

การเพิ่มการดูดซับสีของธรรมชาติจากเปลือกมะพูด *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz ของเส้นใย
กัญชงโดยใช้โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

นางสาวธนิยา ชูศิลป์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2555

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและเพิ่มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ADSORPTION ENHANCEMENT OF NATURAL DYE FROM *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz
BARK OF HEMP FIBER USING LOW MOLECULAR WEIGHT CHITOSAN

Miss Thaniya Chusilp

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การเพิ่มการดูดซับสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกมะพุด
Garcinia dulcis (Roxb.) Kurz ของเส้นใยกล้วยงโดย
ใช้โคโคซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ

โดย

นางสาวธนิยา ชูศิลป์

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ดร.มณฑล นาคปฐุม

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ดร.มณฑล นาคปฐุม)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.นราพร รังสีมันตุกุล)

ธนิยา ชูศิลป์ : การเพิ่มการดูดซับสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกมะพูด *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz ของเส้นใยกล้วยงโดยใช้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ADSORPTION ENHANCEMENT OF NATURAL DYE FROM *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz BARK OF HEMP FIBER USING LOW MOLECULAR WEIGHT CHITOSAN) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก :
 ผศ. ดร. อุษษา แสงวัฒนาโรจน์, อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม : ดร.มณฑล นาคนปฐม, 90 หน้า.

ในปัจจุบันนี้สีธรรมชาติได้รับความนิยมมากสำหรับนำมาใช้เป็นสีย้อมสิ่งทอเนื่องจากเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ลดต้นทุนและมีความเป็นพิษต่ำ งานวิจัยนี้จึงใช้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (20,000-30,000 ดาลตัน) มาปรับสภาพเส้นด้ายใยกล้วยงและย้อมสีด้วยสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะพูด การทดลองในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการนำเส้นด้ายใยกล้วยงมากำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว แล้วนำเส้นด้ายมาปรับสภาพด้วยไคโตซาน (ปรับสภาพก่อนย้อม พร้อมย้อม และหลังย้อม) และย้อมด้วยน้ำสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะพูดและผนึกสีด้วยสารช่วยสีติดชนิดสารส้ม ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า การย้อมสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดบนเส้นด้ายใยกล้วยงและผนึกสีด้วยสารส้ม จำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นของสารส้มร้อยละ 10 จึงจะสามารถย้อมเส้นด้ายใยกล้วยงได้สีเหลืองเข้มตามต้องการ ส่วนเส้นด้ายใยกล้วยงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานสามารถย้อมติดสีได้เข้มมากกว่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพอย่างเห็นได้ชัด และวิธีที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นด้ายใยกล้วยงด้วยไคโตซาน 3 วิธี คือ การปรับสภาพก่อนย้อม พร้อมย้อมและหลังย้อม พบว่าวิธีการปรับสภาพก่อนย้อมเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด และภาวะในการปรับสภาพ ระหว่างการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 32, 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง พบว่าภาวะการปรับสภาพที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นอบแห้งเส้นด้ายก่อนนำไปย้อมในน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดและผนึกสีด้วยสารส้ม การปรับสภาพเส้นด้ายและย้อมสีด้วยวิธีที่เหมาะสมนี้จะทำให้ได้เส้นด้ายใยกล้วยงที่มีสีเหลืองเข้มมากกว่าและสีมีความคงทนต่อการซักและต่อแสงสูงกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมสี แต่การปรับสภาพและการย้อมสีเส้นด้ายนี้ทำให้เส้นด้ายมีความทนแรงดึงขาดลดลงราวร้อยละ 30 จากเส้นด้ายที่ย้อมสีโดยไม่ได้ปรับสภาพก่อนย้อม

ภาควิชา.....วัสดุศาสตร์.....ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา...2555.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม.....

5372431323 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : HEMP FIBER / CHITOSAN / NATURAL DYE / *Garcinia dulcis* (Roxb.) KURZ BARK

THANIYA CHUSILP : ADSORPTION ENHANCEMENT OF NATURAL DYE FROM *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz BARK OF HEMP FIBER USING LOW MOLECULAR WEIGHT CHITOSAN. ADVISOR : ASST. PROF. USA SANGWATANAROJ, Ph.D., CO-ADVISOR : MONTHON NAKPATHOM, Ph.D., 90 pp.

Nowadays, market trends for green products and processes are being developed all around the world. Utilization of natural dyes for textile dyeing is also one of these trends due to its environmentally friendly concept. However, textiles made of natural dyeing often show light shade and low colorfastness to washing and to light. This research introduces a low molecular weight chitosan (20,000 - 30,000 Dalton) treatment on hemp yarn in order to enhance the dyeability of hemp yarn as well as to improve the colorfastness of dyed yarn. In this work, grey hemp yarn was first conventionally scoured and bleached. It was then treated in a chitosan solution at room temperature (32°C); 40°C; 50°C; 60°C; and 70°C, for 30 minutes; 1 hour; and 2 hours, in 3 different ways comparing between treatment before dyeing; treatment and dyeing all together; and treatment after dyeing. The yarn was dyed in a solution containing natural dyes extracted from *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kerz Bark. For dye fixation process, 1-10% of alum solution was used (as a mordant) in 3 different methods, comparing between pre-mordant; meta-mordant; and post-mordant. Results indicate that the best and reasonable dye fixation process was obtained when 10% of alum solution was used at a meta-mordant condition. The best chitosan treatment was to treat the yarn before dyeing and to treat at room temperature for 30 minutes, followed by an oven dry. After dyeing, chitosan treated yarn obviously showed a higher dye adsorption (darker yellow shade or higher color strength) than the untreated yarn. In addition, chitosan treated and dyed yarn also showed better colorfastness to washing and to light than the untreated and dyed yarn. However, the chitosan treatment decreased the yarn strength by approximately 30%.

Department: Materials Science Student's Signature.....

Field of Study: Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's Signature.....

Academic Year: 2012 Co-advisor's Signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้เป็นเพราะได้รับคำแนะนำด้านวิชาการ การเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และวัสดุสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับการช่วยเหลือ และการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และดร.มณฑล นาคปฐม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาและการแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ประณัฐ โพธิยะราช ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตตินาวรัตน์ และดร.นราพร รังสีมันตกุล คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนค่าสารเคมี เครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านปิโตรเลียม ปิโตรเคมี และวัสดุขั้นสูง วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ค่าเล่าเรียน 2 ปีการศึกษา

ขอขอบคุณ ศูนย์วิเคราะห์ทดสอบสิ่งทอ สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ สำหรับการสนับสนุนการทดสอบบางส่วน

ขอขอบคุณ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ คณาจารย์ เจ้าหน้าที่ เพื่อนๆ และพี่น้องนิสิต ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา อา พี่ น้อง เพื่อน และบุคคลากรอันเป็นที่รักทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
สารบัญแผนภาพ.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 เส้นใยแก้ว.....	3
2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของเส้นด้ายใยแก้ว.....	4
2.1.2 สมบัติของเส้นด้ายใยแก้ว.....	4
2.2 ไคโตซาน.....	6
2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน.....	6
2.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน.....	7
2.2.3 ประโยชน์และการประยุกต์ไคโตซาน.....	9
2.3 สีย้อม.....	10
2.3.1 ทฤษฎีการย้อมสี.....	11
2.3.2 เคมีของสารให้สีและสีย้อม.....	12
2.3.3 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมธรรมชาติ.....	12
2.3.4 สีเหลืองจากเปลือกต้นมะพูด.....	16

	หน้า
2.3.5 วิธีการย้อมสีย้อมธรรมชาติ.....	17
2.3.6 ปัจจัยสำคัญในการย้อมสี.....	19
2.3.7 ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้สีธรรมชาติ.....	21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	26
3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	26
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	27
3.3 ขั้นตอนการทดลอง.....	29
3.3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกสีเส้นด้ายใยแก้ว.....	30
3.3.2 การสกัดสีย้อมจากเปลือกต้นมะพูด.....	30
3.3.3 การปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยไคโตซาน.....	31
3.3.4 การย้อมเส้นด้ายใยแก้วด้วยน้ำสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะพูด.....	31
3.4 การทดสอบเส้นด้ายใยแก้ว.....	32
3.4.1 การทดสอบขนาดเส้นด้ายใยแก้ว.....	32
3.4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา.....	32
3.4.3 การวัดดัชนีความขาว.....	33
3.4.4 การวัดค่าความเข้มสี เจดสีและความแตกต่างของสี.....	34
3.4.5 วิเคราะห์ร้อยละของการผืนสี.....	36
3.4.6 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ.....	37
3.4.7 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก.....	37
3.4.8 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง.....	40
3.4.9 การทดสอบความแข็งแรงของเส้นด้าย.....	40
3.4.10 การทดสอบโดยใช้เครื่อง ATR-FTIR.....	41
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	43
4.1 ผลการศึกษาสมบัติของเส้นด้ายใยแก้ว.....	43
4.1.1 ขนาดของเส้นด้าย.....	43
4.1.2 การดูดซึมน้ำ.....	43
4.1.3 ดัชนีความขาว.....	44

	หน้า
4.1.4 แรงดึงขาดและร้อยละการยึดตัวที่จุดขาด.....	44
4.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นด้ายใยแก้วชงก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว.....	45
4.3 การศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสีที่สกัดจากเปลือกต้นมะพูดและโคโตซาน....	46
4.4 ผลการศึกษาปริมาณการใช้สารช่วยสีติดในการย้อมเส้นด้ายใยแก้วชงด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด.....	48
4.5 ผลการศึกษาโคโตซานบนเส้นใยแก้วชงที่ปรับสภาพ.....	50
4.5.1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยแก้วชงที่ปรับสภาพ.....	50
4.5.2 หมู่ฟังก์ชันของโคโตซานบนเส้นใยแก้วชงที่ปรับสภาพ.....	51
4.6 ผลการศึกษาวิธีการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วชงด้วยโคโตซาน.....	53
4.7 ผลการศึกษากาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วชงด้วยโคโตซาน.....	55
4.8 ผลการศึกษาแรงดึงขาดและร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วชงปรับสภาพด้วยโคโตซานและย้อม.....	62
4.9 ผลการศึกษาโคโตซานบนเส้นใยแก้วชงที่ปรับสภาพและย้อมสี.....	63
4.9.1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยแก้วชงที่ปรับสภาพและย้อมสี.....	63
4.10 ผลการศึกษาร้อยละของการฝืนสีบนเส้นด้ายใยแก้วชง.....	64
4.11 ผลการศึกษาความเข้มสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วชงหลังการซักล้างกำจัดสีส่วนเกินออก.....	65
4.12 ผลการศึกษาคงทนของสีบนเส้นด้ายใยแก้วชงต่อการซัก.....	67
4.13 ผลการศึกษาคงทนของสีบนเส้นด้ายใยแก้วชงต่อแสง.....	69
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	73
รายการอ้างอิง.....	75
ภาคผนวก.....	79
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	90

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเส้นด้ายใยแก้ว.....	4
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายใยแก้ว.....	5
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีของเส้นด้ายใยแก้ว.....	5
ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	27
ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของเส้นด้ายใยแก้วชงก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรก และฟอกขาว.....	43
ตารางที่ 4.2 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วชงก่อนและหลังการ กำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว.....	44
ตารางที่ 4.3 ตำแหน่งพีคที่สำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด.....	47
ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งพีคที่สำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของโคโคซาน.....	48
ตารางที่ 4.5 ความเข้มสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วชงโดยใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ.....	49
ตารางที่ 4.6 ตำแหน่งพีคที่สำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของเส้นด้ายใยแก้วชงก่อนปรับสภาพ ด้วยโคโคซาน.....	52
ตารางที่ 4.7 ตำแหน่งพีคที่สำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของเส้นด้ายใยแก้วชงปรับสภาพ ด้วยโคโคซาน.....	52
ตารางที่ 4.8 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ปรับสภาพด้วย โคโคซานโดยใช้วิธีการต่างๆ (ปรับสภาพก่อนย้อม พร้อมย้อม และหลังย้อม)....	53
ตารางที่ 4.9 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ปรับสภาพด้วย โคโคซาน อุณหภูมิ 32 °C.....	55
ตารางที่ 4.10 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ปรับสภาพด้วย โคโคซาน อุณหภูมิ 40 °C.....	57
ตารางที่ 4.11 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ปรับสภาพด้วย โคโคซาน อุณหภูมิ 50 °C.....	58
ตารางที่ 4.12 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ปรับสภาพด้วย โคโคซาน อุณหภูมิ 60 °C.....	60

ตารางที่ 4.13 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพด้วย ไคโตซาน อุณหภูมิ 70 °C.....	61
ตารางที่ 4.14 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วที่ไม่ได้ปรับสภาพ และปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อมสี.....	62
ตารางที่ 4.15 ร้อยละของการพ่นกสีบนเส้นด้ายใยแก้วที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานและ ย้อมเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพและย้อม.....	65
ตารางที่ 4.16 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ถูกชักล้างด้วย สารลดแรงตึงผิวหลังการปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับ เส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม.....	66
ตารางที่ 4.17 ความเข้ม ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ถูกชักล้างด้วยสาร ซักฟอกหลังการปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม.....	66
ตารางที่ 4.18 ระดับความคงทนของสีต่อการซัก (ด้านการเปลี่ยนแปลงของสี) ของเส้นด้าย ใยแก้วที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับ สภาพและย้อม.....	68
ตารางที่ 4.19 ระดับความคงทนของสีต่อการซัก (ด้านการเปื้อนติดสี) ของเส้นด้ายใยแก้ว ที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับ สภาพและย้อม.....	68
ตารางที่ 4.20 ระดับความคงทนของสีต่อแสงของเส้นด้ายใยแก้วที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพ ด้วยไคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อน ย้อม.....	70
ตารางที่ 4.21 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพด้วย ไคโตซานและย้อมเปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมหลังการ อาบแสง 20 และ 40 ชั่วโมง.....	71

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลส.....	4
ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะใบและลำต้นกัญชง.....	6
ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของไคติน.....	6
ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน.....	7
ภาพที่ 2.5 สารให้สีที่มีโครงสร้างฟลาโวนอยด์.....	13
ภาพที่ 2.6 สารให้สีที่มีโครงสร้างคาโรทีนอยด์.....	14
ภาพที่ 2.7 สารให้สีที่มีโครงสร้างแนฟทราควิโนน และแอนทราควิโนน.....	15
ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของสารที่ให้สีพวกแอลคาลอยด์.....	15
ภาพที่ 2.9 โครงสร้างโมเลกุลของแมงจีเฟอริน.....	16
ภาพที่ 2.10 เปลือกต้นมะพูด.....	16
ภาพที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของสีจากเปลือกต้นมะพูด.....	17
ภาพที่ 2.12 การยึดติดของสีอินดิโกบนเส้นใยจากการย้อมแบบเวด.....	18
ภาพที่ 2.13 การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับสีและเส้นใย.....	19
ภาพที่ 3.1 เครื่องย้อมแบบแช่.....	30
ภาพที่ 3.2 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกต้นมะพูด.....	30
ภาพที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	33
ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer.....	34
ภาพที่ 3.5 ผ้ามัดตีไฟเบอร์.....	38
ภาพที่ 3.6 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก Gyrowash.....	39
ภาพที่ 3.7 ตู้แสงมาตรฐาน.....	39
ภาพที่ 3.8 เกรย์สเกลสำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงของสี.....	39
ภาพที่ 3.9 เกรย์สเกลสำหรับวัดการเปื้อนติดสีของเส้นด้าย.....	40
ภาพที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงดึง.....	41
ภาพที่ 3.11 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	42
ภาพที่ 4.1 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยกัญชงก่อนและหลังการ กำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว.....	45

	หน้า
ภาพที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของเส้นใยักัญชงดิบและเส้นใยักัญชงผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว.....	46
ภาพที่ 4.3 ATR-FTIR สเปกตรัมของสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด.....	46
ภาพที่ 4.4 ATR-FTIR สเปกตรัมของโคโคซาน.....	47
ภาพที่ 4.5 ความเข้มข้นของเส้นด้ายใยักัญชงที่ย้อมด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดโดยใช้สารส้มความเข้มข้นต่างๆ.....	49
ภาพที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของเส้นใยักัญชงไม่ได้ปรับสภาพ เส้นใยักัญชงปรับสภาพด้วยโคโคซาน แล้วผึ่งให้แห้ง และ เส้นใยักัญชงปรับสภาพด้วยโคโคซาน แล้วอบให้แห้ง.....	50
ภาพที่ 4.7 ATR-FTIR สเปกตรัมของเส้นด้ายใยักัญชงก่อนปรับสภาพด้วยโคโคซาน.....	51
ภาพที่ 4.8 ATR-FTIR สเปกตรัมของเส้นด้ายใยักัญชงปรับสภาพด้วยโคโคซาน.....	52
ภาพที่ 4.9 ความเข้มข้นของเส้นด้ายใยักัญชงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโคซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยักัญชงที่ปรับสภาพก่อนย้อม พร้อมย้อมและหลังย้อม.....	54
ภาพที่ 4.10 ความเข้มข้น ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยักัญชงที่ปรับสภาพด้วยโคโคซาน อุณหภูมิ 32 °C.....	56
ภาพที่ 4.11 ความเข้มข้น ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยักัญชงที่ปรับสภาพด้วยโคโคซาน อุณหภูมิ 40 °C.....	57
ภาพที่ 4.12 ความเข้มข้น ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยักัญชงที่ปรับสภาพด้วยโคโคซาน อุณหภูมิ 50 °C.....	59
ภาพที่ 4.13 ความเข้มข้น ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยักัญชงที่ปรับสภาพด้วยโคโคซาน อุณหภูมิ 60 °C.....	60
ภาพที่ 4.14 ความเข้มข้น ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยักัญชงที่ปรับสภาพด้วยโคโคซาน อุณหภูมิ 70 °C.....	61
ภาพที่ 4.15 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยักัญชงที่ไม่ได้ปรับสภาพและปรับสภาพด้วยโคโคซานก่อนย้อมสี.....	63
ภาพที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของเส้นใยักัญชงไม่ได้ปรับสภาพแล้วย้อมสีและเส้นใยักัญชงปรับสภาพด้วยโคโคซานแล้วย้อมสี.....	64
ภาพที่ 4.17 ร้อยละของการฉีกสีบนเส้นด้ายใยักัญชง.....	65

ภาพที่ 4.18 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ถูกชักล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวหลังการ ปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพ และย้อม.....	66
ภาพที่ 4.19 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ถูกชักล้างด้วยสารชักฟอกหลังการปรับสภาพ ด้วยไคโตซานและย้อมเปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม.....	67
ภาพที่ 4.20 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบ กับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม หลังการอบแสง 20 และ 40 ชั่วโมง.....	71

สารบัญแผนภาพ

	หน้า
แผนภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองงานวิจัย.....	29
แผนภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการยอมรับเส้นด้ายใยแก้วชงด้วยน้ำย้อมสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด..	31

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เส้นใยแก้วเป็นเส้นใยเซลลูโลสชนิดหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันมีการนำเส้นใยแก้วมาใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมการผลิตผ้าและกระดาษ เนื่องจากเส้นใยแก้วมีคุณภาพดี [1] เป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงมากกว่าฝ้าย ดูดซับความชื้นได้ดี และสวมใส่สบาย [2] จึงทำให้เส้นใยแก้วเริ่มมีบทบาทที่สำคัญในตลาดเส้นใยธรรมชาติ ปัจจุบันแก้วจัดเป็นพืชห้ามปลูกตามกฎหมายในประเทศไทย ยกเว้นเพื่อการศึกษา ค้นคว้าวิจัยที่ถูกต้องตามกฎหมาย รัฐบาลได้จัดทำแผนปฏิบัติการภายใต้ยุทธศาสตร์การส่งเสริมการปลูกแก้วซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจบนพื้นที่สูง โดยมีข้อเสนอยุทธศาสตร์ รวม 4 ด้านหลัก ได้แก่ ยุทธศาสตร์การศึกษาค้นคว้าวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยี ยุทธศาสตร์การส่งเสริมการปลูกและการสร้างมูลค่าเพิ่ม ยุทธศาสตร์การสร้างความร่วมมือระหว่างประเทศ และยุทธศาสตร์การบริหารจัดการ มีเป้าหมายที่จะเพิ่มการผลิตแก้วภายใต้ระบบควบคุมในระยะเวลา 5 ปี (2554-2558) โดยมอบหมายให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงสาธารณสุข มูลนิธิโครงการหลวง สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน) สำนักงานคณะกรรมการป้องกันและปราบปรามยาเสพติด ร่วมกันดำเนินงานเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ดังกล่าว [3]

ขณะเดียวกันในแผนยุทธศาสตร์นี้ยังครอบคลุมถึงการพัฒนาการแปรรูปเส้นใยแก้วเพื่อสร้างเป็นผลิตภัณฑ์เพิ่มมูลค่า เช่น การพัฒนาเส้นใยแก้วเพื่อนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่มและเคหะสิ่งทอ ซึ่งอาจเริ่มจากการศึกษาเทคโนโลยีการย้อมเส้นใยแก้วด้วยสีย้อมธรรมชาติที่ผลิตได้เองในประเทศ โดยในปัจจุบันการย้อมเส้นใยแก้วด้วยสีธรรมชาติ มักพบปัญหาเรื่องการดูดซับสีย้อมต่ำและสีบนเส้นใยไม่คงทนต่อการซักล้างและต่อแสง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะใช้ไคโตซานเป็นสารปรับสภาพเส้นใยแก้วเพื่อให้เส้นใยสามารถดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น และศึกษาการปรับปรุงความคงทนของสีบนเส้นใยต่อการซัก โดยทั่วไปเส้นใยเซลลูโลส เช่น เส้นใยแก้วเมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุลบและหากสีธรรมชาติที่ใช้ย้อมมีประจุลบด้วย จะทำให้เส้นใยและสีย้อมผลัดออกจากกัน จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำให้เส้นใยแก้วมีประจุบวกโดยการปรับสภาพด้วยสารที่มีประจุบวก เพื่อให้สามารถยึดติดสีที่มีประจุลบ ไคโตซานเป็นสารจากธรรมชาติที่สามารถใช้ปรับสภาพเส้นใยเซลลูโลส เช่น แก้ว ให้สามารถดูดซับสีย้อมได้มากขึ้น โดยเมื่อเส้นใยแก้วดูดซับไคโตซานที่ภาวะกรด เส้นใยจะมีประจุบวกจากหมู่ NH_3^+ ของ

โคโตซาน ทำให้เส้นใยดูดติดสีย้อมธรรมชาติที่มีประจุลบได้ด้วยพันธะไอออนที่เกิดขึ้น [4] สีย้อมธรรมชาติที่ใช้มักสกัดได้จากส่วนต่างๆของพืช ยกตัวอย่าง ใบให้สีเขียว ดอกและผลให้สีตามดอก และสีตามผลของพืชนั้นๆ เช่น ดอกอัญชัน ดอกดาวเรือง แก่นและลำต้นให้สีเหลืองและสีน้ำตาล เช่น ไม้ฝาง ไม้ประดู่ และไม้มะปูด โดยพบว่าเปลือกไม้มะปูดจะให้สีธรรมชาติที่มีโทนสีเหลืองสว่างสดใสมากกว่าสีเหลืองที่สกัดจากพืชชนิดอื่น [5]

ปัจจุบันการย้อมเส้นใยกัญชงด้วยสีย้อมธรรมชาติมักพบปัญหาเรื่องการดูดซึมสีต่ำ และสีไม่คงทนต่อการซักล้างและต่อแสง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงใช้โคโตซานเป็นสารปรับสภาพเส้นใยเพื่อให้เส้นใยกัญชงสามารถดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้น และศึกษาการปรับปรุงความคงทนของสีบนเส้นใย โดยเลือกใช้โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำระดับ 20,000-30,000 ดาลตัน เป็นสารปรับสภาพเส้นใยกัญชงให้มีประจุบวกเพื่อให้สามารถดูดซึมสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกมะปูดที่มีประจุลบให้มากขึ้น โดยปรับสภาพเส้นใยก่อนย้อม ขณะย้อมและหลังย้อมและผนึกสีให้ติดบนเส้นใยด้วยสารลัม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษากรรมวิธีการย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกมะปูดบนเส้นใยกัญชงที่ผ่านการปรับสภาพด้วยโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ
2. ศึกษาผลของกระบวนการปรับสภาพเส้นใยกัญชงที่มีต่อการย้อมติดสีและความคงทนของสีบนเส้นใย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยนี้ คือ เส้นใยกัญชงถูกปรับสภาพด้วยโคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (20,000-30,000 ดาลตัน) ก่อนย้อม พร้อมย้อมและหลังย้อมด้วยสีธรรมชาติจากเปลือกมะปูด และถูกทดสอบสมบัติต่างๆ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้กระบวนการปรับสภาพและการย้อมเส้นใยกัญชงด้วยสีธรรมชาติจากเปลือกมะปูดให้มีสีเข้มและมีความคงทนของสีต่อการซักล้างและต่อแสงดีขึ้น

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

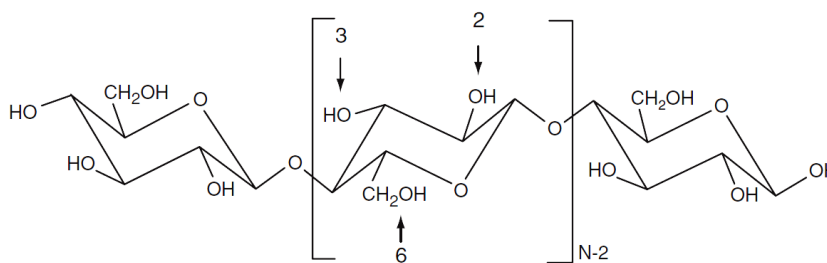
2.1 เส้นใยกัญชง (Hemp Fiber)

กัญชงเป็นพืชที่ปลูกกันมากในพื้นที่หลายแห่งทั่วโลก เช่น จีน ญี่ปุ่น อินเดีย รัสเซีย ฝรั่งเศส สเปน สหรัฐอเมริกา แคนาดา บราซิล อาเจนตินา ออสเตรเลีย และทวีปแอฟริกา ในอดีตพบว่ามี การปลูกครั้งแรกในทวีปเอเชีย มีการค้นพบประวัติการใช้เส้นใยกัญชง ในจีน เปอร์เซีย และหลาย พื้นที่ในตะวันออกไกลเมื่อ 2300 ปี และในช่วงต้นของคริสต์ศักราช การใช้เส้นใยกัญชงได้ แพร่กระจายไปสู่ทวีปยุโรป โดยเริ่มจากประเทศในแถบทะเลเมดิเตอร์เรเนียน หลังจากนั้นจึงขยาย จนทั่วทวีปยุโรป ส่วนการปลูกกัญชงในประเทศสหรัฐอเมริกาได้เริ่มมาตั้งแต่ยุคแรกของการค้นพบ ประเทศ [6]

ในประเทศไทยยังไม่พบประวัติการปลูกต้นกัญชงที่ชัดเจน แต่สามารถพบต้นกัญชงขึ้นอยู่ ทั่วไปในเขตป่าภาคเหนือ กล่าวกันว่ากัญชงเป็นพืชดั้งเดิมของชาวเขา โดยเฉพาะในกลุ่มชาวเขา เผ่าม้ง ที่ปลูกกัญชงเพื่อทำเสื้อผ้าสำหรับสวมใส่มาตั้งแต่รุ่นบรรพบุรุษ และยังสามารถพบเห็น เสื้อผ้าจากเส้นใยกัญชงของชาวเขาเผ่าม้งได้ในยุคปัจจุบัน ชาวเขาเผ่าม้งเรียกต้นกัญชงว่า ต้นมัน แต่สำหรับคนไทยจะเรียก กัญชง เนื่องจากใบของต้นกัญชงมีลักษณะเหมือนกับใบของต้นกัญชา แต่จะมีขนาดใหญ่กว่า ด้วยเหตุที่กัญชงมีลักษณะคล้ายกัญชา จึงทำให้คนไทยไม่ค่อยรู้จักกัญชง เพราะเข้าใจว่ากัญชงเป็นพืชชนิดเดียวกับกัญชาและผิดกฎหมาย ไม่สามารถเพาะปลูกได้ แม้ กัญชงจะเป็นพืชที่มีลักษณะคล้ายกัญชา แต่สาร THC (tetrahydrocannabinol) ในพืชกัญชง ไม่ได้มีฤทธิ์เท่ากับกัญชา กัญชงเป็นพืชที่มีประโยชน์ใช้สอยมากมายหลายอย่าง เช่น เปลือกของ ต้นกัญชงสามารถทำเป็นเส้นใยใช้ทอเป็นเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม ใช้ฟืนเป็นเชื้อก ใช้ทำเป็นเส้น ใยกระดาษ กระดาษ เมล็ดใช้สกัดเป็นน้ำมัน ในอุตสาหกรรมเส้นใยยังสามารถนำมาทำฉนวนกันความร้อนในรถยนต์และเครื่องบิน ทำเยื่อกระดาษ ในด้านผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง สารสกัดจากเมล็ด กัญชงยังใช้เป็นส่วนประกอบในผลิตภัณฑ์ความงามและผลิตภัณฑ์ดูแลสุขภาพ เป็นต้น กัญชง เป็นพืชในวงศ์ Cannabidaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ ว่า *Cannabis sativa* L var. *sativa* แคนาดา และจีนมีการใช้เส้นใยกัญชงเป็นพืชเศรษฐกิจในอุตสาหกรรมเส้นใยและการทำเยื่อกระดาษ สำหรับประเทศไทยกัญชงยังจัดเป็นพืชห้ามปลูกตามกฎหมาย ยกเว้นเพื่อการศึกษาวิจัย และต้อง ขออนุญาตจากกระทรวงสาธารณสุข ประเทศไทยมีการใช้วัตถุดิบด้านเส้นใยและเยื่อกระดาษเป็น จำนวนมาก กัญชงจึงเป็นพืชทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจเนื่องจากให้เส้นใยคุณภาพสูง มีอายุการเก็บ เกี่ยวสั้น ปลูกได้หลายครั้งต่อปี และเมล็ดยังมีโปรตีนและน้ำมันที่มีคุณภาพในการบริโภค [2,4,6]

2.1.1 โครงสร้างทางเคมีของเส้นด้ายใยักัญซง [7,8,9]

เส้นใยักัญซงเป็นเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งมีพอลิเมอร์เชิงเส้นที่ประกอบด้วยหน่วยซ้ำของ β -D-glucopyranose เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) สูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ ดังรูปที่ 2.1 หมู่เคมีที่สำคัญของเซลลูโลสได้แก่ หมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ (secondary hydroxyl, -OH ที่ตำแหน่งหมายเลข 2 และ 3 ในภาพที่ 2.1) และหมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ (primary hydroxyl, $-CH_2OH$ ที่ตำแหน่งหมายเลข 6 ในภาพที่ 2.1) โดยหมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิเป็นหมู่ที่มีความว่องไวในการทำปฏิกิริยาเคมีได้ดีกว่าและสายโซ่เซลลูโลสจะเรียงตัวขนานกันและเชื่อมยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของเส้นใยเซลลูโลส

2.1.2 สมบัติของเส้นใยักัญซง [2]

ักัญซงเป็นพืชที่ให้เส้นใยที่ยาว โดยเส้นใยส่วนใหญ่มีสีเทาอ่อนข้างเหลือง, สีเหลืองปนเขียว และสีน้ำตาลอ่อน มีรูปทรงกรวย ผิวเส้นใยไม่เรียบ ภาคตัดขวางเป็นรูปหลายเหลี่ยมมุมมน ส่วนองค์ประกอบและสมบัติของเส้นใยักัญซงมีดังนี้

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของเส้นใยักัญซง [8]

องค์ประกอบ	ส่วนประกอบที่สำคัญของเส้นใยักัญซง (เปอร์เซ็นต์)
เซลลูโลส	77.9
น้ำ	6.6
เฮมิเซลลูโลส	6.1
โปรตีน	3.6
ลิกนิน	1.7
ขี้ผึ้งและไขมัน	1.5

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

องค์ประกอบ	ส่วนประกอบที่สำคัญของเส้นใยกัญชง (เปอร์เซ็นต์)
เพกทิน	1.4
ซีไค	1.2

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายของเส้นด้ายใยกัญชง [8]

ความยาวเส้นด้าย	มีความยาวเฉลี่ย 15 mm.
ความละเอียด	มีความละเอียดประมาณ 20 μm .
ความถ่วงจำเพาะ	1.54
ความเหนียว	53-62 cN/tex
ระยะการยืดตัวที่จุดขาด	เส้นใย 1.5%
ความยืดหยุ่น (ความสามารถของเส้นใยในการกลับคืนสู่รูปร่างเดิม)	พอใช้
ความคืนตัว (ความสามารถในการคืนสภาพเดิม)	ดี
การดูดซึ่มความชื้นของเส้นใย	12% ที่ภาวะมาตรฐาน
แสงแดด	ทนแสงแดดได้ดี

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีของเส้นด้ายใยกัญชง [7]

กรด	ถูกทำลายได้ง่ายด้วยกรดแก่
ด่าง	ทนต่อด่างได้ดี
สารซักฟอก	เส้นใยซักฟอกยาก
ราและแมลง	ทนต่อราและแมลงได้ดีมาก

ด้วยสมบัติดังกล่าวจึงทำให้เส้นใยกัญชงเหมาะที่จะนำมาใช้ในการผลิตสิ่งทอ โดยผ้าทอกัญชงมีความสวยงามและมีราคาแพง ลักษณะใบและลำต้นของต้นกัญชงแสดงดังภาพที่

2.2

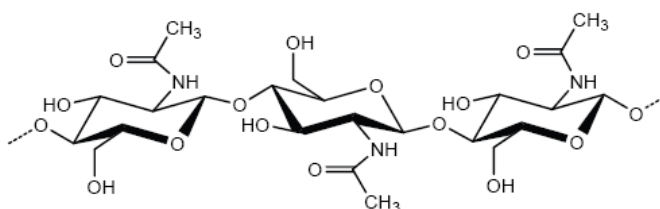


ภาพที่ 2.2 แสดงลักษณะใบและลำต้นกัญชง [10]

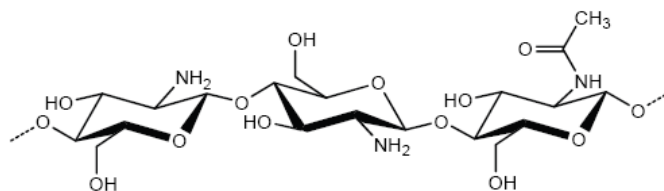
2.2 ไคโตซาน (Chitosan)

2.2.1 โครงสร้างทางเคมีของไคติน (Chitin) และไคโตซาน [11,12,13]

ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ชนิดหนึ่งของไคติน ซึ่งไคตินมีชื่อทางเคมีว่า poly- β -(1,4)-2-acetamido-2-deoxy-D-glucose มีสูตรทั่วไปคือ $(C_8H_{13}NO_5)_n$ ประกอบด้วย คาร์บอนร้อยละ 47.29 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.45 ไนโตรเจนร้อยละ 6.89 และออกซิเจนร้อยละ 39.37 โดยน้ำหนัก [14] ไคตินเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพประเภทพอลิแซ็กคาไรด์พบมากในเปลือกกุ้ง กระจกปู แกนปลาหมึก ผงเซลล์ของเชื้อจุลินทรีย์และเห็ดรา ส่วนไคโตซานมีชื่อทางเคมีว่า poly- β -(1,4)-2-amino-2-deoxy-D-glucose มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{11}NO_4)_n$ ไคโตซานเป็นอนุพันธ์ของไคตินที่เกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่แอซิติล (deacetylation) ของไคตินด้วยด่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างทางเคมีของไคตินเปลี่ยนไป โดยหมู่แอซิติล (-NHCOCH₃) เปลี่ยนเป็นหมู่เอมิโน (-NH₂) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ไคตินและไคโตซานมีโครงสร้างทางเคมีคล้ายกับเซลลูโลส โดยแตกต่างกันตรงหมู่แทนที่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ซึ่งเซลลูโลสเป็นหมู่ไฮดรอกซิล ไคตินเป็นหมู่แอซิติล และไคโตซานเป็นหมู่เอมิโน โครงสร้างทางเคมีของไคตินและไคโตซาน แสดงไว้ในภาพที่ 2.3 และ 2.4



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างทางเคมีของไคติน [15]



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [15]

2.2.2 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของไคโตซาน [16,17]

1) การละลาย (Solubility)

ไคตินไม่ละลายในน้ำ กรดเจ็จจาง ต่างทั้งเจ็จจางและเข้มข้น แอลกอฮอล์ และตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ แต่สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น กรดฟอสฟอริก กรดฟอร์มิก โดยปราศจากน้ำ ส่วนไคโตซานนั้นไม่ละลายในน้ำ ต่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่าพีเอช น้อยกว่า 6 เช่น กรดแอสติก และกรดฟอร์มิก นอกจากนี้ยังมีกรดอินทรีย์บางชนิดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน เช่น กรดไฮโดรคลอริก กรดฟอสฟอริก กรดเปอร์คลอริกและกรดไนตริก ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในการละลายจะอยู่ระดับปานกลาง [18]

2) ความหนืด (Viscosity)

ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องของหลายประการ ยกตัวอย่างเช่น ระดับการกำจัดหมู่แอสทิล (degree of deacetylation) ความเป็นกรดต่าง และอุณหภูมิ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น นอกจากนี้ชนิดของกรดที่ใช้ในการปรับค่าพีเอชยังส่งผลให้ค่าความหนืดมีค่าแตกต่างกัน ยกตัวอย่างเช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดแอสติกจะเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น โดยทั่วไปความหนืดของสารละลายพอลิเมอร์จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น [4]

3) การเรียงตัวในระดับโมเลกุล (Molecular Conformation)

ไคตินมีโครงสร้างของผลึกที่แข็งแรง และมีระดับผลึก (degree of crystallinity) สูง ลักษณะรูปแบบผลึกของไคตินแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ α -chitin, β -chitin และ γ -chitin ภายในโครงสร้างผลึก α -chitin มีโครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในลักษณะสวนทางกัน มี

ความแข็งแรงสูง พบในไคตินของเปลือกกุ้งและกระดองปู ส่วน β -chitin มีโครงสร้างการเรียงตัวของสายโซ่โมเลกุลในทิศทางเดียวกัน ไม่ค่อยแข็งแรงมากนักเนื่องจากการเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกัน ไคตินประเภทนี้จะพบในแกนปลาหมึก และ γ -chitin นั้นเกิดจากโครงสร้างเรียงสลับกันระหว่างสองแบบที่กล่าวมา (สวนทางกัน) ไคตินนี้จะพบในเห็ด รา และพืชชั้นต่ำ เป็นต้น

4) ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

ไคโตซานมีหมู่ฟังก์ชันที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาอยู่หลายหมู่ หมู่ที่สำคัญคือ หมู่แอมิโนที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 (C-2) หมู่ไฮดรอกซิลปฐมภูมิ ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 (C-6) และหมู่ไฮดรอกซิลทุติยภูมิ ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 (C-3) การดัดแปรโครงสร้างเคมีของหมู่ฟังก์ชันนี้ทำให้สามารถนำไคโตซานดัดแปรไปผลิตวัสดุต่างๆ เพื่อใช้งานที่หลากหลายมากขึ้น ตัวอย่างการดัดแปรไคโตซาน เช่น การละลายไคโตซานในสารละลายกรดอินทรีย์ อาทิเช่น กรดแอสติก หมู่แอมิโนจะเปลี่ยนเป็นแอมิโนที่มีประจุบวก ($-\text{NH}_3^+$)

5) การเสื่อมสลาย (Degradation)

ไคโตซานจะเหมือนกับพอลิเมอร์หรือพอลิแซคคาไรด์อื่นๆ ทั่วไป คือเมื่อเกิดการเสื่อมสลายจะให้สายโซ่โมเลกุลที่สั้นลงเป็นโอลิโกแซคคาไรด์ หรือโอลิโกเมอร์ และเป็นหน่วยย่อยที่เล็กที่สุดที่เรียกว่า มอนอเมอร์ การเสื่อมสลายของไคโตซาน เกิดขึ้นได้โดยปัจจัยต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) การเสื่อมสลายโดยกรดเป็นการเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของไคโตซานแบบสุ่ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้คือ โอลิโกเมอร์ และมอนอเมอร์ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของกรดที่ใช้ อุณหภูมิ เวลา และชนิดของพอลิเมอร์ เป็นต้น

2) การเสื่อมสลายโดยต่าง จะเกิดการเสื่อมสลายที่ปลายสุดของสายโมเลกุล

3) การเสื่อมสลายโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียง และใช้กรด ได้โอลิโกเมอร์ที่มีขนาดใกล้เคียงกัน การสั่นด้วยเสียงยังส่งผลให้มวลโมเลกุลของไคโตซานลดลง ในขณะที่ระดับการเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่เอซิทิลไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4) การเสื่อมสลายโดยความร้อน ความร้อนมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของไคโตซาน โดยปกติไคตินจะเสื่อมสลายที่อุณหภูมิ 275-300 องศาเซลเซียส และไคโตซานจะเสื่อมสลายที่อุณหภูมิ 280-330 องศาเซลเซียส

5) การเสื่อมสลายโดยเอนไซม์ เป็นการเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลที่จำเพาะตำแหน่งในการสลาย และได้โอลิโกเมอร์ที่เป็นระเบียบด้วย

2.2.3 ประโยชน์และการประยุกต์โคโตซาน [16,17,19]

โคตินและโคโตซานเป็นสารธรรมชาติ เป็นวัสดุทางชีวภาพ (biomaterials) ที่มีความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) อีกทั้งยังย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ (biodegradable) อีกด้วย ดังนั้นจึงนิยมนำมาใช้กับมนุษย์เนื่องจากปลอดภัยและไม่ส่งผลเสียกับสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันได้มีการค้นคว้าวิจัยและนำโคโตซานไปใช้ประโยชน์กันอย่างกว้างขวางในด้านอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

1) ด้านอาหาร

โคโตซานสามารถนำไปประยุกต์ในการเกษตรได้ เนื่องจากเป็นพอลิเมอร์ที่มีอยู่ตามธรรมชาติและเสื่อมสลายทางชีวภาพได้ จึงไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษ มีการนำโคโตซานไปใช้เป็นสารเคลือบผลไม้เพื่อป้องกันแบคทีเรีย ช่วยยืดอายุการเก็บรักษาผลไม้ให้นานขึ้น ทำให้ผลไม้สดใหม่อยู่เสมอ นอกจากนี้โคโตซานยังสามารถใช้ลดปริมาณคลอโรฟิลล์และไตรกลีเซอไรด์ในเลือดโดยการผสมโคโตซานในอาหาร ซึ่งในประเทศญี่ปุ่นมีการใช้เป็นส่วนผสมในอาหารด้วยเช่น คุกกี้ ก๋วยเตี๋ยว และน้ำส้ม เป็นต้น

2) ด้านเกษตรกรรม

โคตินและโคโตซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ ไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ [20] นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันและกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ของพืช ทำให้สามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพของผลิตภัณฑ์การเกษตรและช่วยลดต้นทุนการผลิตเนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง

3) ด้านการบำบัดน้ำทิ้ง

เนื่องจากโคโตซานมีหมู่เอมีน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอน จึงสามารถทำปฏิกิริยากับโปรตีน สีย้อมผ้า และไอออนของโลหะได้ มีการนำโคโตซานไปใช้ดูดซับสีย้อมผ้าที่หลงเหลือในน้ำทิ้ง และใช้ในการดูดซับไอออนของโลหะในการบำบัดน้ำทิ้ง ได้แก่ ตะกั่ว ทองแดง พรอท โครเมียม และยูเรเนียม เป็นต้น

4) ด้านเภสัชกรรมและการแพทย์

ใช้เป็นวัสดุปิดบาดแผล เช่น พลาสเตอร์ปิดแผล ไหมเย็บแผล โดยมีคุณสมบัติป้องกันการติดเชื้อจึงทำให้แผลหายเร็วขึ้น [21] ใช้เป็นส่วนผสมของเม็ดยา เพื่อควบคุมการแพร่และซึมผ่านของยา [22]

5) ด้านสุขภาพและเครื่องสำอาง

มีการใช้โคโตซานในผลิตภัณฑ์ดูแลผม ได้แก่ แชมพูและครีมนวด ซึ่งมีวางจำหน่ายในประเทศญี่ปุ่น และยุโรป นอกจากนี้ยังมีการใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวหนัง ได้แก่ ครีมอาบน้ำ และโลชั่น เป็นต้น [20]

6) ด้านเทคโนโลยีนิวเคลียร์

มีการนำโคโตซานไปใช้เป็นสารดูดซับยูเรเนียม เพื่อทำให้มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเพื่อประยุกต์ในการวิเคราะห์ปริมาณยูเรเนียมระดับต่ำๆ ในน้ำประปาและน้ำทะเล

7) ด้านการปศุสัตว์

ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดการติดเชื้อ ทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

8) ด้านสิ่งทอ

ใช้เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ (textile finishing agent) เช่น สารต้านการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ และใช้เป็นสารช่วยในกระบวนการสิ่งทอ (textile auxiliaries)

จากประโยชน์ของโคโตซานที่มีมากมาย แต่เนื่องจากโคโตซานมีน้ำหนักโมเลกุลสูงและความสามารถในการละลายในตัวทำละลายต่างๆ ได้น้อย ทำให้เป็นข้อจำกัดของการนำไปใช้ประโยชน์ จึงมีการปรับปรุงสมบัติของโคโตซานให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ให้ได้มากขึ้น โดยการเพิ่มความสามารถในการละลายได้ของโคโตซาน ซึ่งสามารถทำได้โดยการลดน้ำหนักโมเลกุลลงเพื่อทำให้มีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้มากขึ้น

2.3 สีย้อม (Dyes)

สีย้อมธรรมชาติจากพืช (plant natural dyes) เป็นสีที่ได้จากการนำวัสดุบางส่วนของต้นไม้ เช่น ใบ ดอก ราก ผล และแก่นไม้ เป็นต้น มาสกัดสีโดยกรรมวิธีต่างๆ เช่น การหมัก การต้ม หรือการใช้สารเคมี สีที่สกัดได้จากพืชจะสามารถดูดซับแสงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ในช่วงความยาวคลื่น 400-800 นาโนเมตร โดยทั่วไปแล้วการนำวัสดุส่วนต่างๆ ของต้นไม้มาใช้มักจะขึ้นอยู่กับสภาพของท้องถิ่นนั้นๆ กลุ่มสีจากส่วนต่างๆ ของพืชเมื่อนำมาใช้ในงานย้อม สีจะเกาะติดในเส้นใยได้น้อย แต่สีจะเกาะติดได้ดีขึ้นเมื่อใช้สารประกอบที่ช่วยให้สีย้อมผนึกติดกับเส้นใยได้ดียิ่งขึ้น เรียกว่า สารช่วยย้อมว่า มอร์แดนต์ (mordant) [23]

2.3.1 ทฤษฎีการย้อมสี [24]

กระบวนการย้อมสีจะเกิดขึ้นในขณะที่เส้นใยอยู่ในสารละลายสีหรือ ในน้ำที่มีอนุภาคของสีแขวนลอยอยู่ การที่อนุภาคของสีติดเส้นใยได้จะต้องมีแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสีกับเส้นใย ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวนี้จะมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลของสีกับน้ำ การติดของสีในเส้นใยจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถที่โมเลกุลของสีจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้ และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยกับโมเลกุลของสีย้อม ซึ่งเกิดเป็นสารประกอบเคมีใหม่ การรวมตัวของสีและเส้นใยนั้นไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนไป เพียงเปลี่ยนสมบัติทางกายภาพเห็นเป็นสีต่างๆ เท่านั้น เมื่อโมเลกุลของสีซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยแล้ว จะต้องมีแรงบางอย่างมาแยกตัวสีออกจากน้ำเพื่อให้ไปเกาะติดเส้นใย สีโมเลกุลใหม่ที่อยู่ในน้ำย้อมภายนอกเส้นใยจะซึมเข้าไปแทนที่ เส้นใยจึงค่อยๆ มีโมเลกุลของสีรวมตัวกันมากขึ้น สีจะเข้มมากขึ้นตามลำดับ เส้นใยจะดูดติดสีไว้ได้เป็นปริมาณมากน้อยเท่าใดขึ้นอยู่กับกลุ่มเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างตัวสีและเส้นใยนั้นๆ อิทธิพลเชิงเคมีที่ทำให้สียึดติดกับเส้นใยได้แบ่งกว้างๆ ได้ 4 ชนิดดังนี้ พันธะไฮโดรเจน แรงแวนเดอร์วาลส์ พันธะไอออน และ พันธะโคเวเลนต์ [25]

1) **พันธะไฮโดรเจน** ไฮโดรเจนในหมู่ OH จะยึดอย่างหลวมๆ กับอะตอมอื่นได้ เช่น การยึดตัวของไฮโดรเจนกับออกซิเจนทั้งภายในโมเลกุลและระหว่างโมเลกุลของน้ำทำให้น้ำมีจุดเดือดสูง เส้นใยและสีเกือบทุกชนิดมีกลุ่ม OH อยู่จำนวนมากโดยเฉพาะในใยเซลลูโลสและใยโปรตีนทำให้เส้นใยเหล่านี้สามารถยึดกับสีได้อย่างหลวมๆ ด้วยพันธะไฮโดรเจน

2) **แรงแวนเดอร์วาลส์** แรงนี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติเป็นแรงที่ทำให้อะตอมและโมเลกุลเข้ามายึดติดกันตัวเอง โมเลกุลของเส้นใยและสีย้อมมีเอกลักษณ์พิเศษทำให้เกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดติดกันได้กล่าวคือ มีโมเลกุลยาวและแบน เช่น โมเลกุลของเซลลูโลส สีแวต หรือสีไดเรกต์ หรือระหว่างใยของเซลลูโลสเอชิตกับสีย้อมเพอร์ส หรือเมื่อโมเลกุลทั้งสองมีอัตราส่วนของกลุ่มไฮโดรคาร์บอนทั้งแอลิฟาติกหรือแอโรมาติก ในจำนวนใกล้เคียงกัน น้ำมีส่วนช่วยให้สีและเส้นใยยึดติดกันด้วย กลุ่มไฮโดรคาร์บอนพยายามที่จะแยกตัวออกจากน้ำ แล้วรวมกลุ่มกันเองซึ่งเรียกว่าเป็นการรวมตัวแบบพันธะไฮโดรโฟบิก (hydrophobic bonding)

3) **พันธะไอออน** การยึดรวมตัวระหว่างเส้นใยและสีแบบนี้เกิดขึ้นได้โดยอาศัยความต่างศักย์ไฟฟ้า เส้นใยเมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุไฟฟ้าลบ ส่วนใหญ่สีที่ละลายน้ำเป็นแอนไอออน การดูดซึมจึงเกิดขึ้นไม่ได้เพราะเกิดแรงผลักรัน ดังนั้นจึงต้องเปลี่ยนไอออนของเส้นใยเพื่อให้สีสามารถเข้ามาใกล้เส้นใยพอที่แรงแวนเดอร์วาลส์จะทำหน้าที่ได้ การเติมเกลือลงในน้ำย้อมใยเซลลูโลสและกรดลงในน้ำย้อมใยโปรตีนหรือในลอนจะช่วยเปลี่ยนศักย์ไฟฟ้าที่มีอยู่ในเส้น

ใย คือทำให้เส้นใยมีประจุบวกมากขึ้นและสามารถดึงดูดสีย้อมที่มีประจุลบเข้ามาใกล้เส้นใยได้มากขึ้น

4) **พันธะโคเวเลนต์** สีย้อมสามารถยึดติดเส้นใยโดยใช้พันธะโคเวเลนต์ได้ดีกว่าพันธะชนิดอื่นที่กล่าวมา ทำให้แยกตัวออกจากกันได้ยาก ซึ่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นระหว่างโมเลกุลของสีกับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส โดยเฉพาะสีรีแอกทีฟ

2.3.2 เคมีของสารให้สีและสีย้อม [5,26]

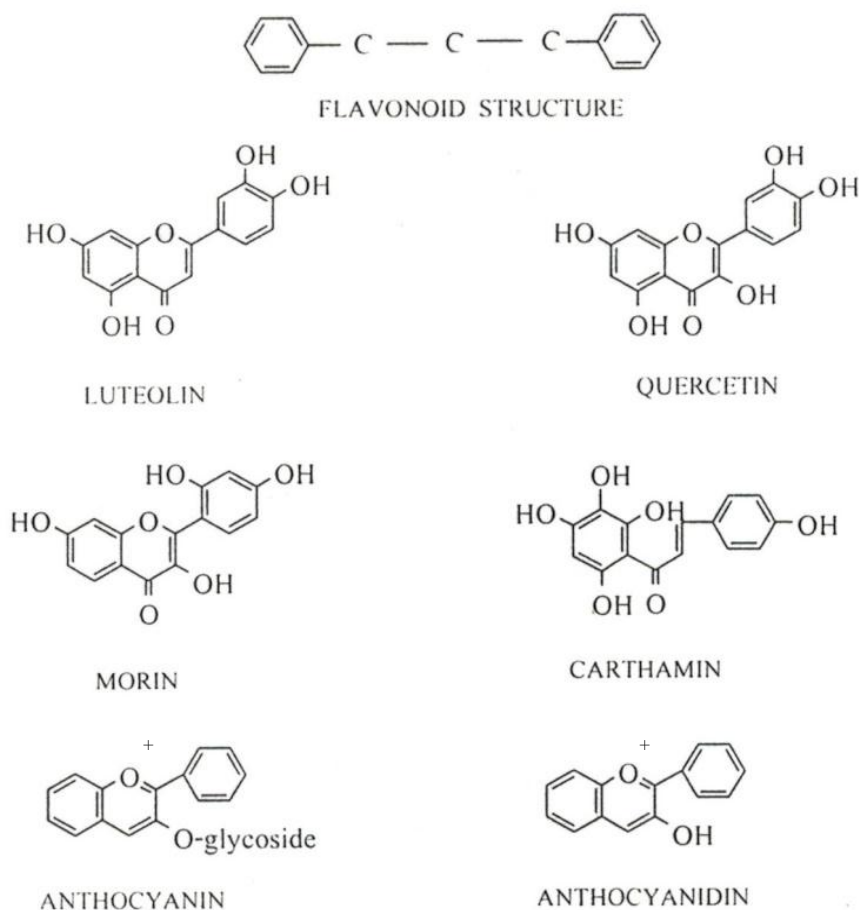
สารให้สีนั้นมีทั้งที่เป็นสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ สารประกอบอนินทรีย์ที่ให้สีมักจะเป็นของผสมออกไซด์ของโลหะหรือเป็นสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ เช่นออกไซด์ของเหล็กผสมกับโครเมียม เป็นต้น สีประเภทนี้ใช้เป็นสีย้อมตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันซึ่งสารให้สีจำพวกนี้จะเกิดการตกตะกอนในช่องว่างระหว่างโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่มีความคงทนต่อแสงสูง แต่จะเห็นได้ว่าสีจากโลหะข้างต้นเป็นโลหะหนักเป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นอันตรายต่อผู้ใช้งาน ในปัจจุบันจึงหันมาใช้สีในกลุ่มของสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสารอินทรีย์มักเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน ออกซิเจน และกำมะถัน การที่สารประกอบดังกล่าวให้สีได้เนื่องจากกลุ่มอะตอมที่ทำให้เกิดสีมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่างกัน กลุ่มของอะตอมที่ทำให้เกิดสีเรียกว่าโครโมฟอร์ (chromophors) มีดังนี้ หมู่ไนโตร (nitro), หมู่ไนโตรโซ (nitroso), หมู่เอโซ (azo), หมู่แอลฟาไดคีโตน (α -diketone), หมู่พาราควิโนนอยด์ (p-quinonoid) และหมู่ออโรควิโนนอยด์ (o-quinonoid) สารประกอบที่มีกลุ่มเหล่านี้เรียกว่า โครโมเจน (chromogen) ซึ่งจะใช้เป็นสีย้อมได้ต้องมีกลุ่มอะตอมที่เรียกว่า ออกโซโครม (auxochrome) จะทำให้สีเข้มขึ้นและมีสมบัติเป็นกรดหรือต่างก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น หมู่ไฮดรอกซิล (-OH), หมู่แอมิโน (-NH₂), หมู่อัลคิลแอมิโน (alkyl amino-NHR, -NR₂), หมู่ซัลโฟนิก (-SO₃H) และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เป็นต้น

2.3.3 ลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมธรรมชาติ [27,28,29]

สารสีที่สกัดจากพืชและสัตว์ต่างๆ ทำให้เกิดเฉดสีที่แตกต่างกัน ซึ่งสารที่ให้สีธรรมชาติสามารถแบ่งตามลักษณะโครงสร้างดังนี้

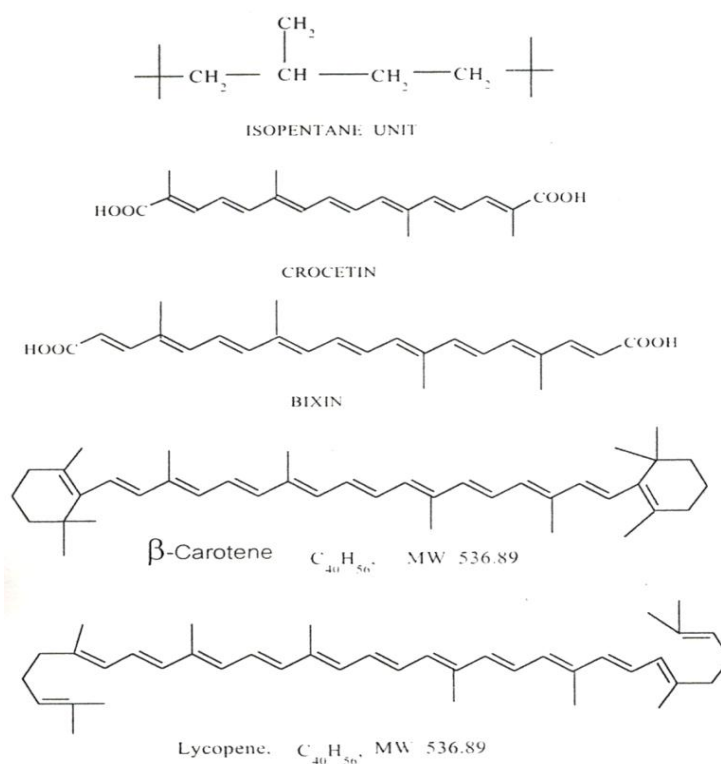
1) **ฟลาโวนอยด์ (Flavonoids)** ใช้เป็นสีย้อมกันมากที่สุด มักให้สีเหลืองถึงส้ม เป็นสารที่ละลายน้ำได้ มีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น C₆-C₃-C₆ คือเป็นวงแหวนเบนซีนที่เชื่อมต่อกับคาร์บอน 3 อะตอม ยกตัวอย่างเช่น Luteolin จากต้น Weld (*Reseda luteola*) ให้สีเหลือง Quercetin จากเปลือกหอมหัวใหญ่ (*Allium cepa*) ให้สีเหลืองเข้ม Morin จากแก่นขนุนจาก

ต้นไม้จำพวก *Chlorophora tinctoria* ให้สีเหลือง และ Carthamin จากดอกคำฝอย (*Carthamus tinctorius*) ให้สีเหลืองปนน้ำตาล เป็นต้น (ดังภาพที่ 2.5)



ภาพที่ 2.5 สารให้สีที่มีโครงสร้างฟลาโวนอยด์ [27]

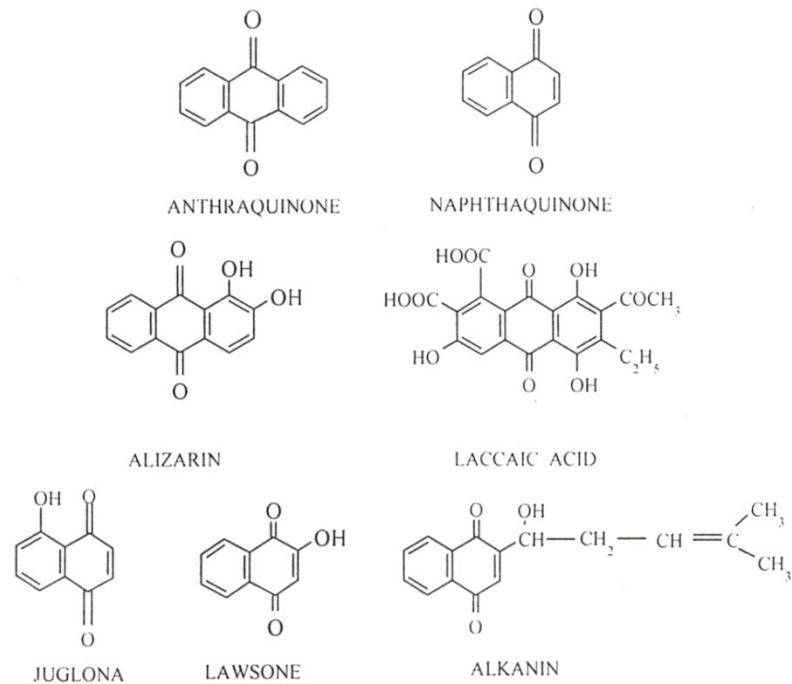
2) **คาโรทีนอยด์ (Carotenoid)** สารในกลุ่มนี้เป็นสารที่มีชีวสังเคราะห์มาจาก ไอโซเพนเทน (isopentane unit, C_5) สารในกลุ่มนี้จะมีพันธะคู่สลับเดี่ยวจำนวนมาก (conjugated double bond) เช่น crocetin จากหญ้าฝรั่น (Saffron) ให้สีเหลือง และบิกซิน (Bixin) จากเมล็ด คำแสดให้สีส้มแดง บิกซินเป็นผลิตภัณฑ์น้ำตาลแดง ทนต่อแสง กรด ด่างและเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆ มีโครงสร้างทางเคมี ดังแสดงในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 สารให้สีที่มีโครงสร้างคาโรทีนอยด์ [27]

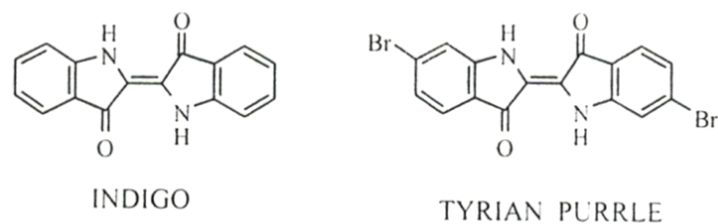
3) แนฟทราควิโนน และแอนทราควิโนน (Naphthaquinones and Anthraquinones)

สารในกลุ่มนี้มักจะให้สีแดง สารในกลุ่มของแนฟทราควิโนนที่นำมาใช้เป็นสีย้อม เช่น Juglone จากต้น Walnut (*Juglanddaceae*) ให้สีเขียวถึงสีน้ำตาล Lawsone จากต้น Henna (*Lawsonia inermis*) และ Alkannin จากต้น Alkanet (*Anchusa tinctoria*) ให้สีแดง ในกลุ่มสารพวกแอนทราควิโนน เป็นสารสีที่มีสีแดง-ส้ม แต่อาจพบได้ตั้งแต่สีเหลือง-น้ำตาล แอนทราควิโนนละลายได้ดีในด่างจะให้สีชมพู-แดง และละลายได้ในตัวละลายอินทรีย์ เช่น เอทานอล เบนซีน อีเทอร์ และคลอโรฟอร์ม เป็นต้น สารแอนทราควิโนนเกือบทุกตัวมีจุดหลอมเหลวสูง แอนทราควิโนนที่นำมาใช้เป็นสีย้อม เช่น Alizarin จากรากต้นไม้จำพวกเข็ม แมดเดอร์ (Madder) จากแก่นของต้นยอ กรดแลคคาอิก (Laccaic acid) จากครั่ง เป็นต้น ดังแสดงในภาพที่ 2.7



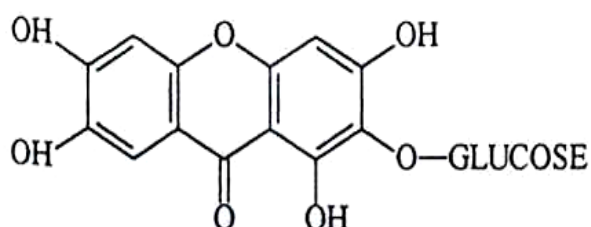
ภาพที่ 2.7 สารให้สีที่มีโครงสร้างแนฟทราควิโนน และแอนทราควิโนน [27]

4) **แอลคาลอยด์ (Alkaloids)** ถือเป็นผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติที่ได้จากพืชชั้นสูง จากพืชชั้นต่ำบางชนิด จากสัตว์และจากจุลินทรีย์ แอลคาลอยด์มีธาตุไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบหลัก ส่วนใหญ่เป็นผลึกไม่มีสี ยกเว้นชนิดที่มีพันธะคู่สลับเดี่ยว ปกติแล้วในโมเลกุลของแอลคาลอยด์จะพบไนโตรเจนอยู่ 1 ตัว ถึงแม้ว่าไนโตรเจนจะอยู่ heterocyclic ring หรืออยู่ในสายโซ่โมเลกุล (side chain) ก็จะทำให้แอลคาลอยด์มีสมบัติเป็นด่าง ซึ่งจะมีความเป็นกรด-ด่างมากน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนอะตอมของไนโตรเจน ประเภทของกลุ่มเอมีน ชนิดและจำนวนของกลุ่มฟังก์ชัน แอลคาลอยด์ที่ใช้เป็นสีย้อม เช่น Indigo ได้จากต้นคราม (*Indigo tinctoria*) ให้สีน้ำเงิน Tyrian Purple ได้จากหอยสังข์หนาม (shellfish) ให้สีม่วงแดง ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างของสารที่ให้สีพวกแอลคาลอยด์บางชนิด [27]

5) **แซนโทน (xanthenes)** สารสีกลุ่มสารประกอบฟีนอลที่ไม่อยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ สารประกอบกลุ่มแซนโทน (xanthenes) ซึ่งเป็นสารสีที่ให้สีเหลือง ตัวอย่างเช่น แมงจีเฟอรินที่พบในมะม่วง ดังโครงสร้างในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างโมเลกุลของแมงจีเฟอริน [30]

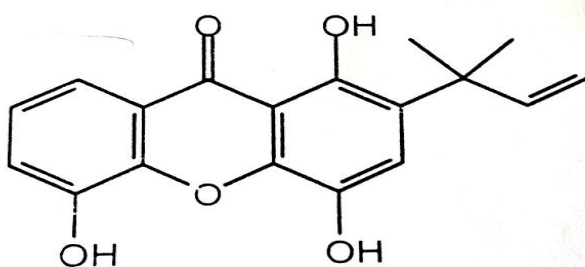
2.3.4 สีเหลืองจากเปลือกต้นมะพูด [31,32]

1) เปลือกต้นมะพูด (*Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz Bark)



ภาพที่ 2.10 เปลือกต้นมะพูด [31]

ลักษณะต้นมะพูดเป็นไม้ยืนต้นขนาดกลาง ใบเป็นใบเดี่ยว เนื้อใบนหนา เรียบ ผิวมัน มีสีเขียวเข้ม รูปใบเป็นรูปหอก ดอกออกเป็นช่อเล็กๆ ก้านสั้น กลีบดอกเป็นทรงกลมหนา มีสีขาวแกมเหลือง หรือขาวแกมเขียว ผลเป็นทรงกลม เรียบ ผิวมัน ผลดิบมีสีเขียว ผลแก่มีสีเหลือง เมื่อสุกจะมีสีส้ม มีรสเปรี้ยวอมหวาน ขยายพันธุ์โดยการเพาะเมล็ด ส่วนที่ให้สีคือเปลือกของต้นมะพูด สีที่ได้คือ สีเหลือง ชื่อวิทยาศาสตร์ *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz ชื่อวงศ์ GUTTIFERAE ชื่อสามัญ: Garcinia [32] องค์ประกอบทางเคมีของสารสกัดจากส่วนต่างๆ ของเปลือกมะพูดมีสารกลุ่มฟลาโวนอยด์ประกอบด้วย ซึ่งมีสูตรโครงสร้างทั่วไปเป็น C₆-C₃-C₆ คือเป็นวงแหวนเบนซีนที่เชื่อมต่อกันด้วยคาร์บอน 3 อะตอม อยู่ในกลุ่มแซนโทนเป็นสารสีที่ให้สีเหลือง



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างทางเคมีของสีจากเปลือกต้นมะพูด [32]

2.3.5 วิธีการย้อมสีย้อมธรรมชาติ [33]

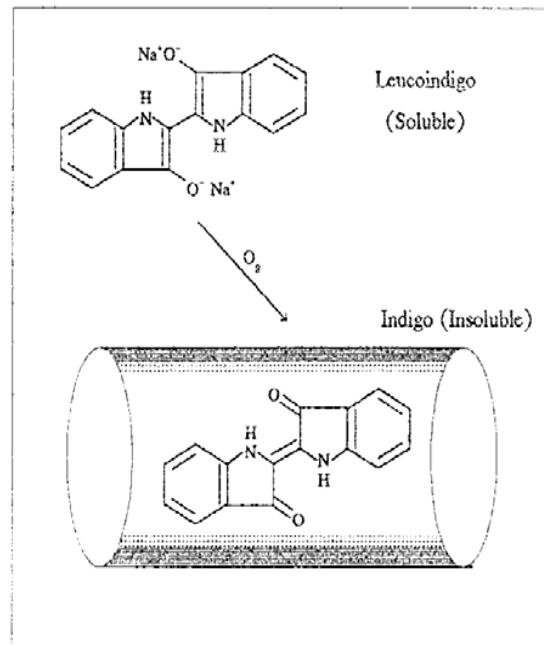
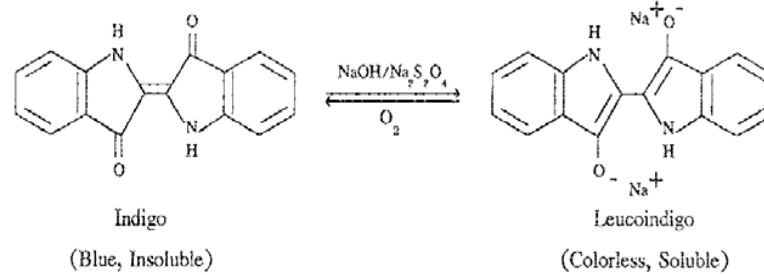
การย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติโดยทั่วไปแล้วมีวิธีการย้อมอยู่ 3 แบบ คือ

1) การย้อมแบบโดยตรง (Direct dyeing)

การย้อมแบบนี้โมเลกุลของสีจะเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยโดยตรง ถ้าเป็นเส้นใยในกลุ่มเซลลูโลสที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups, -OH) อยู่มากเช่น ฝ้ายจะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนเส้นใยในกลุ่มโปรตีนเช่น ไหมและขนสัตว์ ในเส้นใยกลุ่มนี้จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นทั้งหมู่กรด (acidic groups, -COOH) และหมู่เบส (basic groups, -NH₂) ซึ่งทั้งสองส่วนนี้ก็จะเกิดปฏิกิริยากับส่วนที่เป็นหมู่เบส หรือกรดในโมเลกุลของสีเกิดเป็นเกลือขึ้น ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวกันด้วยพันธะไอออน

2) การย้อมแบบแวต (Vat dyeing)

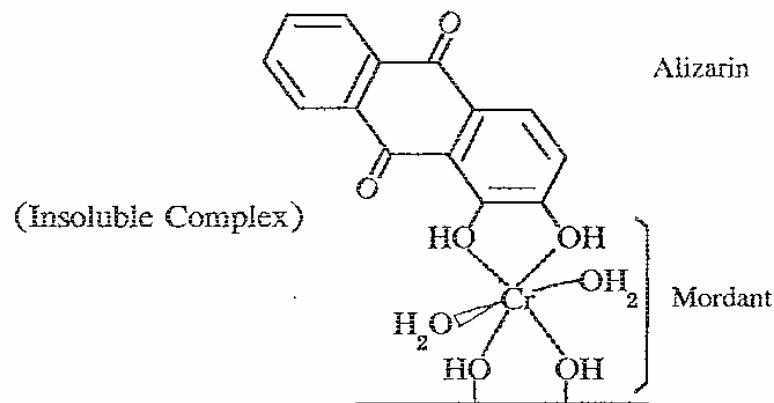
โดยทั่วไปแล้วสีย้อมประเภทนี้ไม่ละลายน้ำ นิยมใช้ย้อมผ้ายีนส์ ในขั้นแรกของการย้อมแบบนี้ต้องรีดิวซ์สีย้อมให้ละลายน้ำได้เสียก่อน แล้วจึงนำเส้นใยไปย้อมในสารละลาย จากนั้นจึงนำเส้นใยที่ย้อมแล้วไปผึ่งอากาศจะทำให้โมเลกุลสีเกิดการออกซิไดซ์กับอากาศ หรือกับสารเคมีให้กลับไปอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้โมเลกุลของสียึดติดอยู่บนเส้นใย ยกตัวอย่างสีธรรมชาติที่ย้อมแบบแวต เช่น การย้อมสีอินดิโก (indigo) ซึ่งได้จากต้นคราม สีอินดิโกนั้นในตอนแรกจะมีสีน้ำเงินไม่ละลายน้ำ เมื่อรีดิวซ์ด้วยโซเดียมไดไทโอไนต์ (sodium dithionite) ในภาวะต่าง ๆ จะได้เป็นลิวโคอินดิโก (leucoindigo) ที่ละลายน้ำได้ จากนั้นนำเส้นใยลงย้อมสารละลายลิวโคอินดิโก แล้วนำเส้นใยออกมาผึ่งไว้ ลิวโคอินดิโกในเส้นใยจะถูกออกซิไดซ์ในอากาศกลายเป็นอินดิโกที่ไม่ละลายน้ำฝังตัวอยู่ภายในและบนผิวของเส้นใย ดังแสดงในภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 การยัดติดของสีอินดิโกบนเส้นใยจากการย้อมแบบแวต [33]

3) การย้อมแบบใช้มอร์แดนต์ (Mordant dyeing)

การย้อมโดยใช้สารมอร์แดนต์เพื่อช่วยให้การยัดติดระหว่างตัวสีกับเส้นใยดีขึ้น ทำให้สีบนเส้นใยมีความคงทน สีไม่ตก หรือซีดง่าย สารมอร์แดนต์ที่นิยมใช้ คือ สารละลายของเกลือโลหะและสารประกอบแทนนินจากพืชหลายชนิด ตัวอย่างเกลือของโลหะ เช่น ดีบุก (stannous chloride, SnCl_2), สารส้ม (potassium aluminium sulfate, $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), เฟอรัส ซัลเฟต (ferrous sulfate, FeSO_4) และ Blue Viriol (copper sulfate, CuSO_4) เป็นต้น สารมอร์แดนต์ที่ได้จากพืช อาทิเช่น ใบยูคาลิปตัส เปลือกทับทิม เปลือกเพกา เปลือกผลคำแสด และลูกหมาก เป็นต้น ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในการย้อมแบบใช้มอร์แดนต์ คือ เมื่อเส้นใยผ่านการย้อมสีและการย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนต์แล้ว โลหะของสารละลายมอร์แดนต์จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่แข็งแรง (strong complex) กับสีและเส้นใย ดังตัวอย่างการย้อมสีด้วย Alizarin กับเส้นใยเซลลูโลสโดยมี chrome เป็นสารละลายมอร์แดนต์ ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 การเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโลหะกับสีและเส้นใย [33]

2.3.6 ปัจจัยสำคัญในการย้อมสี [7]

ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการย้อมสีมีมากมาย พอสรุปได้ดังนี้

1) **อัตราเร็วของการย้อมสี** อัตราเร็วการย้อมขึ้นกับการดูดซึมของสีเข้าเส้นใย ถ้าอัตราการดูดซึมของโมเลกุลของสีเข้าไปในเส้นใยเกิดอย่างช้าๆ (ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของเส้นใยหรือด้ายในผ้าชนิดต่างๆ) จะทำให้ต้องใช้เวลาย้อมนานจึงจะย้อมสีได้ถึงขั้นสมบูรณ์ (คือสีติดทั่วบริเวณของเส้นใยตั้งแต่ขอบเส้นใยจนถึงแกนกลางของเส้นใย) โดยทั่วไปมักใช้เวลาย้อมประมาณหนึ่งชั่วโมงหรือมากกว่าเพียงเล็กน้อย แต่การย้อมเส้นใยสังเคราะห์บางชนิด ที่มีโครงสร้างโมเลกุลแน่นมาก ยากแก่การแทรกซึมของสี อาจจะต้องใช้เวลานานในการย้อม จำเป็นต้องใช้สารอื่นช่วยเร่งการดูดซึมของสีเข้าเส้นใย ขนาดและรูปร่างโมเลกุลของสีย้อมมีผลมากต่อความเร็วหรือช้าในการย้อมสี ความเร็วในการดูดซึมโมเลกุลของสีเข้าไปในเส้นใยนั้น วัดได้จากค่าสัมประสิทธิ์ของการแพร่ (diffusion coefficient) หมายถึง การแพร่ในของเหลวเป็นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลจากบริเวณที่มีความเข้มข้นสูงไปยังบริเวณที่มีความเข้มข้นต่ำ การแพร่เกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อของเหลวนั้นมีเกรเดียนต์ของความเข้มข้น เช่น ในสารละลายที่ยังไม่อยู่ในภาวะสมดุลอาจมีบริเวณหนึ่งที่มีความเข้มข้นของตัวถูกละลายสูงกว่าบริเวณอื่นโมเลกุลของตัวถูกละลายจะค่อยๆ แพร่กระจายออกไป จนกว่าจะได้เป็นสารละลายเนื้อเดียวจึงจะหยุดแพร่ซึ่งเป็นภาวะสมดุล ถ้าอัตราการย้อมเกิดเร็วเกินไป ผ้าหลังย้อมจะมีรอยต่างและมีสีไม่สม่ำเสมอ แต่ถ้าเกิดช้าจะย้อมได้ผลดี แต่สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมาก ทั้งยังทำให้เส้นใยหรือผ้าถูกทำลายเนื่องจากต้องแช่อยู่ในน้ำย้อมที่ร้อนเป็นเวลานาน ดังนั้นจำเป็นต้องควบคุมอัตราเร็วของการย้อมสีให้เหมาะสม ซึ่งอาจทำได้โดยการเปลี่ยนอุณหภูมิที่ใช้ย้อมหรือโดยการใส่สารช่วยย้อม (chemical auxiliary)

2) **อุณหภูมิการย้อมสี** การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในการย้อมสี มีอิทธิพลต่อผลการย้อมมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการย้อม จะทำให้เกิดสิ่งต่อไปนี้เป็นคือ

2.1) สีแพร่เข้าเส้นใยได้เร็วขึ้นในช่วงแรก

2.2) สีแพร่กระจายในเส้นใยได้ดี

3) **สารช่วยย้อม** สีที่ละลายน้ำจะซึมเข้าเส้นใยได้ค่อนข้างช้าและตกตะกอนได้ง่าย จำเป็นต้องใช้สารช่วยย้อมเพื่อเร่งปฏิกิริยาการย้อมให้เกิดเร็วขึ้นและเพื่อให้สีติดทนทานและสม่ำเสมอ สารช่วยย้อมที่สำคัญและใช้มากมีอยู่ 7 ชนิดได้แก่

3.1) กรด โดยปกติใช้สำหรับย้อมใยโปรตีนและไนลอนด้วยสีแอซิด กรดทำให้เส้นใยมีประจุลบน้อยลงและเพิ่มประจุบวก ทำให้สีย้อมที่ละลายน้ำแล้วแสดงประจุลบสามารถแพร่เข้าใกล้เส้นใยและยึดติดกับเส้นใยได้มากขึ้น หากสีถูกดูดซึมเข้าเส้นใยน้อยจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณหรือความเข้มข้นกรดเพื่อให้สีสามารถกระจายตัวแพร่ไปเกาะติดบนเส้นใยได้อย่างสม่ำเสมอทั่วเส้นใย การใช้กรดแก่จะช่วยให้สีสามารถซึมเข้าเส้นใยได้มากขึ้น

3.2) ต่าง นิยมใช้สำหรับช่วยย้อมใยเซลลูโลสด้วยสีรีแอกทีฟ ต่างทำให้โมเลกุลของสีทำปฏิกิริยายึดติดกับโมเลกุลของใยเซลลูโลสได้ดียิ่งขึ้น

3.3) เกลือ ใช้ในการย้อมเมื่อสีและเส้นใยมีประจุลบทั้งคู่ ตัวอย่างเกลือที่ใช้ได้แก่ โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคลอไรด์ ประจุบวกของโซเดียมไอออนจะช่วยลดการผลัดกันของประจุลบของสีและประจุลบของเส้นใยโดยโซเดียมไอออนทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมให้สีและเส้นใยสามารถอยู่ใกล้กันจนเกิดแรงยึดเหนี่ยวกัน เช่น แรงแวนเดอร์วาลส์หรือพันธะไฮโดรเจน

3.4) สารช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอ (leveling agent) การย้อมเส้นใยให้มีสีติดสม่ำเสมอได้นั้นจำเป็นต้องทำให้เส้นใยดูดซึมสีอย่างช้าๆ การใช้สารช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอ นั้น จะช่วยทำให้สีมีความเสถียรไม่ทำปฏิกิริยากับน้ำจนเปลี่ยนสภาพและทำให้สีรวมตัวกับเส้นใยได้ช้าลง

3.5) แคริเออร์ (carrier) นิยมใช้กับการย้อมเส้นใยพอลิเอสเตอร์ด้วยสีดิสเพิร์สที่อุณหภูมิน้ำเดือด แคริเออร์ส่วนใหญ่เป็นสารประเภท 2-hydroxy diphenyl ทำให้เส้นใยพองตัวและดูดสีย้อมโดยที่แคริเออร์จะทำให้สายโซ่โมเลกุลของพอลิเอสเตอร์ในส่วนอสัณฐานเกิดการเคลื่อนตัว เปิดช่องว่างให้สีแพร่เข้าไปในเส้นใยได้เร็วขึ้น

3.6) ตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) สีย้อมที่ละลายน้ำได้น้อยอาจจำเป็นต้องใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ช่วยในการย้อม น้ำย้อมผสมตัวทำละลายอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ จะช่วยการย้อมได้ผลดีขึ้น เส้นใยจะมีลักษณะดีกว่าการย้อมตามปกติ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะตัวทำ

ละลายอินทรีย์สามารถก่อเป็นเยื่อบางๆ ภายในเส้นใยได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สีซึมผ่านเข้าไปติดเส้นใยได้เร็ว

3.7) สารรีดิวซ์ สีบางชนิดไม่ละลายน้ำ ต้องใช้สารเคมีบางชนิดมาปรับโครงสร้างโมเลกุลของสีให้มีขนาดเล็กลงและละลายน้ำได้จนสามารถซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยได้ สารนี้เรียกว่า สารรีดิวซ์ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบโซเดียม เช่น โซเดียมไฮโดรซัลไฟท์ เมื่อย้อมสีเรียบร้อยแล้วต้องทำให้ตัวสีนั้นกลับเป็นตัวสีที่ไม่ละลายน้ำตามเดิมโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน

2.3.7 ข้อดีและข้อจำกัดของการใช้สีธรรมชาติ [34]

ข้อดีของสีธรรมชาติ

- 1) ไม่เป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ผลิตและผู้บริโภค
- 2) น้ำทิ้งจากกระบวนการผลิตไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม
- 3) วัตถุดิบหาได้ง่ายในชุมชนไม่ต้องใช้สีเคมีที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ
- 4) สีธรรมชาติมีความหลากหลาย ตามชนิดและส่วนของพืชที่ใช้สกัด
- 5) การย้อมสีธรรมชาติทำให้เห็นคุณค่าและรู้จักใช้ประโยชน์ของทรัพยากรธรรมชาติ
- 6) ความสัมพันธ์ระหว่างคนย้อมสีกับต้นไม้ ย้อมก่อให้เกิดความรัก ความหวงแหน และเรียนรู้ที่จะอนุรักษ์ และปลูกทดแทนเพื่อการผลิตที่ยั่งยืน

ข้อจำกัดของสีธรรมชาติ

- 1) ปริมาณสารสีในวัตถุดิบธรรมชาตินั้นน้อย ต้องใช้วัตถุดิบปริมาณมากเพื่อสกัดสารสีออกมา นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอหลังย้อมมักมีสีไม่เข้มและซีดจาง
- 2) ปัญหาด้านการผลิต ไม่สามารถผลิตได้ในปริมาณที่มากและเฉดสีของผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการย้อมด้วยสีธรรมชาติมีการเปลี่ยนแปลงง่าย เพราะผลิตภัณฑ์ที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติยังมีความคงทนของสีต่อแสงและต่อการซักต่ำ
- 3) คุณภาพการย้อมสีธรรมชาติขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ อาทิเช่น อุณหภูมิ เวลาและปริมาณเนื้อสีที่อยู่ในน้ำย้อมหลังจากการสกัด เป็นต้น ซึ่งควบคุมได้ยาก การย้อมสีให้เหมือนเดิมจึงทำได้ยาก

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการย้อมสีธรรมชาติ (สกัดจากเปลือกต้นมะพูด) บนเส้นด้ายใยแก้วโดยใช้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำปรับสภาพใยแก้วซึ่งให้สามารถดูดซับสีย้อมธรรมชาติได้มากขึ้นและสีมีความคงทนมากขึ้น ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

Pejic และคณะ [35] ได้ศึกษาปริมาณเฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่เหลือในเส้นใยแก้วหลังการกำจัดสารทั้งสองชนิดโดยใช้ 17.5% โซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5-45 นาที และ 0.7% โซเดียมคลอไรด์ ที่ต้มเดือด เป็นเวลา 5-60 นาที แล้วศึกษาการผลการวิจัยของกระบวนการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และกระบวนการกำจัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินด้วยโซเดียมคลอไรด์ พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในกระบวนการ สามารถกำจัดเฮมิเซลลูโลสออกจากเส้นใยแก้วได้มากกว่าการใช้โซเดียมคลอไรด์ และการใช้โซเดียมคลอไรด์ในกระบวนการ สามารถกำจัดลิกนินออกจากเส้นใยแก้วได้มากกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์

การใช้ไคโตซานในการปรับสภาพบิวต์สตีทอเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดซึมของสีย้อมมีดังนี้ Huang และคณะ [36] ได้ศึกษาผลของการใช้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำปรับสภาพผ้าฝ้ายต่อการดูดซึมสีแอซิดของผ้าฝ้าย โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่างๆกัน ย่อยสลายไคโตซานให้มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำลง น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ย่อยสลายได้คือ 77210 40100 15090 8720 และ 3650 ดาลตัน พบว่าน้ำหนักโมเลกุลและความหนืดของไคโตซานลดต่ำลงเมื่อใช้ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพิ่มขึ้นในการย่อยสลาย เมื่อปรับสภาพผ้าฝ้ายด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นต่างๆ พบว่าผ้าฝ้ายสามารถดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้นเมื่อปรับสภาพผ้าฝ้ายด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นสูงจนถึงความเข้มข้นร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก แต่เมื่อปรับสภาพผ้าฝ้ายที่ความเข้มข้นของไคโตซานมากกว่าร้อยละ 4 ผ้าฝ้ายจะดูดซึมสีย้อมลดลงและไคโตซานจะมีลักษณะคล้ายกาว ผ้าฝ้ายที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานสามารถต้านทานแบคทีเรียได้มากขึ้นโดยเฉพาะเมื่อปรับสภาพด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 4 ผ้าสีมีสีเข้มที่สุด มีความคงทนของสีต่อการซัก และสามารถต้านแบคทีเรียได้ดีที่สุด

Zhang และZhang [37] ศึกษาการปรับสภาพผ้าใยแก้วด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุล 4,200 ดาลตัน และมีค่าระดับการแทนที่หมู่เอน-แอสเทิลเท่ากับร้อยละ 90 จากนั้นนำไปย้อมด้วยสีรีแอกทีฟ แล้วผนึกสีบนผ้าใยแก้วด้วยอีพอกซี-โมดิฟายด์ซิลิโคนออยล์ (epoxy-modified silicone oil) ที่ความเข้มข้นต่างๆ กัน ผลการวิเคราะห์ฐานฐานวิทยาโดยกล้องจุลทรรศน์

อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (scanning electron microscope) พบว่าผิวของผ้าใยแก้วซึ่งที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อมจะมีผิวไม่สม่ำเสมอ มีร่องบนเส้นใยกระจายทั่วไป ผิวไม่เรียบ มีรูปร่างภาคตัดขวางเส้นใยเป็นวงรีหรือมีหลายเหลี่ยม ส่วนผิวของผ้าใยแก้วซึ่งที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซาน ย้อมและผืนกสีด้วยอีพอกซี-โมดิฟายด์ซิลิโคนออยล์ ผิวของผ้าจะถูกเคลือบด้วยซิลิโคนออยล์บางๆ ผิวจึงเรียบและสม่ำเสมอ ผลการทดสอบสมบัติความแข็งแรงของผ้าใยแก้วซึ่งด้านแรงดึง ณ จุดขาดและร้อยละความเครียดดึง (tensile strain) ของผ้าใยแก้วซึ่งที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพก่อนย้อมและที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซาน ย้อมและผืนกสีด้วยอีพอกซี-โมดิฟายด์ซิลิโคนออยล์ พบว่าแรงดึง ณ จุดขาดกับร้อยละความเครียดดึงลดลงเมื่อผ้าใยแก้วซึ่งผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซาน ย้อมและผืนกสีด้วยอีพอกซี-โมดิฟายด์ซิลิโคนออยล์ ส่วนค่าความเข้มข้น (K/S) พบว่าผ้าใยแก้วซึ่งที่ผ่านการปรับสภาพสามารถย้อมได้สีเข้มหรือมีค่าความเข้มข้นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าใยแก้วซึ่งที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพก่อนย้อม แสดงให้เห็นว่าไคโตซานสามารถเพิ่มการดูดซึมสีย้อมให้ดีขึ้นและได้ผ้าที่มีค่าความเข้มข้นสูงสุดเมื่อใช้อัตราส่วนปริมาณสีย้อมต่อซิลิโคนออยล์เท่ากับ 2:1 โดยน้ำหนัก

Kampeerapappun และคณะ [38] ได้ทดลองปรับสภาพผ้าฝ้ายด้วยไคโตซานก่อนย้อมและศึกษาความเข้มข้นของไคโตซานที่มีผลต่อการดูดซึมสีย้อมของผ้าฝ้าย โดยการปรับสภาพผ้าฝ้ายด้วยไคโตซานแล้วย้อมด้วยสีธรรมชาติ (*Ruellia tuberosa* Linn) ค่าความเข้มข้นของผ้าฝ้ายย้อมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานทั้งหมดมีค่าสูงชันกว่าผ้าฝ้ายย้อมที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานและค่าความเข้มข้นของผ้าฝ้ายย้อมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความเข้มข้นของไคโตซานที่ใช้ในการปรับสภาพเพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน ในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติมีการใช้สารช่วยสีติดเพื่อช่วยให้การติดย้อมระหว่างสีกับใยฝ้ายดีขึ้นโดยใช้เทคนิคต่างๆ ได้แก่ pre-mordant, meta-mordant และ post-mordant และศึกษาความคงทนของสีต่อแสงและต่อการซักของผ้าฝ้ายที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อมเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อม พบว่าผ้าฝ้ายย้อมที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานมีความคงทนของสีสูงกว่า แสดงว่าไคโตซานสามารถช่วยปรับปรุงสมบัติการดูดซึมสีย้อม และความคงทนต่อแสงและต่อการซักของผ้าฝ้าย และพบว่าสารช่วยสีติดแต่ละชนิดที่ใช้ผืนกสีจะให้เฉดสีที่แตกต่างกัน และเทคนิคการเติมสารช่วยสีติดมีผลต่อความเข้มข้นของสีผ้าและความคงทนของสีผ้า

Houshyar และ Amirshahi [39] ได้ศึกษาพฤติกรรมการย้อมสีรีแอกทีฟบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานในสารละลายกรดแอซิติกโดยใช้เทคนิคต่างๆ ได้แก่ exhaustion, pad-dry, pad-batch, pad-steam และ pad-dry-steam หลังการปรับสภาพผ้าฝ้าย นำผ้าฝ้ายมาย้อม

แบบ exhaustion ด้วยวิธีแยกที่ฟที่ความเข้มข้นสีร้อยละ 1 ของน้ำหนักผ้าและพบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานสามารถดูดซึมสีย้อมได้มากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และการปรับสภาพผ้าฝ้ายด้วยวิธี pad-dry ให้ผลการดูดซึมสีย้อมมากที่สุด แต่จากผลการศึกษาสมบัติความคงทนของสีต่อแสงและการซักล้างพบว่าผ้าฝ้ายย้อมที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานมีความคงทนของสีต่อแสงและการซักล้างลดลงเล็กน้อยขึ้นกับวิธีการปรับสภาพ โดยในการปรับสภาพด้วยไคโตซานด้วยวิธี pad-dry และย้อมสีผ้าฝ้าย ทำให้ผ้าฝ้ายมีความคงทนของสีต่ำสุด

Bechtold และคณะ [40] ได้ศึกษาความคงทนของสีย้อมธรรมชาติหลายชนิด (ประกอบด้วยสีย้อมจากต้น Barberry, Canadian golden rod, Madder, Hollyhock, Privet, Walnut, Ash และ Sticky alder) บนเส้นใยแฟลกซ์และเส้นใยขนสัตว์ โดยกระบวนการย้อมใช้เหล็กและสารส้มเป็นสารช่วยสีติด ซึ่งทำให้เส้นใยดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้น และในขณะเดียวกัน การใช้สารช่วยสีติดแต่ละชนิดในขณะย้อมจะให้เฉดสีที่แตกต่างกัน จากการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงและการซักพบว่าเส้นใยทั้งสองชนิดที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติและใช้สารช่วยสีติดจะมีความคงทนของสีต่อแสงและต่อการซักดีกว่าเส้นใยที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติโดยไม่ใช้สารช่วยสีติด

Nichida และ Cobayachi [41] ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับสมบัติความคงทนของสีธรรมชาติจากพืช ภายหลังการย้อมทับด้วยสารช่วยสีติดต่างชนิดกัน โดยย้อมผ้าไหม และผ้าฝ้ายด้วยน้ำสีจากต้นยูคอน (Ukon) และต้นคาริยาสุ (Kariyasu) แล้วย้อมทับด้วยสารช่วยสีติด 2 ชนิด คือ อลูมิเนียม และเหล็ก ผลปรากฏว่าผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยต้นคาริยาสุ แล้วผนึกสีด้วยเกลือของเหล็ก จะมีความคงทนของสีต่อแสงดีกว่าผ้าไหมและผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยต้นยูคอนแล้วผนึกสีด้วยเกลือของเหล็ก ความคงทนของสีต่อแสงของผ้าไหมและผ้าฝ้ายย้อมที่ย้อมทับด้วยเกลือของเหล็กมีค่ามากกว่าของผ้าไหมและผ้าฝ้ายย้อมที่ย้อมทับด้วยเกลือของอลูมิเนียม ส่วนความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมและผ้าฝ้ายย้อมที่ย้อมทับด้วยเกลือของอลูมิเนียม มีค่าน้อยกว่าผ้าไหมและผ้าฝ้ายย้อมที่ย้อมทับด้วยเกลือของเหล็ก จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าชนิดของสารช่วยสีติดที่ใช้มีผลต่อความคงทนของสีต่อแสง ต่อการซักและสีของผ้าที่ได้

การย้อมเส้นใยกัญชงสีธรรมชาติ มักประสบปัญหาเส้นใยดูดซึมสีย้อมต่ำและสีบนเส้นใยไม่คงทนต่อการซักล้างและต่อแสง [26] จึงมีความจำเป็นต้องปรับสภาพเส้นใยหรือดัดแปรเส้นใยเพื่อให้เส้นใยสามารถดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้นและมีความคงทนต่อการใช้งานมากขึ้นเช่นกัน ไคโตซานเป็นสารจากธรรมชาติที่สามารถใช้ปรับสภาพเส้นใยเซลลูโลส เช่น กัญชง ให้สามารถดูดซึมสีย้อมได้มากขึ้น โดยเมื่อเส้นใยกัญชงดูดซึมไคโตซานที่ภาวะกรด เส้นใยจะมีประจุบวกจากหมู่

NH_3^+ ของไคโตซาน ทำให้เส้นใยดูดติดสีย้อมธรรมชาติที่มีประจุลบได้ เช่น สีจากครั่งและสีจากเปลือกต้นมะพูด ส่วนปัญหาเรื่องความไม่คงทนของสีย้อมธรรมชาติบนเส้นใยต่อการซักและต่อแสง อาจสามารถปรับปรุงได้โดยการเลือกใช้สารช่วยสีติด (mordant) ที่เหมาะสม และปลอดภัย เช่น สารส้ม เพื่อช่วยผนึกให้สีย้อมธรรมชาติที่มีประจุลบ เกาะติดบนเส้นใยได้ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำเป็นสารปรับสภาพเส้นใยกัญชง (ที่ภาวะกรด) เพื่อให้ไคโตซานสามารถถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยให้มากที่สุด โดยไม่ก่องอยู่ที่ผิวเส้นใย จนทำให้เส้นใยแข็งกระด้างเหมือนอย่างที่เกิดขึ้นกับการปรับสภาพเส้นใยด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลสูง [42] โดยจะปรับสภาพเส้นใยก่อนย้อม ขณะย้อมและหลังย้อม ย้อมเส้นใยด้วยน้ำสกัดสีจากเปลือกมะพูด ผืนกีสด้วยสารส้ม และศึกษาสมบัติด้านการย้อมติดสี เช่น ความเข้มสีและร้อยละของการผนึกสี สมบัติด้านความคงทนของสีบนเส้นใยต่อการซักและต่อแสง สมบัติด้านความแข็งแรงและสมบัติอื่นๆ

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ใช้ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำปรับสภาพพื้นผิวเส้นด้ายใยกล้วยก่อนย้อม ขณะย้อมและหลังย้อมด้วยสีย้อมสกัดจากเปลือกมะพูดโดยคาดหวังว่าจะสามารถปรับปรุงเส้นด้ายให้ดูดซึมสีย้อมดีขึ้นและสีมีความคงทนต่อการซักล้างและต่อแสงดีขึ้น หลังจากการปรับสภาพด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและย้อมสี เส้นด้ายถูกนำมาทดสอบสมบัติด้านต่างๆ ตามวิธีการทดลองดังต่อไปนี้

3.1 สารเคมีและวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 ไคโตซาน (chitosan) ที่มีน้ำหนักโมเลกุล 20,000-30,000 ดาลตัน ร้อยละของการ แทนที่หมู่แอสทิลเท่ากับ 95 และค่าพีเอช เท่ากับ 2.1 จากห้องปฏิบัติการของภาควิชาชีวเคมี คณะ วิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ผศ.ดร. รัฐ พิชญางกูร)

3.1.2 เส้นด้ายใยกล้วย (hemp yarn) จากสถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การ มหาชน) จ.เชียงใหม่

3.1.3 เปลือกต้นมะพูด จากศูนย์อนุรักษ์พันธุ์กรรมพืช คลองไผ่ จ.นครราชสีมา

3.1.4 อะลูมิเนียมซัลเฟต ($Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$) เกรดสำหรับห้องทดลองจากบริษัท Ajax Finechem

3.1.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดสำหรับห้องทดลอง จากบริษัท Ajax Finechem

3.1.6 สารช่วยเปียกชนิดไม่มีประจุ (nonionic wetting agent)

3.1.7 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกรดสำหรับห้องทดลอง จากบริษัท Ajax Finechem

3.1.8 โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) เกรดสำหรับห้องทดลอง จากบริษัท Ajax Finechem

3.1.9 สารซักฟอกไม่มีสารเรืองแสง (SDC detergent ECE phosphate (B)) เกรดสำหรับ ห้องทดลอง จากบริษัท James H. Heal

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

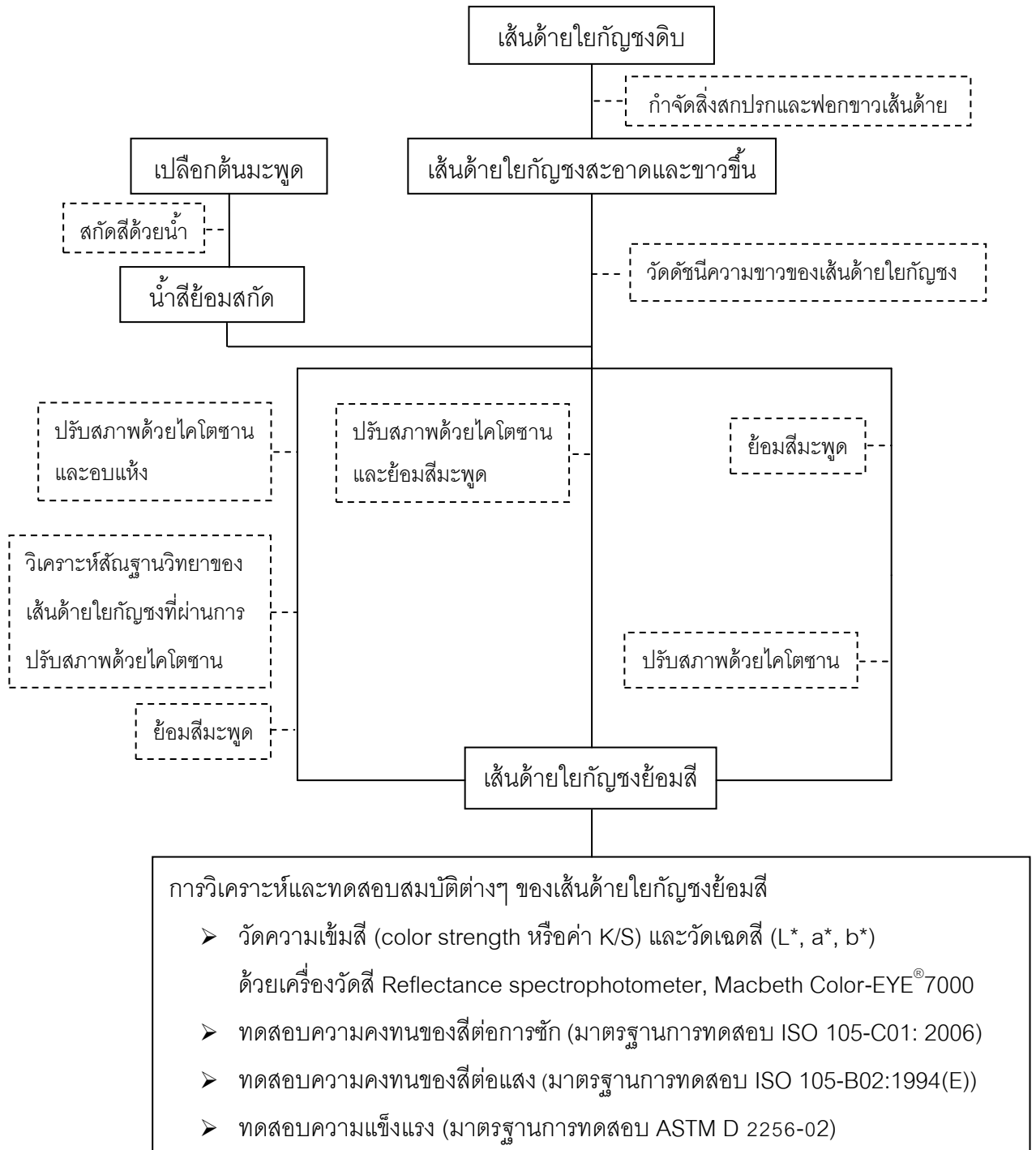
ชื่อเครื่องมือ / อุปกรณ์	รุ่น / บริษัทผู้ผลิต
1. เครื่องย้อมแบบแช่ (Exhaust Dyeing Machine)	Labtec / Newave Lab. Equipment
2. เครื่องทดสอบการซัก (Launder-O-Meter)	Gyrowash / James H. Heal
3. เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Strength Universal Testing Machine)	LLOYD LR 100K / Intro Enterprise
4. เครื่องวัดสี (Reflectance Spectrophotometer)	Macbeth color-eye 7000 / X-Rite
5. ตู้แสงมาตรฐาน (Color Assessment Cabinet)	Veri Vide CAC60 / Leslie Hubble
6. เกรย์สเกลสีเทาวัดระดับการเปลี่ยนแปลงสี (grey scale for assessing change in color)	James H. Heal
7. เกรย์สเกลสีเทาวัดการเปื้อนติดสี (grey scale for color staining)	James H. Heal
8. เครื่องวัดพีเอช (pH Meter)	pH Tester20 / Eutech Instrument
9. ตู้อบด้วยลมร้อน (Hot Air Oven)	UNB500 / PNP Scale and Instrument
10. พูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer)	Nicolet 6700/Thermo Scientific

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือ / อุปกรณ์	รุ่น / บริษัทผู้ผลิต
11. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)	Model JSM-5410LV / JEOL
12. เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง (Xenon Weather Meter)	X75 / SUGA Test Instrument

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

ขั้นตอนในการทดลองสำหรับงานวิจัย แสดงในแผนภาพที่ 3.1



แผนภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองของงานวิจัย

3.3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกและการฟอกขาวเส้นด้ายใยกล้วยง

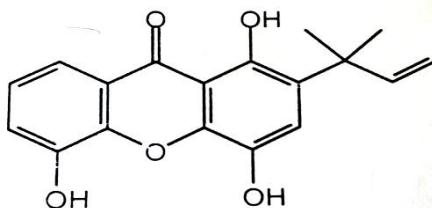
เส้นด้ายใยกล้วยงดิบหนัก 1 กิโลกรัม ถูกนำไปกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวโดยแช่ในสารละลายปริมาตร 20 ลิตร ที่ประกอบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 60 กรัม โซเดียมซัลไฟด์ 80 กรัม ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 143 กรัม และสารช่วยเปียกชนิดไม่มีประจุ 20 กรัม โดยใช้อัตราส่วนเส้นด้ายต่อสารละลาย (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เท่ากับ 1:20 กำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในเครื่องย้อมแบบแช่ Labtec (ภาพที่ 3.1) จากนั้นล้างเส้นด้ายและผึ่งแห้ง



ภาพที่ 3.1 เครื่องย้อมแบบแช่ (Exhaustion) LABTEC

3.3.2 การสกัดสีย้อมจากเปลือกต้นมะพูด

สกัดสีย้อมจากเปลือกต้นมะพูด (ดูโครงสร้างสีในภาพที่ 3.2) โดยการต้มเปลือกต้นมะพูดในน้ำ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใช้อัตราส่วนเปลือกต้นมะพูดต่อน้ำ (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เท่ากับ 1:10 แล้วกรองสิ่งเจือปนในน้ำสีออกด้วยตะแกรง ก่อนนำไปย้อมเส้นด้ายใยกล้วยงต่อไป



ภาพที่ 3.2 โครงสร้างทางเคมีของสีย้อมธรรมชาติจากเปลือกต้นมะพูด [5]

3.3.3 การปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซงด้วยไคโตซาน

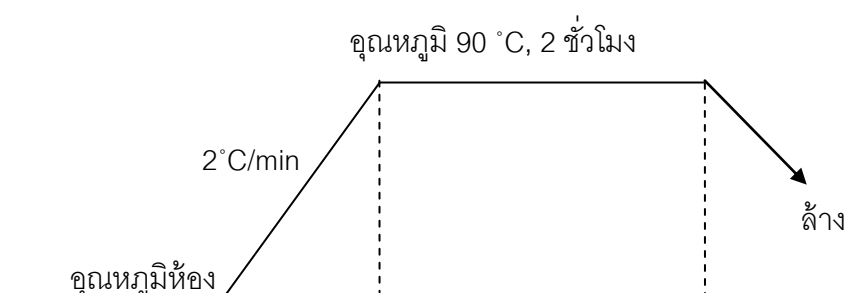
การปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซงก่อนย้อมจะปรับสภาพเส้นด้ายในสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ด้วยวิธีการแช่ (exhaustion) ที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส), 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30, 60 และ 120 นาทีในเครื่องย้อมแบบแช่ Labtec โดยใช้อัตราส่วนเส้นด้ายต่อสารละลาย (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เท่ากับ 1:20 แล้วอบเส้นด้ายให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในตู้อบ

การปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซงหลังย้อมจะย้อมเส้นด้ายแล้วจึงปรับสภาพเส้นด้ายในสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 1 ด้วยวิธีการแช่ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาทีในเครื่องย้อมแบบแช่ Labtec โดยใช้อัตราส่วนเส้นด้ายต่อสารละลาย (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เท่ากับ 1:20 แล้วอบเส้นด้ายให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสในตู้อบ

การปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซงขณะย้อมจะย้อมและปรับสภาพเส้นด้ายพร้อมกันที่ภาวะย้อมคือ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.3.4 การย้อมเส้นด้ายใยแก้วซงด้วยน้ำสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะพูด

ย้อมเส้นด้ายใยแก้วซงด้วยน้ำสีย้อมที่สกัดจากเปลือกต้นมะพูด ในเครื่องย้อมแบบแช่ Labtec โดยใช้อัตราส่วนเส้นด้ายต่อน้ำสีย้อม (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) เท่ากับ 1:30 ใช้สารส้มความเข้มข้นร้อยละ 1-10 ของน้ำหนักเส้นด้ายเป็นสารช่วยสีติด (mordant) ย้อมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วล้างเส้นด้ายและผึ่งแห้ง (ดูแผนภาพที่ 3.2)



อัตราส่วนเส้นด้ายต่อน้ำสีย้อม (1:30)

- เส้นด้ายใยแก้วซง
- น้ำสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะพูด
- สารส้ม (ใช้ก่อนย้อม/ขณะย้อม/หลังย้อม)

แผนภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการย้อมเส้นด้ายใยแก้วซงด้วยน้ำสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะพูด

ในการใช้สารช่วยสีติดชนิดสารส้มจะใช้สารส้มทั้งก่อนย้อม (pre-mordant) ขณะย้อม (meta-mordant) และหลังย้อม (post-mordant) เพื่อเปรียบเทียบกัน พบว่าการใช้สารส้มขณะย้อมให้ผลการย้อมดีที่สุดคือ สามารถย้อมเส้นด้ายใยแก้วซิงได้สีเข้มที่สุด (ดูผลได้ในภาคผนวก ก ตารางที่ ก.8)

3.4 การทดสอบเส้นด้ายใยแก้วซิง

3.4.1 การทดสอบขนาดเส้นด้ายใยแก้วซิง

การทดสอบหาขนาดเส้นด้ายใยแก้วซิงกระทำตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1059-01 Standard Test Method for Yarn Number Based on Short-Length Specimens โดยการชั่งน้ำหนักและวัดความยาวของเส้นด้ายแล้วคำนวณหาขนาดของเส้นด้ายตามสูตรในสมการ 3.1

$$\text{ขนาดเส้นด้าย (Ne)} = \frac{\text{ความยาวด้าย (หลา)}}{\text{น้ำหนักด้าย (ปอนด์)} \times 840} \quad (\text{สมการ 3.1})$$

3.4.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยา

การทดสอบนี้เพื่อศึกษาลักษณะของโคโตะซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำบนเส้นด้ายใยแก้วซิงโดยวิเคราะห์สัณฐานวิทยาพื้นผิวของเส้นด้ายใยแก้วซิงก่อนและหลังการปรับสภาพด้วยโคโตะซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยวิเคราะห์ลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคโคโตะซานบนเส้นใยแก้วซิงโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL รุ่น JSM-5410LV (ภาพที่ 3.3) โดยใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากับ 15 กิโลโวลต์ กำลังขยาย 1,200 เท่า และทำการเคลือบผิวตัวอย่างทดสอบด้วยทองคำก่อนนำไปวิเคราะห์เพื่อเพิ่มการไฟฟ้าและป้องกันการเกิดประจุอิเล็กตรอนบนพื้นผิวของตัวอย่าง



ภาพที่ 3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope)

3.4.3 การวัดดัชนีความขาว

การทดสอบนี้เพื่อประเมินความขาวของเส้นด้ายใยแก้วหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว โดยวัดจากค่าดัชนีความขาวของเส้นด้าย (whiteness index) ด้วยเครื่องวัดสี Reflectance spectrophotometer (Macbeth Color-Eye 7000) ดังภาพที่ 3.4 ภาวะในการวัดสีจะเลือกใช้โหมดที่ไม่รวมความมันเงา (specular exclude, SPE) แต่รวมแสงยูวี (UV include) เลือกใช้ Illuminant Daylight 6500 K (D65) และ 10° Standard observer จะวัดซ้ำ 5 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างๆกันบนเส้นด้าย แล้วนำมาเฉลี่ยเป็นดัชนีความขาว (whiteness index CIE) โดยเครื่องวัดสีจะคำนวณค่าเฉลี่ยของดัชนีความขาว ได้จากสมการ 3.1

$$W = Y + 800(0.3138 - x) + 1700(0.3310 - y) \quad (\text{สมการ 3.1})$$

โดยที่ W คือ ดัชนีความขาว (CIE whiteness index)

Y คือ CIE [Tristimulus value](#)

x, y คือ [chromaticity coordinate](#)



ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer (Macbeth Color-Eye 7000)

3.4.4 การวัดค่าความเข้มสี เจดสีและความแตกต่างของสี

การทดสอบต่อไปนี้เป็นการศึกษาค่าความเข้มสี ความสว่างของสี เจดสี และความแตกต่างของสี ของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ย้อมโดยไม่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซาน เทียบกับเส้นด้ายที่ย้อมโดยผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานดังวิธีการทดสอบต่อไปนี้

การวัดค่าความเข้มสี (Color Strength, K/S)

การวัดค่าความเข้มสี (K/S) ของเส้นด้ายย้อมด้วยสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะปูด จะวัดด้วยเครื่องวัดสี ที่ความยาวคลื่น 400-410 นาโนเมตร โดยแต่ละตัวอย่างจะวัดซ้ำ 5 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างๆของเส้นด้าย ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดสีจะเป็นค่าเฉลี่ยเพื่อศึกษาระดับความเข้มของสีบนเส้นด้ายที่ย้อมโดยไม่มีการปรับสภาพด้วยไคโตซานและเส้นด้ายที่ย้อมโดยมีการปรับสภาพด้วยไคโตซานทั้งก่อนย้อม พร้อมย้อม และหลังย้อม หากค่า K/S สูงแสดงว่าเส้นด้ายมีสีเข้มและค่า K/S ต่ำแสดงว่าเส้นด้ายมีสีอ่อน ค่า K/S นี้สามารถคำนวณได้จากสมการ Kubelka Munk ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงและค่าการสะท้อนแสงในแต่ละช่วงความยาวคลื่น ดังสมการ 3.2

$$K/S = (1-R^2)/2R \quad (\text{สมการ 3.2})$$

โดย K คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง (absorption coefficient)

S คือ สัมประสิทธิ์การกระเจิงแสง (scattering coefficient)

R คือ ค่าการสะท้อนแสง (reflectance) บนเส้นด้าย ณ ความยาวคลื่นที่มี

การดูดกลืนแสงสูงสุด (λ_{\max})

การวัดค่าความสว่างของสี (Lightness, L^*)

การประเมินค่าความสว่างของเส้นด้ายย้อมจากค่า L^* ของเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ย้อม โดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพด้วยโคโตซานก่อนย้อม ที่ปรับสภาพพร้อมย้อมและที่ปรับสภาพหลังย้อม โดยแต่ละตัวอย่างจะวัดซ้ำ 5 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างๆของเส้นด้าย ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดสีจะเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งค่า L^* หมายถึงความสว่างของสี ค่าสูงแสดงว่าสีอ่อนหรือสีสว่าง ค่าต่ำแสดงว่าสีเข้มหรือสีมืดทึม ค่าความสว่างของเส้นด้ายสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.3

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16 \quad (\text{สมการ 3.3})$$

โดย Y คือ ค่า CIE ไตรสติมุลัส (CIE Tristimulus Value) โดย Y จะบอกความเป็นสีเขียวของวัตถุ

Y_n คือ ค่าไตรสติมุลัส (Tristimulus Value) ของค่าของสีขาวอ้างอิง (reference white) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสง (Illuminant) หนึ่ง เช่น D65 ($Y_n = 100$ เสมอ ส่วน Y/Y_n จะมีค่ามากกว่า 0.01)

การวัดเฉดสีจากค่า a^* และ b^*

การประเมินเฉดสีของเส้นด้ายย้อมโดยไม่มีและมีการปรับสภาพด้วยโคโตซาน จากค่า a^* และ b^* ที่วัดได้ด้วยเครื่องวัดสี แต่ละตัวอย่างจะวัดซ้ำ 5 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างๆของเส้นด้าย ค่าที่วัดได้จากเครื่องวัดสีจะเป็นค่าเฉลี่ย ซึ่งค่า a^* เป็นบวกออกเฉดสีแดง ค่า a^* เป็นลบออกเฉดสีเขียว ค่า b^* เป็นบวกออกเฉดสีเหลือง ค่า b^* เป็นลบออกเฉดสีน้ำเงิน ถ้าค่า a^* และ b^* มีค่าบวกหรือลบมากแสดงว่าออกเฉดสีนั้นมาก ค่า a^* และ b^* ของเส้นด้ายสามารถคำนวณได้จากสมการ 3.4 และ 3.5

$$a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}] \quad (\text{สมการ 3.4})$$

$$b^* = 200[(Y/Y_n)^{1/3} - (Z/Z_n)^{1/3}] \quad (\text{สมการ 3.5})$$

โดย ค่า X , Y และ Z คือ ค่า CIE ไตรสติมุลัส โดย X จะบอกความเป็นสีแดงของวัตถุ Y จะบอกความเป็นสีเขียวของวัตถุ และ Z จะบอกความเป็นสีน้ำเงินของวัตถุ

ค่า X_n , Y_n และ Z_n คือ ค่าไตรสติมูลัส ของค่าสีขาวอ้างอิง (Reference white) ภายใต้แหล่งกำเนิดแสงหนึ่ง เช่น D65 ($Y_n = 100$ เสมอ ส่วน $X/X_n, Y/Y_n$ และ Z/Z_n จะมีค่ามากกว่า 0.01)

การวัดค่าความแตกต่างของสี (Color Difference, ΔE)

วัดความแตกต่างของสีของเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อม ที่ปรับสภาพพร้อมย้อมและที่ปรับสภาพหลังย้อม โดยนำเส้นด้ายย้อมสีแล้วมาวัดค่าความแตกต่างของสีด้วยเครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer (Macbeth Color-Eye 7000) แต่ละตัวอย่างจะวัดซ้ำ 5 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างๆของเส้นด้าย ซึ่งค่าที่วัดได้จะเป็นค่าเฉลี่ยที่คำนวณโดยเครื่องวัดสี ถ้าค่าความแตกต่างของสีระหว่างเส้นด้ายที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานกับเส้นด้ายที่ปรับสภาพก่อนย้อม ที่ปรับสภาพพร้อมย้อมและที่ปรับสภาพหลังย้อมมีค่าตั้งแต่ 1 ขึ้นไป ถือว่าเส้นด้ายย้อมสีเหล่านี้มีสีแตกต่างกันในระดับที่ตามองเห็นได้ชัดเจน นั่นคือการปรับสภาพเส้นด้ายด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีผลทำให้เส้นด้ายมีความสามารถในการดูดซึมสีย้อมแตกต่างกันไปมากจากเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพจนสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า สามารถคำนวณค่าความแตกต่างของสีได้จากสมการ 3.6

$$\Delta E = \sqrt{(L^*_1 - L^*_2)^2 + (a^*_1 - a^*_2)^2 + (b^*_1 - b^*_2)^2} \quad (\text{สมการ 3.6})$$

3.4.5 การวิเคราะห์ร้อยละของการฟีนิกสี (% Dye Fixation)

หลังการย้อมเส้นด้ายใยแก้วจะวัดค่าความเข้มข้นของเส้นด้ายที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อมด้วยน้ำสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะพูดก่อนซักล้าง และหลังซักล้างด้วยสารซักฟอกโดยใช้เครื่องวัดสีได้เป็นค่า K/S ก่อนซัก และค่า K/S หลังซักด้วยสารซักฟอก นำค่าทั้งสองมาวิเคราะห์หาค่าร้อยละของการฟีนิกสีบนเส้นด้าย ซึ่งเป็นการศึกษาปริมาณสีย้อมที่ฟีนิกติดบนเส้นด้าย คำนวณได้จากสมการ 3.7

$$\text{ร้อยละของการฟีนิกสี} = \left(\frac{K/S \text{ หลังซักเส้นด้ายย้อม}}{K/S \text{ ก่อนซักเส้นด้ายย้อม}} \right) \times 100 \quad (\text{สมการ 3.7})$$

3.4.6 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ความสามารถในการดูดซึมน้ำเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะบ่งบอกว่าการกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายใยแก้วจะมีประสิทธิภาพหรือไม่ การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำจะทดสอบตามมาตรฐาน AATCC Test Method 79-2000 “Absorbency of Bleached Textiles” โดยหยดน้ำลงบนเส้นด้ายใยแก้วจนแล้วจับเวลาที่หยดน้ำซึมเข้าไปในเส้นด้ายใยแก้ว และให้หยดหลาย ๆ ตำแหน่งของเส้นด้าย ถ้าเส้นด้ายใยแก้วซึมน้ำในเวลา 1-3 วินาทีหรือซึมทันที แสดงว่าเส้นด้ายใยแก้วสามารถดูดซึมน้ำได้ดีมาก สำหรับงานวิจัยนี้จะทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นด้ายใยแก้วหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว โดยจะกระทำ 3 ซ้ำ

3.4.7 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

การทดสอบนี้เพื่อวัดความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อการซัก โดยงานวิจัยนี้ทำการซักตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C10: 2006 Textiles -- Tests for colour fastness -- Part C10: Colour fastness to washing with soap or soap and soda วิธี A1 โดยตัดเส้นด้ายแล้วนำมาวางเรียงเป็นรูปสี่เหลี่ยมขนาด 40 x 100 มิลลิเมตร แล้วประกบด้วยผ้ามัลติไฟเบอร์ (รูปที่ 3.5) ขนาด 40 x 100 มิลลิเมตร เย็บติดกันด้านหัวและท้าย นำมาซักในสารละลายสารซักฟอกที่ไม่มีสารเรืองแสงความเข้มข้น 5 กรัม/ลิตร อัตราส่วนระหว่างสารละลายสารซักฟอกต่อเส้นด้ายเท่ากับ 50:1 (โดยน้ำหนัก) ซักที่อุณหภูมิ 40 ± 2 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (ไม่ใช้ลูกเหล็กขัดถู) ในเครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก Gyrowash (ดังภาพที่ 3.6) จากนั้นล้างเส้นด้ายให้สะอาดด้วยน้ำกลั่นสองครั้ง แล้วล้างด้วยน้ำซึ่งไหลตลอดเวลาเป็นเวลา 10 นาที ผึ่งลมให้แห้งโดยแขวนตากแยกกับผ้ามัลติไฟเบอร์ ประเมินการเปลี่ยนแปลงสีของเส้นด้าย และการเปื้อนติดสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์ในตู้แสงมาตรฐานภายใต้หลอดไฟ D65 (ภาพที่ 3.7) โดยเปรียบเทียบกับเส้นด้ายและผ้ามัลติไฟเบอร์ก่อนและหลังการทดสอบ ว่าแตกต่างกันเทียบเท่าเกรย์สเกล ในระดับใดระดับหนึ่งระหว่างระดับ 1 ถึง 5 ซึ่งระดับความคงทนของสีต่อการซักล่างมีค่าตั้งแต่ระดับ 1-5 โดยระดับการเปลี่ยนแปลงของสีเส้นด้ายที่วัดด้วยเกรย์สเกลสีเทา (grey scale for assessing change in color) (ภาพที่ 3.8) แบ่งระดับได้ดังนี้

- ระดับ 5 เจดสีไม่มีการเปลี่ยนแปลง
- ระดับ 4-5 เจดสีมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
- ระดับ 4 เจดสีมีการเปลี่ยนแปลงน้อย
- ระดับ 3-4 เจดสีมีการเปลี่ยนแปลงน้อยถึงปานกลาง
- ระดับ 3 เจดสีมีการเปลี่ยนแปลงปานกลาง

ระดับ 2-3 เจดสีมีการเปลี่ยนแปลงปานกลางถึงมาก

ระดับ 2 เจดสีมีการเปลี่ยนแปลงมาก

ระดับ 1-2 เจดสีมีการเปลี่ยนแปลงมากถึงมากที่สุด

ระดับ 1 เจดสีมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

ส่วนระดับการเปื้อนติดสีเส้นด้ายที่วัดด้วยเกรย์สเกลสีขาว (grey scale for color staining) (ภาพที่ 3.9) แบ่งระดับได้ดังนี้

ระดับ 5 ไม่มีการเปื้อนติดสี

ระดับ 4-5 มีการเปื้อนติดสีเล็กน้อย

ระดับ 4 มีการเปื้อนติดสีน้อย

ระดับ 3-4 มีการเปื้อนติดสีน้อยถึงปานกลาง

ระดับ 3 มีการเปื้อนติดสีปานกลาง

ระดับ 2-3 มีการเปื้อนติดสีปานกลางถึงมาก

ระดับ 2 มีการเปื้อนติดสีมาก

ระดับ 1-2 มีการเปื้อนติดสีมากถึงมากที่สุด

ระดับ 1 มีการเปื้อนติดสีมากที่สุด



ภาพที่ 3.5 ผ้ามัดตีไฟเบอร์



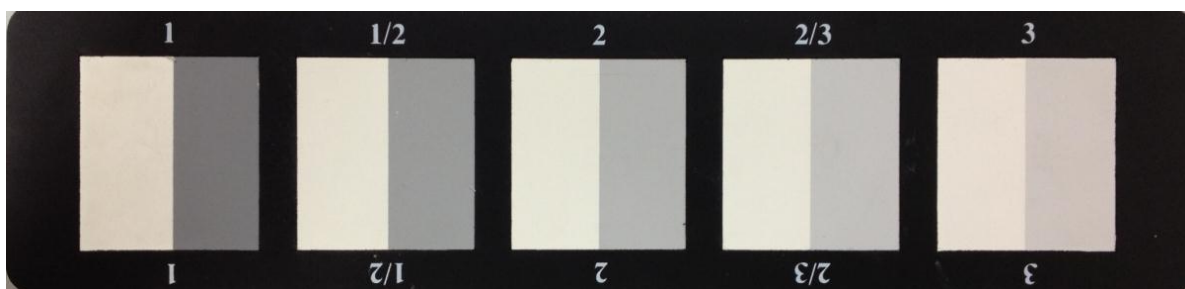
ภาพที่ 3.6 เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก Gyrowash



ภาพที่ 3.7 ตู้แสงมาตรฐาน



ภาพที่ 3.8 เกรย์สเกลสำหรับการวัดการเปลี่ยนแปลงของสี



ภาพที่ 3.9 เกรย์สเกลสำหรับวัดการเปลี่ยนสีของเส้นด้าย

3.4.8 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสง

ทดสอบความคงทนของสีบนเส้นด้ายต่อแสง ด้วยเครื่อง Xenon Weather Meter ตามวิธีการทดสอบมาตรฐาน ISO 105-B02:1994 โดยทดสอบความคงทนของสีต่อแสงของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำก่อนการย้อมด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด โดยเตรียมเส้นด้ายและผ้าบลูวูลวางเรียงกันให้มีผิวเรียบขนาด 4.5×10 เซนติเมตร ปิดด้วยแผ่นทึบแสงบนครึ่งหนึ่งของเส้นด้ายและของผ้าบลูวูล จากนั้นนำเส้นด้ายและผ้าบลูวูล (standard blue wool) ไปอาบแสงพร้อมกันในเครื่องทดสอบ Xenon Weather Meter เป็นเวลา 20 ชั่วโมงแล้ว ประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีบนเส้นด้ายส่วนที่โดนแสงว่าเปลี่ยนแปลงจากส่วนที่ไม่โดนแสงเทียบเท่าผ้าบลูวูล (ส่วนที่โดนแสงและไม่โดนแสง) ระดับใด ซึ่งบลูวูลมาตรฐานมีความคงทนของสีระดับ 1-8 โดยระดับ 1 หมายถึง เส้นด้ายมีความคงทนของสีต่อแสงต่ำสุด และระดับ 8 หมายถึง เส้นด้ายมีความคงทนของสีต่อแสงสูงสุด สำหรับสีธรรมชาติระดับความคงทนของสีต่อแสงที่ยอมรับได้คือตั้งแต่ระดับ 3 ขึ้นไป หลังการอาบแสง 20 ชั่วโมงและประเมินการเปลี่ยนแปลงของสี ทำการอาบแสงตัวอย่างเดิมเพิ่มอีก 20 ชั่วโมง รวมเป็นอาบแสง 40 ชั่วโมง แล้วประเมินการเปลี่ยนแปลงของสีด้วยวิธีเดิม

3.4.9 การทดสอบความแข็งแรงของเส้นด้าย

การทดสอบนี้เพื่อประเมินความแข็งแรงของเส้นด้ายที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานและยังไม่ได้ย้อม โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (ภาพที่ 3.10) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 2256-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by Single-Strand Method ตัดเส้นด้ายยาว 300 มิลลิเมตร ทำเครื่องหมายระยะความยาวเริ่มต้น 75 มิลลิเมตรบนเส้นด้าย ใช้ตัวจับยึดที่ขอบความยาวเริ่มต้นด้านบนและด้านล่างของชิ้นทดสอบ โดยใช้ load cell ขนาด 100 นิวตัน เดินเครื่องให้เครื่องดึงตัวอย่างเส้นด้ายจนขาดโดยใช้อัตราเร็วในการดึง 300 มิลลิเมตรต่อนาที และทดสอบซ้ำ 8-10 ครั้ง โดยซอฟต์แวร์ของเครื่องทดสอบแรงดึงจะคำนวณ

ค่าแรงดึงที่จุดขาด และระยะการยืดตัวที่จุดขาด (L_1-L_0) แล้วนำมาคำนวณค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดดังสมการ 3.8

$$\% \text{ elongation at break} = [(L_1 - L_0)/L_0] \times 100 \quad (\text{สมการ 3.8})$$

โดย % elongation at break คือ ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด

L_1 คือ ระยะที่จุดขาด (มิลลิเมตร)

L_0 คือ ระยะเริ่มต้นหรือระยะตั้ง (มิลลิเมตร)



ภาพที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงดึง รุ่น L500 ของ LLOYD

3.4.10 การทดสอบโดยใช้เครื่องเอทีอาร์-ฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (ATR-FTIR)

ตรวจสอบโครงสร้างโคโตซานบนเส้นด้ายใยแก้วชงโดยวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันของโคโตซานบนเส้นด้ายใยแก้วชงที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จและวิเคราะห์โครงสร้างของสีย้อมจากหมู่ฟังก์ชันของสีที่สกัดจากเปลือกต้นมะพูด ด้วยเครื่อง Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FTIR) ดังภาพที่ 3.11 ทำการวิเคราะห์ในช่วงความถี่ $400-4000 \text{ cm}^{-1}$ สแกน 64 ครั้ง และค่าความสามารถละเอียดในการแยกค่าความละเอียดของภาพ (resolution) เท่ากับ 4 cm^{-1} ใช้โหมด ATR (Attenuated Total Reflectance)



ภาพที่ 3.11 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FTIR)

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

การทดลองในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยการนำเส้นด้ายใยแก้วมากำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวแล้วนำเส้นด้ายมาปรับสภาพด้วยไคโตซาน (ปรับสภาพก่อนย้อม พร้อมย้อม และหลังย้อม) ย้อมด้วยน้ำสีย้อมสกัดจากเปลือกต้นมะพูด ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยไคโตซาน และศึกษาสมบัติของเส้นด้ายใยแก้วแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 ผลการศึกษาสมบัติของเส้นด้ายใยแก้ว

4.1.1 ขนาดของเส้นด้ายใยแก้ว

จากการทดสอบหาขนาดของเส้นด้ายใยแก้วตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D1059-01 Standard Test Method for Yarn Number Based on Short-Length Specimens พบว่าเส้นด้ายใยแก้วดิบมีขนาด 3 Ne หรือเป็นเส้นด้ายเบอร์ 3 cotton count

4.1.2 การดูดซึมน้ำของเส้นด้ายใยแก้ว

ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของเส้นด้ายใยแก้วหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวดังแสดงในตารางที่ 4.1 เทียบกับเส้นด้ายดิบ (ก่อนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว) พบว่าเส้นด้ายใยแก้วที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวสามารถดูดซึมน้ำได้ทันที และดูดซึมน้ำสม่ำเสมอทั่วทั้งเส้นด้ายในขณะที่เส้นด้ายดิบใช้เวลาเฉลี่ย 9 วินาที ในการดูดซึมน้ำ ทั้งนี้เนื่องจากเส้นด้ายดิบมีสิ่งเจือปนชนิดลิกนินและเพกทินที่สามารถสะท้อนน้ำ เส้นด้ายดิบจึงดูดซึมน้ำช้ากว่า แต่เมื่อสิ่งเจือปนถูกกำจัดออกไปการสะท้อนน้ำของเส้นด้ายน้อยลง เส้นด้ายจึงดูดซึมน้ำได้ดีมากขึ้น (ดูดทันที)

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของเส้นด้ายใยแก้วก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว

เส้นด้ายใยแก้ว	เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำ (วินาที)
ก่อนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว	9
หลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว	0 (ดูดซึมทันที)

4.1.3 ดัชนีความขาวของเส้นด้ายใยแก้วซิง

หลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวเส้นด้ายใยแก้วซิงดิบ และตรวจวัดความขาวของเส้นด้ายด้วยเครื่องวัดสี พบว่าเส้นด้ายที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวมีความขาวเพิ่มขึ้นจากเส้นด้ายดิบคือ มีค่าดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นเป็น 5-8 จากค่าดัชนีความขาวของเส้นด้ายดิบ 2.3 ซึ่งความขาวที่เพิ่มขึ้นของเส้นด้ายหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวน่าจะเกิดจากสิ่งเจือปนและสีธรรมชาติบนเส้นด้ายถูกกำจัดออกไปจึงทำให้เส้นด้ายมีความขาวมากขึ้น

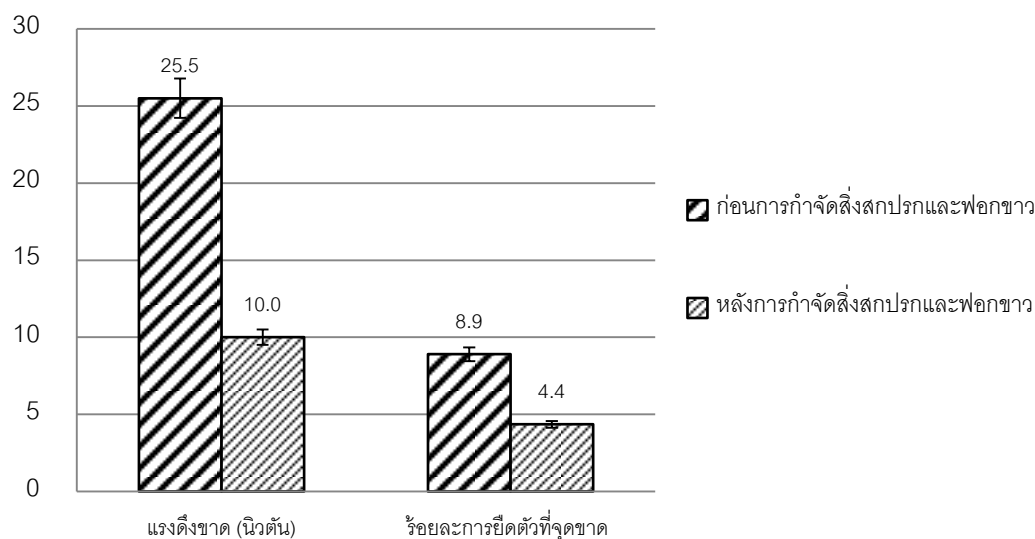
อย่างไรก็ตาม พบด้วยว่ากลุ่มของใจเส้นด้ายดิบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าดัชนีความขาวที่แตกต่างกันค่อนข้างมากเนื่องจากแหล่งที่มาและช่วงเวลาที่ได้มาแตกต่างกัน จึงทำให้หลังการฟอกขาวจะได้เส้นด้ายที่มีดัชนีความขาวแตกต่างกันบ้างและส่งผลให้ค่าความเข้มสีของเส้นด้ายย่อยในแต่ละกลุ่มตัวอย่างมีค่าแตกต่างกันด้วย ดังนั้นการเปรียบเทียบค่าของสีบนเส้นด้ายหลังย่อยจะเปรียบเทียบเฉพาะภายในกลุ่มที่เส้นด้ายหลังฟอกมีดัชนีความขาวเท่ากันหรือใกล้เคียงกันเท่านั้น

4.1.4 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด

หลังจากการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวเส้นด้ายใยแก้วซิง เส้นด้ายถูกนำไปทดสอบหาค่าแรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง แสดงค่าในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.1

ตารางที่ 4.2 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วซิงก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว

เส้นด้ายใยแก้วซิง	แรงดึงขาด (นิวตัน)	ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด
ก่อนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว	25.5	8.9
หลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว	10.0	4.4

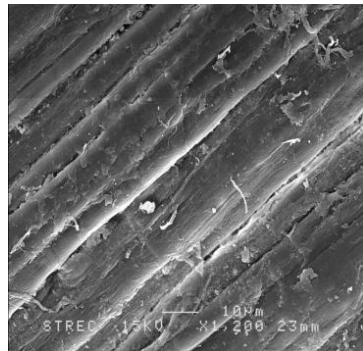


ภาพที่ 4.1 แรงดึงขาดและร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วซิงก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว

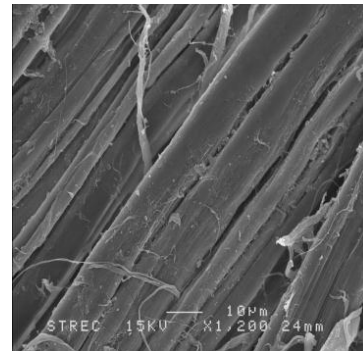
เมื่อนำเส้นด้ายใยแก้วซิงก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวไปทดสอบค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละของการยึดตัวที่จุดขาด (ตารางที่ 4.2) พบว่าเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวมีค่าแรงดึงขาดลดลงร้อยละ 60.8 และค่าร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดลดลงร้อยละ 50.6 จากเส้นด้ายดิบ แสดงให้เห็นว่าการกำจัดสิ่งสกปรกและการฟอกขาวเส้นด้ายใยแก้วซิงทำให้เส้นด้ายมีความคงทนต่อแรงดึงน้อยลงร้อยละ 60 คือขาดง่ายขึ้นและยึดตัวได้น้อยลงกว่าเดิม ทั้งนี้เนื่องจากสิ่งสกปรกที่อยู่ในเส้นใยถูกกำจัดออกไประหว่างกระบวนการ ซึ่งสิ่งสกปรกเหล่านี้ (ประกอบด้วยลิกนินและเพกทิน) เมื่ออยู่ในเส้นใยจะช่วยยึดกลุ่มไมโครไฟบริลในเส้นใยไว้ด้วยกัน เส้นใยและเส้นด้ายจึงแข็งแรงและยืดหยุ่นได้บ้าง แต่เมื่อสิ่งสกปรกถูกกำจัดออกไป ไมโครไฟบริลแยกออกจากกัน เส้นใยและเส้นด้ายจึงอ่อนแอลง ขาดง่ายและยืดหยุ่นน้อยลง

4.2 ผลการศึกษาลักษณะพื้นผิวของเส้นใยแก้วซิงก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว

เส้นด้ายใยแก้วซิงที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว ถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของเส้นใย เปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซิงดิบ โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงผลดังภาพที่ 4.2



(ก)



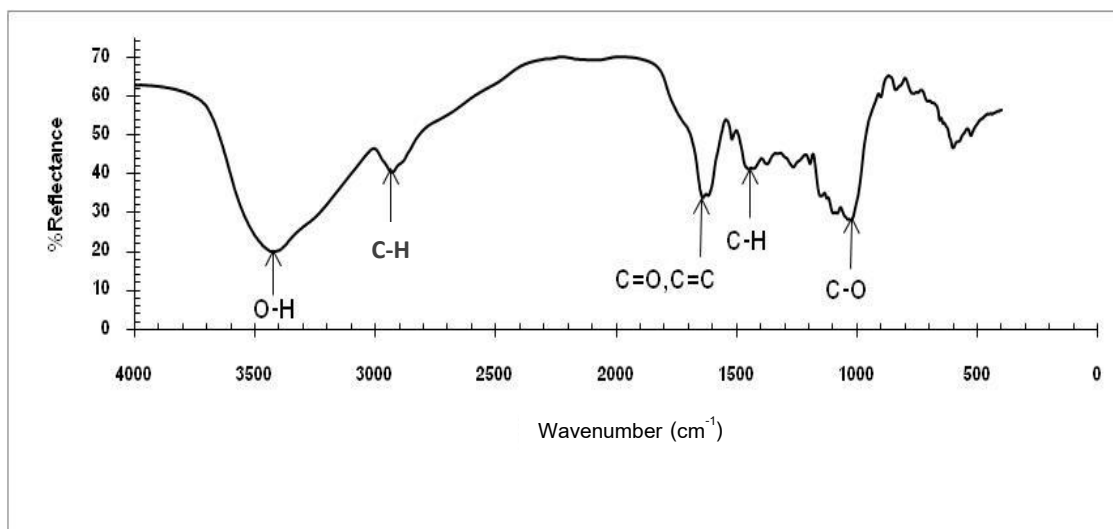
(ข)

ภาพที่ 4.2 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของเส้นใยแก้วซัง (ก) เส้นใยแก้วซังดิบ (ข) เส้นใยแก้วซังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว

ภาพที่ 4.2 (ก) แสดงเส้นใยแก้วซังดิบ พบว่าพื้นผิวเส้นใยมีสิ่งเจือปนและมีไฟบริล แยกออกจากผิวเส้นใย ในภาพ 4.2 (ข) จะเห็นสิ่งเจือปนบนเส้นใยถูกกำจัดออกไป ผิวเส้นใยจึงเรียบและสะอาดขึ้น เนื่องจากลิกนินและเพกทินถูกกำจัดออกไปด้วยกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว

4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างทางเคมีของสีที่สกัดจากเปลือกต้นมะพูดและไคโตซาน

สีที่สกัดจากเปลือกต้นมะพูดและไคโตซาน ถูกวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิค ATR-FTIR พบหมู่ฟังก์ชันต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 และ ตารางที่ 4.3 สำหรับสีสกัดและแสดงในภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.4 สำหรับไคโตซาน

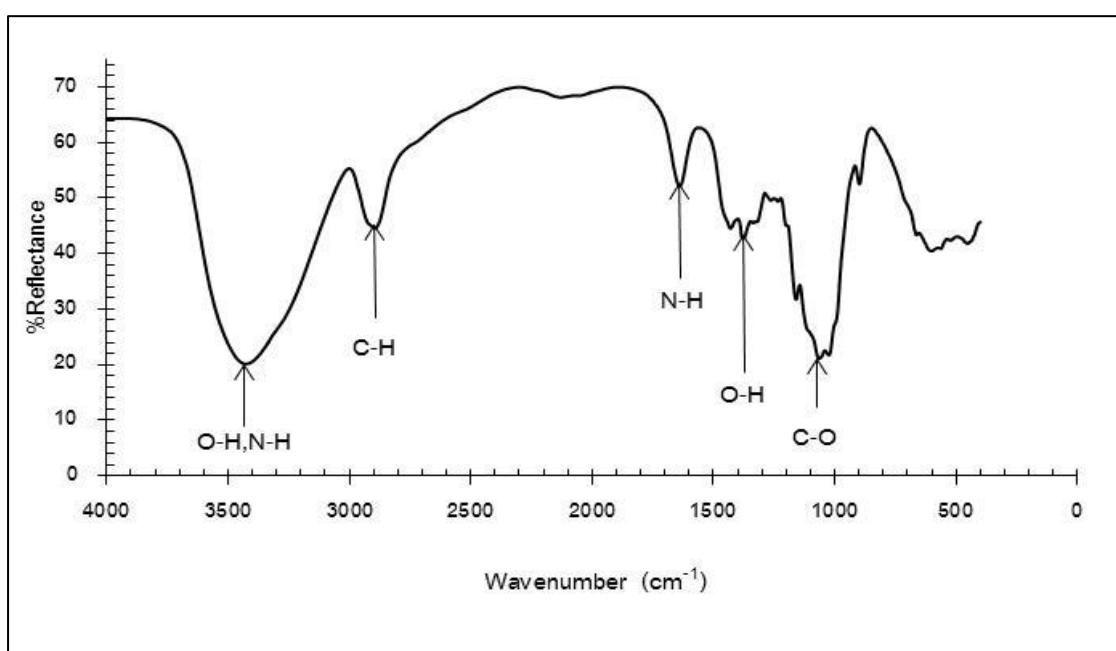


ภาพที่ 4.3 ATR-FTIR สเปกตรัมของสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด

ตารางที่ 4.3 ตำแหน่งพีคที่สำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด

สีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด/เลขคลื่น (ซม ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
3428	O-H stretching
2930	C-H stretching
1638	C=O,C=C stretching
1450	C-H (-CH ₃ bending)
1023	C-O stretching

จากภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.3 แสดงตำแหน่งพีคสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมที่ปรากฏจะแสดงถึงตำแหน่งพีคของสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด คือ พีคการดูดกลืนของ O-H stretching ที่เลขคลื่น 3428 ซม⁻¹ พีค C-H stretching ของหมู่เมทิล ที่เลขคลื่น 2930 ซม⁻¹ พีค C=O,C=C stretching ที่เลขคลื่น 1638 ซม⁻¹ และ พีค -CH₃ ที่เลขคลื่น 1450 ซม⁻¹ รวมทั้งพีค C-O stretching ที่เลขคลื่น 1023 ซม⁻¹ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลโครงสร้างสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด [32] แสดงในภาพที่ 2.11 มาเทียบกับหมู่ฟังก์ชันข้างต้น พบว่าสีที่สกัดได้ในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกันกับโครงสร้างสีในภาพที่ 2.11 หรือคือสีจากเปลือกต้นมะพูดนั่นเอง



ภาพที่ 4.4 ATR-FTIR สเปกตรัมของเคโรทีน

ตารางที่ 4.4 ตำแหน่งพีกที่สำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของโคโตซาน

โคโตซาน/เลขคลื่น (ซม ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
3428	O-H stretching และ N-H stretching
2896	C-H stretching
1640	N-H bending
1374	O-H bending
1075	C-O stretching

จากภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.4 แสดงตำแหน่งพีกสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของโคโตซาน ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมที่ปรากฏจะแสดงถึงตำแหน่งพีกของโคโตซาน คือ พีกการดูดกลืนของ O-H stretching และ N-H stretching ที่เลขคลื่น 3428 ซม⁻¹ พีก C-H stretching ของหมู่เมทิล ที่เลขคลื่น 2896 ซม⁻¹ และพีกของ N-H bending ที่เลขคลื่น 1640 ซม⁻¹ รวมทั้งพีกของ C-O stretching ของวงแหวนไพราโนส ที่เลขคลื่น 1075 ซม⁻¹ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลโครงสร้างโคโตซาน แสดงในภาพที่ 2.4 มาเทียบกับหมู่ฟังก์ชันข้างต้น สรุปได้ว่าเป็นสารโคโตซาน

4.4 ผลการศึกษาปริมาณการใช้สารช่วยสีติดในการย้อมเส้นด้ายใยแก้วชงด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด

ในการย้อมสีเส้นด้ายใยแก้วชงด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดจำเป็นต้องใช้สารช่วยสีติดเพื่อผนึกสีบนเส้นด้ายและได้ทดลองใช้สารช่วยสีติดชนิดสารส้ม ความเข้มข้นต่างๆ ตั้งแต่ร้อยละ 0-10 ในการย้อมสี หลังการย้อมวัดค่าความเข้มสี (K/S) ความสว่างของสี (L*) และเฉดสี (a*, b*) ของเส้นด้ายย้อมโดยใช้เครื่องวัดสีเพื่อพิจารณาความเข้มข้นของสารช่วยสีติดที่เหมาะสม โดยแสดงผลในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ย้อมด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดโดยใช้สารส้มความเข้มข้นร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เป็นสารช่วยสีติด

ความเข้มข้นของสารส้ม	K/S	L*	a*	b*
0%	4.76	62.87	3.73	28.46
2%	9.53	65.81	5.33	53.40
4%	13.47	65.97	6.44	60.66
6%	16.32	66.19	6.86	64.30
8%	17.74	66.15	6.6	65.28
10%	18.17	65.83	6.71	65.24

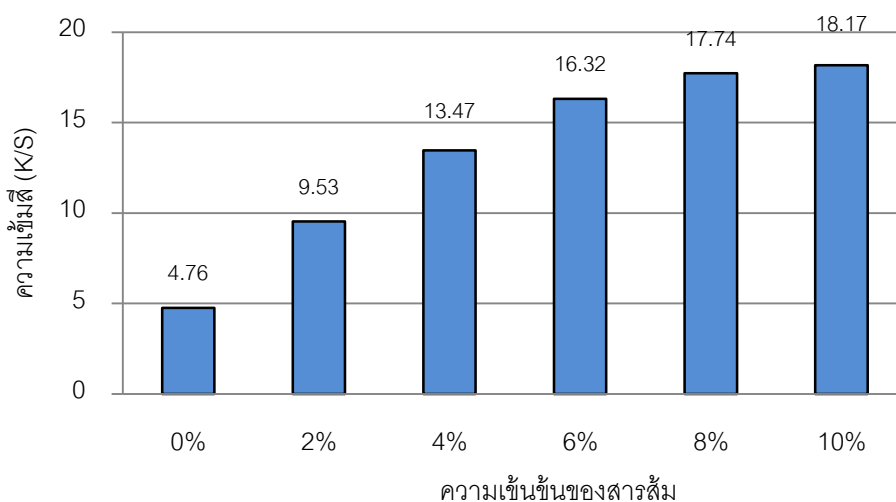
หมายเหตุ

ค่า K/S คือ ความเข้มสี หรือ Color strength ค่าสูงหมายถึงสีเข้ม ค่าต่ำหมายถึงสีอ่อน

ค่า L* คือ ความสว่างของสีหรือ Lightness ค่ามากหมายถึงสีอ่อนหรือสีสว่าง ค่าน้อยหมายถึงสีมืดทึม

ค่า a* หากค่าบวกออกเฉดสีแดง ค่าลบออกเฉดสีเขียว (ค่าบวกมากหรือลบมากจะออกโทนนั้นมาก)

ค่า b* หากค่าบวกออกเฉดสีเหลือง ค่าลบออกเฉดสีน้ำเงิน (ค่าบวกมากหรือลบมากจะออกโทนนั้นมาก)



ภาพที่ 4.5 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ย้อมด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดโดยใช้สารส้มความเข้มข้นร้อยละ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 เป็นสารช่วยสีติด

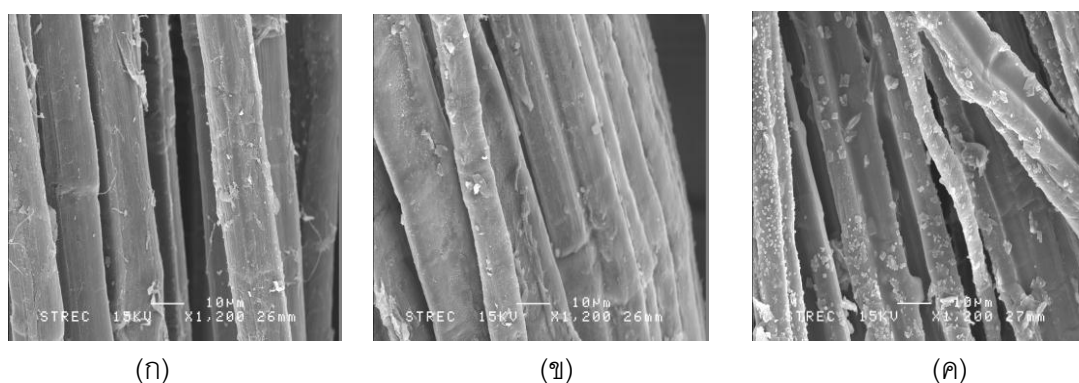
ผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่า การย้อมเส้นด้ายใยแก้วซิงด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดโดยไม่ใช้สารส้มเป็นสารช่วยสีติด (ความเข้มข้นร้อยละ 0) เส้นด้ายมี

ความเข้มสี (K/S) 4.76 ค่าความสว่าง (L^*) 62.87 ค่า a^* 3.73 และค่า b^* 28.46 หมายความว่า เส้นด้ายย้อมมีเฉดสีเหลืองจากค่า b^* ที่เป็นบวกมากและค่า a^* เป็นบวกเล็กน้อย เมื่อใช้สารส้มเป็นสารช่วยสีติดในการย้อมจะพบว่า เส้นด้ายมีความเข้มสีมากขึ้นตามความเข้มข้นของสารส้มที่เพิ่มขึ้นหมายถึง การใช้สารส้มความเข้มข้นสูงขึ้นในการย้อม จะทำให้สีย้อมฉีกติดบนเส้นด้ายมากขึ้นหรือย้อมเส้นด้ายได้สีเข้มมากขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้พบว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารส้มในการย้อม จะทำให้เส้นด้ายมีสีเหลืองมากขึ้นจากค่า b^* ที่เพิ่มขึ้น ส่วนค่าความสว่างของสีและค่า a^* มีการเปลี่ยนแปลงบ้างเล็กน้อยคือ เส้นด้ายมีสีสว่างขึ้นเล็กน้อยจากค่า L^* ที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อย และมีโทนสีแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากค่า a^* ที่เป็นบวกมากขึ้นเล็กน้อย จึงสรุปได้ว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารส้มในการย้อมเส้นด้ายใยกล้วยชงด้วยสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด จะทำให้สามารถย้อมเส้นด้ายได้สีเหลืองเข้มมากขึ้น และความเข้มข้นของสารส้มที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นสารช่วยสีติดคือ ความเข้มข้นร้อยละ 10 (ย้อมได้สีเหลืองเข้มและเป็นความเข้มข้นที่ค่อนข้างสูงแล้ว)

4.5 ผลการศึกษาโคโตซานบนเส้นใยกล้วยที่ปรับสภาพ

4.5.1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยกล้วยที่ปรับสภาพ

เส้นด้ายใยกล้วยที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวและปรับสภาพด้วยโคโตซานแล้วทำให้แห้งด้วยการผึ่งแห้ง หรือการอบแห้ง ถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของเส้นใย (เปรียบเทียบกับที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวแต่ไม่ได้ปรับสภาพ) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงผลดังภาพที่ 4.6

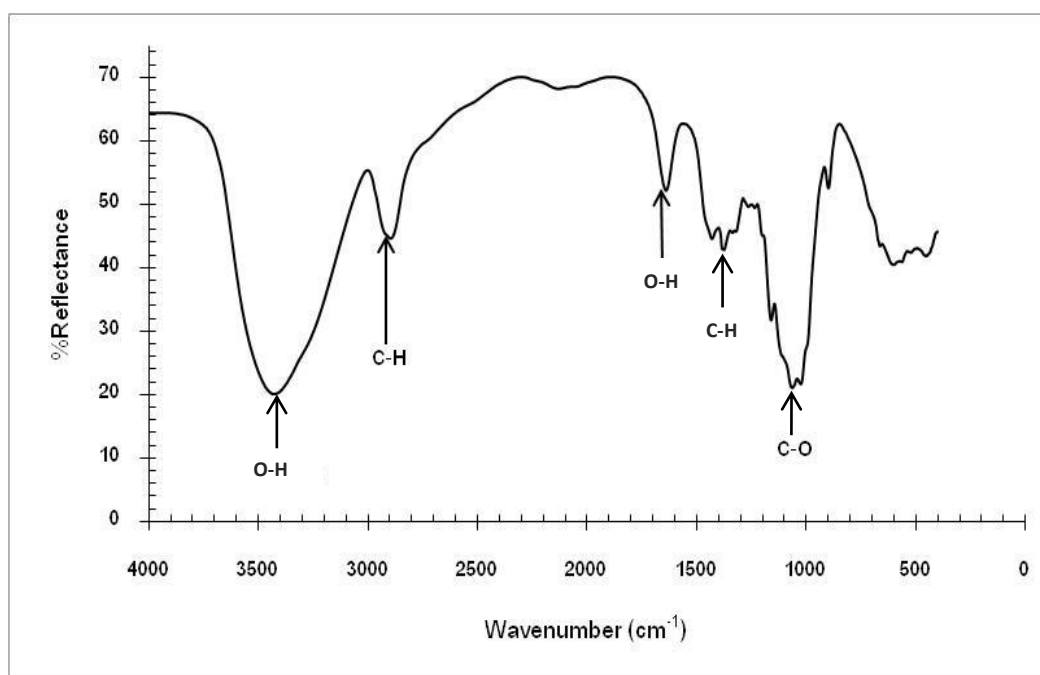


ภาพที่ 4.6 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของเส้นใยกล้วย (ก) เส้นใยกล้วยไม่ได้ปรับสภาพ (ข) เส้นใยกล้วยปรับสภาพด้วยโคโตซานแล้วผึ่งให้แห้ง และ (ค) เส้นใยกล้วยปรับสภาพด้วยโคโตซานแล้วอบให้แห้ง

ภาพที่ 4.6 ภาพ (ก) แสดงเส้นใยแก้วซิงที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวแต่ไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานพบว่า พื้นผิวเส้นใยมีสิ่งเจือปนบ้างและมีไฟบริลแยกออกจากผิวเส้นใยด้วย ในภาพ (ข) จะเห็นเส้นใยถูกเคลือบด้วยฟิล์มของไคโตซานหลังการปรับสภาพและผึ่งแห้ง ส่วนเมื่อปรับสภาพเส้นใยด้วยไคโตซานแล้วอบแห้ง จะเห็นอนุภาคของไคโตซานแยกกระจายอยู่บนผิวเส้นใย จากสาเหตุที่น้ำในสารละลายไคโตซานบนเส้นใยถูกกำจัดออกไปด้วยการอบแห้งเส้นใย

4.5.2 หมู่ฟังก์ชันของไคโตซานบนเส้นใยแก้วซิงที่ปรับสภาพ

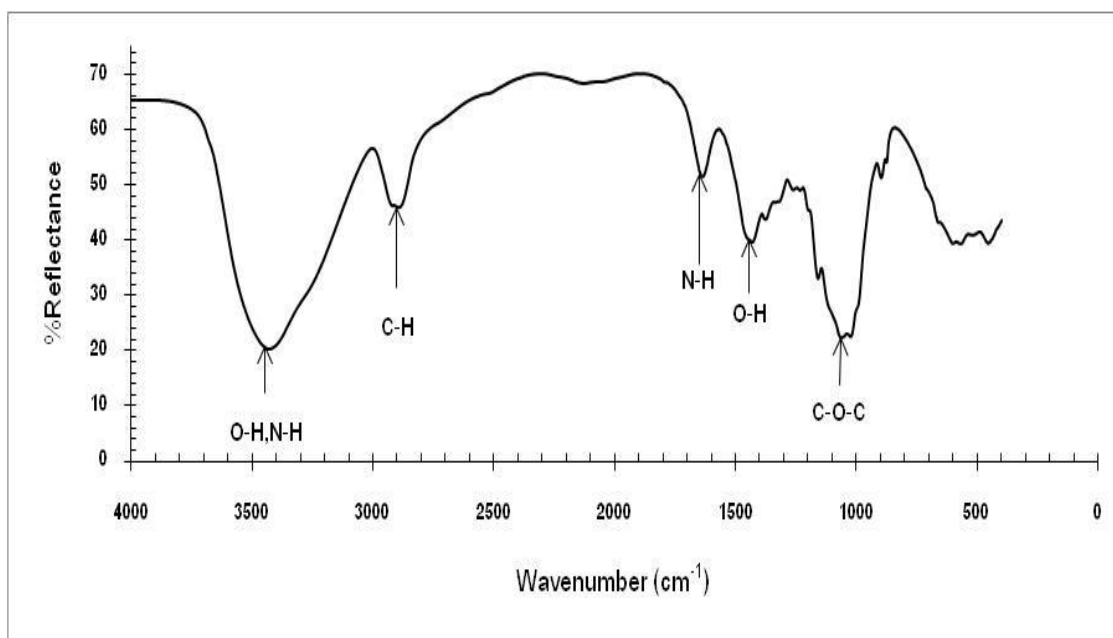
เส้นด้ายใยแก้วซิงก่อนปรับสภาพและหลังปรับสภาพด้วยไคโตซานถูกนำไปวิเคราะห์ หมู่ฟังก์ชันหรือโครงสร้างทางเคมีของไคโตซานบนเส้นใยด้วยเทคนิค ATR-FTIR แสดงผลในภาพ ที่ 4.7 และ 4.8 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 ATR-FTIR สเปกตรัมของเส้นด้ายใยแก้วซิงก่อนปรับสภาพด้วยไคโตซาน

ตารางที่ 4.6 ตำแหน่งพีคที่สำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของเส้นด้ายใยแก้วชงก่อนปรับสภาพด้วยไคโตซาน

เส้นด้ายใยแก้วชง/เลขคลื่น (ซม ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
3428	O-H stretching
2896	C-H stretching
1639	O-H absorbed
1374	C-H bending
1063	C-O stretching



ภาพที่ 4.8 ATR-FTIR สเปกตรัมของเส้นด้ายใยแก้วชงปรับสภาพด้วยไคโตซาน

ตารางที่ 4.7 ตำแหน่งพีคที่สำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของเส้นด้ายใยแก้วชงปรับสภาพด้วยไคโตซาน

ไคโตซาน/เลขคลื่น (ซม ⁻¹)	หมู่ฟังก์ชัน
3434	O-H stretching และ N-H stretching
2893	C-H stretching
1635	N-H bending
1433	O-H bending
1063	C-O stretching

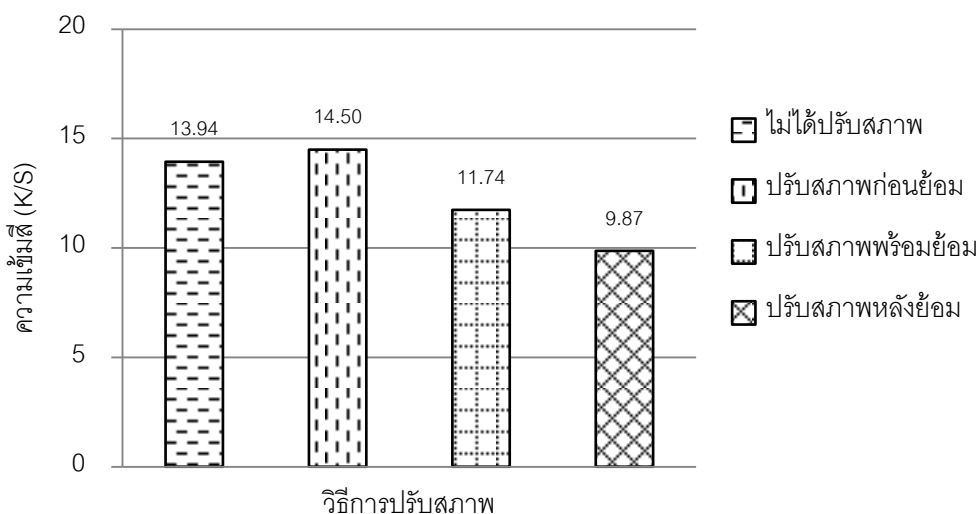
จากภาพที่ 4.8 และตารางที่ 4.7 แสดงตำแหน่งพีคสำคัญต่างๆ ที่พบในสเปกตรัมของเส้นด้ายใยแก้วซึ่งปรับสภาพด้วยไคโตซาน ซึ่งอินฟราเรดสเปกตรัมที่ปรากฏจะแสดงถึงตำแหน่งพีคของไคโตซาน คือ พีคการดูดกลืนของ O-H stretching และ N-H stretching ที่เลขคลื่น 3434 cm^{-1} พีค C-H stretching ของหมู่เมทิล ที่เลขคลื่น 2893 cm^{-1} และพีคของ N-H bending ที่เลขคลื่น 1635 cm^{-1} รวมทั้งพีคของ C-O stretching ของวงแหวนไพราโนส ที่เลขคลื่น 1063 cm^{-1} ซึ่งหมู่ฟังก์ชันข้างต้นนี้แสดงโครงสร้างไคโตซาน แสดงว่า เส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพจะมีไคโตซานอยู่บนเส้นใยนั่นเอง

4.6 ผลการศึกษาวิธีการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยไคโตซาน (ปรับสภาพก่อนย้อมพร้อมย้อม และหลังย้อม)

วิธีการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วในวิจัยนี้ทำเปรียบเทียบระหว่างการปรับสภาพก่อนย้อมพร้อมย้อม และหลังย้อม จากนั้นวัดค่าความเข้มสีและเฉดสีของเส้นด้ายย้อมโดยใช้เครื่องวัดสีแสดงผลในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9

ตารางที่ 4.8 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพก่อนย้อม ที่ปรับสภาพพร้อมย้อมและที่ปรับสภาพหลังย้อม

เส้นด้ายใยแก้วซึ่งย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	13.94	70.14	2.95	65.01
ปรับสภาพก่อนย้อม	14.50	67.19	0.81	60.04
ปรับสภาพพร้อมย้อม	11.74	65.38	1.03	53.41
ปรับสภาพหลังย้อม	9.87	72.35	-0.78	54.09



ภาพที่ 4.9 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยกล้วยงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยกล้วยงที่ปรับสภาพก่อนย้อม พร้อมย้อมและหลังย้อม

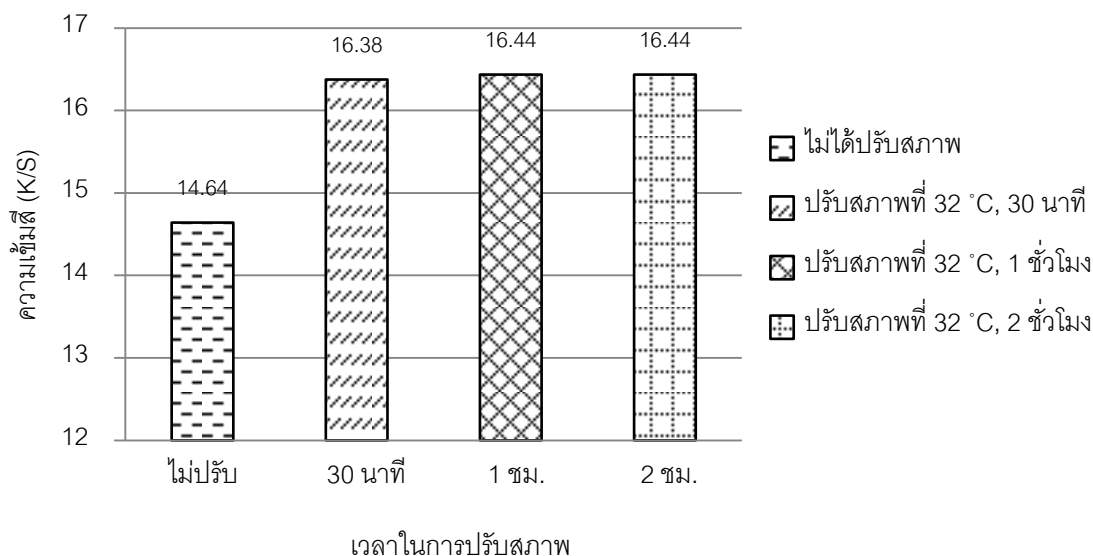
ค่าความเข้มสี (K/S) ของเส้นด้ายใยกล้วยงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าเส้นด้ายใยกล้วยงที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนการย้อมมีค่าความเข้มสีมากที่สุด คือมีค่ามากกว่าความเข้มสีของเส้นด้ายใยกล้วยงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพ เส้นด้ายที่ปรับสภาพพร้อมย้อมและเส้นด้ายที่ปรับสภาพหลังย้อม เนื่องจากการปรับสภาพ (ก่อนย้อม) เส้นด้ายใยกล้วยงที่มีประจุลบ ด้วยไคโตซานที่มีประจุบวกในสภาวะกรด จะทำให้เส้นด้ายมีประจุบวกมากขึ้นและสามารถช่วยเพิ่มการดูดซับสีที่สกัดจากเปลือกต้นมะพูด (สีประจุลบ) และทำให้เส้นด้ายมีสีเหลืองเข้มมากที่สุด ดูได้จากค่า b^* เป็นบวกมากและค่า a^* ใกล้ 0 (ค่า b^* บวกมากออกโทนสีเหลือง) ในขณะที่การปรับสภาพพร้อมย้อมและหลังย้อม ทำให้เส้นด้ายย้อมติดสีอ่อนกว่า (ค่าความเข้มสีและค่า b^* ต่ำกว่า) เนื่องจากการปรับสภาพด้วยไคโตซาน (ประจุบวก) พร้อมย้อมสี (ประจุลบ) อาจทำให้สีตกตะกอนกับไคโตซานและทำให้การดูดซับสีบนเส้นด้ายเกิดน้อยลง เส้นด้ายจึงมีสีอ่อน ในขณะที่การปรับสภาพหลังย้อม สีและเส้นด้ายมีประจุลบทั้งคู่จึงผลักกันเมื่อย้อม ทำให้การดูดซับสีบนเส้นด้ายเกิดน้อยและเส้นด้ายมีสีอ่อนเช่นกัน ส่วนเส้นด้ายที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพจะมีค่า b^* และ a^* มากกว่าเส้นด้ายที่ปรับสภาพก่อนย้อมหมายถึงมีเนื้อสีเหลืองมากกว่าและมีโทนสีแดงบ้างเล็กน้อยแต่มีค่าความเข้มสีต่ำกว่า จึงมีสีเหลืองอ่อนกว่าเส้นด้ายที่ปรับสภาพก่อนย้อม จากผลการทดลองทำให้สรุปได้ว่า วิธีการปรับสภาพเส้นด้ายใยกล้วยงด้วยไคโตซานที่เหมาะสมคือ การปรับสภาพเส้นด้ายก่อนกระบวนการย้อมสี

4.7 ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยไคโตซาน

จากผลการทดลองหาวิธีที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยไคโตซานที่แสดงในข้อ 4.6 พบว่าการปรับสภาพก่อนย้อมเป็นวิธีที่ดีที่สุด จากนั้นได้ศึกษาอุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิห้อง (32 องศาเซลเซียส), 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง แล้วย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดและฝักสีด้วยสารส้มความเข้มข้นร้อยละ 10 จากนั้นวัดความเข้มสีและเจดสีของเส้นด้ายย้อมโดยใช้เครื่องวัดสี แสดงผลในตารางที่ 4.9-4.13 และภาพที่ 4.10-4.14 โดยในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 แสดงค่าสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง ก่อนย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด

ตารางที่ 4.9 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

เส้นด้ายใยแก้วย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	14.64	69.94	4.49	66.65
ปรับสภาพที่ 32 °C, 30 นาที	16.38	66.43	0.78	59.59
ปรับสภาพที่ 32 °C, 1 ชั่วโมง	16.44	66.18	0.87	59.44
ปรับสภาพที่ 32 °C, 2 ชั่วโมง	16.44	66.21	1.14	59.68



ภาพที่ 4.10 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับ เส้นด้ายใยแก้วซิงที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

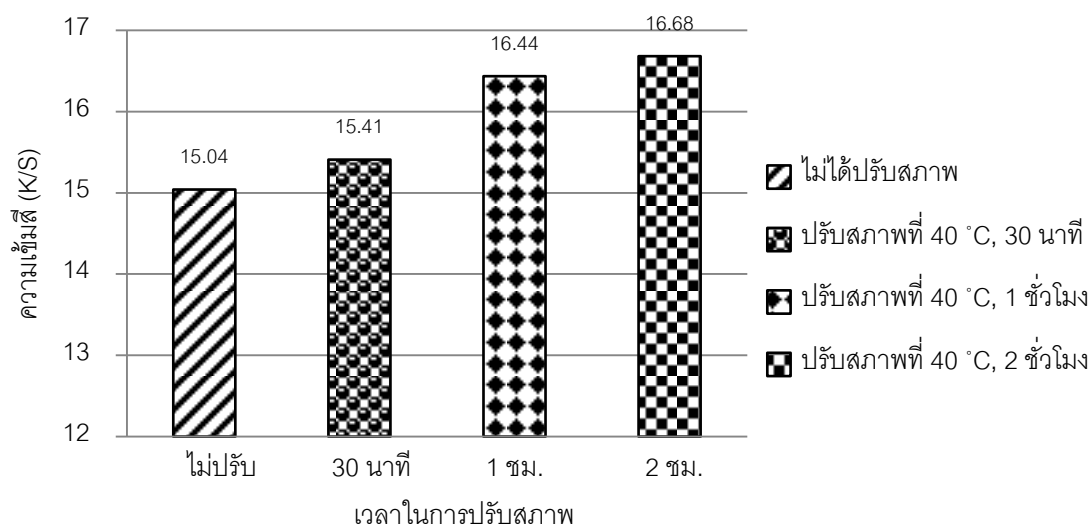
จากตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซิงด้วยโคโตซานที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆกัน 3 เวลา คือ 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง แล้วนำไปย้อมพบว่าเส้นด้ายทั้งสามมีสีเข้มใกล้เคียงกันดูได้จากค่าความเข้มสีอยู่ในช่วง 16.4 เหมือนกัน เทียบกับค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม พบว่าเส้นด้ายที่ปรับสภาพและย้อมมีสีเข้มกว่าหรือมีค่าความเข้มสีสูงกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการปรับสภาพเส้นด้ายด้วยโคโตซานที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส สามารถช่วยเพิ่มการดูดซับสีของเส้นด้ายด้วยเหตุผลที่แสดงไว้แล้วในข้อ 4.6 และเมื่อเพิ่มเวลาของการปรับสภาพจาก 30 นาที เป็น 1-2 ชั่วโมง ก็ไม่ได้ช่วยเพิ่มการดูดซับสีบนเส้นด้ายเท่าใดนัก ส่วนค่า b^* ที่แสดงในตารางที่ 4.8 ซึ่งให้เห็นว่า เส้นด้ายที่ย้อมแล้วมีเฉดสีเหลือง โดยที่เส้นด้ายไม่ได้ปรับสภาพและย้อมจะออกเฉดสีเหลืองแกมแดงเล็กน้อย (ค่า b^* บวกมาก, ค่า a^* บวกเล็กน้อย) เส้นด้ายที่ปรับสภาพและย้อมที่เวลาต่างกัน 3 เวลา ต่างก็มีเฉดสีเหลืองมากโดยแทบไม่มีสีแดงผสมอยู่ (ค่า b^* บวกมาก, ค่า a^* ใกล้ 0) ส่วนค่า L^* ของเส้นด้ายที่ปรับสภาพแล้วย้อม จะมีค่าต่ำกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม แสดงว่าเส้นด้ายที่ปรับสภาพและย้อมมีสีมืดทึมกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม (L^* สูงกว่า, มีสีสว่างกว่า)

จากผลการทดลองนี้ทำให้ทราบการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วชงด้วยโคโตซานที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส ควรใช้เวลาปรับสภาพ 30 นาทีก็เพียงพอ เนื่องจากจะได้เส้นด้ายที่สามารถดูดซับสี ย้อมได้มากและย้อมได้สีเหลืองเข้มดี

ต่อไปเป็นการทดลองปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วชงด้วยโคโตซานที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่าง ๆ กัน 3 เวลา คือ 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง แล้วนำเส้นด้ายไปย้อมและวัดค่าสีของเส้นด้ายด้วยเครื่องวัดสี โดยแสดงค่าสีของเส้นด้ายในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.11

ตารางที่ 4.10 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วชงที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

เส้นด้ายใยแก้วชงย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	15.04	68.69	4.91	65.66
ปรับสภาพที่ 40 °C, 30 นาที	15.41	66.65	0.71	58.86
ปรับสภาพที่ 40 °C, 1 ชั่วโมง	16.44	67.01	0.47	59.83
ปรับสภาพที่ 40 °C, 2 ชั่วโมง	16.68	66.49	0.52	59.61



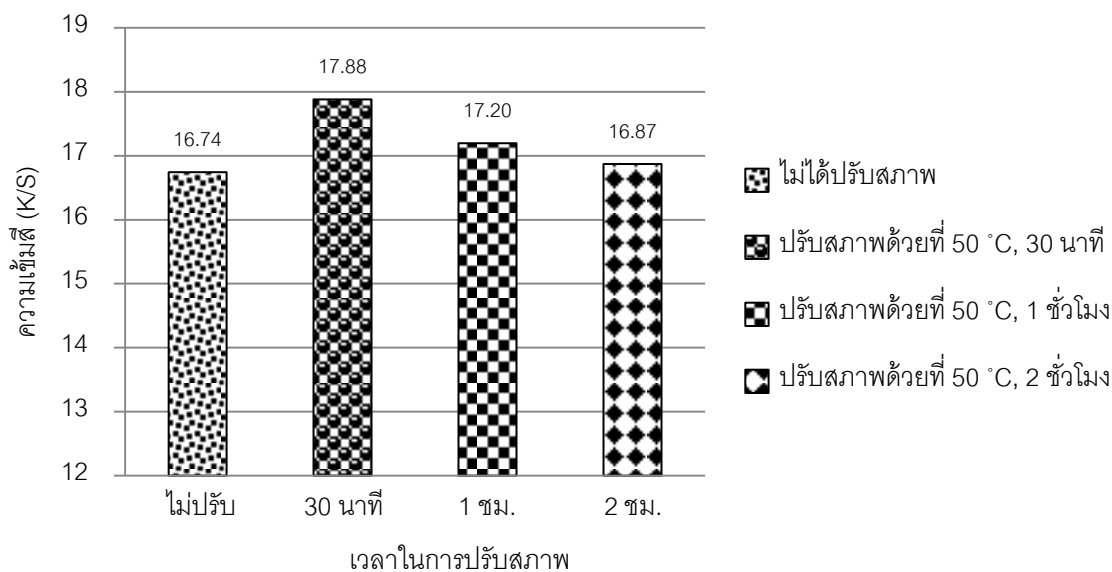
ภาพที่ 4.11 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วชงที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

ผลของค่าสีในตารางที่ 4.10 และภาพที่ 4.11 ซึ่งให้เห็นว่า การปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ 40 องศาเซลเซียส สามารถช่วยเพิ่มการดูดซับสีย้อมให้แก่เส้นด้าย ดูได้จากค่าความเข้มสีที่เพิ่มขึ้น จากค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม และเมื่อเพิ่มเวลาของการปรับสภาพจะ พบว่า เส้นด้ายมีการดูดซับสีมากขึ้นอีกตามเวลาที่เพิ่มขึ้น ซึ่งต่างจากการปรับสภาพที่ 32 องศาเซลเซียสที่การเพิ่มเวลาการปรับสภาพไม่ได้ช่วยเพิ่มการดูดซับสีของเส้นด้าย เมื่อวิเคราะห์เจดสีของเส้นด้ายจากค่า b^* และ a^* พบว่าการปรับสภาพเส้นด้ายที่ 40 องศาเซลเซียสแล้วย้อมสี ทำให้เส้นด้ายมีเจดสีเหลืองเข้มโดยแทบไม่มีสีแดงผสม (ค่า b^* บวกมาก, ค่า a^* ใกล้ 0) ในขณะที่เส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม มีสีเหลืองเข้มแต่มีสีแดงผสมมากกว่า (ค่า b^* บวกมาก, ค่า a^* บวกเล็กน้อย) ค่า L^* ของเส้นด้ายแสดงว่าเส้นด้ายปรับสภาพแล้วย้อม (ค่า L^* ต่ำกว่า) มีสีมืดทึมกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม (L^* สูงกว่า, มีสีสว่างกว่า) จากผลทั้งหมดนี้ทำให้สรุปได้ว่าการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซึ่งด้วยไคโตซานที่ 40 องศาเซลเซียส ที่ได้ผลดีที่สุดคือ ปรับสภาพเป็นเวลาอย่างน้อย 1 ชั่วโมง จะได้เส้นด้ายที่ย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดได้สีเหลืองเข้มอย่างเห็นได้ชัด

การทดลองปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซึ่งด้วยไคโตซานที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆกัน 3 เวลา คือ นาน 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง แล้วนำเส้นด้ายไปย้อมและวัดค่าสีของเส้นด้ายเครื่องวัดสีโดยแสดงค่าสีของเส้นด้ายในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

เส้นด้ายใยแก้วซึ่งย้อมสี	K/S	L^*	a^*	b^*
ไม่ได้ปรับสภาพ	16.74	69.13	5.05	68.12
ปรับสภาพที่ 50 °C, 30 นาที	17.88	65.74	2.29	62.35
ปรับสภาพที่ 50 °C, 1 ชั่วโมง	17.20	65.73	1.25	60.72
ปรับสภาพที่ 50 °C, 2 ชั่วโมง	16.87	65.29	0.58	58.92



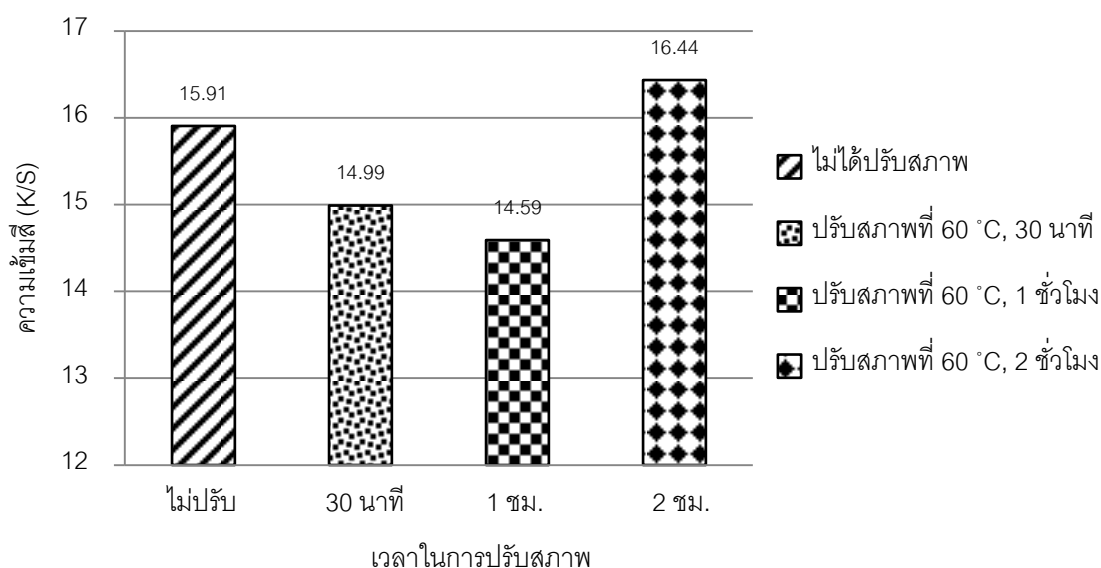
ภาพที่ 4.12 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เทียบกับเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

ผลของค่าสีในตารางที่ 4.11 และภาพที่ 4.12 ซึ่งให้เห็นว่าการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วที่ 50 องศาเซลเซียส สามารถช่วยเพิ่มการดูดซับสีย้อมให้แก่เส้นด้าย ดูได้จากค่าความเข้มสีที่เพิ่มขึ้น จากค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม แต่การเพิ่มเวลาของการปรับสภาพกลับทำให้เส้นด้ายดูดซับสีได้น้อยลง ดังนั้นการปรับสภาพเส้นด้ายที่ 50 องศาเซลเซียส ควรปรับสภาพในระยะเวลาสั้นๆคือ 30 นาที จะสามารถย้อมเส้นด้ายได้สีเหลืองเข้มที่สุด มีสีแดงผสมเล็กน้อย (ค่า b^* บวกมาก, ค่า a^* บวกเล็กน้อย) และมีสีมืดที่มากกว่า (ค่า L^* ต่ำกว่า) เส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม (ค่า L^* สูงกว่า)

การทดลองปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆกัน 3 เวลา คือ 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง แล้วนำเส้นด้ายไปย้อมและวัดค่าสีของเส้นด้ายด้วยเครื่องวัดสี โดยแสดงค่าสีของเส้นด้ายในตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.13

ตารางที่ 4.12 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

เส้นด้ายใยแก้วซิงย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	15.91	68.74	4.89	66.94
ปรับสภาพที่ 60 °C, 30 นาที	14.99	66.85	-0.17	56.69
ปรับสภาพที่ 60 °C, 1 ชั่วโมง	14.59	68.56	-0.26	56.92
ปรับสภาพที่ 60 °C, 2 ชั่วโมง	16.44	65.86	0.67	57.48



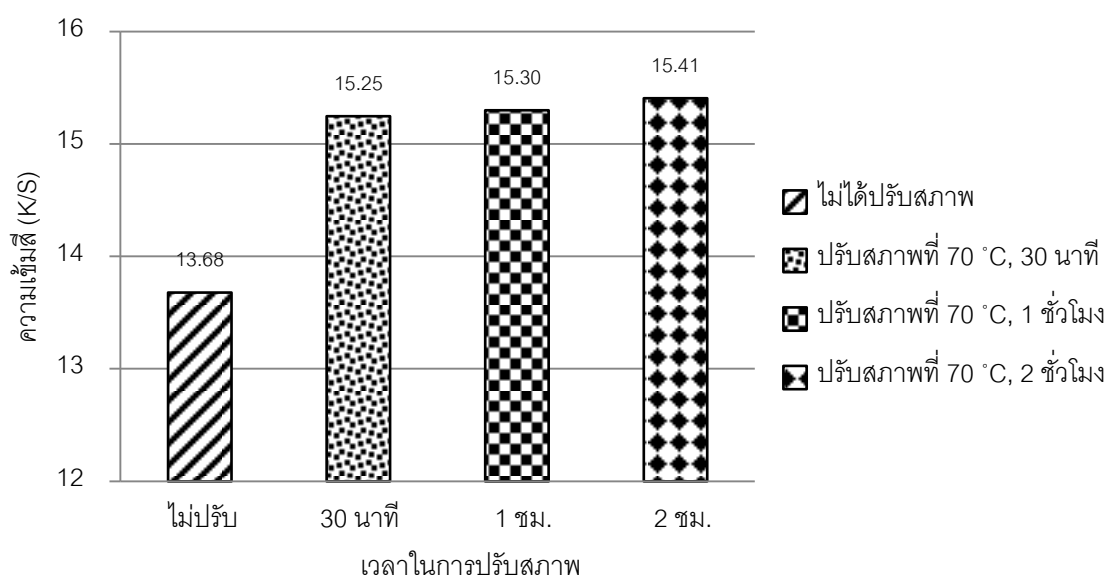
ภาพที่ 4.13 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

ผลของค่าสีในตารางที่ 4.12 และภาพที่ 4.13 ซึ่งให้เห็นว่าการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ 60 องศาเซลเซียสไม่ได้ช่วยเพิ่มการดูดซับสีเมื่อใช้เวลาการปรับสภาพ 30 นาที และ 1 ชั่วโมง จำเป็นต้องใช้เวลาปรับสภาพนานขึ้นเป็น 2 ชั่วโมง จึงจะสามารถเพิ่มการดูดซับสีของเส้นด้ายและย้อมได้เฉดสีเหลืองเข้มโดยแทบไม่มีสีแดงผสม (ค่า b^* บวกมาก, ค่า a^* ใกล้ 0) ส่วนค่า L^* แสดงให้เห็นว่าเส้นด้ายปรับสภาพและย้อมมีสีมืดทึบ (ค่า L^* ต่ำกว่า) กว่าเส้นด้ายไม่ได้ปรับสภาพและย้อม (ค่า L^* สูงกว่า)

การทดลองปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยโคโตซานที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลาต่างๆกัน 3 เวลาคือ 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง แล้วนำเส้นด้ายไปย้อมและวัดค่าสีของเส้นด้ายด้วยเครื่องวัดสี โดยแสดงค่าสีของเส้นด้ายในตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.13 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

เส้นด้ายใยแก้วย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	13.68	65.38	-0.8	55.66
ปรับสภาพที่ 70 °C, 30 นาที	15.25	64.17	-0.12	54.93
ปรับสภาพที่ 70 °C, 1 ชั่วโมง	15.30	64.2	-0.09	54.99
ปรับสภาพที่ 70 °C, 2 ชั่วโมง	15.41	64.32	-0.15	55.05



ภาพที่ 4.14 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพก่อนย้อม โดยปรับสภาพที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง

จากตารางที่ 4.13 และภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นว่าเมื่อปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยโคโตซานที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ที่เวลาต่างๆกัน 3 เวลาคือ 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง แล้ว

นำไปเยี่ยมชมพบว่าเส้นด้ายทั้งสามมีสีเข้มใกล้เคียงกันดูได้จากค่าความเข้มสีอยู่ในช่วง 15.2-15.4 เทียบกับค่าความเข้มสีของเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม พบว่าเส้นด้ายที่ปรับสภาพและย้อมมีสีเข้มกว่าหรือมีค่าความเข้มสีสูงกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นการปรับสภาพเส้นด้ายด้วยไคโตซานที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สามารถช่วยเพิ่มการดูดซับสีของเส้นด้ายและเมื่อเพิ่มเวลาของการปรับสภาพจาก 30 นาที เป็น 1-2 ชั่วโมง ก็แทบไม่ได้ช่วยเพิ่มการดูดซับสีบนเส้นด้ายเลย ส่วนค่า b^* ที่แสดงในตารางที่ 4.9 ซึ่งให้เห็นว่าเส้นด้ายที่ย้อมแล้วมีเฉดสีเหลืองโดยที่เส้นด้ายไม่ได้ปรับสภาพและย้อมจะออกเฉดสีเหลืองแกมเขียวเล็กน้อย (ค่า b^* บวกมาก, ค่า a^* ติดลบเล็กน้อย) เส้นด้ายที่ปรับสภาพและย้อมที่เวลาต่างกัน 3 เวลา ต่างก็มีเฉดสีเหลืองแกมเขียวเล็กน้อยเช่นกัน ส่วนค่า L^* ของเส้นด้ายที่ปรับสภาพแล้วย้อม จะมีค่าใกล้เคียงกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม

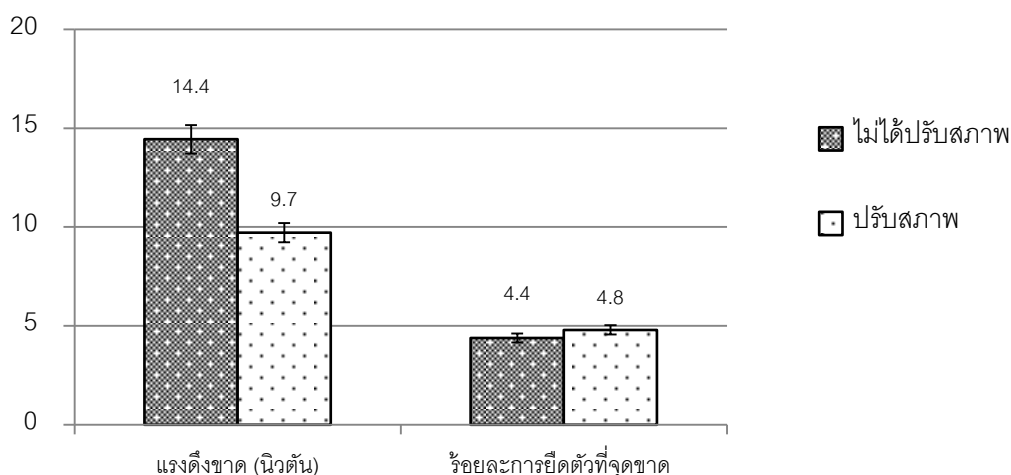
จากผลการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วที่อุณหภูมิต่างๆ และเวลาต่างๆกัน และย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด พอจะสรุปได้ว่า ภาวะปรับสภาพที่เหมาะสมที่สุดคือ การปรับสภาพที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที เนื่องจากการปรับสภาพที่ภาวะนี้ใช้พลังงานต่ำที่สุด และเวลาสั้นสุด โดยสามารถทำให้เส้นด้ายใยแก้วชงย้อมได้สีเหลืองเข้มมากตามต้องการและมีค่าความเข้มสีมากกว่าหรือใกล้เคียงกันกับการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วชงที่อุณหภูมิต่างๆ และเวลาต่างๆกัน ในการทดลอง

4.8 ผลการศึกษาแรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วชงปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม

นำเส้นด้ายใยแก้วชงมาปรับสภาพด้วยไคโตซานที่ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที แล้วย้อมสี จากนั้นนำเส้นด้ายไปทดสอบค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมสี แสดงผลดังตารางที่ 4.14 และภาพที่ 4.15

ตารางที่ 4.14 แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ไม่ได้ปรับสภาพและปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อมสี

เส้นด้ายใยแก้วชงย้อมสี	แรงดึงขาด (นิวตัน)	ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด
ไม่ได้ปรับสภาพ	14.4	4.4
ปรับสภาพ	9.7	4.8



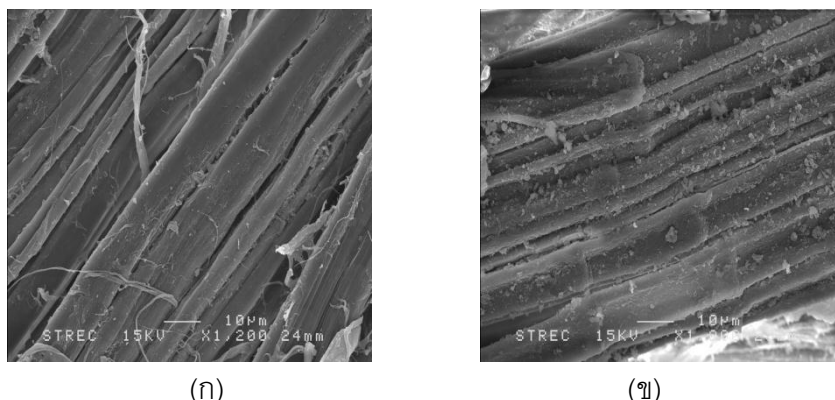
ภาพที่ 4.15 แรงดึงขาดและร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ไม่ได้ปรับสภาพและปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อมสี

เมื่อนำเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานแล้วย้อมสีไปทดสอบค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละของการยึดตัวที่จุดขาด (ตารางที่ 4.14) พบว่าเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานแล้วย้อมสีมีค่าแรงดึงขาดต่ำกว่าเส้นด้ายซึ่งที่ไม่ได้ปรับสภาพแล้วย้อมสีอยู่ร้อยละ 32.6 ส่วนค่าร้อยละการยึดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันหรือมีการยึดตัวเท่ากัน นั่นคือการปรับสภาพเส้นด้ายด้วยไคโตซานก่อนย้อม ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อการยึดตัวของเส้นด้าย ในขณะที่การปรับสภาพมีผลทำให้เส้นด้ายอ่อนแอลงหรือทนแรงดึงขาดได้น้อยลง เนื่องจากหลังการปรับสภาพและย้อมสี เส้นด้ายใยแก้วยังคงมีไคโตซานตกค้างกระจายอยู่ท่ามกลางกลุ่มเส้นใย (ดูได้จากภาพที่ 4.16 (ข)) อาจขัดขวางการรับแรงดึงของเส้นด้ายและทำให้เส้นด้ายขาดง่ายขึ้นกว่าเส้นด้ายที่ย้อมโดยไม่ปรับสภาพ

4.9 ผลการศึกษาไคโตซานบนเส้นใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพและย้อมสี

4.9.1 ลักษณะพื้นผิวของเส้นใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพและย้อมสี

เส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวและปรับสภาพด้วยไคโตซานแล้วย้อมสี ถูกนำไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของเส้นใย (เปรียบเทียบกับที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวแต่ไม่ได้ปรับสภาพแล้วย้อมสี) โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงผลดังภาพที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ภาพถ่าย SEM พื้นผิวของเส้นใยักัญชง (ก) เส้นใยักัญชงไม่ได้ปรับสภาพแล้วย้อมสี (ข) เส้นใยักัญชงปรับสภาพด้วยโคโตซานแล้วย้อมสี

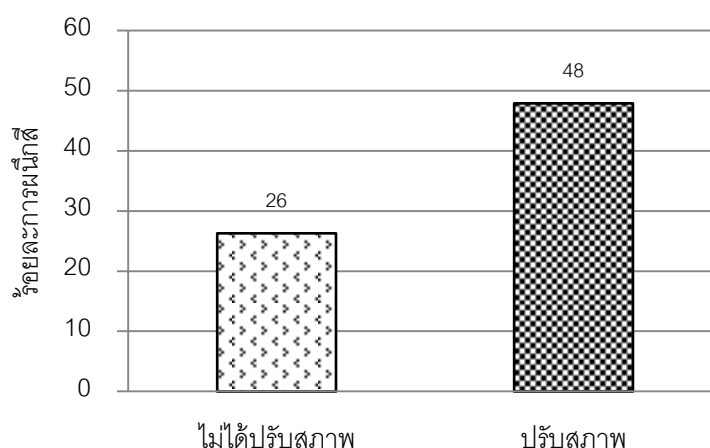
ภาพที่ 4.16 ภาพ (ก) แสดงเส้นใยักัญชงไม่ได้ปรับสภาพแล้วย้อมสีพบว่า พื้นผิวเส้นใยมีสิ่งเจือปนบ้างและมีไฟบริลแยกออกจากผิวเส้นใยด้วย ในภาพ (ข) จะเห็นบนเส้นใยที่ปรับสภาพแล้วย้อมสีมีอนุภาคของโคโตซานแยกกระจายอยู่บนผิวเส้นใย แสดงว่าหลังการปรับสภาพและย้อมสี ยังคงมีโคโตซานเหลือตกค้างอยู่บนเส้นใย แม้เส้นใยจะถูกย้อมและซักล้างแล้วก็ตาม

4.10 ผลการศึกษาร้อยละของการฝืนสีบนเส้นด้ายใยักัญชง

เส้นด้ายใยักัญชงที่ปรับสภาพด้วยโคโตซานที่ 32 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที แล้วย้อมสีด้วยน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด ถูกนำไปวัดค่าความเข้มสีก่อนและหลังซักล้างเส้นด้ายย้อมด้วยสารซักฟอกและนำค่าความเข้มสีมาคำนวณค่าร้อยละของการฝืนสีบนเส้นด้าย แสดงผลในตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.17 ซึ่งพบว่า การปรับสภาพเส้นด้ายก่อนย้อมช่วยทำให้เส้นด้ายดูดซับสีย้อมได้มากขึ้นและลึกขึ้นในเส้นใย จึงมีร้อยละการฝืนสีย้อมสูงกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพก่อนย้อมอยู่ร้อยละ 22 นั่นคือ การปรับสภาพเส้นด้ายใยักัญชงด้วยโคโตซานและย้อมสีและซักล้าง จะทำให้มีสีย้อมฝืนติดบนเส้นด้ายราวร้อยละ 48 ซึ่งมากกว่าในเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม (ร้อยละ 26)

ตารางที่ 4.15 ร้อยละของการพ่นกีสบนเส้นด้ายใยแก้วซึ่งไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานและย้อมเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ปรับสภาพและย้อม

เส้นด้ายใยแก้วซึ่งย้อมสี	ร้อยละการพ่นกีส
ไม่ได้ปรับสภาพ	26
ปรับสภาพ	48



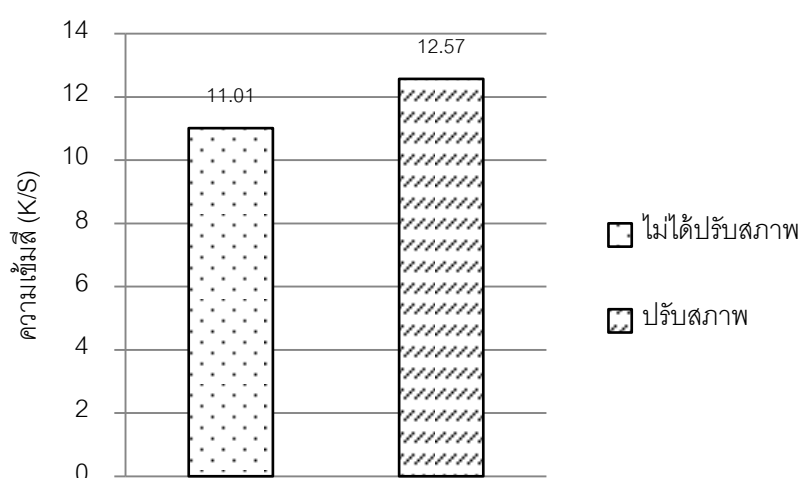
ภาพที่ 4.17 ร้อยละของการพ่นกีสบนเส้นด้ายใยแก้วซึ่ง

4.11 ผลการศึกษาความเข้มข้นและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วหลังการชักล้างกำจัดสีส่วนเกินออก

หลังการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วซึ่งด้วยโคโตซาน ย้อมเส้นด้ายในน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดและชักล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุ (nonionic surfactant) จากนั้นวัดค่าความเข้มข้นและเจดสีของเส้นด้าย แสดงค่าในตารางที่ 4.15 และภาพที่ 4.17 ส่วนในตารางที่ 4.16 และภาพที่ 4.18 แสดงค่าความเข้มข้นและเจดสีของเส้นด้ายที่ถูกชักล้างด้วยสารซักฟอกไม่มีสารเรืองแสง

ตารางที่ 4.16 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ถูกชักล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวหลังการปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม

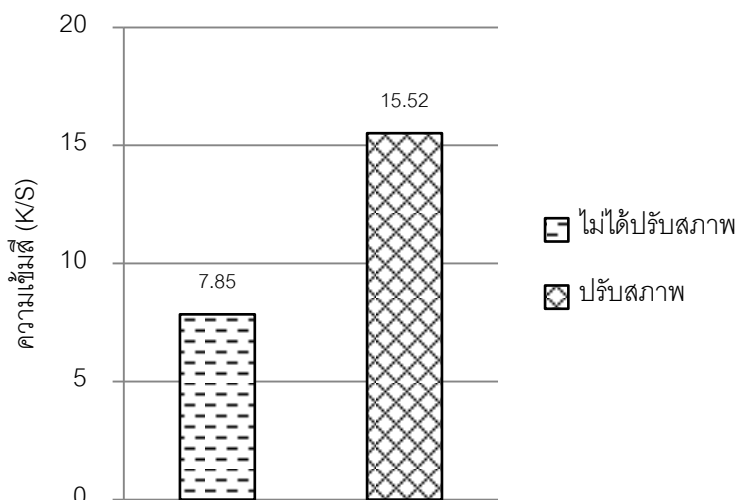
หลังชักเส้นด้ายใยแก้วขงย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	11.01	68.50	4.24	58.74
ปรับสภาพ	12.57	68.57	1.10	58.97



ภาพที่ 4.18 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ถูกชักล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวหลังการปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม

ตารางที่ 4.17 ความเข้ม ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่ถูกชักล้างด้วยสารชักฟอกหลังการปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม

หลังชักเส้นด้ายใยแก้วขงย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	7.85	70.93	2.89	55.78
ปรับสภาพ	15.52	64.69	3.38	60.35



ภาพที่ 4.19 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วซึ่งที่ถูกชักล้างด้วยสารซักฟอกหลังการปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อมเปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม

ค่าความเข้มสีในตารางที่ 4.16 - 4.17 และภาพที่ 4.18 - 4.19 เป็นค่าความเข้มสีของเส้นด้ายย้อม หลังการชักล้างสีส่วนเกินบนเส้นด้ายออกไป หรือแสดงความเข้มของสีที่เกิดจากสีที่ผนึกติดบนเส้นด้ายจริงๆ (ร้อยละการผนึกติดเท่ากับ 48 ในเส้นด้ายที่ปรับสภาพและย้อม, และร้อยละการผนึกติดเท่ากับ 26 ในเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม) แสดงให้เห็นว่าในเส้นด้ายที่ปรับสภาพด้วยไคโตซาน ย้อมและชักล้างด้วยสารลดแรงตึงผิวหรือด้วยสารซักฟอก ต่างมีค่าความเข้มสีสูงมากกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมอย่างเห็นได้ชัด คือมีสีเหลืองเข้มกว่านั่นเอง (ค่า K/S และ b^* มากกว่า) นั่นคือ การปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อมทำให้เส้นด้ายมีประจุบวกมากขึ้น และสามารถดูดซับสีย้อมที่มีประจุลบเข้าไปในเส้นใยได้มากและลึกขึ้น จึงย้อมได้เส้นด้ายสีเข้มมากกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพก่อนย้อม

4.12 ผลการศึกษาความคงทนของสีบนเส้นด้ายใยแก้วต่อการซัก

หลังการปรับสภาพเส้นด้ายใยแก้วด้วยไคโตซานที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ย้อมด้วยน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดและชักด้วยสารซักฟอกชนิดไม่มีประจุ เส้นด้ายถูกทดสอบความคงทนของสีต่อการซักเปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมโดยใช้เครื่องทดสอบการซัก ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.18 สำหรับความคงทนของสีต่อการซักด้านการเปลี่ยนแปลงของสี และในตารางที่ 4.19 สำหรับความคงทนของสีต่อการซักด้านการเปื้อนติดสี

ตารางที่ 4.18 ระดับความคงทนของสีต่อการซัก (ด้านการเปลี่ยนแปลงของสี) ของเส้นด้ายใย
 กล้วยงที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับ
 สภาพและย้อม

เส้นด้ายใยกล้วยงย้อมสี	ระดับความคงทนของสีต่อการซัก ¹ (การเปลี่ยนแปลงสี)
ไม่ได้ปรับสภาพ	2
ปรับสภาพ	3-4

หมายเหตุ

1 ระดับความคงทนของสีต่อการซัก (WF) มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-5 โดยที่ ระดับ 1 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซัก
 ต่ำที่สุด และระดับ 5 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซักสูงที่สุด

จากผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.18 พบว่า เส้นด้ายใยกล้วยงที่ปรับสภาพด้วยไคโตซาน
 และย้อม มีความคงทนของสีต่อการซัก (ด้านการเปลี่ยนแปลงของสี) ในระดับปานกลางถึงดี (3-4)
 คือมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยถึงปานกลาง ซึ่งดีกว่าความคงทนของสีต่อการซักของเส้นด้ายที่
 ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม (ระดับ 2 คือมีการเปลี่ยนแปลงของสีมาก) แสดงว่าการปรับสภาพ
 เส้นด้ายด้วยไคโตซานก่อนย้อมช่วยเพิ่มความคงทนของสีต่อการซักในด้านการเปลี่ยนแปลงของสี

ตารางที่ 4.19 ระดับความคงทนของสีต่อการซัก (ด้านการเปื้อนติดสี) ของเส้นด้ายใยกล้วยงที่ปรับ
 สภาพด้วยไคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม

ชนิดเส้นใยในผ้าฝ้ายลิตไฟเบอร์	ระดับความคงทนของสีต่อการซัก ¹ (ค่าการเปื้อนติดสี)	
	ไม่ได้ปรับสภาพ	ปรับสภาพ
ไดแอซีเตท	4	3
มอดอะคริลิค	3-4	3
ไตรแอซีเตท	3-4	3
ฝ้าย	3-4	3
อะคริลิค (ครีสแลน 61)	4	3-4
พอลิเอสเตอร์ (แดรกคอน 54)	4	3-4
พอลิเอสเตอร์ (แดรกคอน 64)	4	3-4
พอลิเอไมด์	4	3-4

ตารางที่ 4.19 (ต่อ)

ชนิดเส้นใยในผ้าฝ้ายไฟเบอร์	ระดับความคงทนของสีต่อการซัก ¹ (ค่าการเปื้อนติดสี)	
	ไม่ได้ปรับสภาพ	ปรับสภาพ
อะคริลิก (โอรอน 75)	4	4
ไหม	3-4	3-4
พอลิโอเลฟิน	4	4
เรยอน	4	3-4
ขนสัตว์	4	4

หมายเหตุ

1 ระดับความคงทนของสีต่อการซัก (WF) มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-5 โดยที่ ระดับ 1 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซักต่ำที่สุด และระดับ 5 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซักสูงที่สุด

จากผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.19 พบว่า โดยภาพรวมเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพและย้อมมีความคงทนของสีต่อการซักด้านการเปื้อนติดสีในระดับปานกลาง (3) ถึงดี (4) คือเส้นด้ายมีสีหลุดไปติดเส้นใยชนิดอื่นๆ น้อยถึงปานกลาง ซึ่งมีความคงทนของสีต่ำกว่าในเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมอยู่เล็กน้อยคือ เส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมมีความคงทนของสีต่อการซักในระดับ 3-4 ถึงระดับ 4 และพบว่าสีที่หลุดออกจากเส้นด้ายสามารถไปเกาะติดบนเส้นใยได้ทุกชนิดในผ้าฝ้ายไฟเบอร์

4.13 ผลการศึกษาความคงทนของสีบนเส้นด้ายใยแก้วต่อแสง

เส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานและย้อมถูกนำไปทดสอบหาระดับความคงทนของสีต่อแสงเปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม โดยใช้เครื่องทดสอบความคงทนของสีต่อแสง ตามมาตรฐาน ISO 105-B02 แสดงผลในตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ระดับความคงทนของสีต่อแสง (อาบแสง 20 ชั่วโมงและ 40 ชั่วโมง) ของเส้นด้ายใยแก้วที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อม

เส้นด้ายใยแก้วย้อมสี	ระดับความคงทนของสีต่อแสง ¹
ไม่ได้ปรับสภาพ	4
ปรับสภาพ	4

หมายเหตุ

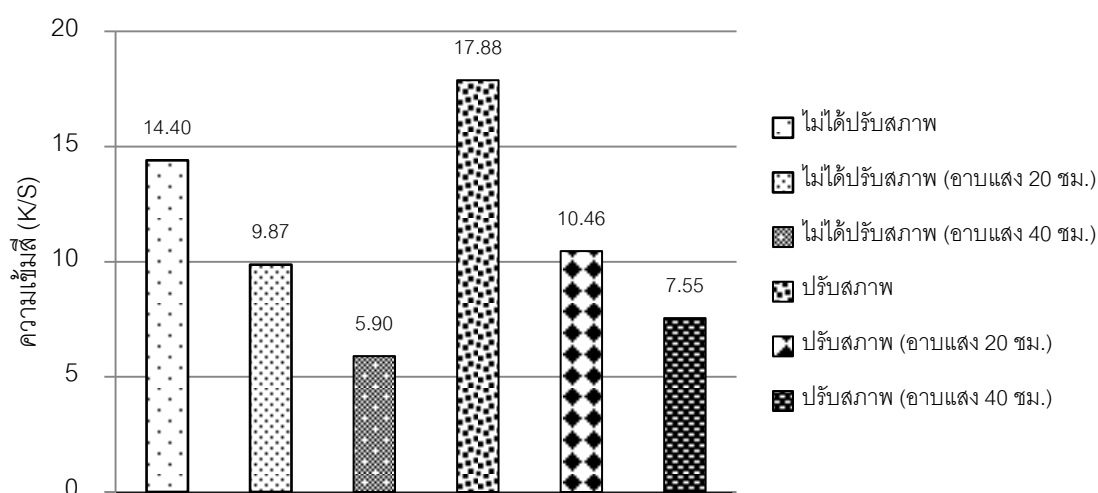
1 ระดับความคงทนของสีต่อแสง (LF) มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-8 โดยที่ระดับ 1 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อแสงต่ำที่สุด และระดับ 8 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อแสงสูงที่สุด สำหรับสีธรรมชาติระดับความคงทนของสีต่อแสงที่ยอมรับได้คือตั้งแต่ระดับ 3 ขึ้นไป

จากผลในตารางที่ 4.20 พบว่า เส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพและย้อมด้วยสีสกัดจากเปลือกมะพูดกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมต่างมีความคงทนของสีต่อการอาบแสง 20 ชั่วโมงและ 40 ชั่วโมงในระดับเดียวกันคือ ระดับปานกลางหรือระดับ 4 แสดงว่า ไคโตซานที่ใช้ในการปรับสภาพเส้นด้ายไม่ได้ช่วยเพิ่มความคงทนต่อแสงของสีจากเปลือกต้นมะพูดและไม่มีผลเสียต่อความคงทนต่อแสงของสีชนิดนี้

ตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.20 แสดงความเข้มสีและเจดสีของเส้นด้ายใยแก้วที่อาบแสง 20 ชั่วโมงและ 40 ชั่วโมง โดยอาบแสงเส้นด้ายใยแก้วที่ปรับสภาพและย้อมเปรียบเทียบกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม

ตารางที่ 4.21 ความเข้มสี ความสว่างของสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ปรับสภาพด้วย
โคโตซานและย้อมเปรียบเทียบเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม หลังการ
อาบแสง 20 และ 40 ชั่วโมง

เส้นด้ายใยแก้วซิงย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	14.40	68.11	5.65	64.52
ไม่ได้ปรับสภาพ (อาบแสง 20 ชม.)	9.87	66.05	7.38	51.95
ไม่ได้ปรับสภาพ (อาบแสง 40 ชม.)	5.90	68.23	5.82	41.96
ปรับสภาพ	17.88	65.69	3.91	63.11
ปรับสภาพ (อาบแสง 20 ชม.)	10.46	64.68	6.47	48.26
ปรับสภาพ (อาบแสง 40 ชม.)	7.55	66.48	5.98	43.11



ภาพที่ 4.20 ความเข้มสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ปรับสภาพด้วยโคโตซานและย้อม เปรียบเทียบกับ
เส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม หลังการอาบแสง 20 และ 40 ชั่วโมง

ผลในตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.20 แสดงให้เห็นว่า ก่อนอาบแสงเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ปรับสภาพและย้อม มีความเข้มสีสูงกว่า (ค่า K/S = 17.88) หรือมีเหลืองเข้มกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม (ค่า K/S = 14.40) หลังการอาบแสง 20 ชั่วโมง พบว่าเส้นด้ายทั้งสองมีความเข้มสีใกล้เคียงกัน (ค่า K/S ประมาณ 10) แต่หลังการอาบแสง 40 ชั่วโมง เส้นด้ายที่ปรับสภาพและย้อม มีค่าความเข้มสีใกล้เคียงกับเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อม นอกจากนี้พบว่าการอาบแสง (20

และ 40 ชั่วโมง) ทำให้สีสกัดจากเปลือกต้นมะปูดมีค่า b^* เป็นบวกน้อยลงหรือมีสีเหลืองลดลงและมีสีแดงขึ้นเล็กน้อย นั่นคือ เฉดสีเหลืองเริ่มเปลี่ยนสีเล็กน้อยจากการอบแห้ง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการย้อมสีธรรมชาติจากเปลือกต้นมะพูดบนเส้นด้ายใยกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ โดยศึกษาวิธีการและภาวะการปรับสภาพเส้นด้ายใยกล้วยด้วยไคโตซานที่มีผลต่อความสามารถในการย้อมติดสีและความคงทนของสีบนเส้นด้ายใยกล้วย

จากผลการทดลองกับตัวอย่างสีที่สกัดจากเปลือกต้นมะพูด ไคโตซานและเส้นด้ายใยกล้วยที่ใช้ในงานวิจัย สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การย้อมสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูดบนเส้นด้ายใยกล้วยและฝืนักสีด้วยสารช่วยติดชนิดสารส้มในงานวิจัยนี้ จำเป็นต้องใช้ความเข้มข้นของสารส้มร้อยละ 10 จึงจะสามารถย้อมเส้นด้ายใยกล้วยได้ดีสีเหลืองเข้มตามต้องการ
2. เส้นด้ายใยกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยไคโตซานในงานวิจัยนี้ สามารถย้อมติดสีได้เข้มมากกว่าที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพอย่างเห็นได้ชัด
3. วิธีการปรับสภาพเส้นด้ายใยกล้วยด้วยไคโตซาน 3 วิธีในงานวิจัยนี้ คือ การปรับสภาพก่อนย้อม พร้อมย้อมและหลังย้อม พบว่าวิธีการปรับสภาพก่อนย้อมเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด และภาวะในการปรับสภาพระหว่างการปรับสภาพที่อุณหภูมิ 32, 40, 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที, 1 และ 2 ชั่วโมง พบว่าภาวะการปรับสภาพที่เหมาะสมที่สุดคือ ที่อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียสหรืออุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นอบแห้งเส้นด้ายก่อนนำไปย้อมในน้ำสีสกัดจากเปลือกต้นมะพูด และฝืนักสีด้วยสารส้ม
4. ตามวิธีการและภาวะการปรับสภาพเส้นด้ายใยกล้วยและการย้อมสีที่แสดงในข้อสรุป 1 และ 3 ในงานวิจัยนี้ ทำให้ได้เส้นด้ายใยกล้วยที่มีสีเหลืองเข้มมากกว่าและสีมีความคงทนต่อการซักมากกว่าเส้นด้ายที่ไม่ได้ปรับสภาพและย้อมสี แต่การปรับสภาพและการย้อมสีเส้นด้ายทำให้เส้นด้ายมีความทนแรงดึงขาดลดลงจากเส้นด้ายที่ย้อมสีโดยไม่ได้ปรับสภาพก่อนย้อม

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการวิจัยนี้ทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้โคโคซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำปรับสภาพเส้นใยกันขงเพื่อให้เพิ่มการดูดซับสีย้อมธรรมชาติชนิดอื่นๆ หรือสีสังเคราะห์ที่มีประจุลบ
2. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้สีย้อมธรรมชาติย้อมบนเส้นใยชนิดต่างๆ เช่น ไหม ขนสัตว์ พอลิเอสเตอร์ เป็นต้น
3. ศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับการใช้สารช่วยสีติดชนิดอื่นๆ ที่มีผลต่อเฉดสีของเส้นใย

รายการอ้างอิง

- [1] Mather, R. R., and Wardman, R. H. The chemistry of Textile fibres. United Kingdom : The Royal Society of Chemistry, 2011.
- [2] Karmakar, S. R. (Samir Ranjan). Chemical technology in the pre-treatment processes of textiles. Amsterdam New York : Elsevier, 1999.
- [3] สถาบันวิจัยและพัฒนาพื้นที่สูง (องค์การมหาชน). โครงการจัดทำยุทธศาสตร์การพัฒนาเส้นใยบนพื้นที่สูงภาคเหนือ. สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2553.
- [4] สุวบุญ จิรชาญชัย, รักรอง ยกสำน และโกสุม สม์ครรัตน์. สมบัติทางเคมีและกายภาพของไคตินและไคโตซาน. การประชุมเชิงปฏิบัติการไคตินและไคโตซานจากวัตถุดิบธรรมชาติสู่การประยุกต์ใช้, 30-31 สิงหาคม 2544 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร : 11-40.
- [5] สุรีย์ พุตระกุล. การพัฒนาสารย้อมสีธรรมชาติในเขตภาคเหนือตอนบน. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2543.
- [6] ชาญชัย สิริเกษมเลิศ. เส้นใยกัญชง : พืชเศรษฐกิจสู่ตลาดผลิตภัณฑ์สิ่งทออินทรีย์ TextileDigest. Sep.-Oct. 2012 : Issue no. 182.
- [7] วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [8] อัจฉรา ไสละสุต. ความรู้เรื่องผ้า. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร : (ม.ป.ท.), 2529.
- [9] มณฑา จันทร์เกตุเอียด. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : หอรัตนชัยการพิมพ์, 2541.
- [10] Khan, M. R., Chen, Y., Belsham, T., Lague, C., Landry, H., Peng, Q., and Zhong, W. Fineness and tensile properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) fibres. Elsevier 108 (2011) : 9-17.
- [11] ภาวดี เมธะคานนท์, อศิรา เฟื่องฟูชาติ และ ก้องเกียรติ คงสุวรรณ. ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไคติน-ไคโตซาน. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ, 2554.

- [12] Venugopa V. Marine. Products for Healthcare Functional and Bioactive Nutraceutical Compounds from the Ocean. New York : Taylor & Francis/CRC, 2009.
- [13] Khor, E., and Lim, L. Y. Implantable Applications of Chitin and Chitosan. Biomaterials 24 (2003) : 2339-2349.
- [14] รัตมณี หาญวณิชศักดิ์. การออกแบบเบื้องต้นสำหรับกระบวนการผลิตไคตินและสารปรุงแต่งกลิ่นรสจากเศษกุ้ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- [15] Majeti, N.V., and Kumar, R. A Review of Chitin and Chitosan Applications. Reactive & Functional Polymers 46 (2000) : 1-27
- [16] Dutta, P. K, Dutta, J., and Tripathi, V. S. Chitin and Chitosan Chemistry, Properties and Applications. Journal of Scientific & Industrial Research 63 (2004) : 20-30.
- [17] Aranaz, I., and others. Functional Characterization of Chitin and Chitosan. Current Chemical Biology 3 (2009) : 203-230.
- [18] พัฒนันท วงศ์วิวัฒน์. การสกัดไคติน ไคโตซานจากเปลือกหอย. คณะวิทยาศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.
- [19] Shahidi F., Arachchi J.K.V. and Jeon Y-J. Food applications of chitin and chitosans. Trends in Food Sciences and Technology. 1999 : 37-51.
- [20] Hirano, S. Chitin biotechnology applications. Biotechnology Annual Review 2 (1996) : 237-258.
- [21] Mi, F.L., Shyu, S.S., Wu, Y.B., Lee, S.T., Shyong, J.Y. and Huang, R.N. Fabrication and characterization of a sponge-like asymmetric chitosan membrane as a wound dressing. Biomaterials 22 (2001) : 165-173.
- [22] Li, F., Liu, W.G., and Yao, K.D. Preparation of oxidized glucose-crosslinked N-alkylated chitosan membrane and in vitro studies of pH-sensitive drug delivery. Biomaterials. 23 (2002) : 343-347.
- [23] Lim, P. Fixation of Natural Dyes from Safflower Carthamus Tinctorius and Turmeric Curcuma Longa onto Cotton Fabric using Polycarboxylic Acids. Master's Thesis Chulalongkorn University, 2546.

- [24] อัจฉราพร ไสละสูต. คู่มือการย้อมสี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : เทคนิค 19 การพิมพ์, 2527.
- [25] วัชรพันธ์ ศิริพันธ์. การศึกษาประสิทธิภาพการติดสีธรรมชาติของผ้าไหมและการกำจัดสีจากน้ำเสียโดยวิธีตกตะกอนทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม วิทยาลัยสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- [26] กาวี ศรีภูติกิจ. เอกสารประกอบการสอนวิชาสีย้อมสิ่งทอ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- [27] เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอบาส. 2534. สีธรรมชาติกับการย้อม. วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒมหาสารคาม. 10 (1) : 1-8.
- [28] พะยอม ต้นดีวัฒน์. 2524. สีย้อมธรรมชาติ. วิทยาศาสตร์. 35 (11) : 795-802.
- [29] Britton, G. The Biochemistry of Natural Pigments. Cambridge University Cambridge, 1983.
- [30] Von Elbe, J.H. and Schwartz, S.J. Colorants. In Food Chemistry. Marcel Dekker, Inc : NewYork, 1996.
- [31] ศูนย์ส่งเสริมอุตสาหกรรมภาคที่ 6. คู่มือการทำสีผง : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2550.
- [32] Wisinee Chanmahasathien. Phytochemical study of *garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz bark. Master's Thesis Department of Pharmacognosy Faculty of Pharmacy Chulalongkorn University, 1996.
- [33] เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอบาส. 2535. เคมีของสีธรรมชาติและ การย้อม. วารสารวิทยาศาสตร์. 50 (3) : 155-161.
- [34] ขวัญฤทัย คำขาว และ เตือนใจ สามห้วย. 2530. สีธรรมชาติจะก้าวไกลถ้าสรรว้ใช้เทคโนโลยี. วารสารคหเศรษฐศาสตร์. 30 (2) : 106-115.
- [35] Pejic, B., Kostic, M., Skundric, P., and Praskalo, J. The effects of hemicelluloses and lignin removal on water uptake behavior of hemp fibers. International journal of Bioresource Technology 99 (2008) : 7152–7159.
- [36] Huang, K., Wu, W., and Chao, I. Effect of Pretreatment with Low Molecular Weight Chitosan on the Dyeability of cotton fabrics. Journal of Textile Apparel 11 (2007) : 54-59.
- [37] Zhang, H. and Zhang, L. Structure and Properties of Hemp Fabric Treated with Chitosan and Dyed with Mixed Epoxy-Modified Silicone Oil. Journal of Applied Polymer Science 114 (2009) : 1377-1383.

- [38] Kampeerapappun, P., Phattararittigul, T., Jitrong, S., and Kullachod, D. Effect of Chitosan and Mordants on Dyeability of Cotton Fabrics with *Ruellia tuberosa* Linn. Chiang Mai Journal Science 38 (2010) : 95-104.
- [39] Houshyar, S., and Amirshahi, S.H. Treatment of Cotton with Chitosan and Its Effect on Dyeability with Reactive Dyes. Iranian Polymer Journal 11 (2002) : 295-301.
- [40] Bechtold, T., Turcanu, A., Ganglberger, E., and Geissler, S. Natural dyes in modern textile dyehouses-how to combine experiences of two centuries to meet the demands of the future?. Journal of Cleaner Production 11 (2003) : 499-509.
- [41] Nishida, K. and Kobayashi, K. Dyeing properties of natural dyes under aftertreatment using metallic mordants. Textile fibers and dyes 5 (1992) : 61-62.
- [42] เสรณี ศรีสุข. การปรับผิวฝ้ายเคลือบไคโตซานด้วยโซเดียมไนไตรต์เพื่อเพิ่มความสามารถในการย้อมสีรีแอกทีฟ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก1. ขนาดของเส้นด้ายใยแก้วชนิดบี

ประเภทเส้นด้าย	ความยาว (หลา)	น้ำหนัก (กรัม)	เบอร์ด้าย (Ne)	ค่าเฉลี่ยเบอร์ ด้าย (Ne)
เส้นด้ายใยแก้วชนิดบี	1.0936	0.00039	3.31	3.02
	1.0936	0.00046	2.82	
	1.0936	0.00040	3.21	
	1.0936	0.00047	2.76	
	1.0936	0.00044	2.94	
	1.0936	0.00040	3.27	
	1.0936	0.00044	2.94	
	1.0936	0.00051	2.56	
	1.0936	0.00042	3.11	
	1.0936	0.00040	3.28	

หมายเหตุ

สูตรการคำนวณหาขนาดเส้นด้าย (Ne)

$$\text{ขนาดเส้นด้าย (Ne)} = \frac{\text{ความยาวด้าย (หลา)}}{\text{น้ำหนักด้าย (ปอนด์)} \times 840}$$

ตารางที่ ก2. เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของเส้นด้ายใยแก้วชงก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว

จำนวน (ครั้ง)	เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำ (วินาที)
	เส้นด้ายใยแก้วชงหลังกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว
1	10
2	7
3	8
4	9
5	8
6	7
7	8
8	9
9	19
10	6
เฉลี่ย	9.1

ตารางที่ ก3. ดัชนีความขาวของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาว

เส้นด้ายใยแก้วชง	L*	a*	b*	WI-CIE	YI-E313
1	82.96	2.37	10.9	7	24.24
2	83.85	2.21	10.83	8.5	23.77
3	83.39	2.3	10.57	8.68	23.46
4	82.85	2.49	11.19	5.3	24.92
5	83.62	2.33	10.71	8.59	23.69
6	83.82	2.29	10.76	8.79	23.7
7	82.69	2.38	10.76	7.07	24.03
8	82.58	2.38	10.62	7.51	23.8
9	84.12	2.11	11.7	5.8	25.25

ตารางที่ ก3. (ต่อ)

เส้นด้ายใยแก้วชง	L*	a*	b*	WI-CIE	YI-E313
10	83.43	2.43	10.99	7.69	24.36
11	84.23	2.29	11.52	7	25.05
12	83.3	2.38	10.92	7.75	24.2
13	84.61	2.19	11.79	6.6	25.37
14	82.4	2.42	10.16	8.42	22.98
15	82.16	2.43	10.79	5.66	24.25
16	83.7	2.35	11.32	6.72	24.84
17	84.92	2.73	12	6.45	26.14
18	83.39	2.27	11.36	5.73	24.92
19	82.39	2.37	11.01	5.05	24.58
20	84.24	2.21	11.17	8.8	24.3
21	83.76	2.18	11.67	5.1	25.32
22	83.58	2.28	10.91	8.49	24.03
23	83.36	2.23	11.49	5.01	25.13
24	83.58	2.18	11.03	7.82	24.18
25	83.17	2.36	10.97	7.14	24.32
26	84.47	2.09	11.77	6.31	25.28
27	82.59	2.36	10.6	7.61	23.74
28	82.45	2.36	11	5.25	24.54
29	82.59	2.26	10.55	7.87	23.55
30	83.75	2.06	11.41	6.35	24.73

ตารางที่ ก4. แรงแดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วชงก่อนการกำจัดสิ่ง
สกปรกและฟอกขาว

เส้นด้ายใยแก้วชง	แรงแดึงขาด (N)	การยืดตัวที่จุดขาด (mm)	ร้อยละการยืดตัว ที่จุดขาด
1	18.31	27.2	9.07
2	19.45	23.16	7.72
3	37.19	29.37	9.79
4	16.78	25.33	8.44
5	25.18	23.19	7.73
6	35.67	28	9.33
7	28.61	27.92	9.31
8	26.7	28.15	9.38
9	18.88	24.34	8.11
10	27.85	29.3	9.77
ค่าเฉลี่ย	25.46	26.60	8.87
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.19	2.39	0.80

ตารางที่ ก5. แรงแดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วหลังจากการกำจัดสิ่ง
สกปรกและฟอกขาว

เส้นด้ายใยแก้ว	แรงแดึงขาด (N)	การยืดตัวที่จุดขาด (mm)	ร้อยละการยืดตัว ที่จุดขาด
1	8.97	20.10	6.70
2	11.44	7.32	2.44
3	9.73	7.86	2.62
4	8.77	11.83	3.94
5	9.16	12.70	4.23
6	11.63	12.78	4.26
7	10.30	12.17	4.06
8	10.68	16.63	5.54
9	11.63	11.71	3.90
10	11.44	10.60	3.53
เฉลี่ย	10.00	12.37	4.12
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.15	3.77	1.26

ตารางที่ ก6. แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ไม่ได้ปรับสภาพ
ด้วยโคโคซานก่อนย้อมสี

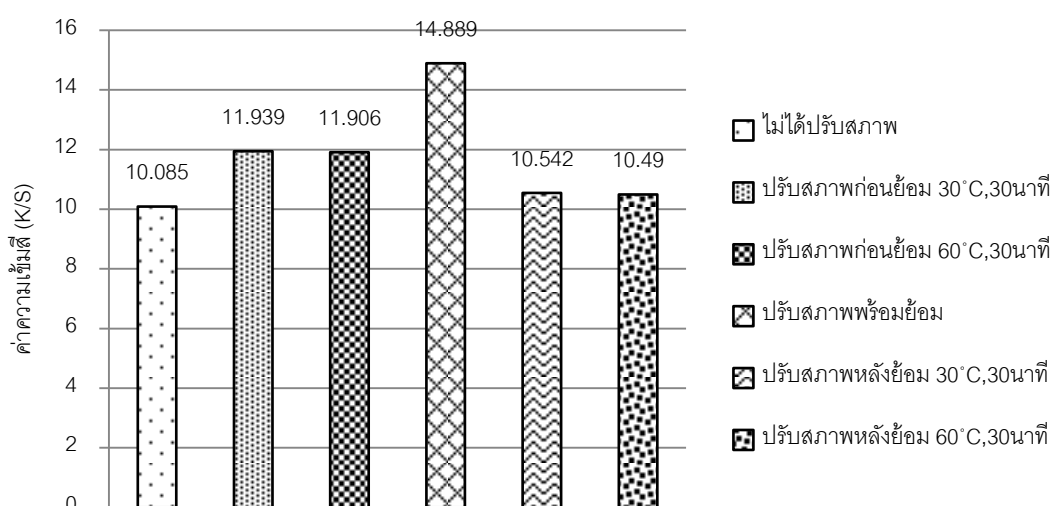
เส้นด้ายใยแก้วชงย้อมสี	แรงดึงขาด(N)	การยืดตัวที่จุดขาด (mm)	ร้อยละการยืด ตัวที่จุดขาด
1	16.78	12.59	4.20
2	12.59	15.07	5.02
3	13.16	10.64	3.55
4	17.17	18.50	6.17
5	11.44	11.94	3.98
6	12.21	9.88	3.29
7	17.74	13.66	4.55
ค่าเฉลี่ย	14.44	13.18	4.39
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.67	2.92	0.97

ตารางที่ ก7. แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของเส้นด้ายใยแก้วซงที่ปรับสภาพด้วย ไคโตซานก่อนย้อมสี

เส้นด้ายใยแก้วซง	แรงดึงขาด(N)	การยืดด้วยที่จุดขาด (mm)	ร้อยละการยืด ตัวที่จุดขาด
1	8.77	12.78	4.26
2	11.63	16.98	5.66
3	9.16	18.81	6.27
4	11.06	14.95	4.98
5	8.20	16.29	5.43
6	13.16	16.29	5.43
7	7.63	6.14	2.05
8	9.73	11.37	3.79
9	7.25	13.96	4.65
10	10.49	16.56	5.52
ค่าเฉลี่ย	9.71	14.41	4.80
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.88	3.63	1.21

ตารางที่ ก8. ความเข้มสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยสารส้ม
เปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วซิงที่ปรับสภาพด้วยสารส้มก่อนย้อม, ปรับสภาพ
ด้วยสารส้มพร้อมย้อมและปรับสภาพด้วยสารส้มหลังย้อม

เส้นใยแก้วซิงย้อมสี	K/S	L*	a*	b*
ไม่ได้ปรับสภาพ	10.085	58.48	4.72	35.11
ปรับสภาพก่อนย้อม 30°C,30นาที	11.939	67.74	2.54	57.33
ปรับสภาพก่อนย้อม 60°C,30นาที	11.906	67.79	2.54	57.42
ปรับสภาพพร้อมย้อม	14.889	62.14	3.67	53.29
ปรับสภาพหลังย้อม 30°C,30นาที	10.542	56.64	3.4	38.12
ปรับสภาพหลังย้อม 60°C,30นาที	10.49	57.44	3.81	39.09



ภาพที่ ก1. ความเข้มสีและเฉดสีของเส้นด้ายใยแก้วซิงโดยปรับสภาพด้วยสารช่วยสีติด (สารส้ม)
ที่ภาวะต่างๆ กัน

ตารางที่ ก9. การเปลี่ยนแปลงสีของเส้นด้ายใยแก้วชงที่ย้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซาน
เปรียบเทียบกับเส้นด้ายใยแก้วชงที่ปรับสภาพก่อนย้อม, ที่ปรับสภาพพร้อมย้อม
และที่ปรับสภาพหลังย้อม

เส้นด้ายใยแก้วชงย้อมสี	ระดับความคงทนของสีต่อการซัก ¹ (การเปลี่ยนแปลงสี)
ไม่ได้ปรับสภาพด้วยไคโตซาน	2
ปรับสภาพด้วยไคโตซานก่อนย้อม	3-4
ปรับสภาพด้วยไคโตซานพร้อมย้อม	3
ปรับสภาพด้วยไคโตซานหลังย้อม	3

หมายเหตุ

1 ระดับความคงทนของสีต่อการซัก (WF) มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-5 โดยที่ ระดับ 1 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซักต่ำที่สุด และระดับ 5 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนต่อการซักสูงที่สุด

ตารางที่ ก10. การตกติดสีของเส้นใยแก้วซิงที่ข้อมโดยไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซานเปรียบเทียบกับเส้นใยแก้วซิงที่ปรับสภาพก่อนข้อม, ที่ปรับสภาพพร้อมข้อมและที่ปรับสภาพหลังข้อม

ผ้ามัดตีไฟเบอร์	ระดับความคงทนของสีต่อการซัก ¹ (ค่าการเปื้อนติดสี)			
	ไม่ได้ปรับสภาพด้วยโคโตซาน	ปรับสภาพด้วยโคโตซานก่อนข้อม	ปรับสภาพด้วยโคโตซานพร้อมข้อม	ปรับสภาพด้วยโคโตซานหลังข้อม
ไดแอซีเตท	4	3	3-4	3-4
มอดอะคริลิค	3-4	3	4	4
ไตรแอซีเตท	3-4	3	4	3-4
ฝ้าย	3-4	3	3-4	3
อะคริลิค (คริสแลน 61)	4	3-4	3-4	4
พอลิเอสเตอ์ (แดรกคอน 54)	4	3-4	3-4	4
พอลิเอสเตอ์ (แดรกคอน 64)	4	3-4	3-4	4-5
พอลิเอไมด์	4	3-4	4	4-5
อะคริลิค (โอวอน 75)	4	4	4	4-5
ไหม	3-4	3-4	4	4
พอลิโอเลฟิน	4	4	4	4
เวยอน	4	3-4	4	4
ขนสัตว์	4	4	4	4

หมายเหตุ

1 ระดับความคงทนของสีต่อการซัก (WF) มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-5 โดยที่ ระดับ 1 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซักต่ำที่สุด และระดับ 5 หมายถึง ตัวอย่างมีความคงทนต่อการซักที่สูงที่สุด

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธนิยา ชูศิลป์ เกิดเมื่อวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2528 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2550 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2555

การเสนอผลงานวิจัย ดังนี้

ธนิยา ชูศิลป์ ,มณฑล นาคปฐุม และอุษา แสงวัฒนาโรจน์, การเพิ่มการดูดซับสีเขียวธรรมชาติจากเปลือกมะพุด *Garcinia dulcis* (Roxb.) Kurz ของเส้นใยแก้วงโดยใช้ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ, การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 25: 4-5 ตุลาคม 2555, มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพมหานคร.