบแผ่นพับเบต้า (β -sheet) ของโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในไฟโบรอิน [8]

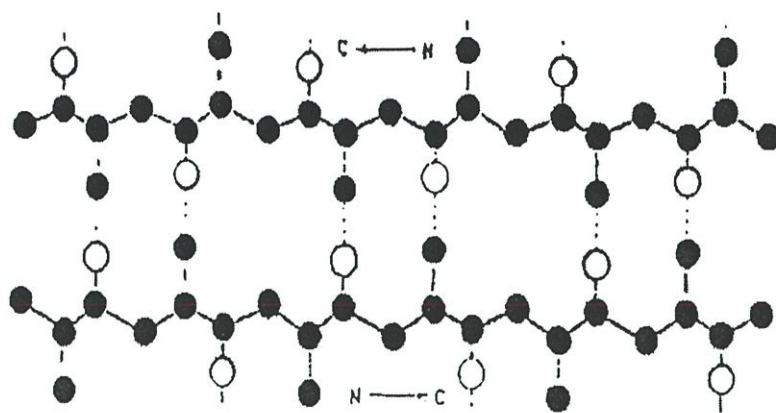


รูปที่ 2.6 การเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่เอมิโนของสายโซ่โพลีเปปไทด์ของเส้นไหม 2 โพลีเมอร์ [1]

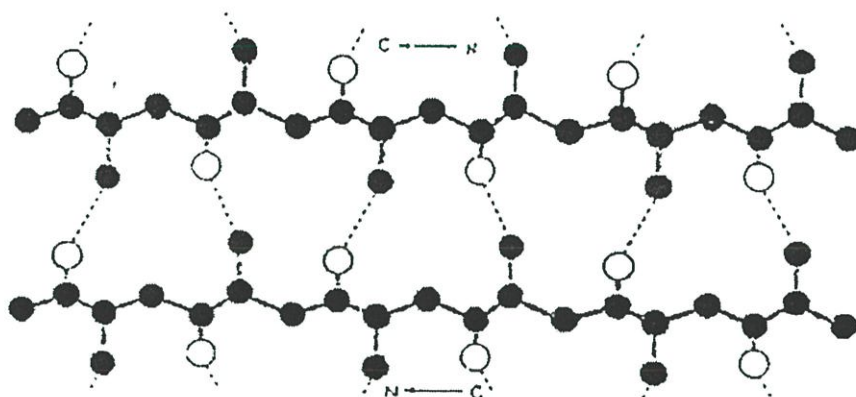


รูปที่ 2.7 การเกิดพันธะไอออนิกหรือ salt linkages ระหว่างหมู่คาร์บอกซิลและหมู่เอมิโน ซึ่งเป็นหมู่ข้างเคียงของสายโซ่โพลีเปปไทด์ของเส้นไหม [1]

โพลีเมอร์ไฟโบรอินนี้มีโครงสร้างแบบเบต้าที่สายเปปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C ตรงข้ามกัน เรียกว่าแอนติพาราเลล (Fully Extended Antiparallel) แสดงดังรูปที่ 2.8(ก) ในขณะที่โพลีเมอร์ของเส้นใยโปรตีนชนิดอื่นจะมีโครงสร้างแบบพาราเลล (Parallel) คือสายเปปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไป C เหมือนกัน แสดงดังรูปที่ 2.8(ข)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.8 (ก) ลักษณะโครงสร้างแอนติพาราเลลเบต้า-ชีท (Antiparallel pleated sheet structure) และ (ข) พาราเลลเบต้า-ชีท (Parallel pleated sheet structure)

จากการศึกษาไฟโบรอินด้วยวิธีการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) พบว่า กาวไหม (เซรีซิน) แสดงให้เห็นว่าเป็นบริเวณที่ไม่มีผลึกและโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ ส่วนไฟโบรอิน แสดงส่วนที่เป็นผลึก มีการเรียงตัวดี ซึ่งบริเวณที่เป็นผลึกของโมเลกุลไฟโบรอินได้มาจากกรดอะมิโนที่มีโซ่ข้างเคียงเล็กๆ เช่น ไกลซีน อะลานีน และเซรีน บริเวณที่ไม่มีผลึกมาจากกรดอะมิโนที่มีโซ่ข้างเคียงที่ใหญ่ เช่น ไทโรซีน

การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินทำได้ยาก เนื่องจากไฟโบรอินไม่ละลายในสารละลายทั่วไปแต่ละลายได้ในสารละลายบางตัวเท่านั้น เช่น คิวปริ-เอทิลีนไดเอมีน (Cupri-ethylenediamine) หรือในสารละลายเข้มข้นลิเทียมไอโอไดด์ (Lithium iodide) หรือสารละลายเข้มข้นไธโอไซยาเนต (Thiocyanate) จากการใช้สารละลายเหล่านี้ร่วมกับการใช้หลักการของการตกตะกอนในเครื่องเหวี่ยงศูนย์กลาง (Ultracentrifuge) จำนวนน้ำหนักโมเลกุลได้ประมาณ 84,000 แต่ถ้าคำนวณจากการอาศัยการวัดสมบัติทางความหนืด จะได้น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 55,000 หรือมีผู้ใช้การคำนวณโดยอาศัยการวิเคราะห์จากหมู่ของกรดอะมิโน (Terminal amino acid) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 80,000-100,000

2.3 สมบัติของไหม (Properties of Silk) [2, 4-5]

ไหมเป็นเส้นใยโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่มีการใช้งานเป็นอย่างมาก ทั้งในงานสิ่งทอและอุตสาหกรรมบางประเภท ดังนั้นจึงควรพิจารณาถึงสมบัติต่างๆของไหม เพื่อที่จะทราบถึงปัญหาต่างๆ และการนำไปใช้งานที่ถูกต้อง ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาสมบัติของเส้นใยออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี ดังนี้

2.3.1 สมบัติทางกายภาพของไหม (Physical Properties of Silk) [2, 4-5]

1. ลักษณะภายนอก ไหมดิบจะเป็นลักษณะของเส้นใยคู่เกาะติดกันด้วยกาวไหมมีความมันนุ่มนวล ผิวนอกดูเรียบ แต่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใย หลังจากลอกเอากาวไหมออกแล้วจะเป็นเส้นใยเดี่ยว เรียบและพื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมน เป็นเส้นใยที่มีความละเอียดสูงขนาด 1.25 เดนิเยร์ต่อเส้น

2. ความยาว ปกติไหมมีความยาวมากและเป็นเส้นใยธรรมชาติชนิดเดียวที่เป็นเส้นใยยาว ความยาวโดยทั่วไปอยู่ระหว่าง 1,300-2,000 ฟุต (390-600 เมตร) และอาจพบที่ยาวถึง 4,000 ฟุต (1,200 เมตร)

3. สี ไหมมีสีตั้งแต่สีเหลืองถึงสีน้ำตาล โดยไหมบ้านมีสีตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีขาวในขณะที่ไหมป่ามีสีเหลืองเทา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ สภาพแวดล้อม และอาหารที่ใช้เลี้ยงดู

4. ความมัน ภายหลังจากที่ลอกกาวไหมออกแล้วไหมมีความมันดีมากให้ลักษณะความมันที่อ่อนนุ่ม สบายงาม

5. ความแข็งแรง ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงที่สุด ด้วยผิวที่เรียบมันทำให้ลดปัญหาจากการขัดถู ความกว้างหรือเส้นผ่านศูนย์กลางของใยไหม กว้างประมาณ 9-11 ไมครอน ความละเอียดของเส้นใยทำให้ผ้าไหมสามารถที่จะได้รับการออกแบบให้มีโครงสร้างที่เบาบางและคงทน ค่าความเหนียวจะอยู่ในช่วง 2.4-5.1 กรัมต่อเดนิเยร์ และเมื่อเปียกน้ำจะมีความแข็งแรงลดลงเหลือเพียง 80-85% ของความเหนียวเมื่อเส้นใยแห้ง

6. สภาพยืดหยุ่น ไหมเป็นเส้นใยที่ยืดหยุ่นตัวได้ดีอาจแปรไปบ้างตามชนิดของพันธุ์และการเจริญเติบโต สามารถยืดได้ถึง 20% ของความยาวเดิม และจะยืดได้มากขึ้นถึง 33-35% เมื่อเปียกเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยขนสัตว์จะพบว่า สภาพยืดหยุ่นของไหมไม่ดีเท่าขนสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไหม ไม่มีพันธะมาจับเชื่อมเป็นโครงข่ายด้านข้าง ดังนั้นจึงไม่อาจดึงกลับคืนสภาพเดิมได้ทั้งหมด

7. การคืนตัวจากแรงอัด ไหมมีความสามารถในการคืนกลับได้ดีไม่เกิดการยับย่นง่ายสามารถกลับรูปเดิมได้เพียงแขนงทิ้งไว้ระยะหนึ่ง แต่ไม่ดีและรวดเร็วเท่าใยขนสัตว์

8. การดูดซับความชื้น ที่สภาวะมาตรฐานความสามารถในการดูดซับความชื้นจะอยู่ที่ 11% ถือว่ามีความสามารถในการดูดซับความชื้นได้ดี ทำให้ไหมข้อมติดง่ายและทำการตกแต่งได้ดีไหมต่างจากเส้นใยชนิดอื่นตรงที่สามารถดูดซึมเอาของเหลวที่ไม่บริสุทธิ์ เช่น เกลือของโลหะไว้ได้ซึ่งสารเหล่านี้จะทำลายเส้นใยทำให้เส้นใยแยกตัวและลดความทนทานลง เนื่องจากผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดีจึงรักษาความอบอุ่นได้นานเหมาะแก่การทำเป็นผ้าพันคอ ชุดสูท เป็นต้น

9. ความร้อน เมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 140°C เส้นใยจะทนได้เป็นเวลานาน แต่เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 175°C เส้นใยจะสลายตัวทันที นับได้ว่าค่อนข้างอ่อนไหวต่อความร้อนแต่ดีกว่าขนสัตว์เมื่อโดนรังสีอัลตราไวโอเลตนานๆ จะมีค่าความแข็งแรงและการยืดตัวลดลง

10. ความถ่วงจำเพาะ ความถ่วงจำเพาะของเส้นใยอยู่ระหว่าง 1.25-1.34 แต่ยังมีกรทึงตัวดี ดังนั้น โครงสร้างเส้นใยจะไม่หนาแน่นเหมือนใยเซลลูโลส ทำผ้าเนื้อบางและเบาได้ดี เนื้อผ้าเหนียวและทนทาน

11. ความอยู่ตัว ผ้าไหมจะไม่ยืดและหดมากเมื่อซักแต่เมื่อรีดด้วยไอน้ำจะคืนกลับขนาดเดิมได้โดยง่าย

2.3.2 สมบัติทางเคมีของไหม (Chemical Properties of Silk) [2, 4-5]

1. ปฏิกริยาต่อกรด ไหมไม่ถูกทำลายด้วยกรดทั่วไปแต่กรดที่มีความเข้มข้นสูงสามารถทำลายไหมได้ โครงสร้างของไหมถูกซึ่มกรดได้เร็วและจะเกาะหรือจับติดอยู่แน่นแต่กรดอินทรีย์ไม่ทำลายไหมจึงถูกนำมาใช้ตกแต่งไหม

2. ปฏิกริยาต่อด่าง ไหมมีความทนต่อด่างได้ดีกว่าขนสัตว์ แต่อาจถูกทำลายได้ด้วยด่างที่มีความเข้มข้นสูงและอุณหภูมิสูงพอ ละลายได้ในโซดาไฟร้อนแต่จะเกิดปฏิกริยาและจะละลายช้ากว่าขนสัตว์ ด่างอ่อน เช่น สบู่ บอแรกซ์ และแอมโมเนียไม่เป็นอันตรายต่อไหมหากไม่ทิ้งไว้นาน

3. เกลือคลอไรด์ ไหมถูกทำลายด้วยสารที่มีส่วนผสมของเกลือกคลอไรด์ผสมอยู่ได้แก่เหงื่อ น้ำยาคัดปลิ้น และน้ำเกลือทั่วไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งเหงื่อจะไปทำให้ผ้าไหมติดคราบ

4. สารละลายอินทรีย์ ผลิตภัณฑ์ไหมส่วนใหญ่มักใช้การซักแห้งอยู่เสมออาจเนื่องมาจากโครงสร้างของเส้นใยและสีที่ใช้ข้อม ซึ่งไหมสามารถซักด้วยน้ำยาซักแห้งได้

5. สารซักฟอก ไหมมีความทนต่อสารซักฟอกคล้ายขนสัตว์ ถูกทำลายได้ด้วยสารซักฟอกประเภทออกซิไดส์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรด์ผสมอยู่ แต่สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์บอเรตภายใต้การซักปรกติจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

6. ราและแมลง ปรกติไหมไม่เกิดราได้ง่าย ยกเว้นถูกทิ้งไว้ในภาวะที่ค่อนข้างเปียกชื้นเป็นเวลานาน ไหมสะอาดจะไม่มีปัญหาของแมลงและรา ยกเว้นแต่ได้ผลจากสารตกแต่งสำเร็จหรือสิ่งสกปรกที่ติดมา

7. แสง ผ้าไหมไม่ทนต่อแสงแดดโดยเฉพาะอย่างยิ่งจากการถูกแสงแดดโดยตรงเป็นเวลานานผ้าไหมจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและความแข็งแรงลดลง

8. การย้อมสี ไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมได้ดีมาก อาจย้อมได้ด้วยสีที่เป็นแอสิคเบสิกหรือสีไครเรก ผ้าไหมเมื่อย้อมสีจะได้สีที่เข้มกว่าขนสัตว์และสามารถย้อมได้ในอุณหภูมิต่ำกว่าด้วย

2.4 การตกแต่งสำเร็จ (Finishes) [3-6]

การตกแต่งสำเร็จเป็นกระบวนการหรือกรรมวิธีต่างๆ ที่ทำขึ้นในระหว่างการผลิตผ้าหรือหลังจากการทอเป็นผืนผ้าและก่อนที่จะนำไปใช้ เพื่อเปลี่ยนผิวสัมผัส เนื้อ คุณสมบัติ และช่วยแก้ไขข้อบกพร่องบางประการของเส้นใย เส้นด้ายและผ้าให้มีสมบัติ ลักษณะ ผิวสัมผัส และประโยชน์ใช้สอยดีขึ้น

การตกแต่งสำเร็จอาจจำแนกออกได้หลายวิธี เช่น การตกแต่งด้วยวิธีเชิงกล การตกแต่งทางเคมี การตกแต่งชนิดถาวร การตกแต่งชั่วคราว การตกแต่งโดยทั่วไปและการตกแต่งพิเศษเพื่อประโยชน์ใช้สอย ซึ่งอาจจะสามารถแยกกระบวนการตกแต่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ (ตามกลไกการทำงานของการตกแต่ง) คือ

2.4.1 การตกแต่งเชิงกล [4]

เป็นการตกแต่งผ้าโดยใช้เครื่องจักรและเครื่องมือ เช่น แผ่นทองแดง ลูกกลิ้ง เครื่องดึง ฯลฯ ช่วยเปลี่ยนรูปร่างหรือการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ภายในเส้นใย ผิวสัมผัสและคุณสมบัติของผ้าให้อยู่อย่างถาวรหรือชั่วคราวได้ เช่น การทำกันหด เป็นการตกแต่งเชิงกลให้ผ้าหดอย่างถาวร ส่วนการตกแต่งด้วยการรีดให้ผ้าเรียบเป็นมัน (Calendering) เมื่อซักคุณสมบัตินี้จะเสื่อมหายไปหรือการทุบ (Beetling) ให้ผ้าลินินมีเนื้อแน่น เป็นมัน เมื่อซักไปนานๆ เส้นด้ายจะกลับกลมและเนื้อผ้าห่าเหมือนเดิม ซึ่งการตกแต่งดังกล่าวนี้เป็นการตกแต่งชั่วคราว

2.4.2 การตกแต่งทางเคมี [4]

เป็นการตกแต่งโดยใช้สารเคมีมาทำปฏิกิริยากับเส้นใย เช่น เรซิน ยาง สารประกอบที่ทำให้อ่อนตัว สารขับไล่ น้ำ สารต่อต้านรา สารต่อต้านแมลงและสารทนไฟ และเกิดการเปลี่ยนแปลงบางประการขึ้นภายในเส้นใย ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวร ซึ่งใช้จนกระทั่งผ้าขาดการตกแต่งนั้นก็ยังคงอยู่ ส่วนการตกแต่งโดยเพิ่มสารเคมีบางอย่างเป็นการตกแต่งด้วยสารเคมีเหมือนกัน แต่สารเคมีที่นำมาใช้นั้นติดอยู่ภายนอก ไม่ได้ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงภายในของเส้นใยมักนัก เช่น การลงแป้งให้แข็ง ซึ่งการตกแต่งแบบนี้เมื่อซักไปนานๆ สารเหล่านี้จะหลุดออกและผ้าจะคืนสภาพเดิม

2.4.3 กระบวนการก่อนการตกแต่งสำเร็จ [4]

ก่อนนำผ้ามาผ่านกระบวนการตกแต่งสำเร็จ จำเป็นจะต้องนำผ้านั้นมาผ่านกระบวนการบางอย่างซึ่งจำเป็นต้องทำอยู่เป็นประจำเพื่อให้ผ้าอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกแต่งสำเร็จ เช่น การเผาขน (Singeing) การเอาแป้งออก (Desizing) การทำความสะอาด (Scouring) และการชุบมัน (Mercerization) เป็นต้น

2.5 การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมโดยวิธีทางเคมี (Chemical Treatment of Silks) [4, 6, 9]

ไหมดิบที่ได้จากรังไหม ไม่ได้มีความสวยงาม เงามัน และนุ่มนวล ตามธรรมชาติเนื่องจากยังคงมีกาวไหมเคลือบอยู่ ทำให้เส้นไหมมีความแข็งกระด้าง ไม่เงามัน ดังนั้นจึงควรที่จะต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยให้ดีขึ้น เพื่อให้ไหมมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้ในงานสิ่งทอ โดยการนำเส้นไหมนั้นมาผ่านกระบวนการต่างๆหลายขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมไหมก่อนการย้อม พิมพ์และตกแต่งสำเร็จ เช่น การลอกกาวไหม และการฟอกขาวไหม เป็นต้น ส่วนการปรับปรุงไหมเพื่อเพิ่มสมบัติตามต้องการ เช่น สมบัติทางความร้อน สมบัติเชิงกล สมบัติในการสัมผัส และการรับสีย้อม มักนิยมนำไปตกแต่งสำเร็จ โดยการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ ส่วนการนำไหมไปย้อมด้วยสีย้อมก็จะทำให้มีความสวยงามเพิ่มขึ้น

ดังนั้นก่อนที่จะปรับปรุงเส้นไหมเพื่อเพิ่มสมบัติต่างๆ โดยการตกแต่งสำเร็จนั้นจึงต้องมีการทำความสะอาด (Scouring) เพื่อเอากาวไหม และสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากเส้นใยซึ่งเป็นกระบวนการเตรียมเส้นใยก่อนการตกแต่งสำเร็จในเส้นใยไหม การทำความสะอาดเพื่อลอกเอากาวไหมและสิ่งเจือปนออกนั้น เรียกว่า การลอกกาว (Degumming)

2.5.1 การลอกกาวยไหม (Silk degumming) [1, 6]

การลอกกาวยไหมเป็นกระบวนการแรกที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อกำจัดกาวยไหมและสิ่งเจือปนอื่นๆ เช่น จี๊ซิ่ง คาร์โบไฮเดรต สี และสารอนินทรีย์ ที่มีอยู่ในเส้นไหม ทำให้ไหมเกิดความเงาและนุ่มนวล มีการดูดซับน้ำที่ดีขึ้น หลักการลอกกาวยไหม คือ การไฮโดรไลซ์กาวยไหมหรือทำลายพันธะเปปไทด์ของกาวยไหมให้เป็นโมเลกุลเล็กๆ ที่ละลายน้ำได้ เช่น กรดอะมิโนและโพลิโกเมอร์ของกรดอะมิโน การลอกกาวยไหมทำได้หลายวิธี เช่น การใช้กรด ค่าง เอนไซม์ และสบู่

2.5.1.1 การลอกกาวยไหมด้วยสบู่

การลอกกาวยไหมด้วยสบู่ต้องทำด้วยความระมัดระวัง โดยต้มสารละลายสบู่และควบคุม pH ให้เป็นด่างน้อยๆ เท่านั้นเพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เส้นไหมถูกทำลาย วิธีนี้จะต้มสารละลายสบู่ที่อุณหภูมิ 90-95 °C เป็นเวลา 1.5-2 ชั่วโมง กาวยไหมจะลอกออกเกือบทั้งหมด การลอกกาวยไหมโดยใช้สบู่ให้เส้นไหมที่เงาและเรียบสวยแต่ทำให้เกิดการลอกกาวยไหมที่ไม่สม่ำเสมอได้ง่ายและเกิดสีหมองคล้ำอันเกิดจากโคลสบู่ที่เกิดจากแคตไอออน (Cation) ในน้ำ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ซึ่งทำให้เกิดการข้อมสีด่างได้ง่าย การขจัดสบู่ด้วยการล้างทำได้ยากจึงทำให้เกิดสีเหลือง ดังนั้นน้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำอ่อนหรืออาจมีการเติมสารลดความกระด้าง (Sequestering agent) เพื่อลดความกระด้างของน้ำทั้งนี้เพื่อไม่ให้สบู่ตกค้างและเปื้อนติดอยู่ในไหม

2.5.1.2 การลอกกาวยไหมด้วยโซดา

นำไหมมาต้มด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 10-12% o.w.f. หรือโซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนต 12-15% o.w.f. ที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 °C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง แล้วล้างออกด้วยน้ำอุ่นและน้ำธรรมดาหลายครั้ง มีวิธีการลอกกาวยไหม 2 ครั้ง โดยแบ่งครึ่งสารละลายลอกกาวยไหมเพื่อป้องกันการลอกกาวยไหมที่ไม่สม่ำเสมอ วิธีนี้ไม่จำเป็นต้องขจัดโคลสบู่และเวลาในการลอกกาวยไหมสั้นกว่าใช้ย่ำต่ำกว่าแต่อัลคาไลมีความรุนแรงมากจึงทำให้การลอกกาวยไหมมากเกินไปจนทำให้เกิดความเสียหายแก่เส้นใยและบางครั้งสูญเสียความโค้งงอ ความพองตัวและคุณภาพไหม

2.5.1.3 การลอกกาวยไหมด้วยสบู่-โซดา

นำเส้นไหมมาต้มด้วยสารละลายสบู่ 8-15% o.w.f. และโซเดียมคาร์บอเนต 5-8% o.w.f. ที่อุณหภูมิสูงกว่า 90 °C เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง แล้วนำมาล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.1 % ที่อุณหภูมิ 40-50 °C และน้ำธรรมดาหลายๆ ครั้ง วิธีนี้ช่วยลอกกาวยไหมในเส้นไหมได้อย่างพอเพียงและให้ความขาวดีกว่าวิธีการลอกกาวยไหมด้วยโซดา สามารถใช้โซเดียมไฮโดรเจนคาร์บอเนตซึ่งมีปฏิกิริยาเป็นด่างอ่อนกว่า แทนการใช้โซเดียมคาร์บอเนต

2.5.1.4 การลอกกาวด้วยเอนไซม์

เป็นการนำเส้นไหมมาต้มในสารละลายเอนไซม์โปรตีเอสชนิดต่าง 0.1-0.3% pH 9.0-10.5 ที่อุณหภูมิ 40-65 °C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง กาวเซรีซินจะละลายออกมาแล้วล้างด้วยน้ำอุ่นและน้ำธรรมดาหลายๆ ครั้ง วิธีนี้สามารถลอกกาวเซรีซินได้อย่างสม่ำเสมอแต่มีข้อเสีย คือ เอนไซม์โปรตีเอสมีราคาแพง

2.5.1.5 การลอกกาวด้วยกรด

ในการลอกกาวไหมด้วยสารละลายกรดที่ pH น้อยกว่า 2.5 หรือระหว่าง 1.5-2 กาวไหมจะถูกกำจัดออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ กรดแร่ (Mineral acids) ได้แก่ กรดซัลฟิวริก และ กรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีประสิทธิภาพในการลอกกาวไหมมากกว่ากรดอินทรีย์ (Organic acids) แต่ไม่เป็นที่นิยม เพราะมักจะเกิดปัญหาและยังมีปัญหาด้านคุณภาพของไหมลอกกาว

2.5.2 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีการทางเคมี (Chemical finishing) [6, 9-11]

เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วจะมีความสวยงาม มันเงา และนุ่มนวลมากขึ้น แต่เมื่อกำจัดกาวไหมออกแล้วทำให้น้ำหนักผ้าลดลงมาก สมบัติของเส้นใยที่ได้มีค่าลดลง ประกอบกับเส้นไหมมีข้อดี้อย่างต่างๆ เช่น เมื่อโดนกับแสงแดดเป็นเวลานานๆ เส้นใยจะเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและความแข็งแรงลดลง มีความสามารถในการคืนตัวจากรอยยับที่ไม่ดีตลอดจนมีความไวต่อความร้อนและสารเคมี สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้ด้วยการใช้วิธีการทางเคมีโดยการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งการตกแต่งทางเคมีของไหมมีหลายอย่าง เช่น การเพิ่มน้ำหนักของไหมด้วยเกลือของโลหะ (Metallic Salt) เช่น ดินบุกคอลลอยด์ ทำให้อายุการใช้งานดีกว่าเดิม มีน้ำหนักและมีการทิ้งตัวที่ดีขึ้น การตกแต่งด้วยเรซินเพื่อให้เกิดความคงทนต่อการยับ ทนต่อการหดตัว ให้ความนุ่ม มีความคงทนต่อแสงแดดและคงทนต่อการขัดสี สารเคมีที่นำมาใช้ในการตกแต่งไหมมีหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ สารประกอบพวกที่เป็น โมโนเมอร์และพอลิเมอร์ เช่น ยูเรีย และเมลามีน ฟอรัลดีไฮด์ เป็นต้น พอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมเซต เช่น อีพอกซี ซิลิโคน ฟีนอลิก อะครีลามิด คาร์บอนเนตและพอลิยูรีเทน ซึ่งให้โครงสร้างเป็นร่างแห และพอลิเมอร์ประเภทเทอร์โมพลาสติก เช่น พอลิไวนิลเรซิน พอลิอะคริลเรซิน พอลิอะมีดเรซิน และพอลิโอลิฟินส์ ซึ่งมีโครงสร้างเป็นโซ่ตรง และเมื่อเร็วๆ นี้มีวิธีการทำให้เกิดพอลิเมอร์แบบตอกิ่ง (Graft polymerization) โดยใช้สารประกอบไวนิล อะคริลิก สไตรีน ซึ่งไวนิลมอนอเมอร์ที่นิยมใช้มีมากมายหลายชนิด ได้แก่ เมทิลเมทาคริเลต เมทาคริลลาไมด์ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต อีพอกซีเรซิน และไซเลน เป็นต้น โดยจะทำให้ได้เส้นใยไหมที่มีสมบัติแตกต่างกันไป

การตกแตงสำเร็จใหม่ด้วยวิธีการต่อกิ่งมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาที่สำคัญ 2 กลไก คือ กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ (Free radical polymerization) และการสังเคราะห์พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่ง (Graft copolymerization) [11]

2.5.2.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์ผ่านกลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ [11-14]

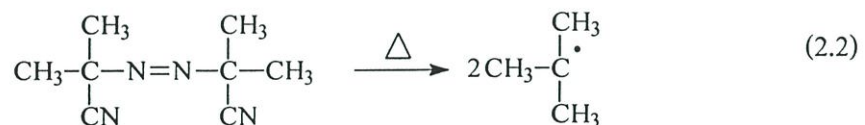
กลไกการเกิดปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระนี้ จะเกิดกับมอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล โดยเริ่มจากการใช้ตัวเริ่มต้นที่สามารถแตกตัวให้อนุมูลอิสระ (Free radical) ซึ่งอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยาตรงตำแหน่งพันธะไพ (π-bond) บนไวนิลมอนอเมอร์และเกิดการสลายตัวไปเป็นอนุมูลอิสระตัวใหม่ที่สามารถเข้าร่วมกับมอนอเมอร์ตัวอื่นจนกระทั่งได้พอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวออกมา ตัวเริ่มต้นที่นำมาใช้ต้องเป็นสารเคมีที่เมื่ออยู่ภายใต้สภาวะต่างๆ ได้แก่ ความร้อน รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า และการกระตุ้นด้วยปฏิกิริยาเคมีสามารถให้อนุมูลอิสระที่มีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยามากกว่าอนุมูลอิสระซึ่งเกิดจากมอนอเมอร์และอนุมูลอิสระดังกล่าว ต้องมีความว่องไวเพียงพอในการเกิดปฏิกิริยากับไวนิลมอนอเมอร์เพื่อเกิดเป็นอนุมูลอิสระใหม่ขึ้นมา ซึ่งวิธีที่สำคัญที่ใช้ในการเตรียมอนุมูลอิสระมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน ได้แก่

(ก) การสลายตัวด้วยความร้อน [13]

สารเคมีบางชนิดสลายตัวให้อนุมูลอิสระเมื่อได้รับความร้อน วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดทั้งในเชิงการค้าและในการศึกษากลไกของปฏิกิริยาพอลิเมอร์ เช่น เซลลูลอส โดยตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาที่สำคัญมักมีโครงสร้างเป็นสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์ เอโซ เปอร์ซัลเฟต สารริเริ่มส่วนใหญ่มักมีพลังงานพันธะอยู่ในช่วง 25-40 กิโลแคลอรี/โมล เพราะสารที่มีพลังงานพันธะสูงกว่านี้จะสลายตัวช้าเกินไป ถ้าต่ำกว่านี้ก็สลายตัวเร็วเกินไป จึงไม่เหมาะที่จะเป็นสารริเริ่ม ดังนั้นประเภทสารที่เหมาะสมจึงจำกัดเหลือเพียงสารที่มีพันธะ O-O, S-S และ N-O ในโมเลกุลของสารเท่านั้น สารที่นิยมใช้เป็นตัวเริ่มต้นมากที่สุด ได้แก่ สารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่มีพันธะ O-O แสดงการสลายตัวของเปอร์ออกไซด์เป็นอนุมูลอิสระดังสมการที่ 2.1



นอกจากนี้ยังมีสารอีกประเภทหนึ่งที่นิยมใช้เป็นตัวเริ่มต้น คือ สารประเภทเอโซ และที่นิยมใช้กันมากที่สุด ได้แก่ 2,2-azobisisobutyronitrile ซึ่งเรียกย่อว่า AIBN โครงสร้างและการสลายตัวของสารนี้แสดงดังสมการที่ 2.2



(ข) การกำเนิดอนุมูลอิสระด้วยแสง [13]

การกำเนิดอนุมูลอิสระด้วยแสงเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวิธีโฟโตเคมีคัล โดยเริ่มจากการที่มอนอเมอร์หรือสารริเริ่มถูกกระตุ้น โดยการรับพลังงานโฟตอนจากการฉายแสงอัลตราไวโอเล็ต ทำให้เคลื่อนตัวจากสภาวะพื้น ไปสู่สภาวะเร้า (excited state)



แล้วมอนอเมอร์ในสภาวะเร้าจะแตกสลายตัวออกเป็นอนุมูลอิสระ ดังสมการที่ 2.4



หลังจากนั้นอนุมูลอิสระที่ได้จะเริ่มเข้าร่วมตัวกับมอนอเมอร์เกิดกระบวนการพอลิเมอไรเซชัน

(ค) การเกิดอนุมูลอิสระโดยใช้ปฏิกิริยารีดอกซ์ [13]

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันหรือปฏิกิริยารีดอกซ์เป็นจำนวนมากใช้อนุมูลอิสระที่สามารถริเริ่มปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ วิธีที่ใช้กันมากและใช้กันมาช้านาน ได้แก่ น้ำยาเฟนตัน (Fenton's reagent) ซึ่งประกอบด้วยไฮดรอกซิล (II) อีออน และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สารทั้งสองทำปฏิกิริยากันเกิดอนุมูลอิสระไฮดรอกซี ดังสมการที่ 2.5



(ง) การเกิดอนุมูลอิสระด้วยรังสี [14]

รังสี α β γ และรังสีเอกซ์ เป็นรังสีที่มีพลังงานสูง นิยมนำมาใช้ริเริ่มปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์ โดยรังสีเหล่านี้จะเหนี่ยวนำให้มอนอเมอร์เกิดการสลายตัวเป็นอนุมูลอิสระซึ่งกลไกในการเกิดปฏิกิริยาก่อนข้างยุ่งยากเพราะนอกจากจะมีอนุมูลอิสระเกิดขึ้นแล้วยังมีไอออนบวกและไอออนลบที่เกิดจากการสลายตัวของมอนอเมอร์เกิดขึ้นอีกด้วย

พอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบกิ่งที่มีโมเลกุลของโครงสร้างหลักและสายโซ่กิ่งเป็น โมเลกุลต่างชนิดกัน ซึ่งเกิดจากการมีจุดวงไวเกิดที่ในสายโซ่หลักไม่ใช่อุณหภูมิที่ปลายสายโซ่ แล้วเติมมอนอเมอร์อีกชนิดหนึ่งลงไป วิธีที่ใช้กันมากคือ ใช้แสงอัลตราไวโอเลตทำให้เกิดการตั้งอะตอมไฮโดรเจนออกจากสายโซ่พอลิเมอร์ทำให้เกิดแรดิคอลในสายโซ่พอลิเมอร์ แล้วเติมมอนอเมอร์ชนิดที่สองลงไป อีกวิธีหนึ่งอาจเตรียมได้จากปฏิกิริยาระหว่างตัวเริ่มต้นกับ สายโซ่พอลิเมอร์ในสารละลายของพอลิเมอร์ชนิดที่สอง ปฏิกิริยาจะเกิดจุดวงไวโดยการหลุดออกของอะตอมไฮโดรเจนแล้วมอนอเมอร์ชนิดที่สองจะเข้าร่วมตัวที่จุดวงไวต่อไป การเกิดการต่อที่กิ่งสาขาทำให้คุณสมบัติของพอลิเมอร์ร่วมที่ได้ดีขึ้น ตัวอย่างเช่น พวกเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งไม่ค่อยรวมตัวกับสีผสมแต่การต่อกิ่งด้วยพอลิเมอร์อีกชนิดหนึ่งเข้าไปที่กิ่งสาขาช่วยทำให้เส้นใยสังเคราะห์ผสมสีได้ง่ายขึ้น เป็นต้น ซึ่งกลไกการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งอาจเป็นแบบอนุมูลอิสระหรือแคตไอออนิกแต่ส่วนใหญ่จะเป็นกลไกแบบอนุมูลอิสระ

ดังนั้นการต่อกิ่งบนเส้นใยใหม่จึงเป็นการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบหนึ่งเพื่อปรับปรุงสมบัติบางประการของเส้นใยใหม่หลังจากการลอกแล้วให้ดีขึ้น โดยการนำเส้นใยใหม่มาต่อกิ่งด้วยมอนอเมอร์ ซึ่งมอนอเมอร์ที่นิยมใช้มีหลายชนิดแต่ละชนิดก็มีข้อดีและข้อด้อยแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ มอนอเมอร์ที่มักนำมาใช้ในการปรับปรุงสมบัติของใย ได้แก่ อีพอกซีเรซิน ไคเบสิกแอนไฮไดรด์ และพวกไวนิลมอนอเมอร์ ได้แก่ Styrene MMA MAA HEMA โดยสาร 2 กลุ่มแรกมักจะเกิดปฏิกิริยากับหมู่ข้างเคียงที่วงไวในการเกิดปฏิกิริยาของกรดอะมิโนที่อยู่บนโครงสร้างหลักของไฟโบรอิน ในขณะที่สารกลุ่มหลังจะแทรกซึมเข้าไปยังเมตริกซ์ของเส้นใยแล้วจึงเกิดพอลิเมอร์ร่วมโดยมอนอเมอร์แต่ละชนิดที่นำมาใช้ในการต่อกิ่งจะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งตรงตำแหน่งที่วงไวในการเกิดปฏิกิริยาของ โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบในเส้นใยไฟโบรอิน ได้แก่ หมู่คาร์บอนิล เอมีน และหมู่ไฮดรอกซิลต่างๆ ซึ่งเป็นหมู่แทนที่ของกรดอะมิโน โดยสมบัติที่ได้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการปรับปรุง ซึ่งการเกิดปฏิกิริยาในส่วนนี้จะทำให้เกิดการเชื่อมโยงของโครงสร้าง โปรตีนทำให้เส้นใยที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้น

2.6 การย้อมสี (Dyeing) [3-5, 16-17]

สีของผ้าเป็นสิ่งสำคัญที่สุดอย่างหนึ่งและเป็นเครื่องตัดสินคุณภาพของผ้าชิ้นนั้นได้ สีเกือบจะเป็นสิ่งแรกที่ผู้ซื้อสังเกตก่อนการพิจารณาถึงคุณภาพอย่างอื่นของผ้าเมื่อต้องการซื้อ ดังนั้นการย้อมสี จึงเป็นกระบวนการที่สำคัญกระบวนการหนึ่งเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสีที่สวยงาม สะดุดตา ดึงดูดความสนใจของผู้พบเห็น

การย้อมติดสีของเส้นใยเกิดจากการที่โมเลกุลของสีและเส้นใยรวมเข้าเป็นสารประกอบใหม่ ชนิดหนึ่งโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยนแปลงไปและทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเฉพาะสมบัติทางกายภาพ คือ ทำให้เส้นใยมีสีต่างๆ ขึ้นมา โมเลกุลของสีย้อมมีขนาดค่อนข้างใหญ่ แต่สามารถซึมเข้าไประหว่างโมเลกุลของเส้นใยได้เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมมีขนาดเล็กกว่าช่องว่าง (Pore) ระหว่างโมเลกุลของเส้นใยจึงเกิดการย้อมติดสีขึ้น การย้อมสีส่วนใหญ่ใช้น้ำเป็นตัวกลางและเส้นด้ายหรือผ้าเมื่อนำไปแช่น้ำจะพองตัวในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับปริมาณหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำซึ่งมีอยู่ในเส้นใยนั้น การพองตัวของเส้นใยนี้จะเกิดแต่เฉพาะบริเวณของส่วนหลวมหรือช่องว่างของเส้นใยเท่านั้นซึ่งจะทำให้ช่องว่างนี้มีขนาดใหญ่ขึ้น เส้นใยทุกชนิดมีขนาดช่องว่างไม่เท่ากันขนาดโมเลกุลของสีย้อมก็มีขนาดไม่เท่ากันด้วยจึงเป็นสาเหตุอย่างหนึ่งที่ทำให้สีบางตัวย้อมเส้นใยบางชนิดไม่ติดหรือติดได้

เมื่อโมเลกุลของสีซึมผ่านช่องว่างเข้าไปภายในเส้นใยแล้วสีย้อมที่อยู่ในน้ำย้อมจะซึมเข้าไปในเส้นใย ดังนั้นเส้นใยจะค่อยๆ มีโมเลกุลของสีรวมมากขึ้นทุกทีสีก็จะมีความเข้มมากขึ้นไปตามลำดับ ปริมาณของสีย้อมที่จะยึดติดเส้นใยได้มากน้อยเท่าไรขึ้นอยู่กับหมู่ฟังก์ชันที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยา (Reactive group) ของสีย้อมและเส้นใยนั้นๆ

กลไกที่เกี่ยวข้องกับการย้อมสีที่สำคัญมีอยู่ 3 กลไกด้วยกัน ได้แก่ [3, 16-17]

1. การดูดซับของสีย้อมที่ผิวของเส้นใย (Sorption) เมื่อนำเส้นใยหรือวัสดุสิ่งทอจุ่มลงในน้ำโมเลกุลของสีที่กระจายตัวอยู่ในน้ำจะเคลื่อนมาเกาะที่ผิวของเส้นใยหรือผิวของวัสดุที่ใช้ย้อมซึ่งจะทำให้เกิดการยึดเกาะขึ้น

2. การดูดซึมของสีย้อมเข้าสู่เส้นใย (Diffusion) เมื่อโมเลกุลของสีย้อมเคลื่อนที่มาเกาะอยู่รอบผิวของเส้นใยแล้วโมเลกุลจะแทรกซึมเข้าสู่เส้นใย การเพิ่มอุณหภูมิในขณะที่ย้อมจะเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วยทำให้โมเลกุลของสีย้อมแทรกตัวเข้าสู่เส้นใยหรือวัสดุสิ่งทอได้เร็วขึ้น โดยสีย้อมจะเคลื่อนตัวเข้าสู่เส้นใยจนถึงจุดๆ หนึ่งซึ่งเป็นจุดที่เส้นใยและสีย้อมมีสัมพันธภาพทางเคมีเท่ากัน

3. การคงทนของสีบนเส้นใย (Retention) โมเลกุลของสีย้อมที่เคลื่อนตัวเข้าสู่เส้นใยจะเกิดการคงทนของสีบนเส้นใยได้โดยอาศัยกลไกทางเคมีและกายภาพเนื่องจากสีย้อมธรรมชาติเป็นสีที่ละลายน้ำได้ เมื่อนำเส้นใยที่ย้อมด้วยสีเหล่านี้ไปทำความสะอาด โมเลกุลของสีที่ยึดติดกับเส้นใยจะเคลื่อนตัวออกแล้วทำให้เกิดการตกของสีขึ้นซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นนี้สามารถแก้ไขได้โดยการใช้มอร์แดนต์ (Mordant) ซึ่งโมเลกุลของมอร์แดนต์จะรวมตัวกับ โมเลกุลของสีย้อมธรรมชาติแล้วทำให้เกิดโครงสร้างที่ซับซ้อนขึ้นทำให้เส้นใยที่ย้อมด้วยสีเหล่านี้มีความคงทนต่อการซักเพิ่มขึ้น

การที่จะย้อมสีให้ได้ผลดีนั้น แรงยึดเหนี่ยวของสีย้อมกับเส้นใยต้องมีมากกว่าแรงยึดเหนี่ยวของสีย้อมกับน้ำ โมเลกุลของสีย้อมจะต้องมีหมู่ฟังก์ชันซึ่งถูกจัดให้เรียงตัวกันในลักษณะที่จะทำให้เกิดการยึดติดกับเส้นใยแล้วเกิดพันธะยึดกันแน่น ในการย้อมติดสีจะต้องมีแรงอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป บางครั้งอาจมีมากถึง 4 ชนิด ที่จะทำให้เกิดการรวมกันของสีย้อมและเส้นใยได้

แรงที่ทำให้สีย้อมเกิดการยึดติดกับเส้นใยได้ มี 4 ชนิด ได้แก่ [17]

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

2. แรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals' forces) แรงนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เป็นแรงอย่างอ่อนๆ ที่ทำให้อะตอมและโมเลกุลเข้ามายึดติดกันได้เองระหว่างตัวสีย้อมกับเส้นใย ตัวอย่างเช่น แรงที่เกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของเซลลูโลสกับสีย้อมเวทีหรือสีไคเรกท์

3. แรงไอออนิก (Ionic forces) การยึดรวมตัวระหว่างเส้นใยและสีชนิดนี้ เกิดขึ้นได้โดยความต่างศักย์ไฟฟ้า เมื่อเส้นใยอยู่ในน้ำจะแสดงความเป็นลบและส่วนใหญ่สีย้อมซึ่งละลายในน้ำเป็นแอนไอออน การดูดซึมจึงไม่อาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนไอออนของเส้นใยก่อนโดยการเติมเกลือลงในน้ำย้อมที่ใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสและเติมกรดลงในน้ำย้อมสำหรับเส้นใยโปรตีนและไนลอนจะเป็นการเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าซึ่งมีอยู่ในเส้นใยได้แต่สีย้อมบางประเภทซึ่งเป็นแคทไอออนอยู่แล้ว เช่น สีที่ใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิก สีย้อมประเภทนี้จึงสามารถเกิดแรงไอออนิกกับเส้นใยได้ง่าย

4. พันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) ในกรณีของสีรีแอคทีฟสามารถยึดกับเส้นใยได้โดยพันธะโควาเลนต์ ซึ่งพันธะนี้เป็นพันธะที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแรงที่กล่าวมาข้างต้น

2.6.1 สารให้สีแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มหลักๆ คือ พงสี (Pigment) และ สีย้อม (Dye) [3-5, 18]

2.6.1.1 พงสี (Pigment) เป็นสารที่ละลายน้ำไม่ได้และเป็นสีที่มีขนาดเล็กมักติดอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยโดยการใส่เรซินลงไป พงสีจึงจะรวมตัวได้กับเส้นใย ดังนั้น พงสีทุกชนิดสามารถใช้ได้กับเส้นใยทุกชนิด พงสีมีอยู่จำนวนมากมายที่ให้สีแตกต่างกัน การใช้พงสีในการย้อมผ้า เรียกว่า การย้อมด้วยพงสี (Pigment dyeing) การย้อมด้วยพงสีมีขั้นตอนง่ายๆ เกี่ยวข้องกับการจุ่มอัดเรซิน (Padding) การทำให้แห้ง (Drying) และการทำให้ยึดติด (Fixing) ส่วนใหญ่มักเติมพงสีลงไป ในสารละลายที่จะนำมาปั่นในระหว่างกระบวนการผลิตเส้นใย นอกจากนี้ยังมีการใช้พงสีกันอย่างกว้างขวางในการพิมพ์มากกว่าการย้อม

2.6.1.2. สีย้อม (Dye) คือ สารอินทรีย์ที่สามารถดูดซึมและสะท้อนความยาวคลื่นของแสงภายในช่วงที่มองเห็นได้ โมเลกุลของสีย้อมต้องมีระบบคอนจูเกต (Conjugated system) คือ สามารถเปลี่ยนพันธะโคเวเลนต์คู่และเดี่ยวได้ภายในอะตอมที่เป็นโครงสร้างของสีย้อม โครงสร้างนี้จะมีหมู่พิเศษที่เรียกว่า โครโมฟอร์ (Chromophores) และออกโซโครม (Auxochromes) โครโมฟอร์เป็นตัวให้สี ถ้าปราศจากโครโมฟอร์เราจะไม่เห็นสี และออกโซโครมเป็นตัวทำให้สีเข้มยิ่งขึ้น ซึ่งสีที่เราเห็นนั้นเป็นสีจากความยาวคลื่นทั้งหมดที่ไม่ได้ถูกดูดกลืน ปกติสีย้อมจะกระจายไปในโครงสร้างภายในของเส้นใยจากสารละลายและติดอยู่ในส่วนที่เป็นออสถฐานภายในเส้นใย ออกโซโครมช่วยทำให้รับสีย้อมได้เพิ่มขึ้นเพราะช่วยทำให้สีย้อมละลายน้ำได้ดีมากยิ่งขึ้นและทำให้เกิดแรงดึงดูดระหว่างสีย้อมกับเส้นใยจึงช่วยในเรื่องของสิ่งทอที่ย้อมสีหรือตกแต่งสำเร็จ โดยส่วนใหญ่สีย้อมจะคงอยู่ในเส้นใยโดยพันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิกหรือการยึดจับทางกล มีสีย้อมเพียงไม่กี่ชนิดที่ทำปฏิกิริยากับเส้นใยพอลิเมอร์โดยเกิดพันธะโคเวเลนต์กับสีย้อม สีย้อมมักมีโมเลกุลขนาดใหญ่ สีย้อมที่มีขนาดเล็กกว่าจะซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยได้รวดเร็วกว่าแต่สีย้อมที่มีขนาดใหญ่กว่าจะคงอยู่ในเส้นใยได้นานกว่า

สีย้อมสามารถจำแนกตามแหล่งที่มาได้ 2 ประเภท คือ สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic Dyes) และ สีย้อมธรรมชาติ (Natural Dyes) [3-5, 18-20]

1. สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic Dyes) เป็นสีย้อมที่สังเคราะห์ได้จากสารอินทรีย์เกิดจากปฏิกิริยาเคมีในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะหนัก มีหลากหลายสี คงทนต่อการซักล้าง ทนแดดทนร้อน ย้อมติดเส้นใยทุกชนิด ผลิตได้ทีละมากๆ ใช้ง่าย เก็บรักษาง่าย ราคาถูก ทำให้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก สีย้อมสังเคราะห์ที่จำแนกตามการใช้งาน เช่น สีแอซิด สีเบสิก สีไดเรกต์ สิริแอกทีฟ เป็นต้น

2. สีย้อมธรรมชาติ (Natural Dyes) เป็นสีย้อมที่ได้มาตามธรรมชาติจากพืช สัตว์ และแร่ธาตุ เช่น ครั่งตัวเมียจะมีสีม่วงแดงเหมาะสำหรับย้อมไหมและขนสัตว์ได้สีสวยและไม่ตกสีเวลาใช้ย้อมไหมจะทำให้ผ้ามีเนื้อมากขึ้น สีดำจากผลมะเกลือ รากของต้นเข็มให้สีแดงเป็นสีที่ทนแดดและทนซัก ซึ่งความคงทนของสีย้อมจะแตกต่างกันไปในหมู่สีย้อมธรรมชาติแต่ปัญหาใหญ่ของสีย้อมธรรมชาติ คือ ความไม่ทนต่อแสงและอากาศ สีจึงซีดเร็วอีกทั้งยังหาได้ค่อนข้างยากจึงไม่เป็นที่นิยมเท่าใดนัก

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างสีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ [20]

สีย้อมธรรมชาติ	แหล่งที่มาจากธรรมชาติ
สีดำ	ผลมะเกลือ รากชะพลู ใบสมอ เปลือกสมอ
สีเหลือง	หัวขมิ้น แก่นขมิ้น
สีเทา	ใบสัก ขมิ้นชัน
สีแดง	ก้านดอกกรรณิการ
สีม่วง	รากยอ ใบผงคำแฝด ครั่ง (สัตว์)

ตารางที่ 2.6 ข้อเปรียบเทียบระหว่างสีย้อมธรรมชาติ และสีย้อมสังเคราะห์ [20]

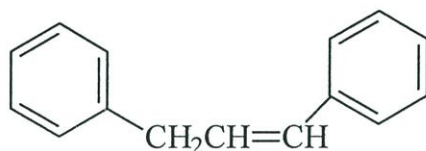
สีย้อมธรรมชาติ	สีย้อมสังเคราะห์
1. ความสดใส	1. ความสดใสมาก
2. สีตกง่าย ซีดจางไว	2. สีไม่ตก ทนทาน
3. มีจำนวนสีให้เลือกน้อย	3. มีจำนวนสีให้เลือกมากกว่า
4. ขบวนการย้อมยุ่งยาก	4. ขบวนการย้อมง่าย

แต่สีย้อมสังเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของโลหะหนัก ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง ทำให้เกิดผลกระทบต่อทั้งในคนและเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นในปัจจุบันจึงมีความนิยมการใช้สีย้อมจากธรรมชาติกลับมาอีกครั้ง และมีการค้นคว้าแหล่งสีจากพืชหลากหลายชนิดให้สีได้หลากหลายสีไม่แพ้สีสังเคราะห์

ปัจจุบันได้มีการตื่นตัวให้ความสนใจในการนำสีย้อมจากธรรมชาติเข้ามาใช้ในงานด้านสิ่งทอมากขึ้น เนื่องจากสีธรรมชาติเป็นสีที่ไม่ก่อให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ไม่เป็นอันตรายต่อผู้ที่ทำการย้อม นอกจากนี้สีธรรมชาติยังทำให้วัสดุที่นำมาย้อมมีสีที่อ่อนและเย็นตากว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุที่ย้อมด้วยสีย้อมสังเคราะห์แต่สีย้อมที่ได้จากธรรมชาติมีข้อด้อย คือ ขั้นตอนในการเตรียมน้ำย้อมยุ่งยาก วิธีการย้อมขึ้นกับผู้ชำนาญและเทคนิคของแต่ละบุคคลไม่มีสูตร

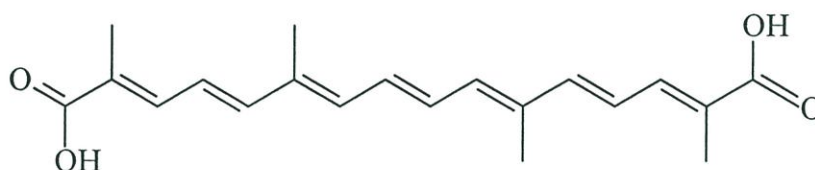
ในการย้อมแน่นอนและสีที่ใช้ในการย้อมแต่ละครั้งไม่เหมือนเดิม ปัจจุบันได้มีความพยายามที่จะปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าว เช่น การปรับปรุงในส่วนที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนในการย้อม การนำมอร์แดนต์ (Mordant) ซึ่งเป็นสารเคมีที่ช่วยให้สีย้อมติดเส้นใยและสารเคมีอื่นๆ มาช่วยในการย้อม การทดลองนำพืชชนิดต่างๆ มาใช้ย้อมเพื่อให้ได้สีที่หลากหลายมากขึ้น สีย้อมธรรมชาติที่ได้จากพืชมีบทบาทมากที่สุดซึ่งส่วนต่างๆ ของพืชที่ให้สีมีมากมายหลายชนิด ได้แก่ ลำต้น แก่น เปลือก ใบ ดอก และผล โดยสีที่ได้จากส่วนที่เป็นราก แก่น และผล ให้สีที่มีความคงทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าส่วนอื่นๆ การที่พืชให้สีที่แตกต่างกันเนื่องจากในพืชนั้นมีองค์ประกอบของสารให้สีที่แตกต่างกัน โดยสารให้สีเหล่านี้สามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ [21]

(ก) สารประกอบฟลาโวนอยด์ (Flavonoids) สารให้สีกลุ่มนี้ถูกนำมาใช้ย้อมสิ่งทอเป็นจำนวนมาก โดยสารกลุ่มนี้มักให้สีที่มีสีเหลืองถึงสีส้มเหลือง มีสูตรโครงสร้างพื้นฐานเป็น $C_6-C_3-C_6$ โดยที่ C_6 ส่วนมากเป็นพวกวงเบนซิน มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.9



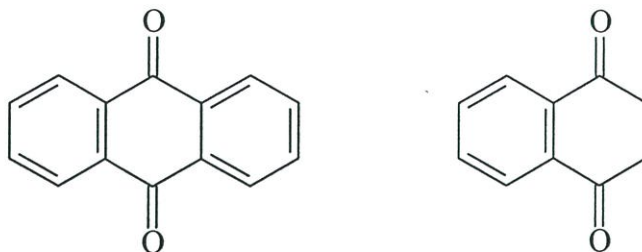
รูปที่ 2.9 โครงสร้างของสารให้สีฟลาโวนอยด์ [21]

(ข) สารประกอบเทอร์พีนอยด์ (Terpenoids) สารในกลุ่มนี้เป็นสารที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นจากสิ่งมีชีวิตโดยมีหน่วยโครงสร้างเป็นพวกไอโซโทเพน เช่น โครซีทิน (Croceatin) จากหัวฝักรัน (Saffron) มีสีเหลือง ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.10



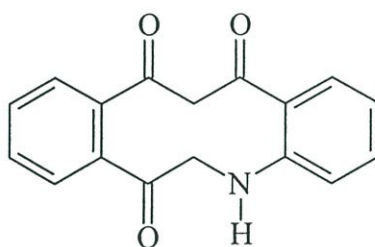
รูปที่ 2.10 โครงสร้างของโครซีทิน [21]

(ค) สารประกอบแอนทราควิโนน และแนฟทาควิโนน (Anthraquinones and naphthaquinones) สารในกลุ่มนี้มักให้สีแดงของแอนทราควิโนนที่ใช้เป็นสีย้อม เช่น เอลิเอติน (Aliarin) จากรากต้นแมคเคอร์ (Madder) และจากแก่นต้นยอ จากครั่ง (Laccaic acid) ส่วนแนฟทาควิโนน เช่น Juglone จากเปลือกมันฮ่อให้สีเขียวอมน้ำตาล มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 โครงสร้างของสารให้สีแอนทราควิโนนและแนฟทาควิโนน [21]

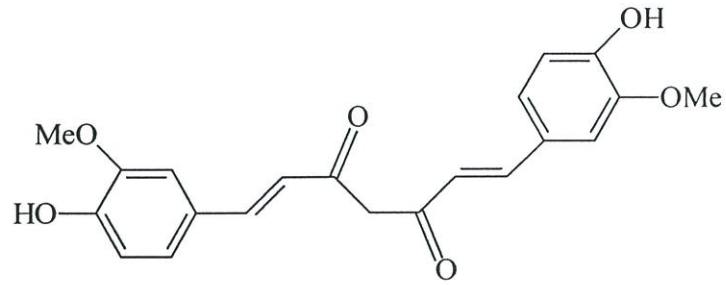
(ง) สารประกอบแอลคาลอยด์ (Alkaloids) สารในกลุ่มนี้มักจะได้จากพืชชั้นสูงและมีในโตรเจนอะตอมอยู่ในโมเลกุล ได้แก่ สีอินดิโก (Indrigo) จากต้นคราม ซึ่งให้สีน้ำเงิน มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของสารให้สีอัลคาลอยด์ [21]

2.6.2 ขมิ้นและกรรมวิธีในการย้อมสีธรรมชาติ [21-23]

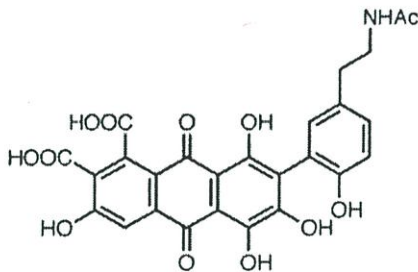
ขมิ้นมีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* พบได้เกือบทั่วทุกภาคของประเทศไทย นิยมนำมาใช้เป็นเครื่องเทศ สีสผสมอาหารและสีย้อมผ้า โดยสารให้สีหลักในขมิ้นมีชื่อว่า เคอคูมิน (Curcumin) (รูปที่ 2.13) จัดเป็นสารในกลุ่มสีฟลาโวนอยด์ สารประเภทนี้เป็นองค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดสีเหลืองในขมิ้นจึงมักมีผู้นิยมนำสารเหล่านี้ที่สกัดได้จากขมิ้น ไปใช้เป็นสีผสมอาหารและสีย้อมผ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการย้อมผ้า นั้นมักนำไปย้อมพวกผ้าฝ้ายและผ้าไหม



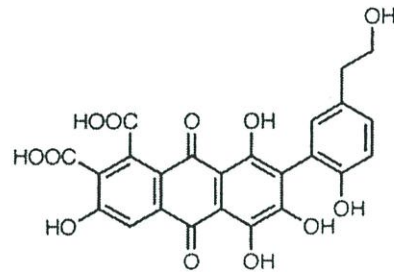
รูปที่ 2.13 โครงสร้างทางเคมีของเคอคูมิน (Curcumin) [23]

2.6.3 สีข้อมครั้งและกรรมวิธีในการข้อมสีธรรมชาติ [24-25]

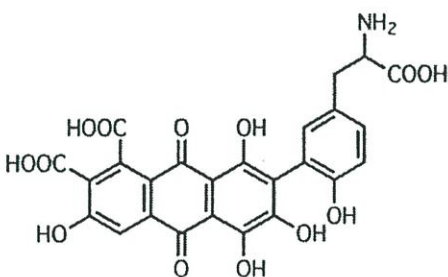
สีข้อมครั้งเป็นสีข้อมธรรมชาติที่สกัดจากสารที่ขับถ่ายออกมาของแมลง *Coccus laccae* (*Laccifer lacca kerr*) ซึ่งก็คือตัวข้อม และใช้อย่างมากในสีผสมอาหารและการข้อมสีสิ่งทอ เช่น ไหม ฝ้าย และ ขนแกะ ซึ่งอาจใช้สำหรับการทาสีน้ำมัน (Oil painting), ในน้ำมันเคลือบเงาและอาจใช้ในสีน้ำด้วย ข้อมครั้งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เรซิน 70-80% แวกซ์ 6-7% สี 4-8% รวมทั้งสารเจือปน 15-25% สีข้อมครั้งสามารถแบ่งสารได้เป็น 2 กลุ่ม คือ (1) Laccic acid A, B, C และ E โดยมี Laccic acid A และ B เป็นองค์ประกอบหลัก ทั้งหมดนี้เป็นสารที่ละลายน้ำได้ให้เม็ดสีเป็นสีแดงและ (2) Erythrolaccin ซึ่งละลายในแอลกอฮอล์ให้สีเหลือง [24]



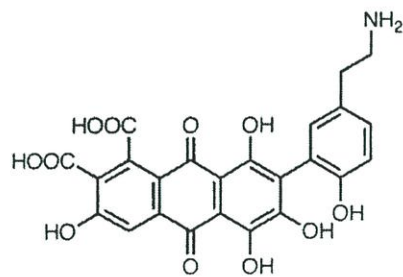
Laccic acid A (M.W.; 537)



Laccic acid B (M.W.; 496)



Laccic acid C (M.W.; 539)



Laccic acid E (M.W.; 495)

รูปที่ 2.14 โครงสร้างของ Laccic acid A, B, C และ E [25]

การย้อมสีธรรมชาติมีขั้นตอนที่สำคัญอยู่ 2 ขั้นตอน คือ การย้อมโดยตรงและการย้อมโดยใช้มอร์แดนต์ โดยสารให้สีบางชนิดที่สกัดจากพืชสามารถยึดติดกับเส้นใยบางชนิดได้ดี เช่น ฝ้าย ลิโนิน แต่อาจจะยึดติดกับเส้นใยบางชนิดได้ไม่ดี เช่น ไหมและขนสัตว์ ตลอดจนสารให้สีบางชนิดที่สกัดจากพืชเมื่อนำมาเชื่อมกับผ้าหรือเส้นใยแล้ว ผ้าหรือเส้นใยที่ได้จากการเชื่อมกับสีย้อมเหล่านี้ อาจให้สมบัติความคงทนของสีต่อการซักและสภาวะแวดล้อมบางอย่างไม่ดี การย้อมแบบใช้มอร์แดนต์ จะช่วยให้เกิดการยึดติดระหว่างตัวสีกับเส้นใยดีขึ้น โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการย้อมแบบนี้ คือ เมื่อเส้นใยที่ได้ผ่านการย้อมสีและการเชื่อมด้วยสารละลายมอร์แดนต์แล้ว โลหะของสารละลายมอร์แดนต์จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อนที่แข็งแรงกับสีและเส้นใย ทำให้สีที่ได้จากการเชื่อมด้วยวิธีนี้มีความคงทน ไม่ตกสีหรือซีดง่าย สารมอร์แดนต์ที่ใช้ คือ สารละลายของเกลือ โลหะ ที่นิยมใช้มีอยู่ด้วยกันหลายชนิด ได้แก่ เฟอร์ริกคลอไรด์ คอปเปอร์ซัลเฟต และโพแทสเซียมอะลูมิเนียมเพอร์ซัลเฟต เป็นต้น โดยมอร์แดนต์แต่ละตัวเมื่อนำมาเชื่อมร่วมกับสีย้อมธรรมชาติแล้วอาจให้ผลสีที่แตกต่างกัน ไปขึ้นอยู่กับชนิดของมอร์แดนต์ที่นำมาใช้เชื่อมรวมทั้งชนิดของสีย้อมที่นำมาใช้ [26-27]

- มอร์แดนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชื่อทางเคมี	Potassium Aluminium Sulphate (สารส้ม)
สูตรโมเลกุล	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$
คุณสมบัติ	ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม ไม่ทำลายโอโซน ไม่เสื่อมสภาพ มีความคงทน สารส้มเป็นสารประกอบที่มีไอออนของอลูมิเนียม ซึ่งสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับสูตรโครงสร้างทางเคมีของสีและเส้นใยของผ้าทำให้สีเข้มขึ้นและติดบนเส้นใย นอกจากนั้นสารส้มมีคุณสมบัติเป็นกรด อาจทำให้ผลสีเปลี่ยนไปได้

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ลลิตา บุญโถม [28] ได้ทำการศึกษาการลอกขาวด้วยสารเคมี ได้แก่ กรดทาร์ทาริก โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไบคาร์บอเนต และไตรเอทิลเอมีน ในช่วงอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน พบว่าความสามารถในการลอกขาวของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น และเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกขาวด้วยสารละลายผสมระหว่าง โซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที มีสมบัติเชิงกลดีที่สุด และศึกษาการต่อกึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือ MAA และ MMA ที่อัตราส่วนระหว่าง MAA และ MMA ต่างๆ ในช่วงอุณหภูมิและเวลาที่แตกต่างกัน ไหมที่ต่อกึ่งมีปริมาณพอลิเมอร์บนเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อใช้เวลากการต่อกึ่งมากขึ้น การต่อกึ่งด้วย MAA ที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 15 นาที ให้สมบัติเชิงกลและลักษณะของเส้นใยดีที่สุด และพบว่าไหมที่ต่อกึ่งด้วย MMA และ MAA ผสม MMA มีพื้นผิวที่ขรุขระเนื่องจากโอลิโกเมอร์ของ MMA บนเส้นใย ส่วนไหมที่ต่อกึ่งด้วย MAA มีลักษณะพื้นผิว

เรียบขึ้น เมื่อนำไหมที่ผ่านการต่อกิ่งไปทำการย้อมสีด้วยสีย้อม 2 ชนิด คือ สีแอซิด (Acid dye) และ สีเบสิก (Basic dye) พบว่าไหมที่ต่อกิ่งด้วย MAA มีความคงทนของสีสูงกว่าไหมที่ไม่ผ่านการต่อกิ่ง นอกจากนี้ไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดมีความคงทนของสีมากกว่าที่ย้อมด้วยสีเบสิก และการวิเคราะห์โครงสร้างหลักของไฟโบรอินในเส้นใยไหมด้วยเทคนิค FTIR ไม่พบการเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างหลักของเส้นใยไหมเนื่องจากการลอกกาบ การต่อกิ่งหรือการย้อมสี

วัฒนา คล้ายรัศมี [29] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกายภาพของไหมที่ต่อกิ่งด้วย MMA และ MAA ในตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 พบว่าความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MMA และเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MAA ลดลงเมื่ออัตราส่วนของเอทานอลในตัวทำละลายผสมเพิ่มขึ้นแต่ความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MMA กับ MAA มีความสามารถในการต่อกิ่งใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนของตัวทำละลายผสม นอกจากนี้สมบัติเชิงกลและสัญญาณวิทยาของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MMA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 เส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MAA และเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MMA กับ MAA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วน 25:75 ให้พื้นผิวที่มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอเหมาะแก่การนำไปใช้งานในรูปสิ่งทอแต่สมบัติเชิงกลของเส้นใยที่ต่อกิ่งลดลงเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมลอกกาบ จากการศึกษาโครงสร้างของไหมที่ต่อกิ่งด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เส้นใยที่ได้มีลักษณะเฉพาะของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกิ่ง นอกจากนี้เส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงสุด ส่วนเส้นใยที่ต่อกิ่งมีความคงทนต่อกรดและด่างสูงชันยกเว้นเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย MAA ที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงๆ มีความคงทนต่อด่างลดลง นอกจากนี้เส้นใยที่ต่อกิ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้นในส่วนของการย้อมสีเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วยสีย้อมจากขมิ้น สีย้อมแอซิด และสีย้อมเบสิกพบว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งมีความสามารถในการดูดซับสี ความคงทนต่อแสง การซัก และแห้งสูงกว่าไหมลอกกาบ

S.Chopra และคณะ [31] ยังได้ทำการศึกษาผลของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการลอกกาบผ้าไหมมัดเบอรี (Mulberry silk fabric) ที่มีต่อความสามารถในการสัมผัส ซึ่งสารเคมี ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ สบู่ กรด ค่าง ไทรอเอทิลเอมีน (Triethylamine, TEA) และเอมไซม์ โดยได้ใช้ค่าการสัมผัสของผ้าไหมที่ทำการลอกกาบด้วยสบู่เป็นค่ามาตรฐานในการเปรียบเทียบ ซึ่งจากการทดลองพบว่า สารเคมีเหล่านี้เมื่อลอกกาบให้ประสิทธิภาพในการลอกกาบใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบในเชิงน้ำหนักที่สูญเสีย (Weight loss) แต่จากการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) ที่บริเวณระหว่างพื้นผิว (Interface) ของเส้นใยพบว่า ผ้าไหมที่ทำการลอกกาบด้วยสบู่ ค่าง ไทรอเอทิลเอมีน มีประสิทธิภาพในการลอกกาบดีกว่าการลอกกาบด้วยเอมไซม์และกรด ส่วนการศึกษาสมบัติเชิงกลแบบความเค้นต่ำ (Low stress properties) พบว่าผ้าไหมที่ทำการลอกกาบโดยใช้สารเคมีที่แตกต่างกัน ให้สมบัติเชิงกลที่แตกต่างกัน ส่วนค่าการสัมผัสผ้าไหมมัดเบอรีที่ทำการลอกกาบด้วยสบู่และค่างให้ความนุ่ม (Softness) ความยืดหยุ่น

(Flexibility) และความรู้สึกเมื่อถูกตีที่สุด ส่วนผ้าไหมที่ทำการลอกกาวด้วยเอมไซม์ทำให้ได้เส้นใยที่มีลักษณะที่แข็งและเปราะ ส่วนผ้าไหมที่ทำการลอกกาวด้วยไทโรเอทิลเอมีนให้ค่าการสัมผัสอยู่ในระดับกลาง

M. Tsukada และคณะ [30] ได้ทำการศึกษาการต่อกึ่งของเส้นใยไหมกับมอนอเมอร์ 3 ชนิด คือ MAA HEMA และ MMA โดยใช้ตัวเริ่มต้นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด ได้แก่ แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammonium persulfate, APS) เอโซบิสไอโซบิวโทโรไนไตร (Azobisisobutyronitrile, AIBN) และ เอโซบิสเมทิลโพรพิโอนามิดีนไดไฮโดรคลอไรด์ (Azobismethylpropionamide dihydrochloride, ADC) พบว่าตัวเริ่มต้นแต่ละชนิดมีความสามารถในการต่อกึ่งตามลำดับดังนี้ $APS > AIBN > ADC >$ ซึ่งความเหลืองของเส้นใยไหมที่ถูกต่อกึ่งเปลี่ยนตามชนิดของตัวเริ่มต้นและมอนอเมอร์ที่ใช้ โดย APS ที่ใช้เป็นตัวเริ่มต้นมีผลต่อความเหลืองของเส้นใยไหมมากที่สุด ในขณะที่การต่อกึ่งเส้นใยไหมด้วย MAA ทำให้เส้นใยมีความเหลืองน้อยที่สุดเมื่อใช้ตัวเริ่มต้นทุกชนิด ส่วนความชื้นรีแกน (Moisture regain) ของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย MAA พบว่ามีความชื้นเพิ่มขึ้น และเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย MMA มีความชื้นลดลง ขณะที่ความของเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากความชื้นของเส้นใยขึ้นกับความชอบน้ำ (Hydrophilic) หรือ ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) ของมอนอเมอร์ ส่วนสมบัติการดึงยึด (Tensile properties) มีแนวโน้มที่ลดลงขณะที่น้ำหนักของเส้นใยไหมที่ถูกต่อกึ่งเพิ่มขึ้น (Weight gain) นอกจากนี้พบว่า เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ MMA มีพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ เนื่องจากเกิดโพลิเมอร์มาเกาะที่พื้นผิว ขณะที่การต่อกึ่งด้วย MAA ทำให้เส้นใยมีพื้นผิวเรียบ

นอกจากนี้ M. Tsukada และคณะ [32] ได้ทำการศึกษาเส้นใยไหมพันธุ์บอมบิกซ์โมริ (*Bombyx mori*) โดยนำมาต่อกึ่งด้วยมอนอเมอร์ชนิดใหม่ คือ VTMSi ที่ใช้ตัวเริ่มต้นแตกต่างกัน 3 ชนิด คือ APS ADC และ AIBN พบว่าความสามารถในการต่อกึ่งของตัวเริ่มต้นแต่ละชนิดไม่เท่ากันตามลำดับดังนี้ $AIBN > APS > ADC$ และจากการวิเคราะห์โครงสร้างของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย VTMSi โดยใช้เทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีและดัชนีการหักเหของแสง พบว่าเกิดพอลิเมอร์ร่วมของ VTMSi ภายในเมทริกซ์เส้นใยและมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น (Thermal stability) สำหรับความแข็งแรงดึงของเส้นใยและการดึงยึด ณ จุดขาดของเส้นใยลดลงเมื่อน้ำหนักของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ในขณะที่การคืนตัวจากรอยยับ (Crease recovery) ในสภาวะที่เปียกของเส้นใยดีขึ้นเมื่อน้ำหนักของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้นมากกว่า 10% ทำให้เส้นใยมีความทนทานต่อการซักมากขึ้น

M. Tsukada และคณะ [34] ยังได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพของไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA พบว่าความแข็งแรงดึงและการยืดของไหมที่ต่อกึ่งทั้งในสภาวะแบบแห้งและเปียกลดลงเมื่อน้ำหนักของพอลิเมอร์เพิ่มขึ้น ส่วนมอดูลัสยืดหยุ่น (Initial modulus) ของไหมที่ต่อกึ่งในสภาวะแบบแห้งที่เปอร์เซ็นต์การต่อกึ่งในช่วง 0-16% เพิ่มขึ้นถัดจากนั้นค่ามอดูลัสยืดหยุ่นลดลงต่ำกว่าไหมที่ไม่ได้ต่อกึ่ง จากการศึกษาโครงสร้างของไหมด้วยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปีพบว่า

IR สเปกตรัมของไหมที่ต่อกิ่งเกิดแถบการดูดกลืนที่เลขคลื่น 1724 cm^{-1} ซึ่งเป็นแถบการดูดกลืนของหมู่เอสเทอร์ของ HEMA สำหรับการวัดค่าดัชนีหักเหทั้งในแนวนอนและแนวตั้งฉากกับแกนเส้นใย ปรากฏการณ์ไบฟริงกjenท์ (Birefringence) และดัชนีหักเหแบบไอโซทรอปิก (Isotropic refractive index) มีค่าลดลงทำให้ระดับของความเป็นผลึก (Degree of crystallinity) และการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่ต่อกิ่งลดลงและจากการศึกษาโครงสร้างความเป็นผลึกของเส้นใยด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (X-ray diffraction) พบว่า HEMA ที่ใช้ในการต่อกิ่งไม่ส่งผลต่อความเป็นผลึกของเส้นใยไหม ส่วนฐานฐานวิทยาของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง 32% มีลักษณะผิวของเส้นใยเรียบสม่ำเสมอคล้ายคลึงกับไหมก่อนต่อกิ่ง นอกจากนี้เส้นใยที่ต่อกิ่ง HEMA มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น

M. Tsukada และคณะ [9] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและลักษณะเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA พบว่าการศึกษาสมบัติทางความร้อนของเส้นไหมที่มีเปอร์เซ็นต์การต่อกิ่ง 30% โดยใช้เทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี แสดงให้เห็นพีกเอนโดเทอร์มิก 2 ส่วนเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง $326\text{ }^{\circ}\text{C}$ และในช่วง $390\text{-}410\text{ }^{\circ}\text{C}$ ซึ่งเป็นอุณหภูมิสลายตัวของไฟโบรอินที่มีโครงสร้างแบบ β และอุณหภูมิการสลายตัวของโครงสร้าง PMMA ที่นำมาใช้ในการต่อกิ่งตามลำดับ ในขณะที่การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน โดยใช้เทคนิคเทอร์มัลกราวิเมทรี แสดงให้เห็นว่าเส้นใยที่นำมาต่อกิ่งกับมอนอเมอร์ชนิดนี้มีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มขึ้น ในขณะที่การศึกษาความเป็นผลึกของเส้นใยไหมโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) พบว่ามอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการต่อกิ่งไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อโครงสร้างที่เป็นผลึกของเส้นใย

M. Tsukada และคณะ [32] ศึกษาโครงสร้าง ลักษณะพื้นผิว สมบัติเชิงกายภาพ สมบัติทางความร้อนและความสามารถในการติดสีของเส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยเอทอกซีเอทิลเมทาคริเลต (Ethoxyethylmethacrylate, ETMA) ใช้ APS เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยาโดยทำการทดลองที่อุณหภูมิ $60\text{-}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ และเวลา 0-90 นาที พบว่าการเพิ่มของพอลิเมอร์บนเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาและอุณหภูมิเพิ่มขึ้นและมีปริมาณสูงสุดที่อุณหภูมิ $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 60 นาที จากการวิเคราะห์โดยเทคนิคอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (IR Spectroscopy) แสดงให้เห็นแถบการดูดกลืน (Absorption band) ที่ซ้อนทับกันแสดงให้เห็นถึงความเหมือนกันของโครงสร้างโมเลกุลของเส้นใยก่อนและหลังการปรับปรุงด้วย ETMA แสดงถึงการเกิดพอลิเมอร์ของ ETMA ในเมตริกซ์ของเส้นใยไหม และจากการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบลักษณะของแผ่น (Granule) ที่มีรูปร่างไม่สม่ำเสมอของเอทอกซีเอทิลเมทาคริเลต โอลิโกเมอร์ (ETMA oligomer) บนพื้นผิวของเส้นใย ส่วนอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริเมทรี (Differential Scanning Calorimetry, DSC) สมบัติทางแรงดึงเมื่อผ่านการปรับปรุงไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง แต่ความสามารถในการติดสีของชนิดกรด (Acid dye) เพิ่มขึ้นมากเมื่อเกิดการพอลิเมอร์ของ ETMA บนเส้นใยไหมเพิ่มขึ้น

G. Freddi และคณะ [34] ทำการศึกษาโครงสร้าง สมบัติทางแรงดึง และสมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหมบ้านที่ผ่านการดอกรีดด้วย MAA และ HEMA ในตัวกลางที่เป็นน้ำ APS เป็นตัวเริ่มต้นปฏิกิริยา ซึ่งมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดสามารถเตรียมเส้นใยที่มีปริมาณพอลิเมอร์บนเส้นใยได้ถึง 300% โดยที่น้ำหนักของตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามปริมาณของมอนอเมอร์ที่มีในระบบการเกิดปฏิกิริยา โดยเกิดโฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) เพียงเล็กน้อยในระบบที่ดอกรีดด้วย MAA ในขณะที่มีปริมาณโฮโมพอลิเมอร์ของ PHEMA เกิดขึ้นที่พื้นผิวของเส้นใยมากกว่า 70% ซึ่งขนาดของเส้นใยเพิ่มขึ้นเมื่อน้ำหนักของตัวอย่างเพิ่มขึ้น และปริมาณความชื้น (Moisture content) ของเส้นใยที่ผ่านการดอกรีดด้วย MAA เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณในการดอกรีดเพิ่มขึ้น แต่สถานะในการดอกรีดที่รุนแรงเป็นผลให้เกิดการสลายตัวของเส้นใยบางส่วนส่งผลให้สมบัติทางแรงดึงและความขาวของเส้นใย (Degree of fiber whiteness) ลดลง เส้นใยหลังจากผ่านการดอกรีดมีค่าทนต่อการแตกหักสูงขึ้นเล็กน้อย การยืด ๓ จุดขาดลดลง แต่อุณหภูมิในการสลายตัวสูงขึ้น

นฤมล ศราพันธุ์ [26] ได้ทำการศึกษาการย้อมสีผ้าไหมด้วยขมิ้นชัน โดยใช้มอร์แดนที่ 4 ชนิดคือ เหล็ก จุนตี กรดน้ำส้มและสารส้ม ในปริมาณที่แตกต่างกัน คือ 2 % 4 % 6% และ 8% ของน้ำหนักไหม ระยะเวลาที่ใช้ในการย้อม คือ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 80-85 °C จากผลการทดลองพบว่า การใช้มอร์แดนที่ต่างชนิดกันให้เฉดสีต่างกัน และจากการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักทั้ง 3 วิธี พบว่าเมื่อใช้เหล็ก 6 เปอร์เซ็นต์ จุนตี 2 เปอร์เซ็นต์และสารส้ม 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักไหม ให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักสูงสุด ส่วนการทดสอบความคงทนของสีต่อแสง พบว่าการย้อมโดยใช้จุนตีเป็นมอร์แดนที่ในทุกระดับให้ค่าความคงทนต่อแสงสูงสุด

ไพศาล คงคาอุยฉาย [19] ได้ทดลองย้อมสีเส้นไหมพันธุ์ไทยพื้นเมืองเกรด 3 ที่ผ่านการฟอกขาวด้วยสีจากครั้งโดยใช้สารช่วยติด (Mordant) ชนิดต่างๆ พบว่าการใช้สารช่วยติดต่างชนิดมีผลต่อสีของไหม และเมื่อทดลองใช้สารช่วยติดที่ความเข้มข้นต่างกันมีผลต่อความเข้มของสีที่ติดไหม สำหรับขั้นตอนการใช้สารช่วยติด ก่อน พร้อม และหลังการย้อมสีครั้ง มีผลต่อความเข้มของสีที่ได้เฉพาะกับสารช่วยติดบางชนิดเท่านั้น เมื่อนำเส้นไหมที่ผ่านการย้อมมาทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก พบว่าเส้นไหมที่ผ่านการย้อมส่วนใหญ่มีคุณภาพในด้านความคงทนของสีต่อการตกสี อยู่ในระดับดี-ดีมาก แต่มีความคงทนของสีต่อการเปลี่ยนสีอยู่ในระดับที่ต่ำมาก-ต่ำ และมีความคงทนของสีต่อแสงขึ้นอนอาร์กอยู่ในระดับปานกลาง-ดี การใช้สารช่วยติดที่ความเข้มข้นต่างกันและวิธีย้อมที่ต่างกันมีผลทำให้ไหมที่ได้มีคุณภาพสีใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาเลือกสารช่วยติดที่ดีที่สุดในการย้อมไหมด้วยสีจากครั้ง พบว่ามีสารช่วยติด 5 ชนิดที่ให้ผลต่อคุณภาพสีของเส้นไหมหลังการย้อมดีที่สุดในแต่ละด้าน คือ น้ำจากใบเหมือดผสมน้ำมะขาม อะซิติก 0.5 โมล/ลิตร ซัลฟูริก 0.4 โมล/ลิตร ทาร์ทริก 0.5 โมล/ลิตร และฟอร์มิก 0.1 โมล/ลิตร ที่ให้ผลต่อคุณภาพของสีของไหมหลังย้อมดีที่สุด

บทที่ 3

การวิจัยและการดำเนินงาน

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้

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

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

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

3.3 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย [7, 9, 22-23]

ในงานวิจัยได้แบ่งขั้นตอนในการดำเนินงานออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการลอกกาวย ขั้นตอนการตอ่กึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ ขั้นตอนการย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติและขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ ได้แก่ การทดสอบสมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน สมบัติทางสัณฐานวิทยา สมบัติทางความร้อน และความคงทนของสี ในสภาวะต่างๆ ดังนี้

3.3.1 ขั้นตอนการลอกกาว [28]

ใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุกับของเหลวในการลอกกาวเป็น 1:30 (w/v)

(Material to liquid ratio 1:30)

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

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังการลอกกาว

3.3.2 ขั้นตอนการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์

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

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

1. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการต่อกิ่ง

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

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

- สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS) 0.05 mol /l

2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของไหมลอกกาวด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งและบันทึกน้ำหนัก

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

4. นำไหมลอกกาวที่ชั่งน้ำหนักแล้วมาแช่ในสารละลายที่ใช้ในการต่อกิ่งและนำไปผ่านก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 30 วินาที แล้วปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ให้สนิท

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

6. นำเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย HEMA ไปล้างด้วยอะซิโตน 2-3 ครั้ง และล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ส่วนเส้นใยที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย Silane A-172 นำไปล้างด้วยน้ำร้อน และล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้งเช่นกัน เพื่อกำจัดไวนิลมอนอเมอร์ที่เหลือจากการพอลิเมอไรส์แล้วทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

7. หลังจากนั้นนำไปอบในตู้อบสูญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปเก็บไว้ในโถดูดความชื้น

8. นำเส้นใยไหมที่ได้หลังจากการต่อกิ่งไปชั่งหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น เพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้น (%Weight gain)

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักเริ่มต้นของไหมที่ลอกกาวแล้ว

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านกระบวนการต่อกิ่ง

3.3.3 ขั้นตอนการย้อมสีเส้นใยไหม [19, 26]

ในขั้นตอนนี้ สีที่ใช้ในการย้อมเส้นใยไหมจะใช้สีธรรมชาติซึ่งเป็นสารให้สีที่ได้จากขมิ้น และครั้ง โดยการนำเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการลอกกากับก่อนและหลังผ่านกระบวนการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ที่มีสมบัติโคจรรวมดีที่สุดมาทำการย้อมสี

3.3.3.1 ขั้นตอนการย้อมเส้นใยไหมด้วยสารให้สีที่ได้จากขมิ้น [26]

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

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

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

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

5. นำเส้นใยหลังผ่านกระบวนการย้อมสี หากความสามารถในการดูดซับสีจากค่า K/S โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์วัดออกมาเป็นค่า %R ที่แต่ละความยาวคลื่นแล้วนำมาคำนวณหาค่า K/S

3.3.3.2 ขั้นตอนการย้อมเส้นใยไหมด้วยสารให้สีที่ได้จากครั้ง [19]

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

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

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

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

5. นำเส้นใยหลังผ่านกระบวนการย้อมสี หากความสามารถในการดูดซับสีจากค่า K/S โดยใช้เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์วัดออกมาเป็นค่า %R ที่แต่ละความยาวคลื่นแล้วนำมาคำนวณหาค่า K/S จากสูตร

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

เมื่อ

K = absorption coefficient

S = scattering coefficient

R = reflectance

3.4 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ

3.4.1 การศึกษาสัณฐานวิทยา

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

3.4.2 การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

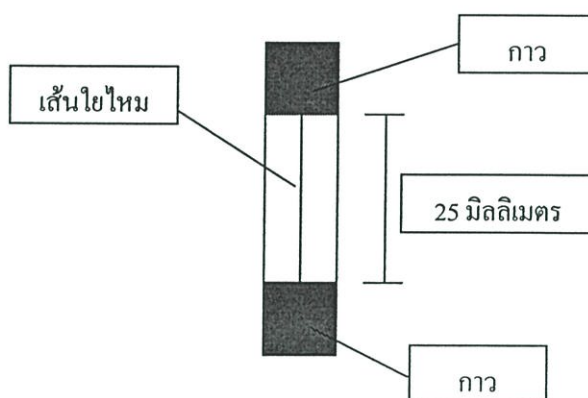
การวิเคราะห์โครงสร้างเส้นใยจากการเปลี่ยนแปลงในระดับโมเลกุลของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยใช้เทคนิคฟูเรียนทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FTIR) โดยตัดเส้นใยออกเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำมาบดรวมกับโปแทสเซียมโบรไมด์ (Potassium bromide, KBr) ทำให้เป็นแผ่นโปแทสเซียมโบรไมด์ หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์เส้นใยเหล่านี้ในช่วงเลขคลื่นตั้งแต่ 400 cm⁻¹ ถึง 4000 cm⁻¹ โดยทำการสแกนทั้งหมด 4 รอบต่อ 1 ตัวอย่าง

3.4.3 การศึกษาสมบัติทางความร้อน

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

3.4.4 สมบัติทางแรงดึงของเส้นใย [36-37]

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



รูปที่ 3.1 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง [37]

3.4.5 การทดสอบสมบัติทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ

3.4.5.1 การหาความชื้นรีเจน (Moisture regain) [11]

1. นำตัวอย่างเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งของสูตรต่างๆ มาวางทิ้งไว้ในห้องควบคุมความชื้นที่มีอุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65% จนกระทั่งได้น้ำหนักที่คงที่ น้ำหนักที่ได้ในส่วนนี้คือ น้ำหนักของเส้นใยที่ดูดซับความชื้นไว้แล้ว

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

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านการทดสอบ

3.4.5.2 การทดสอบความคงทนต่อกรดและด่าง [11]

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

2. ชั่งตัวอย่างเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่งของสูตรต่างๆ มาอบให้แห้งด้วยตู้อบสุญญากาศที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

3. เทสารละลายกรดและด่างลงในหลอดทดลอง โดยแต่ละหลอดใส่ปริมาณสารละลายหลอดละ 50 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปให้ความร้อนด้วยอ่างควบคุมอุณหภูมิจนสารละลายมีอุณหภูมิ 65 °C

4. นำเส้นใยไหมแต่ละชนิดที่ชั่งน้ำหนักแล้ว มาใส่ในหลอดทดลองที่เตรียมไว้ในข้อที่ 3 จากนั้นให้ความร้อนที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ชั้ให้แห้งพอหมาดๆ ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปอบด้วยตู้อบสุญญากาศเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่สูญเสียไปในหน่วยของเปอร์เซ็นต์

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

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของไหมเริ่มต้น

W_2 คือ น้ำหนักของไหมหลังผ่านการทดสอบ

3.4.6 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี [38]

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

โดย L^* : ใช้กำหนดค่าความสว่าง (Lightness)

$L = 0$ = perfect black sample

$L = 100$ = perfect white sample

a^* : ใช้กำหนดสีแดงหรือสีเขียว (red-green)

a เป็น + สีจะไปในทิศทางของสีแดง

a เป็น - สีจะไปในทิศทางของสีเขียว

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

3.4.7 การทดสอบความคงทนของสีย้อม

ศึกษาความคงทนของสีย้อมต่อสภาวะต่างๆ เช่น ความคงทนของสีต่อแสง ความคงทนของสีต่อเหงื่อ ความคงทนของสีต่อการซักฟอกของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติทั้งเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยไวตามินเอมเมอร์ ดังนี้

3.4.7.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก) (ISO 105-B04)

1. เตรียมผ้าสีมาตรฐานซึ่งเป็นผ้าขนสัตว์สีน้ำเงินที่ย้อมด้วยสีดังในตารางที่ (3.1) โดยมีค่าความคงทนจากระดับต่ำสุด คือ 1 และสูงสุด คือ 8 โดยในแต่ละระดับมีค่าความคงทนเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า (โดยประมาณ)

2. เตรียมชิ้นงานในการทดสอบแต่ละชิ้นให้มีขนาด 25 มิลลิเมตร x 100 มิลลิเมตร โดยพันรอบกระดาษแข็ง

3. วางเรียงชิ้นทดสอบและผ้าสีมาตรฐานตามลำดับดังตารางที่ 3.1

4. ปิดแผ่นทึบแสงบนชิ้นทดสอบและผ้ามาตรฐาน

5. ประเมินอัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบโดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบกับผ้าสีมาตรฐาน

ตารางที่ 3.1 สีที่ใช้ย้อมผ้าสีมาตรฐาน

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

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

3.4.7.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (ISO 105-E04)

ในการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 ส่วน คือ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรด และ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นด่าง โดยมีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. เตรียมสารละลายเหงื่อเทียมที่ใช้ในการทดสอบ ได้แก่

(ก) สารละลายเหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นกรด

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีน โมโน-ไฮโดรคลอไรด์ โมโน-ไฮเดรต (L-histidinemono-hydrochloride monohydrate) 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และผลึกโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 2.2 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร แล้วปรับสภาวะของสารละลายให้มี pH 5.5 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

(ข) สารละลายเหงื่อเทียมที่มีฤทธิ์เป็นด่าง

เตรียมสารละลายแอล-ฮิสติดีน โมโน-ไฮโดรคลอไรด์ โมโน-ไฮเดรต (L-histidinemono-hydrochloride monohydrate) 0.5 กรัม โซเดียมคลอไรด์ 5 กรัม และผลึกไดโซเดียมไดไฮโดรเจนออร์โทฟอสเฟต ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) 5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตรแล้วปรับสภาวะของสารละลายทำให้มี pH 8 โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มัล

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

3. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน

4. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยใหม่ที่ต้องการทดสอบให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่ง
5. วางเส้นใยให้ขนานกันตามความยาว นำผ้าขาวมาตรฐานในข้อ 2 มาประกบแล้วเย็บริมด้านตรงข้าม 2 ด้าน
6. แข่งขันทดสอบแต่ละชิ้นในสารละลายเหงื่อแต่ละชนิดที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที โดยอัตราส่วนระหว่างสารละลายกับชิ้นทดสอบคือ 50 ต่อ 1 ของน้ำหนักชิ้นทดสอบ
7. แกว่งและบีบชิ้นตัวอย่างเป็นครั้งคราวเพื่อให้เปียกทั่วกัน
8. เทสารละลายออกแล้วใช้แท่งแก้วสองอันบีบสารละลายที่มีมากเกินไปออก
9. วางชิ้นทดสอบระหว่างแผ่นแก้วขนาด 60 มิลลิเมตร x 115 มิลลิเมตร 2 แผ่น
10. นำไปใส่เครื่องทดสอบความคงทนต่อเหงื่อ (Perspirometer) ปรับเครื่องให้แรงกดดันชิ้นทดสอบมีค่าเป็น 44 นิวตัน
11. นำเครื่องการทดสอบความคงทนต่อเหงื่อใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 37 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมง
12. นำชิ้นทดสอบออกจากตู้อบและผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยกางผ้าทั้ง 3 ส่วนออกจากกัน
13. หาค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและปริมาณสีที่ติดบนผ้าขาว โดยเปรียบเทียบกับเกรย์สเกล
14. รายงานผลเป็นค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบและค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐาน

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

1. เตรียมผ้ามาตรฐานสีขาวสำหรับทดสอบซึ่งเป็นผ้าฝ้าย 1 ชิ้น ผ้าไหม 1 ชิ้นขนาด 4x10 เซนติเมตรต่อ 1 ตัวอย่าง
2. ชั่งน้ำหนักของผ้าทั้งสองชิ้นรวมกัน
3. ชั่งน้ำหนักของเส้นใยตัวอย่างที่จะทดสอบ ให้ได้ครึ่งหนึ่งของน้ำหนักผ้ามาตรฐานที่ชั่งได้
4. วางเส้นใยให้ขนานตามความยาวให้มีขนาดเท่าผ้ามาตรฐาน จากนั้นนำผ้าไหมและผ้าฝ้ายมาตรฐานในข้อ 1 มาประกบ ขริบเส้นใยที่มีความยาวเกินกว่าผ้ามาตรฐาน แล้วเย็บริมขอบทั้งสี่ด้านของผ้ามาตรฐาน
5. เตรียมสารละลายน้ำสบู่ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร
6. นำชิ้นตัวอย่างที่ต้องการทดสอบใส่ในกระบอกซัก หลังจากนั้นเติมสารละลายน้ำสบู่ที่เตรียมไว้ในข้อที่ 5 โดยให้มีอัตราส่วนน้ำหนักระหว่างวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:50

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

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพและสมบัติการยึดติดสีของเส้นใยไหมลอกกาวพันธุ์บอมบิกซ์โมริ ด้วยวิธีการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ ซึ่งไวนิลมอนอเมอร์ที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้คือ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต (2-Hydroxyethyl methacrylate, HEMA) และไวนิลไตร-2-เมทอกซีเอทอกซีไซเลน (Vinyltris-(2-methoxyethoxy) silane, A-172) เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของพอลิเมอร์บนเส้นใยที่เหมาะสม โดยได้เปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของเส้นใยทั้งก่อนและหลังลอกกาวกับก่อนและหลังการต่อกิ่ง ซึ่งสมบัติต่างๆ ที่ได้ทำการศึกษาแบ่งออกเป็น การศึกษาสมบัติเชิงกล สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน ลัญฐานวิทยา และสมบัติทางความร้อน นอกจากนี้ได้ศึกษาในส่วนของการยึดติดและความคงทนของสีโดยใช้สีย้อมที่ได้จากธรรมชาติ 2 ชนิด คือ ขมิ้น และครั่ง ซึ่งการย้อมสีได้ศึกษาความสามารถในการยึดติดสีและความเข้มของสี ส่วนความคงทนของสีได้ศึกษาความคงทนของสีต่อแสง เหงื่อ และการซักฟอก

4.1 การลอกกาวและการต่อกิ่ง

เส้นใยไหมดิบที่ได้จากรังไหมมีความแข็งกระด้างจึงให้สัมผัสที่ไม่ดี ไม่เงามันนุ่มนวลเนื่องจากยังคงมีกาวไหมและสิ่งเจือปนอื่นๆ เคลือบอยู่ ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยเพื่อให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ในกระบวนการสิ่งทอ ซึ่งกระบวนการแรกที่มีความจำเป็นในการปรับปรุงเส้นใยไหมเพื่อให้เส้นใยไหมอยู่ในลักษณะที่เหมาะสมก่อนการนำไปใช้งานและเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการตกแต่งสำเร็จ คือ การลอกกาวเพื่อกำจัดกาวไหมและสิ่งเจือปนอื่นๆ ออกจากเส้นใยโดยวิธีการใช้สารเคมี และจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง [28] พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการลอกกาวกับสารละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที ให้เส้นใยไหมที่มีสมบัติโดยรวมดีที่สุด คือ เส้นใยที่ได้มีความมันเงา มีความนุ่มสูง และเปอร์เซ็นต์ของการลอกกาวที่ได้จากวิธีนี้อยู่ในช่วง 22-25 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้สภาวะนี้ในการลอกกาวไหมทดลองงานวิจัย

ถึงแม้ว่าเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วจะมีลักษณะภายนอกที่ดีขึ้น คือ มีความมันเงา นุ่มนวล แต่สมบัติของเส้นใยที่ได้มีค่าลดลง เช่น ไหมเมื่อได้รับแสงแดดและความร้อนสูงเป็นเวลานานจะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีนในเส้นใย ทำให้สมบัติเชิงกลลดลง [28] นอกจากนี้เส้นใยไหมยังมีข้อด้อยอื่นๆ อีก ได้แก่ การคืนตัวจากแรงอัดต่ำเมื่อเปียกทำให้ยับง่ายเมื่อผ่านการซัก ซึ่งดูแลรักษายากและ

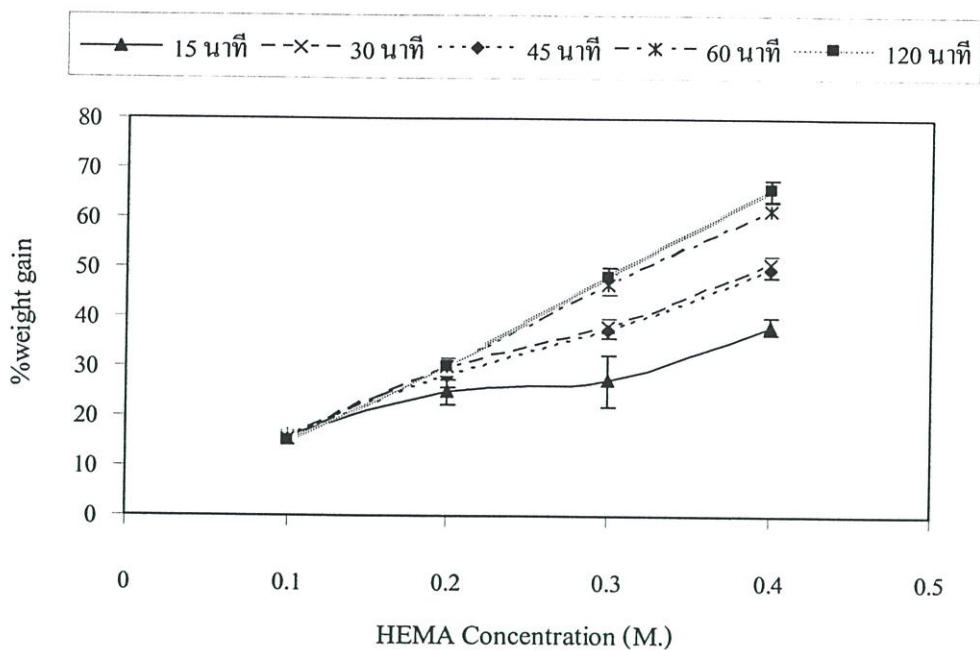
สร้างความรำคาญให้แก่ผู้สวมใส่ ดังนั้นจึงมีงานวิจัยต่างๆ เกิดขึ้นมากมาย เพื่อพัฒนาและปรับปรุงคุณภาพของไหม ซึ่งวิธีที่นิยมและมีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย คือ การปรับปรุงทางเคมีโดยวิธีการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วยไวนิลมอนอเมอร์ ซึ่งเป็นการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยแทนที่กาวไหมที่หายไปจากการลอกกาว เส้นใยที่ได้จะมีสมบัติแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของมอนอเมอร์ ตัวเริ่มต้น สภาวะที่ใช้ และเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้เส้นใยไหมมีมูลค่าเพิ่มขึ้นและเหมาะกับการนำไปใช้งาน

4.2 อิทธิพลของความเข้มข้นและเวลาที่มีผลต่อกระบวนการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วยไวนิลมอนอเมอร์

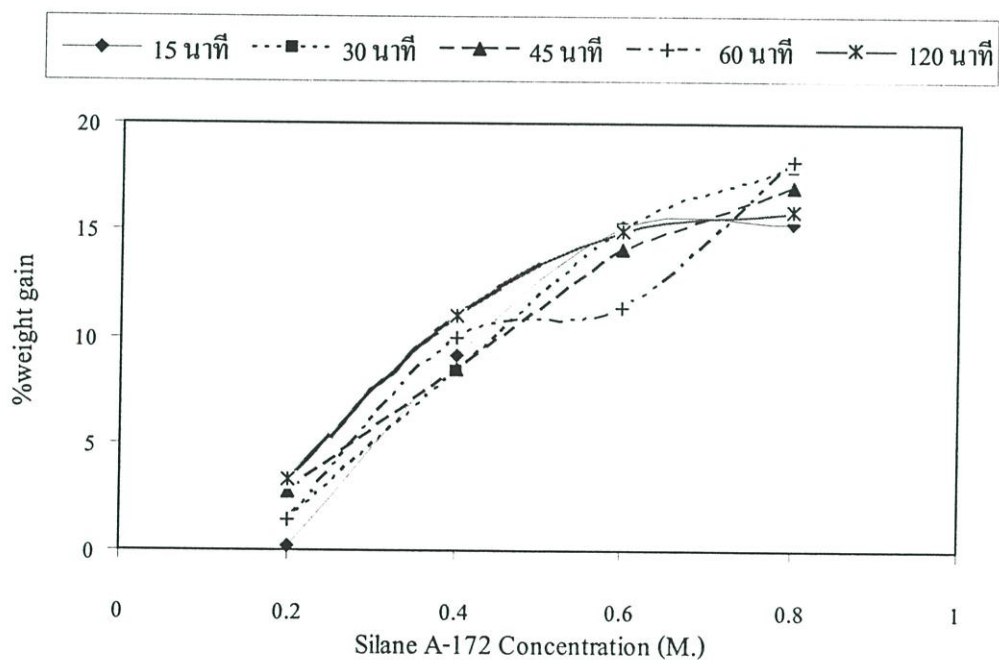
งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นและเวลาที่มีผลต่อการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหม โดยวิธีการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ที่มีสมบัติต่างกัน 2 ชนิด คือ HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 M. และ Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 M. ที่เวลา 15 30 45 60 และ 120 นาที โดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:20 และได้พิจารณาถึงความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์

4.2.1 ความสามารถในการต่อกิ่ง

ความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยไหมสามารถพิจารณาได้จากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง (% weight gain) และจากการศึกษาการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ที่มีสมบัติต่างกัน 2 ชนิด คือ HEMA และ Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ พบว่าเส้นใยไหมมีความสามารถในการต่อกิ่งและลักษณะแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 กับตารางที่ 4.1 และ 4.2



รูปที่ 4.1 เปอร์เซนต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 M. ที่เวลา 15 30 45 60 และ 120 นาที



รูปที่ 4.2 เปอร์เซนต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 M. ที่เวลา 15 30 45 60 และ 120 นาที

ตารางที่ 4.1 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการตอ่กึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ เทียบกับไหมลอกกา

เวลา (นาที่) ความ เข้มข้น (M)	ลักษณะของเส้นใย ที่ทำการตอ่กึ่งด้วยเวลาที่ต่างๆ กัน (นาที่)				
	15	30	45	60	120
0.1	สีขาว, ม่นเง น้อยกว่า, น่ม ใกล้เคียงกับ ไหมลอกกา	สีขาว, ม่นเง น้อยกว่า, น่มใกล้เคียง กับ15 นาที	สีขาว, ม่นเง น้อยกว่า, น่มใกล้เคียง กับ15 นาที	สีขาว, ม่นเง น้อยกว่า, น่มใกล้เคียง กับ15 นาที	สีขาว, ม่นเง น้อยกว่า, น่มใกล้เคียง กับ15 นาที
0.2	สีขาว ม่นเง น้อยกว่า มีความน่ม ลดลง	สีขาว ม่นเง น้อยกว่า แข็งมากขึ้น	สีขาว ม่นเง น้อยกว่า แข็งใกล้เคียง กับ 30 นาที	สีขาว ม่นเง น้อยกว่า แข็งใกล้เคียง กับ 30 นาที	สีขาว ม่นเง น้อยกว่า แข็งใกล้เคียง กับ 30 นาที
0.3	สีขาว ม่นเง น้อยกว่า แข็งใกล้เคียง กับ0.2HEMA	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งมากขึ้น	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งมากขึ้น	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งมากขึ้น	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งมากขึ้น
0.4	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งมากขึ้น	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งกระด้าง	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งกระด้าง	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งกระด้าง มากขึ้น	สีขาว ม่นเง น้อยลง แข็งกระด้าง มากขึ้น

ตารางที่ 4.2 ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมหลังการต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ เทียบกับไหมลอกขาว

เวลา (นาทีก) ความเข้มข้น (M)	ลักษณะของเส้นใย ที่ทำการต่อกึ่งด้วยเวลาที่ต่างๆ กัน (นาทีก)				
	15	30	45	60	120
0.2	สีขาว มันวาง น้อยกว่า นุ่ม ใกล้เคียงกับ ไหมลอกขาว	สีขาว มันวาง น้อยกว่า นุ่มใกล้เคียง กับ15 นาที	สีขาว มันวาง น้อยกว่า นุ่มใกล้เคียง กับ15 นาที	สีขาว มันวาง น้อยกว่า นุ่มใกล้เคียง กับ15 นาที	สีขาว มันวาง น้อยกว่า นุ่มใกล้เคียง กับ15 นาที
0.4	สีขาว มันวาง น้อยกว่า มีความนุ่ม	สีขาว มันวาง น้อยกว่า มีความนุ่ม	สีขาว มันวาง น้อยกว่า มีความนุ่ม	สีขาว มันวาง น้อยกว่า มีความนุ่ม	สีขาว มันวาง น้อยกว่า มีความนุ่ม
0.6	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย
0.8	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย	สีขาว มันวาง น้อยลง มีความนุ่ม พู ขึ้นเล็กน้อย

จากรูปที่ 4.1 พบว่าเมื่อความเข้มข้นที่ใช้ในกระบวนการต่อกึ่งเส้นใยไหมของ HEMA เพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปัจจัยดังกล่าวคาดว่าอาจเกิดจากปริมาณของมอนอเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งตรงตำแหน่งที่วงไวยของโครงสร้างโปรตีนซึ่งเป็นโครงสร้างหลักของเส้นใยไหมมีมากขึ้นเมื่อความเข้มข้นที่ใช้ในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น โดยกลไกในการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งระหว่างมอนอเมอร์กับโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยไหมได้แก่ ไกลซีน อะลานีน เซรีน และไทโรซีน ซึ่งมีสายโซ่ข้างเคียงเป็นหมู่ไฮดรอกซิล หมู่เอมีน และหมู่คาร์บอกซิล ซึ่งมีความว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งและมีอยู่จำนวนมากในเส้นใยไหมประมาณ 83 % [6] นอกจากนี้ยังสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งบนสายโซ่หลักของเส้นใยไหมตรงตำแหน่งที่วงไวยในการเกิดปฏิกิริยา เช่น หมู่เอไมด์และหมู่คาร์บอนิล และเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งเส้นใยไหมด้วย HEMA พบว่าที่ความเข้มข้นสูงๆ เมื่อใช้เวลาในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น มีเปอร์เซ็นต์

น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น เนื่องจากมอนอเมอร์มีเวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น แต่ที่ความเข้มข้นต่ำๆ เมื่อใช้เวลาในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.2 พบว่าเมื่อ Silane A-172 มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงที่ความเข้มข้นค่าหนึ่ง คือ ที่ความเข้มข้น 0.6 และ 0.8 M. จะเห็นว่า แม้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเริ่มที่จะคงที่หรือมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งพบว่าเมื่อใช้เวลาในการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงให้เห็นว่าเวลาที่ใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่ง

เมื่อพิจารณาผลของชนิดมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกึ่งที่แต่ละความเข้มข้น พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่งมากกว่าเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 อาจเนื่องมาจาก HEMA มีความสามารถในการละลายน้ำดีกว่า Silane A-172 เพราะโครงสร้างของ Silane A-172 มีหมู่แทนที่มีมีขนาดใหญ่ เกะกะมาก ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสได้ยากจึงทำให้ Silane A-172 ละลายน้ำได้น้อยกว่า ดังนั้น HEMA จึงสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งตรงตำแหน่งที่ว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาที่อยู่บนโครงสร้างของโปรตีนซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยไหมได้มากกว่า Silane A-172 นอกจากนี้ HEMA ยังมีหมู่ข้างเคียงที่เป็นหมู่ไฮดรอกซิล ซึ่งเป็นหมู่ที่ว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งกับโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยไหมทำให้เกิดอันตรกิริยาที่แข็งแรงระหว่างสายโซ่ไฟโบรอินและมอนอเมอร์ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล

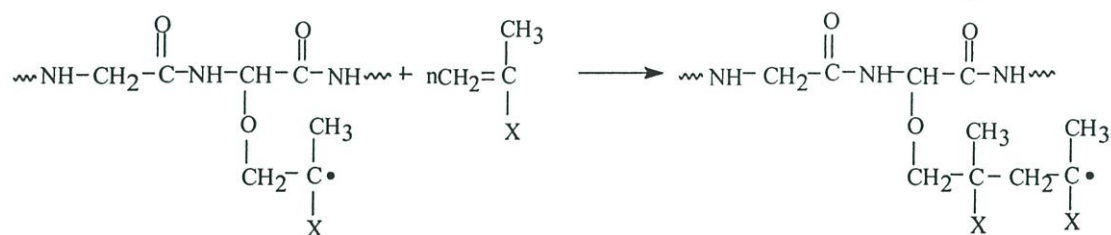
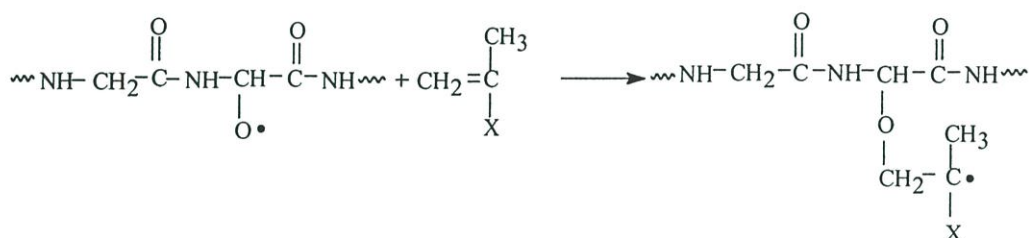
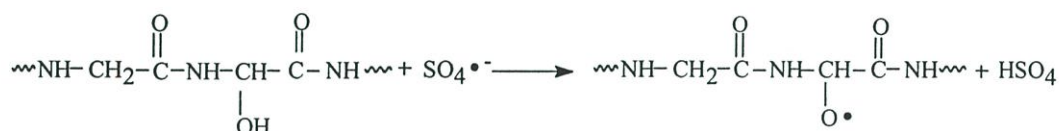
จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์และเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าเส้นใยมีความสามารถในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น แต่เมื่อปริมาณของพอลิเมอร์ที่เกาะบนผิวของเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย HEMA มีปริมาณที่มากเกินไป ส่งผลให้เส้นใยที่ได้มีลักษณะแข็งกระด้าง ไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในด้านสิ่งทอถึงแม้จะมีน้ำหนักเพิ่มขึ้นมากก็ตาม ส่วนเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 เส้นใยที่ได้มีลักษณะที่นุ่มขึ้น แต่ถ้ามีปริมาณของพอลิเมอร์ที่เกาะบนผิวของเส้นใยมากเกินไปทำให้เกิดเม็ดเล็กๆ เกาะบนผิวของเส้นใยซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเช่นกัน

ในการต่อกิ่งเส้นใยใหม่ด้วยไวนิลมอนอเมอร์นั้น เส้นใยใหม่จะมีตำแหน่งที่ว่างไว้ใน การเกิดปฏิกิริยา ได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิล หมู่เอไมด์ และหมู่คาร์บอนิลที่อยู่บน โครงสร้างหรือหมู่ข้างเคียง ของโปรตีน โดยกลไกการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งของ HEMA และ Silane A-172 กับ โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยใหม่ ซึ่งคาดว่าปฏิกิริยาที่อาจเกิดขึ้นมีลักษณะดังรูปที่ 4.3 [29] และ รูปที่ 4.4 [32] โดยตัวอย่างที่ยกมาเป็นการเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งตรง ตำแหน่งของหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็นหมู่ข้างเคียง

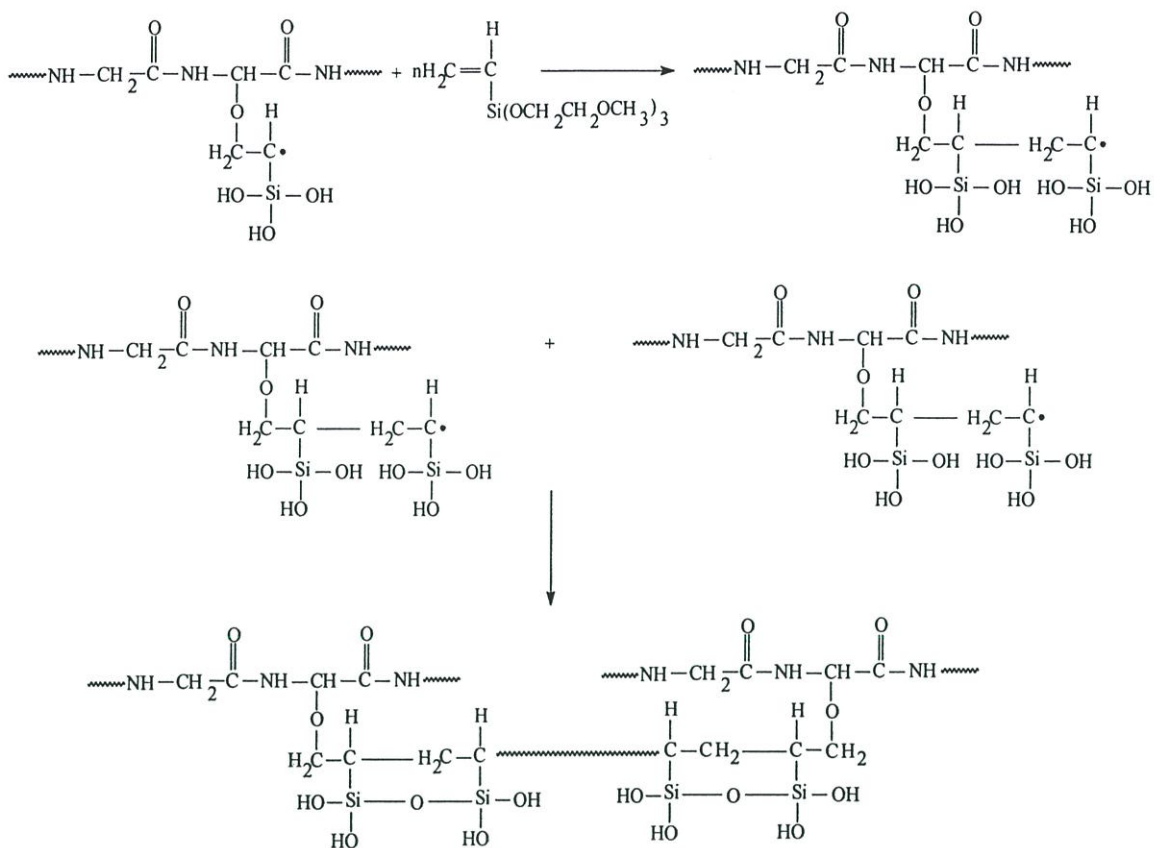
การริเริ่มปฏิกิริยา



เมื่อ $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$ คือ ตัวเริ่มต้น และ $\text{SO}_4^{\bullet-}$ คือ อนุมูลอิสระ



โดย $\text{X} = \text{COOCH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ สำหรับ HEMA

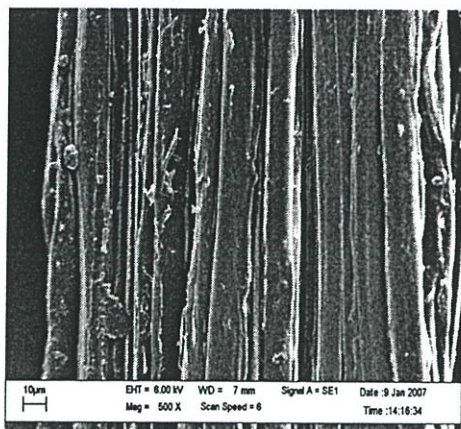


รูปที่ 4.4 ปฏิกริยาการเกิดพอลิเมอร์ร่วมแบบตอ่กึ่งที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่าง Silane A-172 กับ โปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลักในเส้นใยไหม [32]

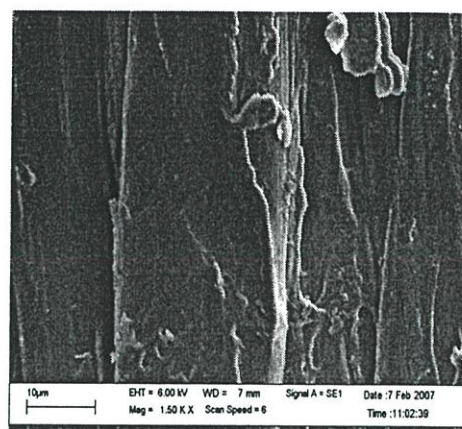
4.3 สัณฐานวิทยา

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopes, SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 1500 เท่า เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงพื้นผิวของเส้นใยไหม โดยแบ่งขั้นตอนการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ส่วน คือ เส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกขาว เส้นใยไหมก่อนและหลังการตอ่กึ่ง ซึ่งมีลักษณะต่างๆ ดังนี้

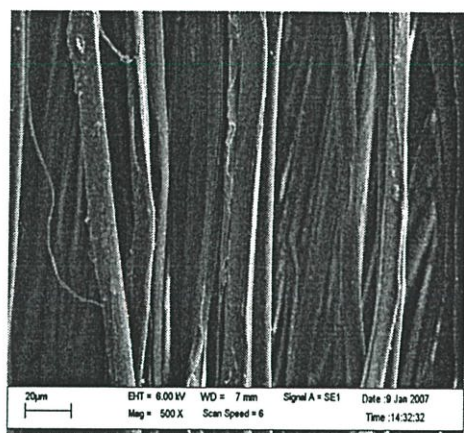
4.3.1 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกา



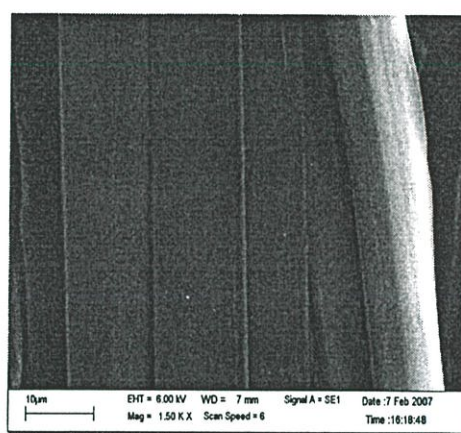
(ก)



(ข)



(ค)

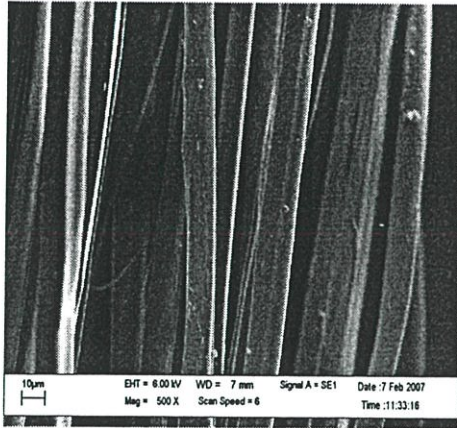


(ง)

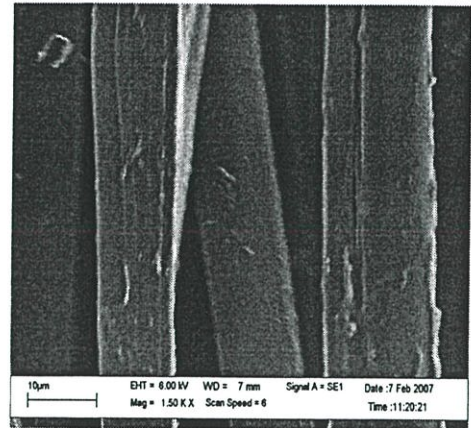
รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของ (ก) ไหมดิบที่กำลังขยาย 500 เท่า (ข) ไหมดิบที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ค) ไหมลอกกาที่กำลังขยาย 500 เท่า และ (ง) ไหมลอกกาที่กำลังขยาย 1500 เท่า

จากการเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาโดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างโซเดียมคาร์บอเนตและโซเดียมไบคาร์บอเนตที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเส้นใยไหมดิบมีลักษณะของเส้นใยเกาะติดกันทำให้พื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะเป็นคลื่นไม่สม่ำเสมอเนื่องจากกาไหมที่เคลือบอยู่ที่พื้นผิวด้านนอกของเส้นใย ดังแสดงในรูปที่ 4.5 (ก) และ รูปที่ 4.5 (ข) ส่วนเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกามีพื้นผิวก่อนข้างเรียบสม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยแต่ละเส้นมีลักษณะแยกออกจากกันไม่ถูกยึดติดกันเหมือนเส้นใยไหมดิบเป็นผลมาจากการลอกกาไหมออกด้วยสารละลาย (รูปที่ 4.5 (ค) และรูปที่ 4.5 (ง))

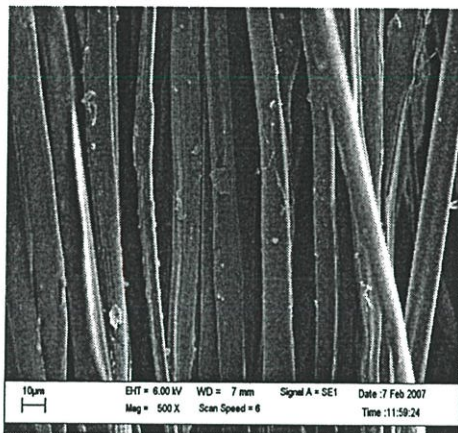
4.3.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย HEMA



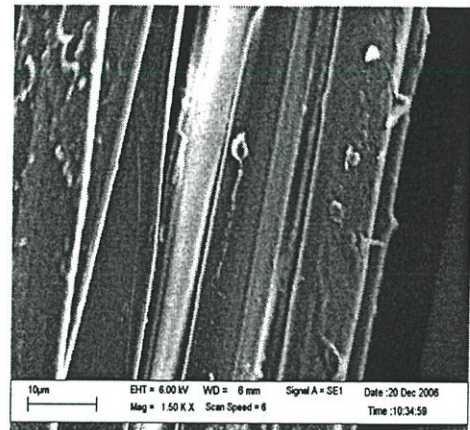
(ก)



(ข)



(ค)



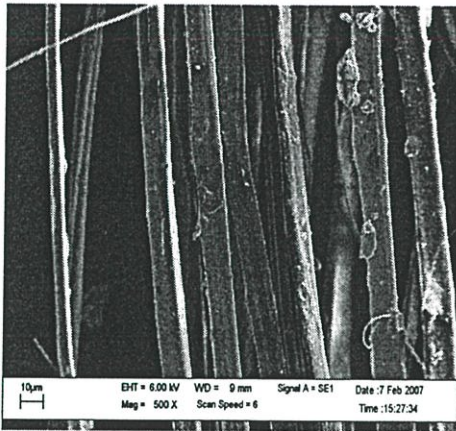
(ง)

รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของ (ก) เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M. เวลา 15 นาที กำลังขยาย 500 เท่า (ข) เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M. เวลา 15 นาที กำลังขยาย 1500 เท่า (ค) เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 15 นาที กำลังขยาย 500 เท่า และ (ง) เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 15 นาที กำลังขยาย 1500 เท่า

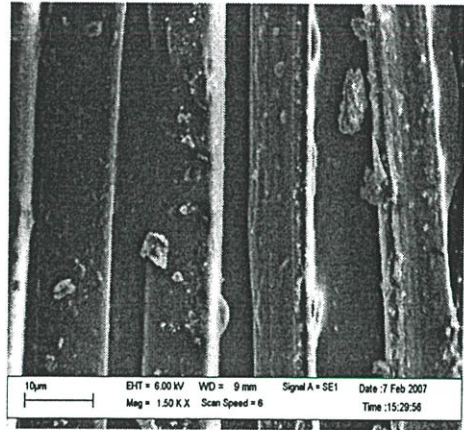
รูปที่ 4.6 จากการศึกษาเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M. และ ความเข้มข้น 0.4 M. พบว่าสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M. ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง 24.88% มีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างเรียบและสะอาดกว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.4 M. ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง 38.26% ซึ่งมีลักษณะพื้นผิวค่อนข้างขรุขระ เนื่องจากการต่อกิ่งเส้นใยก่อให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเส้นใยและ HEMA บนพื้นผิวของเส้นใยเกิด

เป็นแผ่นพอลิเมอร์ของ HEMA เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใย จากผลการทดลองที่ได้สามารถสรุปได้ว่า เมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการตอ่กึ่งเพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นผิวของเส้นใยเกิดเป็นแผ่นพอลิเมอร์ของ HEMA เกาะอยู่ที่ผิวของเส้นใยเพิ่มมากขึ้น

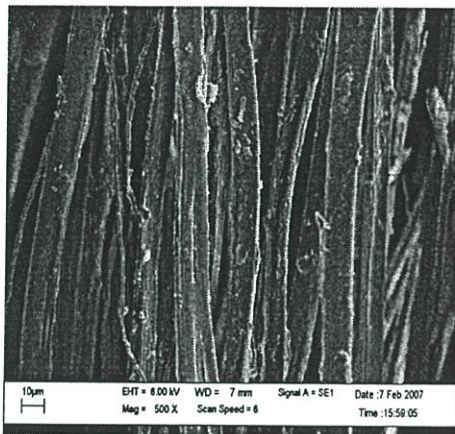
4.3.3 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ผ่านการตอ่กึ่งด้วย Silane A-172



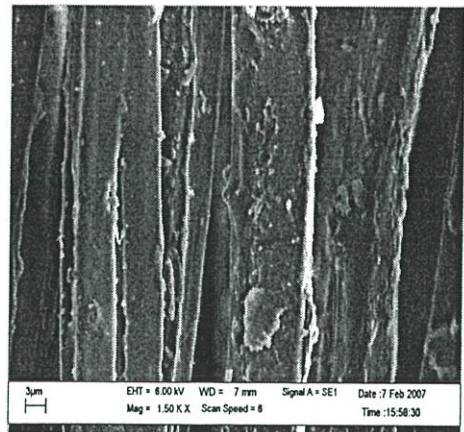
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของ (ก) เส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 30 นาที กำลังขยาย 500 เท่า (ข) เส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 30 นาที กำลังขยาย 1500 เท่า (ค) เส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.6 M. เวลา 30 นาที กำลังขยาย 500 เท่า และ (ง) เส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.6 M. เวลา 30 นาที กำลังขยาย 1500 เท่า

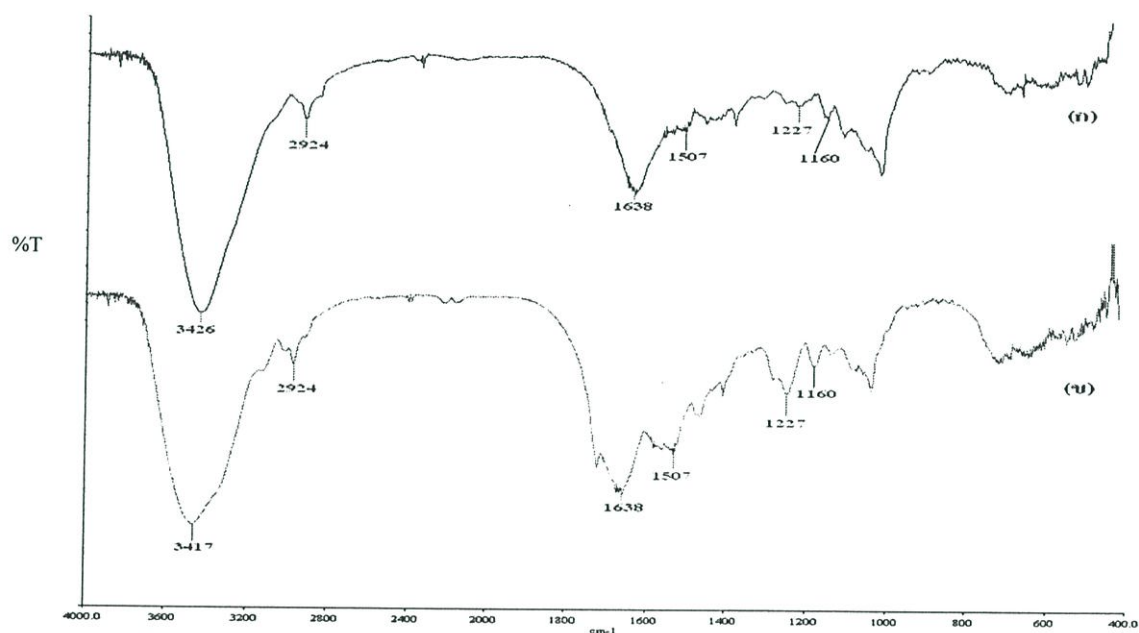
รูปที่ 4.7 จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 M. เปรียบเทียบกับลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.6 M. พบว่าเส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.6 M. ที่มีเปอร์เซ็นต์

น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง 15.03% มีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระกว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 M. ที่มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง 8.34% เนื่องจากการเกิดพอลิเมอร์ไฮดรอกซิลของ Silane A-172 เกิดเป็นก้อนโพลิโกลิเมอร์เกาะบนพื้นผิวของเส้นใย ดังนั้นเมื่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเส้นใยเพิ่มขึ้นปริมาณของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกิ่งที่สามารถเกิดการพอลิเมอร์ไฮดรอกซิลของ Silane A-172 เกิดเป็นก้อนโพลิโกลิเมอร์เกาะบนพื้นผิวของเส้นใยมีมากขึ้นส่งผลให้เส้นใยมีพื้นผิวที่ขรุขระและไม่สม่ำเสมอมากขึ้น

4.4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชัน

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันทางเคมีของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier transforms spectroscopy, FTIR)

4.4.1 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมดิบ และ (ข) เส้นใยไหมลอกกาว

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมระหว่างเส้นใยไหมดิบ (รูปที่ 4.8 (ก)) และเส้นใยไหมลอกกาว (รูปที่ 4.8 (ข)) พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวมีแถบการดูดกลืนที่คล้ายคลึงกัน โดยตำแหน่งของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญของโครงสร้างไฟโบรอินที่มีโครงสร้างแบบแผ่นจับแบบเบต้า คือ ตำแหน่งเลขคลื่น 1507 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ N-H bending ในหมู่เอไมด์ทุติยภูมิ (Secondary amine) และ $1680\text{--}1630\text{ cm}^{-1}$ เป็นการดูดกลืนของ C=O stretching กับ N-H bending โดยเป็นลักษณะแถบการดูดกลืนของ

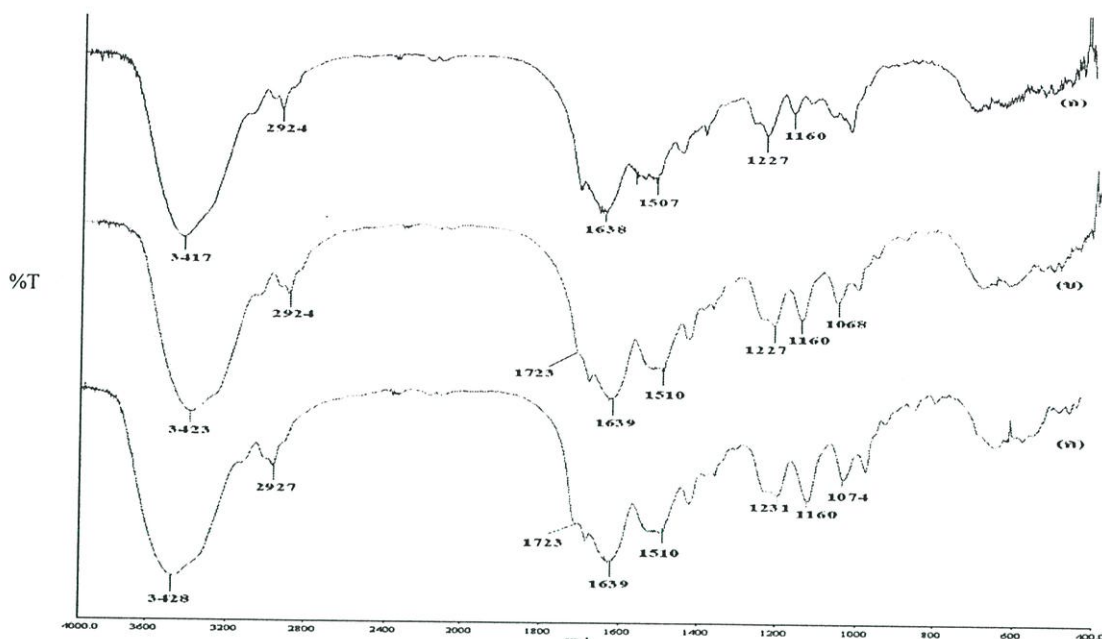
หมู่เอไมด์ปฐมภูมิ (Primary amide) และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1160 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ C-N stretching ส่วนที่ตำแหน่งเลขคลื่น $2990\text{-}2850\text{ cm}^{-1}$ เป็นการดูดกลืนของ C-H stretching ของ CH_3 และ CH_2 นอกจากนี้ในตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญคือ 3426 และ 3417 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ N-H stretching ของเส้นใยไหมทั้งสองชนิด โดยลักษณะพีคของเส้นใยไหมดิบในช่วงเลขคลื่นนี้ แลบกว่าไหมลอกกาวและอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นคาดว่าอาจเกิดจากองค์ประกอบของกาวไหมที่เคลือบอยู่บนเส้นใยไหมดิบมีกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงเป็นกรดและมีหมู่เอไมด์ที่เป็นอิสระมากกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

ตำแหน่งอินฟราเรดสเปกตราที่สำคัญของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวที่ตำแหน่งเลขคลื่นเดียวกันและที่แตกต่างกันระหว่างเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวสามารถสรุปได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปตำแหน่งแถบการดูดกลืนของไหมดิบและไหมลอกกาวที่ปรากฏในรูปที่ 4.8

ชนิดของพอลิเมอร์	เลขคลื่น (cm^{-1})	ช่วงการดูดกลืนของ	เอกสารอ้างอิง
ไฟโบรอิน	3500 -3300	N-H stretching	40
ไฟโบรอิน	2990 – 2850	C-H stretching in $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2$	9
ไฟโบรอิน	1680-1630	C=O stretching and N-H bending in amides (amide I band)	35,40
ไฟโบรอิน	1507	N-H bending in amides (amide II band)	41,42
ไฟโบรอิน	1250-1000	C-N stretching	35,42

4.4.2 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M.



รูปที่ 4.9 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว (ข) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M. เวลา 15 นาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่ง 24.88% และ (ค) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 15 นาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้น หลังการต่อกึ่ง 38.26 %

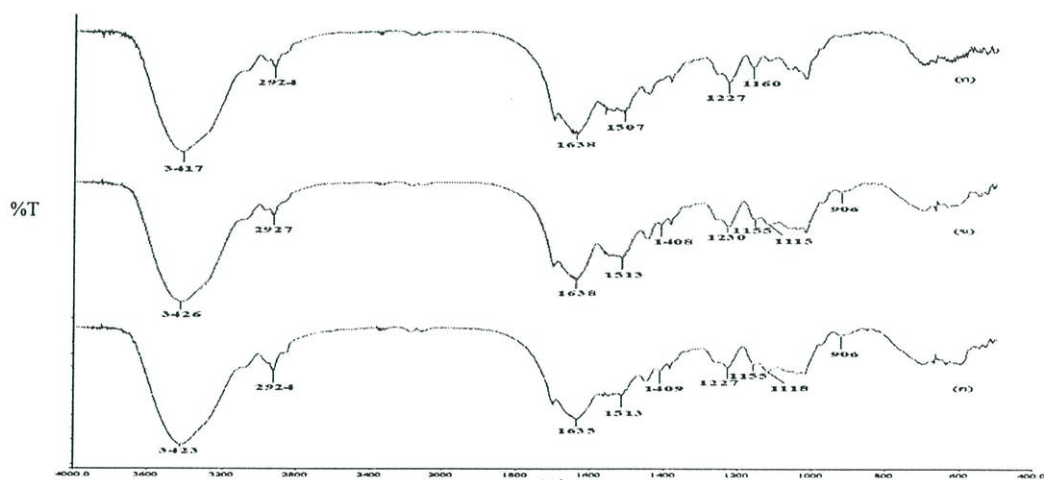
จากรูปที่ 4.9 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมลอกกาว (รูปที่ 4.9 (ก)) และเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 M. (รูปที่ 4.9 (ข)) และ 0.4 M. (รูปที่ 4.9 (ค)) เวลา 15 นาที พบว่า สเปกตรัมของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA มีลักษณะแถบการดูดกลืนคล้ายคลึงกันกับเส้นใยไหมลอกกาวยกเว้นที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3417 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ N-H stretching ของเส้นใยไหมลอกกาวเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อทำการดัดแปรเส้นใยโดยการต่อกึ่งเส้นใยด้วย HEMA ทำให้แถบการดูดกลืนในช่วงเลขคลื่นดังกล่าวเลื่อนไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่สูงขึ้นกว่าเส้นใยไหมลอกกาว คือ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3423 cm^{-1} และ 3428 cm^{-1} และจากการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA กับเส้นใยไหมลอกกาวพบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA เกิดแถบการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นจากเส้นใยไหมลอกกาวที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1723 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ที่เป็นหมู่ข้างเคียงของ PHEMA ส่วนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1068 cm^{-1} และ 1074 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ C-O stretching ของหมู่เอสเทอร์ที่เป็นหมู่ข้างเคียงของ PHEMA

สรุปตำแหน่งอินฟราเรดสเปกตรัมที่สำคัญของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 สรุปแถบการดูดกลืนของไหมลอกกาวและไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ปรากฏในรูปที่ 4.9

ชนิดของพอลิเมอร์	เลขคลื่น (cm ⁻¹)	ช่วงการดูดกลืนของ	เอกสารอ้างอิง
ไฟโบรอิน	3500 -3300	N-H stretching	40
ไฟโบรอิน	2990 – 2850	C-H stretching in -CH ₃ , -CH ₂	9
ไฟโบรอิน	1680-1630	C=O stretching and N-H bending in amides (amide I band)	35,40
ไฟโบรอิน	1507	N-H bending in amides (amide II band)	41,42
ไฟโบรอิน	1250-1000	C-N stretching	35,42
PHEMA 0.2 และ 0.4 M.	1723	C=O stretching in ester	34
PHEMA 0.2 และ 0.4 M.	1200-1000	C-O stretching in ester	34,42

4.4.3 อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 M.



รูปที่ 4.10 อินฟราเรดสเปกตรัมของ (ก) เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว (ข) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.4 M. เวลา 30 นาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่ง 8.34% และ (ค) เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ความเข้มข้น 0.6 M. เวลา 30 นาที มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยเพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่ง 15.03 %

จากรูปที่ 4.10 แสดงอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมลอกกาว (รูปที่ 4.10 (ก)) และเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 M. (รูปที่ 4.10 (ข)) และ 0.6 M. (รูปที่ 4.10 (ค)) เวลา 30 นาที พบว่า สเปกตรัมของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 มีลักษณะแถบการดูดกลืนคล้ายคลึงกันกับเส้นใยไหมลอกกาว ยกเว้นที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3417 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ N-H stretching ของเส้นใยไหมลอกกาวเกิดการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อทำการตัดแปรรเส้นใยโดยการต่อกึ่งเส้นใยด้วย Silane A-172 ทำให้แถบการดูดกลืนในช่วงเลขคลื่นดังกล่าวเลื่อนไปยังตำแหน่งเลขคลื่นที่สูงขึ้นกว่าเส้นใยไหมลอกกาว คือ ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3426 cm^{-1} และ 3423 cm^{-1} และจากการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 กับเส้นใยไหมลอกกาวพบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 เกิดแถบการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นจากเส้นใยไหมลอกกาวที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1409 cm^{-1} - 1408 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ Si-C ที่เกิดจากการต่อกึ่งบนเส้นใย และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1115 cm^{-1} - 1118 cm^{-1} และ 1155 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ Si-O stretching ของ ซิลอกเซน ส่วนที่ตำแหน่งเลขคลื่น 906 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ Si-OH ที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสของ Silane A-172 สรุปตำแหน่งอินฟราเรดสเปกตรัมที่สำคัญของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ตำแหน่งเลขคลื่นต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

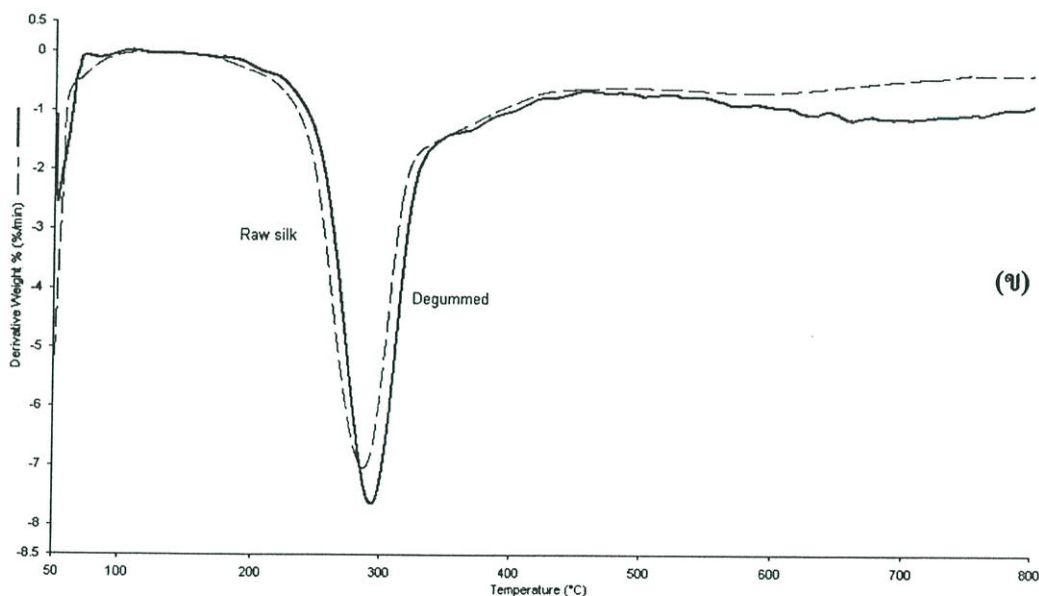
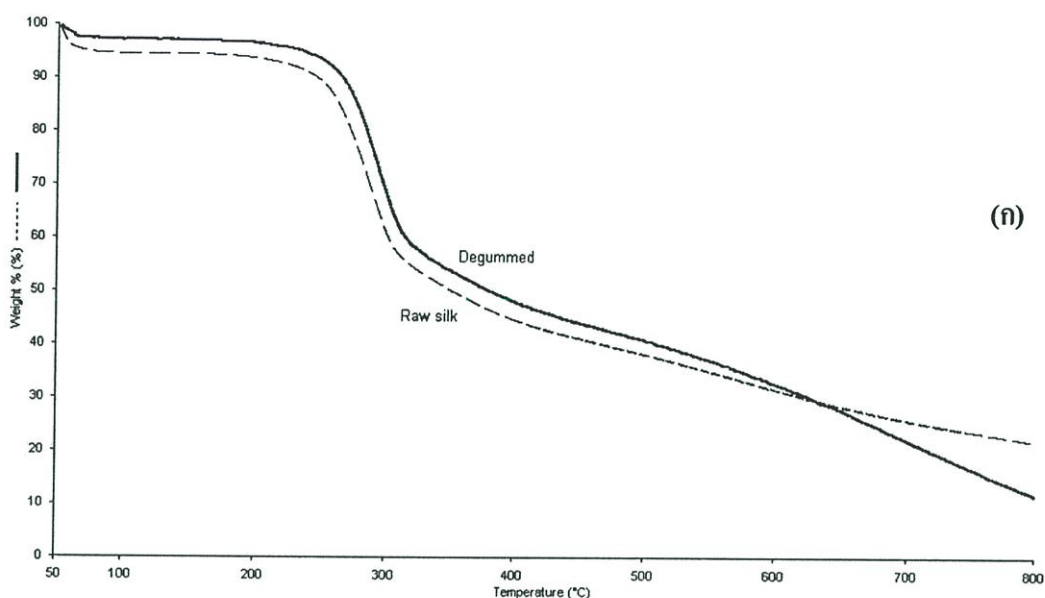
ตารางที่ 4.5 สรุปแถบการดูดกลืนของไหมลอกกาวและไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ปรากฏในรูปที่ 4.10

ชนิดของพอลิเมอร์	เลขคลื่น (cm^{-1})	ช่วงการดูดกลืนของ	เอกสารอ้างอิง
ไฟโบรอิน	3500 -3300	N-H stretching	40
ไฟโบรอิน	2990 – 2850	C-H stretching in $-\text{CH}_3$, $-\text{CH}_2$	9
ไฟโบรอิน	1680-1630	C=O stretching and N-H bending in amides (amide I band)	35,40
ไฟโบรอิน	1507	N-H bending in amides (amide II band)	41,42
ไฟโบรอิน	1250-1000	C-N stretching	35,42
Silane 0.4 และ 0.6 M.	1420-1400	Si-C	42
Silane 0.4 และ 0.6 M.	1200-1000	Si-O stretching in siloxane	32,42
Silane 0.4 และ 0.6 M.	910-820	Si-OH	42

4.5 สมบัติทางความร้อนของเส้นใย

สมบัติทางความร้อนของเส้นใยเป็นสมบัติหนึ่งที่สำคัญต่อการใช้งานของเส้นใย ซึ่งในทางวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์นิยมศึกษาเสถียรภาพทางความร้อน โดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก (Thermal Gravimetric Analysis, TGA) เพื่อบอกอุณหภูมิการสลายตัวของวัสดุที่ทำการทดสอบ

4.5.1 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว

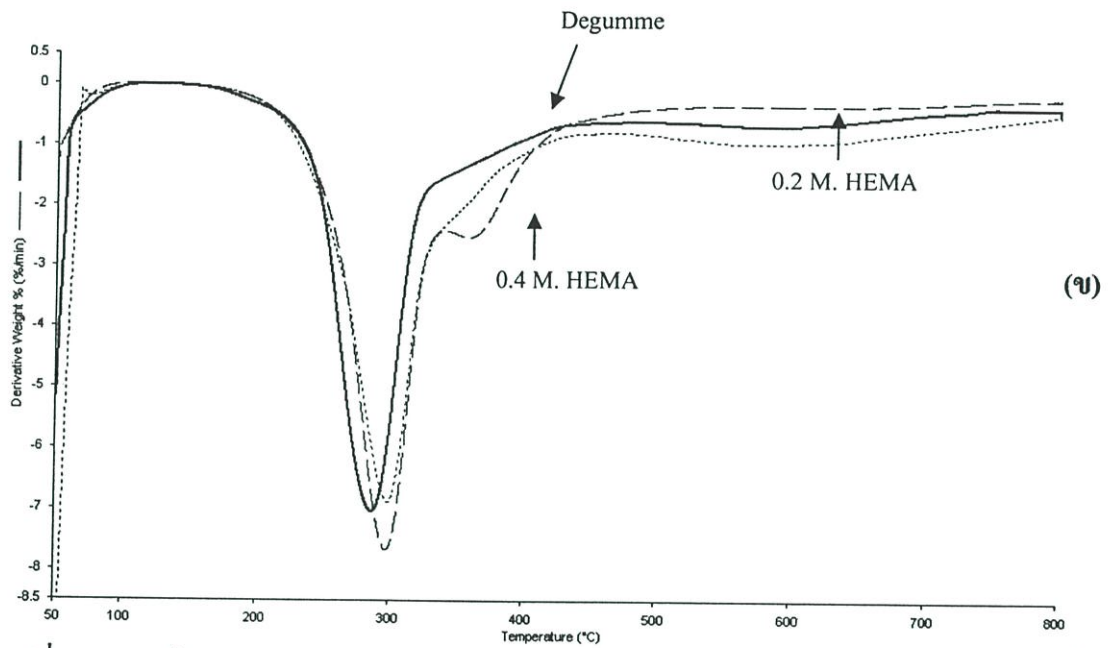
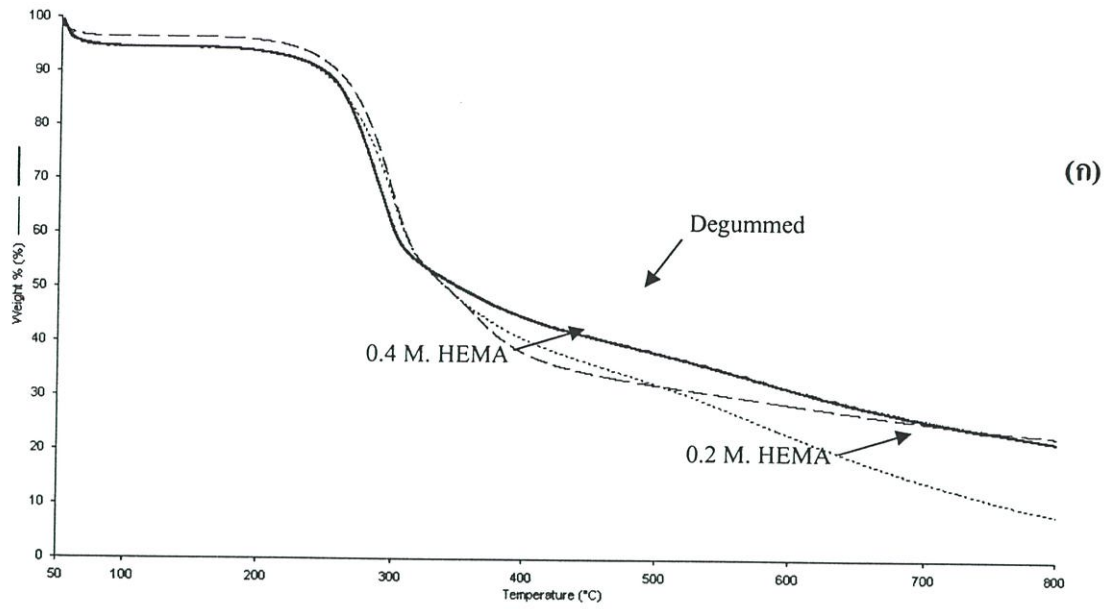


รูปที่ 4.11 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของ เส้นใยไหมดิบ และเส้นใยไหมลอกกาว โดย (ก) TGA และ (ข) DTG

จากรูปที่ 4.11 เป็นเทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกิดจากการสูญเสียน้ำหนักของเส้นใย 2 ช่วง โดยการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนในช่วงแรกเป็นการระเหยของน้ำที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยไหมทั้งสองชนิดที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงที่สองเป็นการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของการสลายตัวของไฟโบรอินในส่วนที่มีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นจับเบต้าในช่วงอุณหภูมิ 256-259 องศาเซลเซียส [40] เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวพบว่าเส้นใยไหมดิบมีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวซึ่งคาดว่าอาจเป็นผลมาจากการสลายตัวของเส้นใยไหมเริ่มจากการสลายตัวของกาวไหมที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนสายโซ่สั้นๆ ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวส่งผลให้เส้นใยไหมดิบมีอุณหภูมิการสลายตัวต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว โดยอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว คือ 256 และ 259 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

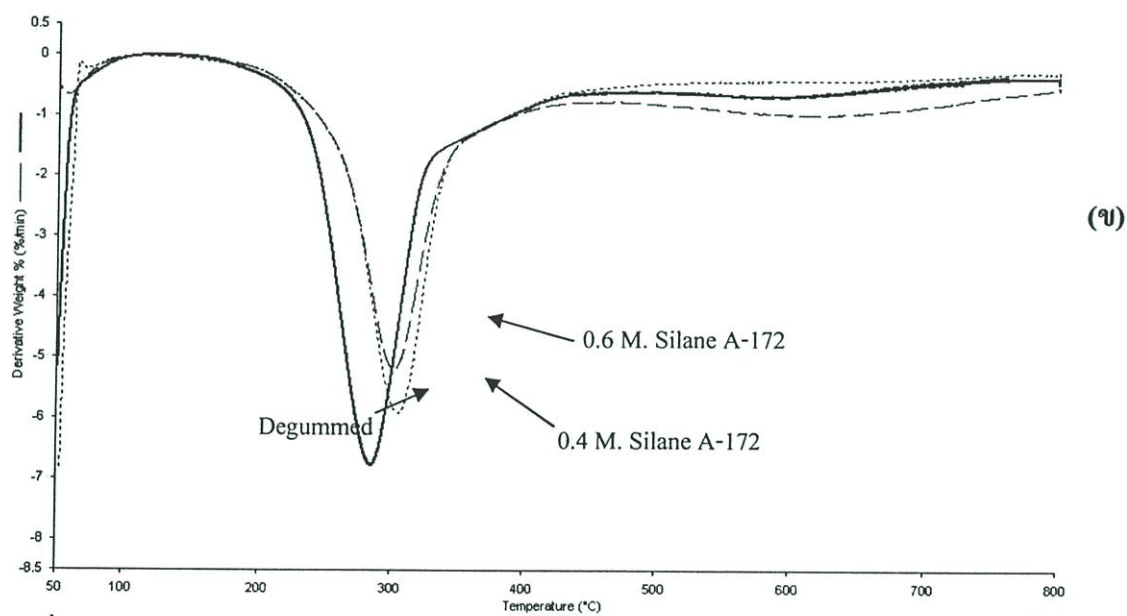
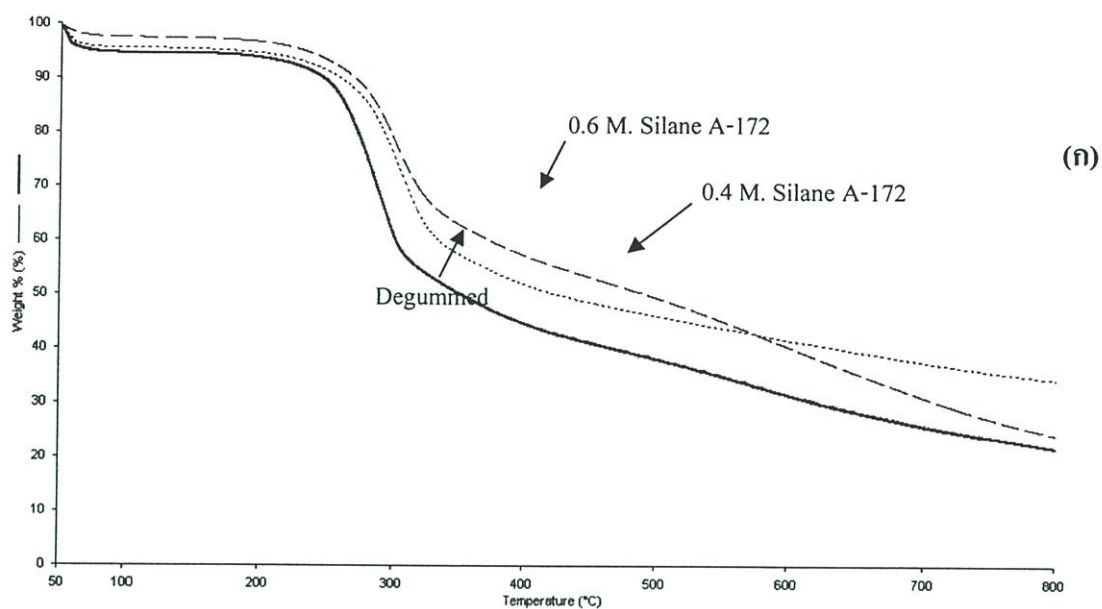
4.5.2 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M. เวลา 15 นาที

จากรูปที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนระหว่างเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M. เวลา 15 นาที พบว่าอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกาว คือ 259 องศาเซลเซียส ส่วนเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 M. มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวที่ 261 และ 353 องศาเซลเซียสและเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.4 M. มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวที่ 266 และ 356 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงการสลายตัวของไฟโบรอินและ PHEMA ตามลำดับ [34]



รูปที่ 4.12 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมดอกขาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M. เวลา 15 นาที โดย (ก) TGA และ (ข) DTG

4.5.3 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 M. เวลา 30 นาที



รูปที่ 4.13 เทอร์โมแกรมการสลายตัวทางความร้อนของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ตอ่กึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 M. เวลา 30 นาที โดย (ก) TGA และ (ข) DTG

จากรูปที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางความร้อนระหว่างเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 M. เวลา 30 นาที พบว่าอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวของเส้นใยไหมลอกกาว คือ 259 องศาเซลเซียส ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 M. มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวที่ 269 และ 375 องศาเซลเซียสและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.6 M. มีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวที่ 274 และ 386 องศาเซลเซียสซึ่งเป็นช่วงการสลายตัวของไฟโบรอินและ Silane A-172 ตามลำดับ

จากเทอร์โมแกรมการสลายตัวของเส้นใยไหมในรูปที่ 4.11-4.13 สามารถอธิบายได้ว่าเส้นใยไหมลอกกาวมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกิดจากการสูญเสียน้ำหนักของเส้นใย 2 ช่วง ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งมีการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนที่เกิดจากการสูญเสียน้ำหนักของเส้นใย 3 ช่วง โดยในช่วงแรกเป็นการระเหยของน้ำที่เป็นองค์ประกอบของเส้นใยไหมที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส ซึ่งเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ทั้งสองความเข้มข้นมีการสูญเสียน้ำหนักของเส้นใยในช่วงนี้มากกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อยเป็นเพราะมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการต่อกึ่งมีสมบัติที่ชอบน้ำ ในขณะที่เส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นมีการสูญเสียน้ำหนักของเส้นใยในช่วงนี้น้อยกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อยเพราะมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการต่อกึ่งมีสมบัติที่ไม่ชอบน้ำ ส่วนขั้นที่สองเป็นการเปลี่ยนแปลงทางความร้อนของการสลายตัวของไฟโบรอินในส่วนที่มีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นจิบเบต้าในช่วงอุณหภูมิประมาณ 256-274 องศาเซลเซียส [40] ส่วนขั้นสุดท้ายเป็นการสลายตัวของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกึ่งในช่วงอุณหภูมิประมาณ 353-386 องศาเซลเซียส และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M. และ Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 M สามารถสรุปได้ว่าการต่อกึ่งเส้นใยไม่สามารถรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับเส้นใยไหมได้ แต่การต่อกึ่งทำให้เส้นใยไหมมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาวทั้งสองความเข้มข้น อาจเกิดจากมอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในการต่อกึ่งซึ่ง HEMA มีหมู่ข้างเคียงเป็นพวกคาร์บอนิล หมู่ฟังก์ชันเหล่านี้อาจทำให้เกิดอันตรกิริยาที่แข็งแรงระหว่างสายโซ่ไฟโบรอินและมอนอเมอร์ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุล เพราะการต่อกึ่งทำให้เกิดเป็นพอลิเมอร์ในส่วนที่เป็นอสัณฐานของเส้นใย ส่วน Silane A-172 เป็นสารประกอบออร์แกโนซิลิกอนซึ่งมีพันธะ Si-O ทำให้เส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 มีเสถียรภาพทางความร้อนที่สูงขึ้นและเมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกึ่งพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นเส้นใยไหมมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้นซึ่งอาจเกิดจากเส้นใยมีหมู่ฟังก์ชันที่สามารถเกิดอันตรกิริยาที่แข็งแรงระหว่างไฟโบรอินและพอลิเมอร์ทั้งภายในและระหว่างโมเลกุลจำนวนมากขึ้น

จากเทอร์โมแกรมการสลายตัวของเส้นใยไหมในรูปที่ 4.11 - 4.13 สามารถสรุปอุณหภูมิในการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ในช่วงอุณหภูมิต่างๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 อุณหภูมิการสลายตัวของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ได้จากเทคนิคเทอร์มัลกราวิเมตริก

ชนิดของตัวอย่าง	อุณหภูมิในการสลายตัว (onset) (°C)		
	ไฟโบรอิน	HEMA	Silane A-172
ไหมดิบ	256	-	-
ไหมลอกกาว	259	-	-
HEMA 0.2 M. 15 นาที	261	353	-
HEMA 0.4 M. 15 นาที	266	356	-
Silane A-172 0.4 M. 30 นาที	269	-	375
Silane A-172 0.6 M. 30 นาที	274	-	386

4.6 สมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172

ขั้นตอนนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในกระบวนการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหมด้วยวิธีการต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่มีต่อสมบัติทางแรงดึงของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมต่อกึ่งกับ ไวนิลมอนอเมอร์ สมบัติทางแรงดึงของเส้นใยที่ถุณนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แรงที่ใช้ในการดึง (Load) เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) มอดุลัส (Modulus) และ เทนาซิตี (Tenacity)

4.6.1 แรงที่ใช้ในการดึง (Load)

การศึกษาแรงที่ใช้ในการดึงเป็นการวัดแรงที่ใช้ดึงให้เส้นใยขาดออกจากกัน ซึ่งได้ทำการศึกษาแรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกึ่งโดยเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงเป็น 5.93 ± 0.45 และ 5.56 ± 0.48 N ตามลำดับ

ตารางที่ 4.7 แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน

HEMA	Load (N)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.1 M.	5.73 ± 0.12	5.77 ± 0.40	5.75 ± 0.33	5.73 ± 0.32	5.74 ± 0.27
0.2 M.	5.87 ± 0.23	5.92 ± 0.42	5.92 ± 0.48	5.95 ± 0.36	5.93 ± 0.30
0.3 M.	5.93 ± 0.27	5.94 ± 0.27	5.96 ± 0.36	6.05 ± 0.07	6.00 ± 0.20
0.4 M.	5.97 ± 0.30	6.01 ± 0.16	6.00 ± 0.14	6.03 ± 0.28	6.05 ± 0.38

ตารางที่ 4.8 แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน

Silane A-172	Load (N)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.2 M.	5.64 ± 0.19	5.58 ± 0.38	5.61 ± 0.37	5.67 ± 0.32	5.64 ± 0.28
0.4 M.	5.85 ± 0.40	5.87 ± 0.26	5.82 ± 0.22	5.86 ± 0.24	5.83 ± 0.29
0.6 M.	5.89 ± 0.24	5.90 ± 0.40	5.86 ± 0.25	5.82 ± 0.33	5.88 ± 0.29
0.8 M.	5.86 ± 0.20	5.88 ± 0.35	5.87 ± 0.26	5.90 ± 0.32	5.85 ± 0.20

เมื่อเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการดึงของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงใกล้เคียงกับเส้นใยไหมลอกกว เมื่อเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการดึงระหว่างเส้นใยไหมลอกกวกกับเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน พบว่าเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงใกล้เคียงกับเส้นใยไหมลอกกว ถึงแม้ว่ามอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกิ่งเกิดการรวมตัวกันเป็น โอลิโกเมอร์เกาะอยู่พื้นผิวของเส้นใย แต่ความสามารถในการต้านแรงที่ใช้ในการดึงไม่มากขึ้น จากตารางที่ 4.7 และ 4.8 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 พบว่าเมื่อความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น เปอร์เซนต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น ค่าแรงที่ใช้ในการดึงมีค่าใกล้เคียงกัน

4.6.2 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break)

ความสามารถในการยึดของเส้นใยเป็นการวัดระยะทางที่เปลี่ยนแปลงในทิศทางของแรงดึง เทียบกับความยาวเริ่มต้น ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นค่าเปอร์เซ็นต์การดึงยืด (%Elongation) ซึ่งได้ทำการศึกษาเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (% Elongation at break) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกขาว และเส้นใยไหมต่อกึ่ง โดยเส้นใยไหมดิบ และเส้นใยไหมลอกขาวมี เปอร์เซ็นต์การดึงยืดเป็น 19.33 ± 2.42 และ 25.49 ± 4.27 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.9 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่ง ด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน

HEMA	Elongation at break (%)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.1 M.	23.00 ± 2.08	21.50 ± 1.52	21.02 ± 1.52	21.49 ± 2.45	21.81 ± 1.36
0.2 M.	19.94 ± 1.61	20.07 ± 2.07	20.27 ± 2.44	19.94 ± 2.89	19.67 ± 2.64
0.3 M.	19.35 ± 1.42	18.95 ± 2.42	18.27 ± 0.74	18.13 ± 1.32	16.63 ± 0.96
0.4 M.	18.97 ± 2.30	16.80 ± 2.89	16.93 ± 1.13	16.91 ± 0.92	16.02 ± 1.79

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกึ่ง ด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน

Silane A-172	Elongation at break (%)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.2 M.	25.75 ± 2.85	25.55 ± 4.34	25.10 ± 3.29	25.61 ± 2.90	25.97 ± 2.77
0.4 M.	26.47 ± 3.35	26.33 ± 3.20	26.40 ± 2.48	26.10 ± 2.32	26.15 ± 2.87
0.6 M.	27.08 ± 1.30	27.73 ± 3.37	27.62 ± 3.55	27.15 ± 0.72	27.67 ± 3.40
0.8 M.	29.05 ± 2.13	28.96 ± 1.73	28.82 ± 1.90	28.92 ± 2.20	28.95 ± 1.97

เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวมีเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ เนื่องจากกาวไหมที่เคลือบอยู่ที่ผิวของเส้นใยเป็นตัวขัดขวางการส่งผ่านแรงดึงของเส้นใยทำให้เส้นใยมีความสามารถในการกระจายแรงของเส้นใยลดลงส่งผลให้เส้นใยมีความสามารถในการยึดต่ำและเมื่อกำจัดกาวไหมซึ่งเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ออกไป ทำให้เส้นใยมีความสามารถในการกระจายแรงมากขึ้น ดังนั้นเส้นใยไหมลอกกาวจึงมีความสามารถในการดึงยึดสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ จากตารางที่ 4.9 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ในทุกเวลาและความเข้มข้นมีความสามารถในการดึงยึดต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกึ่งเส้นใยเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งในบริเวณ อดัณฐานของเส้นใยเกิดเป็น โอลิโกเมอร์เกาะอยู่ที่พื้นผิวของเส้นใย ซึ่งโอลิโกเมอร์ที่เกิดขึ้นเป็นตัวขัดขวางการส่งผ่านแรงดึงของเส้นใย ทำให้เส้นใยมีความสามารถในการกระจายแรงของเส้นใยลดลง จึงส่งผลให้เส้นใยที่ต่อกึ่งมีความสามารถในการดึงยึดลดลง เมื่อพิจารณาความเข้มข้นและเวลา พบว่าที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดมีแนวโน้มลดลง แต่การใช้เวลาในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งใกล้เคียงกัน เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดจึงมีค่าใกล้เคียงกัน และจากตารางที่ 4.10 เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดของเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ในทุกเวลาและความเข้มข้นมีความสามารถในการดึงยึดสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย อาจเนื่องมาจากมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกึ่งเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งกับเส้นใยและเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันแบบควบแน่นของมอนอเมอร์เกิดเป็นสายโซ่พอลิไซลอลเซนซึ่งมีความยืดหยุ่นสูง [32] ทำให้เส้นใยมีความสามารถในการดึงยึดสูงขึ้นเล็กน้อย และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นและเวลา พบว่าที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดมีแนวโน้มสูงขึ้นเล็กน้อย แต่การใช้เวลาในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์การดึงยึด ณ จุดขาดมีค่าใกล้เคียงกัน

4.6.3 มอดูลัส (Modulus)

เป็นค่าที่แสดงถึงความแข็งแรงของเส้นใย ซึ่งเป็นการวัดความสามารถในการทนต่อแรงดึงจากภายนอก โดยเป็นอัตราส่วนระหว่างความเค้นต่อความเครียด ค่าที่ได้มีหน่วยเป็นจิกกะปาสคาน (GPa) ซึ่งได้ทำการศึกษามอดูลัส (Modulus) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมต่อกึ่ง โดยเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวมีค่ามอดูลัส เป็น 4.08 ± 0.25 และ 2.44 ± 0.13 GPa ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 มอดุลัส (Modulus) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน

HEMA	Modulus (GPa)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.1 M.	2.63 ± 0.51	2.66 ± 0.28	2.62 ± 0.31	2.63 ± 0.22	2.65 ± 0.37
0.2 M.	2.73 ± 0.30	2.78 ± 0.55	2.79 ± 0.22	2.75 ± 0.13	2.76 ± 0.18
0.3 M.	2.79 ± 0.37	2.84 ± 0.22	2.84 ± 0.51	2.93 ± 0.27	2.92 ± 0.32
0.4 M.	2.85 ± 0.17	2.93 ± 0.38	2.90 ± 0.34	3.01 ± 0.33	3.02 ± 0.23

ตารางที่ 4.12 มอดุลัส (Modulus) ของเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน

Silane A-172	Modulus (GPa)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.2 M.	2.49 ± 0.13	2.53 ± 0.11	2.52 ± 0.28	2.52 ± 0.29	2.58 ± 0.15
0.4 M.	2.62 ± 0.27	2.68 ± 0.27	2.65 ± 0.28	2.68 ± 0.22	2.63 ± 0.25
0.6 M.	2.65 ± 0.25	2.61 ± 0.31	2.60 ± 0.15	2.67 ± 0.27	2.66 ± 0.66
0.8 M.	2.63 ± 0.19	2.70 ± 0.30	2.72 ± 0.22	2.67 ± 0.34	2.69 ± 0.26

เมื่อเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกขาว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีค่ามอดุลัสสูงกว่าเส้นใยไหมลอกขาวเพราะขาวไหมมีลักษณะเป็นของแข็งสี่เหลี่ยมเคลือบอยู่ที่ผิวของเส้นใยทำให้เส้นใยแข็งกระด้างมีความสามารถในการต้านแรงดึงสูงแต่ความสามารถในการดึงยืดต่ำ เมื่อเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของเส้นใยไหมลอกขาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทุกความเข้มข้นและทุกช่วงเวลามีค่ามอดุลัสใกล้เคียงกับเส้นใยไหมลอกขาว และจากตารางที่ 4.11 และ 4.12 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 พบว่าที่ความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งเพิ่มขึ้นค่ามอดุลัสมีค่าใกล้เคียงกัน

4.6.4 เทนาซิตี (Tenacity)

เป็นการวัดแรงต่อน้ำหนักมีหน่วยเป็นกรัมต่อเดนิเยร์ (g/denier) โดยในทางอุตสาหกรรมค่าเทนาซิตีนิยมนำไปใช้บอกความแข็งแรงของเส้นใย ซึ่งได้ทำการศึกษาเทนาซิตี (Tenacity) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกขาว และเส้นใยไหมตอกิ่ง โดยเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกขาว มีค่าเทนาซิตีเป็น 3.47 ± 0.33 และ 4.05 ± 0.39 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 เทนาซิตี (Tenacity) ของเส้นใยไหมตอกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน

HEMA	Tenacity (g/denier)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.1 M.	3.51 ± 0.41	3.47 ± 0.44	3.49 ± 0.54	3.48 ± 0.55	3.46 ± 0.29
0.2 M.	3.46 ± 0.28	3.42 ± 0.28	3.35 ± 0.27	3.36 ± 0.44	2.90 ± 0.17
0.3 M.	3.19 ± 0.33	3.02 ± 0.20	2.92 ± 0.29	2.94 ± 0.42	2.83 ± 0.11
0.4 M.	3.08 ± 0.32	2.90 ± 0.37	2.90 ± 0.17	2.73 ± 0.26	2.63 ± 0.23

ตารางที่ 4.14 เทนาซิตี (Tenacity) ของเส้นใยไหมตอกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้นและเวลาต่างๆ กัน

Silane A-172	Tenacity (g/denier)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.2 M.	3.96 ± 0.42	3.92 ± 0.38	3.97 ± 0.42	3.95 ± 0.39	3.93 ± 0.62
0.4 M.	3.83 ± 0.43	3.89 ± 0.51	3.77 ± 0.55	3.79 ± 0.27	3.64 ± 0.76
0.6 M.	3.58 ± 0.48	3.52 ± 0.67	3.60 ± 0.28	3.58 ± 0.22	3.47 ± 0.44
0.8 M.	3.65 ± 0.43	3.60 ± 0.42	3.55 ± 0.32	3.66 ± 0.22	3.57 ± 0.29

เมื่อเปรียบเทียบค่าเทนาคิตซ์ของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีค่าเทนาคิตซ์ต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่หายไปหลังการลอกกาวสูงกว่าอัตราการเพิ่มแรงที่ใช้ในการดึงให้เส้นใยไหมขาด เมื่อเปรียบเทียบค่าเทนาคิตซ์ของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทุกความเข้มข้นและทุกช่วงเวลามีค่าเทนาคิตซ์ต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย เนื่องจากเส้นใยไหมที่ทำการต่อกึ่งมีน้ำหนักที่เพิ่มมากขึ้นในขณะที่ใช้แรงในการดึงเท่าเดิม จากตารางที่ 4.13 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งด้วย HEMA พบว่าที่ความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น ค่าเทนาคิตซ์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณของพอลิเมอร์ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกึ่งมากขึ้นทำให้น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มสูงขึ้นแต่แรงที่ใช้ในการดึงให้เส้นใยไหมขาดมีค่าเท่าเดิม และจากตารางที่ 4.14 เมื่อพิจารณาความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งด้วย Silane A-172 พบว่าที่ความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นค่าเทนาคิตซ์มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย ส่วนเวลาที่ใช้ในการต่อกึ่งเพิ่มขึ้น ค่าเทนาคิตซ์ไม่เปลี่ยนแปลง

4.7 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี

สมบัติของเส้นใยจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการใช้งานเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์ดังนั้นต้องเข้าใจและเลือกใช้เส้นใยให้เหมาะสมกับงาน ซึ่งโดยทั่วไปสมบัติของเส้นใยจะถูกกำหนดจากปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาเส้นใยออกได้เป็นสองส่วน คือ สมบัติกายภาพและสมบัติทางเคมี โดยในส่วนของสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ความชื้นรีเจน (Moisture regain) และในส่วนของสมบัติทางเคมี ได้แก่ การทดสอบความคงทนต่อกรดและความคงทนต่อด่างของเส้นใยไหมดิบไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172

4.7.1 ความชื้นรีเจน (Moisture Regain)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบความสามารถในการดูดความชื้นของเส้นใยไหมดิบเส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่สภาวะมาตรฐาน คือ อุณหภูมิ 20°C ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองที่ได้ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์ความชื้นรีเทนของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมต่อกิ่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการต่อกิ่ง	ความชื้นรีเทน(%)
ไหมดิบ	-	1.62 ± 0.87
ไหมลอกกาว	-	5.18 ± 1.07
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	7.33 ± 0.73
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 1.61	7.54 ± 1.31
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	4.87 ± 0.90
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	4.73 ± 0.73

จากการพิจารณาเปรียบเทียบความชื้นรีเทนระหว่างเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมลอกกาว และระหว่างเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ (ตารางที่ 4.15) พบว่าเส้นใยไหมดิบมีความชื้นรีเทนน้อยกว่าไหมลอกกาวซึ่งเป็นผลมาจากองค์ประกอบของกาวไหมที่เคลือบอยู่ที่พื้นผิวด้านนอกที่นอกจากจะมีกรดอะมิโนเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว แต่ยังมีสารอื่นๆเคลือบอยู่ด้านนอกด้วย เช่น ซัลเฟอร์ คาร์โบไฮเดรต วัสดุมีสี และสารอนินทรีย์ เป็นต้น ทำให้เส้นใยมีลักษณะที่เป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) มากกว่าเพราะเหตุนี้เส้นใยไหมดิบจึงมีความชื้นรีเทน ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว

ส่วนในกรณีของเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 และ 0.4 M. พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความชื้นรีเทนสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเป็นผลมาจากเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีไฮโดรฟิลิเมอร์ของ HEMA ที่เป็นส่วนที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) โดยเฉพาะหมู่ไฮดรอกซิลมาเกาะอยู่ที่พื้นผิวด้านนอกของเส้นใยมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA มีความชื้นรีเทนเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความชื้นรีเทนของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้น พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้นความชื้นรีเทนเพิ่มขึ้น ไม่แตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบความชื้นรีเทนระหว่างเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ทั้ง 2 ความเข้มข้น พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 มีความชื้นรีเทนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมลอกกาว อาจเป็นเพราะ Silane A-172 มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic) เนื่องจากมีความเป็นขั้วน้อยเมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ร่วมแบบต่อกิ่งกับเส้นใยไหม ทำให้เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 มีความไม่ชอบน้ำ แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ

ความชื้นรีเทนของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ทั้ง 2 ความเข้มข้น พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นความชื้นรีเทนไม่แตกต่างกันเช่นเดียวกับกรณีของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA

4.7.2 ความคงทนต่อกรดและด่าง (Acid Resistance and Alkaline Resistance)

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความทนทานต่อกรดและด่างของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกขาว และเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 เนื่องจากเส้นใยจะเกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อถูกสารเคมี ได้แก่ กรด ด่าง ซึ่งค่าความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใยไหมได้จากความสามารถในการละลายในกรดและด่างของไหมดิบ เส้นใยไหมลอกขาว และเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเส้นใยหลังการทดสอบ ทั้งนี้เพื่อจะเป็นแนวทางในการทำความสะอาดและดูแลรักษาให้เหมาะสมกับชนิดของเส้นใย ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 เปอร์เซนต์น้ำหนักที่หายไปในการกรดและด่างของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกขาว และเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซนต์น้ำหนักที่หายไป	
	กรด	ด่าง
ไหมดิบ	44.09 ± 1.10	15.92 ± 0.72
ไหมลอกขาว	21.78 ± 1.33	6.42 ± 1.81
0.2 M. HEMA 15 นาที	9.75 ± 1.22	4.95 ± 0.70
0.4 M. HEMA 15 นาที	6.17 ± 1.69	4.62 ± 0.62
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	12.22 ± 1.11	6.26 ± 0.23
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	20.49 ± 0.40	6.38 ± 0.52

จากการทดสอบความคงทนต่อกรดของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกขาว พบว่าเส้นใยไหมดิบเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีเขียว ส่วนเส้นใยไหมลอกขาวเปลี่ยนเป็นสีขาวซึ่งเป็นผลมาจากการขาดออกซิเจนของพันธะเพปไทด์ของโปรตีน [1] ในขณะที่การทดสอบความคงทนต่อด่างของเส้นใยไหมดิบเปลี่ยนสีจากสีเหลืองเป็นสีขาวและเส้นใยไหมลอกขาวมีลักษณะฟูขึ้นเล็กน้อยและความมันเงาลดลง เพราะด่างทำให้เส้นใยไหมเกิดการพองตัวเมื่อเส้นใยไหมแช่อยู่ในสารละลายด่างเป็นเวลานานๆ ส่งผลให้พันธะเพปไทด์ที่ปลายสายโซ่ของโปรตีนเส้นใยไหมเกิดการไฮโดรไลซ์ [1] ทำให้ความมันเงาของเส้นใยไหมลดลง และเมื่อเปรียบเทียบความคงทนต่อกรดและด่างระหว่างเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมลอกขาว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีความคงทนต่อกรด

และต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากกาวไหมที่เคลือบอยู่บนเส้นใยไหมดิบเป็นสายโซ่โมเลกุลพอลิเปปไทด์มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าไฟโบรอินจึงทำให้กาวไหมละลายได้ในกรดหรือด่าง [1]

เมื่อพิจารณาความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นพบว่าลักษณะของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีการเปลี่ยนแปลงไม่มาก แต่เมื่อเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นกับเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวพบว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยไหมดิบและไหมลอกกาวอย่างเห็นได้ชัด แสดงว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความคงทนต่อกรดและด่างมากกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเนื่องจากการต่อกิ่งเส้นใยไหมทำให้บริเวณอสังฐานมีความหนาแน่นมากขึ้น กรดและด่างจึงแทรกซึมลงไปเส้นใยไหมต่อกิ่งได้ยากกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

ในขณะที่การทดสอบความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ทั้ง 2 ความเข้มข้นพบว่าเมื่อความเข้มข้นของ Silane A-172 เพิ่มขึ้น ความคงทนต่อกรดของเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 มีแนวโน้มลดลง แต่ความคงทนต่อด่างไม่เปลี่ยนแปลง และมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว

นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบผลของชนิดมอนอเมอร์พบว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA มีความคงทนต่อกรดและด่างมากกว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 เพราะเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใย หลังการต่อกิ่งด้วย HEMA เพิ่มขึ้นมากกว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ทำให้บริเวณอสังฐานของเส้นใยมีความหนาแน่นมากกว่าจึงทำให้กรดและด่างแทรกซึมลงไปเส้นใยไหมได้ยากกว่า

4.8 กระบวนการย้อมสี

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการย้อมสีเส้นใยไหมลอกกาว เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.2 กับ 0.4 M. เวลา 15 นาที และ Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 กับ 0.6 M. เวลา 30 นาที โดยศึกษาด้านความสามารถในการย้อมสี ความเข้มของสีที่ย้อมติดบนเส้นใย ความคงทนของสีย้อมหลังการซัก ความคงทนของสีต่อเหงื่อ และความคงทนของสีต่อแสง โดยสีที่ใช้ในการย้อมจะใช้สีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และ ครั่ง ซึ่งสารให้สีของขมิ้น คือ เคอร์คูมิน เป็นสารให้สีในกลุ่มฟลาโวนอยด์ โดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่างน้ำกับเอทานอลในอัตราส่วน 25:75 เป็นตัวสกัด [29] ส่วนสารให้สีของครั่ง คือ แลคคาอิกแอซิด เป็นสารให้สีในกลุ่มแอนทราควิโนน ใช้ตัวทำละลายน้ำเป็นตัวสกัด [19] และใช้โพแทสเซียมอะลูมิเนียมซัลเฟต (สารส้ม, $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$) เป็นสารเคมีช่วยให้สีย้อมติดเส้นใยได้ดีขึ้นหรือที่เรียกว่า มอร์แดนท์ ซึ่งมีอิทธิพลต่อเฉดสีและความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ

4.8.1 ความสามารถในการย้อมสี

งานวิจัยนี้ได้พิจารณาความสามารถในการย้อมสีของเส้นใยไหมจากค่า K/S โดยการวัดสีเพื่อหาค่า R (Reflectance) ซึ่งเป็นค่าการสะท้อนที่ความยาวคลื่นของการดูดกลืนแสงสูงสุด โดยวัดออกมาเป็นค่า %R แล้วนำมาคำนวณหาค่า K/S จากสูตร $K/S = (1 - R)^2 / 2R$ โดย K = absorption coefficient และ S = scattering coefficient ซึ่งใช้บอกความสามารถในการติดสีของเส้นใยได้ โดยถ้าค่า K/S มาก แสดงถึงความสามารถในการย้อมติดสีมาก และถ้าค่า K/S น้อย แสดงถึงความสามารถในการย้อมติดสีน้อย โดยสีย้อมขมิ้นและสีย้อมครามที่ความยาวคลื่นมากที่สุดคือ 410 nm. และ 500 nm. ตามลำดับ

ในส่วนนี้จะศึกษาหาความสามารถในการย้อมสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ด้วยสีย้อมธรรมชาติที่ได้จาก ขมิ้น และคราม

ตารางที่ 4.17 ความสามารถในการย้อมสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ทำการย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้น

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการต่อกิ่ง	% R	ค่า K/S	% K/S
ไหมลอกกาว	-	0.89	55.18	-
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	0.68	72.53	31.44
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	0.58	85.21	54.42
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	0.93	52.77	-4.36
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	1.11	44.46	-19.43

หมายเหตุ : เครื่องหมายติดลบ (-) แสดงถึงความสามารถในการย้อมสีของเส้นใยไหมต่อกิ่งที่ลดลงจากไหมลอกกาว

ตารางที่ 4.18 ความสามารถในการเชื่อมติดของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ทำการเชื่อมติดด้วยสี่ข้อมครั้ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการต่อกึ่ง	% R	ค่า K/S	% K/S
ไหมลอกกาว	-	4.70	9.66	-
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	4.32	10.60	9.73
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	3.81	12.14	25.67
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	4.90	9.23	-4.45
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	5.23	8.59	-11.08

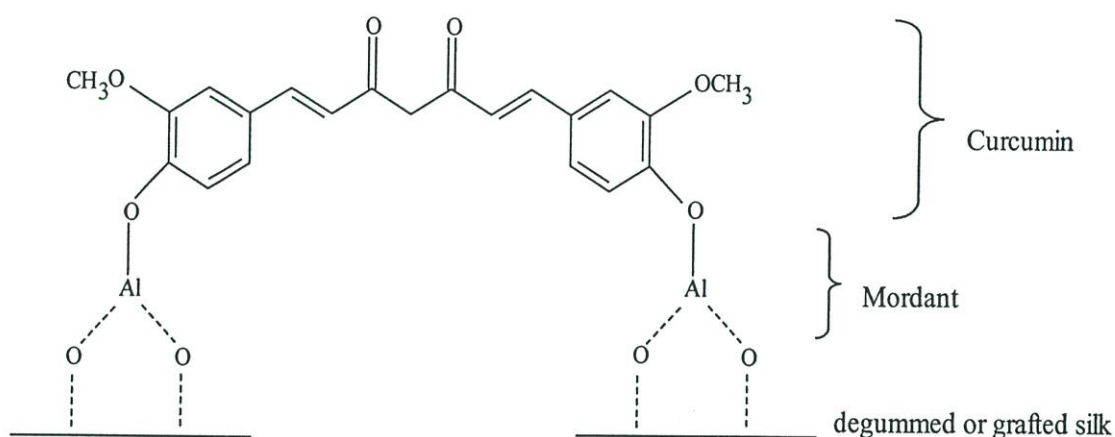
หมายเหตุ : เครื่องหมายติดลบ (-) แสดงถึงความสามารถในการเชื่อมติดของเส้นใยไหมต่อกึ่งที่ลดลงจากไหมลอกกาว

จากตารางที่ 4.17 และ 4.18 เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการเชื่อมติดสีระหว่างเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความสามารถในการเชื่อมติดสีทั้งสี่ข้อมขม้นและครั้งบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว อาจเนื่องมาจากมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกึ่งและการใช้มอร์แคนท์ทำให้โครงสร้างของเส้นใยตรงบริเวณออสถฐานมีลักษณะเปิดและหนาแน่นมากขึ้น นอกจากนี้โครงสร้างของเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA สามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างสี่ข้อมกับเส้นใยได้มากขึ้นเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสี่ข้อมกับมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกึ่งและมอร์แคนท์ที่ใช้เป็นสารยัดติด ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความสามารถในการเชื่อมติดสีทั้งสี่ข้อมขม้นและครั้งบนเส้นใยต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว อาจเนื่องมาจาก Silane A-172 มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ทำให้น้ำซึ่งเป็นตัวกลางในการเชื่อมติดสามารถแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ได้น้อย เม็ดสีที่อยู่ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำจึงไม่สามารถเข้าไปยึดเกาะหรือเกิดอันตรกิริยากับเส้นใยได้ดีพอ

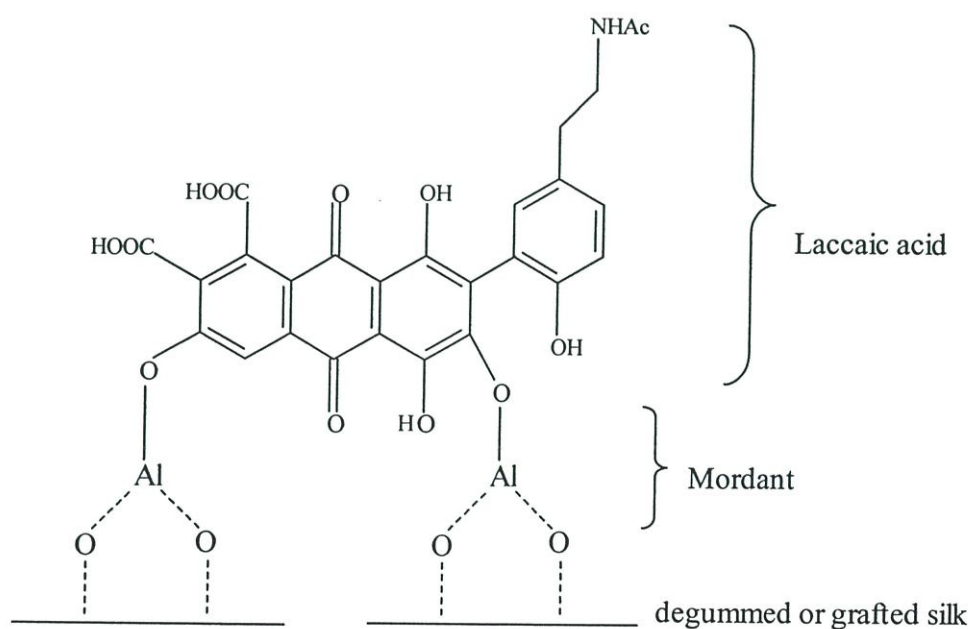
เมื่อพิจารณาความเข้มข้นที่ใช้ในการต่อกึ่งเส้นใย พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.4 M. มีความสามารถในการเชื่อมติดสีบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกึ่งที่ ความเข้มข้น 0.2 M อาจเป็นเพราะเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างของเส้นใยตรงบริเวณออสถฐานมีลักษณะเปิดมากขึ้น อีกทั้งเส้นใยมีหมู่ข้างเคียงที่สามารถเกิดอันตรกิริยากับสี่ข้อมได้มากขึ้น ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.6 M. มีความสามารถในการเชื่อมติดสีต่ำกว่าเส้นใยไหมต่อกึ่งที่ความเข้มข้น 0.4 M. อาจเนื่องจากเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยมีความไม่ชอบน้ำมากขึ้น

เมื่อดีสีย้อมแทรกเข้าไปในเส้นใยได้น้อยลง เมื่อเปรียบเทียบชนิดของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกิ่งพบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยมากกว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 อาจเป็นเพราะ Silane A-172 มีสมบัติไม่ชอบน้ำ (hydrophobic) ทำให้เส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 มีความสามารถในการดูดซับน้ำซึ่งเป็นตัวกลางในการย้อมสีได้น้อยกว่า ดังนั้นจึงมีความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยน้อยกว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA

และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสีย้อมที่ย้อมติดบนเส้นใย พบว่าสีย้อมที่ได้จากครั้งมีความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยน้อยกว่าสีย้อมที่ได้จากขม้น อาจเนื่องจากโครงสร้างของสีย้อมครั้งเป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ทำให้แทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้ยากกว่าจึงสามารถย้อมติดสีบนเส้นใยน้อยกว่า



รูปที่ 4.14 สารประกอบเชิงซ้อนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างสีย้อมขม้นกับโลหะและเส้นใยไหม



รูปที่ 4.15 สารประกอบเชิงซ้อนที่คาดว่าจะเกิดขึ้นระหว่างสีย้อมครั้งกับโลหะและเส้นใยไหม

4.8.2 การวัดการเปลี่ยนแปลงสี

ในทางอุตสาหกรรมบอกความแตกต่างของสีทางสิ่งทอที่โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ซึ่งเป็นเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในการบอกความแตกต่างของสีตามมาตรฐาน CIELAB ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเทคนิคนี้มาใช้ในการบอกความแตกต่างของสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ

4.8.2.1 เส้นใยไหมที่ทำการย้อมด้วยสีธรรมชาติ

นำเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ มาวัดความแตกต่างของสีด้วยระบบ CIE $L^* a^* b^* C^*$ และ h° โดยค่า L^* แสดงถึงความสว่างของเส้นใย a^* แสดงลักษณะของสีที่ไปยังแสงสีแดงหรือแสงสีเขียว b^* แสดงลักษณะของสีที่ไปยังแสงสีเหลืองหรือแสงสีน้ำเงิน C^* (Chroma) บอกถึงความสดใสของสี และ h° (Hue angle) เป็นตัวเลขที่ระบุว่าสีนั้นมีตำแหน่งอยู่ที่ใดมีหน่วยเป็นองศา ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.19 และ 4.20

ตารางที่ 4.19 การวัดสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้น

ชนิดของตัวอย่าง	สีย้อมขมิ้น				
	L^*	a^*	b^*	C^*	h°
ไหมลอกกาว	47.22	14.65	69.92	71.44	78.17
0.2 M. HEMA 15 นาที	52.72	14.76	76.68	78.09	79.10
0.4 M. HEMA 15 นาที	54.49	16.45	78.32	80.03	78.14
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	61.85	13.85	84.54	85.67	80.70
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	63.68	14.74	81.53	82.85	79.75

จากตารางที่ 4.19 เป็นข้อมูลการวัดสีของเส้นใยไหมที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้นของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นมีค่า $L^* a^* b^* C^*$ และ h° ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาค่าความสดใส (C^*) และค่า b^* พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นมีความสดใสและมีสีเหลืองมากกว่าเส้นใยไหมลอกกาวจากลักษณะดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่ามอนอเมอร์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการต่อกิ่งไม่ส่งผลกระทบต่อเฉดสีของเส้นใย โดยเฉดสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นให้เฉดสีไปทางสีเหลือง

ตารางที่ 4.20 การวัดสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั้ง

ชนิดของตัวอย่าง	สีย้อมครั้ง				
	L*	a*	b*	C*	h°
ไหมลอกกาว	25.13	22.98	0.93	23.00	2.33
0.2 M. HEMA 15 นาที	28.45	19.58	-2.01	19.69	5.86
0.4 M. HEMA 15 นาที	31.13	19.43	-2.28	19.57	6.70
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	25.15	18.7	-1.60	18.77	4.90
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	33.52	22.14	-1.73	22.21	4.48

จากตารางที่ 4.20 เป็นข้อมูลการวัดสีของเส้นใยไหมที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั้งของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นมีค่า L* a* b* C* และ h° ใกล้เคียงกัน เมื่อพิจารณาค่าความสดสี (C*)และค่า b* พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นมีความสดสีน้อยกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนค่า b* พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นมีสีไปทางสีน้ำเงิน แต่เส้นใยไหมลอกกาวมีสีไปทางสีเหลืองทำให้เส้นใยที่ได้มีเฉดสีที่ต่างกันเล็กน้อย โดยเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA มีสีม่วงอมน้ำเงินมากกว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ส่วนเส้นใยไหมลอกกาวมีสีม่วงอมแดง จากลักษณะดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่ามอนอเมอร์ที่ใช้ในปฏิกิริยาการต่อกิ่งส่งผลกระทบต่อเฉดสีของเส้นใยเล็กน้อย โดยเฉดสีของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นให้เฉดสีไปทางสีแดง

4.9 การทดสอบความคงทนของสี (Color fastness)

ในงานวิจัยนี้นอกจากศึกษาความสามารถในการย้อมติดสีของเส้นใยแล้ว ยังทำการศึกษาความคงทนของสีย้อมหลังการซัก ความคงทนของสีต่อเหงื่อ และความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ที่ย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติคือ สีย้อมขมิ้น และครั้ง

4.9.1 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (แสงซินอนอาร์ก)

การทดสอบนี้เป็นการประเมินการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมลอกกาวและไหมที่ต่อกึ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติเปรียบเทียบกับผ้าขนสัตว์มาตรฐานภายใต้สภาวะที่กำหนด ซึ่งสามารถจัดระดับความคงทนของสีต่อแสงได้ 8 ระดับ โดยการรายงานค่าแสดงเป็นตัวเลขจาก 1- 8 แสดงดังตารางที่ 4.21

- ระดับ 8 ดียอดเยี่ยม (Superative)
- ระดับ 7 ดีเลิศ (Excellent)
- ระดับ 6 ดีมาก (Very Good)
- ระดับ 5 ดี (Good)
- ระดับ 4 ดีปานกลาง (Fairly Good)
- ระดับ 3 ปานกลาง (Fair)
- ระดับ 2 คุณภาพต่ำ (Poor)
- ระดับ 1 คุณภาพต่ำมาก (Very Poor)

ตารางที่ 4.21 ค่าความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมลอกกาวและไหมต่อกึ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการต่อกึ่ง	ระดับความคงทนของสีย้อม	
		สีขมิ้น	สีครั่ง
ไหมลอกกาว	-	1-2	4-5
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	1-2	4-5
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	1-2	4-5
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	1	4
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	1	4

จากตารางที่ 4.21 เป็นการประเมินความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีเส้นใยด้วยสีย้อมขมิ้นและครั่ง พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA ทั้งสองความเข้มข้นมีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับเดียวกันซึ่งสูงกว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นที่ใช้ในการต่อกึ่งของ HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้น พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งเพิ่มขึ้นระดับความคงทน

ของสีต่อแสงอยู่ในระดับเดียวกัน แสดงว่าการต่อกิ่งเส้นใยใหม่ด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งแตกต่างกันไม่ช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อแสง

แต่เมื่อเปรียบเทียบชนิดของสีย้อมที่มีต่อระดับความคงทนของสีต่อแสง พบว่าเส้นใยที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั้งมีระดับความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมึ้น อาจเนื่องจากในโครงสร้างหลักของสีย้อมครั้งประกอบด้วยวงเบนซีนซึ่งมีความเสถียรเนื่องจากอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้รอบวง (Delocalize) ทำให้สีย้อมครั้งมีความไวต่อแสงน้อยกว่าสีย้อมขมึ้น สีย้อมครั้งจึงทนแสงได้ดีกว่า

จากการประเมินผลการทดสอบที่ได้สามารถสรุปได้ว่าเส้นใยใหม่ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั้งมีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ดีทั้งเส้นใยใหม่ลอกขาวและเส้นใยใหม่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ซึ่งปกติแล้วเส้นใยใหม่ลอกขาวที่ย้อมด้วยสีย้อมครั้งมีระดับความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง [19] ดังนั้นการต่อกิ่งเส้นใยใหม่จึงไม่ได้ทำให้มีความคงทนของสีต่อแสงเพิ่มขึ้น แต่เส้นใยใหม่ใหม่ลอกขาวและเส้นใยใหม่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมึ้นมีระดับความคงทนของสีต่อแสงต่ำเนื่องจากสีที่ได้จากขมึ้นเป็นสีที่มีความไวต่อแสงมาก [26]

4.9.2 การทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ

เนื่องจากเหงื่อมีทั้งที่เป็นกรดและด่าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกการทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะกรดและด่างของเส้นใยใหม่ที่ทำกรย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ ซึ่งสามารถจัดระดับความคงทนของสีต่อการเหงื่อได้ 5 ระดับ โดยระดับ 1 แสดงถึงความคงทนของสีต่อเหงื่อต่ำที่สุด และ ระดับ 5 แสดงถึงความคงทนของสีต่อเหงื่อสูงที่สุด ส่วนค่าการเปลี่ยนสีบนผ้าขาวมาตรฐานสามารถจัดระดับได้ 5 ระดับเช่นกัน โดยระดับ 1 แสดงการเปลี่ยนสีบนผ้าขาวมาตรฐานที่มาก และระดับ 5 แสดง การเปลี่ยนสีบนผ้าขาวมาตรฐานที่น้อย โดยการรายงานค่าแสดงเป็นตัวเลขจาก 1- 5 ดังนี้

- ระดับ 5 ดีมาก (Excellent)
- ระดับ 4 ดี (Good)
- ระดับ 3 ปานกลาง (Fair)
- ระดับ 2 คุณภาพต่ำ (Poor)
- ระดับ 1 คุณภาพต่ำมาก (Very Poor)

ตารางที่ 4.22 ค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อในสถานะที่เป็นกรดของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมตอกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการตอกิ่ง	ระดับความคงทนของสีย้อม	
		สีขมิ้น	สีครั่ง
ไหมลอกกาว	-	4-5	4-5
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	4-5	4-5
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	4-5	4-5
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	4-5	4
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	4-5	4

ตารางที่ 4.23 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหงื่อในสถานะที่เป็นกรดของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมตอกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการตอกิ่ง	ระดับความคงทนของสีย้อม			
		สีขมิ้น		สีครั่ง	
		ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
ไหมลอกกาว	-	1-2	1	4	4
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	1-2	1	4	4
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	2	1	4	4
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	1	1	4	4
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	1	1	4	4

ตารางที่ 4.24 ค่าความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นต่างของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมตอกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการตอกิ่ง	ระดับความคงทนของสีย้อม	
		สีขมิ้น	สีครั่ง
ไหมลอกกาว	-	4-5	4-5
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	4-5	4-5
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	4-5	4-5
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	4-5	4
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	4-5	4

ตารางที่ 4.25 ค่าการเปื้อนสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากเหงื่อในสภาวะที่เป็นต่างของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมตอกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการตอกิ่ง	ระดับความคงทนของสีย้อม			
		สีขมิ้น		สีครั่ง	
		ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
ไหมลอกกาว	-	1-2	1	3-4	3-4
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	1-2	1	3-4	3-4
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	2	1	3-4	3-4
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	1	1	3	3
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	1	1	3	3

จากการทดสอบความคงทนของสีต่อการเหงื่อทั้งในสภาวะเป็นกรดและด่างโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่างกับการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานที่นำมาใช้ในการประกบชิ้นงานตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยผ้าฝ้ายและผ้าไหมมาตรฐานของเส้นใยไหมที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้นในตารางที่ 4.22 - 4.25 พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นมีระดับความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยไหมลอกกาวและค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างของเส้นใยที่ตอกิ่งด้วย HEMA ความเข้มข้น 0.2 M. อยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยไหมลอกกาวแต่ที่ความเข้มข้น 0.4 M. ค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

ส่วนเส้นใยที่ตอกด้วย Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นมีค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐาน ทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของมอนอเมอร์ พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมด้วยสีย้อมขมิ้นมีระดับความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับเดียวกัน และค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างของเส้นใยไหมที่ตอกด้วย HEMA อยู่ในระดับที่สูงกว่าเส้นใยไหมที่ตอกด้วย Silane A-172

จากตารางที่ 4.22 - 4.25 และเมื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่างกับการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานของเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมครั้ง พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกด้วย HEMA มีความคงทนของสีต่อเหงื่อและค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยไหมที่ตอกด้วย Silane A-172 มีความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย และค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานในสภาวะที่เป็นกรดมีค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยไหมลอกกาว แต่ในสภาวะที่เป็นด่างอยู่ในระดับต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของมอนอเมอร์ พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกด้วย HEMA ที่ย้อมด้วยสีย้อมครั้งมีความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับสูงกว่าเส้นใยไหมที่ตอกด้วย Silane A-172 และค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานในสภาวะที่เป็นด่างอยู่ในระดับสูงกว่าเส้นใยไหมที่ตอกด้วย Silane A-172 แต่ในสภาวะที่เป็นกรดมีค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับเดียวกัน

และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของสีย้อม พบว่าเส้นใยที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้นและครั้งมีความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับเดียวกัน และเมื่อพิจารณาค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานในสภาวะที่เป็นกรดและด่าง พบว่าเส้นใยที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั้งมีค่าการเปื้อนของสียบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับที่สูงกว่าเส้นใยที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้น

จากการประเมินผลการทดสอบที่ได้สามารถสรุปได้ว่าการตอกเส้นใยไหมด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้นกับเส้นใยไหมที่ตอกด้วย HEMA ที่ย้อมด้วยสีย้อมครั้ง มีความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับเดียวกัน อาจเนื่องมาจากไหมลอกกาวมีความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับดี - ดีมากอยู่แล้ว ยกเว้นเส้นใยไหม ที่ตอกด้วย Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั้งมีความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างต่ำกว่าไหมลอกกาว อาจเนื่องมาจากไหมที่ตอกด้วย Silane A-172 มีความเป็นขั้วที่น้อยกว่าไหมลอกกาว ทำให้การเกิดอันตรกิริยาระหว่างสีย้อมครั้งซึ่งมีความเป็นขั้วกับไหมที่ตอกด้วย Silane A-172 เกิดได้ไม่ดีเท่ากับการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสีย้อมครั้งกับไหมลอกกาว ประกอบกับโครงสร้างของสีย้อมครั้งมีหมู่แทนที่ที่เป็นหมู่เอไมด์ที่สามารถ

เกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสในสภาวะกรดและด่างได้เกิดการเปลี่ยนแปลงหมู่แทนที่บนโครงสร้าง สีย้อมทำให้โครงสร้างของสีย้อมดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นที่เปลี่ยนไป สีจึงเปลี่ยนแปลงไปเล็กน้อย

4.9.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

ปัจจัยที่คำนึงถึงในการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักมี 2 ประเภท คือ การประเมินการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานที่นำมาใช้ในการประกบชิ้นงานตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยผ้าฝ้ายและผ้าไหมมาตรฐานกับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่าง โดยเป็นการเปรียบเทียบสีที่เปลี่ยนแปลงไประหว่างก่อนและหลังการทดสอบ ซึ่งผลที่ได้จะถูกประเมินออกมาเป็นตัวเลขโดยใช้เกรย์สเกล ซึ่งความคงทนของสีต่อการซักของเส้นใยไหมที่ทำการย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ แสดงดังตารางที่ 4.26 และตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.26 ค่าความคงทนของสีต่อการซักของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมตอกิ่งที่ย้อมสีด้วย สีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการตอกิ่ง	ระดับความคงทนของสี	
		สีขมิ้น	สีครั่ง
ไหมลอกกาว	-	4	1
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	4-5	1-2
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	4-5	1-2
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	4-5	2
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	4-5	2

ตารางที่ 4.27 ค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานเนื่องจากการซักของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมตอกิ่งที่ข้อมสีด้วยสีข้อมธรรมชาติคือ ขมิ้น และครั่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังจากการตอกิ่ง	ระดับความคงทนของสีข้อม			
		สีขมิ้น		สีครั่ง	
		ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย	ผ้าไหม	ผ้าฝ้าย
ไหมลอกกาว	-	2	1	4	4
0.2 M. HEMA 15 นาที	24.88 ± 2.53	2	1	4	4
0.4 M. HEMA 15 นาที	38.26 ± 5.66	2	1	4	4
0.4 M. Silane A-172 30 นาที	8.34 ± 1.47	1	1	4	4
0.6 M. Silane A-172 30 นาที	15.03 ± 2.19	1	1	4	4

จากตารางที่ 4.26 และตารางที่ 4.27 เป็นการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักโดยการประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นตัวอย่างกับการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานที่นำมาใช้ในการประกบชิ้นงานตัวอย่างซึ่งประกอบด้วยผ้าฝ้ายและผ้าไหมมาตรฐานของเส้นใยไหมที่ข้อมสีด้วยสีข้อมขมิ้น พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 มีระดับความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่า เส้นใยไหมลอกกาวเนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยไหมที่ตอกิ่งสามารถเกิดอันตรกิริยาระหว่างสีข้อมกับเส้นใยได้มากขึ้นเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างสีข้อมกับมอนอเมอร์ที่ใช้ในการตอกิ่งและเมอร์แดนที่ที่ใช้เป็นสารยึดติดทำให้เส้นใยมีความคงทนของสีต่อการซักดีขึ้นและค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานของเส้นใยที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่ข้อมด้วยสีข้อมขมิ้นอยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย Silane A-172 มีค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

เมื่อเปรียบเทียบชนิดของมอนอเมอร์ พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่ข้อมด้วยสีข้อมขมิ้นมีความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย Silane A-172 แต่มีค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับสูงกว่าเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย Silane A-172

ส่วนเส้นใยไหมที่ข้อมสีด้วยสีข้อมครั่ง พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 มีระดับความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเช่นกัน และค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับเดียวกับเส้นใยไหมลอกกาว

และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของมอนอเมอร์ พบว่าเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย HEMA ที่ข้อมด้วยสีข้อมครั่งมีความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย Silane A-172 เล็กน้อยเนื่องจากเส้นใยไหมที่ตอกิ่งด้วย Silane A-172 มีสมบัติไม่ชอบน้ำอยู่แล้วซึ่งเมื่อสีข้อมเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับเส้นใย อาจทำให้น้ำแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้น้อยกว่าเส้นใยไหม

ที่ต่อกิ่งด้วย HEMA โมเลกุลของสีจึงหลุดออกมาได้น้อยกว่า ทำให้ความคงทนของสีต่อการซักของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 สูงกว่าเล็กน้อย แต่มีค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับเดียวกัน

เมื่อพิจารณาชนิดของสีย้อม พบว่าเส้นใยที่ย้อมด้วยสีย้อมครั้งมีระดับความคงทนของสีต่อการซักต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมึ้น อาจเนื่องจากสีย้อมครั้งสามารถละลายในน้ำได้ดีกว่าสีย้อมขมึ้น ดังนั้นเมื่อทำการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักทำให้โมเลกุลของสีย้อมครั้งหลุดออกมาได้มากกว่าแต่มีค่าการเปื้อนของสีบนผ้าขาวมาตรฐานอยู่ในระดับที่สูงกว่า

จากการประเมินผลการทดสอบที่ได้สามารถสรุปได้ว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมึ้นและครั้งมีระดับความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยไหมลอกขาว แต่เส้นใยไหมที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั้งมีระดับความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมึ้น ซึ่งปกติแล้วเส้นใยไหมลอกขาวที่ย้อมด้วยสีย้อมครั้งมีระดับความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำอยู่แล้ว [19]

ตารางที่ 4.28 สรุปค่าความคงทนของดีต่อสภาวะต่างๆ ของเส้นใยใหม่ลอกกาและเส้นใยใหม่ตอกิ่งที่ย้อมสีด้วยสีย้อมธรรมชาติ คือ ขมิ้น และครั่ง

ชนิดของตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก เส้นใยที่เพิ่มขึ้น หลังจากการต่อกิ่ง	ค่าความคงทนของดีต่อสภาวะต่างๆ ของเส้นใยใหม่ที่ย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติ						
		ต่อแสง		ต่อเหงื่อ				
		ระดับความคงทน		ระดับความคงทนของสีย้อม				
		สีขมิ้น	สีครั่ง	สภาวะกรด	สภาวะด่าง	สีขมิ้น	สีครั่ง	
ใหม่ลอกกา	-	1-2	4-5	4-5	4-5	4-5	4	1
0.2 M. HEMA (15 min)	24.88 ± 2.53	1-2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1-2
0.4 M. HEMA (15 min)	38.26 ± 5.66	1-2	4-5	4-5	4-5	4-5	4-5	1-2
0.4 M. Silane (30 min)	8.34 ± 1.47	1	4	4-5	4	4-5	4	2
0.6 M. Silane (30 min)	15.03 ± 2.19	1	4	4-5	4	4-5	4	2

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ลักษณะภายนอกและสัณฐานวิทยา

เส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวมีลักษณะพื้นผิวต่างกัน คือ เส้นใยไหมดิบมีความแข็งกระด้าง ไม่เงามัน มีสีเหลืองเข้ม และมีพื้นผิวราบเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวของเส้นใยเนื่องจากผิวของเส้นไหมชั้นนอกมีกาวเซรีซินซึ่งมีลักษณะเป็นคลื่นมากมายปกคลุมต่างจากเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วมีลักษณะพื้นผิวที่ค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอ มีความมันเงา นุ่มนวล เส้นใยแยกออกจากกัน และมีสีเหลืองอ่อน ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการต่อกึ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.4 M. 15 นาที มีลักษณะแข็งกว่าและมีพื้นผิวที่ขรุขระกว่าที่ความเข้มข้น 0.2 M. 15 นาที ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการต่อกึ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.4 M. 30 นาที มีความนุ่มใกล้เคียงกับที่ความเข้มข้น 0.6 M. 30 นาที แต่มีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระน้อยกว่า และเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย HEMA มีความแข็งและขากว่าเส้นใยไหมที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172

5.1.2 ความเข้มข้นและเวลาที่มีผลต่อการต่อกึ่งเส้นใยไหมด้วย HEMA และ Silane A-172

เมื่อความเข้มข้นของมอนอเมอร์และเวลาที่ใช้ในกระบวนการต่อกึ่งของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกึ่งด้วย HEMA เพิ่มขึ้นมากเกินไป ส่งผลให้เส้นใยที่ได้มีลักษณะแข็งกระด้างไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานในด้านสิ่งทอ ส่วนเส้นใยที่ต่อกึ่งด้วย Silane A-172 เส้นใยที่ได้มีลักษณะที่นุ่มขึ้น แต่ถ้ามีปริมาณของพอลิเมอร์ที่เกาะบนผิวเส้นใยมากเกินไปทำให้เกิดเม็ดเล็กๆ เกาะบนผิวของเส้นใย ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานเช่นกัน

5.1.3 การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชัน

อินฟราเรดสเปกตรัมของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวมีลักษณะการดูดกลืนต่างกันเล็กน้อย คือที่ตำแหน่งเลขคลื่น 3426 และ 3417 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ N-H stretching ของเส้นใยไหมทั้งสอง โดยเส้นใยไหมดิบมีเลขคลื่นสูงกว่าของเส้นใยไหมลอกกาว ในขณะที่เส้นใยไหมต่อกึ่งด้วย HEMA แสดงแถบการดูดกลืนที่เป็นลักษณะเฉพาะโดยให้พีกที่เพิ่มจากสเปกตรัมของเส้นใยไหมลอกกาวที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1723 cm^{-1} และ 1068 cm^{-1} -1074 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ และ C-O stretching ของหมู่ไฮดรอกซิลที่เป็น

หมู่ข้างเคียงของ PHEMA ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ให้พีคที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1115 cm^{-1} - 1118 cm^{-1} และ 1155 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ Si-O stretching ของไซลอกเซน

5.1.4 สมบัติทางความร้อนของเส้นใยไหม

เส้นใยไหมดิบมีอุณหภูมิเริ่มการสลายตัวต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวในขณะที่เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 มีอุณหภูมิในการสลายตัวทางความร้อนเพิ่มสูงขึ้นจากเส้นใยไหมลอกกาว และเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น เส้นใยไหมมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น และพบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 มีเสถียรภาพทางความร้อนสูงกว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA

5.1.5 สมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงใกล้เคียงกับเส้นใยไหมดิบ มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดและค่าเทนาซิตีสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ แต่มีค่ามอดูลัสต่ำกว่าเส้นใยไหมดิบ เมื่อเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการดึงและค่ามอดูลัสระหว่างเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 พบว่าเส้นใยที่ทำการต่อกิ่งมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงและค่ามอดูลัสใกล้เคียงกับเส้นใยไหมลอกกาว และพบว่าความเข้มข้นและเวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งไม่มีผลต่อค่าแรงที่ใช้ในการดึงและค่ามอดูลัส ส่วนเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น แต่เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเล็กน้อย และพบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทุกความเข้มข้นและทุกช่วงเวลามีค่าเทนาซิตีต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น

5.1.6 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมี

จากการทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นระหว่างเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีความชื้นรีเทนน้อยกว่าเส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความชื้นรีเทนสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความชื้นรีเทนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมลอกกาว

และจากการทดสอบความคงทนต่อกรดและด่างของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีความคงทนต่อกรดและด่างต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว สำหรับเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความคงทนต่อกรดและด่างสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

ส่วนเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ความคงทนต่อกรดมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้น แต่ความคงทนต่อด่างไม่เปลี่ยนแปลง และเมื่อเปรียบเทียบชนิดของมอนอเมอร์พบว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย HEMA มีความคงทนต่อกรดและด่างมากกว่าเส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172

5.1.7 ความสามารถในการย้อมสี

เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ทั้ง 2 ความเข้มข้นมีความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาวและพบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยหลังการต่อกิ่งด้วย HEMA เพิ่มขึ้นความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยเพิ่มขึ้น แต่เส้นใยที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 มีความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยลดลง นอกจากนี้พบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยมากกว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 สีย้อมที่ได้จากขมิ้นมีความสามารถในการย้อมติดสีบนเส้นใยมากกว่าสีย้อมที่ได้จากครั่ง

จากการวัดการเปลี่ยนแปลงสีด้วยระบบ CIE L* a* b* C* และ h ° ของเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ทั้งสองความเข้มข้นที่ย้อมด้วยสีย้อมขมิ้นและครั่ง พบว่ามีค่าแตกต่างกันเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่ามอนอเมอร์ที่นำมาใช้ในกระบวนการต่อกิ่งมีผลต่อเฉดสีที่ใช้ย้อมเพียงเล็กน้อย

5.1.8 การทดสอบความคงทนของสี

จากการทดสอบความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ พบว่าความคงทนของสีต่อแสงของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมด้วยสีย้อมขมิ้นและครั่ง มีความคงทนของสีต่อแสงอยู่ในระดับเดียวกัน และเส้นใยที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั่งมีระดับความคงทนของสีต่อแสงสูงกว่าเส้นใยที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้น และพบว่าการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมขมิ้นกับเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ย้อมด้วยสีย้อมครั่งมีความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างอยู่ในระดับดี – ดีมากเหมือนไหมลอกกาว ยกเว้นเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ย้อมสีด้วยสีย้อมครั่งมีความคงทนของสีต่อเหงื่อทั้งในสภาวะที่เป็นกรดและด่างต่ำกว่าไหมลอกกาวเล็กน้อย ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย HEMA และ Silane A-172 ที่ย้อมด้วยสีย้อมขมิ้นและครั่งมีระดับความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ในขณะที่เส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมครั่งมีระดับความคงทนของสีต่อการซักต่ำกว่าเส้นใยไหมที่ย้อมด้วยสีย้อมขมิ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาการปรับปรุงสมบัติเส้นใยไหมโดยใช้มอนอเมอร์ชนิดอื่น เช่น Ethoxyethylmethacrylate (ETMA) เป็นต้น

5.2.2 ศึกษาการนำสารให้สีจากธรรมชาติชนิดอื่นมาใช้ในกระบวนการย้อมสี เช่น ใบเตย แก่นขนุน อัญชัน เป็นต้น

5.2.3 ศึกษาหาชนิดของสารย้อมติดที่ใช้ในการย้อมสีเส้นใยไหมด้วยสีย้อมธรรมชาติเพื่อเพิ่มความสามารถในการย้อมติดสีและความคงทนของสีต่อสภาวะต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สิริรัตน์ จารุจินดา. “ไหม” *Colourway*, vol.56, 2005. หน้า 34-38.
- [2] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. *วิทยาศาสตร์เส้นใย*. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.
- [3] อภิชาติ สนธิสมบัติ. *กระบวนการเคมีสิ่งทอ*. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล. 2543.
- [4] นवलแข ปาลีวินิช. *ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย (ฉบับปรับปรุงใหม่)*. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น. 2542.
- [5] อัจฉราพร ไสละสุด. *ความรู้เรื่องผ้า*. พิมพ์ครั้งที่ 10. กรุงเทพฯ : สร้างสรรค์-วิชาการ. 2539.
- [6] มินากาวะ โมโตอิ. *วิทยาการไหม เล่ม 1 แปลโดย เข็มชัย เหมะจันทร์ และเออีอิชิ คาวาอิ*. กรุงเทพฯ : คณะกรรมการส่งเสริมสินค้าไหมไทย กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ. 2530.
- [7] P. Munk. *Introduction to Macromolecular Science*. Singapore : John Wiley & Sons. 1990.
- [8] M.Tsukada, M. Nagra, H. Ishikama and H. Shiozaki. “Structural Characteristics fibers Treated with Epoxides” *Journal of Applied Polymer Science*, vol.43, 1991. pp. 643-649.
- [9] M. Tsukada. “Studies on Some Physical Properties and Structural Characteristics of Methyl Methacrylate – Grafted Silk Fiber” *Journal of Applied Polymer Science*, vol.35, 1988. pp. 965-972.
- [10] M.Tsukada, G. Freddi, Y. Ishiguro and H. Shizaki. “Structural Analysis of Methacrylamide Grafted Silk fibers” *Journal of Applied Polymer Science*, vol.50, 1993. pp. 1519-1527.
- [11] T. Arai, H. Inshikawa, G. Freddi, S. Winkler and M. Tsukada. “Chemical Modification of Bombyx mori Silks using Isocyanate” *Journal of Applied Polymer Science*, vol.79, 2001. pp. 1766-1763.
- [12] มาลินี ชัยศุกกิจสินธุ์. *เคมีพอลิเมอร์*. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [13] ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์. *เคมีพอลิเมอร์พื้นฐาน*. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ภูเก็ต. 2527.

- [28] ลลิตา บุญโฉม. “สมบัติทางกายภาพและการเชื่อมติดสีของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกึ่งกับ ไวนิลมอนอเมอร์.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [29] วัฒนา คล้ายรัศมี. “การปรับปรุงสมบัติต่างๆของเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อกึ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ใน เอทานอลและน้ำ.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2547.
- [30] S. Chopra, R. Chattopadhyay and M.L. Gulrajani. “Low Stress Mechanical Properties of Silk Fabric degummed by Differense Methods” **Journal of Textile Institute**, vol.87, 1995. pp. 542-543.
- [31] M. Tsukada, T. Arai, G. Freddi, T. Imai and N. Kasai. “Grafting Vinyl Monomers onto Silk (*Bombyx mori*) Using Different Initiators: Properties of Grafted Silk” **Journal of Applied Polymer Science**, vol.81, 2001. pp. 1401-1409.
- [32] M. Tsukada, T. Arai, S. Winkler, G. Freddi and H. Ishikawa. “Physical Properties of Silk fibers Grafted with Vinyltrimethoxysilane” **Journal of Applied Polymer Science**, vol.79, 2001. pp. 1764-1770.
- [33] M. Tsukada, G. Freddi, P. Monti, A. Bertoluzza and H. Shiozaki. “Physical Properties of 2-Hydroxyethyl Methacrylate-Grafted Silk Fibers” **Journal of Applied Polymer Science**, vol.49, 1993. pp. 1835-1844.
- [34] M. Tsukada, G. Freddi, M. Mastsumura, H. Shiozaki and N. Kasai. “Physical Properties and Dyeability of Silk Fibers Modified with Ethoxyethylmethacrylate Polymer” **Journal of Applied Polymer Science**, vol.44, 1992. pp. 799-805.
- [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-Hydroxyethyl Methacrylate” **Journal of Applied Polymer Science**, vol.60, 1996. pp. 1867-1876.
- [36] 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**, vol.58, 1995. pp. 675-683.
- [37] ASTM D276-98. “Standard Test Method for Identification of Fiber in Textiles” Philadelphia : **American Society for Testing and Materials**. 1999.

- [38] วีระศักดิ์ อุคมกิจเดชา. เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์ : ทฤษฎีและการนำไปใช้. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.
- [39] กุลชล บุญสวัสดิ์. “สมบัติทางกายภาพและสมบัติการเชื่อมติดสีของไหมต่อกิ่งด้วย 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตและเมทิลเมทาคริเลต.” วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2549.
- [40] G. Freddi, M. Tsukada and S. Beretta. “Structure and Physical Properties of Silk Fibroin / Polyamide Blend Films” **Journal of Applied Polymer Science**, vol.71, 1999. pp. 1563-1571.
- [41] H. Zhang, J. Magoshi, M. Becker, J.Y. Chen and R. Matsunaga. “Thermal Properties of *Bombyx Mori* Silk Fibers” **Journal of Applied Polymer Science**, vol.86, 2000. pp. 1817-1820.
- [42] Lin-Vien D., N.B. Colthup, W.G. Fateley, and J.G. Grasselli. **The Handbook of Infrared and Raman Characteristic Frequencies of Organic Molecules**. New York : Academic Press. 1999.

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่งด้วย HEMA ที่ความเข้มข้น 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 M. ที่เวลา 15 30 45 60 และ 120 นาที

HEMA	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง (% weight gain)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.1 M.	15.97 ± 0.88	15.77 ± 0.23	15.70 ± 0.50	15.45 ± 0.71	14.86 ± 0.50
0.2 M.	24.88 ± 2.53	29.73 ± 0.99	28.00 ± 2.25	30.18 ± 1.50	29.81 ± 1.29
0.3 M.	27.19 ± 5.16	37.98 ± 1.53	37.23 ± 1.64	46.58 ± 2.08	48.17 ± 1.90
0.4 M.	38.26 ± 1.61	50.72 ± 1.46	49.67 ± 1.75	61.56 ± 1.59	65.66 ± 2.04

ตารางที่ 2 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่งด้วย Silane A-172 ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 M. ที่เวลา 15 30 45 60 และ 120 นาที

Silane A-172	เปอร์เซ็นต์น้ำหนักเส้นใยที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง (% weight gain)				
	เวลา (นาที)				
ความเข้มข้น	15 min	30 min	45 min	60 min	120 min
0.2 M.	0.22 ± 0.17	1.43 ± 0.24	2.72 ± 0.24	1.38 ± 0.23	3.30 ± 0.98
0.4 M.	9.13 ± 2.06	8.34 ± 1.47	8.41 ± 0.41	9.96 ± 1.45	11.02 ± 1.66
0.6 M.	15.15 ± 2.67	15.03 ± 2.19	14.06 ± 2.54	11.36 ± 1.26	14.90 ± 1.48
0.8 M.	15.33 ± 2.71	17.90 ± 2.52	16.98 ± 2.75	18.17 ± 2.79	15.83 ± 1.98

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	จิราธร บุญญา
วันเกิด	25 เมษายน 2524
สถานที่เกิด	อ.เมือง จ. อุบลราชธานี
การศึกษา	- ระดับปริญญาตรี (วท.บ.เคมี) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร สำเร็จการศึกษา พ.ศ. 2547 - ระดับปริญญาโท (วท.ม.เทคโนโลยีพอลิเมอร์) ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง