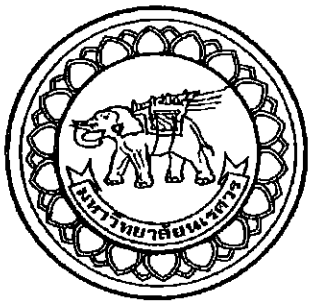


สมบัติของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต

PROPERTIES OF SILK (*BOMBYX MORI*) GRAFTED BY METHYL METHACRYLATE (MMA)

นางสาวศศิธร สะตะ รหัส 48365309

นางสาวสุรีย์รัตน์ แสงทอง รหัส 48365330

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 13 ก.ค. 2553
เลขทะเบียน 19060011
เลขเรียกหนังสือ ฟร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ศ291 ส 2552

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2552

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	สมบัติของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวศศิธร	สะตะ	รหัส 48365309
	นางสาวสุรีย์รัตน์	แสงทอง	รหัส 48365330
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์		
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2552		

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์)

.....กรรมการ
(ดร.นพวรรณ โม้ทอง)

.....กรรมการ
(อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่)

.....กรรมการ
(อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	สมบัติของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวศศิธร สะตะ รหัส 48365309
	นางสาวสุรีย์รัตน์ แสงทอง รหัส 48365330
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมวัสดุ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติของเส้นใยไหมด้วยวิธีการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA) โดยความเข้มข้นของสารละลาย MMA ที่ใช้ในการต่อกิ่ง คือ 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร อัตราส่วนวัตถุต่อของเหลวที่ใช้คือ 1:20 เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหม (%Weight gain) เพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของ MMA เพิ่มขึ้น ส่วนสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA พบว่าจะมีแรงที่ใช้ในการดึง (Load) สูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว แต่มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ต่ำกว่าเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว และมีค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) สูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว ส่วนสมบัติทางกายภาพในด้านการดูดซับความชื้น (%Moisture regains) ของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA จะมีความสามารถในการดูดซับความชื้น (%Moisture regains) น้อยกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาอย่างดียิ่งจาก อาจารย์ศิริกาญจน์ ขันสัมฤทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ได้ให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างยิ่ง ผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ที่ดีเยี่ยม และขอกราบขอบพระคุณอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ ดร.นพวรรณ โม้ทอง อาจารย์กฤษณา พูลสวัสดิ์ อาจารย์ชุลีพรย์ ป่าไร่ และอาจารย์ปิยนันท์ บุญพยัคฆ์ ที่กรุณาสละเวลา เป็นอาจารย์สอบโครงงาน พร้อมทั้งให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ และข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขโครงงานนี้

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมโยธา และภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่อนุเคราะห์ให้ใช้ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ อุปกรณ์ ตลอดจนเครื่องจักรต่างๆ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์อย่างใกล้ชิดและเป็นกันเอง

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และอบรมสั่งสอนให้ผู้จัดทำเป็นคนที่ดีของสังคม

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนที่คอยให้ความช่วยเหลือ ให้กำลังใจ และให้คำปรึกษาในการทำโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้กำลังใจ เป็นที่ปรึกษา และคอยให้ทุนสนับสนุนในการทำโครงงานนี้จนสำเร็จลุล่วงได้อย่างดี

คุณค่า และประโยชน์อันพึงมีจากโครงงานนี้ ทางผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
ศศิธร สะตะ
สุรีย์รัตน์ แสงทอง
มีนาคม 2553

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญรูป ..... ช
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output) 1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome) 2
1.5 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt Chart) 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 4
2.1 ไหม (Silks) 4
2.2 โครงสร้างของโปรตีนเส้นใยไหม 4
2.3 สมบัติของเส้นใย (Properties of Silks) 7
2.4 การปรับปรุงเส้นใยไหมด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Treatment of Silks) 11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate · MMA) 13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 17
3.1 วัสดุและสารเคมี 17
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ 17
3.3 แผนการดำเนินงาน 18
3.4 ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน 19

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 23
4.1 การลอกกาวเส้นใยไหม 23
4.2 ศึกษาการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วย MMA 25

บทที่ 5 บทสรุปผลกข้อเสนอแนะ 38
5.1 สรุปผล 38
5.2 ข้อเสนอแนะ 40

เอกสารอ้างอิง 41

ภาคผนวก ก 42
ภาคผนวก ข 46
ภาคผนวก ค 49

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 55

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ 3

2.1 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบในเส้นใยไหม 7

4.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเส้นใยไหมที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง 25

4.2 แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหม 32

4.3 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break) ของเส้นใยไหม 34

4.4 มอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ของเส้นใยไหม 36

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างของพอลิเพปไทด์(ก) โครงสร้างแบบ α - เฮลิกซ์ (ข)โครงสร้างแบบ β –ชีท 5

2.2 โครงสร้างสามมิติของเส้นใยไหม 6

2.3 ภาพถ่ายเส้นใยไหมภาพ (ก) เป็นภาพตัดขวาง (ข) เป็นภาพตามยาว 8

2.4 โครงสร้างของเส้นใยไหม 9

2.5 โครงสร้างของเมทิลเมทาคริเลต 14

2.6 กระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต 14

3.1 แผนการดำเนินงาน 18

3.2 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง 22

4.1 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) เส้นใยไหมดิบ (ข) เส้นใยไหมลอกกาว 24

4.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ก) เส้นใยไหมดิบ (ข) เส้นใยไหมลอกกาว 24

4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMAที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร 26

4.4 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหม.ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMAที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร 26

4.5 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) เส้นใยไหมลอกกาว (ข) MMA 0.2 โมล/ลิตร (ค) MMA 0.4 โมล/ลิตร (ง) MMA 0.6 โมล/ลิตร (จ) MMA 0.8 โมล/ลิตร 28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.6 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ก) เส้นใยไหมลอกกาว (ข) MMA 0.2 โมล/ลิตร (ค) MMA 0.4 โมล/ลิตร (ง) MMA 0.6 โมล/ลิตร (จ) MMA 0.8 โมล/ลิตร 29

4.7 อินฟราเรดสเปกทราของ (ก) เส้นใยไหมดิบ (ข) เส้นใยไหมลอกกาว 30

4.8 อินฟราเรดสเปกทราของ (ก) เส้นใยไหมลอกกาว (ข) MMA 0.2 โมล/ลิตร (ค) MMA 0.4 โมล/ลิตร (ง) MMA 0.6 โมล/ลิตร (จ) MMA 0.8 โมล/ลิตร 31

4.9 กราฟแสดง แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMAที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร 33

4.10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMAที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร 34

4.11 กราฟแสดงมอดุลัสของยัง (Young's modulus) ของเส้นใยไหม 36

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

MMA = Methyl methacrylate

pH = power of hydrogen ion concentration

SEM = Scanning Electron Microscope

FTIR = Fourier Transform Infrared Spectroscopy

PMMA = polymethyl methacrylate

HEMA = 2-Hydroxyethyl methacrylate

MMA = Methacrylamide

SD = Standard Deviation

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เส้นใยไหมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากเส้นใยธรรมชาติ เป็นเส้นใยที่ได้มาจากโปรตีน เช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ ลักษณะภายนอกของเส้นใยไหมดิบจะเป็นลักษณะของเส้นใยคู่ เกาะติดกันด้วยกาวไหม มีความมัน มีผิวนอกดูเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตามความยาวของเส้นใย และเมื่อสัมผัสกับมือโดยตรง จะรู้สึกว่าเส้นใยไหมจะมีความแข็งและกระด้าง ดังนั้นก่อนนำเส้นใยไหมไปใช้งานจะต้องทำการลอกกาวไหมออกก่อน ซึ่งหลังจากการลอกกาวไหมออกแล้ว เส้นใยไหมจะเป็นเส้นใยเดี่ยวเรียบ และมีน้ำหนักลดลง ดังนั้นจึงต้องเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยไหมได้โดยการตกแต่งด้วยโลหะที่ละลายน้ำ ได้แก่ ดีบุก พลวง สังกะสี โซเดียม และ ซิลิเกต ซึ่งจะทำให้เส้นใยไหมมีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น มีผิวสัมผัสดีกว่าเดิม มีการทิ้งตัว และจับจีบได้ดีขึ้น แต่ปัจจุบันไม่นิยมใช้เพราะการเพิ่มน้ำหนักของเส้นใยไหมด้วยวิธีนี้จะทำให้เส้นใยไหมมีความยืดหยุ่นลดน้อยลง ไม่ทนต่อแสงแดด และราคาแพง อีกทั้งโลหะยังเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตแวดล้อม [1]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีการปรับปรุงเส้นใยไหมโดยการดัดแปลงด้วยวิธีการทางเคมี โดยวิธีการต่อกิ่งด้วยพอลิเมอร์ ซึ่งพอลิเมอร์ที่นำมาใช้ก็คือ เมทิลเมทาคลิเลต (Methyl methacrylate : MMA) เนื่องจากเมทิลเมทาคลิเลตจะไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และสิ่งแวดล้อม เพราะสามารถนำมาใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องสำอาง และใช้ในการผลิตเครื่องมือทางการแพทย์ และเมื่อหลังจากทำการต่อกิ่งด้วย MMA สมบัติต่างๆ ที่เป็นข้อด้อยของเส้นใยไหมลอกกาวจะดีขึ้น เช่น การคืนตัวจากการยับ มีความยืดหยุ่นสูง ความทนทานต่อการขัดถู ทนต่อแสงแดด และเหงื่อ เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้ว ด้วยวิธีการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA)

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม ก่อนและหลังการต่อกิ่ง

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA) ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 06 และ 0.8 โมล/ลิตร

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา ของเส้นใยไหมหลังทำการต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA) ที่ความเข้มข้น 0.2 , 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร

1.5 ขอบเขตของโครงงาน

1.5.1 ตัวแปรที่ควบคุม

- เส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวด้วยสบู่-โซดา

1.5.2 ตัวแปรที่ศึกษา

- ความเข้มข้นของ MMA ที่ใช้ในการต่อกิ่ง

1.5.3 ศึกษาผลของสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสัณฐานวิทยา ที่ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของ MMA ในการต่อกิ่ง

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมอุตสาหการ

1.6.2 อาคารปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล

1.6.3 ห้องปฏิบัติการทางเคมีวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

1.6.4 สำนักหอสมุดมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

กรกฎาคม 2551 - เมษายน 2552

1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินการ (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

ลำดับ	การดำเนินงาน	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1	ศึกษาค้นคว้าบทความที่เกี่ยวข้อง	←→									
2	จัดหาเส้นใยไหมและสารเคมี		←→								
3	ดำเนินการวิจัยและทดลอง			←→			←→				
4	ตรวจสอบและแก้ปัญหา							←→			
5	สรุปผลการดำเนินงานวิจัย								←→		
6	จัดทำเอกสารดำเนินงานวิจัย									←→	
7	ตรวจสอบและแก้ไขเอกสาร										←→

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ไหม (Silks)

ไหมเป็นราชินีแห่งเส้นใยที่ได้จากโปรตีน ที่หนอนไหมขับออกมาเพื่อป้องกันตัวเองขณะเป็นดักแด้ เส้นใยที่ได้มีความยาวต่อเนื่อง (Filaments) เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากโปรตีนเช่นเดียวกับเส้นใยขนสัตว์ คือ เส้นใยไหมมีปริมาณซัลเฟอร์เล็กน้อยมาก โดยทั่วไปสามารถจำแนกไหมออกเป็นสองชนิดดังนี้คือ [2]

2.1.1 ไหมเลี้ยง (Mulberry silk) เป็นหนอนไหมที่มนุษย์เพาะเลี้ยง โดยให้อาหาร คือ ใบหม่อน (Mulberry leaves) สดๆ ซึ่งไหมชนิดนี้มีสีค่อนข้างขาว และหลังจากลอกกาวจะมีความมันเงาเพิ่มขึ้น [1]

2.1.2 ไหมป่า (Wild silk) เป็นไหมที่มนุษย์ไม่ได้เพาะเลี้ยง โดยปกติไหมทาซาร์ (Tussah silk) มีแหล่งกำเนิดอยู่ที่จีนและอินเดีย เลี้ยงด้วยใบโอ๊ค ซึ่งไหมป่าจะให้เส้นใยที่มีสีน้ำตาล หยาบและไม่สม่ำเสมอ เมื่อเทียบกับเส้นใยจากการเลี้ยง

ไหมไทยส่วนมากถือว่าเป็นไหมเลี้ยง ซึ่งเป็นตัวอ่อนของผีเสื้อกลางคืนชนิดหนึ่งเป็นแมลงในอันดับเลพิดอปเทอรา มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Bombyx mori* มีชื่อสามัญว่า Silkworm วงศ์ Bombicidae เป็นพันธุ์ไหมที่มีคุณภาพดีที่สุด นิยมเลี้ยงกันมากในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย ปัจจุบันการเลี้ยงไหมและการผลิตไหมได้รับการส่งเสริมให้ทำเป็นระบบอุตสาหกรรมการเลี้ยงไหม (Sericulture) ซึ่งเป็นระบบที่ได้รับการพัฒนามาจากประเทศญี่ปุ่น แต่มีลักษณะที่แตกต่างกัน เนื่องจากเส้นใยมีสีเหลืองและค่อนข้างหยาบไหมไทยมีส่วนประกอบที่เป็นกาวไหมปริมาณมากถึง 38 เปอร์เซ็นต์มากกว่าไหมเลี้ยงชนิดอื่นๆซึ่งมีกาวไหมเพียง 20 - 25 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ทำให้เส้นใยไหมไทยมีลักษณะเฉพาะตัวเมื่อทอผ้า ไหมไทยมีลักษณะที่หรูหรา สวยงาม มีเอกลักษณ์เป็นของตัวเอง ซึ่งเส้นใยอื่นไม่สามารถเทียบได้ มีสมบัติเหมาะแก่การทำเป็นเสื้อผ้าเพราะให้ความสบาย ความสวยงาม ดูมีค่า มีความทนทาน และแข็งแรงที่สุด ในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมด [1]

2.2 โครงสร้างของโปรตีนเส้นใยไหม

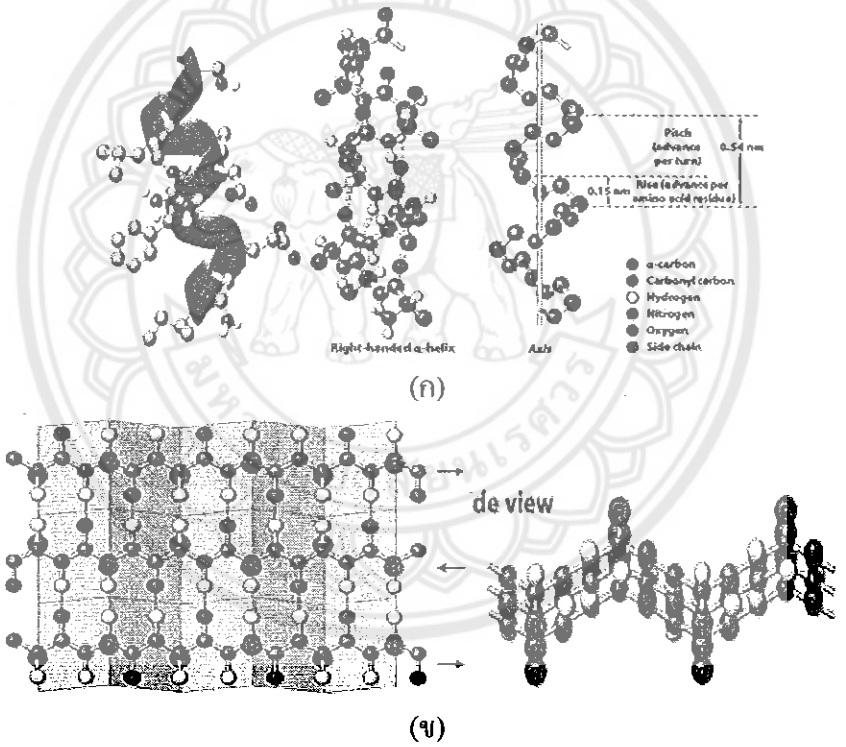
จำแนกโครงสร้างของโปรตีนได้เป็น 4 แบบ คือ

1.โครงปฐมภูมิ (Primary Structure)โครงสร้างแบบนี้เป็นโครงสร้างแบบพื้นฐานที่สุด หมายถึง โครงสร้างโมเลกุลเส้นยาวที่ต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ และรวมถึงพันธะไดซัลไฟด์

2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary Structure) โดยทั่วไปโมเลกุลที่เป็นเส้นยาว จะไม่คงอยู่ในสภาพที่เป็นเส้นยาว แต่จะจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเกิดเป็นโครงทุติยภูมิ 2 แบบ คือ แอลฟาเฮลิกซ์และแผ่นจีบแบบเบต้า

2.1 เอลฟาเฮลิกซ์ (α - Helix) สายโซ่ยาวจะขดตัว โดยมีแขนของหมู่อะมิโนยื่นออกด้านนอก โดยที่มีแรงของพันธะไฮโดรเจนระหว่างออกซิเจน (O) ของหมู่คาร์บอนิล และไฮโดรเจน (H) ของ — NH — จะยึดโมเลกุลไว้ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 2.1 (ก) ตัวอย่างโปรตีนที่มีโครงสร้างแบบนี้คือ myosin โปรตีนของกล้ามเนื้อ α – keratin ในผม ขนสัตว์ เล็บ

2.2 แผ่นจีบแบบเบต้า (β – Pleated sheet) โมเลกุลจะมาเรียงตัวกันเป็นแผ่นขนานกัน แรงพันธะไฮโดรเจนระหว่างแผ่นโมเลกุลที่ขนานกัน เป็นแรงยึดโมเลกุลไว้ด้วยกัน หมู่ R จะชี้ขึ้นด้านบนและด้านล่างของแผ่นที่ขนานกัน พบโครงสร้างชนิดนี้ในไฟโบรอิน ดังรูปที่ 2.1 (ข)



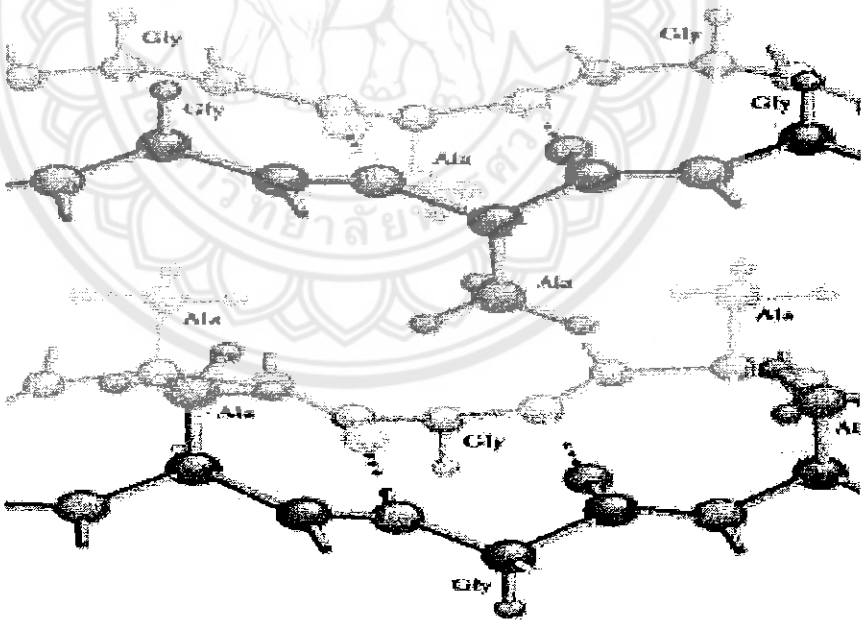
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอลิเพปไทด์ (ก) โครงสร้างแบบ α - เฮลิกซ์ (ข)โครงสร้างแบบ β –ชีท [4]

3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary Structure) โครงสร้างนี้เกิดจากการบิดตัว หรือม้วนตัวของโครงสร้างทุติยภูมิ พบว่าโกลบูลาร์โปรตีนมีการขดตัวมากกว่าไฟบรัสโปรตีน การม้วนตัวจะเป็นไปในลักษณะเก็บกลุ่มไฮโดรฟีลิกชี้ออกด้านนอกตัวอย่าง เช่น myoglobin ในกล้ามเนื้อ

4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quarternary Structure) เป็นโครงสร้างที่เกิดจากพอลิเพปไทด์หลายเส้นมารวมกัน ซึ่งแต่ละเส้นจะมีโครงสร้างของตัวเอง ทั้งแบบ ปฐมภูมิ ทุติยภูมิ และ ตติยภูมิ ตัวอย่าง เช่น ฮีโมโกบิน ประกอบด้วยหน่วยย่อย 4 หน่วย แรงที่ยึดหน่วยย่อยเหล่านี้ไว้ด้วยกันเป็นแรงพันธะไฮโดรเจน และแรงดึงดูดระหว่างประจุต่างชนิดกัน

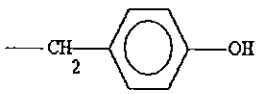
2.2.1 โครงสร้างของไหม (Structure of Silk)

โปรตีนเส้นใยมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ โปรตีนที่เรียกว่าไฟโบรอิน (Fibroin) เป็นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ (ประมาณ 78 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักของเส้นใยไหมดิบ) ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 15 ชนิด กรดอะมิโนหลักๆ ที่พบในเส้นใย ได้แก่ ไกลซีน (Glycine 40 เปอร์เซ็นต์) อะลานีน (Alanine 29 เปอร์เซ็นต์) และเซรีน (Serine 12 เปอร์เซ็นต์) แต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันที่หมู่ R (โซ่ข้าง) ดังแสดงในตารางที่ 2.1 กรดอะมิโนเหล่านี้ต่อกันเป็นสายโซ่ยาวที่เรียกว่า โซ่พอลิเพปไทด์ เป็นเส้นใยยาวที่ขนานกับแกนในลักษณะเป็นเส้นใยหรือเป็นแผ่นมีความแข็งเหนียว และยืดหยุ่นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และมีโครงสร้างปฐมภูมิ คือ $(Gly\text{-}Ala\text{-}Gly\text{-}Ala\text{-}Gly\text{-}Ser)_n$



รูปที่ 2.2 โครงสร้างสามมิติของเส้นใยไหม [5]

ตารางที่ 2.1 สูตรโครงสร้างของกรดอะมิโนที่พบในไหม [1]

ชนิดของกรดอะมีโน	R (โซ่ข้าง)	ชื่อ	สัญลักษณ์
กรดอะมิโนที่เป็นกลาง	—H	ไกลซีน (Glycine)	Gly , G
	$—CH_3$	อะลานีน (Alanine)	Ala , A
	$—CH_2OH$	เซรีน (Serine)	Ser , S
กรดอะมิโนที่โซ่ข้างมีหมู่ OH		ไทโรซีน (Tyrosine)	Tyr , Y
กรดอะมิโนที่เป็นกรด	$—CH_2CH_2COOH$	กรดกลูตามิก (Glutamic acid)	Glu , E
กรดอะมิโนที่เป็นเบส	$—(CH_2)_4NH_2$	ไลซิน(Lysine)	Lys , K

โปรตีนทั้งหลายในธรรมชาติประกอบด้วยสายพอลิเพปไทด์ที่มีโครงสร้างทุติยภูมิ โดยปกติในไฟโบรอินของเส้นใยไหมมักพบโครงสร้างชนิดแบบจีบนี้ ซึ่งแผ่นจีบแบบเบต้ามีด้วยกัน 2 โครงสร้าง คือ แผ่นจีบแบบเบต้าที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไปยัง C ที่อยู่ตรงข้ามกัน เรียกว่า แผ่นจีบแบบแอนติพาราเลล (Antiparallel pleated sheet structure) และแผ่นจีบแบบเบต้าที่สายเพปไทด์ทั้งสองมีทิศทางจากปลายฝั่ง N ไปยัง C เหมือนกันเรียกว่า แผ่นจีบแบบพาราเลล (Parallel pleated sheet structure) ไฟโบรอินของไหมส่วนใหญ่เป็นโครงสร้างแผ่นจีบแบบแอนติพาราเลล [1]

การคำนวณน้ำหนักโมเลกุลของไฟโบรอินทำได้ยาก ทั้งนี้เนื่องจากไฟโบรอินไม่ละลายในสารละลายทั่วไป แต่ละลายสารละลายบางชนิดเท่านั้น เช่น Cupri-ethylendiamine หรือในสารละลายเข้มข้นลิเทียมไอโอไดด์ (Lithium iodide) หรือ ไทร์โอไซยาเนท (Thiocyanate) จากการใช้สารละลายเหล่านี้ร่วมกับการใช้หลักการของการตกตะกอนในเครื่องเหวี่ยงตกตะกอน (Ultracentrifuge) สามารถคำนวณน้ำหนักได้ประมาณ 84,000 กรัม/โมล แต่ถ้าคำนวณจากการอาศัยการวัดสมบัติทางความหนืดจะได้น้ำหนักโมเลกุลประมาณ 50,000 กรัม/โมล หรือมีผู้ใช้การคำนวณโดยอาศัยการวิเคราะห์จากเทอร์มินอลอะมิโนแอซิด (Terminal amino acid) พบว่าน้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วงระหว่าง 80,000-100,000 กรัม/โมล

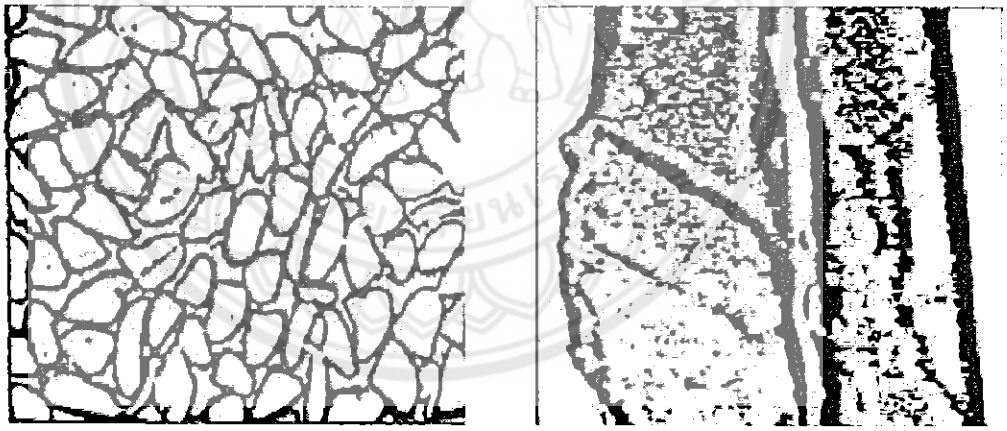
2.3 สมบัติของเส้นใย (Properties of Silks)

สมบัติของเส้นใยจะส่งผลโดยตรงต่อสมบัติการใช้งานเฉพาะด้านของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นต้องเข้าใจและเลือกใช้เส้นใยไหมให้เหมาะสมกับงาน โดยทั่วไปสมบัติของเส้นใยไหมจะถูกกำหนด

จากปัจจัยต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งการศึกษาเส้นใยออกได้เป็นสองส่วนคือ สมบัติทางกายภาพ และสมบัติทางเคมี [1]

2.3.1 สมบัติกายภาพ

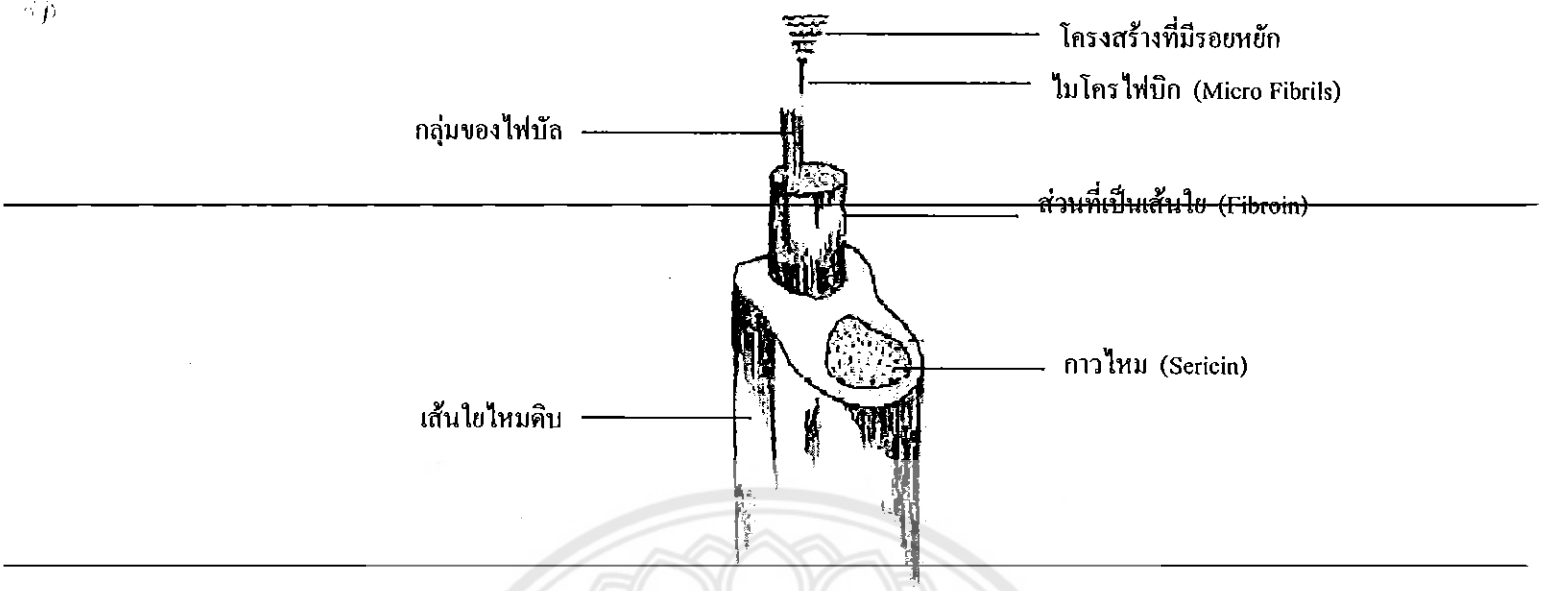
1. ลักษณะที่มองเห็นจากกล้องจุลทรรศน์และรูปร่าง ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น มีความยาวประมาณ 900-1700 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 9-11 ไมครอน สีของเส้นใยไหมดิบจะมีสีเหลืองถึงสีครีม เส้นใยไหมที่นำไปใช้ทอผ้านั้น เกิดจากการพ่นของเหลวที่มีความหนืดจากต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภายในตัวหนอนไหมที่โตเต็มวัย โดยส่วนที่เป็นของเหลวหนืด คือ ไฟโบรอิน จะถูกเคลือบด้วยโปรตีนอีกชนิดหนึ่งที่เรียกว่า เซริซิน ซึ่งเป็นกาวไหมที่ทำให้เส้นใย 2 เส้น ติดกันเมื่อโปรตีนทั้งสองชนิดสัมผัสกับอากาศจะเกิดการแข็งตัวทำให้เส้นใยยึดติดกันกลายเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่อง และเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์จะเห็นรอยแตกตามความยาวของเส้นใยด้านตัดขวางจะมีลักษณะรี ส่วนนอกของเส้นใยเป็นกาวไหมที่หุ้มโปรตีนไฟโบรอิน คล้ายรูปสามเหลี่ยมเรียงคู่กัน ดังแสดงให้เห็นในภาพตัดขวางและภาพตัดตามยาวของเส้นใยไหมทั้งสองชนิด แสดงดังรูปที่ 2.3 (ก) และ รูปที่ 2.3 (ข) และสำหรับเส้นใยไหมป่าจะมีขนาดไม่สม่ำเสมอตลอดความยาว ทำให้ดูคล้ายลิ่นและเส้นใยจะมีความหยาบกระด้าง ไม่เรียบค่อนข้างจะไม่มันเงาเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมบอมบิกซ์โมริ [1]



(ก) (ข)

รูปที่ 2.3 ภาพถ่ายเส้นใยไหมภาพ (ก) เป็นภาพตัดขวาง (ข) เป็นภาพตามยาว [1]

ซึ่งหลังจากการลอกกาวไหมแล้วเส้นใยที่เป็นลักษณะสามเหลี่ยมปลายมนทั้งสองเส้นจะแยกตัวออกมาทำให้เส้นใยมีรูปร่างต่างจากเส้นใยไหมดิบ คือมีความละเอียดกว่าและเส้นใยมีความมันเงาสูงกว่า โดยรายละเอียดของโครงสร้างของเส้นใยดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเส้นใยไหม [1]

2. ความแข็งแรง ไหมมีความแข็งแรงสูงที่สุดในบรรดาเส้นใยธรรมชาติทั้งหมด ด้วยที่ผิวของไหมเรียบมันจึงช่วยลดปัญหาที่เกิดจากการขัดถู สามารถออกแบบผ้าไหมให้มีโครงสร้างเบาบาง และคงทนเนื่องจากเส้นใยไหมความละเอียด และในขณะแห้งและจะลดลงเล็กน้อยเมื่อเปียก (ประมาณ15-25 เปอร์เซ็นต์)

3. ความยืดหยุ่น ไหมเป็นเส้นใยที่มีความยืดหยุ่นดีเปลี่ยนแปลงไปบ้างตามชนิดของพันธุ์และการเจริญเติบโตยืดได้ถึง 20 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวเดิม ไหมมีความยืดหยุ่นไม่ดีเมื่อเทียบกับขนสัตว์เนื่องจากโครงสร้างโมเลกุลของไหมไม่มีพันธะมาจับเชื่อมด้านข้างเป็นโครงข่าย ดังนั้นเมื่อถูกยืดจึงไม่สามารถหดกลับคืนสภาพเดิมได้

4. การคืนตัวจากแรงอัด เส้นใยไหมทนต่อการยืดหดได้ดีเมื่อทำการซักผ้าจะหดแต่เมื่อดึงและรีดจะกลับรูปเดิม ไม่เกิดการยับย่นได้ง่าย

5. การดูดซับความชื้น เส้นใยไหมสามารถดูดซับความชื้นได้ดีในภาวะมาตรฐานสามารถดูดซับความชื้นได้ถึง 11 เปอร์เซ็นต์ ทำให้รับสีย้อมและสีพิมพ์ได้ดี และเมื่อนำมาใช้สวมใส่จะรู้สึกสบาย ไม่ระคายเคืองผิว เนื่องจากผ้าไหมเป็นตัวนำความร้อนไม่ดี จึงรักษาความอบอุ่นได้นานเหมาะแก่การนำไปทำผ้าพันคอ ชุดสูท เป็นต้น

6. ความร้อน เส้นใยไหมสามารถทนความร้อนได้ประมาณ 340 องศาฟาเรนไฮต์ หรือ 170 องศาเซลเซียส ในช่วงสั้นๆ หลังจากนั้นจะเกิดการสลายตัวแต่ดีกว่าขนสัตว์เมื่อโดนรังสีอัลตราไวโอเลตนาน จะมีค่าความแข็งแรงและการยืดตัวลดลง

7. ความถ่วงจำเพาะ เส้นใยไหมมีค่าความถ่วงจำเพาะระหว่าง 1.32-1.33 แต่มีการทิ้งตัวดีแต่เมื่อเพิ่มน้ำหนักไหมจะมีค่าประมาณ 1.60 กรัม

2.3.2 สมบัติทางเคมีของไหม (Chemical Properties of Silks)

เนื่องจากการใช้งานของผ้าไหมมีโอกาสที่จะสัมผัสสารเคมี อุณหภูมิ แสงแดดและสภาวะแวดล้อมต่างๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพหรือสมบัติของไหมเปลี่ยนแปลงไปดังนั้นจึงมีการศึกษาสมบัติทางเคมีเพื่อการนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมดังนี้

1. กรดและด่าง สามารถทำให้เกิดปฏิกิริยา ไฮโดรไลซิสของพอลิเพปไทด์ในเส้นใย ค่าความเป็นกรดเป็นด่างระหว่าง 4-8 จะทำให้เส้นใยเสียหายน้อยมาก

กรดจะทำให้พันธะเพปไทด์ขาดออกจากกัน กรดซัลฟุริก และกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นจะละลายเส้นใยได้ กรดไนตริกทำให้เส้นใยเหลือง ในขณะที่กรดเจือจางจะไม่ทำลายเส้นใยไหม

ด่างจะดัดปลายของพันธะเพปไทด์ออกก่อน โดยด่างโซดาไฟเข้มข้นจะละลายเส้นใยไหมทันทีส่วนด่างอ่อน เช่น สบู่ บอเร็กซ์ หรือแอมโมเนีย จะละลายแค่กาวไหมแต่ถ้าต้มที่เดือดนานๆ อาจละลายเส้นใยไหมได้

2. สารออกซิไดส์และสารรีดิวซ์ เส้นใยไม่ทนทานต่อสารออกซิไดส์ ดังนั้นเวลาฟอกเส้นใยต้องระวังการใช้ไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ที่ใช้สำหรับฟอกไหม แต่เส้นใยไหมจะทนทานต่อสารรีดิวซ์ได้ดี เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์

3. ไหมถูกละลายด้วยสารที่มีส่วนผสมของเกลือคลอไรด์ผสมอยู่ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาดับกลิ่น และ น้ำเกลือทั่วไป โดยเฉพาะเหงื่อจะทำให้ผ้าไหมติดคราบ ดังนั้นการใช้ผลิตภัณฑ์ไหมที่ต้องสัมผัสผิวกาย หลังการใช้งานทุกครั้งจะต้องทำความสะอาด

4. สารละลายอินทรีย์ ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์ไหมจะใช้การซักแห้งอยู่เสมอเนื่องจากโครงสร้างของเส้นใยไหม หรือสีที่ใช้ย้อมทำให้ไหมสามารถทนสารละลายอินทรีย์ทุกชนิด

5. สารซักฟอก ไหมทนต่อสารซักฟอกคล้ายขนสัตว์แต่ถูกทำลายได้ด้วยสารซักฟอกประเภท ออกซิไดส์ เช่น พวกที่มีโซเดียมไฮโปคลอไรท์ผสมอยู่ เพราะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยไหมลดลง ควรใช้สารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ หรือ โซเดียมเปอร์บอเรตจะไม่เกิดผลเสียต่อไหม

6. แสงแดดและความร้อน แสงแดดและความร้อนสูงเป็นเวลานานๆ จะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง และเปลี่ยนเป็นสีเหลืองเนื่องจากทำให้โปรตีนเกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น

7. การย้อมสี ไหมมีความสามารถในการยอมสีได้ดีมาก สามารถย้อมได้ด้วยสีที่เป็นแอซิด สีเบสิก หรือสีวัต สีมอร์แดนท์ เมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์จะได้สีที่เข้มกว่าและย้อมได้ในอุณหภูมิที่ต่ำกว่าด้วย

2.3.3 สมบัติทางชีวภาพ

รานและแมลง ไหมไม่เกิดราได้ง่ายยกเว้นทิ้งไว้ในสภาวะที่ค่อนข้างชื้นเป็นเวลานานๆ แมลงไม่กัดกินหากไม่มีสิ่งสกปรกติดอยู่ที่ผ้า

2.3.4 สมบัติในการติด

ไฟไหมเมื่อติดไฟจะลุกไหม้ช้าๆ เมื่อนำออกมาจากแหล่งให้ความร้อนเปลวไฟจะดับเอง

2.3.5 สมบัติการเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน

เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ไม่ดี ปัจจุบันมีการใช้งานไหมกันอย่างกว้างขวางด้วยไหมมีสมบัติเด่นหลายประการ นอกจากการใช้งานผ้าไหมเป็นไหม 100 เปอร์เซ็นต์ แล้วยังมีการนำไหมไปผสมกับเส้นใยชนิดอื่นได้ด้วย เช่นไหมผสมฝ้าย ไหมผสมลินิน หรือ ไหมผสมขนสัตว์ เป็นต้น

2.4 การปรับปรุงเส้นใยไหมด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Treatment of Silks)

เส้นใยไหมดิบที่ได้จากรังไหมในแต่ละรังมีความแข็งกระด้างและให้สัมผัสที่ไม่ดี เนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีองค์ประกอบของกาวไหม และสารอื่นๆ เคลือบอยู่ ดังนั้นก่อนนำไหมไปใช้งานจำเป็นต้องมีการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหม ก่อนนำไปทำเป็นผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องผ่านกระบวนการลอกกาวไหมและการตกแต่งสำเร็จ เช่น การตกแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติทางความร้อน การตกแต่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติการใช้งาน เป็นต้น

2.4.1 การลอกกาว (Degumming)

เส้นใยไหมเมื่อสาวออกจากรังจะเป็นเส้นใยกระด้างและแข็ง เพราะมีกาวหุ้มอยู่ จึงสามารถลอกกาวออกได้ด้วยสบู่ ซึ่งจะได้เส้นใยไหมที่นุ่มเป็นมันทำให้น้ำหนักไหมลดลงประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ มีสีขาวขุ่นหรือสีครีม และเพื่อเพิ่มความสามารถในการย้อมสีเส้นใยจะต้องมีการฟอกขาวเพื่อกำจัดสีธรรมชาติออกไปด้วย [3]

การลอกกาวออกจากเส้นใยไหมดิบเป็นการลอกกาวเพื่อกำจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยเพื่อให้เส้นใยมีความมันเงามากขึ้น มีวิธีใช้อยู่ทั่วไปดังนี้

1. การลอกกาวด้วยโซดา สารละลายโซดาที่ใช้ในการลอกกาวเส้นใยที่นิยมใช้ คือ Na_2CO_3 และ $NaHCO_3$ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 ชั่วโมง จากนั้นล้างด้วยน้ำอุ่น 40-50 องศาเซลเซียส และน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง วิธีนี้ทำให้ลอกกาวได้สม่ำเสมอ แต่ข้อเสียของวิธีนี้คือ สารเคมีที่ใช้มีความเป็นด่างสูงทำให้เส้นใยมีสมบัติเชิงกลลดลง

2. การลอกกาวด้วยสบู่ การลอกกาวด้วยสบู่เริ่มจากการแช่เส้นใยไหมดิบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วเติมสบู่ 15-20 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใย และต้มต่อเป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ทำให้ได้เส้นไหมที่เงางาม และเรียบสวย ข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้าใช้น้ำกระด้างจะทำให้เกิดไคลสบู่ที่เกิดจาก แคตไอออนในน้ำ เช่น แคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ทำให้เส้นใยที่ได้มีการลอกกาวที่ไม่สม่ำเสมอและมีสีหมองคล้ำ

3. การลอกกาวด้วยเอนไซม์ เอนไซม์ที่ใช้ในการลอกกาวได้ คือ เอนไซม์โปรตีนเอส (Protease enzyme) ชนิดด่างที่มีค่า pH เท่ากับ 9.0-10.5 ที่อุณหภูมิ 40-65 องศาเซลเซียส และที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง เอนไซม์สามารถลอกกาวได้อย่าสม่ำเสมอ แต่ข้อเสียก็คือเอนไซม์ที่ใช้มีราคาแพง และมีกลิ่นรุนแรง

4. การลอกกาวด้วยกรด นำเส้นใยไปต้มในสารละลายที่เป็นกรด แต่วิธีนี้ไม่เป็น ที่นิยมใช้ เนื่องจากปัญหาในการควบคุมคุณภาพของไหมที่ลอกกาว

5. การลอกกาวด้วยไทรเอทิลอะมีน เส้นใยที่ผ่านการลอกกาวด้วยวิธีนี้ จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวด้วยสบู่

6. การลอกกาวด้วย สบู่-โซดา การลอกกาวด้วยสบู่ผสมโซดาจะใช้สบู่ 8-15 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยไหม และ Na_2CO_3 5-8 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักของเส้นใยใช้อัตราส่วนของวัสดุต่อของเหลวเป็น 1:50 ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง หลังจากนำเส้นใยมาล้างด้วยสารละลาย Na_2CO_3 หรือ $NaHCO_3$ ที่เป็นด่างอ่อนกว่าที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส ตามด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง วิธีนี้จัดว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากวิธีหนึ่ง ทำให้ได้เส้นใยที่ขาวและมีความสม่ำเสมอในการลอกกาวมากขึ้น และช่วยลดข้อเสียในการลอกกาวด้วยสบู่จากการใช้สารลดแรงตึงผิวและสารลดความกระด้าง

2.4.2 การตกแต่งสำเร็จด้วยวิธีทางเคมี (Chemical finishing)

การตกแต่งทางเคมีเป็นการตกแต่งโดยใช้สารเคมีมาทำปฏิกิริยากับเส้นใยไหม และเกิดการเปลี่ยนแปลงบางประการขึ้นภายในเส้นใยไหม ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการเปลี่ยนแปลงอย่างถาวรทำให้เส้นใยไหม มีสมบัติบางประการดีขึ้น เช่น เส้นใยไหมเมื่อโดนแสงแดด และความร้อนสูงเป็นเวลานานจะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการปรับปรุงทางเคมี

การตกแต่งสำเร็จด้วยการต่อกิ่งมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาสำคัญ 2 กลไกล คือ การปรับปรุงสมบัติเส้นใยด้วยการต่อกิ่งมอนอเมอร์ และปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ

1. การปรับปรุงเส้นใยด้วยการต่อกิ่งแบบมอนอเมอร์

การปรับปรุงเส้นใยด้วยการต่อกิ่งแบบมอนอเมอร์เป็นอีกวิธีหนึ่งในการปรับปรุงสมบัติต่างๆ ที่เป็นข้อด้อยของไหม เช่น การคืนตัวจากการยับ ความทนทานต่อการขัดถู ความ

คงทนในการติดสีย้อม สมบัติในการซักและสวมใส่และการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเมื่อถูกแสง เป็นต้น สมบัติเหล่านี้สามารถปรับปรุงได้โดย 2 วิธีที่แตกต่างกัน

(ก) การโคพอลิเมอร์ไรเซชันแบบต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ เช่น เมทิลเมทาคริเลต เมทาคริลาไมด์ 2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลต สรีนเอทอกซีเอทิลเมทาคริเลต เมทาคริโลไนไตรล์และไวนิลไตรเมทอกซีไซเน

(ข) ใช้รีเอเจนต์ปรับปรุงสมบัติทางเคมี เช่น ใช้อีพอกไซด์ปรับปรุงสมบัติการย้อมสีด้วยสีแอซิด ความยืดหยุ่นและความคงทนในการติดสีย้อม การซัก เป็นต้น

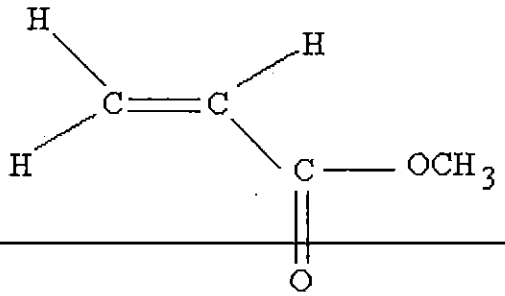
โดยอีพอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับไทโรซีนรวมทั้งกรดอะมิโนที่เป็นกรดและเบส ซึ่งมีในเส้นใยไหม หรือไดเบสิกแอซิดแอนไฮไดรด์ที่มีทั้งอะโรมาติกและอะลิฟาติก สามารถปรับปรุงสมบัติการคืนตัวจากการยับลดการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลืองเมื่อโดนแสงได้โดยไม่ส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของเส้นใยไดเบสิกแอซิดแอนไฮไดรด์จะทำปฏิกิริยากรดอะมิโนที่เป็นเบสเกิดพันธะเคมีกับไหม และไอโซไซยาเนตจะทำปฏิกิริยากับโซ่กิ่งของกรดอะมิโนหลายชนิด ทำให้ไหมที่มีความทนทานต่อกรดและด่างมากขึ้น เป็นต้น

2. การปรับปรุงเส้นใยไหมการทำให้เกิดปฏิกิริยาแบบเติมด้วยอนุมูลอิสระ

พอลิเมอร์ไรเซชันแบบเติมจะเกิดกับมอนอเมอร์ที่มีพันธะคู่อยู่ในโมเลกุล และมอนอเมอร์ที่เกิดปฏิกิริยาชนิดนี้ได้เร็วจะเป็นพวกมอนอเมอร์ที่มีหมู่แทนที่ 2 หมู่ หรือหมู่ที่ดึงอิเล็กตรอนอยู่ที่ตำแหน่งแอลฟาคาบอน เช่น เอทีลีน (Ethylene), ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride), เมทาคริเลต (Mecthacrylate) และอะคริลาไมด์ (Acrylamide) เป็นต้น การเริ่มต้นของปฏิกิริยาจะต้องอาศัยตัวเริ่มต้น ซึ่งอาจจะเป็นฟรีเรดิคัลไอออนบวก หรือ ไอออนลบก็ได้แต่โดยทั่วไปนิยมใช้สารพวกเปอร์ออกไซด์ เป็นตัวเริ่มต้นการแตกตัวเป็นฟรีเรดิคัล

2.5 เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA)

เมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA) เป็นสารประกอบอินทรีย์ มีสูตรโครงสร้างคือ $CH_2=C(CH_3)CO_2CH_3$ อะคริเลต (Acrylates) และ Methacrylates เป็นมอนอเมอร์ที่ใช้ร่วมกับมอนอเมอร์หรือพอลิเมอร์อื่นเพื่อผลิตพลาสติกที่ใช้ในวงการเครื่องสำอาง เวชภัณฑ์ และในอุตสาหกรรมการผลิต

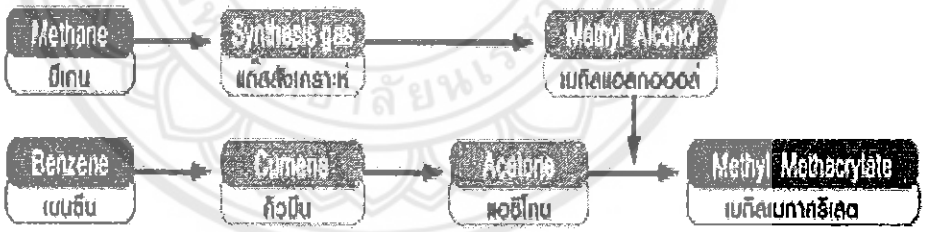


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเมทิลเมทาคริเลต [7]

MMA เป็นของเหลวใส ไม่มีสี ระเหยง่าย ติดไฟง่าย ละลายในน้ำได้เล็กน้อย แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์เกือบทั้งหมด เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันได้ง่าย โดยแสงสว่าง ความร้อน ไอออนในสารละลาย และแคตาลิสต์ ผลิตจากแอซีโทนและไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์พลอยได้ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตแอคริโลไนทริล โรงงานผลิตเมทิลเมทาคริเลตจึงมักตั้งอยู่ใกล้กับโรงงานผลิตแอคริโลไนทริล ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตพอลิเมทิลเมทาคริเลต

และเมื่อนำ MMA มาทำการต่อกิ่งเส้นใยไหมจะทำให้เส้นใยไหมมีสมบัติดีขึ้น เช่น การคืนตัวจากการยับ มีความยืดหยุ่นสูง ความทนทานต่อการขัดถู ทนต่อแสงแดด และเหงื่อ เป็นต้น

2.5.1 กระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA)



รูปที่ 2.6 กระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต [6]

2.5.2 คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

- สถานะของเหลว
- ไม่มีสี
- น้ำหนัก.โมเลกุล : 100.12 กรัม/โมล
- จุดเดือด : 100 องศาเซลเซียส
- จุดหลอมเหลว/จุดเยือกแข็ง : -48 องศาเซลเซียส

- ความถ่วงจำเพาะ(น้ำ=1) : 0.944
- ความหนืด (MPa.sec) : 0.56
- ความดันไอ: 40 มิลลิเมตร.ปรอท ที่ 25.50 องศาเซลเซียส
- ความสามารถในการละลายน้ำที่ : 1.5 กรัม/100 มิลลิตร ที่ 20 องศาเซลเซียส
- สามารถละลายได้เอทานอล และเมทานอล

2.5.3 การใช้ประโยชน์

สารเคมีนี้ใช้เป็นสารในห้องปฏิบัติการ ใช้ในการผลิตสาร Polymethyl Methacrylate (PMMA)

2.5.4 ความคงตัวและการเกิดปฏิกิริยา

- ความเสถียร : สารนี้ที่มีการเติมสารยับยั้ง จะเสถียรที่อุณหภูมิห้อง และระยะเวลาที่จำกัดในการเก็บรักษา
- ไอระเหยของสารนี้ที่ไม่ถูกยับยั้งอาจจะเกิดเป็นสารพอลิเมอร์
- ภาชนะบรรจุอาจจะเกิดการระเบิดอย่างรุนแรง เมื่อเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์
- สภาวะที่ควรหลีกเลี่ยง ไม่มีสารยับยั้ง สารที่เข้ากันไม่ได้ ความร้อน เปลวไฟ
- สารเคมีอันตรายที่เกิดจากการสลายตัว คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนนอกไซด์
- ปฏิกิริยาพอลิเมอร์จะเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น สัมผัสกับสารออกซิไดซ์ สารเปอร์ออกไซด์ หรือแสงแคด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กุลชล บุญสวัสดิ์ [1] ศึกษาการปรับปรุงสมบัติทางกายภาพ และสมบัติการติดสีของเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยไวนิลมอนอเมอร์ที่เลือกใช้ คือ HEMA และ MMA โดยเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางเคมีและสัณฐานวิทยา ระหว่างเส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่ง

- หลังการต่อกิ่ง เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้น
- HEME หลังการต่อกิ่ง มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักการเพิ่มขึ้นของเส้นใยได้ มากกว่า MMA
- อัตราส่วนระหว่างวัสดุกับของเหลว 1:5 ให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมได้ดีที่สุด
- เวลาที่ใช้ในการต่อกิ่งเพิ่ม ความสามารถในการต่อกิ่งก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย

วัฒนา คล้ายรัศมี [8] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางความร้อนและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA) และเมทาคริลามาย (Methacrylamide : MAA) ในตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลกับน้ำที่อัตราส่วนต่างๆ คือ 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 พบว่าความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย

MMA และเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MAA ลดลงเมื่ออัตราส่วนของเอทานอลในตัวทำละลายผสมเพิ่มขึ้น แต่ความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MMA และ MAA มีความสามารถในการต่อกิ่งใกล้เคียงกันในทุกอัตราส่วนของตัวทำละลายผสม นอกจากนี้สมบัติเชิงกลและสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วน 25:75 และ 0:100 เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเมทาคริลาไมด์ และเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MMA กับ MAA ในตัวทำละลายผสมที่อัตราส่วน 25:75 ให้พื้นที่ผิวที่มีลักษณะเรียบสม่ำเสมอ เหมาะแก่การนำไปใช้งานในรูปสิ่งทอแต่สมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งลดลง เมื่อเทียบกับเส้นใยไหมลอกกาว จากการศึกษาโครงสร้างของเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรสโกปี เส้นใยไหมที่ได้มีลักษณะเฉพาะของมอนอเมอร์ที่ใช้ในการต่อกิ่ง นอกจากนี้เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MAA ในตัวทำละลายน้ำมีความสามารถในการดูดซับน้ำสูงสุด ส่วนเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งมีความคงทนต่อกรด และด่างสูงขึ้นยกเว้นเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MAA ที่เปอร์เซ็นต์การต่อกิ่งสูงๆ มีความคงทนต่อด่างลดลง นอกจากนี้เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งมีเสถียรภาพทางความร้อนสูงขึ้น ในส่วนของการย้อมสีเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วยสีย้อมจากขมิ้น สีย้อมแอซิด และสีย้อมเบสิกพบว่าเส้นใยไหมที่ต่อกิ่งมีความสามารถในการดูดซับสี ความคงทนต่อแสง การซัก และเหงื่อสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

ลลิตา บุญโฉม [9] ได้ทำการศึกษาสมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหมต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ โดยทำการศึกษาการลอกกาวด้วยสารเคมีหลายชนิดได้แก่ กราทาร์ทาริก Na_2CO_3 และ $NaHCO_3$ ในช่วงอุณหภูมิและช่วงเวลาที่ต่างกันพบว่า ความสามารถในการลอกกาวของเส้นใยไหมเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิและเวลาเพิ่มขึ้น และเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวระหว่าง Na_2CO_3 และ $NaHCO_3$ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที มีสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด จากนั้นศึกษากระบวนการต่อกิ่งด้วยไวนิลมอนอเมอร์ 2 ชนิด คือเมทิลเมทาคริเลต (Methyl methacrylate : MMA) และเมทาคริลามาย (Methacrylamide : MAA) ที่อัตราส่วนต่างๆ ในช่วงอุณหภูมิและเวลาแตกต่างกันพบว่า เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MMA และ MAA มีปริมาณของเส้นใยไหม ที่เพิ่มขึ้นและมีพื้นผิวที่ขรุขระเนื่องจากมีโอลิโกเมอร์ของมอนอเมอร์ทั้งสองชนิดเกาะอยู่

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

3.1 วัสดุและสารเคมี

1. เส้นใยไหมดิบพันธุ์ *(Bombyx mori)* จากจังหวัดขอนแก่น
2. โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate : Na_2CO_3) เกรดปฏิบัติการ จากบริษัท CARLO ERBA
3. โซเดียมไบคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate : $NaHCO_3$) เกรดปฏิบัติการ จากบริษัท CARLO ERBA
4. สบู่ (Span 80) ยี่ห้อ ลักซ์
5. มิอนอเมอร์เมทิลเมทาคริเลต (Methyl mecthacrylate : MMA) เกรดปฏิบัติการ จากบริษัท MERCK
6. กรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid : H_2SO_4) จากบริษัท CARLO ERBA ความเข้มข้น 98.3 เปอร์เซ็นต์
7. อะซิโตน (Acetone : CH_3COCH_3) เกรดปฏิบัติการ จากบริษัท CARLO ERBA
8. แอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (Ammoniumpersulfate : $(NH_4)_2S_2O_8$) จากบริษัท CARLO ERBA
9. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH) จากบริษัท CARLO ERBA
10. น้ำกลั่น

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือ

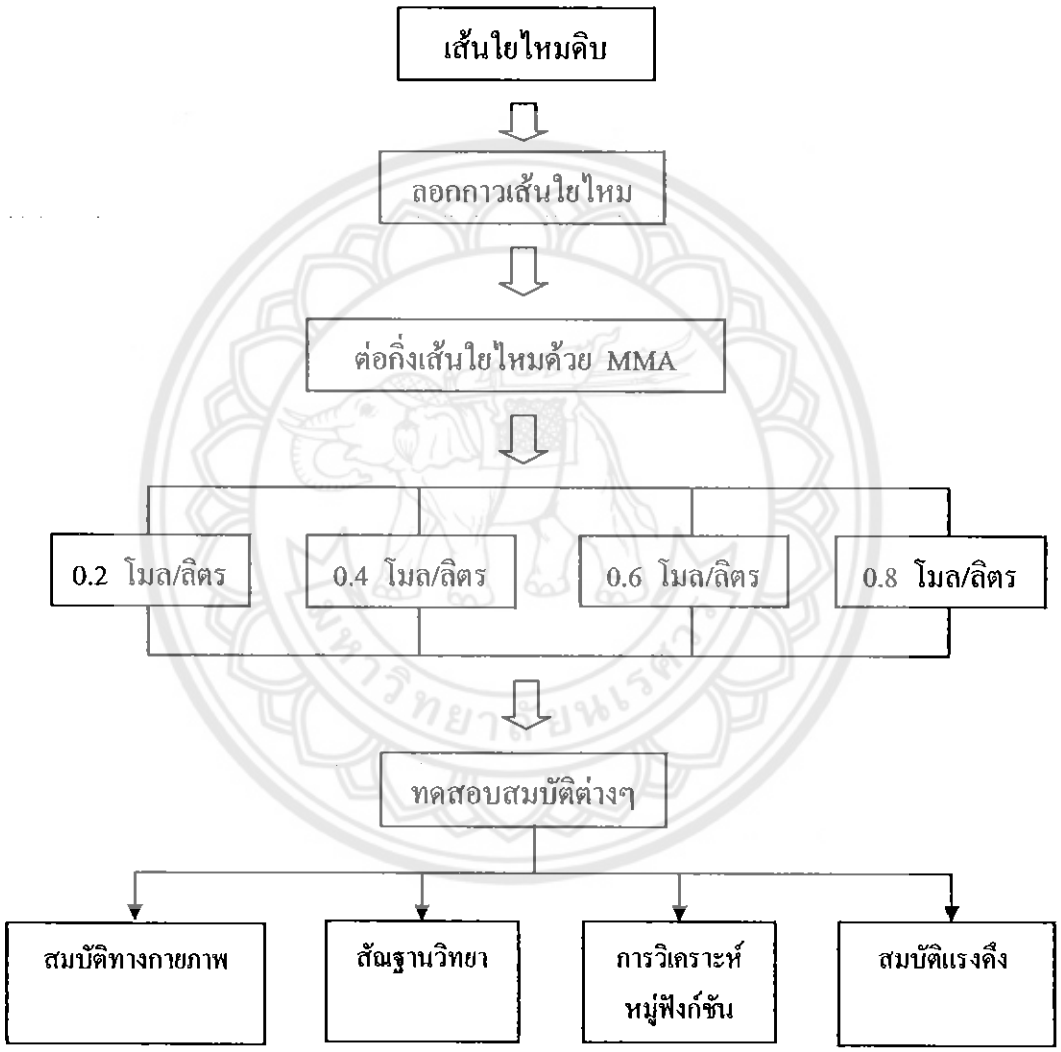
1. บีกเกอร์
2. ขวดวัดปริมาตร
3. แท่งแก้วคนสาร
4. ปิเปต
5. ปากคีบ
6. อ่างควบคุมอุณหภูมิ
7. เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง
8. กระดาษวัด pH
9. เตาอบ
10. ห้องควบคุมอุณหภูมิ
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM)

LEO รุ่น 1455 VP

12. ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโทปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) รุ่น Spectrum GX Perkin Elmer

13. เครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Universal Testing Machine : UTM) รุ่น LR 5K

3.3 แผนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

3.4 ขั้นตอนในการดำเนินโครงงาน

ในงานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนงานวิจัยเป็น 3 ขั้นตอน คือ การลอกกาวเส้นใยไหม การต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วย MMA และขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมได้แก่ การทดสอบสมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกล

3.4.1 การลอกกาวเส้นใยไหมด้วยสบู่-โซดา

1. การเตรียมสารละลายที่ใช้ในการลอกกาวในอัตราส่วนวัสดุต่อสารละลายผสมเป็น 1:30

- สารละลาย Na_2CO_3 0.05 โมล/ลิตร
- สารละลาย $NaHCO_3$ 0.05 โมล/ลิตร
- สบู่ 8 กรัม/ลิตร

2. ชั่งเส้นใยไหมดิบด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งและบันทึกน้ำหนัก

3. แช่เส้นใยไหมดิบในสารละลายไหมลอกกาวผสมของสารละลาย Na_2CO_3 กับสารละลาย $NaHCO_3$ (ในอัตราส่วนสารละลายผสม 1:1) ในอัตราส่วนต่อวัสดุต่อสารละลายผสมเป็น 1:30

4. นำไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5. นำเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวไหมมาล้างด้วยน้ำร้อนและน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ซับให้แห้งและตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งหาน้ำหนักของเส้นใยไหมที่หายไปหลังจากการลอกกาว

6. คำนวณหาน้ำหนักของเส้นใยไหมที่หายไปหลังการลอกกาว (%Weight loss) โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

$$\%\text{Weight loss} = ((w_2 - w_1) / w_1) \times 100 \qquad \textbf{(3.1)}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมก่อนลอกกาว

W_2 คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการลอกกาว

3.4.2 การต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วยเมทริเมทาคริเลต

1. เตรียมสารละลายที่ใช้ในการต่อกิ่งโดยใช้อัตราส่วนระหว่างวัตถุกับสารละลายเป็น 1:20

- สารละลาย MMA 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร ตามลำดับ
- สารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต 0.05 โมล/ลิตร

- กรดซัลฟูริก 0.05 โมล/ลิตร
- อะซิโตน

2. ชั่งน้ำหนักที่แน่นอนของเส้นใยไหมลอกกาวด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง และบันทึกน้ำหนัก

3. นำสารละลาย MMA และสารละลายแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต ที่เป็นตัวเริ่มต้น และปรับ pH ของสารละลายให้มีค่าเท่ากับ 3 โดยใช้กรดซัลฟูริก

4. นำเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแช่ในสารละลายที่ใช้ในการต่อกิ่ง

5. ปิดบีกเกอร์ด้วยกระดาษฟอยล์ให้สนิทเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น

6. นำของผสมที่เตรียมได้ไปแช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่เวลา 30 นาที

7. นำเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งไปล้างด้วยอะซิโตน 2-3 ครั้ง และล้างด้วยน้ำที่อุณหภูมิห้องหลายๆ ครั้ง ตั้งทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำไปชั่งหาน้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากการต่อกิ่ง

8. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเส้นใยไหมที่เพิ่มขึ้น หลังการต่อกิ่ง (%Weight gain)

$$\%\text{Weight gain} = ((w_2 - w_1) / w_1) \times 100 \qquad \textbf{(3.2)}$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมก่อนการต่อกิ่ง

W_2 คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการต่อกิ่ง

3.4.3 ขั้นตอนการทดสอบสมบัติต่างๆ

1. การหาความสามารถในการดูดซับความชื้น (Moisture regains)

1. นำตัวอย่างเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย MMA มาวางทิ้งไว้ในห้องควบคุมความชื้นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง น้ำหนักที่หาได้ในส่วนนี้ คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมที่ดูดซับความชื้น

2. หลังจากนั้นนำเส้นใยไหมที่ได้ไปอบที่อุณหภูมิ 100-105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่งจึงนำค่าที่ได้ทั้งสองค่ามาคำนวณหาค่าความแตกต่างเป็นเปอร์เซ็นต์

ผลต่างที่ได้จะแสดงถึงเปอร์เซ็นต์ของความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหม

$$\%\text{Moisture regains} = ((w_2 - w_1) / w_1) \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ W_1 คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากทิ้งการอบ

W_2 คือ น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากทิ้งไว้ในห้องควบคุมความชื้น

2. สัณฐานวิทยาของเส้นใย

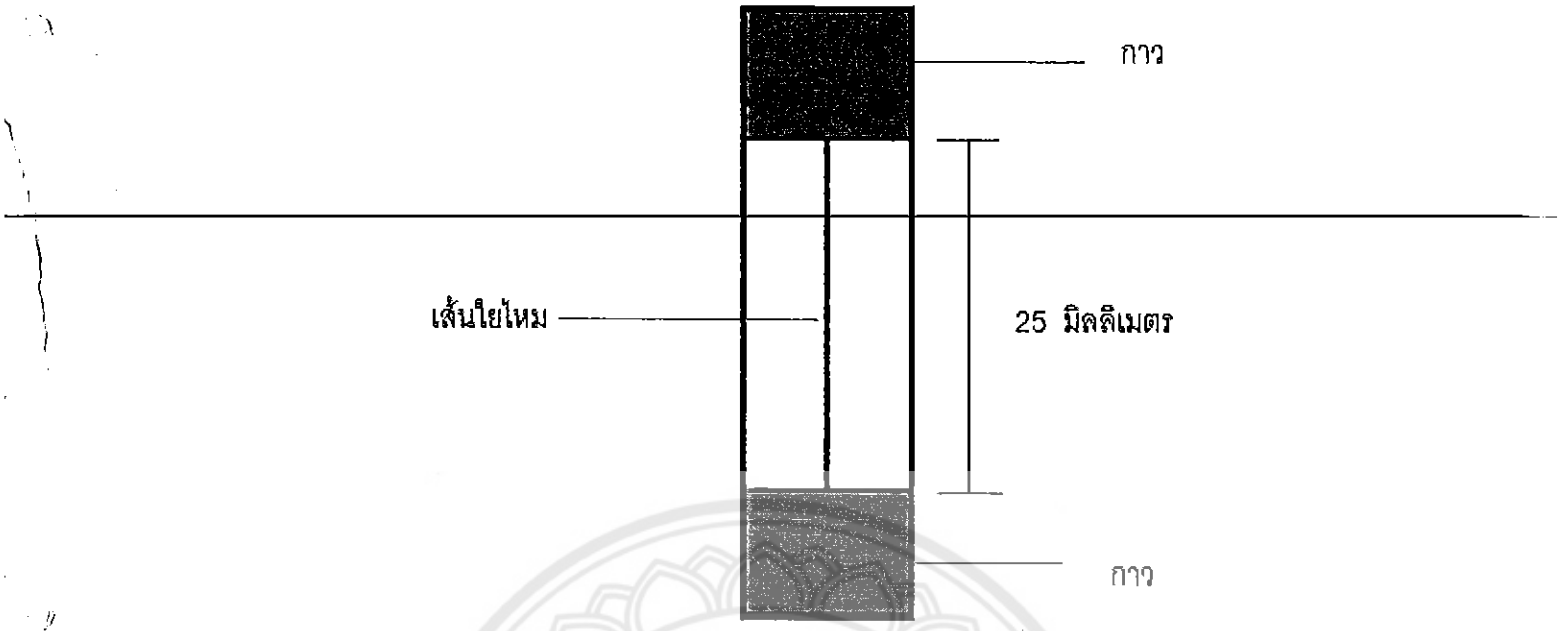
การศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหม เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย MMA โดยใช้เทคนิคของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ก่อนนำเส้นใยไหมไปทำการวิเคราะห์ จะต้องนำเส้นใยไหมไปทำการเคลือบด้วยทองเพื่อป้องกันการเกิดประจุสะสมบนผิวเส้นใยไหม

3. การวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชัน

การวิเคราะห์โครงสร้างของเส้นใยไหมจากการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันระดับโมเลกุลของเส้นใยไหม เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย MMA โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) โดยตัดเส้นใยไหมออกเป็นชิ้นเล็กๆประมาณ 2 มิลลิกรัม มาบดกับโพแทสเซียมโบรไมด์ 200 มิลลิกรัม ทำให้เป็นแผ่นโพแทสเซียมโบรไมด์ ทำการวิเคราะห์เส้นใยในช่วงเลขคลื่น 400-4000 cm^{-1} สแกน 4 รอบต่อ 1 ตัวอย่าง

4. การทดสอบสมบัติทางแรงดึง

ศึกษาหาค่าแรงในการดึง เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด และค่า มอดุลัสของยังของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการดัดแปรโดยการต่อกิ่งด้วย MMA ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Universal Testing Machine : UTM) โดยใช้โหลดเซลล์ (Load cell) ขนาด 500 นิวตัน และใช้ความเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตร/นาที ระยะในการจับชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะในการเตรียมตัวอย่างเส้นใยไหมเพื่อทดสอบสมบัติทางแรงดึง **[1]**

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงของสมบัติเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อกิ่งด้วย MMA (Methyl methacrylate : MMA) โดยจะเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการการต่อกิ่งด้วย MMA ซึ่งมีการแบ่งขั้นตอนการศึกษาออกเป็น การศึกษาสมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา และสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมดิบกับเส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ทำการการต่อกิ่งด้วย MMA

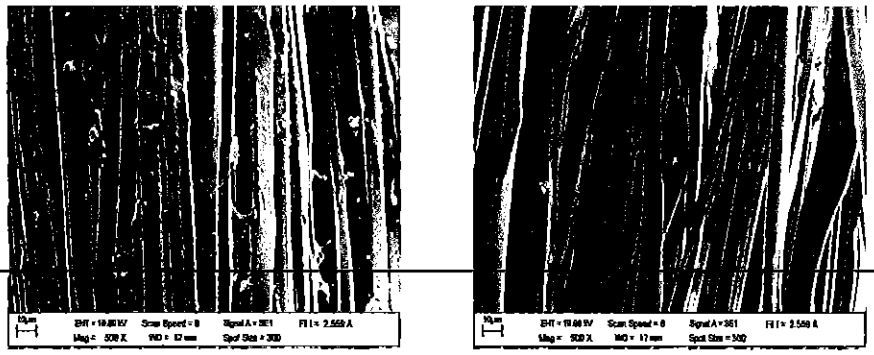
4.1 การลอกกาวเส้นใยไหม

4.1.1 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมที่หายไป (%Weight loss)

เส้นใยไหมดิบก่อนนำไปศึกษา ต้องนำไปลอกกาวของเส้นใยไหมออกโดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่าง Na_2CO_3 และ $NaHCO_3$ (อัตราส่วนสารละลายผสม 1:1) ที่อัตราส่วนต่อวัสดุต่อสารละลายผสมเป็น 1:30 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเส้นใยไหมที่ได้ทำการลอกกาวจะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมที่ลดลง (%Weight loss) เป็น 26.40 เปอร์เซ็นต์ (สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1) เนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีกาวไหมเคลือบอยู่ที่พื้นผิวด้านนอกของเส้นใย เมื่อทำการลอกกาวแล้วจึงทำให้กาวไหมที่เคลือบอยู่หลุดออก จึงทำให้น้ำหนักของเส้นใยไหมดิบลดลง

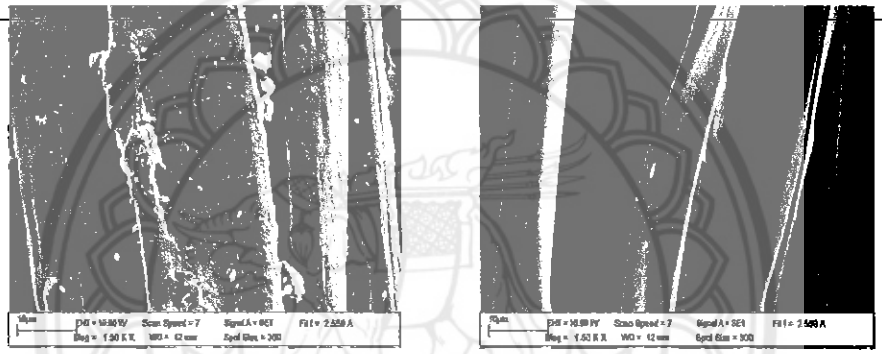
4.1.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว

ในการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมดิบ และเส้นใยไหมลอกกาว จะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 1500 เท่า ซึ่งจะได้ผลดังนี้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) เส้นใยไหมดิบ (ข) เส้นใยไหมลอกกาว



(ก) (ข)

รูปที่ 4.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ก) เส้นใยไหมดิบ (ข) เส้นใยไหมลอกกาว

จากการเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยที่ผ่านการลอกกาวโดยใช้ตัวทำละลายผสมระหว่าง Na_2CO_3 และ $NaHCO_3$ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่าเส้นใยไหมดิบมีลักษณะของเส้นใยคู่เกาะติดกันและพื้นผิวของเส้นใยไหมจะมีลักษณะเรียบเป็นช่วงๆ ไม่สม่ำเสมอเนื่องจากมีกาวไหมเคลือบอยู่ที่พื้นผิวด้านนอกของเส้นใย ส่วนเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวจะมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยไหมดิบ และเส้นใยไหมแต่ละเส้นมีลักษณะแยกออกจากกันไม่ถูกยึดติดกันด้วยกาวไหม ดังเช่นเส้นใยไหมดิบเป็นผลมาจากการลอกกาวไหมออก จากรูปที่ 4.1 ก

4.2 ศึกษาการต่อกิ่งเส้นใยไหมด้วย MMA

4.2.1 ความสามารถในการต่อกิ่ง และความสามารถในการดูดซับความชื้น

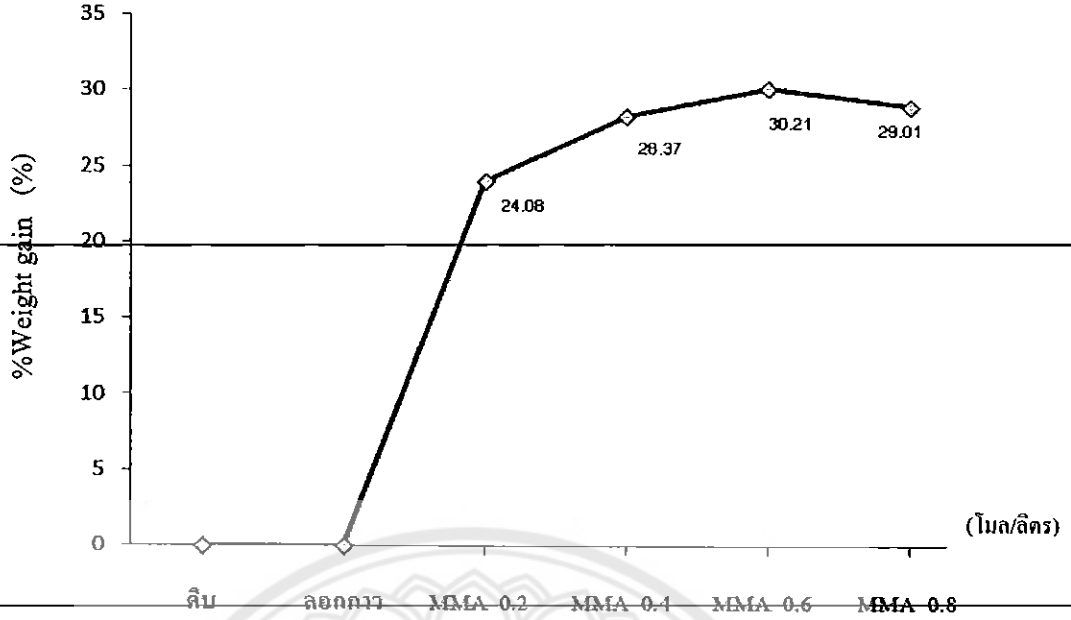
ในการศึกษาความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยไหม สามารถพิจารณาได้จาก (%Weight gain) ทำได้โดยการนำเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วไปชั่งด้วยเครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง จากนั้นนำเส้นใยไหมที่ได้ไปทำการต่อกิ่งด้วยสารละลาย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร ในอัตราส่วนระหว่างวัสดุต่อสารละลายเป็น 1:20 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง นำค่าที่ได้มาพิจารณาความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยไหม โดยสามารถคำนวณได้จากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมที่เพิ่มขึ้น (%Weight gain) ดังสมการที่ 3.2 ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1

ส่วนความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหม สามารถทำได้โดยการนำเส้นใยไหมไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ไปชั่งน้ำหนัก แล้วนำเส้นใยไหมที่ได้ไปทำการดูดซับความชื้น โดยจะใช้สภาวะมาตรฐาน คือ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำเส้นใยไหมที่ได้จากการดูดซับความชื้นไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นที่สูญเสียไป แล้วนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหม (%Moisture regains) ดังสมการที่ 3.3 จะได้ผลดังตารางที่ 4.1

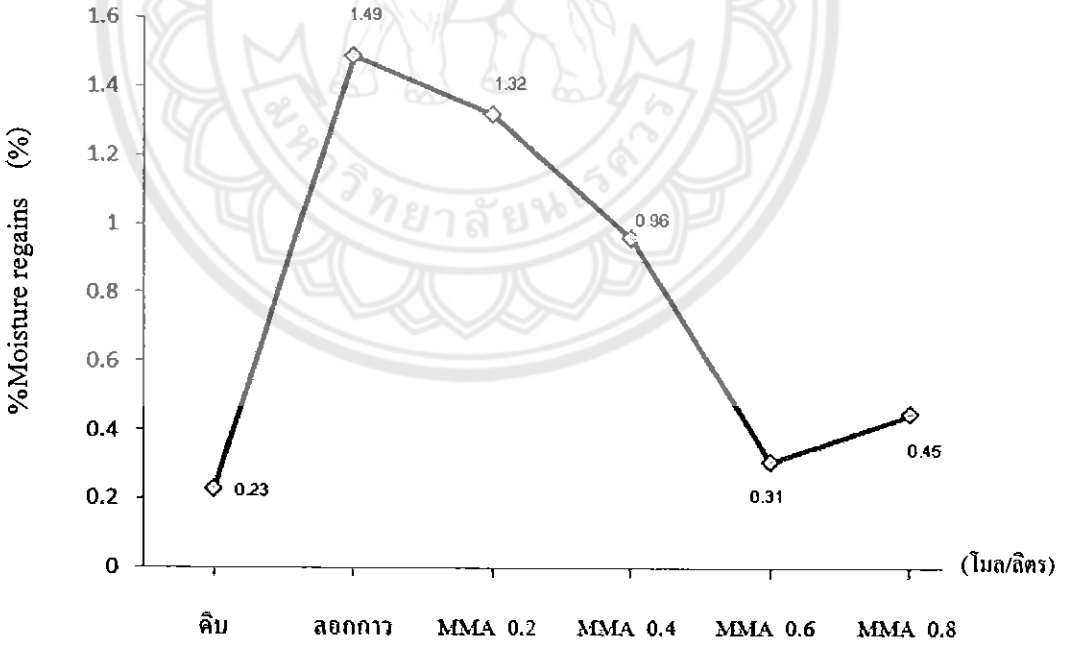
ตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเส้นใยไหมที่เพิ่มขึ้นหลังการต่อกิ่ง (%Weight gain) และความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหม

ชนิดของตัวอย่าง	%Weight gain (%)	%Moisture regains (%)
ไหมดิบ	-	0.23
ไหมลอกกาว	-	1.49
MMA 0.2 โมล/ลิตร	24.08	1.32
MMA 0.4 โมล/ลิตร	28.37	0.96
MMA 0.6 โมล/ลิตร	30.21	0.31
MMA 0.8 โมล/ลิตร	29.01	0.35

I6060011
ม.
ส 2918
2552



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของ เส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMAที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร

จากตารางที่ 4.1 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักของเส้นใยไหม (%Weight gain) และความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหมก่อนและหลังการต่อกิ่ง พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งมี MMA เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหม ส่งผลให้เส้นใยไหมหลังทำการต่อกิ่งมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังการต่อกิ่งเพิ่มมากขึ้น

และเมื่อพิจารณาความสามารถในการต่อกิ่งเส้นใยไหมที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลาย MMA เพิ่มขึ้น ความสามารถในการต่อกิ่งของเส้นใยไหมมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย MMA มีความเข้มข้นมากขึ้น ความสามารถในการต่อกิ่งของสารละลาย MMA บนพื้นผิวของเส้นใยก็มากขึ้นด้วย เนื่องจากมีปริมาณมอนอเมอร์ของ MMA เพิ่มมากโอกาสที่จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอรไรเซชันบนพื้นผิวของ ก็มากขึ้นตามไปด้วย และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งมีปริมาณของสารละลายเพิ่มมากขึ้นจนถึงความเข้มข้นที่ 0.8 โมล/ลิตร จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังการต่อกิ่ง (%Weight gain) เริ่มต่ำลง เนื่องมาจากที่ 0.8 โมล/ลิตร เป็นความเข้มข้นที่มากเกินที่จะเกิดปฏิกิริยาจึงทำให้สารละลาย MMA ที่เกาะอยู่บนเส้นใยไหมเกาะติดกันเป็นสายโซ่ยาว และหลุดออกได้ง่าย จึงทำให้ เปอร์เซ็นต์น้ำหนักหลังการต่อกิ่ง (%Weight gain) ลดต่ำลง

ส่วนความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วยสารละลาย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ผลดังนี้

1. เส้นใยไหมดิบมีความสามารถในการดูดซับความชื้นน้อยกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีองค์ประกอบของกาวไหมเคลือบอยู่ที่ผิวด้านนอก และนอกจากกาวไหมแล้วยังมีสารอื่น ๆ เคลือบอยู่ด้านนอกด้วย เช่น ขี้ผึ้ง คาร์โบไฮเดรต วัตถุมีสี และสารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นส่วนที่ไม่ชอบน้ำมากขึ้น เพราะเหตุนี้เส้นใยไหมดิบจึงมีความสามารถในการดูดซับความชื้นต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาว [1]

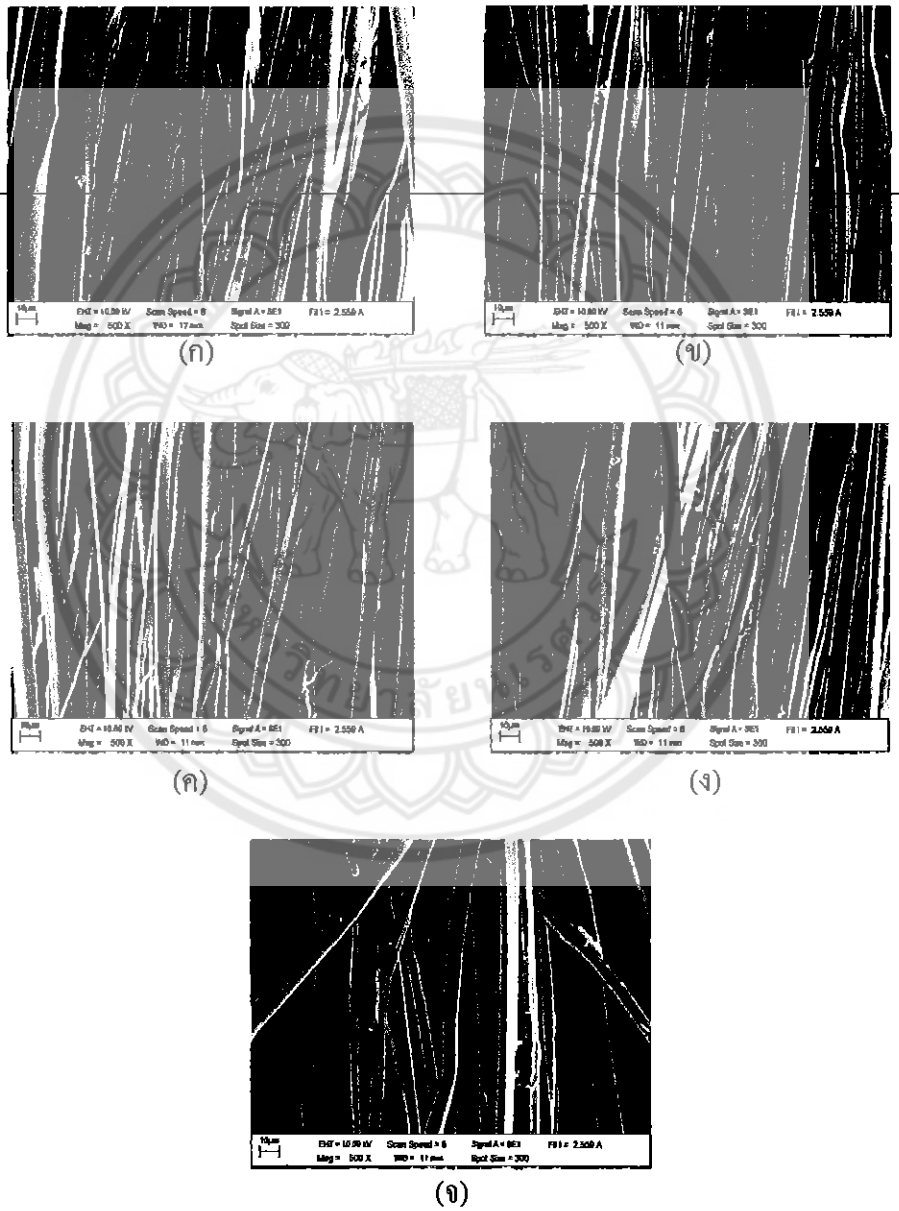
2. เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ มาพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับความชื้นกับเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA มีความสามารถในการดูดซับความชื้นลด เนื่องมาจาก MMA เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ ดังนั้นเมื่อเกิดการพอลิเมอไรเซชัน ของMMAเป็นPMMAเกาะอยู่ที่พื้นผิวของเส้นใยไหม ทำให้เส้นใยไหมมีส่วนที่ไม่ชอบน้ำเพิ่มมากขึ้นด้วย [1]

3. เส้นไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร มาพิจารณาเปรียบเทียบความสามารถในการดูดซับความชื้นพบว่า ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร มีความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลงน้อยที่สุดเนื่องจาก MMA เป็นพอลิเมอร์ที่ไม่ชอบน้ำ และจากการทดลองจะเห็นว่าที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร จะมีน้ำหนักของ

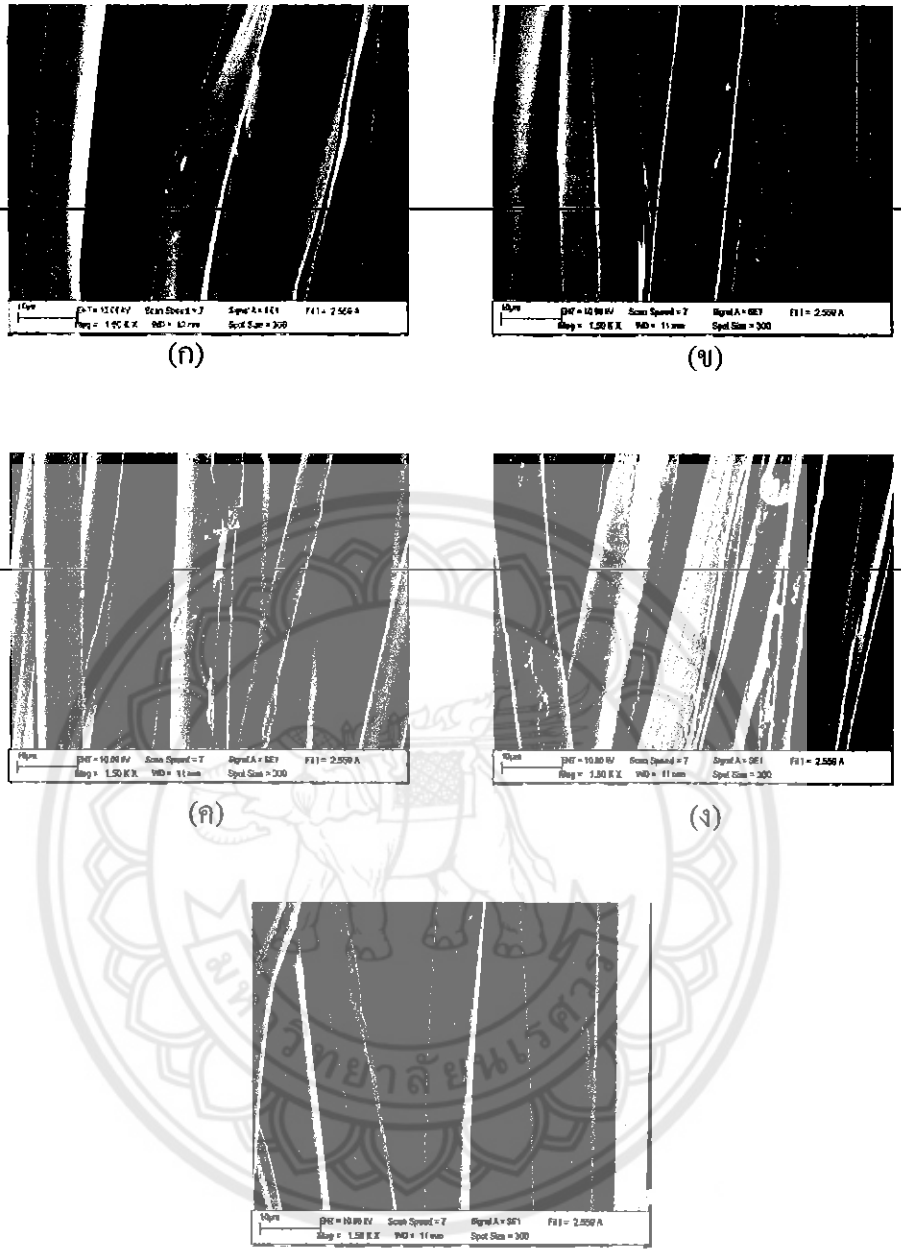
เส้นใยไหมมากที่สุด ซึ่งแสดงว่ามีปริมาณของสารละลาย MMA เกาะอยู่มากที่สุดด้วย เมื่อมีปริมาณสารละลาย MMA มากจึงส่งผลให้ความสามารถในการดูดซับความชื้นน้อยลงตามไปด้วย

4.2.2 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA

ในการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมดิบ และเส้นใยไหมลอกกาว จะใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ที่กำลังขยาย 500 และ 1500 เท่า เพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของพื้นผิว ซึ่งจะได้ผลดังนี้



รูปที่ 4.5 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่กำลังขยาย 500 เท่า (ก) เส้นใยไหมลอกกาว (ข) MMA 0.2 โมล/ลิตร (ค) MMA 0.4 โมล/ลิตร (ง) MMA 0.6 โมล/ลิตร (จ) MMA 0.8 โมล/ลิตร



(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของเส้นใยไหมที่กำลังขยาย 1500 เท่า (ก) เส้นใยไหมลอกกาว (ข) MMA 0.2 โมล/ลิตร (ค) MMA 0.4 โมล/ลิตร (ง) MMA 0.6 โมล/ลิตร (จ) MMA 0.8 โมล/ลิตร

เมื่อเปรียบเทียบลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมลอกกาว กับเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA พบว่าลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA จะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่า เพราะสารละลาย MMA เกาะบนพื้นผิวของเส้นใยไหม ส่งผลให้เส้นใยไหมหลังทำการต่อกิ่งมีพื้นผิวที่ขรุขระ และมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการต่อกิ่งเพิ่มมากขึ้น

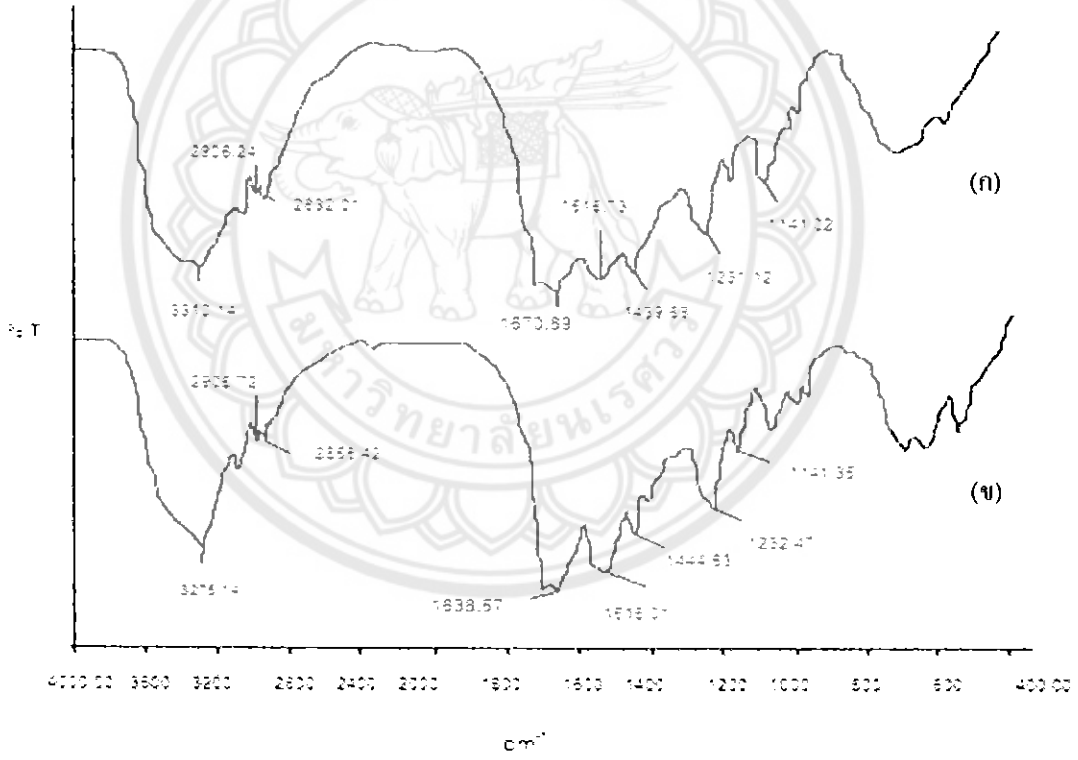
และจากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร พบว่าที่ปริมาณความเข้มข้นของ MMA เพิ่มมากขึ้นพื้นผิวของเส้นใยไหมก็จะขรุขระเพิ่มมากขึ้นด้วย

4.2.3 การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชัน

ในการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังค์ชันทางเคมีของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) ได้ผลดังนี้

4.2.3.1 การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว

ในการเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังค์ชันทางเคมีของเส้นใยไหมทั้งก่อนและหลังการลอกกาว โดยใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) ได้ผลดังนี้

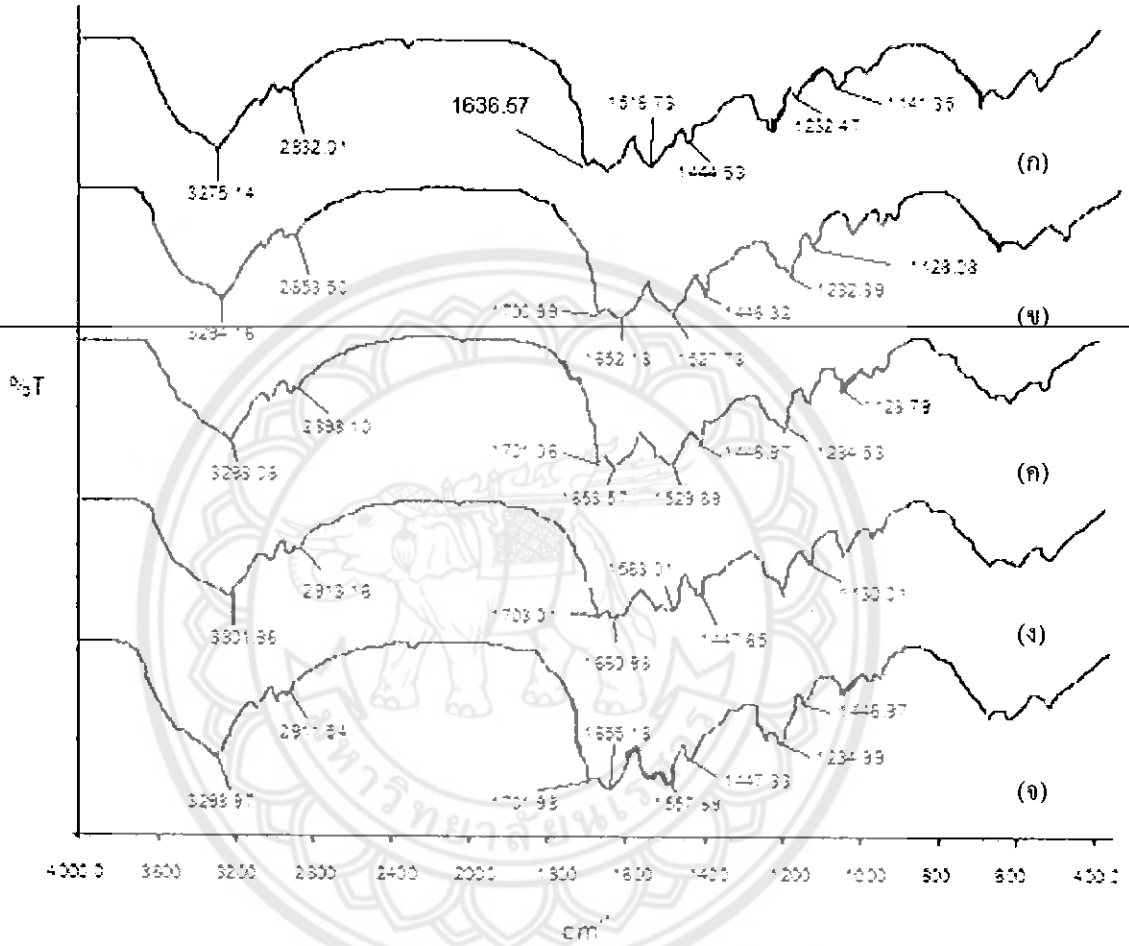


รูปที่ 4.7 อินฟราเรดสเปกทราของ (ก) เส้นใยไหมดิบ (ข) เส้นใยไหมลอกกาว

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกทราระหว่างเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าอินฟราเรดสเปกทราของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวมีแถบการดูดกลืนที่คล้ายคลึงกันยกเว้นในตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญ คือ 3275- 3310 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ N-H stretching ของเส้นใยไหมทั้งสองชนิดโดยลักษณะพีคของเส้นใยไหมดิบในช่วง

เลขคลื่นนี้แคบกว่าเส้นใยไหมลอกกาวและอยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นสูงกว่าไหมลอกกาว ซึ่งความแตกต่างที่เกิดขึ้นคาดว่าอาจเกิดจากองค์ประกอบของกาวไหมที่เคลือบอยู่บนเส้นใยไหมดิบ [1]

4.2.3.2 การเปลี่ยนแปลงหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ



รูปที่ 4.8 อินฟราเรดสเปกทราของ (ก) เส้นใยไหมลอกกาว (ข) MMA 0.2 โมล/ลิตร (ค) MMA 0.4 โมล/ลิตร (ง) MMA 0.6 โมล/ลิตร (จ) MMA 0.8 โมล/ลิตร

จากการเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกทราของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA กับเส้นใยไหมลอกกาวพบว่า เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MMA ทุกความเข้มข้นเกิดแถบการดูดกลืนที่เพิ่มขึ้นจากเส้นใยไหมลอกกาวที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1703-1700 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ C=O stretching ของหมู่เอสเทอร์ซึ่งเป็นหมู่ข้างเคียงของ PMMA และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1252 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ C-O stretching ของหมู่เอสเทอร์ซึ่งเป็นหมู่ข้างเคียงของ PMMA ซึ่งในตำแหน่งเลขคลื่นนี้ เป็นตำแหน่งที่สารละลาย MMA เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหม

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าอินฟราเรดสเปกทราของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ จะพบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1703-1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ C=O stretching และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1235-1232 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ C-O stretching มีแถบการดูดกลืนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกๆ ความเข้มข้น เนื่องจากที่ระดับความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร มีสารละลาย MMA เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหมมากที่สุด ซึ่งสามารถดูได้จากเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการต่อกิ่งมากที่สุดเมื่อเทียบจากระดับความเข้มข้นทั้งหมด

4.2.4 การทดสอบสมบัติเชิงกล

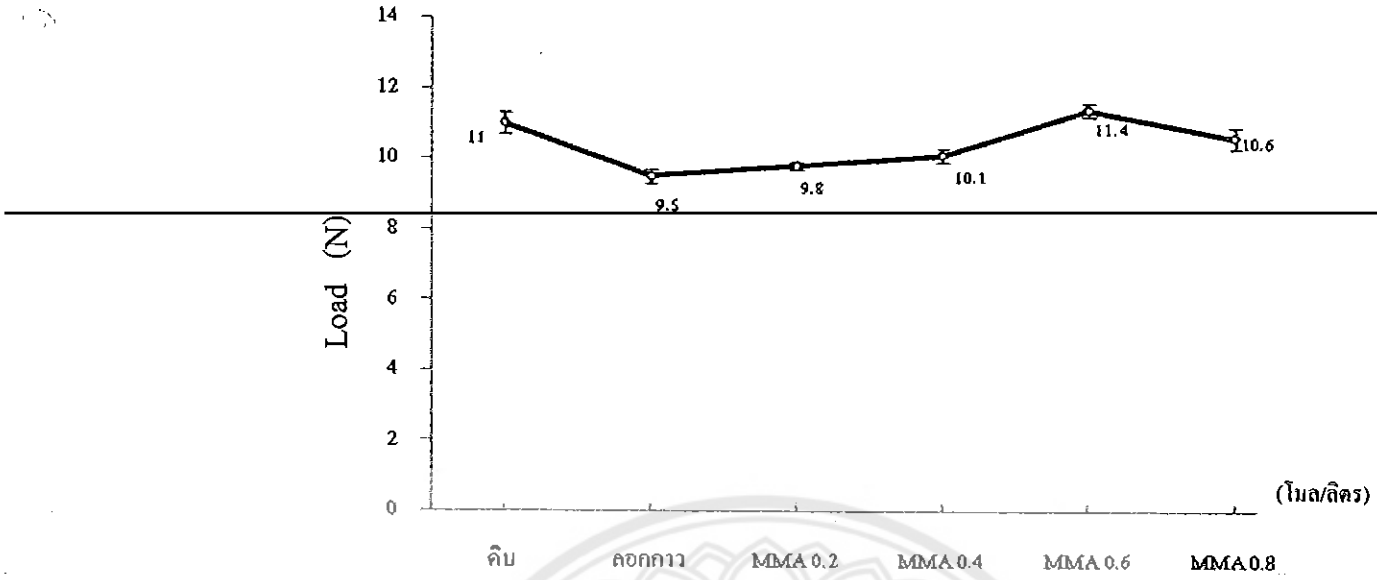
ในขั้นตอนนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของความเข้มข้นของ MMA ที่ใช้ในการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยไหมด้วยวิธีการต่อกิ่ง ซึ่งมีผลต่อสมบัติของเส้นใยไหมเป็นอย่างมาก ซึ่งสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ถูกนำมาศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ แรงที่ใช้ในการดึง (Load) เปอร์เซ็นต์การดึงยืดณ จุดขาด (%Elongation at Break) และค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus)

4.2.3.1 แรงที่ใช้ในการดึง (Load)

ในการหาค่าแรงที่ใช้ในการดึงของ เส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านกระบวนการคัดแปรโดยการต่อกิ่งด้วยMMA ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Universal Testing Machine) โดยใช้โหลดเซลล์ (Load cell) ขนาด 500 นิวตัน และใช้ความเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตร/นาที ระยะในการจับชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.2 แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ

ชนิดของตัวอย่าง	Load (N)	SD
เส้นใยไหมดิบ	11.0	0.3
เส้นใยไหมลอกกาว	9.5	0.2
MMA 0.2 โมล/ลิตร	9.8	0.1
MMA 0.4 โมล/ลิตร	10.1	0.2
MMA 0.6 โมล/ลิตร	11.4	0.2
MMA 0.8 โมล/ลิตร	10.6	0.3



รูปที่ 4.9 กราฟแสดง แรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMAที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร

เมื่อศึกษาและเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการดึง (Load) ของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาวพบว่าเส้นใยไหมดิบมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากเส้นใยไหมดิบจะมีกาวไหมเคลือบอยู่บนเส้นใยไหม ซึ่งเป็นจะตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของเส้นใยไฟโบรอินส่งผลให้เส้นใยไหมมีความสามารถในการต้านแรงที่ใช้ในการดึงได้สูงกว่าเส้นใยไหมที่ได้ลอกกาวออกแล้ว [10]

เมื่อนำเส้นใยไหมลอกกาว มาเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการดึง กับเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งมีแนวโน้มจะมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาวด้วย ลักษณะดังกล่าวเป็นผลมาจาก MMA ที่ใช้ในการต่อกิ่งเกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหม ซึ่งเป็นสาเหตุให้เส้นใยไหมที่ต่อกิ่งด้วย MMA มีความสามรถในการต้านแรงที่ใช้ในการดึงได้สูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการดึงของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ในแต่ละความเข้มข้น พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ในแต่ละความเข้มข้นจะมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงใกล้เคียงกันแต่เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร จะมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงมากที่สุด เนื่องจากที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการต่อกิ่งมากที่สุด และมีสารละลาย MMA เกาะอยู่

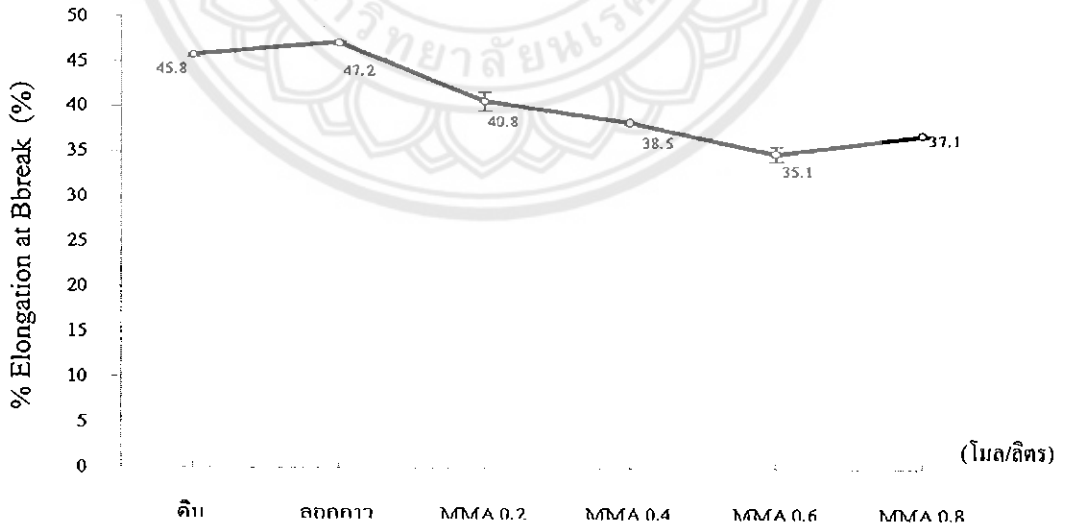
บนพื้นผิวมากที่สุด ด้วยเหตุนี้เส้นใยไหมที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร จึงมีความสามารถในการต้านแรงที่ใช้ในการดึงได้สูงที่สุด

4.2.3.2 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at Break)

ในการหาเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของ เส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Universal Testing Machine) รุ่น LR 5K โดยใช้โหลดเซลล์ (Load cell) ขนาด 500 นิวตัน และใช้ความเร็วในการดึง 30 มิลลิเมตร/นาที ระยะในการจับชิ้นงาน 25 มิลลิเมตร ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.3 เปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด (%Elongation at break) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA

ชนิดของตัวอย่าง	%Elongation at Break (%)	SD
เส้นใยไหมดิบ	45.8	0.2
เส้นใยไหมลอกกาว	47.2	0.2
MMA 0.2 โมล/ลิตร	40.8	1.0
MMA 0.4 โมล/ลิตร	38.5	0.2
MMA 0.6 โมล/ลิตร	35.1	0.8
MMA 0.8 โมล/ลิตร	37.1	0.1



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMAที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร

เมื่อศึกษาและเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ เนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีกาวไหมเคลือบอยู่ที่ผิวของเส้นใยไหม ซึ่งจะเป็นตัวขัดขวางการส่งผ่านแรงของเส้นใยไหมให้ลดลง ส่งผลทำให้เส้นใยไหมดิบมีความสามรถในการยืดต่ำ และเมื่อกำจัดกาวไหมออกไปทำให้ เส้นใยไหมมีความสามารถในการกระจายแรงมากขึ้น ดังนั้นเส้นใยไหมที่ลอกกาวออกแล้วจึงมีความสามารถในการดึงยืดสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ

เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของเส้นใยไหมลอกกาว เปรียบเทียบเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากทำการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งจะมีแนวโน้มในการยืดต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจาก MMA ที่ใช้ในการต่อกิ่ง ไปเกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหม จึงเป็นตัวขัดขวางการส่งผ่านแรงของเส้นใยไหม ทำให้เส้นใยไหมมีความสามารถในการกระจายแรงของเส้นใยไหมลดลง ส่งผลให้เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งมีความสามารถในการดึงยืดลดลง

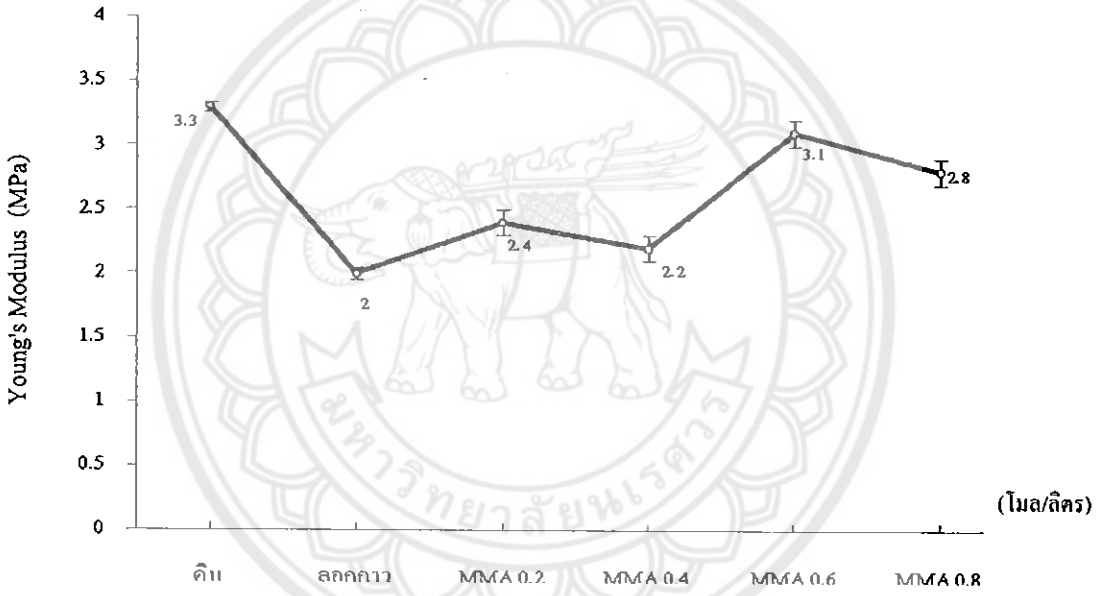
และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากทำการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น เส้นใยไหมในทุกๆ ความเข้มข้น จะมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดลดลงเรื่อยๆ จนถึงที่ระดับความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร จะมีเปอร์เซ็นต์การ ดึงยืด ณ จุดขาดต่ำที่สุด เนื่องจากที่ระดับความเข้ม 0.6 โมล/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากทำการต่อกิ่งมากที่สุด ซึ่งแสดงว่ามีสารละลาย MMA เกาะอยู่มากที่สุดด้วย ดังนั้นจึงทำให้แรงส่งผ่านไปยังเส้นใยไหมได้ยาก จึงทำให้เส้นใยไหมมีเปอร์เซ็นต์การ ดึงยืด ณ จุดขาดต่ำที่สุด และด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งที่ความเข้มข้น 0.8 โมล/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์การ ดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลาย MMA เกิดการอิ่มตัวมากแล้ว จึงทำให้สารละลาย MMA ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหมเกาะติดกันเป็นสายโซ่ยาวและหลุดออกได้ง่าย ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากทำการต่อกิ่งลดลง แรงสามารถส่งผ่านไปยังเส้นใยไหมได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ที่ความเข้มข้น 0.8 โมล/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดเพิ่มขึ้น

4.2.3.3 มอดุลัสของยัง (Young's Modulus)

ในการหามอดุลัสของยังของ เส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ผ่านการต่อกิ่งด้วย MMA ด้วยเครื่องทดสอบสมบัติทางแรงดึง (Universal Testing Machine : UTM) แล้วนำค่าที่ได้มาคำนวณหาค่ามอดุลัสของยัง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากค่า 2 เปอร์เซ็นต์ ความเครียด (Strain) ลบ 1 เปอร์เซ็นต์ ความเครียด (Strain) จากได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4.4 มอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA

ชนิดของตัวอย่าง	Young's Modulus (MPa)	SD
เส้นใยไหมดิบ	3.3	0.04
เส้นใยไหมลอกกาว	2.0	0.05
MMA 0.2 โมล/ลิตร	2.4	0.1
MMA 0.4 โมล/ลิตร	2.2	0.1
MMA 0.6 โมล/ลิตร	3.1	0.1
MMA 0.8 โมล/ลิตร	2.8	0.1



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงมอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหม ที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMAที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร

เมื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของยัง (Young's Modulus) ของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีค่ามอดุลัสสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจากเส้นใยไหมดิบมีกาวไหมที่มีลักษณะเป็นของแข็งสีเหลืองเคลือบอยู่ที่ผิว ทำให้เส้นใยไหมดิบมีความแข็งกระด้างให้สัมผัสที่ไม่ดี และมีความสามารถในการต้านทานแรงสูงแต่จะมีความสามารถในการยืดต่ำ จึงส่งผลให้ค่ามอดุลัสของยังมีค่าสูงขึ้นด้วย

เมื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่ามอดูลัสมอดุลัสของยังของเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าค่ามอดุลัสของยังของเส้นใยไหมที่

ทำการต่อกิ่งด้วย MMA จะมีแนวโน้มสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว เนื่องจาก MMA ที่ใช้ในการต่อกิ่งจะไปเกาะอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยไหม จึงทำให้มีความสามารถในการต้านทานแรงสูงแต่จะมีความสามารถในการยืดต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเหตุให้ค่ามอดุลัสของยังสูงขึ้นตามไปด้วย

และเมื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของยังของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ในแต่ละความเข้มข้นจะมีค่า มอดุลัสของยังสูงขึ้นตามลำดับ จนถึงที่ระดับความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร จะมีค่ามอดุลัสของยังมากที่สุด เนื่องจากที่ระดับความเข้ม 0.6 โมล/ลิตร มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากทำการต่อกิ่งมากที่สุด ซึ่งแสดงว่ามีสารละลาย MMA เกาะอยู่มากที่สุดด้วย จึงทำให้มีความสามารถในการต้านทานแรงสูงแต่จะมีความสามารถในการยืดต่ำ ด้วยเหตุนี้จึงเป็นเหตุให้ค่ามอดุลัสของยังสูงขึ้นตามไปด้วย ส่วนเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งที่ความเข้มข้น 0.8 โมล/ลิตร มีค่ามอดุลัสของยังลดลง เนื่องจากสารละลาย MMA เกิดการอิ่มตัวมากแล้ว จึงทำให้สารละลาย MMA ที่เกาะอยู่บนพื้นผิวของ เส้นใยไหมเกาะติดกันเป็นสายโซ่ยาวและหลุดออกได้ง่าย ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังจากทำการต่อกิ่งลดลง แรงสามารถส่งผ่านไปยังเส้นใยไหมได้ง่ายขึ้น จึงทำให้ที่ความเข้มข้น 0.8 โมล/ลิตร มีค่ามอดุลัสของยังลดลง

บทที่ 5
บทสรุปผลข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

จากการทดลองสมบัติๆ ของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว และเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 การลอกกาวเส้นใยไหม

เมื่อทำการลอกกาวเส้นใยไหมแล้ว ทำให้กาวไหมที่เคลือบอยู่บริเวณพื้นผิวของเส้นใยไหมหลุดออก ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการลอกกาวลดลง เมื่อเทียบกับ เส้นใยไหมดิบ

5.2.2 ศึกษาเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA

1. จากการศึกษาเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับเส้นใยไหมลอกกาว และเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร จะเห็นว่าเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่ที่ 0.8 โมล/ลิตร จะลดลง

2. จากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม พบว่าเส้นใยไหมดิบจะมีลักษณะเป็นเส้นใยคู่เกาะติดกัน และพื้นผิวของเส้นใยมีลักษณะเรียบเป็นช่วงๆ ไม่สม่ำเสมอ ส่วนเส้นใยไหมที่ผ่านการลอกกาวจะมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบสม่ำเสมอมากกว่าเส้นใยไหมดิบ เส้นใยแต่ละเส้นมีลักษณะแยกออกจากกันไม่ถูกยึดติดกันด้วยกาวไหมดังเช่นเส้นใยไหมดิบ และจากการศึกษาสัณฐานวิทยาของเส้นใยไหม พบว่าเมื่อนำเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ มาพิจารณาเปรียบเทียบลักษณะสัณฐานวิทยากับเส้นใยไหมลอกกาวแล้ว จะเห็นว่าลักษณะพื้นผิวของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA จะมีลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระมากกว่าเส้นใยไหมลอกกาว และเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารละลาย MMA มากขึ้น ก็จะมีพื้นผิวที่ขรุขระมากขึ้นเช่นกัน

3. จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นใยไหม พบว่าเส้นใยไหมดิบจะมีความสามารถในการดูดซับความชื้นน้อยกว่าเส้นใยไหมลอกกาว และจากการศึกษาความสามารถในการดูดซับความชื้นของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่ง พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA มีความสามารถในการดูดซับความชื้นลดลงเมื่อเทียบกับเส้นใยไหมลอกกาว และเมื่อเปรียบเทียบเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6 และ 0.8 โมล/ลิตร พบว่าที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร มีความสามารถในการดูดซับความชื้นน้อยที่สุด

4. จากการศึกษาหมู่ฟังก์ชั่นของเส้นใยไหมดิบ และเส้นใยไหมลอกกาว พบว่า อินฟราเรดสเปกทราของเส้นใยไหมดิบ และเส้นใยไหมลอกกาวมีแถบการดูดกลืนที่คล้ายคลึงกัน ยกเว้นในตำแหน่งเลขคลื่นที่สำคัญ คือ 3310 และ 3275 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ N-H stretching ของเส้นใยไหมทั้งสองชนิดโดยพีคของเส้นใยไหมดิบในช่วงเลขคลื่นนี้แคบกว่าเส้นใยไหมลอกกาวและอยู่ที่ตำแหน่งคลื่นสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว และจากการศึกษาหมู่ฟังก์ชั่นโดยวิธีการทางเคมีของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA เทียบกับเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าอินฟราเรดสเปกทราของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA จะให้พีคที่เพิ่มจากอินฟราเรดสเปกทราของเส้นใยไหมลอกกาวในทุกๆ ความเข้มข้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกทราของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร ที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1703-1700 cm^{-1} ซึ่งเป็นการดูดกลืนของ C=O stretching และที่ตำแหน่งเลขคลื่น 1235-1232 cm^{-1} เป็นการดูดกลืนของ C-O stretching มีแถบการดูดกลืนมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับทุกๆ ความเข้มข้น

5. จากการศึกษาสมบัติทางกลของเส้นใยไหมดิบ เส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเมื่อเปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการดึงของเส้นใยไหมดิบและเส้นใยไหมลอกกาว จะเห็นว่าเส้นใยไหมดิบมีค่าแรงที่ใช้ในการดึงสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว และเมื่อทำการศึกษาสมบัติทางกลของเส้นใยไหมลอกกาวกับเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA จะมีเปอร์เซ็นต์น้ำหนักของเส้นใยไหมหลังการต่อกิ่งเพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA มีค่าแรงที่ใช้ในการดึงสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว

6. จากการศึกษาเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด พบว่าเส้นใยไหมลอกกาวมีเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดสูงกว่าเส้นใยไหมดิบ และเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาดของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งกับเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA มีความสามารถในการยืดต่ำกว่าเส้นใยไหมลอกกาว และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดึงยืด ณ จุดขาด ของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร จะมีเปอร์เซ็นต์การ ดึงยืด ณ จุดขาดต่ำที่สุด

7. จากการเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของยังของเส้นใยไหมดิบ และเส้นใยไหมลอกกาว พบว่าเส้นใยไหมดิบมีค่ามอดุลัสของยังสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว และเมื่อเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของยัง ของเส้นใยไหมลอกกาวและเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA พบว่าค่ามอดุลัสของยังของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA มีค่าสูงกว่าเส้นใยไหมลอกกาว และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ามอดุลัสของยังของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งที่ความเข้มข้นต่างๆ พบว่าที่ระดับความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร มีค่ามอดุลัสของยังสูงที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ

นำเส้นใยไหมที่ได้ไปทอเป็นผืน แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น การคืนตัวจากการยับ ความทนทานต่อการขัดถู การทนต่อแสงแดดและเหงื่อ การติดสีย้อม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

[1] กุลชล บุญสวัสดิ์ . 2549 . **" สมบัติทางกายภาพและสมบัติการย้อมติดสีของไหมต่อกิ่งด้วย2-ไฮดรอกซีเอทิลเมทาคริเลตและเมทิลเมทาคริเลต"**. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

[2] สมหญิง ชูประยูร. 2550. **องค์ความรู้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไหมไทย**. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ. หน้า 29 – 34

[3] สถาบันหม่อนไหมแห่งชาติเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าพระบรมราชินีนาถ. **การลอกาวไหมและการฟอกขาวไหม โดย ดร.สิริรัตน์ จารุจินดา**. สืบค้นเมื่อวันที่ 20 สิงหาคม. จาก www.moac.go.th/builder/mu/index.php?page=415&clicksub=415&sub=411

[5] Sandwalk. 2551. **โครงสร้างจตุรภูมิ (Quarternary structure)**. สืบค้นวันที่ 20 สิงหาคม 2551. จาก www.sandwalk.blogspot.com/2008/03/helix.html

[6] ห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ (cyberlab). **โครงสร้างสามมิติของเส้นใยไหม**. สืบค้นวันที่ 20 สิงหาคม 2551. จาก www.cyberlab.lh1.ku.ac.th/.../fibrous%20protein.htm.

[7] ห้องสมุดปิโตรเคมี. **กระบวนการผลิตเมทิลเมทาคริเลต**. สืบค้นวันที่ 20 สิงหาคม 2551. จาก www1.pttchem.com/library/dictionary/methylmethacrylate/index.shtml.

[8] ศูนย์ข้อมูลวัตถุอันตรายและเคมีพันธ์. **โครงสร้างของเมทิเมทาคริเลต**. สืบค้นวันที่ 20 สิงหาคม 2551. จาก: www.msds.pcd.go.th/searchName.asp?vID=172#พื้นฐาน

[9] วัฒนา คล้ายรัสมี. 2547. **"การปรับปรุงสมบัติต่างๆ ของเส้นใยไหมโดยวิธีการต่อกิ่งกับไวนิลมอนอเมอร์ในเอทานอลและน้ำ"**. *วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

[10] ลลิตา บุญโฉม. 2546. **"สมบัติทางกายภาพและการย้อมติดสีของเส้นใยไหมต่อกิ่งด้วยไวนิลมอเนอร์เมอร์"** *วิทยานิพนธ์วิทยาศาตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์บัณฑิตวิทยาลัย คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง*

[11] โรงเรียนบ้านท่ามะปริง . **พอลิเมอร์ (การเกิดพอลิเมอรไรเซชั่น)**. สืบค้นวันที่ 18 เมษายน 2552 .จาก www.thapring.com/Pingpong_web/Polymer.htm

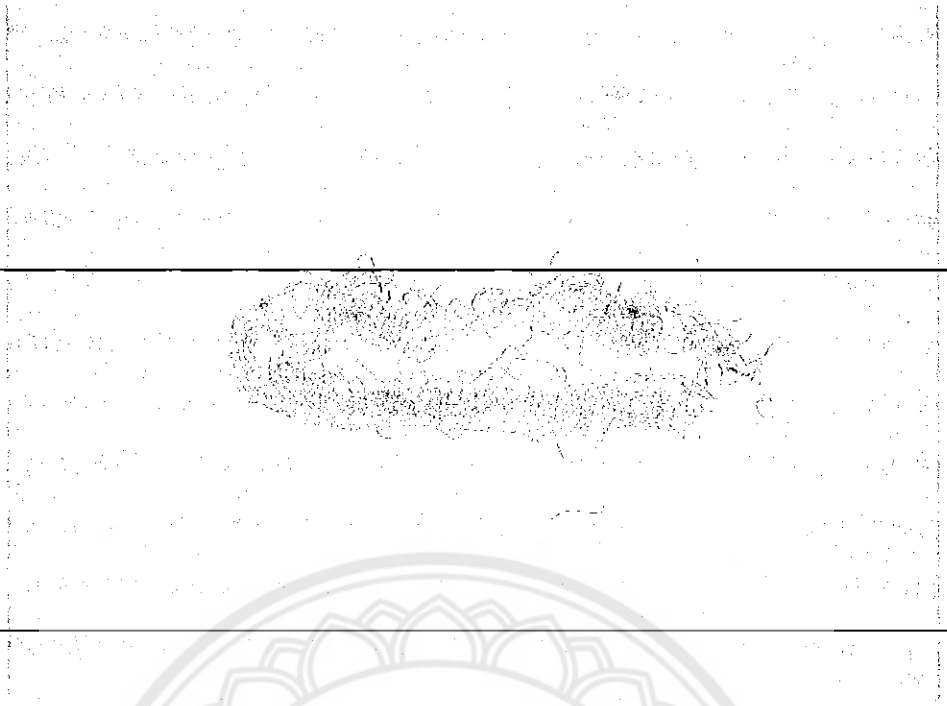
[12] e-Books (Electronic Books) :ศูนย์รวมตำราเรียนรามคำแหงบนโลกอินเตอร์เน็ต.**อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี(Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)**. สืบค้นวันที่ 20 กรกฎาคม 2552 . จาก www.e-book.ram.edu/e-book/c/CM328/CM328-10.pdf.

ภาคผนวก ก

รูปเส้นใยไหม

รูปที่ ก.1 เส้นใยไหมดิบ

รูปที่ ก.2 เส้นใยไหมลอกกาว



รูปที่ ก.3 เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร

รูปที่ ก.4 เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.4 โมล/ลิตร

รูปที่ ก.5 เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร

รูปที่ ก.6 เส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.8 โมล/ลิตร

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ความถี่การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ [11]

cm^{-1}	หมู่ฟังค์ชัน	รายละเอียด
3600-3400	O–H stetching	3650-3590 cm^{-1} (sh, w) แอลกอฮอลอิสระ
		3400-3200 cm^{-1} (b) แอลกอฮอลที่เกิดพันธะไฮโดรเจน
		3400-2400 cm^{-1} (vs, vb) กรดคาร์บอกซิลิก
3500-3200	N–H stretching	3200-3400 cm^{-1}(m) 1^{O} เอมีนและเอมีด มี 2 แถบ
		3200-3400 cm^{-1}(w) 2^{O} เอมีนและเอมีด มี 1 แถบ
3300 (vs)	≡C–H stretching	3300 cm^{-1} อัลไคน์ที่มี ≡C–H ที่ปลายโซ่
3100-3000 (w, sh)	=C–H stretching	อัลคีนและเบนซีน (อาจมีหลายพีค)
3000-2800	C–H stretching	หมู่ CH_3 , CH_2 และ CH ของอัลเคน
2850-2760	C–H stretching	แอลดีไฮด์
2250-2225	C≡N stretching	ไนทริล (m)
2260-2100	C≡C stretching	อัลไคน์ (w) โมเลกุลที่สมมาตรจะไม่มีแถบนี้ปรากฏ
1820-1760 (s)	C=O stretching	แอนไฮไดรด์ (s) มี 2 แถบ
1800 (s)	C=O stretching	กรดคลอไรด์
1770 (s)	C=O stretching	แกมม่า-แลกโตน
1735 (s)	C=O stretching	เอสเทอร์
1725 (s)	C=O stretching	แอลดีไฮด์
1715 (s)	C=O stretching	คีโตน
1710 (s)	C=O stretching	กรดคาร์บอกซิลิก
1690-1650 (s)	C=O stretching	เอไมด์
1650-1600 (w)	C=C stretching	อัลคีน
1650-1590 (s-m)	N–H bending	1^{O} เอมีน
1650-1550 (w)	N–H bending	2^{O} เอมีน
1620-1590 (s)	N–H bending	1^{O} เอมีด
1550-1510 (s)	N–H bending	2^{O} เอมีด
1600, 1580,	C=C stretching	เบนซีนและเบนซีนที่มีหมู่แทนที่ ความเข้มไม่แน่นอน
1500 และ1450		อาจมี 2 , 3 หรือมีทั้ง 4 แถบ
1520 (s) และ 1350 (s)	NO_2 bending	สารประกอบไนโตร
1465-1450	C–H bending	หมู่ CH_2
1450-1375	C–H bending	หมู่ CH_3
1400-1000	C–F stretching	สารประกอบฟลูออไรด์

ตารางที่ ข.1 (ต่อ) ความถี่การดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของหมู่ฟังก์ชันต่างๆ [11]

cm^{-1}	หมู่ฟังค์ชัน	รายละเอียด
1300-1150	CH_2–X	สารประกอบเฮโลเจน
1300-1000	C–O stretching	อีเธอร์และเอสเทอร์
1220	C–O stretching	ฟีนอล
1150	C–O stretching	3° แอลกอฮอล
1100	C–O stretching	2° แอลกอฮอล
1050	C–O stretching	1° แอลกอฮอล
990 และ 910	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่ , $RCH=CH_2$)
970	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ , trans)
890	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ , $R_2C=CH_2$)
815	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 3 หมู่ , $R_2C=CHR$)
700-690	C–H (OOP bending)	อัลคีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ , cis)
750 และ 690	C–H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 1 หมู่)
750	C–H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่แบบ ออโท)
780 และ 700	C–H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ แบบ เมตา)
825-800	C–H (OOP bending)	เบนซีน (หมู่แทนที่ 2 หมู่ แบบ พารา)
800-600	C–Cl	สารประกอบคลอไรด์
600-500	C–Br	สารประกอบโบรไมด์
< 500	C–I	สารประกอบไอโอไดด์

คำย่อ : s = ความเข้มสูง , vs = ความเข้มสูงมาก , m = ความเข้มปานกลาง , w = ความเข้มต่ำ , vw = ความเข้มต่ำมาก

sh = เหลมคม , b = กว้าง , vb = กว้างมาก , OOP = out – of – plane (การสั่นออกนอกระนาบ)

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมดิบ

No.	Load (N)	% Elongation at Break (%)	Stress	
			ที่ 1 % Strain	ที่ 2 % Strain
1	10.5	46.123	3.133	6
2	11.166	45.488	3.1	6.533
3	10.333	45.844	2.9	6.533
4	11.333	46.123	3.133	6.833
5	11	45.704	3.133	6
6	11.333	45.123	3.1	6.833
7	10.833	45.844	3.1	6.833
8	11.333	45.704	3.1	6
9	11.333	46.123	3.133	6.533
10	11	45.123	3.1	6
ค่าเฉลี่ย	11.0164	45.7199	3.0932	6.4098
SD	0.3	0.2		

ตารางที่ ค.2 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมลอกกาว

No.	Load (N)	% Elongation at Break (%)	Stress	
			ที่ 1 % Strain	ที่ 2 % Strain
1	9.5	47.122	3.666	5.666
2	9.333	47.233	3.833	5.833
3	9.5	48.123	3.5	5.666
4	10.166	47.233	3.5	5.666
5	9.5	47.122	3.833	5.833
6	10.5	47.233	3.666	6
7	9.333	47.122	3.5	5.666
8	9.166	47.233	3.666	5.833
9	9.5	47.122	3.833	5.666
10	9.333	47.233	3.833	5.833
ค่าเฉลี่ย	9.5831	47.2776	3.683	5.7662
SD	0.2	0.2		

ตารางที่ ค.3 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.2 โมล/ลิตร

No.	Load (N)	% Elongation at Break (%)	Stress	
			ที่ 1 % Strain	ที่ 2 % Strain
1	9.666	41.084	3.333	5.833
2	9.980	39.832	2.666	4.833
3	9.666	40.986	3.5	5.833
4	9.666	41.533	3.166	5.833
5	9.980	40.233	3.333	5.833
6	9.980	41.812	3.666	6
7	9.666	39.832	2.833	5.166
8	9.666	41.084	2.333	4.833
9	9.980	41.812	2.666	5.333
10	9.980	40.233	2.833	5.5
ค่าเฉลี่ย	9.823	40.8441	3.0329	5.4997
SD	0.1654	1.0		

ตารางที่ ค.4 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.4 โมล/ลิตร

No.	Load (N)	% Elongation at Break (%)	Stress	
			ที่ 1 % Strain	ที่ 2 % Strain
1	10.333	38.732	3.833	6
2	10	38.533	3	5.166
3	10.261	38.722	3	5.333
4	10	38.311	3.666	6
5	10.261	38.533	3.833	6
6	9.925	38.311	2.5	4.833
7	10	38.311	3	4.833
8	10.261	38.732	2.5	4.5
9	10	39.125	2.666	5.333
10	10.261	38.311	3.333	5.666
ค่าเฉลี่ย	10.1302	38.5621	3.1331	5.3664
SD	0.1	0.2		

ตารางที่ ค.5 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.6 โมล/ลิตร

No.	Load (N)	% Elongation at Break (%)	Stress	
			ที่ 1 % Strain	ที่ 2 % Strain
1	11.5	35.933	3.666	6.5
2	11.666	34.323	3.666	7.666
3	11.233	35.933	3.333	6.333
4	11.666	35.723	3	5.833
5	11.333	34.233	3.666	8.666
6	11.666	35.933	2.833	5.833
7	11.233	34.233	3	6.333
8	11.5	35.933	3.833	5.666
9	11.666	34.233	3	5.666
10	11.233	35.935	3.633	6
ค่าเฉลี่ย	11.4696	35.1412	3.363	6.4496
SD	0.1	0.8		

ตารางที่ ค.6 แสดงสมบัติเชิงกลของเส้นใยไหมที่ทำการต่อกิ่งด้วย MMA ที่ความเข้มข้น 0.8 โมล/ลิตร

No.	Load (N)	% Elongation at Break (%)	Stress	
			ที่ 1 % Strain	ที่ 2 % Strain
1	10.933	37.523	3	5.833
2	10.5	36.922	2.166	5.166
3	10.833	37.523	3.333	6.166
4	10.933	36.922	2.5	5
5	10.333	37.523	1.166	4
6	10.833	36.323	3.5	6.166
7	10.333	36.922	3.166	6.166
8	10.5	37.523	2.833	6
9	10.833	36.922	2.833	5.5
10	10.333	37.523	3.333	6.1566
ค่าเฉลี่ย	10.6364	37.523	2.783	5.61536
SD	0.246021	0.1		

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวศศิธร สะตะ

ภูมิลำเนา 305 หมู่ 10 ต ผาอินทร์แปลง อ. เอราวัณ จ. เลย

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนแก่นนครวิทยาลัย
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: sasiton_s@hotmail.com

ชื่อ นางสาวสุรีย์รัตน์ แสงทอง

ภูมิลำเนา 72/3 หมู่3 ต.หลุมเข้า อ.หนองขาหย่าง จ.อุทัยธานี

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพุทธมงคลวิทยา
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: chuychayza_@hotmail.com