การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อการผลิตเส้นด้าย

IMPROVEMENT OF THE GREEN COCONUT FIBER PROPERTIES BY CELLULASE ENZYME FOR YARN PRODUCTION

กษิดิส รัตนภรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อการผลิตเส้นด้าย

กษิดิส รัตนภรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาคหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อการผลิตเส้นด้าย Improvement of The Green Coconut Fiber Properties by Cellulase Emzyme for Yarn Production
ชื่อ - นามสกุล	นายกษิดิส รัตนภรณ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อัษฎาวุธ อารีสิริสุข, Ph.D.
ปีการศึกษา	2562

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์สุภา จุฬคุปต์, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, Ph.D.)

.....กรรมการ
(อาจารย์อัษฎาวุธ อารีสิริสุข, Ph.D.)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, Ph.D.)

คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, Ph.D.)
วันที่ 25 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2563

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อการผลิตเส้นด้าย
ชื่อ - นามสกุล	นายกษิดิส รัตนภรณ์
สาขาวิชา	เทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์สาคร ชลสาคร, Ph.D.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์อัษฎาวุธ อารีสิริสุข, Ph.D.
ปีการศึกษา	2562

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษา 1) องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 2) สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 3) อัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน และ 4) สมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมใยมะพร้าวอ่อน

วิธีการวิจัย คือ เปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส วางแผนการทดลองแบบ Fatorial in CRD ที่มีปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 FPU/g และเวลาในการย่อย 3 ระดับ คือ 2 4 และ 6 ชั่วโมง สำหรับการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพ และอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน วางแผนการทดลองแบบ CRD ปัจจัย คือ อัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย 3 ระดับ ได้แก่ อัตราส่วน 20:80 30:70 และ 40:60 ทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้าย จากนั้นวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan’s New Multiple Range Test

ผลการศึกษาพบว่า 1) องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีร้อยละของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น เฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง 2) สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนมากที่สุด คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง มีร้อยละของเซลลูโลสมากที่สุด ($\bar{X}$=56.51) เฮมิเซลลูโลสน้อยที่สุด ($\bar{X}$=3.18) 3) อัตราส่วนเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย 30:70 มีความเหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายมากที่สุด 4) สมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมใยมะพร้าวอ่อนประกอบด้วย เบอร์เส้นด้าย = 438.53 เท็กซ์ จำนวนและทิศทางเกลียว = 6 เกลียวต่อนิ้ว (S-Turn) ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดมากที่สุด = 18.17 นิวตัน ความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้าย = 0.04 นิวตันต่อเท็กซ์ ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด = 92.78 ซึ่งสมบัติทางกายภาพมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

คำสำคัญ: เส้นใยมะพร้าวอ่อน เอนไซม์เซลลูเลส การปรับปรุง เส้นด้าย

Thesis Title	Improvement of the Green Coconut Fiber Properties by Cellulase Emzyme for Yarn Production
Name - Surname	Mr. Kasidit Rattanaporn
Program	Home Economics Technology
Thesis Advisor	Assistant Professor Sakorn Chonsakorn, Ph.D.
Thesis Co – advisor	Mr. Atsadawut Areesirisuk, Ph.D.
Academic Year	2019

ABSTRACT

This research aimed to study: 1) the chemical composition and physical properties of green coconut fibers treated with sodium hydroxide solution, 2) the optimum conditions for improving green coconut fiber quality using cellulases, 3) the optimal ratio of green coconut fibers and cotton fibers for yarn production, and 4) the physical properties of green coconut fiber blend yarn.

The chemical composition and physical properties of treated green coconut fibers along with the optimum conditions for improving green coconut fiber quality using cellulases were examined using factorial experiments in completely randomized designs (factorial in CRD). Two principal factors in the experiment included three levels of cellulase concentration (10, 20 and 30 FPU/g), and three digestion times (2, 4 and 6 hours). The chemical composition and the physical properties were then studied using completely randomized design (CRD) to find out the optimal ratio for green coconut fiber blend yarn manufacturing. Three blending ratios of green coconut fibers and cotton fibers (20:80, 30:70, and 40:60) were studied. Then, the yarn physical properties were tested. Analysis of variance (ANOVA) and averages difference was carried out by means of Duncan's New Multiple Range Test (DMRT).

The study revealed that: 1) the chemical composition of treated green coconut fibers was changed as there was an increase in the percentage of cellulose and a decrease in hemicellulose and lignin. 2) The optimum conditions for improving green coconut fiber quality using cellulases included cellulase concentration of 20 FPU/g with 4-hour digestion time. It claimed the highest percentage of cellulose ($\bar{x}$=56.51) and the least percentage of hemicellulose ($\bar{x}$=3.18). 3) The optimal ratio of green coconut fibers and cotton fibers for yarn manufacturing was 30:70. 4) The physical properties of green coconut fiber blend yarn were as follows: the yarn number of 438.53 tex, the twist (S-Turn) of 6 TPI, the highest tensile strength of 18.17 newton, the tenacity of 0.04 newton per tex, and the elongation percentage of 92.78. The physical properties showed a statistically significant difference ($p \leq 0.05$).

Keywords: green coconut fiber, cellulase, improvement, yarn

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สาคร ชลสาคร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และดร.อัษฎาวุธ อารีสิริสุข อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ในการให้คำปรึกษาตั้งแต่หัวข้อวิทยานิพนธ์ ข้อมูลและคำแนะนำต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง โดยเฉพาะการวางเค้าโครง แนวทางการเขียนเนื้อหาและการวิเคราะห์ของงานวิจัย ซึ่งถือเป็นแรงกระตุ้นได้อย่างดียิ่ง อีกทั้งยังได้สละเวลาอันมีค่าเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิทยานิพนธ์ให้เป็นอย่างดี ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งใจและสำนึกในพระคุณ ขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ดร.สุภา จุฬคุปต์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่ได้กรุณาชี้แนะแนวทางและคำแนะนำ ตลอดจนข้อสังเกตต่างๆ ทำให้เกิดการพัฒนาแนวความคิดและไตร่ตรองปัญหา ได้อย่างรอบคอบ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ของเนื้อหาอย่างครบถ้วน

ขอขอบคุณ บริษัท เค เฟรช จำกัด ให้ความอนุเคราะห์เปลือกมะพร้าวซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักสำหรับการวิจัย บริษัท ก้องเกียรติ เท็กซ์ไทล์ จำกัด ให้ความอนุเคราะห์เส้นใยฝ้าย และนายณัฐพล ชาวสวน เจ้าหน้าที่ปฏิบัติการห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ช่วยดูแลและตรวจสอบตลอดการทดลองทางชีววิทยา

ขอขอบคุณ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์และคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ในการเขียนงานวิจัยและสถานที่สำหรับการทดลอง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกระหว่างการดำเนินการวิจัย

ท้ายนี้ผู้เขียนขอขอบคุณคุณวัลลภา ธีระสานต์ ผู้ให้การอุปการะค่าเล่าเรียน ตลอดจนบิดามารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆ ที่ให้การสนับสนุนและช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา และขอขอบคุณเจ้าของผลงาน เอกสารและงานวิจัยทุกท่านที่ได้ให้ผู้เขียนค้นคว้าได้นำมาอ้างอิงในการวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กษิดิส รัตนภรณ์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(4)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญ	(6)
สารบัญตาราง	(8)
สารบัญรูป	(10)
บทที่ 1 บทนำ	11
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	11
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	12
1.3 สมมติฐานการวิจัย	12
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	12
1.5 ขั้นตอนการวิจัย	13
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	14
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	15
2.1 เส้นใยมะพร้าวอ่อน	15
2.2 การปรับสภาพเส้นใยพืช	21
2.3 เอนไซม์เซลลูเลส	24
2.4 กระบวนการผลิตเส้นด้าย	29
2.5 มาตรฐานการทดสอบสิ่งทอ	35
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	47
3.1 วัตถุดิบ	47
3.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ	47
3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง	48
3.4 ระยะเวลาในการทดลอง	53
3.5 สถานที่ใช้ในการวิจัย	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์	54
4.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์	54
4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน 69

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 78

5.1 สรุปผลองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 78

5.2 สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 78

5.3 สรุปผลอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย 79

5.4 ข้อเสนอแนะ 80

บรรณานุกรม 81

ภาคผนวก 86

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบ 87

ภาคผนวก ข การเผยแพร่งานวิจัย 90

ประวัติผู้เขียน 93

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแยกสกัดด้วยเอนไซม์ 17
ตารางที่ 2.2 สมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแยกสกัดด้วยเอนไซม์ซึ่งมีความยาวแตกต่างกัน 17
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อน..... 21
ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลือกมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยพืชเหลือทิ้งทางการเกษตร..... 21
ตารางที่ 2.5 เอนไซม์และการประยุกต์ใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ..... 28
ตารางที่ 2.6 ขนาดและลักษณะของเส้นด้าย..... 34
ตารางที่ 2.7 มาตรฐานการทดสอบสิ่งทอ 36
ตารางที่ 2.8 ระดับการประเมินผลความสม่ำเสมอของเส้นด้าย..... 40
ตารางที่ 3.1 สิ่งทดลองในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส..... 50
ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 54
ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 57
ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 58
ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 58
ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 60
ตารางที่ 4.6 ลักษณะเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส.... 62
ตารางที่ 4.7 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 65
ตารางที่ 4.8 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส 66
ตารางที่ 4.9 ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส..... 68
ตารางที่ 4.10 เบอร์ของเส้นด้ายและจำนวนเกลียวของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย..... 74

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.11 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย 76

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลักษณะของผลมะพร้าว..... 16
รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อน..... 16
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส..... 18
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส 19
รูปที่ 2.5 โครงสร้างของเฮมิเซลลูโลส 19
รูปที่ 2.6 โครงสร้างของลิกนิน..... 20
รูปที่ 2.7 ผลจากการปรับสภาพในการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส..... 23
รูปที่ 2.8 กลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส 29
รูปที่ 4.1 ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ก) ภาคตัดขวางเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ข) ภาคตัดขวางเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ (ค) ภาพตามยาวเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ง) และภาพตามยาวเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ 56
รูปที่ 4.2 ลักษณะของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย (ก) เส้นด้ายฝ้ายอัตราส่วนร้อยละ 100 (ข) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ) และเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 (ค) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 (ง) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 (จ) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 70
รูปที่ 4.3 ความสม่ำเสมอของเส้นด้ายผสมจากเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยฝ้าย (ก) เส้นด้ายฝ้ายอัตราส่วนร้อยละ 100 (ข) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ) และเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 (ค) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 (ง) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 (จ) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 72

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

มะพร้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญอย่างหนึ่งของประเทศไทย จัดอยู่ในพืชตระกูลเดียวกับปาล์ม [1] นิยมเพาะปลูกเป็นจำนวนมากทางภาคใต้ ภาคกลาง และภาคตะวันออกของประเทศไทย [2] ในปี พ.ศ. 2559 มีพื้นที่เพาะปลูกมะพร้าวประมาณ 1.2 ล้านไร่ มีผลผลิตเฉลี่ยประมาณ 1.23 ล้านตันต่อปี [3] สำหรับอุตสาหกรรมส่งออกน้ำมะพร้าวอ่อน มีการปอกเปลือกมะพร้าวออก จึงทำให้มีปริมาณเปลือกมะพร้าวเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก [1] ซึ่งถ้าไม่กำจัดเปลือกมะพร้าวก็จะส่งผล ทำให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมในวงกว้าง [4] อุตสาหกรรมสิ่งทอไทยมีความต้องการที่จะก้าวสู่อุตสาหกรรมแห่งอนาคตที่เน้นการเพิ่มมูลค่าวัตถุดิบทางการเกษตรและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยการพัฒนาอุตสาหกรรมต้นน้ำด้วยการใช้เส้นใยธรรมชาติจากวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตรในประเทศซึ่งบางส่วนยังไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ [5-7] จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใย จากเปลือกมะพร้าวอ่อน พบว่า มีปริมาณผนังเซลล์ ร้อยละ 86.97 เซลลูโลส ร้อยละ 46.70 เฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 2.04 และลิกนิน ร้อยละ 36.80 เป็นเส้นใยสั้น สีน้ำตาลเข้ม มีขนาด 123 ดีเนียร์ เป็นเส้นใยขนาดใหญ่ ผิวสัมผัสหยาบ [1] ควรมีการปรับปรุงคุณภาพเส้นใย โดยเริ่มจากการแยกสกัดเส้นใย ย่อยกลุ่มเส้นใยพืชเป็นเส้นใยเดี่ยว หรือการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส เพื่อให้เส้นใยพืชมีขนาดเล็กลงหรือมีความละเอียดและอ่อนนุ่มขึ้น ทำให้ง่ายต่อการนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย โดยทั่วไปกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชพัฒนาต่อจากวิธีการแยกสกัดเส้นใยพืชแบบดั้งเดิม เป็นกระบวนการที่ง่าย มีต้นทุนการผลิตต่ำ ประกอบด้วย 4 วิธี คือ กระบวนการเชิงกล กระบวนการเคมี กระบวนการชีวภาพ และกระบวนการเชิงกลเคมี ซึ่งแต่ละกรรมวิธีมีขั้นตอนและกระบวนการที่แตกต่างกัน [8]

ผู้ประกอบการอุตสาหกรรมสิ่งทอจำนวนมากให้ความสนใจกับการเลือกใช้กระบวนการชีวภาพโดยใช้เอนไซม์ เพราะเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เช่น การใช้เอนไซม์เซลลูเลสในการฟอกสีผ้ายีนส์และการกำจัดขนบนผ้าฝ้าย เนื่องจากเอนไซม์เป็นสารทางชีวภาพที่ทำหน้าที่คล้าย สารเร่งปฏิกิริยาเคมี เมื่อถูกใช้ในการทำปฏิกิริยาจะไม่เสื่อมสภาพลงอย่างรวดเร็ว หากสามารถควบคุมภาวะในระบบให้เหมาะสมแก่เอนไซม์ เอนไซม์เซลลูเลสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลส ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเซลลูโลสให้กลายเป็นกลูโคส [9] ส่งผลให้เซลลูโลสมีขนาดเล็กลง มีความอ่อนนุ่มมากขึ้น เหมาะสำหรับนำมาพัฒนาเส้นใยพืชเพื่อเพิ่มสมบัติทางด้านสิ่งทอ อีกทั้งยังเป็นการตอบสนองความต้องการของผู้ประกอบการเส้นใยและเส้นด้าย จากการสำรวจของสถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ พบว่า ในปี พ.ศ. 2561 การนำเข้าสิ่งทอในประเทศไทยมีมูลค่าสูงถึง 1,159.60 ล้านเหรียญสหรัฐ เพิ่มขึ้นร้อยละ 9.30 เมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปี พ.ศ. 2560 โดยการนำเข้าเส้นใยและเส้นด้ายเป็นมูลค่า 566.57 ล้านเหรียญสหรัฐ เพิ่มขึ้นร้อยละ 5.19 และมีแนวโน้มการนำเข้าเส้นใยและเส้นด้ายเพิ่มขึ้นทุกปี [10] ปัจจุบันแนวโน้มความต้องการของผู้บริโภคทั่วโลกให้ความสนใจต่อที่มาของผลิตภัณฑ์ โดยเฉพาะกระบวนการผลิตสิ่งทอจากเส้นใยพืช ซึ่งมีสีที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะของเส้นใย สอดคล้องกับค่านิยม

ด้านการเลือกสีโทนอ่อนและสีเย็น (Pastel Color) ได้แก่ สีน้ำตาล สีน้ำตาลอ่อน และสีขาว ทั้งนี้ผู้บริโภคพร้อมสนับสนุนผู้ประกอบการที่ผลิตสินค้าจากเส้นใยพืชเพื่อความยั่งยืนต่อสิ่งแวดล้อม [11]

ดังนั้นจากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะพัฒนาการนำเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากเปลือกมะพร้าวอ่อนมาปรับปรุงสมบัติของเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมีและชีวภาพ โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อสกัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญทำให้เส้นใยมะพร้าวมีสมบัติกระด้าง ผิวสัมผัสหยาบ และใช้เอนไซม์เซลลูเลสเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเซลลูโลส มีสมบัติด้านความอ่อนนุ่มมากขึ้น เหมาะสำหรับการนำมาพัฒนาเป็นสิ่งทอ นำเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมาผสมกับเส้นใยฝ้าย เพื่อเป็นแนวทางในการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อม ซึ่งต้องหากระบวนการ รวมทั้งพื้นที่ในการกำจัดวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร และสามารถช่วยลดปัญหาการนำเข้าสิ่งทอ ส่งเสริมการบริโภคสินค้าภายในประเทศ เพิ่มมูลค่าให้กับผลิตภัณฑ์ และสามารถแข่งขันในตลาดโลกได้อย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

1.2.3 เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน

1.2.4 เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน

1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 ปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นใยที่แตกต่างกัน

1.3.2 อัตราส่วนในการผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อการผลิตเส้นด้ายมีขอบเขตในการวิจัย ดังนี้

1.4.1 ปรับสภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.4.1.1 นำเส้นใยมะพร้าวอ่อน ซึ่งได้จากเปลือกมะพร้าวอ่อน บริษัท เค เฟรช จำกัด ที่อยู่ 139/5 หมู่ 2 ตำบลหลักสาม อำเภอบ้านแพ้ว จังหวัดสมุทรสาคร

1.4.1.2 ศึกษาการปรับสภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

1.4.1.3 วิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยวิธีดีเทอร์เจนท์ (Detergent Method) เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

2) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

3) ร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้ (Percent Yield)

4) ปริมาณความชื้น โดยใช้วิธี AOAC 1990

1.4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

1.4.2.1 เตรียมเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์

1.4.2.2 ศึกษาสูตรที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส โดยการแปรเป็น 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 FPU/g (FPU; Filter Paper Unit) และเวลาในการย่อย โดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ 2 4 และ 6 ชั่วโมง

1.4.2.3 วิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) ศึกษาองค์ประกอบทางเคมี โดยวิธีดีเทอร์เจนท์ (Detergent Method) เพื่อวิเคราะห์หาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

2) วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

3) ร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้

4) ปริมาณความชื้น โดยใช้วิธี AOAC 1990

1.4.2.4 เลือกเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับการปั่นเป็นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน

1.4.3 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน

1.4.3.1 เตรียมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

1.4.3.2 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับปั่นเป็นเส้นด้าย โดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ อัตราส่วนเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย 20:80 30:70 และ 40:60 ตามลำดับ

1.4.3.3 วิเคราะห์สมบัติ ดังนี้

1) ลักษณะของเส้นด้าย

2) การทดสอบความสม่ำเสมอของเส้นด้าย

3) การทดสอบหาเบอร์ของเส้นด้าย

4) การทดสอบจำนวนเกลียวของเส้นด้าย

5) การทดสอบความแข็งแรงของเส้นด้ายต่อแรงดึงขาด

6) การทดสอบความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้าย

7) การทดสอบการยืดตัวก่อนขาด

1.4.3.4 เลือกเส้นด้ายที่เหมาะสมสำหรับผลิตผืนผ้า โดยศึกษาและเปรียบเทียบตามมาตรฐานการผลิตเส้นด้าย

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 วางแผนการดำเนินการวิจัย

1.5.3 เตรียมวัสดุ อุปกรณ์ ที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.4 ศึกษาสูตรสภาวะปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการศึกษา

1.5.5 ทดสอบทางเคมีและกายภาพ

1.5.6 วิเคราะห์ และวิจารณ์ ผลการทดลอง

1.5.7 สรุปผลการทดลอง

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อนำไปใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเส้นด้าย

1.6.2 ทราบอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน เพื่อเป็นแนวทางในการผลิตเส้นด้ายปั่นมือจากวัตถุดิบเหลือทิ้งทางการเกษตร เพิ่มอัตลักษณ์ให้กับผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นส่งเสริมภูมิปัญญาพื้นบ้าน

1.6.3 ทราบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน เพื่อสามารถเลือกใช้งานให้เหมาะสมกับสมบัติของเส้นด้าย นำไปสู่การพัฒนาเป็นสิ่งทอเทคนิคหรือสิ่งทอส่งเสริมภูมิปัญญา

1.6.4 เกิดองค์ความรู้ด้านเส้นใยธรรมชาติสำหรับการพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อขับเคลื่อนเศรษฐกิจสร้างสรรค์บนรากฐานการเรียนรู้และภูมิปัญญาที่สั่งสมมาผสมผสานกับวัฒนธรรม นำมาผลิตสินค้าซึ่งมีแหล่งวัตถุดิบในท้องถิ่น โดยการใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อสร้างสรรค์มูลค่าเพิ่ม เกิดผลิตภัณฑ์ที่เป็นสิ่งบ่งชี้ทางภูมิศาสตร์ (Geographical Indications : GI)

1.6.5 เกษตรกรมีช่องทางเพิ่มรายได้จากวัตถุดิบเหลือใช้ในท้องถิ่น ด้วยการแปรรูปเปลือกมะพร้าวอ่อนเป็นเส้นใยมะพร้าวอ่อน เพื่อเป็นวัตถุดิบส่งต่อให้ระบบอุตสาหกรรมสิ่งทอเส้นใยธรรมชาติ

1.6.6 อุตสาหกรรมส่งออกน้ำมะพร้าวอ่อน มีช่องทางในการเพิ่มมูลค่าเปลือกมะพร้าวอ่อน สร้างรายได้กลับสู่ระบบเศรษฐกิจ และลดปัญหาสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

บทที่ 2
วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

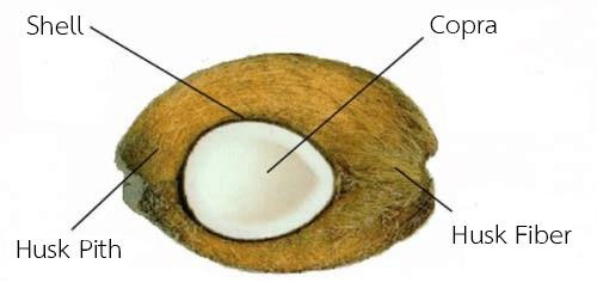
การวิจัยเรื่อง การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อการผลิตเส้นด้าย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน และศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน โดยผู้วิจัยได้ศึกษารวบรวมเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังต่อไปนี้

2.1 เส้นใยมะพร้าวอ่อน
2.2 การปรับสภาพเส้นใยพืช
2.3 เอนไซม์เซลลูเลส
2.4 กระบวนการผลิตเส้นด้าย
2.5 มาตรฐานการทดสอบสิ่งทอ
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เส้นใยมะพร้าวอ่อน

2.1.1 มะพร้าวอ่อน

มะพร้าวเป็นพืชยืนต้นชนิดหนึ่ง มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Cocos nucifera* L. เป็นพืชตระกูลเดียวกับปาล์ม ถือเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อการเกษตรในเมืองร้อน มีผลผลิตประมาณ 62 ล้านตันต่อปี และปลูกมากถึง 92 ประเทศทั่วโลก [2] สำหรับประเทศไทยจากการสำรวจ พบว่าในปี พ.ศ. 2561 มีพื้นที่ปลูกมะพร้าวประมาณ 1.2 ล้านไร่ ผลผลิตเฉลี่ย 1.23 ล้านตันต่อปี [3] ผลมะพร้าวมีลักษณะเป็นผลที่มีเส้นใยห่อหุ้มเป็นผิวชั้นเปลือกนอกของผล ส่วนใหญ่จะให้เส้นใยที่เรียกว่าเส้นใยมะพร้าว (Coir Fiber) สามารถนำไปใช้ในงานประเภทต่างๆ ได้หลากหลาย ซึ่งในแถบเอเชียจะได้ผลผลิตเป็นเส้นใยประมาณ 80-90 กรัมต่อผล เส้นใยมะพร้าวเป็นใยจากเมล็ด ที่ได้จากส่วนที่อยู่ชั้นในสุดของเปลือกที่หุ้มผลมะพร้าว ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เรียกส่วนนี้ว่า “เนื้อมะพร้าว” สำหรับเปลือกมะพร้าว ประกอบด้วยเส้นใยอยู่จำนวนมาก เป็นเส้นใยประเภทลิกโนเซลลูโลส [2] ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะของผลมะพร้าว
ที่มา : [10]

2.1.2 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อน

2.1.2.1 โครงสร้างทางกายภาพ เส้นใยเซลลูโลสเป็นเส้นใยเซลล์เดียว เมื่อตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ พบว่า ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ เยื่อหุ้มชั้นนอก ผนังเซลล์ และช่องว่างตรงกลาง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

1) เยื่อหุ้มชั้นนอก (Cuticle) เป็นเยื่อหุ้มบางๆ หุ้มภายนอกเส้นใยทั้งหมด ประกอบด้วยขี้ผึ้ง เพกติน และแร่ธาตุอื่นๆ

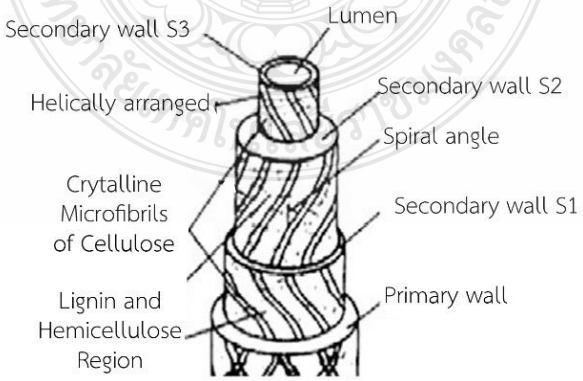
2) ผนังเซลล์ (Cell Wall) ประกอบด้วยผนังชั้นนอก และผนังชั้นใน

(1) ผนังชั้นนอก (Primary Wall) มีเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยไฟบริล (Fibrils) เส้นเล็กๆ มีความต้านต่อกรดและสารเคมีทั่วไป

(2) ผนังชั้นใน (Secondary Wall) อยู่ชิดกับผนังชั้นนอก เป็นผนังรูปวงแหวนซ้อนกันเป็นชั้นๆ ประกอบด้วยไฟบริลเล็กๆ เรียงตัวกันอยู่วงแหวนแต่ละรอบ มีขนาดไม่เท่ากัน

(3) ผนังชั้นนอกและผนังชั้นใน จะมีใยเรียงตัวกันเป็นวงแหวนล้อมรอบลูเมนซึ่งอยู่ตรงกลาง วงแหวนนี้แสดงอายุของเส้นใย

3) ลูเมน (Lumen) คือช่องว่างตรงกลางภายในเซลล์มีลักษณะเป็นโพรง



รูปที่ 2.2 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อน
ที่มา : [13]

2.1.2.2 สมบัติทางกายภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน

สมบัติทางกายภาพ หรือลักษณะรูปร่างภายนอกของเส้นใยที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เช่น ความยาว ความละเอียด ภาคตัดขวาง ซึ่งโครงสร้างทางกายภาพมีผลต่อความสามารถในการปั่นเป็นเส้นด้าย [14] ในประเทศอินเดียมีการนำเส้นใยมะพร้าวอ่อนมาศึกษาการแช่หมักด้วยสารเคมีและเอนไซม์ควบคู่กัน ซึ่งจะใช้วิธีการหมักด้วยน้ำ (Brackish Water) ระยะเวลา 3-6 เดือน หรือหมักในน้ำเกลือ (Salt Water) ใช้ระยะเวลา 10-12 เดือน จากนั้นนำเส้นใยมาแยกสกัดด้วยการทุบ จนได้เส้นใยที่มีความละเอียด นอกจากนี้ยังมีการแยกสกัดเส้นใยด้วยวิธีการทางเชิงกลแบบดั้งเดิมด้วยการทุบ แล้วนำมาแช่หมักต่อด้วยน้ำอีก 5 วัน ส่วนวิธีการแยกสกัดเส้นใยด้วยการใช้เอนไซม์นั้นนับเป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นใหม่ ทำให้ได้เส้นใยสะอาด ละเอียด และอ่อนนุ่ม ซึ่งได้ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าว [8] ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และการทดสอบสมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยมะพร้าวที่มีความยาวต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแยกสกัดด้วยเอนไซม์

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (μm)	ความหนาแน่น (g/mm^3)	ความต้านทานต่อแรงดึงขาด (g/den)	การยืดตัวก่อนขาด (ร้อยละ)
100-450	1.10	1.0-1.3	15-40
130-172	-	0.6-1.0	37-63

ที่มา : [8]

จากตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแยกสกัดด้วยเอนไซม์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100-450 ไมโครเมตร มีความหนาแน่น 1.10 กรัมต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ความต้านทานต่อแรงดึงขาด 1.0-1.3 กรัมต่อดีเนียร์ ร้อยละของการยืดตัวก่อนขาด 15-40 และขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 130-172 ไมโครเมตร มีความต้านทานต่อแรงดึงขาดต่อเบอร์ด้าย 0.6-1.0 กรัมต่อดีเนียร์ ร้อยละของการยืดตัวก่อนขาด 37-63

ตารางที่ 2.2 สมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแยกสกัดด้วยเอนไซม์ซึ่งมีความยาวแตกต่างกัน

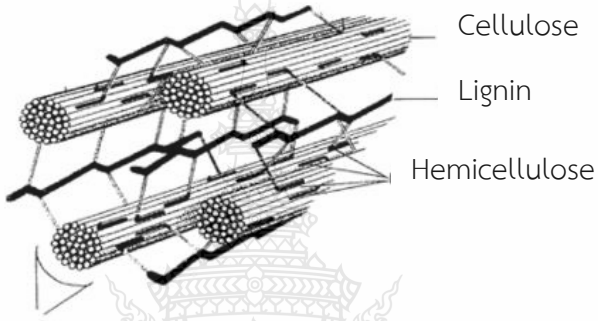
ความยาว (mm)	ความต้านทานต่อแรงดึงขาด (g/den)	การยืดตัวก่อนขาด (ร้อยละ)	ความเค้น (g/den)
5	0.7-1.5	36.1-83.7	6.9-13.1
10	0.8-1.4	18.2-50.0	12.3-18.5
20	0.6-1.4	17.8-42.0	12.3-23.1
25	0.6-1.2	12.5-37.5	13.9-27.7

ที่มา : [8]

จากตารางที่ 2.2 สมบัติด้านความแข็งแรงของเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการแยกสกัดด้วยเอนไซม์ ซึ่งที่มีความยาวแตกต่างกัน ทำให้ทราบว่าเส้นใยมะพร้าวมีความยาว 5-25 มิลลิเมตร ซึ่งความยาวที่แตกต่างกันส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพด้านความแข็งแรงที่แตกต่างกัน โดยแสดงค่าจากการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึงขาด ร้อยละของการยืดตัวก่อนขาด และความเค้น

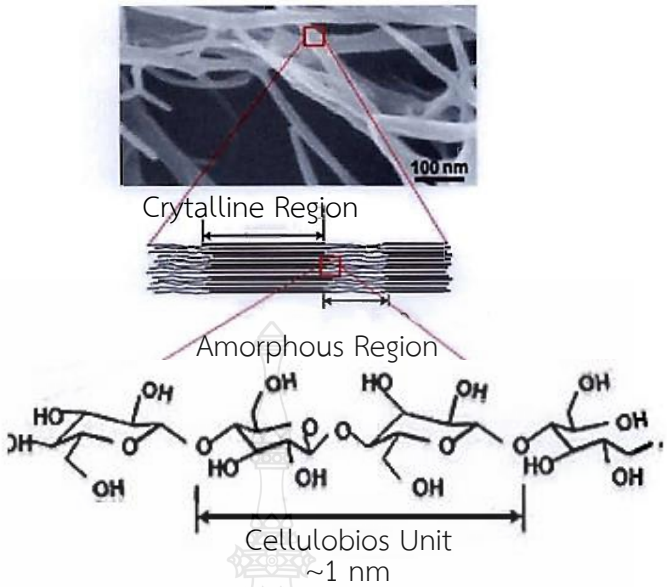
2.1.3 โครงสร้างทางเคมีเส้นใยมะพร้าวอ่อน

องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลสมีลักษณะโครงสร้างอยู่ในรูปของผลึกเชิงซ้อนอันประกอบด้วย เซลลูโลส (Cellulose) เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) [15], [16] ดังแสดงในรูปที่ 2.3



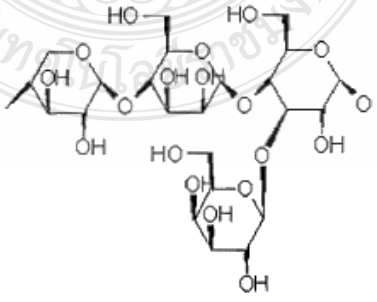
รูปที่ 2.3 องค์ประกอบของลิกโนเซลลูโลส
ที่มา : [17]

2.1.3.1 เซลลูโลส เป็นพอลิแซ็คคาร์ไรด์ที่พบมากที่สุดในผนังเซลล์ของพืชชั้นสูง ประกอบด้วย โมเลกุลของน้ำตาลเด็กโทรส (D-Glucose) เป็นหน่วยพื้นฐานจำนวนมากเชื่อมต่อด้วยพันธะไกลโคไซด์ (β-1,4 Glycosidic) ระหว่างแอลกอฮอล์ที่โมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิลโดยและทนต่อการถูกย่อยสลาย ในขณะที่การสายเซลลูโลสแต่ละสายจะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน (Hydrogen-Bond) และยึดติดกันด้วยแรงกระจายตัว (Dispersion Force) ดังนั้นภายในโมเลกุลของเซลลูโลสจึงยึดติดกันแน่นเป็นเหตุให้เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้ช้า เนื่องจากสารไม่สามารถผ่านเข้าไปในเซลลูโลสได้โมเลกุลของเซลลูโลสที่เชื่อมต่อกันตามยาว และเรียงขนานกันเป็นมัดเส้นใยประมาณ 40 คู่ เรียกว่า ไมโครไฟบริล การเรียงตัวขนานกันเป็นมัดประกอบกันเป็นไมโครไฟบริลที่มีการเรียงตัวของเซลลูโลสอย่างเป็นระบบ เรียกว่า Crytalline Region หรือบริเวณที่เป็นผลึกซึ่งบริเวณนี้ จะมีความแข็งแรงเรียงตัวขนานกันของเซลลูโลสอย่างไม่เป็นระเบียบ เรียกว่า Amorphous Region หรือบริเวณที่เป็นอสัญฐาน [18] โครงสร้างทางกายภาพของผนังเซลล์ จะมีเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบที่สำคัญซึ่งเป็นหน่วยเล็กๆ ที่ประกอบรวมเป็นเนื้อเยื่อ ในเซลล์มีโปรโตปลาสซึมและสารหล่อเลี้ยงในเซลล์โดยมีเยื่อบางๆ ที่ไม่มีสี เรียกว่า เซลล์เมมเบรน (Cell Membrane) ห่อหุ้มอยู่ เซลลูโลสเป็นน้ำตาลโมเลกุลใหญ่ที่แตกต่างกับแป้ง เอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลเชิงเดี่ยว คือ เอนไซม์เซลลูเลส (Cellulase Enzyme) โครงสร้างของเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.4



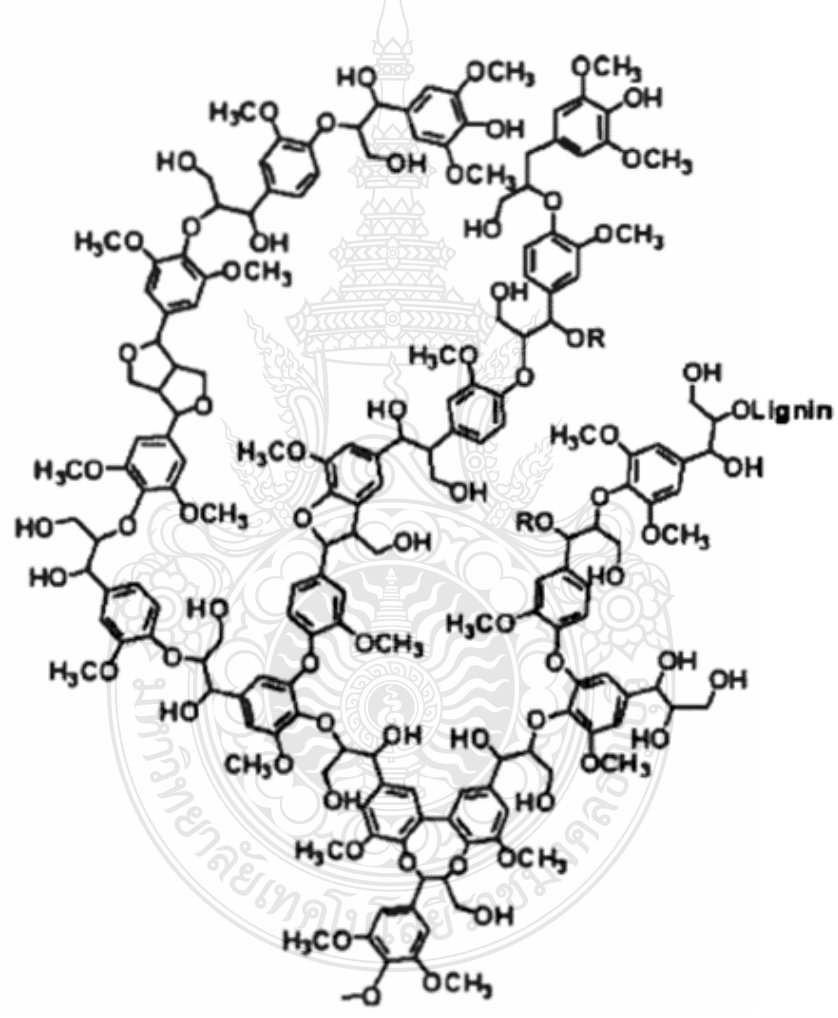
รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเซลลูโลส
ที่มา : [17]

2.1.3.2 เฮมิเซลลูโลส เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชที่ปะปนอยู่กับเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็คคาร์ไรด์ที่ประกอบด้วยน้ำตาลมากกว่าสองชนิด เช่น อะราบิโนส (Arabinose) ไซโลส (Xylose) กลูโคส (Glucose) แมนโนส (Mannose) แต่น้ำตาลที่พบมากในเฮมิเซลลูโลส คือ ไซโลส อะราบิโนส ซึ่งเฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นอสัญฐานอย่างไม่เป็นระเบียบ และมีการเชื่อมต่อกันของหน่วยพื้นฐานเป็นสายพอลิเมอร์อยู่ระหว่าง 100–300 จึงสามารถละลายในตัวทำละลายและมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมีได้เร็วกว่าเซลลูโลส นอกจากนั้น เฮมิเซลลูโลสยังมีคุณสมบัติชอบน้ำ เนื่องจากภายในสายโมเลกุลมีหมู่ไฮดรอกซิลเป็นองค์ประกอบอยู่จำนวนมาก จึงเป็นเหตุให้เส้นใยมีความสามารถในการดูดซับน้ำมากขึ้น [18] สามารถถูกย่อยด้วยสารละลายกรดเจือจางและสามารถละลายได้ดีในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส
ที่มา : [19]

2.1.3.3 ลิกนิน เป็นพอลิเมอร์ที่มีความซับซ้อนมาก มักพบอยู่บริเวณช่องว่างในผนังเซลล์ระหว่างองค์ประกอบของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสและเพคติน โดยหน้าที่ของลิกนินคล้ายกาวที่เป็นตัวประสานเส้นใยเข้าด้วยกัน เสริมสร้างความแข็งแรงให้กับโครงสร้างพืช โดยโครงสร้างประกอบด้วยอนุพันธ์ของสารอินทรีย์พอลิเมอร์ของฟีนิลโพรเพน (Phenylpropane) มากกว่า 10,000 หน่วย เป็นสาร อโรมาติก (Aromatic) ซึ่งสามารถถูกทำลายหรือย่อยสลายได้ด้วยด่างที่เข้มข้นและอุณหภูมิประมาณ 130-280 องศาเซลเซียส และเป็นองค์ประกอบหลักในผนังเซลล์ของพืช ทำหน้าที่ห่อหุ้มเส้นใยของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสเข้าด้วยกันซึ่งทนต่อการย่อยสลายมาก [18] โครงสร้างลิกนินดังแสดงในรูปที่ 2.6 สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าว ดังแสดงในตารางที่ 2.3



รูปที่ 2.6 โครงสร้างลิกนิน
ที่มา : [20]

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อน

องค์ประกอบทางเคมี	ร้อยละ
เถ้า (Ash)	0.98
ผนังเซลล์ (NDF)	86.97
ลิกโนเซลลูโลส (ADF)	84.93
ลิกนิน (ADL)	36.80
เซลลูโลส (Cellulose)	46.70
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	2.04

ที่มา : [8]

จากตารางที่ 2.3 จะเห็นว่าองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อน มีปริมาณผนังเซลล์ร้อยละ 86.97 มีปริมาณเซลลูโลสมากถึงร้อยละ 46.70 มีปริมาณเฮมิเซลลูโลส ร้อยละ 2.04 ส่วนปริมาณลิกนินมีสูงถึงร้อยละ 36.80 ด้วยองค์ประกอบทางเคมีดังกล่าว ส่งผลทำให้เส้นใยมีขนาดใหญ่ (123 ดีเนียร์) เมื่อเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลือกมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยพืชเหลือทิ้งทางการเกษตร พบว่า เส้นใยมะพร้าวอ่อน มีปริมาณเซลลูโลสใกล้เคียงกับเส้นใยซังข้าวโพดและลูกตาลซึ่งอาจเนื่องมาจากเป็นเส้นใยที่มาจากเปลือกชั้นในของพืชเหมือนกัน และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณของเฮมิเซลลูโลส พบว่า เส้นใยเปลือกมะพร้าวอ่อนมีปริมาณของเฮมิเซลลูโลสน้อยที่สุด แต่ในทางกลับกันมีปริมาณของลิกนินมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยพืชชนิดอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยเปลือกมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยพืชเหลือทิ้งทางการเกษตร

เส้นใย	เซลลูโลส (ร้อยละ)	เฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ)	ลิกนิน (ร้อยละ)
ใยมะพร้าวอ่อน	47	2	37
ใยตาลลูกตาล	53	30	17
ซังข้าวโพด	45	35	15
ฟางข้าว	30	50	15

ที่มา : [8]

2.2 การปรับสภาพเส้นใยพืช

การปรับสภาพเส้นใยพืช มีวัตถุประสงค์เพื่อกำจัดลิกนินซึ่งมีสมบัติไปห่อหุ้มหรือเคลือบโครงสร้างของเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส ลิกนินเป็นเหมือนผนังป้องกันไม่ให้จุลินทรีย์เข้าไปย่อยสลายเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลส นอกจากนี้ยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มขนาดรูพรุนของเส้นใย และลดการเกิด

ผลึกของเซลลูโลส (Cellulose Crytallinity) [21] ทำให้เอนไซม์สามารถเข้าถึงเส้นใยได้ง่ายขึ้น อีกทั้งยังช่วยลดค่าใช้จ่ายสำหรับใช้เอนไซม์ในการย่อยเซลลูโลส เนื่องจากหากใช้เอนไซม์ในการย่อยเพียงอย่างเดียวโดยไม่มีการปรับสภาพวัตถุดิบก่อนจะมีค่าใช้จ่ายสำหรับเอนไซม์ถึงร้อยละ 25 ของต้นทุนการผลิตทั้งหมด [15] โดยทั่วไปกระบวนการปรับสภาพเส้นใยพืชสามารถแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ [8] ดังนี้

2.2.1 กระบวนการทางเชิงกล

กระบวนการทางเชิงกล (Mechaincal Refining) หมายถึง กรรมวิธีที่ใช้แรงหรือกลไกทางกายภาพกับเส้นใยพืชโดยตรง เพื่อลดขนาดของกลุ่มเซลลูโลส ซึ่งกระบวนการทางเชิงกลที่นิยมใช้มีหลายวิธี ดังต่อไปนี้

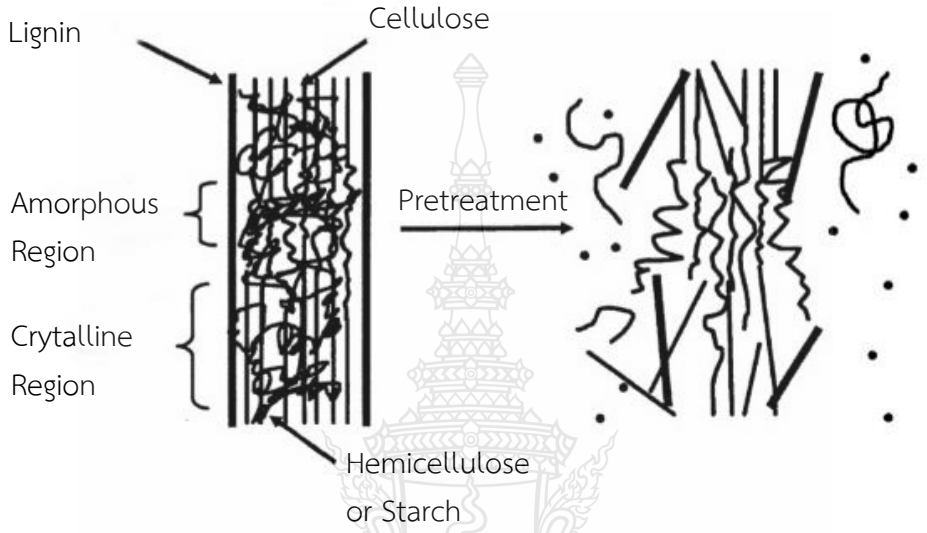
2.2.1.1 การใช้แรงทางกล (Mechanical Treatment) เป็นวิธีการทำให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง สามารถทำได้หลายวิธี เช่น การทุบ การบด การโม่ และการเขย่าวัตถุดิบ เป็นต้น ซึ่งจะมีผลทำให้ผลึกของเซลลูโลส (Cellulose Crystallinity) ลดลงและเพิ่มพื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาให้มากขึ้น ความสามารถในการลดขนาดจะขึ้นอยู่กับขนาดสุดท้ายของวัสดุและสมบัติเฉพาะตัวของวัสดุนั้น ซึ่งปกติจะมีความยาวของเส้นใยประมาณ 0.2-2 มิลลิเมตร การใช้แรงทางกล วิธีการหนึ่งคือ การบดด้วยลูกกลิ้งจัดว่าเป็นวิธีการที่ให้ผลสำเร็จเป็นอย่างดีและมีต้นทุนต่ำ

2.2.1.2 การย่อยสลายด้วยความร้อน (Pyrotysis) คือ การอบที่ใช้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงทำให้เส้นใยพืชกลายสภาพเป็นไอหรือของแข็ง กระบวนการจะทำได้ช้าและการระเหยจะต่ำ ถ้าใช้อุณหภูมิต่ำ จากการวิจัยพบว่าการใช้อุณหภูมิมากไปหรือน้อยไปจะไม่เป็นผลดี จึงต้องมีการใช้ความร้อนและอุณหภูมิที่เหมาะสม จึงจะส่งผลถึงสมบัติของเส้นใยได้ดีที่สุด หรือการใช้ความร้อน (Heat Treatment) เป็นการปรับสภาพเส้นใยพืช ด้วยวิธีการทำลายเนื้อเยื่อของเซลลูโลส ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักใช้อุณหภูมิมากกว่า 150-180 องศาเซลเซียส แต่ต้องทำให้วัสดุมีขนาดที่เล็กลงก่อนเข้าสู่กระบวนการย่อยเส้นใยด้วยความร้อน

2.2.2 กระบวนการเคมี

กระบวนการเคมี (Chemical Refining) เป็นกระบวนการปรับปรุงเส้นใยพืชด้วยการใช้สารเคมี ถือเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและสามารถทำให้เกิดการสลายตัวของลิกนินและเฮมิเซลลูโลสในเส้นใยพืชได้ วิธีนี้มีจุดเด่นคือ เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการขจัดลิกนิน และสามารถทำได้ที่อุณหภูมิห้อง แต่ผลเสียของวิธีนี้คือ มีค่าใช้จ่ายสูง สารเคมีที่นิยมใช้ อาทิ สารออกซิไดร์ (Oxidizing Agents) กรดต่างๆ และเกลือซึ่งสามารถย่อยสลายเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินได้ วิธีนี้สามารถทำภายใต้ความดันและอุณหภูมิปกติได้ กรดที่ใช้ ได้แก่ กรดซัลฟูริก (Sulphuric Acid) กรดโฮโดรคลอริก (Hydrochloric Acid) และกรดฟอสฟอริก (Phospholic Acid) แก๊สที่ใช้ได้แก่ คลอรีนไดออกไซด์ (Chorine Dioxide) ไนโตรเจนไดออกไซด์ (Nitrogen Dioxide) และซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Sulphur Dioxide) สารออกซิไดซ์เพิ่มเติม ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen Peroxide) โอโซน (Ozone) สารทำละลายที่ใช้ ได้แก่ เอทานอล (Ethanol) เบนซิน (Benzene) เอทธิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) บิวทานอล (Butanol) และสารที่ทำให้เกิดการพองบวม (Swelling Agents) ด่างที่ใช้ได้แก่ แอมโมเนีย (Ammonia) แอมโมเนียมซัลไฟต์ (Ammonium Sulfite) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) เส้นใยพืชเมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้โครงสร้าง

เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งจัดเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ จะแตกตัวออกจากกันเพื่อกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส [22] ดังแสดงในรูปที่ 2.7 โดยความร้อนจะช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยา ทำให้เฮมิ-เซลลูโลสและลิกนินหลุดออกมาได้มากขึ้น เพิ่มรูพรุนและพื้นที่ผิวให้กับเส้นใย ทำให้ย่อยสลายได้ดีขึ้น [23]



รูปที่ 2.7 ผลจากการปรับสภาพในการกำจัดลิกนินและเฮมิเซลลูโลส
ที่มา : [22], [24]

2.2.3 กระบวนการชีวภาพ

กระบวนการทางชีวภาพ (Biological Refining) เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชด้วยจุลินทรีย์ สามารถใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชประเภทลิกโนเซลลูโลส และยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกสกัดเส้นใยด้วยเอนไซม์ การใช้จุลินทรีย์มักจะทำหน้าที่ในการย่อยสลายลิกนินและเฮมิเซลลูโลส ส่วนเซลลูโลสจะถูกย่อยน้อยมาก เพราะมีความต้านทานต่อการถูกจุลินทรีย์ย่อยได้มากกว่าส่วนอื่นๆ ของลิกโนเซลลูโลส ซึ่งจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชด้วยกระบวนการทางชีวภาพ ได้แก่ เชื้อราสีน้ำตาล สีขาว และเชื้อราอ่อน ซึ่งเชื้อราขาวมีหลายชนิด เช่น พาเนอรอทเอคไครโซสโพเรียม (Phanerochaete Chrysosporium) ซีริพอเรีย เลคเซอเรต (Ceriporia Lacerate) ไซเอทัส สเตอโคเลอรัส (Cyathus Stercolerus) เซอริพอไรโอซิล สับเวอร์เฟอรา (Ceriporiopsis Subvermispora) ไซโนพอรัส ซินเนอบารินัส (Pycnoporus Cinnarbarinus) และเพอโรตัส ออสทรีอัส (Pleurotus Ostreaus) เป็นต้น

2.2.4 กระบวนการเชิงกลเคมี

กระบวนการเชิงกลเคมี (Chemical Mechanical Refining) เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืชด้วยวิธีทางเชิงกลร่วมกับทางเคมี มีส่วนสำคัญในการละลายน้ำของ

เฮมิเซลลูโลสและลิกนินที่ถูกแปลงโครงสร้างแล้วเป็นผลทำให้การแตกตัวของเซลลูโลสในขั้นตอนไฮโรไลซีสเพิ่มขึ้น ซึ่งการใช้กระบวนการฟิซิโคเคมิคอนพีทรีสเม็นท์ (Physicochemical Pretreatment) รวมกับกระบวนการเทอร์โมเคมิคอลทรีสเม็นท์ (Thermochemical Treatment) เช่น วิธีการระเบิดด้วยไอน้ำ (Steam Explosion) การระเบิดด้วยแอมโมเนีย (Ammonia Fiber Explosion) การระเบิดด้วยซัลเฟอร์-ไดออกไซด์ (SO_2 Explosin) อุณหภูมิที่ใช้อยู่ระหว่าง 160-260 องศาเซลเซียส กระทำภายใต้ความดัน 0.69-4.83 เมกะปาสคาล (MPa) ที่มีไอน้ำอิ่มตัว เป็นเวลาหลายวินาที หรือ 2-3 นาที ก่อนที่จะปรับลดลงมาอยู่ที่ระดับความดันปกติ และวิธีการย่อยเปียก (Wet Oxidation Pretreatment) กระทำที่อุณหภูมิระหว่าง 200-210 องศาเซลเซียส และมีการเติมด่างหรือโซเดียมคาบอเนต (Na_2CO_3) ร่วมด้วยซึ่งจะช่วยให้สารลิกโนเซลลูโลสิกละลายได้ดีขึ้น และยังช่วยให้การผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าเพิ่ม (Value-Added Products) โดยการใช้เอนไซม์ต่างๆ ได้ผลดีขึ้น ส่วนวิธีการย่อยสลายด้วยน้ำร้อน (Liquid Hot Water ; LHW) โดยการใช้น้ำร้อนที่อุณหภูมิ 170-230 องศาเซลเซียส ความดัน 5 เมกะปาสคาล เป็นเวลา 5 นาที จึงปรับคืนสู่ความดันปกติ

สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้การปรับสภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนโดยกระบวนการสกัดเส้นใยด้วยกระบวนการเชิงกล ระเบิดแรงดันไอน้ำในสภาวะ แรงดันไอน้ำ 17 บาร์ อุณหภูมิ 207 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที ได้เส้นใยมะพร้าวขนาด 123 ดีเนียร์ ความยาว 5-15 เซนติเมตร และมีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงดึงขาด 0.40 กรัมแรงต่อดีเนียร์ (gf/den) และการยืดตัวก่อนขาดร้อยละ 15.97 จากการวิจัยของสาคร [1] พบปัญหาว่า เส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ โดยกระบวนการระเบิดแรงดันไอน้ำ มีความกระด้าง ผิวสัมผัสหยาบ จึงควรพัฒนาคุณภาพเส้นใยให้มีความละเอียดสูงขึ้น หรือมีขนาดเล็กลงเพื่อง่ายต่อการปั่น ผู้วิจัยจึงสนใจกระบวนการปรับสภาพเส้นใยด้วยกระบวนการทางเคมี โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เพื่อสกัดเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออกจากเส้นใย สำหรับกลไกลการทำงานของด่าง คือ ใช้ด่างเป็นสารเพิ่มการพองตัวภายในโมเลกุลของเซลลูโลส เกิดการบวมภายใน เพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสและลดผลึกของเซลลูโลส ลดขนาดพอลิเมอร์ สามารถแยกโครงสร้างระหว่างลิกนินกับคาร์โบไฮเดรต เป็นการแยกองค์ประกอบหรือทำลายโครงสร้างของลิกนิน ต่อจากนั้นทำการศึกษากระบวนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยด้วยกระบวนการทางชีวภาพ โดยการใช้เอนไซม์เซลลูเลสเพื่อช่วยทำให้เส้นใยมะพร้าวมีสมบัติด้านความอ่อนนุ่มมากขึ้น

2.3 เอนไซม์เซลลูเลส

เอนไซม์เป็นสารอินทรีย์ประเภทโปรตีน สามารถสังเคราะห์ขึ้นและย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีวเคมี ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ (Biocatalyst) [25] เอนไซม์มีความสำคัญมากต่อสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์ พืช และจุลินทรีย์ เพราะกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์สารอาหาร การย่อยสลายสารอาหาร และการสร้างพลังงานเป็นต้น ในสิ่งมีชีวิตจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยา และทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ โดยเอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงภายใต้ภาวะที่ไม่รุนแรง และเมื่อปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์สิ้นสุดลง เอนไซม์จะยังคงมีปริมาณและสมบัติเหมือนเดิม สามารถนำมาใช้ใหม่ได้อีก เอนไซม์ต่างจาก

ตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ คือ มีความจำเพาะต่อปฏิกิริยาหรือต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยาชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น ทำให้สามารถควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม [9]

2.3.1 ประวัติการศึกษาเอนไซม์ [26]

คำว่า “เอนไซม์” ถูกตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1876 โดย คือเน (Kuhne) ซึ่งแปลว่า ยีสต์ (In Yeast) การตั้งชื่อดังกล่าวเนื่องจากมีผู้ศึกษาเรื่องการหมักของยีสต์กันมากในช่วงนั้น โดยในปี ค.ศ. 1857 ไลบิก (Liebig) และปาสเตอร์ (Pasteur) กล่าวว่าการหมักจะเกิดได้ในเซลล์ยีสต์เท่านั้น แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1897 บูคเนอร์ (Buchner) พบว่าการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลเกิดขึ้นได้ในสภาวะปลอดเซลล์ โดยใช้สารสกัดจากเซลล์ยีสต์ ซึ่งการค้นพบเหล่านี้เป็นการยืนยันว่าเอนไซม์ทำงานนอกเซลล์ได้

ในปี ค.ศ. 1894 ฟิชเชอร์ (Fischer) พบว่าเอนไซม์มีความจำเพาะและมีธรรมชาติเป็นโปรตีน ในปี ค.ศ. 1926 ซัมเนอร์ (Sumner) เป็นผู้เสนอว่าเอนไซม์คือโปรตีนอย่างง่ายโดยการสกัดและตกผลึกเอนไซม์ยูรีเอส (Urease) จากถั่ว แต่อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่สกัดได้ยังไม่บริสุทธิ์ จึงสรุปไม่ได้อย่างชัดเจนว่าเอนไซม์คือโปรตีน จนในปี ค.ศ. 1935 ผลงานของ นอร์ทรอป (Northrop) และคูไนท์ (Kunitz) ซึ่งได้แยกเอนไซม์เพปซิน (Pepsin) ออกมาในรูปผลึก และทำให้สรุปได้อย่างแน่ชัดว่าเอนไซม์เป็นโปรตีน

2.3.2 โครงสร้างของเอนไซม์ [9]

เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นก้อนกลม (Globular Proteins) โดยเอนโซม์เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโน (Amino Acids) ต่างๆ เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์กลายเป็นสายพอลิเปปไทด์ (Polypeptide) ประกอบกันเป็นเอนไซม์ โดยเอนไซม์บางชนิดประกอบด้วยสายพอลิเปปไทด์เพียงสายเดียว และบางชนิดประกอบด้วยพอลิเปปไทด์หลายสาย มีน้ำหนักโมเลกุลราว 10,000-2,000,000 เอนไซม์บางชนิดไม่ได้ประกอบด้วยสารโปรตีนล้วน แต่มีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โปรตีนช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ เรียกเอนไซม์เหล่านี้ว่า โฮโลเอนไซม์ (Holoenzyme) โดยส่วนที่เป็นโปรตีนซึ่งไม่สามารถทำงานตามลำพังได้ เรียกว่า แอโพเอนไซม์ (Apoenzyme) และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนแต่ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้เรียกว่า โคแฟคเตอร์ (Cofactor) โดยโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์อาจเป็นไอออนของโลหะ เช่น Zn^{2+} Fe^{2+} Mg^{2+} Mn^{2+} และ Cu^{2+} อื่นๆ หรืออาจเป็นสารประกอบอินทรีย์ก็ได้ ถ้าส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนจับกับเอนไซม์อย่างเหนียวแน่น เมื่อช่วยเอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาแล้วไม่หลุดออกมา เรียกหมู่นี้ว่า หมู่พรอสทีติก (Prosthetic) แต่โคแฟคเตอร์ที่จับกับเอนไซม์อย่างหลวมๆ และจะแยกออกจากเอนไซม์ได้เมื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาแล้ว เรียกว่า โคเอนไซม์ (Coenzyme) ได้แก่ พวกวิตามินเป็นส่วนใหญ่

2.3.3 การทำงานของเอนไซม์ [9]

เอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีทางชีวภาพ เอนไซม์สามารถเร่งหรือเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น โดยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาลง ดังนั้นจึงทำให้เอนไซม์สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ เช่น อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิร่างกาย เป็นต้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เอนไซม์เป็นตัวเร่งจะเพิ่มขึ้นถึง 10^{5}-10^{17}เท่า เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาที่เกิดโดยไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งเมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงเอนไซม์จะไม่แตกสลายหรือเปลี่ยนแปลงไป และพร้อมทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาต่อไปได้อีก

เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ คือ เอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่า ซับสเตรต (Substrate) เอนไซม์มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของซับสเตรตออกจากสารอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ เช่น เอนไซม์ซูเครส (Sucrase) จะจำเพาะต่อซูโครส (Sucrose) แต่ไม่จำเพาะต่อน้ำตาลโมเลกุลคู่อื่นๆ เช่น มอลโทส (Maltose) ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง และโปรตีนแต่ละชนิดมีโครงสร้าง 3 มิติ ที่มีรูปแบบเฉพาะตัว ดังนั้นความจำเพาะของเอนไซม์ต่อซับสเตรตจึงเป็นผลมาจากรูปร่างของเอนไซม์

โมเลกุลของเอนไซม์มีตำแหน่งที่เรียกว่า บริเวณเร่ง (Active Site) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ซับสเตรตเข้าจับ และกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเอนไซม์เพียงเล็กน้อยเพื่อให้มีการจับได้ดีขึ้น หลังจากซับเสตรตเข้าจับที่บริเวณเร่ง จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเอนไซม์กับซับสเตรต (Enzyme-Substrate Complex) โดยการจับกันจะอาศัยพันธะทางเคมี เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก เป็นต้น ส่วนแขนงข้าง (Side Chain) ของบริเวณเร่ง ทำให้เอนไซม์สามารถจับกับซับสเตรตได้อีก

การที่เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงสูงสามารถอธิบายได้โดยอาศัยทฤษฎีดังนี้

ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ (The Lock and Key Theory) เสนอโดย อีมิล ฟิชเชอร์ (Emil Fischer) อธิบายว่าแต่ละโมเลกุลของเอนไซม์จะต้องมีโครงรูปที่บริเวณเร่งเหมือนกับการที่ลูกกุญแจสวมเข้าพอดีกับแม่กุญแจ ซึ่งทฤษฎีนี้แสดงถึงสภาพแข็งแกร่ง (Rigidity) ของบริเวณเร่งของเอนไซม์

ทฤษฎีเหนี่ยวนำให้เหมาะสม (Induced-Fit Theory) เสนอโดยคอชแลนด์ (Koshland) ทฤษฎีนี้แสดงถึงความยืดหยุ่นและลักษณะไม่แข็งของเอนไซม์บางชนิดที่บริเวณเร่งของเอนไซม์ จะเหนี่ยวนำให้เอนไซม์เปลี่ยนโครงรูปให้เหมาะสมทำให้การจับกันระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรตดีขึ้น และทำให้เอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาได้ผลผลิต

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์

ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะดำเนินไปได้อย่างไรขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ ดังนี้

2.3.4.1 อุณหภูมิ (Temperature)

เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่ทำงานได้ดีที่สุด (Optimum Temperature) โดยทั่วๆ ไปจะอยู่ที่ประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปปฏิกิริยาจะลดลง ทั้งนี้เพราะเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติด้วยความร้อน (Thermal Denaturation) ทำให้โครงสร้างของเอนไซม์ถูกทำลาย จึงเข้ารวมกับซับสเตรตไม่ได้ โดยเอนไซม์เซลลูเลสจะเกิดการเสียสภาพที่อุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส

2.3.4.2 ความเป็นกรดเป็นเบส พีเอช (pH)

เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีน การเปลี่ยนแปลงพีเอชจะมีผลต่อการแตกตัวของหมู่อะมิโนและหมู่คาร์บอกซิลที่อยู่บนผิวโปรตีน ซึ่งจะมีผลต่อบริเวณเร่งและโครงรูปของเอนไซม์ นอกจากนี้พีเอชสูงหรือต่ำเกินไปจะทำให้เอนไซม์เกิดการเสียสภาพธรรมชาติ เอนไซม์แต่ละชนิดจะทำงานได้ดีที่สุดในภาวะที่มีความเป็นกรดเป็นเบสพอเหมาะ (Optimum pH) จะอยู่ระหว่าง 6-7.5 แต่ก็ยังแตกต่างกันระหว่างชนิด เช่น ไลเปสพีเอชจะอยู่ช่วง 7.0 ส่วนเปปซินอยู่ระหว่าง 1.5-2.5 จึงจะทำงานได้ดีที่สุด เอมไซม์เซลลูเลสจะทำงานได้ดีที่สุดที่ค่า pH 5.0-9.0 เป็นต้น

2.3.4.3 ปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์

เนื่องจากสมบัติในการเป็นตัวเร่งของเอนไซม์ เพราะฉะนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเอนไซม์ เมื่อเอนไซม์มีปริมาณมากจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าเอนไซม์มากเกินพอความเร็วของปฏิกิริยาจะไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีซับสเตรตเหลือให้เอนไซม์ที่มากเกินพอเข้าทำปฏิกิริยาด้วย

2.3.4.4 ปริมาณความเข้มข้นของซับสเตรต [9]

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรตอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นของซับสเตรตน้อย ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของซับสเตรตที่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าซับสเตรตมากเกินไปปฏิกิริยาก็จะไม่เกิดเร็วขึ้น ทั้งนี้เพราะปริมาณของเอนไซม์ไม่เพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยากับซับสเตรต

2.3.4.5 แรงเฉือน

แรงเฉือน (Shearing Force) มีผลต่อรูปร่างของโมเลกุลเอนไซม์ซึ่งทำให้เอนไซม์เกิดการเสื่อมสภาพได้ แรงเฉือนเกิดจากการไหลของของไหล การเขย่าภาชนะ และการกวนด้วยใบพัด ผลของแรงเฉือนต่อเสถียรภาพของเอนไซม์มีความสำคัญ ต่อการออกแบบถังหมักเอนไซม์เพราะว่าในถุงหมักจำเป็นต้องมีการกวน เพื่อลดความต้านทานของการถ่ายเทมวล (Mass Transferresistance)

2.3.5 เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยด้านสิ่งทอ

การใช้เอนไซม์ สำหรับทำความสะอาดสิ่งทอแทนสารเคมี หรือใช้ในรูปของสารชีวภาพในการทำความสะอาดเส้นใย เรียกว่า ไบโอสเคาริง (Bioscouring) ซึ่งมีข้อดีคือ ลดปริมาณน้ำที่ใช้ในขั้นตอนการล้างทำความสะอาด และลดเวลาการทำงาน ปริมาณน้ำทิ้งจากการทำความสะอาดลดลง เนื่องจากใช้อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งต่ำกว่าการใช้สารเคมี ประมาณ 85 องศาเซลเซียส และไม่มีผลต่อการทำลายเส้นใยเซลลูโลสในเนื้อผ้า จากการใช้เอนไซม์ในขั้นตอนการทำความสะอาดเส้นใย ทำให้มีการนำเอนไซม์หลายชนิดมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนอื่นๆ ของกระบวนการฟอกย้อม เช่น การลอกแป้ง (Desizing) การซักด้วยหินขัด (Stone Washed Process) การฟอกขาว (Bleaching) และการตกแต่งสำเร็จ (Finishing) ทั้งนี้เพื่อผลประโยชน์ของโรงงานอุตสาหกรรมและเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม [27] ตัวอย่างของเอนไซม์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 เอนไซม์และการประยุกต์ใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

เอนไซม์	การใช้งาน
แอลฟา-แอมีเลส	กำจัดสารลงแป้งออกจากเส้นใย ทำให้เส้นใยนุ่มขึ้น
เซลลูเลสและเฮมิเซลลูเลส	กำจัดกัมหรือยางเหนียวของเซลลูโลส กำจัดเส้นใยบริเวณพื้นผิวผ้าฝ้าย ทำให้ผ้านุ่มขึ้น
เพกทิเนส	กำจัดกัมของเส้นใยจากผักเป็นสารไบโอสเคา (Bioscour) ทดแทนการใช้โซดาไฟหรือโซดาแอช
โพรทีเอส	กำจัดกัมของเส้นใยจากสัตว์ ปรับสภาพเส้นใยขนสัตว์
ลิเพส	กำจัดไขมัน น้ำมัน
เพอร์ออกซิเดส	ออกซิไดส์สีธรรมชาติ
แคทาเลส	กำจัดเพอร์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการฟอกขาว

ที่มา : [27]

2.3.5.1 เอนไซม์เซลลูเลส

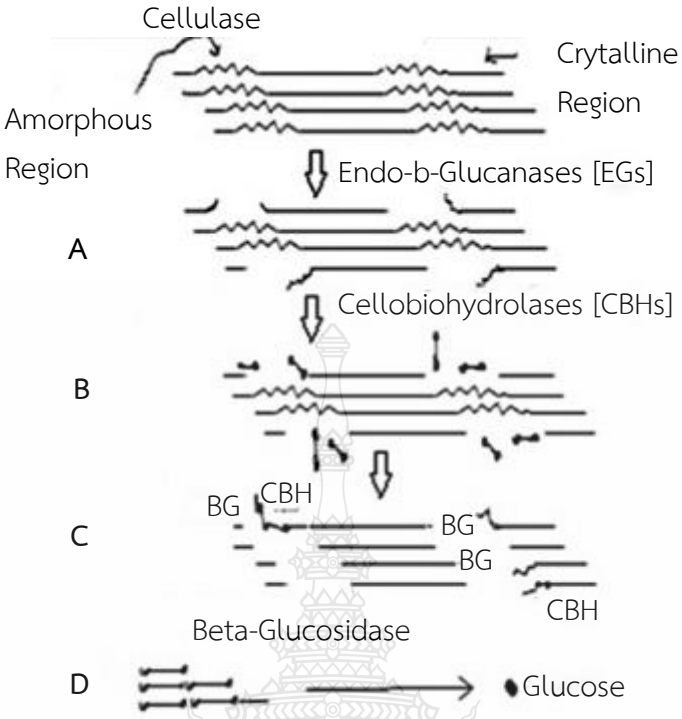
เอนไซม์เซลลูเลสถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ และประสบความสำเร็จมากที่สุดสำหรับขั้นตอนการซักด้วยหินขัดของผลิตภัณฑ์ผ้ายีน นอกจากนี้ยังนำมาใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นใยในผ้าฝ้าย โดยเซลลูเลสจะย่อยสลายเส้นใยเซลลูโลสเส้นเล็กๆ ที่โผล่ออกมาจากพื้นผิวผ้าฝ้ายทำให้เส้นใยหลุดออกได้ง่ายขึ้น ผ้ามีความนุ่มเพิ่มขึ้น น่าสัมผัส และช่วยแก้ปัญหาการติดสีไม่สม่ำเสมอบนผ้าฝ้าย เซลลูเลสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลส โดยส่วนใหญ่จะผลิตจากราหรือแบคทีเรียมีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ เอนโดกลูคาเนส (Endoglucanase) เซลโลไบโอไฮดรอเลส (Cellobiohydrolase) และ เบต้ากลูโคซิเดส (Beta-Glucosidase) ส่วนประกอบต่างๆ เหล่านี้จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรซิสเซลลูโลสให้กลายเป็นกลูโคส ซึ่งมีกลไกการทำงานดังนี้ [9]

1) เอนโดกลูคาเนส จะเข้าไปที่ส่วนอสัณฐานของสายโซ่เซลลูโลสและเร่งการไฮโดรไลซ์เซลลูโลสที่ตำแหน่งออกซิเจนที่เชื่อมระหว่างวงแหวนกลูโคส ทำให้สายโซ่เปิดออกเป็นปลายโซ่ (Chain End)

2) เซลโลไบโอไฮกดรอเลส เข้าไปที่ปลายโซ่เร่งการไฮโดรไลซ์ให้เกิดเป็นเซลโลไบโอส (Cellobiose) ส่วนใหญ่และเป็นโมเลกุลเล็กอื่นๆ บ้าง

3) เบต้ากลูโคซิเดส จะไปเร่งการไฮโดรไลซ์เซลโลไบโอส ให้เป็นกลูโคส

โดยกลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.8 กลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส
ที่มา : [9]

2.4 กระบวนการผลิตเส้นด้าย

เส้นด้าย หมายถึงเส้นใยสิ่งทอที่รวมอยู่ด้วยกันเป็นเส้นยาว ซึ่งมีความแข็งแรงพอที่จะนำไปทอถักหรือทำการผลิตเส้นด้ายโดยวิธีอื่นๆ เพื่อผลิตเป็นสิ่งทอเส้นด้ายมีด้วยกันหลายชนิด โดยมีลักษณะที่แตกต่างกัน แต่กระบวนการผลิตและกระบวนการตกแต่งต่างๆ การผลิตเส้นด้ายมีเทคนิคและกรรมวิธีการผลิตได้หลากหลายวิธี ซึ่งในแต่ละวิธีนั้นจำเป็นต้องศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อเส้นด้าย คือ เบอร์เส้นด้าย เกลียวของเส้นด้าย อัตราส่วนการผสมและการพันกันของเส้นใย [28]

2.4.1 เส้นด้ายจากการปั่นด้ายจากเส้นใยสั้น (Staple Fiber Spinning) [28]

เส้นด้ายจากการปั่นด้ายจากเส้นใยสั้น คือ การนำเอาเส้นใยสั้นมารวมกันให้เป็นเส้นใยยาว ยึดกันอยู่ได้ด้วยการบิดพันเป็นเกลียว มีความแข็งแรงคงทนต่อแรงดึงและแรงกระทบในกระบวนการทอได้ ในการปั่นเส้นด้ายจากเส้นใยสั้น อาจจะใช้วัตถุดิบ (เส้นใย) ได้จากทั้งเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยประดิษฐ์ล้วนหรือใช้เส้นใยทั้งสองอย่างผสมกันก็ได้ แล้วทำเป็นเส้นด้ายโดยกรรมวิธีของกระบวนการให้เส้นใยเหล่านี้ยึดเกาะติดกันได้ด้วยความฝืดของผิวเส้นใยเอง และควบเกลียวประมาณ 10-25 เกลียวต่อนิ้ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของเส้นด้ายที่จะผลิต ความยาว และความละเอียดของเส้นใยที่ใช้ การปั่นด้ายใยสั้นในยุคแรกๆ ผลิตจากด้ายขนสัตว์ ลินิน และฝ้าย ตามต้องการด้ายใยสั้นเหมาะสำหรับใช้ผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่ม เนื่องจากมีคุณสมบัติในการดูดซับดี ฟูตัว และให้ความอบอุ่น ผิวของด้ายจะมีปลายเส้นใยลอยออกมาสัมผัสกับผิวหนัง จึงเหมาะสำหรับประเทศที่มีอากาศชื้นแห้ง แต่ก็มีข้อเสีย คือปลายเส้นใย

ของด้ายใยสั้นมักจะขดเป็นปมเล็กๆ เมื่อเกิดการเสียดสีกันบ่อยๆ ด้ายใยสั้นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง ได้แก่ ด้ายฝ้าย ด้ายผสม และด้ายขนสัตว์ [29] เส้นด้ายที่ได้จากกระบวนการผลิตโดยใช้เส้นใยสั้น (Staple) จากเส้นใยธรรมชาติหรือเส้นใยประดิษฐ์ ที่มนุษย์สร้างขึ้นเป็นวัตถุดิบในการผลิตโดยที่เส้นใยสั้นนี้แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.4.1.1 เส้นใยสั้นขนาด 1-2$^{1}/_{2}$ นิ้ว (Short Staple) เช่น ฝ้าย เส้นใยพืชบางชนิด เส้นใยประดิษฐ์ตัดสั้นให้ความยาวใกล้เคียงกับฝ้ายเป็นต้น

2.4.1.2 เส้นใยสั้นขนาด 3-12 นิ้ว (Long Staple) เช่น ขนแกะ ขนสัตว์บางชนิด เส้นใยฝ้าย เส้นใยพืชบางชนิด และเส้นใยประดิษฐ์ตัดสั้นให้ความยาวใกล้เคียงกัน เป็นต้น

2.4.2 การปั่นเส้นด้ายระบบฝ้าย มีขั้นตอนการผลิต 7 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้ [30]

2.4.2.1 การคัดเลือกและการผสมเส้นใย (Scorting Blending) เริ่มจากการคัดเลือกด้ายฝ้ายที่มีคุณภาพใกล้เคียงกัน และมีขนาดความยาวเท่ากัน โดยแกะห่อฝ้ายที่มาเป็นฟ่อน ใส่รวมกันในเครื่องผสม (Blending Machine) เพื่อผสมเส้นใยให้เข้ากัน

2.4.2.2 การทำแผ่นเส้นใย (Picking) เป็นการช่วยทำความสะอาดเส้นใยอีกครั้ง ทำเส้นใยให้เป็นแผ่นหนาประมาณ 2-3 นิ้ว กว้างประมาณ 45 นิ้ว มีลักษณะเหมือนม้วนสำลี

2.4.2.3 การสางเส้นใย (Carding) เส้นใยเข้าเครื่องสางเพื่อสางเส้นใย ทำความสะอาด แล้วจัดเรียงเส้นใยให้ขนานกันเป็นแนวยาว เส้นใยแผ่เป็นแผ่นบางๆ และเรียบ สม่ำเสมอกัน

2.4.2.4 การหวีเส้นใย (Combing) เป็นขั้นตอนเพื่อทำให้เส้นใยเรียบอีกครั้งหนึ่ง และเอาเส้นใยสั้นๆ ออกให้หมดเหลือแต่เส้นใยที่มีคุณภาพแล้วจัดเส้นใยให้เรียงและขนานกันอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่า สไลด์เวอร์

2.4.2.5 การดึง (Drawing) ขึ้นอยู่กับสภาพเส้นด้ายที่ต้องการทำหลังจากล้างแล้ว โดยต้องนำเส้นใยมาดึงด้วยเครื่องดึง (Drawing Machine)

2.4.2.6 การดึงขนาด (Roving) คือการดึงเส้นใยให้เล็กลงเหลือเส้นผ่านศูนย์กลาง $^{1}/_{4}$ - $^{1}/_{8}$ ของขนาดสไลด์เวอร์เดิม หรือให้ได้ขนาดตามความต้องการ และบิดเกลียวเล็กน้อย

2.4.2.7 การบิดเกลียว (Spinning) เป็นกระบวนการขั้นสุดท้ายของการปั่นเส้นด้าย โดยการบิดเกลียวเส้นด้ายให้เส้นด้ายแน่น และเหนียวเพื่อกรอเข้าหลอด

2.4.3 ลักษณะและสมบัติของเส้นด้าย [31]

ปัจจุบันเส้นด้ายที่นำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ล้วนแล้วแต่มีลักษณะและสมบัติของเส้นด้ายแต่ละชนิดแตกต่างกันออกไป เนื่องจากเส้นด้ายแต่ละชนิดที่นำมาใช้นั้น มีความแตกต่างกันในหลายๆ ด้านในกระบวนการผลิตเส้นด้าย เช่น เครื่องมืออุตสาหกรรมในการนำมาใช้ในการปั่นเส้นด้ายรวมทั้งลักษณะของเส้นใย ก็มีผลทำให้เส้นด้ายมีความแตกต่าง และคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไป

2.4.3.1 ลักษณะโครงสร้างและรูปร่างของเส้นใย

โครงสร้างและลักษณะผิวของเส้นใยมีผลต่อเส้นด้ายหรือผืนผ้าที่ผลิตจากเส้นใยเหล่านั้น ลักษณะของผิวของขนแกะจะคล้ายกับเกล็ดปลา ซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติของเส้นด้ายในด้านการขึ้นรูป (Felting) และการหดตัว (Shirnkage)

ฝ้ายมีลักษณะรูปร่างที่คล้ายแผ่นสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่บิดตัวไปมา สามารถช่วยให้เส้นใยอิสระแต่ละเส้นจับตัวกันเป็นเส้นด้ายได้อย่างดี เส้นใยที่มีผิวเรียบมันใส จะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความมันเงาสวยงาม เช่น ไนลอน หรือใยประดิษฐ์อื่นๆ

รูปร่างของภาคตัดขวาง (Cross-Section Shape) ของเส้นใยมีผลกระทบต่อผืนผ้าที่ทอเช่นกัน เส้นใยที่มีภาคตัดขวางเป็นวงกลม เช่น ขนแกะ เมื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอจะให้สัมผัสที่ดีกว่าเส้นใยที่มีภาคตัดขวางคล้ายแถบผ้า เช่น ฝ้าย เป็นต้น

2.4.3.2 การแบ่งคุณสมบัติของเส้นใยตามประโยชน์ใช้สอยหรือลักษณะการใช้งานแบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่ม [32] คือ

1) คุณสมบัติของเส้นใยที่เกี่ยวกับความทนทาน ได้แก่ ความเหนียว ความทนต่อการขัดถู ความสามารถในการจับโค้งงอ ความสามารถในการรวมตัวกันได้ดี ความยืดหดได้ ความคงรูป

2) คุณสมบัติของเส้นใยที่เกี่ยวกับความสบายได้แก่ คุณสมบัติในการดูดซึมน้ำและความชื้น การระบายความร้อน การนำไฟฟ้า การแพ้ การนำความร้อน การเก็บความร้อน ความหนาแน่นและความถ่วงจำเพาะ

3) คุณสมบัติของเส้นใยที่เกี่ยวกับการดูแลรักษา ได้แก่ ความทนทานต่อสารเคมี การทนต่อความร้อน การทนต่อแสงแดด ความมีอายุการใช้งาน

4) คุณสมบัติของเส้นใยที่เกี่ยวกับความงาม ได้แก่ ความมัน การย้อมสีติด ความโปร่งแสง การจับจีบ ผิวสัมผัส ความนุ่มและความน่าจับต้อง

2.4.3.3 ลักษณะและคุณสมบัติของเส้นด้าย

1) ความแข็งแรง (Tensile Strength) หมายถึง ความแข็งแรงของวัสดุหรือความแข็งแรงในขณะที่วัสดุถูกดึงให้ขาด โดยทั่วไปจะใช้เป็นแรงต่อพื้นที่หน้าตัดของวัสดุนั้นๆ เช่น ไดน์ (Dyne) ต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งหลักการนี้สามารถนำไปใช้หาความเหนียวของเส้นใย และเส้นด้ายได้เช่นกัน

2) ความเหนียว (Tenacity) หมายถึง การนำเส้นด้ายเดี่ยวมาพิจารณาหาค่าความเหนียวในเทอมของความเหนียว เป็นการหาค่าความเค้นสูงสุด (Specific Stress) ที่จุดถูกดึงขาดของเส้นด้าย เส้นด้าย 2 ชนิด อาจมีค่าความเหนียวที่เท่ากัน แต่อาจมีค่าความเค้นจำเพาะ (Tensile Strength) ไม่เหมือนกัน เพราะอาจมีความหนาแน่นของวัสดุไม่เท่ากัน ทำให้พื้นที่หน้าตัดขวางของเส้นด้ายไม่เท่ากันด้วย

3) การยืดตัวออก (Elongation) เมื่อเส้นด้ายมีแรงมากระทำจำนวนหนึ่ง เส้นด้ายนั้นจะยืดตัวออกไประยะหนึ่ง เรียกว่าการยืดตัวออกหรือการยืดออกมักจะหาค่านี้ด้วยการเปรียบเทียบกับความยาวเดิมของเส้นด้ายนั้นๆ และคำนวณออกเป็นร้อยละ โดยปกติความเหนียวของเส้นด้ายจะมีค่าเท่าไหร่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ชนิดของเส้นใย เบอร์เส้นด้าย ฯลฯ

4) ความไม่สม่ำเสมอของเส้นด้าย (Yarn Irregularity) เกิดจากความเปลี่ยนแปลงของเส้นด้ายในระหว่างกระบวนการผลิต โดยปกติจะแสดงค่าทางสถิติเป็นค่าร้อยละ CV

หรือร้อยละ U สามารถทำได้โดยการวัดขนาดของเส้นด้ายในแต่ละช่วงความยาว และคำนวณค่าออกมาโดยอาศัยหลักพื้นฐานทางสถิติ

5) คุณสมบัติการยืดออกและหดตัวกลับของเส้นด้าย (Elastic Recovery) เมื่อเส้นด้ายถูกดึงออกด้วยแรงเพียงเล็กน้อย เส้นด้ายจะหดตัวกลับมาตำแหน่งเดิม เรียกว่า เส้นด้ายนั้นมีคุณสมบัติการยืดออกและหดตัวกลับ แต่ถ้าเส้นด้ายถูกแรงมากกระทำด้วยขนาดของแรงที่มากขึ้น การหดตัวกลับอาจไม่สามารถกระทำได้ ร้อยละ 100 เหมือนกรณีแรก ซึ่งเส้นด้ายจะมีการเปลี่ยนรูปได้

6) ขนบนเส้นด้าย เส้นด้ายที่เกิดการปั่นเส้นใยสั้น จะมีลักษณะอย่างหนึ่งที่ไม่เหมือนด้ายฟิลาเมนท์ คือ การเกิดขนบนตัวเส้นด้าย ซึ่งหมายถึง เส้นใยอื่นโผล่ออกมาจากตัวโครงสร้างเส้นด้าย การกำหนดค่าบนเส้นขนในทางปฏิบัติจะหมายถึง จำนวนขนที่ยื่นออกมาต่อระยะความยาวระยะหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันมีเครื่องมือนับจำนวนขนนี้ได้ และแสดงค่าออกมาอย่างอัตโนมัติ การเกิดขนบนเส้นด้ายมีผลต่อคุณสมบัติที่สำคัญของด้าย เพราะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของเส้นด้าย สาเหตุของการเกิดขน อาจเกิดจากหลายองค์ประกอบ เช่น วัตถุดิบกระบวนการผลิต เครื่องจักร อุปกรณ์ เป็นต้น

7) ความคงทนต่อการขัดถูของเส้นด้าย เส้นด้ายเมื่อนำมาทอหรือผลิตเป็นสิ่งทอในรูปแบบต่างๆ พบว่าต้องสัมผัสกับวัตถุอื่น ซึ่งเส้นด้ายจะมีความคงทนต่อการขัดถูได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ชนิดของเส้นใย โครงสร้างเส้นด้าย เป็นต้น

8) การฟูพองตัวของเส้นด้าย เป็นลักษณะที่สำคัญอย่างหนึ่งของเส้นด้าย มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตขั้นต่อไปอย่างมาก เช่น รูปร่างที่ปรากฏของผืนผ้าที่การทอผ้าหรือถักผ้า การดูดซึมสีที่กระบวนการย้อมสี เป็นต้น องค์ประกอบที่ทำให้การพองตัวของเส้นด้ายเป็นแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับระบบการปั่นด้ายเป็นหลัก

9) ผลกระทบจากความชื้นเส้นใยหรือเส้นด้ายเกือบทุกชนิด จะมีคุณสมบัติการดูดซึมความชื้นได้ ปริมาณการดูดซึมความชื้นที่ดูดไว้จะขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ ในบรรยากาศ (Relative Humidity) เส้นด้ายเมื่อดูดความชื้น จะมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติหลายอย่าง เส้นใยแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดความชื้นที่แตกต่างกัน และด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตในขั้นตอนการย้อมสี (Dyestuffs) สามารถแทรกซึมในเส้นใยที่ดูดซึมความชื้นได้ดีมากกว่าเส้นใยที่ไม่ดูดซึมความชื้น

10) ผลกระทบจากความร้อน เส้นด้ายทุกชนิดจะมีปฏิกิริยาต่อความร้อน แต่ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาจะแตกต่างกันออกไป เช่น ขนแกะจะแปลสภาพเปลี่ยนไปหากได้รับความร้อนสูง โดยไม่มีการหลอมละลายก่อน พอลิเอทิลิน (Polyethylene) หรืออะซิเตด (Accetate) จะอ่อนตัวและหลอมละลายก่อนการเปลี่ยนแปรสภาพ ดังนั้นผลของความร้อนจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการนำมาใช้งาน หากจะนำมาผลิตเป็นสิ่งทอควรคำนึงถึงสิ่งนี้เป็นสำคัญ

11) ผลกระทบจากแสงแดด แต่ละชนิดจะมีการแปรสภาพเปลี่ยนไปและชำรุดเสียหายอย่างรวดเร็ว เมื่อเจอแสงแดด ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียความเหนียวในเส้นด้ายหรือผืนผ้าและสีจะเปลี่ยน

2.4.3.4 ชนิดของเส้นด้าย [28]

เส้นด้ายที่ใช้ทอผ้าในปัจจุบัน มีมากมายหลายชนิดและหลากหลายรูปแบบ จึงสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ดังนี้ คือ เส้นด้ายธรรมดา และเส้นด้ายพิเศษ

1) เส้นด้ายธรรมดา (Simple Yarn) คือ ด้ายที่มีขนาดเท่ากัน จำนวนเกลียวสม่ำเสมอกันตลอดทั้งเส้น จำแนกออกได้ดังนี้

(1) ด้ายเดี่ยว (Single Yarn) ที่มีเส้นด้ายเพียงเส้นเดี่ยวเข้าเกลียวแน่นหรือหลวมก็ได้ จะมีหลายขนาด

(2) ด้ายรวม (Ply Yarn) คือ ด้ายเดี่ยวรวมกันตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไป แล้วนำมาเข้าเกลียวรวมกัน

(3) ด้ายเชือก (Cord Yarn) คือ การนำเส้นด้ายรวมมาเข้าเกลียวเป็นคู่ๆ แล้วจึงนำมาเข้าเกลียวรวมกันอีกครั้ง จะได้เส้นด้ายที่มีความเหนียว และทนทานมาก

2) เส้นด้ายพิเศษ หมายถึง เส้นด้ายที่มีลักษณะไม่เรียบ มีขนาดไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้น บางตอนเข้าเกลียวแน่น บางตอนเข้าเกลียวหลวมหรือมีลักษณะเป็นห่วงเป็นปุ่มปม และเส้นใยอาจมีสีต่างกัน การผลิตด้ายชนิดนี้ เพื่อต้องการให้เกิดความแตกต่าง เกิดความแปลกสวยงาม ทนทาน และใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย โครงสร้างของเส้นด้ายพิเศษประกอบด้วย

(1) เส้นด้ายหลัก (Cord Yarn) เป็นเส้นด้ายหลักหรือเส้นด้ายแกนสำหรับให้ด้ายอื่น พันทับอีกครั้ง

(2) เส้นด้ายพิเศษ (Fancy or Special Effect Yarn) เป็นเส้นด้ายที่มีลักษณะเป็นปุ่ม เป็นปมห่วง หรือเป็นขน พันทับลงเส้นด้ายหลักอย่างหลวมๆ

(3) เส้นด้ายพัน (Binder or Tie Yarn) เป็นเส้นด้ายที่ใช้พับยึดเส้นด้ายพิเศษให้ติดกับด้ายหลัก

2.4.3.5 ขนาดและเกลียวเส้นด้าย (Yarn Twist) [31]

1) ขนาดของเส้นด้าย ในระบบของการปั่นด้ายจากใยสั้น การกำหนดขนาดหรือความละเอียดของด้ายปั่น มักใช้วิธีการกำหนดขึ้นตามความสัมพันธ์ระหว่างเส้นใยหนึ่งหน่วยน้ำหนักต่อความยาวของเส้นด้ายที่ดึงให้ยาวได้จากวัตถุดิบนั้น หากปั่นด้ายยิ่งยาวเส้นด้ายนั้นย่อมมีความละเอียดมาก ระบบนี้ เรียกว่า ระบบผกผัน (Indirect System) ใช้หน่วยเป็นเบอร์ด้าย เช่น ในเบอร์ 1 หรือ NeC 1 หรือเขียนสั้นๆ เป็น Ne ถ้าเส้นด้ายจำนวน 1 ปอนด์ ปั่นเส้นด้ายออกมาได้เส้นใยที่ยาวเป็น 2 เท่าของ 840 หลา หรือ 1,680 หลา แสดงว่าเส้นด้ายมีความละเอียดมากขึ้น จัดเป็นความยาวต่อน้ำหนัก แต่ถ้าชนิดของเส้นใยเปลี่ยนไป มาตรฐานของการกำหนดความยาวก็ต่างกันไปด้วย

ประเทศไทยการผลิตด้ายปั่นส่วนมากเป็นด้ายฝ้ายและด้ายผสม มีความเชี่ยวชาญกับเบอร์ด้ายฝ้ายเป็นหลัก ด้ายเบอร์ยิ่งสูงก็ยิ่งมีความละเอียดมาก ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ขนาดและลักษณะของเส้นด้าย

ขนาดเส้นด้าย (Ne)	ขนาดเส้นด้าย (เท็กซ์)	ลักษณะของเส้นด้าย
เส้นด้ายต่ำกว่าเบอร์ 20 ลงมา	เส้นด้ายขนาด 29.5 ขึ้นไป	เป็นเส้นด้ายหยาบ
เบอร์ 20–60	เบอร์ 9.8-29.5	เป็นเส้นด้ายละเอียดปานกลาง
เบอร์ 60–100	เบอร์ 5.9-9.8	เป็นเส้นด้ายละเอียด

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก [31]

2) เกลียวเส้นด้าย (Yarn Twist) คือ การจัดเรียงเส้นใยให้บิดพันรอบแกนของเส้นด้าย ทำได้โดยการหมุนปลายหนึ่งของมัดเส้นใย ขณะที่อีกด้านหนึ่งถูกยึดให้คงที่ไว้ เกลียวทำหน้าที่ให้เส้นใยยึดเกาะกัน เพื่อสร้างความแข็งแรงให้กับเส้นด้าย ซึ่งการตีเกลียวเส้นด้ายมีผลโดยตรงกับราคาของเส้นด้าย เพราะการตีเกลียวที่สูงขึ้นจะทำให้ความเร็วในการผลิตลดลง ต้นทุนการผลิตมากขึ้นการบิดเกลียวเส้นด้ายจะเกิดแรงบิดภายในเกลียว เรียกว่า Torque ทุกๆ เกลียวจะมีแรงบิดเท่า ๆกัน เส้นด้ายที่มีจำนวนรอบของเกลียวต่อนิ้ว (Turn Per Inch : TPI) เท่ากันก็จะมีแรงบิดเท่ากันเพราะแรงบิดภายในเกลียว คิดโดยประมาณจะเกือบเท่ากับจำนวนรอบของเกลียวต่อนิ้ว แรงบิดจึงคิดจากจำนวนรอบของเกลียวต่อนิ้ว เช่น เส้นด้ายมีรอบเกลียวต่อนิ้ว เส้นด้ายมีรอบเกลียว 10 รอบต่อนิ้ว แรงบิดจึงคิดเป็น 10 รอบต่อนิ้ว [33]

จำนวนเกลียวบนเส้นด้ายจะแปรผันไปตามความยาวของเส้นใย ขนาดของเส้นใย และวัตถุประสงค์ในการใช้งาน การเพิ่มจำนวนเกลียวมากขึ้นเท่ากับเป็นการเพิ่มจุดสัมผัสระหว่างผิวของเส้นใย เพิ่มความเสียดทานทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยดีขึ้น แต่ถ้าเพิ่มเกลียวมากเกินไปเส้นใยจะถูกบิดตัวมากเกินไป จะทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง หน่วยวัดที่ใช้วัดจำนวนเกลียวจะวัดเป็นจำนวนรอบต่อความยาวของเส้นด้าย 1 นิ้ว ด้ายหวีที่ประกอบด้วยเส้นใยยาวไม่ต้องการการตีเกลียวมากเท่ากับด้ายสาง ซึ่งใช้เส้นใยที่สั้นกว่า เนื่องจากเส้นใยยาวมีจุดสัมผัสระหว่างเส้นใยสูง ทำให้เส้นด้ายมีความแข็งแรงมากกว่าแม้จะมีจำนวนเกลียวเท่ากันก็ตาม เส้นด้ายละเอียดต้องตีเกลียวมากกว่าเส้นด้ายหยาบ ขณะที่เส้นด้ายสำหรับถักผ้ามีจำนวนเกลียวน้อยกว่าเส้นด้ายพุ่ง ที่ใช้ทอผ้า เส้นด้ายยืนจำเป็นต้องตีเกลียวสูงกว่าเส้นด้ายพุ่ง 7 พุ่ง เนื่องจากต้องการความแข็งแรงทนทานต่อแรงดึงในเครื่องทอ และการเสียดสีจากกระสวยที่ใช้ทอ

โดยทั่วไปจำนวนเกลียวขึ้นอยู่กับชนิดของผ้าที่ต้องการทอด้วย คือ

(1) ด้ายที่ต้องการใช้ผลิตผ้าที่มีผิวนุ่มใช้ด้ายที่มีการตีเกลียวจำนวนน้อย

(2) ด้ายที่ต้องการใช้ผลิตผ้าผิวเรียบเป็นพวกที่มีเกลียวสูง ทำให้มีความแข็งแรง ความเรียบของผิว การยืดหยุ่นตัวดี และทนต่อการยับ

(3) ด้ายที่ใช้ผลิตผ้า เป็นด้ายที่ต้องมีจำนวนเกลียวมากที่สุด นอกจากจำนวนเกลียวแล้ว ทิศทางการเข้าเกลียวก็เป็นเรื่องที่สำคัญ โดยทั่วไปมีสองชนิดเรียกตามทิศทางเกลียวในทางเดียวกันกับการเขียนตัวอักษรมี 2 ชนิด คือ

ชนิด S (S–Turn) คือ การบิดเกลียวจากซ้ายมือมาทางขวามือ

ชนิด Z (Z-Turn) คือ การบิดเกลียวจากขวามือมาทางซ้ายมือ

2.4.4 กระบวนการผลิตเส้นด้ายฝ้าย [28]

กระบวนการผลิตเส้นด้ายฝ้าย มีความแตกต่างกันไปในแต่ละท้องถิ่น ไม่ว่าจะทอด้วยวิธีใด จำเป็นต้องมีการวางแผนการผลิต เพื่อให้ผ้ามีคุณภาพและไม่มีรอยตำหนิ เพราะการผลิตทุกขั้นตอนส่วนมากทำด้วยมือโดยตลอด ซึ่งต้องใช้ความชำนาญ ดังนั้นเครื่องมือต่างๆ ควรอยู่ในสภาพดีเพื่อพร้อมในการใช้งาน

2.4.4.1 การเตรียมวัตถุดิบก่อนเป็นเส้นด้ายฝ้าย

1) ฝ้ายออกดอกสีขาวหรือสีเหลืองขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ เมื่อดอกโรยจนติดเป็นสมอ เมื่อสมอแก่จัดสมอแตกออกและกลายเป็นปุยฝ้าย

2) เมื่อเก็บปุยฝ้ายแล้วคัดเอาปุยที่สมบูรณ์มีเม็ดลีบแบน เก็บเปลือกสมอ เมล็ดก้าน เศษใบ และสิ่งสกปรกออก

3) นำฝ้ายไปตากแดดให้แห้ง งานในขั้นตอนนี้ทั้งหมดเรียกว่า “ตูนฝ้าย”

2.4.4.2 การปั่นเส้นด้ายจากฝ้าย

1) นำปุยฝ้ายที่แห้งสนิทแยกเม็ดฝ้ายออกจากปุยฝ้ายที่เรียกว่า “อิ้วฝ้าย” โดยใช้เครื่องอิ๊ว

2) นำไปแยกเป็นชนิดฝ้าย ปุยใหญ่ให้เส้นใยยาวสำหรับทำเส้นด้าย ปุยเล็กให้เส้นใยสั้น สำหรับทำผ้าห่ม พรม เบาะ

3) นำไปดีดให้ฟองฟูโดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า “กงดีดฝ้าย” หรือ “กงฝ้าย” มีลักษณะคล้ายคันธนูเล็กๆ ทำด้วยไม้ไผ่ขนาดสั้นๆ โดยดีดใน “กระเพียด”

4) นำฝ้ายไปทำให้มีแท่งกลมที่เรียกว่า “ล้อฝ้าย” หรือ “ล้อมฝ้าย” บนกระดานล้อฝ้าย

5) คลึงจนปุยฝ้ายกลม แล้วดึงแท่งไม้ล้อออก คลึงเป็นรูปแท่งกลมๆ เรียกว่า “ติ้ว” หรือ “ลูกหมู

6) นำติ้วมาทำ “เส้นด้าย” ขั้นตอนนี้เรียกว่า “การเข็บฝ้าย” หรือ “ปั่นฝ้าย”

7) นำด้ายที่ปั่นม้วนพันที่เหล็กใน แล้วนำไปถอดออกและรวมกันสี่ไนไปเข้าไม้เขาเปียเรียกว่า “เปียด้าย” เส้นด้ายทั้งหมดรวมเข้าเป็น “ใจ” หรือ “เข็ด”

2.5 มาตรฐานการทดสอบสิ่งทอ

ในการทดสอบคุณภาพผลิตภัณฑ์สิ่งทอ จำเป็นต้องมีการอ้างอิงวิธีการที่ใช้ในการทดสอบ เพื่อให้ผลที่ได้จากการทดสอบเป็นที่ยอมรับจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยเฉพาะการทดสอบผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่เป็นข้อโต้แย้ง หรือเพื่อการยอมรับ หรือตรวจรับ เพราะการทดสอบในบางครั้งอาจจะมีการดำเนินงานในหลายๆ ห้องปฏิบัติการ ซึ่งผลที่ได้จากการทดสอบหลายๆ ห้องปฏิบัติการอาจแตกต่างกัน การอ้างอิงมาตรฐานและวิธีการทดสอบ จะทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์หาสาเหตุของความผิดพลาดและความแตกต่างที่เกิดขึ้น การทดสอบทางด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอจะต้องทดสอบภายใต้มาตรฐานที่กำหนดขึ้นในแต่ละประเทศซึ่งเป็นข้อตกลงของประเทศนั้นๆ [34] ดังแสดงในตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 มาตรฐานการทดสอบสิ่งทอ

ชื่อประเทศ	ชื่อมาตรฐาน	ตัวย่อ
มาตรฐานระหว่างประเทศ	International Organization for Standardization	ISO
แคนาดา	Canadian General Standards Board	CAN/CGSB
ฝรั่งเศส	Association Francaise de Normalisation	NF
อังกฤษ	British Standards Intitution	BS/BS EN/BS EN ISO
สหรัฐอเมริกา	American Society for Testing and Materials	ASTM
	American Association of Textile Chemist and Colorists	AATCC
ญี่ปุ่น	Japanese Industrial Standards	JIS
เยอรมัน	Deutsches Intitut for Normung	DIN/DIN EN ISO
ออสเตรเลีย/นิวซีแลนด์	Standards Association of Austraia	AS
	International Wool Standards	IWS
ไทย	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย	มอก.

ที่มา : [34]

โดยปกติการทดสอบสิ่งทอสามารถแบ่งได้ 2 วิธี คือ

2.5.1 การทดสอบทางเคมี (Chemical Testing) เป็นการทดสอบที่มีสารเคมี มาเกี่ยวข้อง โดยมีการทดสอบในหลายๆ หัวข้อ เช่น องค์ประกอบทางเคมี ความคงทนของสีต่อการซักล้าง ซักแห้ง ฟอกขาว เหงื่อ แสงแดด การหาปริมาณอัตราส่วนผสมของเส้นใย และการหาปริมาณฟอร์มาลดิไฮด์บนวัสดุสิ่งทอ เป็นต้น

2.5.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบดีเทอร์เจนท์ (Detergent) โดยมีวิธีการเตรียมสารเคมี และขั้นตอนการวิเคราะห์ดังนี้ [6]

1) การสกัดตัวอย่างด้วยสารละลายผงซักฟอกที่เป็นกลาง (Neutral Detergent) เพื่อหาร้อยละของส่วนประกอบของผนังเซลล์ มีขั้นตอนดังนี้

(1) สารละลายผงซักฟอกที่เป็นกลาง ประกอบด้วยสารเคมีและส่วนผสม คือ โซเดียมลอเรทซัลเฟต (Sodium Lauryl Sulfate) ปริมาณ 30 กรัมต่อลิตร เกลืออีดีทีเอ (Disodium Ethylene Diamine Tetra-acetate (Dihydrate Crystal เกรดวิเคราะห์) (EDTA)) ปริมาณ 18.61 กรัมต่อลิตร Sodium Borate Decahydrate ($Na_2B_4O_7 \cdot 10\ H_2O$) (เกรดวิเคราะห์) ปริมาณ 6.81 กรัมต่อลิตร Disodium Hydrogen Phosphate Anhydrous (Na_2HPO_4) Regent Grade ปริมาณ

4.56 กรัมต่อลิตร และ 2-Ethoxyethanol (Ethylene Glycol Monoethyl Ether), (Purified Grade) ปริมาณ 10 มิลลิลิตรต่อลิตร

(2) ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย Neutral Detergent มีขั้นตอนดังนี้

นำสาร EGTA กับ Sodium Borate Decahydrate และน้ำกลั่น ผสมกันในบีกเกอร์พร้อมทั้งให้ความร้อนจนกระทั้งสารเหล่านี้ละลาย จากนั้นเติม Sodium Lauryl Sulfate และ 2-Ethoxyethanol แล้วใส่ Disodium Hydrogen Phosphate ลงในบีกเกอร์ เติมน้ำกลั่นลงไปเล็กน้อย ให้ความร้อนจนกระทั่งสารละลายจนหมด จากนั้นใส่สารละลายที่เตรียมข้างต้นแล้วปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ช่วงระหว่าง 6.9-7.1

(3) ขั้นตอนการหาปริมาณผนังเซลล์ทั้งหมด

ชั่งตัวอย่างที่แห้ง ประมาณ 1 กรัม แล้วเติมสารละลาย Neutral Detergent ปริมาณ 100 มิลลิลิตร เติม Sodium Lauryl Sulfate ปริมาณ 0.5 กรัม และเติม Decahydronaphthalene ปริมาณ 2 มิลลิลิตร นำไปต้ม เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปกรอง ล้างตัวอย่างด้วยน้ำร้อน 3-4 ครั้ง ล้างด้วยอะซิโตน 2 ครั้ง ดูดสารละลายออกด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum Pump) จนแห้ง จากนั้นนำตัวอย่างใส่ถ้วยเผาไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำถ้วยเผาออกมาทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นคือ ปริมาณ Neutral Detergent

2) การสกัดตัวอย่างด้วยสารละลายที่เป็นกรด (Acid Detergent Fiber ; ADF) เพื่อหาร้อยละของ เฮมิเซลลูโลส มีขั้นตอนดังนี้

(1) สารละลายที่เป็นกรดประกอบด้วยสารเคมีและส่วนผสม ดังต่อไปนี้ คือ Sulfuric Acide Reagent Grade (1 Normal) ปริมาณ 49.04 กรัมต่อลิตร และ Cetyl Trimethylammonium Bromide (CTAB) ปริมาณ 20.00 กรัมต่อลิตร

(2) ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย Acid Detergent มีขั้นตอนดังนี้ ชั่ง Sulfuric Acid และทำสารละลายให้มีปริมาตรด้วยน้ำกลั่นที่ 20 องศาเซลเซียส ตรวจสอบค่า Normal โดยการไตเตรต แล้วเติมสาร CTAB และกวนให้เข้ากัน

(3) ขั้นตอนการหาปริมาณ Acid Detergent เพื่อหาปริมาณเฮมิเซลลูโลส มีขั้นตอนดังนี้คือ นำตัวอย่างที่ผ่านการสกัดด้วย Neutral Detergent มาทำการต้มด้วยสารละลาย Acid Detergent โดยมีส่วนผสมดังนี้ Acid Detergent ปริมาณ 20 มิลลิลิตรต่อลิตร และ Decahydronaphthalene ปริมาณ 2 มิลลิลิตรต่อลิตร ต้มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากเดือด ทำการกรอง แล้วล้างด้วยน้ำร้อน 3-4 ครั้ง ล้างด้วยเอทธานอล ร้อยละ 80 ปริมาตร 20 มิลลิลิตร 2 ครั้ง นำตัวอย่างใส่ถ้วยเผา ไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง นำไปว่างในโถดูดความชื้น จากนั้นชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่ได้คือ น้ำหนักของ Acid Detergent Fiber โดยน้ำหนักที่แตกต่างระหว่าง NDF กับ ADF คือ น้ำหนักเฮมิเซลลูโลส

3) วิธีการหา Permanganate Lignin (PML) เพื่อหาปริมาณลิกนิน มีขั้นตอนดังนี้

(1) สารละลาย Combined Permanganate ประกอบด้วย $KMnO_4$ Reagent Grade (1 N.) ปริมาณ 50 กรัมต่อลิตร และ Ag_2SO_4, Regent Grade ปริมาณ 0.05 กรัมต่อลิตร ละลาย $KMnO_4$ และ Ag_2SO_4 ด้วยน้ำกลั่น เก็บให้ห่างจากแสงแดด

(2) สารละลาย Demineralizing Solution ประกอบด้วย Oxalic Acid Dihydrateปริมาณ 50 กรัม เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 ปริมาณ 700 มิลลิลิตร Concentrated (12N) Hydrochloric Acid ปริมาณ 50 มิลลิลิตร Dictilled Water ปริมาณ 250 มิลลิลิตร

ขั้นตอนการเตรียมสารละลาย Demineralizing Solution โดยละลาย Oxalic Acid Dihydrate ด้วย เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 95 แล้วเติม Concentrated Hydrochloric Acid และน้ำกลั่น คนให้เข้ากัน

(3) ขั้นตอนการหาปริมาณ Permanganate Lignin (PML) เพื่อหาปริมาณลิกนิน โดยเติมสารละลาย Combined Permanganate 25 มิลลิลิตร ลงใน Sintered Glass Crucible โดยวาง Sintered Glass Crucible ในถาดที่มีน้ำเย็นสูงประมาณ 2 เซนติเมตร คนด้วยแท่งแก้ว ทิ้งไว้ 45 นาที โดยคนเป็นคนบางครั้ง จากนั้น ดูดสารละลายออกจนหมดด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ ทำซ้ำ 2 ครั้ง เติมสารละลาย Demineralizing ลงใน Curcible แต่ละถ้วยใช้เวลา 5 นาที ดูดสารละลายออกโดยเครื่องดูดสุญญากาศ ทำซ้ำจนได้ตัวอย่างพืชสีขาวภายใน 20 นาที จากนั้นล้างด้วย เอทานอลความเข้มข้นร้อยละ 80 และอะซีโตน แล้วดูดออกให้แห้งด้วยเครื่องดูดสุญญากาศ นำถ้วยเผาไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปวางใน โถดูดความชื้น แล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่าง Acid Detergent Fiber (ADF) และน้ำหนักพืชที่ผ่านการสกัดลิกนินออก คือ น้ำหนักลิกนิน

4) วิธีวิเคราะห์หาเซลลูโลสโดยการเผาเถ้า เพื่อหาปริมาณเซลลูโลส มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

(1) นำถ้วยเผาที่มีตัวอย่างเส้นใยซึ่งผ่านการสกัดลิกนินออกแล้ว ไปเผาในเครื่องเผาเถ้าที่ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

(2) จากนั้นนำไปวางในโถดูดความชื้นแล้วชั่งน้ำหนัก น้ำหนักที่แตกต่างกันระหว่างน้ำหนักพืชหลังสกัดลิกนินออกและน้ำหนักหลังการเผาเถ้า คือ น้ำหนักเซลลูโลส ส่วนน้ำหนักเถ้า คือ ผลต่างระหว่างน้ำหนักหลังเผา และน้ำหนักถ้วยเผา

5) วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไขมันจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D 2257-98(2004) โดยวิธี Optin 1 Soxlet Extraction

2.5.2 การทดสอบทางกายภาพ (Physical Testing) เป็นการทดสอบเกี่ยวกับความแข็งแรงและความเหมาะสมในการใช้งานด้านต่าง ๆโดยใช้เครื่องมือทดสอบ เช่น ความคงทนต่อแรงดึงขาด (Tensile Strength) ความคงทนต่อการฉีกขาด (Tear Strength) ความคงทนต่อการขัดถู (Abrasion Resisitant) และการตรวจสอบเบอร์เส้นด้าย (Yarn Count) เป็นต้น [28]

2.5.2.1 การตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Microscopic Examination)

การศึกษาโครงสร้างของเส้นใย โดยดูจากกล้องจุลทรรศน์ จะช่วยเข้าใจความแตกต่างของเส้นใยชนิดต่างๆ ได้มากขึ้น วิธีนี้ให้ผลที่ดีในการศึกษาเส้นใยธรรมชาติ มีความถูกต้องสูง ในขณะที่ค่อนข้างจำกัดต่อการศึกษาเส้นใยประดิษฐ์ การทดสอบ มักกระทำที่กำลังขยายต่ำประมาณ 50-60 เท่า เพื่อดูโครงสร้างตามยาว และพื้นที่หน้าตัด จากนั้นจึงดูรายละเอียดที่กำลังสูงขึ้น ในกรณีของเส้นใยประดิษฐ์อาจต้องอาศัยหลักการทางกล้องโพลาไรซ์ (Polarizing Microscopic) เพื่อเปรียบเทียบค่าความแตกต่างระหว่างค่าดัชนีสูงสุดและค่าดัชนีหักเหต่ำสุด (Birefringence) ของเส้นใยก็จะทำให้ผลถูกต้องยิ่งขึ้น ภาพที่ได้จากเครื่อง SEM จะเป็นภาพในลักษณะ 3 มิติ ดังนั้น เครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาสัณฐานและรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อและเซลล์ และหน้าตัดของชิ้นงาน เป็นต้น [35]

การตรวจสอบพื้นหน้าตัดของตัวอย่างเส้นใย ให้ใช้วิธีการตรวจสอบมาตรฐาน โดยอาศัยเทคนิควิธีการเตรียมตัวอย่าง ตามวิธีของ American Association of Textile Chemist and Colorists (AATCC) Method 20–1973 หรือ American Society for Testing and Materials (ASTM) Test Method D-276-60T

2.5.2.2 การทดสอบความละเอียดของเส้นใย [36]

ความละเอียดของส้นใย สามารถหาได้ โดยการวัดความหนาแน่นของเส้นใยต่อหน่วยความยาว การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของภาคตัดขวางเส้นใยและการวัดการไหลผ่านของอากาศในกลุ่มเส้นใย (Micronaire) ซึ่งแสดงค่าเป็นไมโครกรัมต่อนิ้ว

การวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย ธรรมชาติทำได้ยาก เนื่องจากภาคตัดขวางของเส้นใยธรรมชาติไม่คงที่ และไม่เป็นวงกลมที่สมบูรณ์ รวมทั้งขนาดความกว้างไม่คงที่ เพราะคุณภาพเส้นใยธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับสายพันธ์ภูมิประเทศและสภาพภูมิอากาศ

สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยสามารถกำหนดได้ในการผลิตโดยการเลือกใช้ขนาดของแว่นกดเส้นใย (Spinneret) ทำให้ได้ขนาดของภาคตัดขวางของเส้นใย ที่คงที่ตลอดความยาวเส้นใยนั้น

2.5.2.3 การทดสอบค่าความหนาแน่นของเส้นใย (Fiber Density Test) [30]

ความหนาแน่นของเส้นใยแต่ล่ะชนิดมีค่าที่แตกต่างกันเฉพาะตัว เป็นค่าที่บ่งบอกถึงน้ำหนักของเส้นใยว่าหนักหรือเบาอย่างไร โดยหลักการทั่วไปความหนาแน่นหมายถึงอัตราส่วนของมวลต่อปริมาตร ซึ่งหน่วยที่ใช้ คือ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ในบางครั้งมีการนำไปเปรียบเทียบกับความหนาแน่นของน้ำที่มีค่าเท่ากับ 1 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ก็จะให้ค่าเป็นความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ที่ไม่มีหน่วย ในบางครั้งมีการนำเสนอเป็นสัดส่วนกลับของความหนาแน่น เพื่อประโยชน์ของการใช้งานบางลักษณะ โดยกำหนดให้เป็นค่าของปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume) หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตรต่อกรัม

2.5.2.4 การทดสอบความไม่สม่ำเสมอของเส้นด้าย (Yarn Unevenvess Testing) และความสม่ำเสมอของเส้นด้าย

1) ความไม่สม่ำเสมอและความไม่สมบูรณ์แบบของเส้นด้าย อาจกำหนดได้จากขนาดการเปลี่ยนแปลงในเส้นด้ายซึ่งเกิดขึ้นได้จากกระบวนการผลิต โดยปกติจะแสดงค่าในทางสถิติ คือ เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (Coefficient of Variation) มีอักษรย่อ คือ ร้อยละ CV หรือการแปรปรวนของมวลของเส้นด้าย (The Mass Variation) มีอักษรย่อ คือ ร้อยละ U และค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรหรือการแปรปรวนของมวลของเส้นด้ายนี้จะเป็นค่าบ่งบอกถึงความสามารถในการปั่นด้ายอย่างหนึ่ง คือ หากค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรหรือการแปรปรวนของมวลเส้นด้ายมีค่าสูง หมายถึง ว่าด้ายมีความไม่สม่ำเสมอและหากค่าสัมประสิทธิ์ของความผันแปรหรือการแปรปรวนของมวลเส้นด้ายมีค่าต่ำ แสดงว่าความไม่สม่ำเสมอต่ำ [37]

2) การทดสอบความสม่ำเสมอของเส้นด้าย

การทดสอบความสม่ำเสมอของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายที่ได้ จำนวน 3 สิ่งทดลอง ตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 2255-2002 (Standard Test Method for Grading Spun Yarns for Appearance)

(1) หลักการทดสอบ

เส้นด้ายที่จะถูกตรวจจะพันบนแผ่นกระดาษแข็งสีดำ เส้นด้ายบนกระดาษนี้กับรูปภาพที่เป็นเส้นด้ายที่บอกเกรดของเส้นด้าย A B C D และ F ดังแสดงในตารางที่ 2.8 การแบ่งเกรดของเส้นด้ายขึ้นอยู่กับความสม่ำเสมอของขนาดเส้นด้ายจำนวนและขนาดของเนป (Nep) ขนาดเส้นด้ายและสิ่งแปลกปลอมเจือปนในเส้นด้าย

ตารางที่ 2.8 ระดับการประเมินผลความสม่ำเสมอของเส้นด้าย

ระดับ	ความละเอียดของเส้นด้าย
A	เป็นเส้นด้ายที่มีความละเอียดมากที่สุด
B	เป็นเส้นด้ายที่มีความละเอียดมาก
C	เป็นเส้นด้ายที่มีความละเอียดปานกลาง
D	เป็นเส้นด้ายที่มีความละเอียดน้อย
E	เป็นเส้นด้ายที่มีหยาบ กระด้าง
F	เป็นเส้นด้ายที่มีหยาบ กระด้างมากที่สุด

ที่มา : ดัดแปลงมาจาก [38]

3) วิธีการทดสอบ

(1) ตัดกระดาษแข็งสีดำขนาด 14 x 23 เซนติเมตร วัดด้านข้างซ้ายและขวา เข้ามา 0.5 เซนติเมตร

(2) นำเส้นด้ายมาพันรอบกระดาษแข็งสีดำ ระยะห่างของแต่ละเส้นประมาณ 1 มิลลิเมตร แผ่นหนึ่งได้ประมาณ 100 เส้น

2.5.2.5 การทดสอบขนาดเส้นด้าย (Yarn Size Testing) และจำนวนเกลียว

1) การทดสอบเบอร์ของเส้นด้าย

ขนาดของเส้นด้ายและเบอร์ด้าย แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ของความยาวและน้ำหนักของเส้นด้าย ซึ่งหมายถึง จำนวนของด้าย คือ ค่าของความหนาแน่นของเส้นด้ายในแนวยาว หรือเรียกว่าเบอร์ด้ายก็ได้เช่นกัน จำนวนด้ายโดยตรง คือ มวลต่อหน่วยความยาวของด้าย จำนวนด้ายโดยอ้อม คือ ความยาวต่อหน่วยมวลของด้าย การนับจำนวนด้าย (Yarn Count Number) จำนวนที่นับได้ของด้ายมักใช้ได้กับด้ายฝ้าย ด้ายขนสัตว์ และด้ายลินิน น้ำหนักและความยาวของด้ายมักขึ้นอยู่กับชนิดของด้ายที่แตกต่างกัน หากเบอร์ด้ายต่ำนั้นหมายความว่าด้ายมีน้ำหนักมาก ตัวอย่างด้ายฝ้ายนับจำนวนได้โดยเกณฑ์ของน้ำหนัก ตัวอย่างด้ายฝ้ายนับจำนวนได้โดยเกณฑ์ของน้ำหนักเป็นปอนด์ของเข็ดด้าย 1 ปอนด์ ขนาดยาว 840 หลา จำนวนที่นับได้ คือ จำนวนของเข็ดด้ายซึ่งยาว 840 หลา ต่อน้ำหนัก 1 ปอนด์ ยกตัวอย่างเช่น ด้าย 1 เข็ด (840 หลา) หนัก 1 ปอนด์ เท่ากับ เบอร์ด้าย (Yam Count) 1 S ด้าย 30 เข็ด (840 หลา x 30) หนัก 1 ปอนด์ เบอร์ด้ายจะเท่ากับ 30 S ด้ายที่มีขนาดหนักจะมีเบอร์ 1 S ด้ายที่มีขนาดปานกลางจะมีเบอร์ประมาณ 30 S หากเป็นด้ายละเอียดมากเบอร์ของด้าย จะอยู่ในราว 160 S การวัดด้วยระบบดีเนียร์ (Denier System) หมายถึงมวลของด้ายต่อหน่วยความยาวของด้าย โดยมากใช้วัดจำนวนด้ายของไหมและเส้นใยสังเคราะห์ (Man-Made Fibers) 1 Denier น้ำหนักเป็นกรัมของความยาวของด้ายที่ 9,000 เมตร ยกตัวอย่างเช่น ด้ายยาว 9,000 เมตร หนัก 2 กรัม เรียกว่า 2 ดีเนียร์ ในระบบดีเนียร์นี้ จะเห็นว่าถ้าตัวเลขจำนวนดีเนียร์ต่ำ ก็คือเส้นใยหรือด้ายนั้น มีความละเอียดมาก เส้นด้ายที่มีขนาดใหญ่ จะมีขนาดตั้งแต่ 280-600 ดีเนียร์ เส้นด้ายที่มีขนาดกลางมีขนาดตั้งแต่ 100-180 ดีเนียร์ และเส้นด้ายที่มีขนาดเล็ก มีขนาดตั้งแต่ 50-90 ดีเนียร์ [39] การทดสอบเบอร์ของเส้นด้าย ด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง ตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 1059-2001 (Standard Test Method for Yarn Number Base on Short-Length Specimens) [40]

(1) หลักการทดสอบ

เส้นด้ายจะทราบความยาวทำการชั่งน้ำหนัก และคำนวณเบอร์ของเส้นด้ายที่มีหน่วยเป็นระบบตรงหรือระบบอ้อม

(2) วิธีการทดสอบ

ทำการหาเบอร์เส้นด้ายเบื้องต้นเป็นระบบเท็กซ์ (Tex) เพื่อใช้ในการหาน้ำหนัก (กรัม) มีดังต่อไปนี้

ก นำเส้นด้าย 1 กลุ่มต่อ 10 เส้น

ข นำเส้นด้ายในกลุ่มชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งดิจิตอล 4 ตำแหน่ง

ค ทำการทดลองซ้ำตามข้อ ก-ข สำหรับเส้นด้ายที่เหลืออยู่

ง นำมาคำนวณหาค่าเท็กซ์ (Tex) เพื่อจะใช้ในการหาค่าน้ำหนัก (เซนตินิวตัน ; cN) ที่ต้องดึงยืดเส้นด้ายให้เหยียดตรง ดังแสดงในสมการที่ 2.1

$$Tex = \frac{\text{น้ำหนักของเส้นด้าย (กรัม) x 1,000}}{\text{จำนวนเส้นด้าย (10 เส้น) x ความยาวเฉลี่ยของเส้นด้ายที่เหยียดตรง (เมตร)}} \quad (2.1)$$

ที่มา : [28]

2) การทดสอบเกลียวของเส้นด้าย จำนวนเกลียวและการเข้าเกลียวของเส้นด้าย มีผลต่อโครงสร้างผ้าในด้านความหนา บาง และผิวสัมผัสของผ้า ความหนาบางของผ้าฝ้ายแบ่งได้ 3 ชนิด คือ ผ้าฝ้ายเนื้อบาง เนื้อปานกลาง เนื้อหนา ความหนาบางของผ้านั้นดูจากจำนวนเส้นด้ายต่อตารางนิ้ว ทั้งด้ายพุ่งและด้ายยืน และดูจากขนาดของเส้นด้ายที่ใช้ทอด้วย ชนิดของผ้าฝ้าย สามารถแบ่งตามความหนาความบาง ดังนี้ ผ้าฝ้ายเนื้อบาง คือ ผ้าฝ้ายที่ทอด้วยเส้นด้ายขนาดเล็ก หรือมีจำนวนเส้นด้ายต่อตารางนิ้วน้อย มีช่องว่างระหว่างเส้นด้ายมาก ระยะห่างของเส้นด้ายทำให้เกิดความโปร่งแสงเมื่อส่องกับแสงจะเห็นเป็นเงาของวัตถุอีกด้าน นิยมใช้ตัดเย็บเสื้อผ้าสตรี เสื้อผ้าสำหรับเด็ก และผ้าม่านที่ต้องการความโปร่งแสง ผ้าฝ้ายเนื้อปานกลาง คือ ผ้าฝ้ายที่ทอด้วยจำนวนเส้นด้ายต่อตารางนิ้วมากกว่าผ้าฝ้ายเนื้อบาง ไม่มีช่องว่างระหว่างเส้นด้าย แต่มีความโปร่งแสงไม่มากเท่าผ้าฝ้ายเนื้อบาง นิยมใช้ตัดเย็บเสื้อผ้าบุรุษ เสื้อผ้าสตรี ผ้าฝ้ายเนื้อหนา คือ ผ้าฝ้ายที่ทอด้วยจำนวนเส้นด้ายต่อตารางนิ้วมากกว่าผ้าฝ้ายเนื้อบางและผ้าฝ้ายเนื้อปานกลาง ไม่มีช่องว่างระหว่างเส้นด้ายมีความโปร่งแสงน้อยมาก นิยมใช้ตัดเย็บเสื้อกันหนาว รองเท้า กระเป๋า และบุเครื่องเรือน [41] การทดสอบเกลียวของเส้นด้าย ด้วยเครื่อง Twist Tester เพื่อหาเกลียวของเส้นด้ายของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 1423-1999 (Standard Test Method for Twist in Yarns by Direct-Counting) [42]

(1) หลักการทดสอบ

เส้นด้ายจะถูกคลายตัว เพื่อหาทิศทางและจำนวนเกลียวของเส้นด้าย

(2) วิธีการทดสอบ

(ก) นำเส้นด้าย 1 กลุ่มต่อ 10 เส้น

(ข) นำเส้นด้ายในกลุ่มออกมา 1 เส้นและสอดเข้าไปในเครื่อง Twist Tester และใช้ตัวจับ (Grips) ที่อยู่หัวท้ายของเครื่องจับเส้นด้ายเอาไว้ จากนั้นทำการดึงเส้นด้ายให้ตึงพอประมาณพร้อมกับ Lock Grip ที่อยู่ด้านล่างเอาไว้

(ค) หมุนหาเกลียวของเส้นด้ายและทิศทางของเส้นด้าย

(ง) ทำการทดสอบซ้ำตามข้อ 1-3 สำหรับเส้นด้ายที่เหลืออยู่

2.5.2.6 การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้าย (Yarn Breaking Strength Testing) และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย

1) การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้าย ความแข็งแรงของเส้นด้าย ความทนทานต่อแรงดึงของเส้นด้ายเดี่ยว (Single Yarn Strength) หรือความทนทานต่อแรงดึงของเส้นด้ายเป็นกลุ่ม (Lea Strength) การใช้งานเส้นด้ายที่มีความแข็งแรงต่ำ จะถูกนำไปใช้งานที่

ทนทานต่อแรงดึงน้อย การใช้งานเส้นด้ายที่มีความแข็งแรงสูง จะถูกนำไปใช้งานที่ทนทานต่อแรงดึงสูง และการใช้งานเส้นด้ายที่มีความแข็งแรงสูงมาก จะถูกนำไปใช้งานที่ทนทานต่อแรงดึงสูงมาก [43] การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้ายด้วยเครื่อง Test Strength Tester ตามมาตรฐานในการทดสอบ ASTM D 2256-2002 (standard test Method for Tensile Properties of Yarns by The Single Strand Mathod) [44]

(1) หลักการทดสอบ

เส้นด้ายจะถูกยึดไว้กับปากจับ (Jaw) ทั้งด้านบนและด้านล่าง เมื่อมีแรงดึงของเส้นด้ายจะถูกยืดตัวออกจนขาดแรงที่ใช้ดึงให้ชิ้นทดสอบขาด เรียกว่า แรงดึงขาด (Breaking load)

(2) วิธีการทดสอบ

(ก) ตัดชิ้นงานขนาด 65 มิลลิเมตร หรือ 50 มิลลิเมตร และเพิ่มเส้นด้ายเข้าไปอีกจำนวน 20 เส้น

(ข) จากนั้นต้องให้เส้นด้ายทั้งสองข้างให้เท่ากัน ต้องให้กว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาวต้องไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร

2) การทดสอบความยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายการยืดขาด คือ การยืดที่ถูกบันทึก ณ ความแข็งแรงสูงสุดที่ได้ระหว่างการทดสอบความแข็งแรงตามมาตรฐาน หน่วยเป็นร้อยละ การทดสอบความยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย ด้วยเครื่อง Test Strength Tester ตามมาตรฐานในการทดสอบ ASTM D 2256-2002 (standard test Method for Tensile Properties of Yarns by The Single Strand Mathod) [44]

(1) หลักการทดสอบ

เส้นด้ายจะถูกยึดไว้กับปากจับ (Jaw) ทั้งด้านบนและด้านล่าง เมื่อมีแรงดึงของเส้นด้ายจะถูกยืดตัวออกจนขาด ความยาวที่เพิ่มขึ้นขณะที่ชิ้นทดสอบขาดคิดเป็นร้อยละของความยาวเดิมเรียกว่า การยืดตัวก่อนขาด (Breaking Extension or Elongation at Break)

(2) วิธีการทดสอบ

(ก) ตัดชิ้นงานขนาด 65 มิลลิเมตร หรือ 50 มิลลิเมตร และเพิ่มเส้นด้ายเข้าไปอีกจำนวน 20 เส้น

(ข) จากนั้นต้องให้เส้นด้ายทั้งสองข้างให้เท่ากัน ต้องให้กว้าง 50 มิลลิเมตร ความยาวต้องไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร

เส้นด้ายจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอเพื่อต้านทานการยืดที่เกิดขึ้นขณะถักด้วยเครื่องจักร โดยเฉพาะระหว่างการเอาออกจากโคนและในส่วนของเข็มถัก ซิงเกอร์ และจานเข็มระหว่างการเกิดห่วงถัก ซึ่งยังให้ความคงที่ที่ต้องการของผ้าความแข็งแรงในเส้นด้ายใยสั้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระดับการตีเกลียวที่ใส่เข้าไประหว่างการปั่นด้าย การตีเกลียวที่สูงกว่าจะทำให้เส้นด้ายมีความแข็งหรือแข็งแรงมากกว่าแต่ไม่เป็นที่ต้องการสำหรับผ้าถักสวมใส่ซึ่งถือเอาการสัมผัสที่อ่อนนุ่มเป็นสำคัญ ความสัมพันธ์ที่คงที่เป็นสิ่งที่ต้องการ

การวิเคราะห์เส้นใยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ประกอบด้วยลักษณะตัวอย่างที่จะทดสอบ ประสบการณ์ของผู้วิเคราะห์ ตลอดจนไปถึงเครื่องมือทดสอบที่ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งพัฒนาการเกิดเส้นใยใหม่ และการปรับปรุงสมบัติของเส้นใยประดิษฐ์ให้ดีมากขึ้นอยู่ตลอดเวลา ช่วยทำให้การวิเคราะห์เส้นใยมีความสลับซับซ้อนมากยิ่งขึ้น อย่างไรก็ดีประเทศที่พัฒนาแล้วส่วนใหญ่จะมีกฎหมายบังคับให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอทุกประเภทต้องแสดงส่วนประกอบของเส้นใยในผลิตภัณฑ์อย่างชัดเจน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 สาคร ชลสาคร [1] ได้ทำการศึกษา การพัฒนาเส้นใยมะพร้าวอ่อนในผลิตภัณฑ์สิ่งทอคุณสมบัติพิเศษสำหรับผู้สูงอายุ พบว่าการแยกสกัดเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวอ่อน โดยวิธีการทางเชิงกลด้วยการระเบิดไอน้ำ ใช้แรงดัน 17 บาร์ อุณหภูมิ 207 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที สามารถแยกสกัดเส้นใยได้ดีที่สุด องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวอ่อนมีผนังเซลล์ร้อยละ 86.97 ลิกโนเซลลูโลสร้อยละ 84.93 ลิกนินร้อยละ 36.80 เฮมิเซลลูโลสร้อยละ 2.04 และเซลลูโลส ร้อยละ 46.70 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวอ่อน พบว่าเป็นกลุ่มเส้นใยมีสีน้ำตาลเข้ม พื้นผิวเส้นใยเรียบแข็งกระด้าง มีความละเอียด 123 ดีเนียร์ ความยาว 5-15 เซนติเมตร ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด 0.40 กรัมแรงต่อดีเนียร์ และการยืดตัวก่อนขาดร้อยละ 15.97 ผลการปั่นเส้นด้ายจากเส้นใยเปลือกมะพร้าวอ่อนด้วยวิธีการปั่นแบบวงแหวน (Ring Spinning) พบว่าเส้นใยจากเปลือกมะพร้าวอ่อนผสมกับเส้นใยเรยอนในอัตราส่วน 20:80 สามารถปั่นเป็นเส้นด้ายได้ ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายมะพร้าวอ่อน ได้เบอร์เส้นด้าย 21 Ne มีจำนวน 20 เกลียวต่อนิ้ว ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด มีค่าเฉลี่ย 2.81 นิวตัน และความยืดตัวก่อนขาดร้อยละ 15.9 เส้นด้ายมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ มีปุ่มปม ซึ่งมีส่วนหนาบางอยู่ในระดับ E ผลการผลิตผืนผ้าและผลิตภัณฑ์สิ่งทอ พบว่าเส้นด้ายมะพร้าวอ่อนสามารถผลิตได้ทั้งผ้าทอและผ้าถัก มีค่าเฉลี่ยความหนา 0.49 มิลลิเมตร และน้ำหนัก 180.7 กรัมต่อตารางเมตร ความแข็งแรงต่อแรงดึง 411.40 นิวตัน การยืดตัวก่อนขาดร้อยละ 16.78

2.6.2 เบญจมาส ขวัญคง [9] ได้ทำการศึกษา การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส จากการศึกษาพบว่า ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (ANP-N300) มี 2 ภาวะคืออุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที โดยที่ทั้งสองสภาวะ กระทำการกำจัดสิ่งสกปรกที่พีเอช 6.5 ใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายเท่ากับ 1:50 ปริมาณเอนไซม์ 0.5 กรัมต่อลิตร และปริมาณสารช่วยเปียก 1 กรัมต่อลิตร ซึ่งการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ให้ผลใกล้เคียงกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิด สามารถดูดซึมน้ำได้ทันที ผ้ามีความขาวเพิ่มขึ้นจากผ้าดิบ ผ้าสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 2-3 และความแข็งแรงของผ้าไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก ถึงแม้ว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ก็สามารถขจัดเพกทินบนผ้าออกไปได้มากพอที่จะทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ทันที ผ้ามีความขาว และความเข้มสีใกล้เคียงกันกับผ้าที่ผ่านการกำจัด

สิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ จึงสรุปได้ว่า สามารถใช้เอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายได้ผลดีเช่นเดียวกับ การใช้เอนไซม์เพกทเนส (Scourzvme L)

2.6.3 พรศิริ หลงหนองคูณ [28] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาเส้นด้ายผสมปั่นมือจากเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยฝ้าย พบว่า การศึกษากระบวนการแยกเส้นใยใบอ้อยด้วยวิธีทางเคมี มี 2 ปัจจัย คือ ปริมาณโซเดียมไฮดรอกไซด์ แปรเป็น 4 ระดับ คือร้อยละ 0.1 0.2 0.3 และ 0.4 ของน้ำหนักใบอ้อย และเวลาในการต้ม แปรเป็น 3 ระดับ คือ 30 60 และ 90 นาที และการศึกษาอัตราส่วนผสมของเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยฝ้ายที่เหมาะสม คือ ปริมาณเส้นใยใบอ้อย แปรเป็น 5 ระดับ คือ 10:90 20:80 30:70 40:60 และ 50:50 นำไปปั่นเส้นด้ายด้วยวิธีการปั่นมือ และการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยฝ้าย ด้วยมาตรฐานการทดสอบของ ASTM ผลการวิจัย พบว่า กระบวนการแยกเส้นใยใบอ้อยด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 0.4 ของน้ำหนักใบอ้อยสด และเวลาในการต้ม 90 นาที มีร้อยละของผลผลิตสูงสุดร้อยละ 0.50 ผลการศึกษาอัตราส่วนผสมของเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยฝ้าย พบว่า อัตราส่วนในการผสมเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยฝ้าย 10:90 มีความเหมาะสมในการปั่นมือมากที่สุด และผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้าย พบว่าความสม่ำเสมออยู่ในระดับ F ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด 142.71 นิวตัน การยืดตัวก่อนขาดร้อยละ 139.55 เบอร์ 4.44 เกลียว 9.60 เกลียวต่อนิ้ว และความหยิกงอร้อยละ 30.02

2.6.4 จตุพร ปานทอง [45] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในกระบวนการปรับสภาพและย่อยเส้นใยปาล์มด้วยเอนไซม์เพื่อการผลิตเอทานอล พบว่า ในการศึกษาวิธีการปรับสภาพเส้นใยปาล์มที่เหมาะสม โดยเปรียบเทียบระหว่างการใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สารละลายแอมโมเนียไฮดรอกไซด์และสารละลายสารลดแรงตึงผิว Triton X-100 ที่เข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรอุณหภูมิ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากผลการทดลอง พบว่าการปรับสภาพเส้นใยปาล์ม โดยใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถลดปริมาณลิกนินและเพิ่มปริมาณเซลลูโลสของเส้นใยปาล์มได้มากที่สุด

2.6.5 อรวิภา ไชยรัตนตรัย [46] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การศึกษาผลกระทบของทิศทางและจำนวนเกลียวเส้นด้ายลินิน แบบ S on Z และ Z on Z ที่มีต่อสมบัติผ้าทอลายขัด พบว่า ผ้าที่ทอด้วยเส้นด้ายตีเกลียวแบบ Z on Z มีสมบัติที่ดีกว่าผ้าที่ทอด้วยเส้นด้ายตีเกลียวแบบ S on Z ในเรื่องความสามารถในการคืนตัว ความอ่อนนุ่ม และการยืดตัวของผ้า ในส่วนเรื่องความแข็งแรงของผืนผ้า ความต้านต่อการฉีกขาด และความคงทนต่อการขัดถู ผ้าที่ทอด้วยเส้นด้ายตีเกลียวแบบ Z on Z มีสมบัติที่ต่ำกว่าผ้าที่ ทอด้วยเส้นด้ายตีเกลียวแบบ S on Z

2.6.6 อัชชา ศิริพันธ์ [47] ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาเส้นด้ายพิเศษจากเส้นใยกล้วยผสมฝ้าย พบว่าอัตราส่วนผสมของเส้นใยกล้วยผสมฝ้ายแบบสลับ มีการผสมเส้นใยกล้วย : เส้นใยฝ้ายที่ปั่นออกมาในรูปแบบเส้นสไลด์เวอร์ สำหรับการผสมเส้นใยกล้วย : เส้นใยฝ้ายในอัตราส่วนที่ 20:70 30:70 40:60 และ 50:50 สามารถปั่นออกมาเป็นเส้นสไลด์เวอร์ได้ ในด้านของทิศทางที่เหมาะสมในการวางสไลเวอร์ เพื่อเข้าสู่กระบอกบรรจุเส้นใยทำให้สไลด์เวอร์สามารถปั่นเป็นเส้นด้ายได้

2.6.7 สมพร วาสะศิริ [14] ได้ทำการศึกษาเรื่อง เส้นใยผักตบชวาผสมเส้นด้ายฝ้าย : เทคนิคการผลิตผ้าเชิงเศรษฐกิจสร้างสรรค์ พบว่า เทคนิคการผลิตผ้าเส้นใยผักตบชวา ผสมเส้นด้ายฝ้ายใน 5

อัตราส่วน คือ ผักตบชวา ร้อยละ 100 80 70 60 และ 50 ตามลำดับ ได้ผลิตภัณฑ์ผืนผ้าในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ผลการทดสอบด้านฟิสิกส์ และผลการทดสอบด้านเคมี สรุปได้ว่า ความอ่อนนุ่ม ค่าความอ่อนนุ่มของผ้าทอในอัตราส่วนผสมของเส้นด้ายฝ้าย อัตราส่วน 80:20 ดีกว่าผ้าทอในอัตราส่วนของเส้นด้ายแบบที่เหลือ เพราะมีค่าน้อยสุด ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเส้นด้ายกับความแข็งแรงต่อแรงดึง แนวเส้นด้ายยืนของอัตราส่วนผสมของเส้นด้ายแต่ละอัตราส่วนต่อแรงดึงดีกว่าในแนวด้ายพุ่ง ส่วนผลทดสอบทางด้านเคมีด้านความคงทนของผ้า เส้นใยผักตบชวาผสมเส้นด้ายฝ้ายแต่ละอัตราส่วนมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยเรื่อง การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อการผลิตเส้นด้าย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน และศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน มีขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย ดังต่อไปนี้

3.1 วัตถุดิบ

3.1.1 เส้นใยมะพร้าวอ่อน พันธุ์มะพร้าวน้ำหอมไทย อายุ 4 เดือน เป็นเส้นใยสั้น สีน้ำตาลเข้ม มีขนาด 123 ดีเนียร์ ความยาว 5-15 เซนติเมตร

3.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide) ความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 บริษัท Univar จำกัด

3.1.3 เอนไซม์เซลลูเลส 500,000 U/g บริษัท ซีทีไอ แอนด์ ซายน์ จำกัด บ้านเลขที่ 141 ซอยอินทามระ 23 ถนนสุทธิสาร แขวงสามเสนใน เขตพญาไท กรุงเทพมหานคร

3.1.4 เส้นใยฝ้าย บริษัท ก้องเกียรติเท็กไทล์ จำกัด

3.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ

วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย แบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.1 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

3.2.1.1 เครื่องชั่งละเอียดไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PAJ4102C

3.2.1.2 เครื่องชั่งละเอียดไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Ohaus รุ่น PAJ1003C

3.2.1.3 เครื่องวัด pH (pH Meter) ยี่ห้อ Eutechinstruments

3.2.1.4 เครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ (Incubator Shaker) ยี่ห้อ Wise Cube รุ่น WIS-30R

3.2.1.5 ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Sibata รุ่น SAO-450

3.2.1.6 อ่างควบคุมอุณหภูมิ (Water Bath) ยี่ห้อ Memmert รุ่น WNB-509

3.2.2 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาอัตราส่วนผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายที่เหมาะสมสำหรับการปั่นเป็นเส้นด้าย

3.2.2.1 เครื่องปั่นด้ายฝ้ายแบบภูมิปัญญาท้องถิ่นชาวบ้านลาด ตำบลโคกขมิ้น อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

3.2.2.2 หลอดด้าย สำหรับกรอด้าย

3.2.2.3 เทียนไข

3.2.2.4 หลาปั่นฝ้าย

3.2.2.5 กะเพดและคันดีดด้าย

3.2.2.6 แป้นล้อฝ้ายและไม้ล้อฝ้าย

3.2.2.7 เครื่องเปียฝ้าย

3.2.2.8 เครื่องกวักฝ้าย

3.2.2.9 แป้งมันสำปะหลัง ยี่ห้อ ช้างสามเศียร

3.2.3 วัสดุ อุปกรณ์ และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย มีดังนี้

3.2.3.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510

3.2.3.2 กล้องจุลทรรศน์ผ่านโปรแกรม (AVT) เพื่อทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใย

3.2.3.3 เครื่องทดสอบเบอร์เส้นด้าย เครื่องชั่งละเอียดไฟฟ้า ความละเอียด 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toleo รุ่น PG 603-S

3.2.3.4 เครื่องทดสอบจำนวนเกลียวเส้นด้าย ยี่ห้อ Twist Tester

3.2.3.5 เครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้าย (Test Strength Tester) รุ่น KR5K LLOYD

3.2.3.6 เครื่องทดสอบการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย (Test Strength Tester) รุ่น KR5K LLOYD

3.3 ขั้นตอนการดำเนินการทดลอง

แผนการทดลอง การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อการผลิตเส้นด้าย การดำเนินการทดลองครั้งนี้ แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอนคือ

3.3.1 การเตรียมเส้นใยมะพร้าวอ่อนโดยการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ดัดแปลงมาจาก [28], [45], [48] ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.1.1 นำเส้นใยมะพร้าวอ่อน อบในตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จนเหลือค่าความชื้นของเส้นใยน้อยกว่าร้อยละ 10

3.3.1.2 ชั่งเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเครื่องชั่งละเอียดไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง ปริมาณ 20 กรัม บรรจุในขวดฝาเกลียวขนาด 250 มิลลิลิตร

3.3.1.3 เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) ปริมาณ 200 มิลลิลิตร

3.3.1.4 นำขวดบรรจุไปต้มในอ่างควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

3.3.1.5 นำเส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการต้มมากรอง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนน้ำกลั่นที่ล้างมีสภาพเป็นกลาง (pH 7)

3.3.1.6 นำตัวอย่างเส้นใยมะพร้าวอ่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาวิเคราะห์คุณภาพ ดังนี้

1) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนโดยวิธีดีเทอร์เจนท์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน โดยวิธี Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, and Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition [49]

2) การศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนตามมาตรฐานการทดสอบ ดังนี้

(1) ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อน

ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510

(2) การทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์ผ่านโปรแกรม (AVT)

(3) การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใย (Tensile Strength) และความยืดหยุ่นของเส้นใย (Elongation) ตามมาตรฐาน ASTM D 2256-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Sing-Strand Method

(4) ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีคำนวณออกมาในรูปแบบผลผลิตร้อยละ (Percent Yield) โดยการคำนวณจากสมการ ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\text{ผลผลิตร้อยละ} = \frac{\text{ผลิผลิตจริง}}{\text{ผลผลิตตามทฤษฎี}} \times 100 \qquad (3.1)$$

ที่มา : [28]

(5) ค่าปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC 1990

3.3.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส โดยปัจจัยที่ทำการศึกษามี 2 ปัจจัย คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส โดยการแปรเป็น 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30 FPU/g และเวลาในการย่อย [45] โดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ 2 4 และ 6 ชั่วโมง โดยการจัดสิ่งทดลองแบบแฟคทอเรียลโดยใช้การสุ่มสมบูรณ์ (Factorial in CRD) ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 9 สิ่งทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ทำการทดลองจำนวน 3 ซ้ำ

ตารางที่ 3.1 สิ่งทดลองในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

สิ่งทดลองที่	ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลส (FPU/g)	เวลาในการย่อย (ชั่วโมง)
1	10	2
2	20	2
3	30	2
4	10	4
5	20	4
6	30	4
7	10	6
8	20	6
9	30	6

หมายเหตุ : FPU/g (FPU; Filter Paper Unit) คือ ความสามารถในการย่อยหรือกิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส

แล้วทำการปรับปรุงคุณภาพตามกระบวนการดังต่อไปนี้

3.3.2.1 ชั่งเส้นใยมะพร้าวอ่อน จาก 3.3.1 ด้วยเครื่องชั่งละเอียดไฟฟ้า 2 ตำแหน่ง ปริมาณ 0.6 กรัม บรรจุในขวดขนาด 100 มิลลิลิตร เติมสารละลายซิเตรตบัฟเฟอร์ pH 5 ปริมาตร 30 มิลลิลิตร

3.3.2.2 เติมเอนไซม์เซลลูเลส โดยแปรความเข้มข้น 10 20 และ30 FPU/g ตามลำดับ

3.3.2.3 นำขวดบรรจุลงในเครื่องเขย่าแบบควบคุมอุณหภูมิ ที่อุณหภูมิ 50 องศา-เซลเซียส อัตราการเขย่า 150 รอบต่อนาที เก็บตัวอย่างที่เวลา 2 4 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ

3.3.2.4 นำเส้นใยมะพร้าวอ่อนกรองด้วยตะแกรง แล้วล้างด้วยน้ำกลั่นจนมีสภาพเป็นกลาง (pH 7)

3.3.2.5 นำเส้นใยมะพร้าวอ่อนอบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2.6 นำเส้นใยที่ได้ มาศึกษาองค์ประกอบทางเคมี และสมบัติทางกายภาพ

1) การศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนโดยวิธีดีเทอร์เจนท์ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน

2) การศึกษาลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนตามมาตรฐานการทดสอบ ดังนี้

(1) ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อน

ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510

(2) การทดสอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเส้นใย ด้วยกล้องจุลทรรศน์ผ่านโปรแกรม (AVT)

(3) การทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใย (Tensile Strength) และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใย (Elongation) ตามมาตรฐาน ASTM D 2256-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Sing-Strand Method

(4) ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีคำนวณออกมาในรูปแบบผลผลิตร้อยละ (Percent Yield)

(5) ค่าปริมาณความชื้น โดยวิธี AOAC 1990

3.3.3 การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

การศึกษาอัตราส่วนเหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย โดยการนำเส้นใยที่ได้จากข้อ 3.3.2 เข้าสู่กระบวนการปั่นด้วยมือ โดยใช้เครื่องปั่นเส้นด้ายฝ้ายแบบภูมิปัญญาท้องถิ่นชาวบ้าน ปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย โดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ 20:80 30:70 และ 40:60 ตามลำดับ โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) ได้สิ่งทดลองทั้งหมด 3 สิ่งทดลอง แล้วทำการผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายตามกระบวนการทดลอง ดังแสดงในรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตเส้นด้ายผสมระหว่างเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยฝ้าย
ที่มา : [30]

นำเส้นด้ายที่ได้ทั้ง 3 ชนิด มาวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพดังนี้

3.3.3.1 การศึกษาลักษณะของเส้นด้าย ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-6510

3.3.3.2 การทดสอบความสม่ำเสมอของเส้นด้าย ตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 2255-02 Standard Test Method for Grading Spun Yarns for Appearance

3.3.3.3 การทดสอบหาเบอร์เส้นด้าย ด้วยเครื่องชั่งละเอียดไฟฟ้า 4 ตำแหน่ง ตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 1059-2001 Standard Test Method for Yarn Number Based Short-Length Specimens

3.3.3.4 การทดสอบจำนวนเกลียวเส้นด้ายและทิศทางการเข้าเกลียว ด้วยเครื่อง Twist Tester เพื่อหาเกลียวเส้นด้ายของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 1423-02 Standard Test Method for Twist in Direct-Counting

3.3.3.5 การทดสอบความแข็งแรงของเส้นด้ายต่อแรงดึงขาด ความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้าย และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย ตามมาตรฐานในการทดสอบ ASTM D 2256-2002 Standard Test Method for Tentile Properties of Yarn by the Single-Strand Method

เลือกเส้นด้ายที่มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดที่มากที่สุด และความสม่ำเสมอของเส้นด้ายเป็นสมบัติหลักในการพิจารณาเป็นเส้นด้ายปั่นมือ

3.4 ระยะเวลาในการทดลอง

ระยะเวลาเริ่มตั้งแต่ เดือนธันวาคม พ.ศ. 2561 ถึงเดือนเมษายน พ.ศ. 2563

3.5 สถานที่ใช้ในการวิจัย

3.5.1 ห้องปฏิบัติการทดสอบเบอร์เส้นด้าย จำนวนเกลียวเส้นด้าย สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.5.2 สถานที่ทดสอบเส้นด้ายบริษัท ธารา บิสสิเนส จำกัด หมู่บ้านพฤกษา 12 ตำบลคลองสาม อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี

3.5.3 ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ คณะสัตวศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3.5.4 ห้องปฏิบัติการชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-ราชมงคลธัญบุรี

3.5.5 ห้องปฏิบัติการทดสอบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัย-เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

3.5.6 ศูนย์การเรียนรู้ชุมชน การปั่นเส้นด้ายแบบภูมิปัญญาท้องถิ่นชาวบ้านลาด ตำบลโคกขมิ้น อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิจารณ์

การวิจัยเรื่อง การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อการผลิตเส้นด้าย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน และศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน มีผลการทดลองและการวิจารณ์ผล ดังนี้

4.1 องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.1.1 ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพและเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ด้วยวิธีดีเทอร์เจนท์ เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชนิดของเส้นใย	เซลลูโลส (ร้อยละ)	เฮมิเซลลูโลส (ร้อยละ)	ลิกนิน (ร้อยละ)
เส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ	49.59	9.80	31.83
เส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ	54.98	4.57	31.60

จากตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อน พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าร้อยละของเซลลูโลสมากกว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 54.98 และ 49.59 ตามลำดับ

ปริมาณของเฮมิเซลลูโลส พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าร้อยละของเฮมิเซลลูโลสน้อยกว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 4.57 และ 9.80 ตามลำดับ

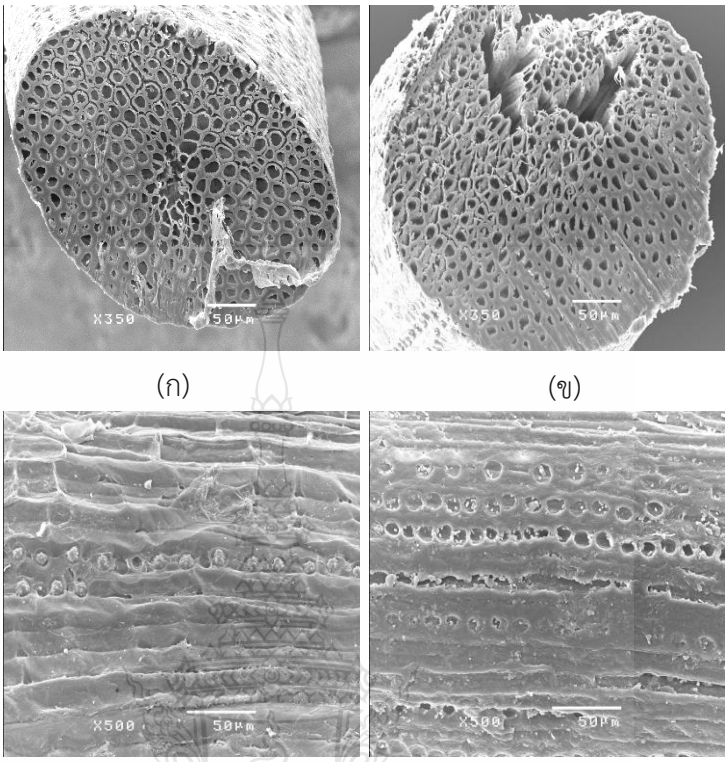
ปริมาณของลิกนิน พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าร้อยละของลิกนินน้อยกว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 31.60 และ 31.83 ตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลขององค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีค่าร้อยละของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ค่าร้อยละของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง เนื่องจากด่างทำหน้าที่ย่อยเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งเฮมิเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์ที่ปะปนอยู่กับเซลลูโลสมีความว่องไวต่อการทำปฏิกิริยาทางเคมีได้เร็วกว่าเซลลูโลส โดยเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็คคาร์ไรด์เชื่อมต่อกันด้วยพันธะไฮโดรเจน และยึดติดกันด้วยแรงกระจายตัว ทำให้เซลลูโลสยึดติดกันแน่น ส่งผลให้เซลลูโลสทำปฏิกิริยากับสารต่างๆ ได้ช้า เนื่องจากสารไม่สามารถผ่านเข้าไปในเซลลูโลสได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลต่อสมบัติทางกายที่เปลี่ยนไป สอดคล้องกับงานวิจัยของ ปิยาภรณ์ และคณะ [22] กล่าวไว้ว่า ค่าองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืช โดยเอาค่าก่อนปรับสภาพมาเปรียบเทียบกับค่าหลังปรับสภาพโดยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าค่าเฉลี่ยร้อยละของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยร้อยละของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง

4.1.2 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

4.1.2.1 ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพและเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope ; SEM) ภาคตัดขวางใช้กำลังขยาย 350 เท่า และภาพตามยาวใช้กำลังขยาย 500 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.1



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 4.1 ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ก) ภาคตัดขวางเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ข) ภาคตัดขวางเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ (ค) ภาพตามยาวเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ง) และภาพตามยาวเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ

จากรูปที่ 4.1 ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียม-ไฮดรอกไซด์ พบว่ารูป (ข) ภาคตัดขวางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ มีการแยกตัวของกลุ่มเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้น เพราะไมโครไฟบริลของเซลลูโลสที่เชื่อมต่อกันตามยาว เรียงขนานกันเป็นมัดเส้นใยประมาณ 40 คู่ เกิดการแยกตัวออกจากกันมากกว่ารูป (ก) ภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ และรูป (ง) ภาพตามยาวเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ พบว่า มีรูพรุนเกิดขึ้นที่พื้นผิวของเส้นใยมากกว่ารูป (ค) ภาพตามยาวของเส้นใยมะพร้าวอ่อน ดังนั้นเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนทั้งภาคตัดขวางและภาพตามยาว สอดคล้องกับ พรศิริ [28] กล่าวว่า เมื่อใช้ด่างปรับสภาพเส้นใยพืช ทำให้ลักษณะของพื้นผิวตามยาวของเส้นใยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสในการทำปฏิกิริยา เส้นใยมีความพรุนมากขึ้น ลดความเป็นผลึกของเซลลูโลส และลดระดับความเป็นพอลิเมอร์ขนาดใหญ่

4.1.2.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพและเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ผ่านโปรแกรม (AVT) เพื่อบันทึกภาพขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย ที่ขนาดสูงสุด 200 ไมโครเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชนิดของเส้นใย	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ไมโครเมตร)
เส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ	298.20
เส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ	243.05

จากตารางที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงจากเส้นใยมะพร้าวก่อนการปรับสภาพ กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 243.05 และ 298.20 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังนั้นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีขนาดเล็กลง ส่งผลต่อสมบัติด้านความละเอียดของเส้นใย โดยความละเอียดของเส้นใยจะมีผลต่อคุณภาพของเส้นด้ายและผืนผ้า กล่าวคือ เส้นใยที่มีความละเอียดสูงจะทำให้เส้นด้ายมีขนาดเล็ก มีความแข็งแรงและความสม่ำเสมอดี สอดคล้องกับงานวิจัยของ สาคร [8] กล่าวว่า เส้นใยมะพร้าวอ่อนมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100-450 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นเส้นใยขนาดใหญ่ ควรมีการพัฒนาขนาดเส้นใยให้มีขนาดเล็กลงก่อนนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย เพื่อทำให้ได้เส้นด้ายที่มีคุณภาพดี เมื่อผลิตเป็นผืนผ้าทำให้ผืนผ้าที่ได้น่าสวมใส่มากขึ้น

4.1.2.3 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใย และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใย และความยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยของเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพและเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้ายและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย ตามมาตรฐาน ASTM D 2256-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Sing-Strand Method ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชนิดของเส้นใย	ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด (นิวตัน)	ความยืดตัวก่อนขาด (ร้อยละ)
เส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ	370.76	48.44
เส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ	430.07	49.80

จากตารางที่ 4.3 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 430.07 และ 370.76 นิวตัน ตามลำดับ

ค่าการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยเพิ่มขึ้นจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ กล่าวคือ ค่าเฉลี่ย 49.80 และ 48.44 ตามลำดับ

ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เส้นใยมะพร้าวอ่อนเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมี ทำให้อัตราส่วนของเซลลูโลสเพิ่มขึ้น ซึ่งไมโครไฟบริลของเซลลูโลส มีการเรียงตัวขนานกันเป็นมัดประกอบกันอย่างเป็นระบบเรียกว่า บริเวณที่เป็นผลึก (Crytalline Region) ซึ่งบริเวณนี้จะมีความแข็งแรงและทนต่อการถูกย่อยสลาย ส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับสาคร [8] กล่าวว่า เส้นใยมะพร้าวมีค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใย คือ 12.5-83.7 ซึ่งอยู่ในระดับการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการทดลอง

4.1.2.4 ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพและเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยวิธี AOAC 1990 ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ชนิดของเส้นใย	ผลผลิต (ร้อยละ)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)
เส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ	-	6.73
เส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพ	86.49	7.73

จากตารางที่ 4.4 ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าร้อยละของเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี คือ ค่าเฉลี่ย 86.49

ปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีค่าร้อยละปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ กล่าวคือ ค่าเฉลี่ย 7.73 และ 6.73 ตามลำดับ

ผลของร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยเซลลูโลสอื่นๆ สำหรับผลผลิตที่หายไปคือ ปริมาณเฮมิเซลลูโลส ลิกนิน เพคติน เถ้า และสิ่งสกปรกที่เกาะกับเส้นใย สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุภา [50] กล่าวว่า เส้นใยมะพร้าวที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 15 ต่อน้ำหนักเส้นใยมีค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี คือ ร้อยละ 40.00 และค่าปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เนื่องจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ได้ย่อยสลายเฮมิเซลลูโลสและลิกนินออก โดยลิกนินเป็นอนุพันธ์ของสารอินทรีย์พอลิเมอร์ของฟีนอลโพรเพน เป็นสารอโรมาติกทำหน้าที่เป็นกาวที่มีสมบัติไม่ชอบน้ำ เมื่อลิกนินลดลง ทำให้พื้นที่การเรียงตัวของเซลลูโลสแบบไม่เป็นระเบียบ (Amorphous Region) ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ชอบน้ำมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้เส้นใยมะพร้าวอ่อนมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับ มณฑา [51] กล่าวว่า เส้นใยที่ดูดความชื้นได้ง่ายและมาก (Hydrophilic Fibers) คือ กลุ่มเส้นใยธรรมชาติพวกเซลลูโลส ซึ่งจากการทดลองเส้นใยมะพร้าวอ่อนหลังการปรับสภาพมีค่าปริมาณความชื้นใกล้เคียงกับเส้นใยฝ้าย ซึ่งเส้นใยฝ้ายมีค่าร้อยละปริมาณความชื้น คือ 8.5

4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

4.2.1 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ทดสอบด้วยวิธีดีเทอร์เจนท์เพื่อวิเคราะห์ปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ดังแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการย่อย	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี		
	เซลลูโลส (ร้อยละ)	เฮมิเซลลูโลส [ns] (ร้อยละ)	ลิกนิน (ร้อยละ)
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง (ควบคุม)	55.50	2.90	32.93
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง (ควบคุม)	53.83	4.53	33.63
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง (ควบคุม)	54.37	5.10	33.03
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	56.24^{ab}	5.10	31.11^{b}
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	55.42^{ab}	4.15	32.37^{ab}
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง	55.60^{ab}	4.37	31.97^{b}
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	55.43^{ab}	4.65	32.38^{ab}
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	56.51^{a}	3.18	31.97^{b}
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง	54.83^{ab}	4.79	32.65^{ab}
เอนไซม์ 30 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	52.87^{c}	3.69	34.15^{a}
เอนไซม์ 30 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	55.49^{ab}	4.62	31.94^{b}
เอนไซม์ 30 FPU/g, เวลา 6 ชั่วโมง	54.40^{cb}	3.91	32.32^{ab}

หมายเหตุ : [abc] ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันในแนวดิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.5 องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณของเซลลูโลสของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าค่าร้อยละของเซลลูโลสที่สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด คือ 56.51 รองลงมาคือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 10 FPU/g เวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 10 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 56.24 และ 55.60 ตามลำดับ

ปริมาณของเฮมิเซลลูโลสของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าค่าร้อยละของเฮมิเซลลูโลสที่สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 3.18 รองลงมาคือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 3.69 และ 3.91 ตามลำดับ

ปริมาณของลิกนินของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าค่าร้อยละของลิกนินที่สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 10 FPU/g เวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 31.11 รองลงมาคือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 31.94 และ 31.97 ตามลำดับ

ผลการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าเอนไซม์เซลลูเลสทำหน้าที่ย่อยเซลลูโลส ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของเส้นใยมะพร้าวอ่อน โดยเอนไซม์เซลลูเลสจะเข้าไปตัดสายโซ่เซลลูโลสเร่งการไฮโดรไลซ์เซลลูโลสที่ตำแหน่งออกซิเจนที่เชื่อมระหว่างวงแหวนกลูโคส ทำให้สายโซ่เปิดออกเป็นปลายโซ่ แล้วเร่งไฮโดรไลซ์ให้เกิดเป็นเซลโลไบโอสส่วนใหญ่และเป็นโมเลกุลเล็กๆ และเร่งโฮไดรไลซ์เซลโลไบโอสให้เป็นกลูโคส กระบวนการดังกล่าวส่งผลให้กลุ่มเส้นใยเกิดการแยกตัวออกเป็นกลุ่มเส้นใยที่มีขนาดเล็กลง ทำให้เส้นใยมะพร้าวมีขนาดเล็กลง การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนควรเลือกสภาวะที่มีปริมาณเซลลูโลสมากที่สุด เฮมิเซลลูโลสและลิกนินน้อยที่สุด เพราะเฮมิเซลลูโลสและลิกนินทำให้เส้นใยมะพร้าวอ่อนมีลักษณะหยาบและกระด้าง เมื่อนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายจะทำให้ได้เส้นด้ายที่มีคุณภาพไม่ดี เกิดปุ่มปม และเส้นด้ายมีความไม่สม่ำเสมอ ดังนั้น สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง จึงเป็นสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อน เนื่องจากมีปริมาณเซลลูโลสสูงที่สุด ปริมาณเฮมิเซลลูโลสน้อยที่สุด ปริมาณลิกนินน้อยกว่าสภาวะควบคุม อีกทั้งเป็นการประหยัดเอนไซม์และเวลาในการย่อย เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสมีราคาสูง สอดคล้องกับ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน [48] กล่าวว่า ความเข้มข้นเอนไซม์มีผลต่อการย่อยสลายเซลลูโลสในชีวมวลเพื่อเปลี่ยนเป็นน้ำตาลรีดิวซ์ สำหรับการย่อยสลายเซลลูโลสในฟางข้าว เลือกใช้เอนไซม์เซลลูเลสความเข้มข้น 15 FPU/g

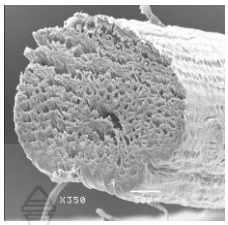
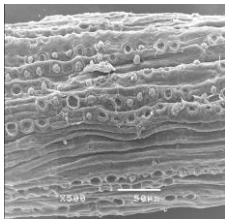
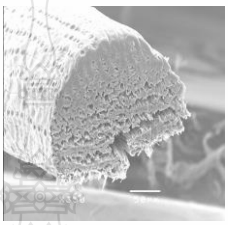
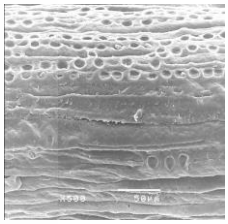
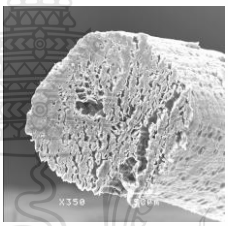
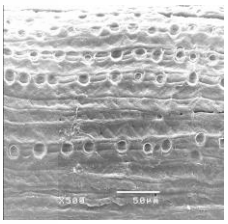
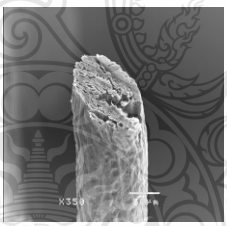
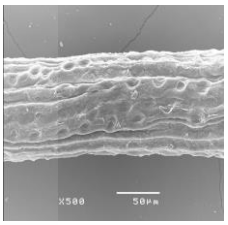
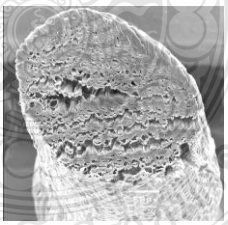
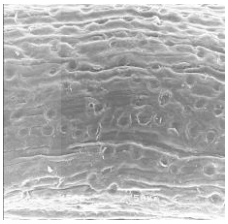
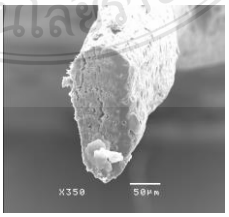
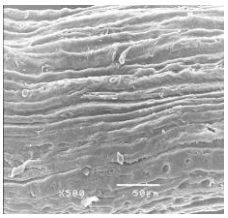
โดยปริมาณของเซลลูโลสและลิกนินมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และค่าปริมาณเฮมิเซลลูโลสไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.2 ลักษณะและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

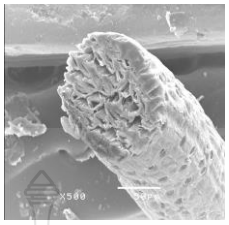
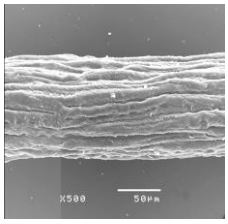
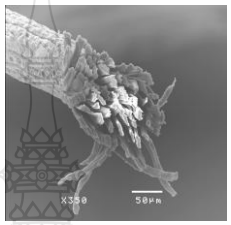
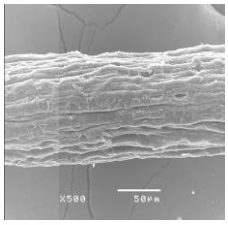
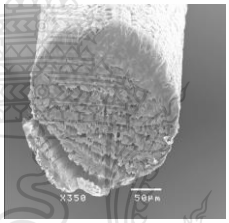
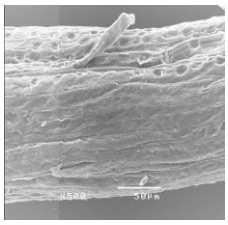
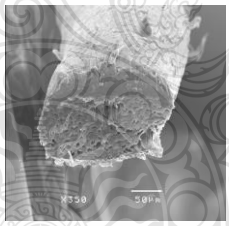
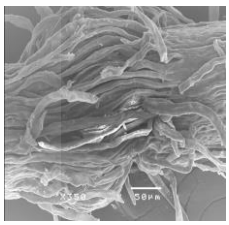
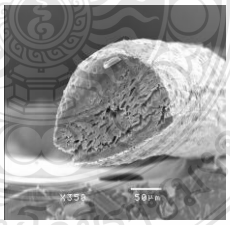
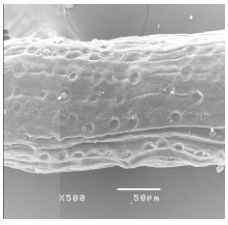
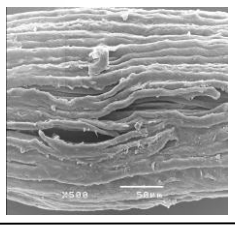
4.2.2.1 ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ภาคตัดขวางใช้กำลังขยาย 350 เท่า และภาพตามยาว ใช้กำลังขยาย 500 เท่า ดังแสดงในตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ลักษณะเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการย่อย	ภาคตัดขวาง	ภาพตามยาว
เอนไซม์ 0 FPU เวลา 2 ชั่วโมง (ควบคุม)		
เอนไซม์ 0 FPU เวลา 4 ชั่วโมง (ควบคุม)		
เอนไซม์ 0 FPU เวลา 6 ชั่วโมง (ควบคุม)		
เอนไซม์ 10 FPU เวลา 2 ชั่วโมง		
เอนไซม์ 10 FPU เวลา 4 ชั่วโมง		
เอนไซม์ 10 FPU เวลา 6 ชั่วโมง		

ตารางที่ 4.6 ลักษณะเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (ต่อ)

สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการย่อย	ภาคตัดขวาง	ภาพตามยาว
เอนไซม์ 20 FPU เวลา 2 ชั่วโมง		
เอนไซม์ 20 FPU เวลา 4 ชั่วโมง		
เอนไซม์ 20 FPU เวลา 6 ชั่วโมง		
เอนไซม์ 30 FPU เวลา 2 ชั่วโมง		
เอนไซม์ 30 FPU เวลา 4 ชั่วโมง		
เอนไซม์ 30 FPU เวลา 6 ชั่วโมง		

จากตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง ลักษณะภาคตัดขวางเห็นกลุ่มเส้นใยแยกออกจากกันชัดเจนที่สุด ภาพตามยาวเกิดการแยกตัวของเส้นใยมีร่องลึกตามแนวยาวเห็นเป็นกลุ่มเส้นใยอย่างชัดเจน และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง ลักษณะภาพตามยาวของเส้นใยมีการแยกตัวของเส้นใยในแนวยาวมากที่สุด เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสทำหน้าที่ย่อยโมเลกุลของเซลลูโลสให้กลายเป็นน้ำตาลกลูโคส โดยจะทำปฏิกิริยาได้ดีกับบริเวณไม่เป็นระเบียบ (Amorphous Region) ซึ่งเป็นบริเวณที่ชอบน้ำ โดยเอนไซม์เซลลูเลสทำปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่าบริเวณที่เป็นระเบียบ (Crytalline Region) ทำให้ภาพตามยาวมีร่องลึกและมีการแยกตัวของกลุ่มเส้นใยเป็นระยะๆ ในเส้นใยมะพร้าวอ่อน ส่งผลให้เส้นใยมีขนาดเล็กลง มีความหยิกงอเพิ่มมากขึ้น เส้นใยสามารถเข้าเกลียวได้ดี เส้นด้ายที่มีความสม่ำเสมอสูง เมื่อนำมาทอเป็นผืนผ้า ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสทำให้ลักษณะภาคตัดขวางและภาพตามยาวของเส้นใยมะพร้าวอ่อนเปลี่ยนแปลงไปส่งผลด้านบวกให้กับสมบัติทางกายภาพ คือ เส้นใยมีการหยิกงอดีขึ้น เส้นใยมีขนาดเล็กลง มีความอ่อนนุ่มมากขึ้น มีลักษณะเฉพาะตัวที่เป็นเอกลักษณ์ เหมาะสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นเส้นใยทางด้านสิ่งทอ สอดคล้องกับ สาคร [8] กล่าวว่า ภายหลังการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช อาจมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะหรือสมบัติทางกายภาพของเส้นใย โดยเฉพาะทำให้ชั้นแมทริกซ์ของวัสดุลิกโนเซลลูโลสถูกทำลาย เซลลูโลสหรือกลุ่มเส้นใยที่มัดรวมกันอยู่เป็นก้อนถูกสลายจนกลายเป็นเส้นใยละเอียดหรือเส้นใยเดี่ยว ซึ่งเป็นจุดประสงค์ของการปรับปรุงคุณภาพของเส้นใย โดยเส้นใยพืชแต่ละชนิดที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว จะสามารถแสดงลักษณะ สมบัติทางเคมี และสมบัติทางกายภาพเฉพาะตัวได้ และคล้องกับ มณฑา [51] กล่าวว่า เส้นใยที่จะนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายได้นั้น เส้นใยต้องมีการยึดเกาะกันได้ดี เพราะผิวนอกของเส้นใยไม่เรียบ อาจมีร่อง มีเกล็ด หรือเส้นใยมีเส้นไม่กลม บิดตัวเป็นเกลียว เส้นใยจะเข้าเกลียวกันไม่คลายตัวออก ทำให้ได้เส้นด้ายที่มีคุณภาพ

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย พบว่าผลการศึกษาลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีความสอดคล้องกันสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ ปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะของเส้นใยที่แตกต่างกัน

4.2.2.2 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ผ่านโปรแกรม (AVT) เพื่อบันทึกภาพขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ และเวลาในการย่อย	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (ไมโครเมตร)
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง (ควบคุม)	117.54
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง (ควบคุม)	244.77
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง (ควบคุม)	208.58
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	155.71[d]
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	225.23[a]
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง	183.87[b]
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	159.16[c]
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	110.32[g]
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง	75.86[i]
เอนไซม์ 30 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	153.41[e]
เอนไซม์ 30 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	112.04[f]
เอนไซม์ 30 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง	86.77[h]

หมายเหตุ : [abc] ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.7 ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่า สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กที่สุด คือ 75.86 ไมโครเมตร รองลงมาคือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง กล่าวคือ 86.77 และ 110.32 ไมโครเมตร ตามลำดับ ดังนั้น ความเข้มข้นของเอนไซม์เซลลูเลสและเวลาในการย่อยที่แตกต่างกัน ส่งผลต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อน โดยเอนไซม์เซลลูเลสจะเข้าไปตัดสายโซ่เซลลูโลสทำให้กลุ่มเส้นใยเกิดการแยกตัวออกจากกันกลายเป็นกลุ่มเส้นใยขนาดเล็กลง จึงทำให้เส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนมีขนาดเล็กลงด้วย ซึ่งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยส่งผลโดยตรงกับสมบัติด้านความละเอียด กล่าวคือ เส้นใยที่มีความละเอียดสูงเมื่อนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายจะทำให้เส้นด้ายมีขนาดเล็ก มีความสม่ำเสมอดี สอดคล้องกับ มณฑา [51] กล่าวว่า การวัดเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้างของเส้นใยซึ่งเป็นเส้นใยธรรมชาติ ทำได้ค่อนข้างยากอาจมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูล เพราะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางหรือความกว้างของเส้นใยมักไม่ค่อยคงที่ตลอดเส้น แต่สามารถควบคุมการทดสอบด้วยการเลือกสุ่มตัวอย่างที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยหากมีขนาดใหญ่มากเมื่อนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย จะทำได้ค่อนข้างยาก และลักษณะของเส้นด้ายจะมีขนาดใหญ่ มีความไม่สม่ำเสมอ

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลสมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย พบว่าผลการศึกษาขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ ปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.2.3 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ตามมาตรฐาน ASTM D 2256-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Sing-Strand Method ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการย่อย	ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด (นิวตัน)	การยืดตัวก่อนขาด (ร้อยละ)
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง (ควบคุม)	406.67	57.16
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง (ควบคุม)	458.05	53.12
เอนไซม์ 0 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง (ควบคุม)	455.00	53.92
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	378.09^{a}	47.64^{c}
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	241.53^{b}	49.96^{b}
เอนไซม์ 10 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง	129.02^{e}	50.08^{b}
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	147.84^{c}	46.40^{cd}
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	131.27^{d}	44.70^{d}
เอนไซม์ 20 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง	109.74^{g}	42.40^{e}
เอนไซม์ 30 FPU/g เวลา 2 ชั่วโมง	91.86^{h}	57.24^{a}
เอนไซม์ 30 FPU/g เวลา 4 ชั่วโมง	115.79^{f}	56.11^{a}
เอนไซม์ 30 FPU/g เวลา 6 ชั่วโมง	82.07^{i}	56.42^{a}

หมายเหตุ : ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.8 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดน้อยที่สุด คือ 82.07 นิวตัน รองลงมาคือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 91.86 และ 109.74 นิวตัน ตามลำดับ

การยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง ค่าเฉลี่ยร้อยละการยืดตัว

ก่อนขาดมากที่สุด คือ 57.24 รองลงมา คือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 30 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง คือ กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 56.42 และ 56.11 ตามลำดับ

ผลการศึกษาความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ควรเลือกสภาวะที่ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดน้อยที่สุดและการยืดตัวก่อนขาดควรเลือกสภาวะที่ทำให้เส้นใยมีค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดมากที่สุด เพราะสมบัติดังกล่าวส่งผลต่อการเข้าเกลียวของเส้นใยเมื่อนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย ทำให้สามารถเข้าเกลียวได้ดี เส้นด้ายมีความสม่ำเสมอตลอดทั้งเส้น ซึ่งความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยมีแนวโน้มลดลง เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการย่อยที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ความยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อความเข้มข้นของเอนไซม์ที่สูงขึ้น เนื่องมาจากเอนไซม์เซลลูเลสทำการย่อยโมเลกุลของเซลลูโลสที่บริเวณไม่เป็นระเบียบ ทำให้เส้นใยเกิดการพองตัวเป็นระยะๆ ตามโครงสร้างโมเลกุล ส่งผลให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะควบคุมซึ่งเส้นใยมะพร้าวอ่อน มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดสูงกว่าสภาวะที่มีเอนไซม์เซลลูเลส ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ทำให้ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยและความยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยเปลี่ยนไป

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย พบว่าผลการศึกษาความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ ปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.2.2.4 ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยและปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ทดสอบโดยวิธี AOAC 1990 ดังแสดงในตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีและปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์และเวลาในการย่อย	ผลผลิต (ร้อยละ)	ค่าปริมาณความชื้น [ns] (ร้อยละ)
เอนไซม์ 0 FPU เวลา 2 ชั่วโมง (ควบคุม)	94.02	8.55
เอนไซม์ 0 FPU เวลา 4 ชั่วโมง (ควบคุม)	92.91	8.78
เอนไซม์ 0 FPU เวลา 6 ชั่วโมง (ควบคุม)	95.49	9.13
เอนไซม์ 10 FPU เวลา 2 ชั่วโมง	92.56 [a]	8.65
เอนไซม์ 10 FPU เวลา 4 ชั่วโมง	89.97 [b]	8.47
เอนไซม์ 10 FPU เวลา 6 ชั่วโมง	93.34 [a]	8.90
เอนไซม์ 20 FPU เวลา 2 ชั่วโมง	92.73 [a]	7.84
เอนไซม์ 20 FPU เวลา 4 ชั่วโมง	91.74 [a]	8.13
เอนไซม์ 20 FPU เวลา 6 ชั่วโมง	92.93 [a]	8.12
เอนไซม์ 30 FPU เวลา 2 ชั่วโมง	92.54 [a]	8.18
เอนไซม์ 30 FPU เวลา 4 ชั่วโมง	92.67 [a]	8.30
เอนไซม์ 30 FPU เวลา 6 ชั่วโมง	92.57 [a]	7.67

หมายเหตุ : [abc] ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันในแนวดิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.9 ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 10 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง ที่มีค่าเฉลี่ยร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีมากที่สุด คือ 93.34 รองลงมาคือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 92.93 และ 92.73 ตามลำดับ

ปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส พบว่าสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 10 FPU/g เวลาในการย่อย 6 ชั่วโมง มีค่าปริมาณร้อยละของความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนมากที่สุด คือ 8.90 รองลงมาคือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 10 FPU/g เวลาในการย่อย 2 ชั่วโมง และสภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 10 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 8.65 และ 8.47 ตามลำดับ

ผลการศึกษาร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส เนื่องจากการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเป็นกระบวนการทางชีวภาพซึ่งทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาให้เกิดขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ ไม่รวดเร็วเท่ากับการใช้สารเคมี และเอนไซม์เซลลูเลสจะทำปฏิกิริยากับเซลลูโลสเท่านั้น จึงทำให้ค่าร้อยละของผลผลิตของเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีอยู่ในระดับสูงมาก มีการสูญเสียผลผลิตจากปฏิกิริยาเคมี

ไม่ถึงร้อยละ 15 และค่าปริมาณความชื้นจะมีผลกระทบอย่างมากต่อสมบัติความแข็งแรงของเส้นใย กล่าวคือ เส้นใยที่สามารถดูดความชื้นได้ดีจำพวกเส้นใยลิกโนเซลลูโลสธรรมชาติ เมื่อความชื้นเพิ่มขึ้น จะทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้น เพราะปริมาณของพันธะไฮโดรเจนในเส้นใยเพิ่มมากขึ้น เมื่อเส้นใยเปียก จึงส่งผลให้เส้นใยเซลลูโลสมีความแข็งแรงสูงขึ้น ในทางตรงกันข้ามเส้นใยที่มีความสามารถในการดูดความชื้นได้น้อยได้แก่ เส้นใยสังเคราะห์ เมื่อเส้นใยเปียกน้ำความแข็งแรงจะลดลง สอดคล้องกับ มณฑา [51] กล่าวว่า เส้นใยฝ้ายมีค่าปริมาณความชื้น ร้อยละ 8.5 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการทดลอง เนื่องจากเส้นใยฝ้ายและเส้นใยมะพร้าวอ่อนเป็นเส้นใยจากพืชเหมือนกัน จึงสามารถดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดี และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เบญจมาส [9] กล่าวว่า การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส สามารถขจัดเพกทินบนผ้าฝ้ายออกได้ ทำให้ผ้ามีสมบัติด้านการดูดน้ำและความชื้นได้ดีใกล้เคียงกับการใช้เอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า

ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี ของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

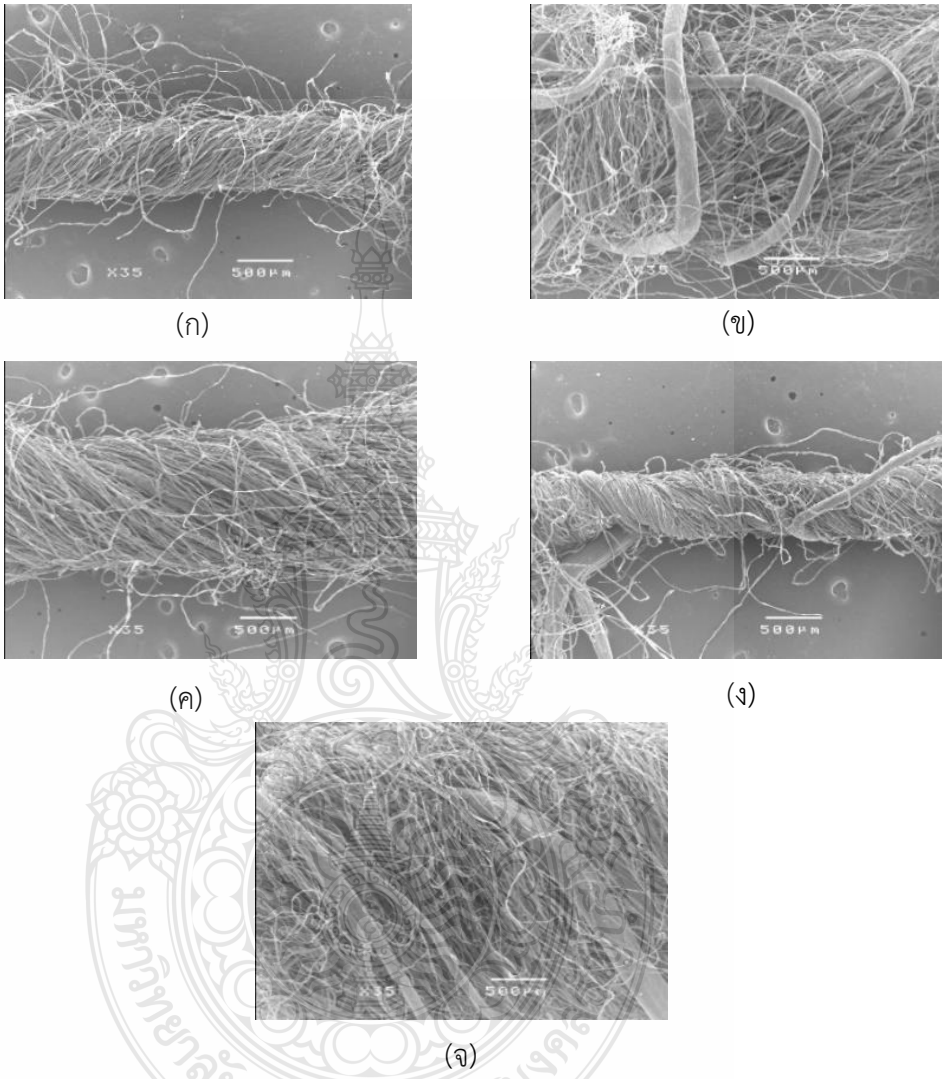
การทดสอบสมมติฐานการวิจัย พบว่าผลการศึกษาร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ ปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีของเส้นใยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และปริมาณความชื้นของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ไม่มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ ปริมาณเอนไซม์และระยะเวลาในการย่อยที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านปริมาณความชื้นของเส้นใย ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน

จากการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย ซึ่งใช้เครื่องปั่นเส้นด้ายฝ้ายด้วยมือ ตามแบบภูมิปัญญาท้องถิ่น โดยปัจจัยที่ทำการศึกษา คือ อัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย โดยแปรเป็น 3 ระดับ คือ 20:80 30:70 และ 40:60 ตามลำดับ โดยการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design ; CRD) แล้วนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย ได้ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลดังต่อไปนี้

4.3.1 ลักษณะของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

ลักษณะของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย กำลังขยาย 35 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ลักษณะของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

(ก) เส้นด้ายฝ้ายอัตราส่วนร้อยละ 100

(ข) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ) และเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80

(ค) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80

(ง) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70

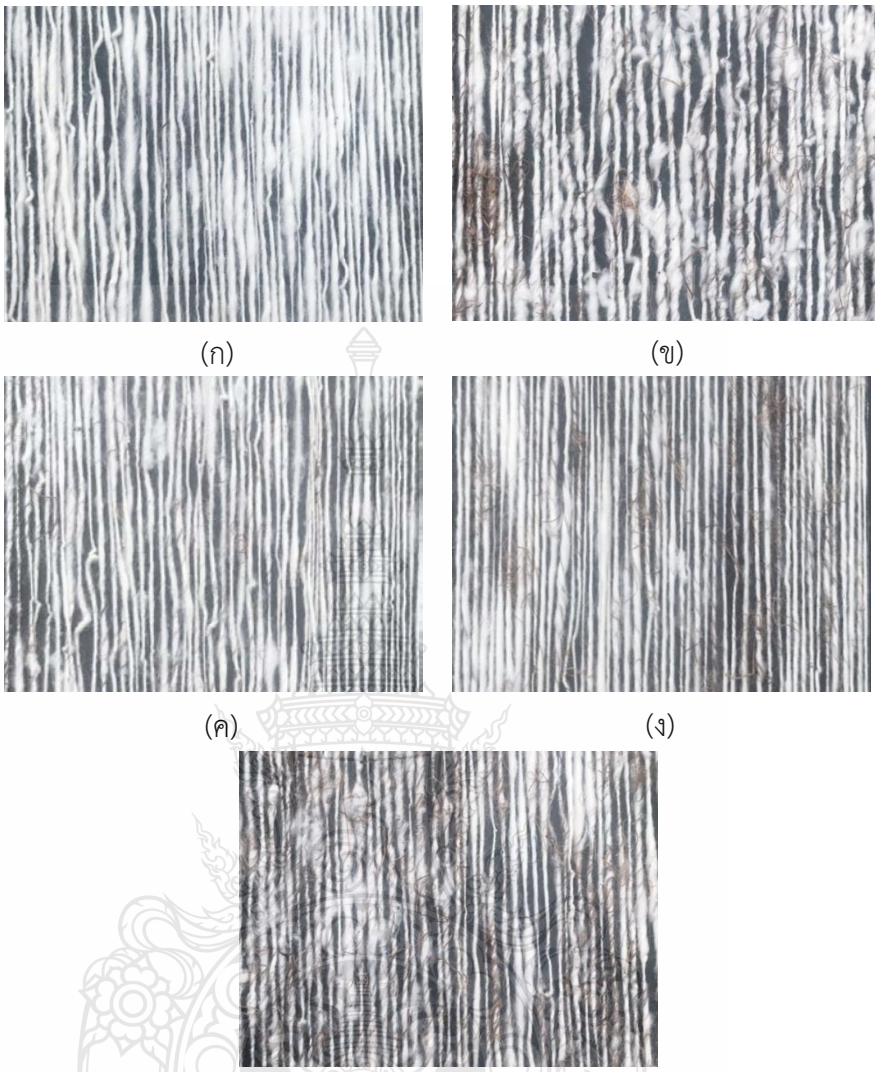
(จ) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60

จากรูปที่ 4.2 ลักษณะของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย พบว่า รูป (จ) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 มีลักษณะการเข้าเกลียวของเส้นด้ายได้ดีที่สุด รูป (ง) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 มีลักษณะการเข้าเกลียวของเส้นด้ายได้ดี รูป (ค) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 มีลักษณะการเข้าเกลียวของเส้นด้ายได้เล็กน้อย และรูป (ข) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ) และเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 มีลักษณะการเข้าเกลียวของเส้นด้ายได้เล็กน้อยมาก ซึ่งจะเห็นได้ว่าเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย เป็นการเข้าเกลียวแบบด้ายเดี่ยว (Single Yarn) ที่มีเส้นด้ายเพียงเส้นเดียวเข้าเกลียว ลักษณะของเส้นด้ายไม่เรียบ มีขนาดไม่สม่ำเสมอตลอดเส้น ทำให้เกิดผิวสัมผัสที่แตกต่างกัน เกิดความแปลก สวยงาม ทนทาน โดยเรียกเส้นด้ายดังกล่าวว่า เส้นด้ายพิเศษแบบสลับ (Slup Yarn) ดังนั้น อัตราส่วนที่ต่างกันของเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายส่งผลต่อลักษณะการเข้าเกลียวของเส้นด้ายที่แตกต่างกัน โดยเส้นด้ายที่มีเส้นใยมะพร้าวอ่อนผสมในอัตราส่วนที่สูงทำให้เส้นด้ายมีลักษณะเฉพาะตัวที่น่าสนใจ มีการยึดเกาะระหว่างเส้นใยได้ดี ลักษณะการเข้าเกลียวแน่นและหลวมสลับกันตามการกระจายของเส้นใยมะพร้าวอ่อน สอดคล้องกับงานวิจัยของ สาครและคณะ [52] กล่าวว่า เส้นด้ายจากเปลือกต้นฝ้ายมีลักษณะรูปตามยาวมีการบิดเกลียว เส้นใยสามารถรวมตัวกันก่อให้เกิด เป็นเส้นด้ายผิวสัมผัสพิเศษ เส้นด้ายมีลักษณะขรุขระ ไม่เรียบ จัดเป็นเส้นด้ายชนิดพิเศษ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ อัชชา [47] กล่าวว่า เส้นด้ายพิเศษจากเส้นใยกล้วยผสมเส้นใยฝ้าย โดยเป็นเส้นด้ายจากธรรมชาติ เมื่อนำมาเข้าเกลียวผสมกัน ทำให้ได้เส้นด้ายที่มีลักษณะเฉพาะตัว เป็นเส้นด้ายผิวสัมผัสพิเศษแบบสลับ มีการเข้าเกลียวแน่นบ้างหลอมบ้างเป็นระยะๆ ทำให้เส้นด้ายมีความสวยงามแปลกตา สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างหลากหลาย ซึ่งการเข้าเกลียวที่หลวมเส้นใยจะโป่งพองออกมาเป็นเส้นใยนุ่มและฟู เส้นด้ายสลับมักพบในผ้าซานตุง ผ้าบุชเชอร์ ผ้าเรยอน และผ้าลินินบางชนิด

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย พบว่า ผลการศึกษาลักษณะของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ อัตราส่วนในการผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านลักษณะของเส้นใยที่แตกต่างกัน

4.3.2 ความสม่ำเสมอของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

ความสม่ำเสมอของเส้นด้ายของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย ตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 2255-02 Standard Test Method for Grading Spun Yarns for Appearance ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ความสม่ำเสมอของเส้นด้ายผสมจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย
(ก) เส้นด้ายฝ้ายอัตราส่วนร้อยละ 100
(ข) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ) และเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80
(ค) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80
(ง) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70
(จ) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60

จากรูปที่ 4.3 ความสม่ำเสมอของเส้นด้ายผสมจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย พบว่า รูป (ง) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 จัดเป็นเส้นด้ายที่มีความสม่ำเสมอระดับ D (เส้นด้ายมีความละเอียดน้อย) รูป (จ) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 จัดเป็นเส้นด้ายที่มีความสม่ำเสมอระดับ E (เส้นด้ายมีความหยาบ กระด้าง) รูป

(ค) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 จัดเป็นเส้นด้ายที่มีความสม่ำเสมอระดับ E (เส้นด้ายมีความหยาบ กระด้าง) และรูป (ข) เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน (ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ) และเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 จัดเป็นเส้นด้ายที่มีความสม่ำเสมอระดับ F (เส้นด้ายมีความหยาบ กระด้างมาก) มีปุ่มปม และเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ปรากฏขึ้นจากการเข้าเกลียว ทำให้เส้นด้ายมีความสม่ำเสมอตลอดเส้นไม่ดีนัก ซึ่งจะเห็นได้ว่า ความสม่ำเสมอของเส้นด้าย เป็นปัจจัยที่สำคัญในกระบวนการปั่นด้าย ซึ่งมีผลมาจากการเรียงตัวของเส้นใยและการกระจายตัวของเส้นใยในเส้นด้ายและจำนวนเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดของเส้นด้าย เส้นด้ายที่มีจำนวนเส้นใยในพื้นที่หน้าตัดมากจะมีความสม่ำเสมอสูง ส่งผลให้เส้นด้ายมีขนาดเล็กและมีความแข็งแรงสูงด้วย ดังนั้นเส้นด้ายจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพมีความสม่ำเสมอของเส้นด้ายดีกว่าเส้นด้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ สอดคล้องกับงานวิจัยของ สุชาดาและคณะ [53] กล่าวว่า สมบัติความสม่ำเสมอในการปั่นเส้นด้ายด้วยมือจากเส้นใยสับปะรด ซึ่งเป็นเส้นใยเซลลูโลสจากพืช พบว่าเส้นด้ายที่มีอัตราส่วนของเส้นใยสับปะรดผสมมากขึ้น ทำให้เส้นด้ายมีพื้นที่หนาบางไม่เท่ากัน มีปุ่มปม และขนเพิ่มขึ้น เมื่อนำเส้นใยมาเข้าเกลียวเป็นเส้นด้ายทำให้เกิดการแตกตัว กระจายตัวในเส้นด้ายที่ปั่นรวมกัน และปลายเส้นใยหลุดออกมาจากเส้นด้ายทำให้ความสม่ำเสมอของเส้นด้ายลดลง

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย พบว่าผลการศึกษาความสม่ำเสมอของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ อัตราส่วนในการผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านความสม่ำเสมอของเส้นใยที่แตกต่างกัน

4.3.3 เบอร์ของเส้นด้าย จำนวนเกลียว และทิศทางการเข้าเกลียวของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

เบอร์ของเส้นด้าย ทดสอบด้วยเครื่องชั่งละเอียดไฟฟ้า ความละเอียด 4 ตำแหน่งตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 1059-2001 Standard Test Method for Yarn Number Based Short-Length Specimens จำนวนเกลียวเส้นด้ายและทิศทางการเข้าเกลียว ทดสอบด้วยเครื่อง Twist Tester เพื่อหาเกลียวเส้นด้ายของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 1423-02 Standard Test Method for Twist in Direct-Counting ดังแสดงในตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เบอร์ของเส้นด้าย จำนวนเกลียว และทิศทางการเข้าเกลียวของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

ชนิดของเส้นด้าย	เบอร์เส้นด้าย (เท็กซ์)	จำนวนเกลียว (เกลียวต่อนิ้ว)	ทิศทางเกลียว (Turn)
เส้นด้ายฝ้าย (ควบคุม)	476.33	5	S
เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80(ควบคุม)	787.85	4	S
เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80	135.05^{c}	4^{b}	S
เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70	438.53^{b}	6^{a}	S
เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60	586.85^{a}	7^{a}	S

หมายเหตุ : ^{abc} ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)
S หมายถึง ทิศทางการเข้าเกลียวแบบ S-Turn (การเข้าเกลียวแบบซ้ายมือมาทางขวามือ)

จากตารางที่ 4.10 เบอร์ของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 มีค่าเฉลี่ยเบอร์ของเส้นด้ายมากที่สุด คือ 586.85 เท็กซ์ รองลงมาคือ เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 และเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 438.53 และ 135.05 เท็กซ์ ตามลำดับ

จำนวนเกลียวของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 มีจำนวนเกลียวมากที่สุด คือ 7 เกลียวต่อนิ้ว รองลงมาคือเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 และเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 กล่าวคือ มีจำนวนเกลียว 6 และ 4 เกลียวต่อนิ้ว ตามลำดับ

ทิศทางการเข้าเกลียวของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นด้ายทั้ง 3 ชนิด มีทิศทางการเข้าเกลียวเหมือนกันคือ ทิศทางการเข้าเกลียวแบบ S-Turn

ผลการศึกษาเบอร์ของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย ซึ่งจะเห็นได้ว่าเบอร์เส้นด้ายมีขนาดเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมของเส้นใยมะพร้าวอ่อนซึ่งเส้นด้ายที่ปั่นจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพ (ควบคุม) มีขนาดเส้นด้ายใหญ่ที่สุด ดังนั้นอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่เพิ่มขึ้นทำให้เบอร์เส้นด้ายมีขนาดใหญ่ขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของสาครและคณะ [52] กล่าวว่า เส้นด้ายจากเปลือกต้นฝ้ายผสมฝ้าย ร้อยละ 50 เป็นเส้นด้ายเบอร์ 628 เท็กซ์ และเส้นด้ายจากเปลือกต้นฝ้ายร้อยละ 100 เป็นเส้นด้ายเบอร์ 536 เท็กซ์ และจำนวนเกลียวของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเข้าเกลียวมีแนวโน้ม

เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายมีจำนวนเกลียวเพิ่มขึ้น เนื่องจากอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ สาครและคณะ [52] กล่าวว่า เส้นด้ายจากเส้นใยเปลือกต้นฝ้ายผสมเส้นใยฝ้ายร้อยละ 50 และเส้นด้ายจากเปลือกต้นฝ้ายร้อยละ 100 มีจำนวนเกลียว คือ 4 เกลียวต่อนิ้ว และสอดคล้องกับ อรวิภา [46] กล่าวว่า ทิศทางการเข้าเกลียวแบบ Z-Turn (การเข้าเกลียวแบบขวามือมาทางซ้ายมือ) จะมีความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้ายมากกว่าทิศทางการเข้าเกลียวแบบ S-Turn (การเข้าเกลียวแบบซ้ายมือมาทางขวามือ)

เบอร์ของเส้นด้ายและจำนวนเกลียวของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย พบว่าผลการศึกษาเบอร์ของเส้นด้ายและจำนวนเกลียวของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ อัตราส่วนในการผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านเบอร์ของเส้นด้ายและจำนวนเกลียวของเส้นใยที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

4.3.4 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้าย ความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้าย และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนผสมเส้นใยฝ้าย

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้าย และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย ทดสอบด้วยเครื่อง Test Strength Tester ตามมาตรฐานในการทดสอบของ ASTM D 2256-02 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarns by the Sing-Strand Method ดังแสดงในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด ความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้าย และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

ชนิดของเส้นด้าย	ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด (นิวตัน)	ความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้าย (นิวตันต่อเท็กซ์)	การยืดตัวก่อนขาด[ns] (ร้อยละ)
เส้นด้ายฝ้าย (ควบคุม)	27.41	0.06	85.55
เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 (ควบคุม)	14.08	0.02	147.22
เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80	10.36[c]	0.08[a]	81.67
เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70	18.17[a]	0.04[b]	92.78
เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60	15.80[b]	0.03[b]	118.89

หมายเหตุ : [abc] ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวดิ่ง แสดงว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

[ns] หมายถึง ไม่แตกต่างกันในแนวดิ่งอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

จากตารางที่ 4.11 ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 มีค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้ายมากที่สุด คือ 18.17 นิวตัน รองลงมาคือ เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 และเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 15.80 และ 10.36 นิวตัน ตามลำดับ

ความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้ายของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 มีค่าความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้ายมากที่สุด คือ 0.08 นิวตันต่อเท็กซ์ รองลงมา คือ เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 และเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 0.04 และ 0.03 นิวตันต่อเท็กซ์ ตามลำดับ

การยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย พบว่าเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 40:60 มีค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายมากที่สุด คือ 118.89 รองลงมาคือ เส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 และเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 20:80 กล่าวคือ มีค่าเฉลี่ย 92.78 และ 81.67 ตามลำดับ

ผลการศึกษาความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย จะเห็นได้ว่า เส้นด้ายที่ปั่นจากฝ้ายร้อยละ 100 (ควบคุม) มีความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด คือ 27.41 นิวตัน ซึ่งเป็นความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดสูงที่สุด เมื่อมีการผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้ายทำให้

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้ายลดลง สอดคล้องกับงานวิจัยของ อัชชา [47] กล่าวว่า ผลการทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้าย มีผลมาจากอัตราส่วนปริมาณของเส้นใยฝ้าย ซึ่งเมื่อมีการผสมเส้นใยฝ้ายในปริมาณที่มาก ทำให้เส้นด้ายมีความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดมาก เนื่องจากฝ้ายมีคุณสมบัติเหนียวและยืดหยุ่นได้ดี และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย จะเห็นได้ว่าค่ายืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย มีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อมีการผสมอัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวที่เพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ พรศิริ [28] ใกล้เคียงกับเส้นด้ายผสมปั่นมือจากเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยฝ้าย ที่มีค่าความยืดตัวก่อนขาด คือ ร้อยละ 62.40-139.55 ซึ่งเส้นด้ายผสมปั่นมือจากเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยฝ้ายที่อัตราส่วน 10 : 90 เป็นเส้นด้ายที่มีค่าความยืดตัวก่อนขาดสูงที่สุด คือ ร้อยละ 139.55

ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาด และความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้ายของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

การทดสอบสมมติฐานการวิจัย พบว่าผลการศึกษาความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้ายของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ อัตราส่วนในการผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ต่างกัน มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดและความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้ายที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และการยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย ไม่มีความสอดคล้องกับสมมติฐานการวิจัย กล่าวคือ อัตราส่วนในการผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ต่างกัน ไม่มีผลต่อสมบัติทางกายภาพในด้านการยืดตัวก่อนขาดของเส้นใย ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง การปรับปรุงสมบัติของเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อการผลิตเส้นด้าย มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน และศึกษาสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อน สามารถสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ดังนี้

5.1 สรุปผลองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) ปรับสภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อน ทำให้องค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อน กล่าวคือ เส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีร้อยละของเซลลูโลสเพิ่มขึ้นและร้อยละของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินลดลง ลักษณะของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีการแยกตัวของกลุ่มเส้นใยทำให้เกิดช่องว่างระหว่างเส้นใยเพิ่มมากขึ้นในภาคตัดขวาง และภาพตามยาวมีรูพรุนเกิดขึ้นที่พื้นผิวของเส้นใยมากกว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนก่อนการปรับสภาพ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับสภาพมีขนาดเล็กลง ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดเพิ่มขึ้น ความยืดตัวก่อนขาดเพิ่มขึ้น ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีมีมากถึงร้อยละ 86.49 และค่าปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้น จึงควรทำการปรับสภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ก่อนนำไปปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ซึ่งการปรับสภาพเส้นใยเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก เนื่องจากเฮมิเซลลูโลสและลิกนิน เป็นอุปสรรคต่อการทำปฏิกิริยาของเอนไซม์เซลลูเลส จึงควรกำจัดออกเพื่อทำให้เอนไซม์เซลลูเลสสามารถทำปฏิกิริยาได้อย่างมีประสิทธิภาพและการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สามารถช่วยลดต้นทุนของเอนไซม์เซลลูเลสในกระบวนการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยได้ถึงร้อยละ 25 ของต้นทุนการผลิต

5.2 สรุปผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส

สภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพเส้นใยมะพร้าวอ่อนด้วยเอนไซม์เซลลูเลส คือ สภาวะความเข้มข้นของเอนไซม์ 20 FPU/g เวลาในการย่อย 4 ชั่วโมง องค์ประกอบทางเคมี คือ ร้อยละของเซลลูโลสมากที่สุด ร้อยละของเฮมิเซลลูโลสน้อย และร้อยละของลิกนินลดน้อยลงเมื่อเปรียบกับสภาวะควบคุม สำหรับการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใย

ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใย ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด ร้อยละของผลผลิตเส้นใยที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมี และร้อยละของปริมาณความชื้นของเส้นใย พบว่าเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลสมีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ กล่าวคือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นใยลดลง ค่าความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นใยน้อยลง ค่าร้อยละการยืดตัวก่อนขาดลดลง ค่าร้อยละของเส้นใยมะพร้าวอ่อนที่ได้จากการเกิดปฏิกิริยาเคมีอยู่ในระดับที่สูง และค่าร้อยละของปริมาณความชื้นของเส้นใยใกล้เคียงกับเส้นใยฝ้าย สำหรับเอนไซม์เซลลูเลสทำหน้าที่ย่อยเซลลูโลส โดยการตัดสายโซ่เซลลูโลสเร่งการไฮโดรไลซ์เซลลูโลสที่ตำแหน่งออกซิเจน เริ่มต้นที่บริเวณอสัณฐานที่มีการเรียงตัวกันไม่เป็นระเบียบ (Amorphous Region) ซึ่งผลจากปฏิกิริยาดังกล่าว ทำให้เซลลูโลสเกิดการแยกตัวของโมเลกุล ส่งผลต่อองค์ประกอบทางเคมีและสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนไป ก่อนนำเส้นใยมะพร้าวอ่อนไปปั่นเป็นเส้นด้ายควรปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อทำให้เส้นใยมะพร้าวอ่อนมีขนาดเล็กลง ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดน้อยลงทำให้เกิดการหยิกงอส่งผลต่อสมบัติการเข้าเกลียวของเส้นด้าย เมื่อนำไปปั่นเป็นเส้นด้าย จะทำให้เส้นด้ายมีความสม่ำเสมอสูง เกิดผิวสัมผัสที่ดี เส้นใยมีปริมาณความชื้นเพิ่มขึ้นทำให้เส้นใยดูดซึมความชื้นและระบายอากาศได้ดี เกิดความรู้สึกสบายเมื่อสวมใส่

5.3 สรุปผลอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปั่นเส้นด้ายและสมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้าย

อัตราส่วนของเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนประกอบด้วย 3 ระดับ คือ อัตราส่วนของเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย 20:80 30:70 และ 40:60 ตามลำดับ โดยทดสอบสมบัติทางกายภาพประกอบด้วย ลักษณะของเส้นด้าย ความสม่ำเสมอของเส้นด้าย เบอร์ของเส้นด้าย จำนวนเกลียวของเส้นด้าย ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดของเส้นด้าย ความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้าย การยืดตัวก่อนขาดของเส้นด้าย พบว่าเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายอัตราส่วน 30:70 เป็นอัตราส่วนที่มีความเหมาะสมที่สุดในการนำไปปั่นเป็นเส้นด้ายปั่นมือ เพราะลักษณะของเส้นด้ายมีการเข้าเกลียวได้ดี ความสม่ำเสมอของเส้นด้ายจัดเป็นเส้นด้ายที่มีความสม่ำเสมอระดับ D คือ เส้นด้ายที่มีความละเอียดน้อย เบอร์เส้นด้าย 438.53 เท็กซ์ จัดเป็นเส้นด้ายขนาดใหญ่ มีการเข้าเกลียวจำนวน 6 เกลียวต่อนิ้ว ความแข็งแรงต่อแรงดึงขาดมากที่สุด คือ 18.17 นิวตัน ความแข็งแรงต่อเบอร์เส้นด้าย คือ 0.04 นิวตันต่อเท็กซ์ ค่าร้อยละของการยืดตัวก่อนขาด คือ 92.78 เป็นการเข้าเกลียวแบบด้ายเดี่ยว (Single Yarn) ที่มีเส้นด้ายเพียงเส้นเดียวเข้าเกลียว ลักษณะของเส้นด้ายไม่เรียบ มีขนาดไม่เท่ากันตลอดทั้งเส้น บางตอนเข้าเกลียวแน่น บางตอนเข้าเกลียวหลอมหรือมีลักษณะเป็นปุ่มปม ทำให้เกิดผิวสัมผัสที่แตกต่างกัน เกิดความแปลก สวยงาม ทนทาน โดยเรียกเส้นด้ายดังกล่าวว่า เส้นด้ายพิเศษแบบสลับ (Slup Yarn)

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งนี้

5.4.1.1 ในกระบวนการปั่นเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย ควรมีการศึกษาลักษณะและสมบัติของเส้นด้ายพิเศษ และวิธีการผลิตเส้นด้ายพิเศษจากเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย เพื่อนำไปใช้งานเฉพาะในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

5.4.1.2 กระบวนการปั่นเส้นด้ายในงานวิจัยนี้ ศึกษาการปั่นเส้นด้ายแบบเส้นด้ายเดี่ยว (Single Yarn) เท่านั้น ควรมีการศึกษาการเข้าเกลียวเส้นด้ายชนิดอื่นๆ เช่น การเข้าเกลียวเส้นด้ายรวม (Ply Yarn) เป็นด้ายเดียวรวมกันตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไปแล้วนำมาเข้าเกลียวรวม และการเข้าเกลียวเชือก (Cord Yarn) เป็นการนำเส้นด้ายรวมมาเข้าเกลียวเป็นคู่ๆ แล้วจึงนำมาเข้าเกลียวรวมกันอีกครั้ง จะได้เส้นด้ายที่มีความเหนียว และทนทานมาก นำไปสู่การออกแบบเส้นด้ายพิเศษสำหรับการสร้างอัตลักษณ์ให้กับเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย

5.4.1.3 ควรมีการศึกษากระบวนการผลิตผืนผ้าจากเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย เพื่อเป็นการพัฒนาสิ่งทอให้มีนวัตกรรมใหม่

5.4.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.4.2.1 ควรนำเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้ายไปใช้ประโยชน์ในการผลิตผลิตภัณฑ์เคหะสิ่งทอ เพื่อให้เกิดความหลากหลายและสร้างอาชีพเสริมให้กับชุมชน และช่วยให้เกษตรกรมีรายได้

5.4.2.2 ควรมีการศึกษากรรมวิธีการผลิตเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย โดยนำภูมิปัญญาจากภูมิภาคต่างๆ ของประเทศไทย เพื่อให้ได้วิธีที่เหมาะสมและเป็นการเผยแพร่ข้อมูลเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนและเส้นใยฝ้ายเป็นวัตถุดิบชนิดใหม่

5.4.2.3 ควรจัดอบรมถ่ายทอดวิธีการพัฒนาเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนกับเส้นใยฝ้าย เพื่อเป็นการสืบทอดภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการทอผ้าให้แก่คนอนุชนรุ่นหลังสืบต่อไป

5.4.2.4 ควรมีการพัฒนาองค์ความรู้เพิ่มเติมในเชิงเศรษฐกิจสร้างสรรค์ โดยการสร้างความร่วมมือแบบองค์รวม ทั้งเกษตรกร ผู้ประกอบการ ผู้นำชุมชน หน่วยงานราชการและหน่วยงานเอกชน เพื่อผลักดันการนำเส้นด้ายผสมเส้นใยมะพร้าวอ่อนมาออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์ท้องถิ่นให้สามารถสร้างรายได้จริงให้กับชุมชน ขับเคลื่อนเศรษฐกิจฐานราก และเศรษฐกิจสร้างสรรค์จากผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ลักษณะทางภูมิศาสตร์

บรรณานุกรม

[1] สาคร ชลสาคร, รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร และศุภนิชา ศรีวรเดชไพศาล, "การพัฒนาเส้นใยมะพร้าวอ่อนในผลิตภัณฑ์สิ่งทอคุณสมบัติพิเศษสำหรับผู้สูงอายุ," (รายงานการวิจัย), กรุงเทพมหานคร: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2559.

[2] รุจจพงศ์ เพ็งจันทร์, "การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและการดัดของแผ่นเฟอร์โรซีเมนต์เสริมด้วยลวดตะแกรงเหล็กและเส้นใยมะพร้าว," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2552.

[3] กุหลาบ หมายสุขกลาง, *มะพร้าว (ออนไลน์)*, 2561, สืบค้นได้จาก: http://www.agriinfo.doae.go.th/year60/plant/rortor/perennial/coconut.pdf, (16 กันยายน 2561).

[4] สัจจะชาญ พรัตมะลิ, ประชุม คำพุฒ, ปราโมทย์ วีรานุกูล และเซ็นนิตย์ งามมานะ, "การใช้ดินขาวผสมเส้นใยมะพร้าว ฟางข้าวและแกลบเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนในผนังคอนกรีตบล็อก," (รายงานการวิจัย), กรุงเทพมหานคร: คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล-พระนคร, 2552.

[5] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ,"Local News สถาบันฯ สิ่งทอเร่งเดินหน้าพัฒนาเส้นใยธรรมชาติ," *TTIS Textile Digest*, ปีที่ 25, ฉบับที่ 202, นน. 16, มกราคม-กุมภาพันธ์ 2559.

[6] รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์, จรูญ คล้ายจ้อย, กิตติศักดิ์ อริยะเครือ, ก้องเกียรติ มหาอินทร์, ศรัณย์ จันทร์แก้ว, สาคร ชลสาคร, นัฐยา พรรณรัตนศิลป์, ณัฐดนย์ รุ่งเรืองกิจไกร, ศิริอร วณิชโชตยานนท์, มนัส แป้งใส, จิตติ พัทธวณิช, เริงศักดิ์ มานะสุนทร, จันทร์เพ็ญ ชุมแสง และพิทักษ์ อุปัญญ์, "การพัฒนาเส้นใยจากผลลูกตาลเพื่อผลิตแผ่นกันความร้อน และการประยุกต์ใช้งานสำหรับสิ่งทอเทคนิค," (รายงานการวิจัย), กรุงเทพมหานคร: สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, 2557.

[7] นาวี เปลี่ยวจิตร์, "การวิจัยเส้นใยจากกาบหมากเพื่อพัฒนาเป็นเคหะสิ่งทอ," *วารสารวิจัยรำไพพรรณี*, ปีที่ 13, ฉบับที่ 3, นน. 90-100, กันยายน-ธันวาคม 2562.

[8] สาคร ชลสาคร, *เทคโนโลยีและนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาเส้นใยธรรมชาติจากพืช เล่มที่ 1 การปรับปรุงคุณภาพเส้นใยพืช*, กรุงเทพมหานคร: ฟรี-วัน, 2560.

[9] เบญจมาส ขวัญคง, "การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, 2554.

[10] สถาบันพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ, *รายงานสถานการณ์อุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มไทยเดือนเมษายน 2561 (ออนไลน์)*, สืบค้นได้จาก: https://www.thaitextile.org/th/insign/detail.317.1.0.html, (30 กันยายน 2561).

บรรณานุกรม (ต่อ)

[11] Global Compact Network Thailand, *เส้นใยจากพืช แฟชั่นเทรนด์ใหม่ ไลฟ์สไตล์ที่ไม่ทำร้ายโลก (ออนไลน์),* 2561, สืบค้นได้จาก: http://www.globalcompact-th.com/unite-bulletin/detail/20, (30 กันยายน 2561).

[12] Ahmed M. H. and Jaward K. O., "Tensile Properties Distribution of Coir Natural Fiber Using Weibull Statistics," *Eng & Tech Journal*, vol. 34, No. 6, pp. 1080-1087, 2016.

[13] S. Jayabal, S. Sathiyamurthy, K. T. Loganathan, and S. Kalyanasundaram, "Effect of Soaking Time and Concentration of NaOH Solution on Mechanical Properties of Coir-Polyester Composites," *Bull. Mater. Sci. Journal*, vol.35, No. 4, pp. 567-574, August 2012.

[14] สมพร วาสะสิริ, "ผืนผ้าจากเส้นใยผักตบชวาผสมเส้นด้ายฝ้าย," *วารสารศิลปกรรมศาสตร์วิชาการวิจัยและงานสร้างสรรค์,* ปีที่ 2, ฉบับที่ 1, นน. 210-227, 2558.

[15] สุภาวดี ผลประเสริฐ, "การปรับสภาพวัตถุดิบพวกลิกโนเซลลูโลสสำหรับการผลิตเอทานอล," วารสาร*วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี*, ปีที่ 22, ฉบับที่ 5, นน. 641-649, 2557.

[16] ชยานิษฐ์ ชัยศรัณพัฒน์, "ผลของปริมาณลิกนินในเส้นใยมะพร้าวต่อการยึดติดระหว่างเส้นใยมะพร้าวและเนื้อหลักในวัสดุเชิงประกอบย่อยสลายได้จากโปรตีนปลา," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2553.

[17] *โครงสร้างของเซลลูโลส, (ออนไลน์)*, 2560, สืบค้นได้จาก: https://www.researchgate.net/figure/FE-SEM-photographs-of-a-PP-PE-PP-separator-b-CNP-separator-IPA-water-14-60-40_fig2_258885464, (19 มกราคม 2560).

[18] สุมลรัตน์ ใจสุทธิ, "การเตรียมไมโครไฟบริลจากเส้นใยมะพร้าวและการศึกษาสมบัติเชิงกลของวัสดุคอมโพสิตชีวภาพ," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมชีวภาพ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพมหานคร, 2556.

[19] *โครงสร้างเฮมิเซลลูโลส, (ออนไลน์)*, 2560, สืบค้นได้จาก: https://en.wikipedia.org/wiki/Hemicellulose, (19 มกราคม 2560).

[20] ณัฐพล เลี้ยงเพ็ชร, "กระบวนการหมักปุ๋ยซังทะลายปาล์มน้ำมันแบบรายย่อยสลายเนื้อไม้," วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาจุลชีววิทยาประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร, 2558.

[21] สิริวรรณ ลี้ศิริสรรพ์, "สมบัติของเส้นใยสับปะรดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยวิธีทางเคมี," *Bulletin of Applied Sciences*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 7, นน. 25-31, สิงหาคม 2018.

[22] ปิยาภรณ์ วังศิริกุล, นูรมี และปานา, ซัมมีรา โซ๊ะโก, สาลูมา สมานหมาน และรวิวรรณ วัฒนายน, "การปรับสภาพกระดาษสำนักงานและกระดาษหนังสือพิมพ์โดยวิธีทางเคมี และกายภาพร่วมกับเคมี," วารสาร*มหาวิทยานราธิวาสราชนครินทร์*, ปีที่ 9, ฉบับที่ 2, นน. 113-121, 2560.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[23] R. A. Silverstein, “A Comparison of Chemical Pretreatment Methods for Converting Cotton Stalks to Ethanal,” Master’s Thesis. Biological and Agricutural Engineering, North Carolina State University, Raieigh, 2004.

[24] N. Mosier, C. Wyman, B. Dale, R. Elander, Y.Y. Lee, M. Holtzapple, and M. Ladish, “Features of Promising Technologies for Pre-treatment of Lignocellulosic Biomass,” *Bioresource Technology Journal*, vol. 96, pp. 673-86, 2004.

[25] ชัยวัฒน์ วงศ์เศวตศิลา, วิชิตพล มีแก้ว, เฉลิมพร เสริมมติวงศ์, ณัฐพล ขันธปราบ, สุชาดา ตุงคนาคร, ภูตะวัน แสนใจอิ, สุภาภรณ์ ศิริโสภณา, สมเกียรติ พรพิสุทธิมาศ และสุรศักดิ์ ละลอกน้ำ, “การติดตามแอคทิวิทีของเอนไซม์บางชนิดในกระบวนการทำน้ำหมักชีวภาพ,” *วารสารหน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อมเพื่อการเรียนรู้*, ปีที่ 2, ฉบับที่ 2, นน. 89-96, 2554.

[26] เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์, *เอนไซม์ดัดแปลงคาร์โบไฮเดรตในอุตสาหกรรม*, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

[27] ปราณี พัฒนพิพิธไพศาล, *เอนไซม์เทคโนโลยี Enzyme Technology*, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2556.

[28] พรศิริ หลงหนองคูณ, “การพัฒนาเส้นด้ายผสมปั่นมือจากเส้นใยใบอ้อยและเส้นใยฝ้าย,”วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2560.

[29] เสาวนีย์ อารีจงเจริญ, นฤพน ไพศาลตันติวงศ์, รัตนพล มงคลรัตนาสิทธิ์ และสาคร ชลสาคร, “การพัฒนาผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากเส้นใยตะไคร้,” (รายงานการวิจัย), กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2556.

[30] เทพธิดา อารักษ์, “ลักษณะและสมบัติของเส้นด้ายปอทะเล,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-ราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2554.

[31] นวลแข ปาลิวนิช, *ความรู้เรื่องผ้าและเส้นใย*, กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2542.

[32] สมพร วาสะศิริ, “เส้นใยผักตบชวาผสมเส้นด้ายฝ้าย: เทคนิคการผลิตผ้าเชิงเศรษฐกิจสร้างสรรค์,” วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, สาขาวิชาวัฒนธรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, มหาสารคาม, 2560.

[33] สาคร ชลสาคร, “การผลิตเส้นด้ายและผืนผ้าจากใยไผ่,” (รายงานการวิจัย), ปทุมธานี: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยฝ่ายอุตสาหกรรมโครงการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล-ธัญบุรี, 2550.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[34] เบญญาภา ข่วงทิพย์, “การพัฒนารูปแบบเสื้อผ้าหม้อห้อมสตรีทอลายสองของจังหวัดแพร่,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2554.

[35] ศราวุธ โตสวัสดิ์, “การศึกษาการแยกใยไผ่สีสุกเพื่อนำมาเป็นวัตถุดิบทางสิ่งทอ,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-ราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2554.

[36] กรรณิการ์ กัญจนกาญจน์, “การผลิตเส้นใยธรรมชาติจากกาบไผ่,” การศึกษาค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร, 2555.

[37] อัชชา หัทยานานนท์, บุษรา สร้อยระย้า, และประพาฬภรณ์ ธรีมงคล, “การพัฒนาผืนผ้าด้วยเส้นด้ายพิเศษวัสดุสิ่งทอเหลือทิ้ง,” (รายงานการวิจัย), กรุงเทพมหานคร: คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2556.

[38] พรศิริ หลงหนองคูณ, ศรีกาญจนา จตุพัฒน์วโรดม และสาคร ชลสาคร, “การพัฒนากระบวนการผลิตเส้นด้ายจากใบอ้อย,” ใน *การประชุมวิชาการระดับชาติ The TNI Academic Conference 2017 ครั้งที่ 4,* สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, กรุงเทพมหานคร, 2560, นน. 59-63.

[39] สาธิต ธีระประเสริฐ, *การทดสอบวัตถุดิบ (ออนไลน์)*, 2560, สืบค้นได้จาก: www.textiles.rmutk.ac.th/images/textile_raw.../textile_raw_ material_control, (5 ธันวาคม 2560)

[40] ASTM D 1059-2001 Standard Test Method for Yarn Number Based Short-Lengeh Specimens, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, 2001.

[41] ลักขณา จาตกานนท์, ประพาฬภรณ์ ธีรมงคล และพีรพัฒน์ วงศ์กมลพร, “การพัฒนาโครงสร้างผ้าของเครื่องแต่งกายเชฟที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานเชฟในครัวอาหารไทย,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพมหานคร, 2555.

[42] ASTM D 1423-1999 Standard Test Method for Twist in Yarn by Direct-Counting, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, 2002.

[43] สมพรรณนา วงษ์กล่ำ, “การศึกษาสมบัติของผ้าถักที่ได้จากเส้นด้ายตีเกลียวระหว่างไหมกับพอลิ-เอสเตอร์,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2554.

[44] ASTM D 2256-2002 Standard Test Method for Tensile Properties of Yarn by the Single-Strand Method, ASTM International, West Conshohocken, Pennsylvania, 2002.

บรรณานุกรม (ต่อ)

[45] จตุพร ปานทอง, “การประยุกต์ใช้สารลดแรงตึงผิวชนิดไม่มีประจุในกระบวนการปรับสภาพและย่อยเส้นใยปาล์มด้วยเอนไซม์เพื่อการผลิตเอทานอล,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา, 2557.

[46] อรวิภา ไชยรัตนตรัย, “การศึกษาผลกระทบของทิศทางและจำนวนเกลียวเส้นด้ายลินิน แบบ S ON Z และ Z ON Z ที่มีต่อสมบัติผ้าทอลายขัด,” วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่ม คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ, กรุงเทพมหานคร, 2551.

[47] อัชชา ศิริพันธุ์, “การพัฒนาเส้นด้ายพิเศษจากเส้นใยกล้วยผสมฝ้าย, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต,” สาขาวิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล-พระนคร, กรุงเทพมหานคร, 2552.

[48] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, “โครงการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตเอทานอลจากเซลลูโลสพาณิชย์,” (รายงานวิจัย) กรุงเทพมหานคร: กระทรวงพลังงาน, 2555.

[49] P. J. Van Soest, J. B. Robertson, and B. A. Lewis, “Symposium: Carbohydrate Methodology, Metabolism, and Nutritional Implicationd in Dairy Cattle,” *Journal of Dairy Science*, vol.74, No. 10, pp. 3583-3597, 1991.

[50] สุภา จุฬคุปต์, “การพัฒนาการผลิตกระดาษเชิงหัตถกรรมจากใยมะพร้าว,” (รายงานการวิจัย), ปทุมธานี: คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2552.

[51] มณฑา จันทร์เกตุเลี้ยง, *วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น* กรุงเทพมหานคร : ห้างหุ้นส่วนจำกัด หอรัตน-ชัยการพิมพ์, 2541.

[52] สาคร ชลสาคร, กิติยาพรรณ โพธิ์ล่าม, อัญชลี กังวานสิงหนาท, อมรรัตน์ บัวทอง และเยาวภา มีวงค์, “การศึกษาสมบัติเส้นใยและเส้นด้ายจากเปลือกต้นฝ้าย,” ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 47*, กรุงเทพมหานคร, 2552, นน. 167-176.

[53] สุชาดา อุชชิน, รังสิมา ชลคุป และวนิดา ผาสุกดี, “สมบัติทางกายภาพของเส้นด้ายและผ้าเส้นใยสับปะรดผสมฝ้าย,” ใน *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์* ครั้งที่ 44, กรุงเทพมหานคร, 2549.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
ผลการทดสอบ

หนังสือรับรองผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Animal Nutrition Laboratory

Department of Animal Science, Faculty of Agriculture,

KHON KAEN UNIVERSITY

ชื่อบริษัท/ผู้ส่งตัวอย่าง: คุณกษิดิส รัตนภรณ์

ที่อยู่: คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เลขที่ 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 084-0283655 โทรสาร -

ชื่อตัวอย่างวิเคราะห์	รายการวิเคราะห์*		
	Cellulose, %	Hemicellulose, %	Lignin, %
เส้นใยมะพร้าว	49.59	9.80	31.83
เส้นใยมะพร้าวกำจัดลิกนิน	54.98	4.57	31.60
OFPU 2 Hrs	55.50	2.90	32.93
OFPU 4 Hrs	53.83	4.53	33.63
OFPU 6 Hrs	54.37	5.10	33.03
10FPU 2 Hrs	56.24	5.10	31.11
10FPU 4 Hrs	55.42	4.15	32.37
10FPU 6 Hrs	55.60	4.37	31.97

*** ค่าวิเคราะห์ที่แสดงไม่ได้ปรับเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง (on dry matter basis)**

*** ผลการวิเคราะห์นี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เท่านั้น**

ขอรับรองว่าข้อความที่ระบุนี้เป็นจริงทุกประการ

.....

(ดร.วรุณ แก้วพิลา)

หัวหน้าห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์

วันที่ 16 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

.....

(ผศ.ดร.ยุพิน ผาสุข)

หัวหน้าสาขาวิชาสัตวศาสตร์

วันที่ 16 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

ใบรับวิเคราะห์เลขที่ 75/2562

หนังสือรับรองผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง

ห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์ ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Animal Nutrition Laboratory

Department of Animal Science, Faculty of Agriculture,

KHON KAEN UNIVERSITY

ชื่อบริษัท/ผู้ส่งตัวอย่าง: คุณกษิดิส รัตนภรณ์

ที่อยู่: คณะเทคโนโลยีคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เลขที่ 39 หมู่ 1 ต.คลองหก อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120

โทรศัพท์ 084-0283655 โทรสาร -

ชื่อตัวอย่างวิเคราะห์	รายการวิเคราะห์*		
	Cellulose, %	Hemicellulose, %	Lignin, %
20FPU 2 Hrs	55.43	4.65	32.38
20FPU 4 Hrs	56.51	3.18	31.97
20FPU 6 Hrs	54.83	4.79	32.65
30FPU 2 Hrs	52.87	3.69	34.15
30FPU 4 Hrs	55.49	4.62	31.94
30FPU 6 Hrs	54.40	3.91	32.32

*** ค่าวิเคราะห์ที่แสดงไม่ได้ปรับเป็นเปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง (on dry matter basis)**

*** ผลการวิเคราะห์นี้รับรองเฉพาะตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์เท่านั้น**

ขอรับรองว่าข้อความที่ระบุนี้เป็นจริงทุกประการ

(ดร.วรุณ แก้วพิลา)
หัวหน้าห้องปฏิบัติการอาหารสัตว์
วันที่ 16 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

(ผศ.ดร.ยุพิน ผาสุข)
หัวหน้าสาขาวิชาสัตวศาสตร์
วันที่ 16 เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2562

ใบรับวิเคราะห์เลขที่ 75/2562

ภาคผนวก ข
การเผยแพร่งานวิจัย

ที่ อว ๐๖๔๕.๑๓/๑๖๕

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
เลขที่ ๑ ถนนอู่ทองนอก แขวงดุสิต
เขตดุสิต กรุงเทพฯ ๑๐๓๐๐

๖ มีนาคม ๒๕๖๓

เรื่อง แจ้งผลการพิจารณาบทความวิจัย

เรียน นายกษิดิส รัตนภรณ์

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัย เรื่อง **"สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนภายหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส"** เพื่อรับการพิจารณาให้นำเสนอในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ ๑๑ "GLOBAL GOALS, LOCAL ACTIONS: LOOKING BACK AND MOVING FORWARD ๒๐๒๐" นั้น

ในการนี้บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ขอเรียนให้ทราบว่า บทความวิจัยของท่านได้รับพิจารณาให้นำเสนอในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ ๑๑ "GLOBAL GOALS, LOCAL ACTIONS: LOOKING BACK AND MOVING FORWARD ๒๐๒๐" วันที่ ๒๗ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๖๓ ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงสมร รุ่งสวรรค์โพธิ์)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย ปฏิบัติราชการแทน
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

บัณฑิตวิทยาลัย
โทร. ๐-๒๑๖๐-๑๑๗๔
โทรสาร. ๐-๒๑๖๐-๑๑๗๗

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ร่วมกับ
Graduate School of Business Universiti Sains Malaysia มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
มอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

นายกษิดิส รัตนภรณ์

ได้เข้าร่วมงานนำเสนอผลงานวิจัย
การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ ๑๑
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2020"
ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
วันที่ ๒๗ มีนาคม ๒๕๖๓

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุติกาญจน์ ศรีวิบูลย์
รักษาราชการแทนอธิการบดี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

รองศาสตราจารย์ ดร.สมเดช รุ่งศรีสวัสดิ์
รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงสมร รุ่งสวรรค์โพธิ์
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ร่วมกับ
Graduate School of Business Universiti Sains Malaysia มหาวิทยาลัยศิลปากร
มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยกรุงเทพ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา
มอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

นายกษิดิส รัตนภรณ์

ได้รับรางวัลงานวิจัยประเภท ชมเชย
"สมบัติทางกายภาพของเส้นใยมะพร้าวอ่อนภายหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยเอนไซม์เซลลูเลส"
การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ ๑๑
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward 2020"
ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
วันที่ ๒๗ มีนาคม ๒๕๖๓

รองศาสตราจารย์ ดร.ชุติกาญจน์ ศรีวิบูลย์
รักษาราชการแทนอธิการบดี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

รองศาสตราจารย์ ดร.สมเดช รุ่งศรีสวัสดิ์
รักษาราชการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงสมร รุ่งสวรรค์โพธิ์
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายกษิดิส รัตนภรณ์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 16 มกราคม พ.ศ. 2532
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 7/5 หมู่ 2 ตำบลกระโสม อำเภอตะกั่วทุ่ง จังหวัดพังงา รหัสไปรษณีย์ 82130
การศึกษา	พ.ศ. 2553 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรคหกรรมศาสตรบัณฑิต (คศ.บ.) สาขาวิชาผ้าและเครื่องแต่งกาย เกียรตินิยมอันดับ 1 เหรียญทอง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์ทำงาน	2560-2561 ตำแหน่ง กรรมการบริหารฝ่ายพัฒนาหลักสูตร บริษัท นวัตกรรมสร้างสรรค์การศึกษา จำกัด จังหวัดปทุมธานี 2559-2560 ตำแหน่ง หัวหน้าฝ่ายการตลาดและประชาสัมพันธ์ มูลนิธิครูดีของแผ่นดิน กรุงเทพมหานคร 2554-2556 ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่ โครงการฟื้นฟูศีลธรรมโลก ชมรมพุทธศาสตร์สากลในอุปถัมภ์สมเด็จพระมหารัชมังคลาจารย์ จังหวัดปทุมธานี
อีเมล์	1159706060137@mail.rmutt.ac.th