การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส

นางสาวเบญจมาส ขวัญคง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

SCOURING OF COTTON FABRIC USING PECTINASE CONTAINED CELLULASE ENZYME

Miss Benjamas Kwankong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส
โดย	นางสาวเบญจมาส ขวัญคง
สาขาวิชา	สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มัณฑนา โอภาประกาสิต)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. นราพร รังสิมันตกุล)

เบญจมาส ขวัญคง : การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส. (SCOURING OF COTTON FABRIC USING PECTINASE CONTAINED CELLULASE ENZYME). อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผศ. ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์, 80 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำเอนไซม์เซลลูเลสทางการค้า ANP-N300 ซึ่งปกติใช้สำหรับการฟอกสีผ้ายีนส์และกำจัดขนบนผ้าใยเซลลูโลส มาใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรก (เช่น เพกทินและขี้ผึ้ง) บนผ้าฝ้าย เนื่องจากพบว่ามีแอคติวิตีของเอนไซม์เพกทิเนสค่อนข้างสูง โดยทดลองหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรก เช่น พีเอช อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนผ้าต่อสารละลาย ปริมาณเอนไซม์ และปริมาณสารช่วยเปียก ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วถูกนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานการทดสอบ เช่น ความสามารถในการดูดซึมน้ำ ระดับเพกทินบนผ้า ความสามารถในการย้อมติดสี ความขาว น้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป และความแข็งแรงของผ้า และเปรียบเทียบผลกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนสทางการค้า Scourzyme L ซึ่งนิยมใช้สำหรับกระบวนการดังกล่าวในระดับอุตสาหกรรม

จากผลการทดลองพบว่าภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 มี 2 ภาวะคือที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที และที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที โดยที่ทั้งสองภาวะ กระทำการกำจัดสิ่งสกปรกที่พีเอช 6.5 ใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายเท่ากับ 1:50 ปริมาณเอนไซม์ 0.5 กรัม/ลิตร และปริมาณสารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร ซึ่งการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 ให้ผลใกล้เคียงกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดสามารถดูดซึมน้ำได้ทันที ผ้ามีความขาวเพิ่มขึ้นจากผ้าดิบ ผ้าสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 2-3 และความแข็งแรงของผ้าไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก ถึงแม้ว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 มีปริมาณเพกทินบนผ้าสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 ก็สามารถขจัดเพกทินบนผ้าออกไปได้มากพอที่จะทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ทันที ผ้ามีความขาว และความเข้มสีใกล้เคียงกันกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L จึงสรุปได้ว่าสามารถใช้เอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายได้ผลดีเช่นเดียวกับการใช้เอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L ในกระบวนการดังกล่าว

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2554 .....

5272391823 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS : COTTON/ CELLULASE/ PECTINASE/ ENZYME/ SCOURING

BENJAMAS KWANKONG : SCOURING OF COTTON FABRIC USING PECTINASE CONTAINED CELLULASE ENZYME. ADVISOR : ASST. PROF. USA SANGWATANAROJ, Ph.D., 80 pp.

Commercial cellulase enzyme ANP-N300 is generally recommended to be used for bio-stone washing of jeans and biopolishing of cellulose fabric. In this research, ANP-N300 was used for bioscouring of greige cotton fabrics to remove pectins and waxes (on cotton) due to its high pectinase enzyme activity. Optimal scouring conditions were determined (pH, temperature, time, fabric to liquor ratio, and enzyme and wetting agent dosages). Scoured fabrics were tested for various properties according to standard test methods such as wettability, pectin content, dyeability, whiteness, weight loss, and strength of fabrics. For comparison, another commercial pectinase enzyme Scourzyme L generally used for industrial cotton scouring was also used for scouring of the same fabrics.

Two optimal conditions for cotton scouring using ANP-N300 were determined as follows : ANP-N300 0.5 g/l, wetting agent 1 g/l, fabric to liquor ratio 1:50, pH 6.5, temperature either at 50 ºC for 45 minutes or 60 ºC for 10 minutes. Both ANP-N300 and Scourzyme L scouring processes showed similar scouring results in which scoured fabrics showed good wettability, higher whiteness than greige fabrics, 2-3% weight loss and acceptable low strength loss. Though fabrics scoured with ANP-N300 showed higher pectin content than fabrics scoured with Scourzyme L, scouring with ANP-N300 could sufficiently remove pectins from fabrics in which ANP-N300 scoured fabrics showed similar wettability, whiteness and color strength to Scourzyme L scoured fabrics. It can be concluded that ANP-N300 cellulase enzyme can be successfully used for cotton scouring, comparatively with scourzyme L pectinase enzyme.

Department : Materials Science Student's Signature .....
Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's Signature .....
Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้อย่างสมบูรณ์ เป็นเพราะได้รับคำแนะนำทางวิชาการ ความเอื้อเฟื้อด้านเครื่องมือ วัตถุดิบและสถานที่ทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับความช่วยเหลือและแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิด้านต่างๆ เป็นอย่างดี ข้าพเจ้าจึงใคร่ขอขอบคุณบุคคลและหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ดังรายนามต่อไปนี้

1. ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

2. รองศาสตราจารย์เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัณฑนา โอภาประกาสิต และ ดร.นราพร รังสิมันตกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและตรวจสอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

3. ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5. คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือ และสถานที่

6. บริษัท วี.พี.ซี. กรุ๊ป จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์ในการทำวิจัย

7. บริษัท เบรนน์แท็ก อินกรีเดียนส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ให้ความอนุเคราะห์เอนไซม์ในการทำวิจัย

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี อีกทั้งอาจารย์ทุกท่านที่ช่วยประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าจนสามารถสร้างสรรค์วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญภาพ..... ฏ

สารบัญแผนภาพ..... ฐ

บทที่

1. บทนำ..... 1
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 2
   - 2.1 ฝ้าย (Cotton)..... 2
     - 2.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ 2
     - 2.1.2 โครงสร้างทางเคมี..... 4
     - 2.1.3 สมบัติทางกายภาพ..... 5
     - 2.1.4 สมบัติทางเคมี..... 6
     - 2.1.5 ส่วนประกอบของฝ้ายดิบ..... 6
     - 2.1.6 การใช้งาน 7
   - 2.2 เอนไซม์ (Enzyme)..... 8
     - 2.2.1 ประวัติการศึกษาเอนไซม์..... 8
     - 2.2.2 โครงสร้างของเอนไซม์..... 8
     - 2.2.3 การทำงานของเอนไซม์..... 9
     - 2.2.4 การจำแนกชนิดของเอนไซม์..... 11
     - 2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์..... 12
     - 2.2.6 เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยด้านสิ่งทอ..... 13
       - 2.2.6.1 เพกทิเนส..... 13
       - 2.2.6.2 เซลลูเลส..... 14

บทที่ หน้า

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 15
3. การทดลอง..... 18
3.1 วัสดุและสารเคมี..... 18
3.1.1 ผ้า..... 18
3.1.2 เอนไซม์..... 18
3.1.3 สารเคมี..... 19
3.1.4 สีย้อม..... 19
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 19
3.3 ขั้นตอนการทดลอง..... 20
3.3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส (ANP-N300)..... 20
3.3.2 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส (Scourzyme L)..... 23
3.3.3 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วย Blank Treatment..... 25
3.4 การทดสอบผ้า..... 27
3.4.1 การทดสอบหาน้ำหนักผ้า..... 27
3.4.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ..... 27
3.4.3 การทดสอบหาน้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป..... 28
3.4.4 การทดสอบความแข็งแรงของผ้า..... 29
3.4.5 การวัดค่าดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองของผ้า..... 30
3.4.6 การทดสอบหาระดับเพกทินบนผ้า..... 30
3.4.7 การทดสอบความสามารถในการย้อมติดสี..... 33
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 34
4.1 สมบัติของผ้าดิบ..... 34
4.2 สมบัติของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก..... 34
4.2.1 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ..... 35
4.2.2 น้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป..... 43
4.2.3 ความแข็งแรงของผ้า..... 46
4.2.4 ความขาวของผ้า..... 49
4.2.5 ระดับเพกทินบนผ้า..... 53
4.2.6 ความสามารถในการย้อมติดสี..... 55

บทที่ หน้า

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 58
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 58
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 59
รายการอ้างอิง..... 60
ภาคผนวก..... 62
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 80

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ส่วนประกอบของเส้นใยฝ้ายดิบที่แห้ง.....	7
ตารางที่ 3.1	เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัย.....	18
ตารางที่ 3.2	สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....	19
ตารางที่ 3.3	สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย.....	19
ตารางที่ 3.4	การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วยเอนไซม์ ANP-N300 ที่ภาวะต่างๆ.....	21
ตารางที่ 3.5	การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วยเอนไซม์ Scourzyme L ที่ภาวะต่างๆ.....	24
ตารางที่ 3.6	การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วย Blank Treatment ที่ภาวะต่างๆ.....	26
ตารางที่ 4.1	สมบัติต่างๆ ของผ้าฝ้ายดิบ.....	34
ตารางที่ 4.2	ผลการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 ที่ภาวะต่างๆ.....	35
ตารางที่ 4.3	ผลการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L ที่ภาวะต่างๆ.....	39
ตารางที่ 4.4	ผลการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วย Blank Treatment ที่ภาวะต่างๆ.....	41
ตารางที่ 4.5	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ.....	43
ตารางที่ 4.6	ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ.....	46
ตารางที่ 4.7	ดัชนีความขาว และดัชนีความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ.....	49
ตารางที่ 4.8	ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ.....	53
ตารางที่ 4.9	ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ	55

สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 2.1	โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้ายตามภาคตัดขวางและตามความยาว.....	3
ภาพที่ 2.2	โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย.....	3
ภาพที่ 2.3	เส้นใยฝ้ายดิบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	4
ภาพที่ 2.4	โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส.....	4
ภาพที่ 2.5	การเปลี่ยนแปลงพลังงานของปฏิกิริยาเคมีที่ไม่มีตัวเร่งและมีตัวเร่ง.....	9
ภาพที่ 2.6	กลไกการทำงานของเอนไซม์.....	10
ภาพที่ 2.7	การจับกันระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรต.....	11
ภาพที่ 2.8	ปฏิกิริยา ester hydrolysis และปฏิกิริยา depolymerization ของเพกทิน.....	13
ภาพที่ 2.9	กลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส.....	14
ภาพที่ 3.1	เครื่องย้อมแบบแช่ LABTEC.....	20
ภาพที่ 3.2	เครื่องตัดผ้าวงกลม (fabric sample cutter).....	27
ภาพที่ 3.3	เครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared moisture balance).....	28
ภาพที่ 3.4	เครื่องวัดความต้านทานแรงดันทะลุ.....	29
ภาพที่ 3.5	Macbeth reflectance spectrophotometer, COLOR-EYE 7000.....	30
ภาพที่ 3.6	UV-visible spectrophotometer, SPECORD S 100.....	31
ภาพที่ 3.7	กราฟมาตรฐาน (calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม methylene blue กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร.....	32
ภาพที่ 4.1	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที.....	44
ภาพที่ 4.2	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที.....	44
ภาพที่ 4.3	ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที.....	47
ภาพที่ 4.4	ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที.....	47

หน้า

ภาพที่ 4.5 ดัชนีความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที..... 50
ภาพที่ 4.6 ดัชนีความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที..... 50
ภาพที่ 4.7 ดัชนีความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที..... 51
ภาพที่ 4.8 ดัชนีความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที..... 51
ภาพที่ 4.9 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที..... 54
ภาพที่ 4.10 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที..... 54
ภาพที่ 4.11 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที..... 56
ภาพที่ 4.12 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที..... 56

สารบัญแผนภาพ

หน้า

แผนภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการย้อมผ้าด้วยสีย้อม methylene blue..... 32

แผนภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสี Benzopurpurine 4B..... 33

บทที่ 1

บทนำ

เส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักราวร้อยละ 94 ที่เหลือเป็นเพกทิน โปรตีน ขี้ผึ้ง และส่วนประกอบอื่นๆ อีก โดยส่วนประกอบที่นอกเหนือจากเซลลูโลสเป็นสิ่งเจือปนที่ควรกำจัดออกในขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกก่อนการย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ เพราะสิ่งเจือปนเหล่านี้โดยเฉพาะเพกทินและขี้ผึ้งจะทำให้ฝ้ายดูดซึมน้ำ สารเคมีและสีย้อมได้ไม่ดี ขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายนิยมกระทำโดยการต้มผ้าในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่เดือดซึ่งเป็นกระบวนการที่สร้างน้ำเสียที่มีความเป็นด่างปริมาณมาก ทั้งยังสิ้นเปลืองพลังงานและทำลายเส้นใยอีกด้วย ปัจจุบันจึงมีการพัฒนาการนำเอนไซม์มาใช้ในกระบวนการสิ่งทอเพิ่มมากขึ้น เพราะเป็นกระบวนการที่ประหยัดพลังงานและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สำหรับขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายมีการใช้เฉพาะเอนไซม์เพกทิเนสเท่านั้นในระดับอุตสาหกรรม แต่หากสามารถนำเอนไซม์ชนิดอื่นมาใช้ในกระบวนการนี้หรือใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายได้ก็จะช่วยพัฒนาการใช้เอนไซม์ไปอีกระดับหนึ่ง งานวิจัยระบุว่าสามารถใช้เอนไซม์เพกทิเนสร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลสในการกำจัดสิ่งสกปรกออกจากผ้าฝ้ายโดยใช้กระบวนการ 2 ขั้นตอน แต่ยังไม่มีการใช้เอนไซม์ผสมที่มีทั้งเพกทิเนสและเซลลูเลสในขั้นตอนเดียว

ANP-N300 เป็นชื่อทางการค้าของเอนไซม์เซลลูเลส ชนิดพีเอชกลาง ใช้ในกระบวนการฟอกสีผ้ายีนส์และการกำจัดขนบนผ้าใยเซลลูโลส แต่เมื่อตรวจสอบองค์ประกอบของเอนไซม์พบว่ามีแอคติวิตีของเพกทิเนส 10750 หน่วย/มิลลิลิตร แอคติวิตีของเอนโดเซลลูเลส 4200 หน่วย/มิลลิลิตร และโปรตีน 703.79 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ดังนั้น ANP-N300 นี้มีแอคติวิตีของเพกทิเนสค่อนข้างสูง น่าจะสามารถเร่งการไฮโดรไลซ์เพกทินและกำจัดเพกทินบนผ้าฝ้ายได้ดีในขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรก

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะนำ ANP-N300 ซึ่งเป็นเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนสมาใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายโดยทำการศึกษาประสิทธิภาพและภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรก เช่น พีเอช อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนผ้าต่อสารละลาย ปริมาณของเอนไซม์และสารช่วยเปียก จากนั้นศึกษาสมบัติของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรก ได้แก่ ความสามารถในการดูดซึมน้ำ ระดับเพกทินบนผ้า ความสามารถในการย้อมติดสี ความขาว น้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป และความแข็งแรงของผ้า และทำเปรียบเทียบกับการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้เอนไซม์ทางการค้าอีกชนิดหนึ่ง Scourzyme L ซึ่งเป็นเอนไซม์เพกทิเนสที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝ้าย (Cotton)

ฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่มีความสำคัญและมีการใช้งานกว้างขวางมากที่สุด ฝ้ายเป็นพืชใบเลี้ยงคู่ชนิดไม้พุ่มเมื่อฝ้ายแก่และแห้งจะให้เส้นใยจากเมล็ดและปุยฝ้าย ขั้นตอนการผลิตเส้นใยฝ้ายนั้นจะนำเมล็ดฝ้าย (สมอฝ้าย) มาผ่านกระบวนการหีบฝ้ายเพื่อแยกเส้นใยและเมล็ดออกจากกันจะได้ส่วนที่เป็นเส้นใยหรือขนที่มีลักษณะเป็นปุย จากนั้นจะนำเส้นใยไปอัดเป็นเบล (bale) เพื่อนำไปผ่านกระบวนการปั่นด้ายและผลิตเป็นเส้นด้ายฝ้ายต่อไป เนื่องจากฝ้ายสามารถเจริญเติบโตได้ในหลายพื้นที่ของโลก ทำให้เส้นใยฝ้ายมีความแตกต่างกันอย่างมากขึ้นอยู่กับแหล่งเพาะปลูก โดยคุณภาพของเส้นใยฝ้ายขึ้นกับความขาว ความยาว ความละเอียด ตลอดจนความแข็งแรง โดยปกติเส้นใยยิ่งยาวมากยิ่งมีความละเอียดและมีความแข็งแรงสูง เส้นใยที่นำไปปั่นเป็นเส้นด้ายต้องมีความยาวเหมาะสม อาจปั่นเป็นเส้นด้ายฝ้าย 100% หรือผสมกับเส้นใยอื่นๆ ได้แทบทุกชนิด [1,2]

2.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ

ฝ้ายเป็นเส้นใยสั้น (staple fibres) มีลักษณะภายนอกหยาบและค่อนข้างแบน มีการบิดเป็นเกลียวในทิศทางต่างกันเป็นระยะๆ แต่มีขนาดที่สม่ำเสมอตลอดเส้นใย ส่วนลักษณะภาคตัดขวางคล้ายเมล็ดถั่ว ถ้าตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าประกอบด้วย 3 ส่วน คือ เยื่อหุ้มชั้นนอก ผนังเซลล์ และช่องว่างตรงกลาง [3]

2.1.1.1 **เยื่อหุ้มชั้นนอก** (cuticle) เป็นเยื่อหุ้มบางๆ หุ้มภายนอกเส้นใยทั้งหมด ประกอบด้วยขี้ผึ้ง เพกทิน และแร่ธาตุอื่นๆ

2.1.1.2 **ผนังเซลล์** (cell wall) ประกอบด้วยผนังชั้นนอก และผนังชั้นใน

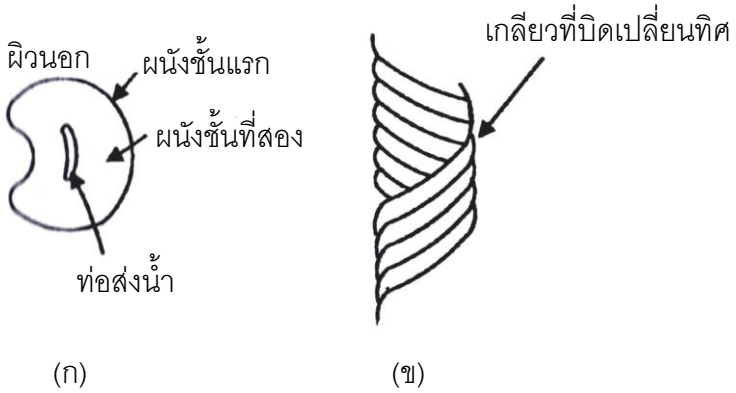
ผนังชั้นนอก (primary wall) มีเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยไฟบริล (fibrils) เส้นเล็กๆ มีความต้านทานต่อกรดและสารเคมีทั่วไป [4]

ผนังชั้นใน (secondary wall) อยู่ชิดกับผนังชั้นนอก เป็นผนังรูปวงแหวนซ้อนกันเป็นชั้นๆ ประกอบด้วยไฟบริลเล็กๆ เรียงตัวอยู่ในวงแหวนแต่ละรอบ มีขนาดไม่เท่ากัน

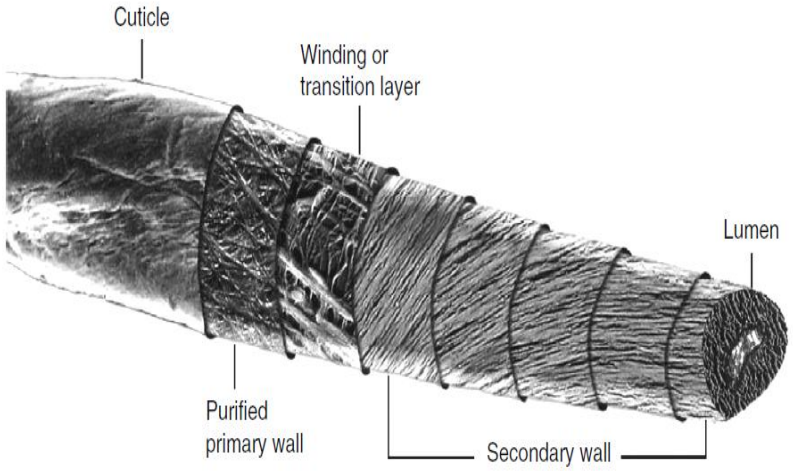
ผนังชั้นนอกและผนังชั้นใน จะมีใยเรียงตัวกันเป็นวงแหวนล้อมรอบลูเมนซึ่งอยู่ตรงกลาง วงแหวนนี้แสดงอายุของเส้นใย ฝ้ายที่แก่จะมีผนังชั้นในหนา

2.1.1.3 **ลูเมน** (lumen) คือช่องว่างตรงกลางภายในเซลล์มีลักษณะเป็นโพรง ใยฝ้ายสดที่อยู่ในเมล็ดฝ้ายจะมีน้ำอยู่ภายในลูเมนทำให้เส้นใยพองตัวตรง เมื่อเมล็ดฝ้ายแตกออก น้ำภายในลูเมน

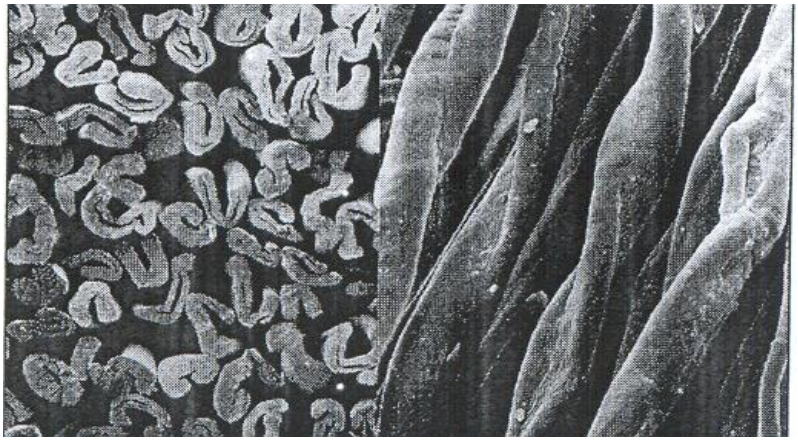
ระเหยออกมาเกิดเป็นโพรงอากาศตรงช่องว่างลูเมน อากาศภายนอกกดดันให้โพรงอากาศแฟบลง เส้นใยแฟบและบิดตัว เมื่อเส้นใยแก่ตัวลงบริเวณลูเมนและช่องเล็กๆ ในผนังเซลล์จะยุบตัวลงทำให้ใยฝ้ายบิดตัวเป็นเกลียวมากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีเมื่อนำเส้นใยฝ้ายไปปั่นเป็นเส้นด้าย คือ ปั่นได้ง่าย เพราะเกลียวของเส้นใยทำให้เส้นใยยึดเกาะกันได้ดี



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย (ก) ตามภาคตัดขวางและ (ข) ตามความยาว [1]



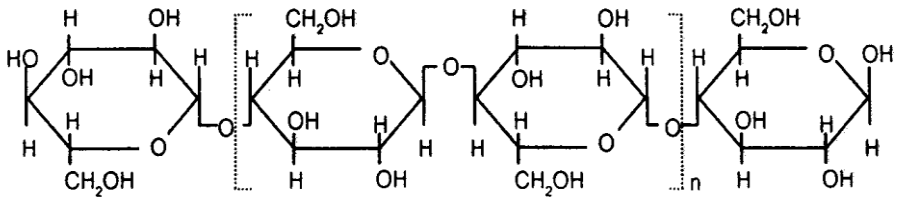
ภาพที่ 2.2 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย [5]



ภาพที่ 2.3 เส้นใยฝ้ายดิบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [6]

2.1.2 **โครงสร้างทางเคมี**

ฝ้ายจัดเป็นเส้นใยประเภทเซลลูโลสที่มีองค์ประกอบทางเคมีประกอบด้วยธาตุหลัก คือ คาร์บอนร้อยละ 44.4 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.2 และออกซิเจนร้อยละ 49.4 มีโครงสร้างประกอบด้วยหน่วยขั้นพื้นฐานเรียกว่า anhydro-D-glucose ($C_6H_{10}O_5$) ต่อกันเป็นสายโซ่โมเลกุลยาว ซึ่งในแต่ละหน่วยของกลูโคสประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลทั้งหมด 3 หมู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 โดยกลูโคสแต่ละหน่วยมาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 ของกลูโคสคนละหน่วย ลักษณะการเรียงตัวเป็นสายโซ่โมเลกุลยาวนี้ทำให้ฝ้ายมีความแข็งแรงสูงตามไปด้วย ในกรณีของฝ้ายมีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 100,000 ไปจนถึง 1-2 ล้าน น้ำหนักโมเลกุลนี้โดยทั่วไปมักคำนวณในลักษณะของค่าเฉลี่ยหน่วยย่อยที่เป็นกลูโคสแล้วคูณด้วยหน่วยย่อยที่ซ้ำกัน ทำให้เขียนสูตรทางเคมีได้เป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ โดย n คือ ค่าระดับขั้นของการเกิดพอลิเมอร์ [1]



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างทางเคมีของโมเลกุลเซลลูโลส [1]

2.1.3 **สมบัติทางกายภาพ**

ลักษณะภายนอก ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะคล้ายหลอดแบนบิดขวั้นกันเป็นเกลียว พื้นที่หน้าตัดเป็นเม็ดถั่วตรงกลางเป็นรูซึ่งเกิดจากท่อส่งน้ำตามแกนกลางของเส้นใย ส่วนผิวของเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง

ความยาวเส้นใย เส้นใยแต่ละเส้นมีความยาวอยู่ในช่วง 1/8-2 1/2 นิ้ว (3-63 มิลลิเมตร) โดยทั่วไปฝ้ายใยยาวมีความแข็งแรงมากกว่าฝ้ายใยสั้น

สี ปกติฝ้ายมีสีขาว บางชนิดอาจพบเป็นสีครีมหรือสีน้ำตาล

ความมัน โดยธรรมชาติฝ้ายมีความมันเงาน้อย ยกเว้นกรณีที่ผ่านการทำเมอร์เซอไรส์แล้ว ฝ้ายจะมีความมันเงาดีขึ้น

ความแข็งแรง ฝ้ายเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงปานกลาง ความทนต่อแรงดึง ณ จุดขาดมีค่าประมาณ 3.0-5.0 กรัมต่อดีเนียร์ เมื่อเปียกน้ำฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อยละ 10-20 ฝ้ายที่ผ่านกระบวนการเมอร์เซอไรส์แล้วความแข็งแรงจะสูงขึ้น โดยทั่วไปความแข็งแรงของฝ้ายจะแปรตามความยาวของเส้นใยเมื่อนำมาตีเกลียวเป็นเส้นด้าย เส้นใยยาวจะมีจุดสัมผัสและการเกาะกันของเส้นใยมากกว่าเส้นใยสั้น ทำให้เกิดแรงเสียดทานได้มากกว่า ส่งผลให้การทนต่อแรงดึงสูงขึ้น

การยืดตัว เป็นเส้นใยที่มีการยืดตัวดีกว่าลินิน แต่ต่ำกว่าไหมและขนสัตว์ เกลียวฝ้ายที่เกิดตามธรรมชาติทำให้มีการยืดตัวที่ดี และนำมาปั่นเป็นด้ายได้ง่ายสามารถยืดตัวได้ประมาณร้อยละ 3-7

การคืนตัวจากแรงอัด ฝ้ายมีความสามารถในการคืนตัวภายหลังที่ถูกกดทับได้ต่ำ เกิดการยับได้ง่าย ในปัจจุบันมีการตกแต่งสำเร็จหลายวิธีที่จะช่วยให้ปัญหาของการยับลดลงในลักษณะที่เรียกกันว่า wrinkle-free

การดูดซึมความชื้น ที่ภาวะมาตรฐานอุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 ฝ้ายมีความสามารถในการดูดซึมความชื้นได้สูงถึงร้อยละ 7-10 และความแข็งแรงของฝ้ายสูงขึ้นเมื่อเปียก

ความร้อน ฝ้ายทนต่อความร้อนได้ดี อุณหภูมิที่ใช้ในการรีดอาจสูงถึง 204-218 องศาเซลเซียส ในระยะเวลาสั้นๆ ฝ้ายเริ่มไหม้และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 246 องศาเซลเซียส และถ้าสูงกว่านั้นฝ้ายอาจถูกทำลายได้

การติดไฟ ฝ้ายติดไฟได้ง่ายและลุกไหม้อย่างรวดเร็ว

ความถ่วงจำเพาะ 1.5

2.1.4 **สมบัติทางเคมี**

กรด กรดอินทรีย์ เช่น กรดน้ำส้มไม่เป็นอันตรายต่อฝ้าย แต่ถ้าเป็นกรดประเภทกรดกำมะถัน หรือกรดไฮโดรคลอริกจะละลายฝ้ายเป็นยางเหนียว และถ้าถูกกรดไนตริกทำปฏิกิริยาได้เซลลูโลสไนเทรตมีสมบัติเป็นวัตถุระเบิด

ด่าง ฝ้ายทนต่อสารละลายด่างได้ดี แม้ด่างแก่ที่ใช้ในการซักล้างก็ไม่มีผลต่อสมบัติของฝ้าย นอกจากนั้นแล้วด่างที่เป็นสารเคมีหลักในการทำเมอร์เซอไรส์กลับทำให้ฝ้ายมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น

สารละลายอินทรีย์ ฝ้ายสามารถซักแห้งได้ เนื่องจากมีความทนทานต่อสารละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ได้ดีมาก

สารซักฟอก สารซักฟอกโดยทั่วไปที่มีขายในท้องตลาดชนิดที่ฤทธิ์ไม่รุนแรงมากนักสามารถใช้ซักฟอกฝ้ายได้ แต่ต้องระวังเรื่องของความเข้มข้นและระยะเวลา ประกอบกับภายหลังการซักฟอกแล้วควรทำการล้างน้ำสะอาดออกให้หมด สารซักฟอกประเภทออกซิไดส์ที่มีฤทธิ์รุนแรง เช่น โปแตสเซียมเปอร์แมงกาเนต และโซเดียมไฮโปคลอไรด์ มีผลทำให้ฝ้ายเกิดปฏิกิริยาทางเคมีกลายเป็นสภาพที่เรียกว่า ออกซีเซลลูโลส (oxycellulose) ที่มีสมบัติอ่อนแอกว่าฝ้ายปกติ ขาดง่ายเมื่อเปียก และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

ราและแมลง ปกติผ้าฝ้ายทอเกิดราได้ง่าย เนื่องจากแป้งที่ตกค้างมาจากการลงแป้งทำให้เป็นปัจจัยต่อการเจริญเติบโตของรา ปัญหานี้แก้ได้โดยการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายภายหลัง สำหรับแมลงก็เช่นเดียวกันเป็นปัญหาสืบเนื่องจากแป้งที่ตกค้างในฝ้ายมากกว่าสืบเนื่องจากเส้นใยฝ้ายเอง

แสง ฝ้ายถูกแสงแดดทำให้เกิดการออกซิไดส์เป็นออกซีเซลลูโลสเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและเสื่อมคุณภาพลง ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้งานของฝ้ายไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง

การย้อมสี สามารถรับสีย้อมได้หลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ สีแวต สีไดเรกท์ และสีเบสิก

2.1.5 **ส่วนประกอบของฝ้ายดิบ**

ฝ้ายดิบนอกจากจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักแล้ว ยังประกอบด้วยขี้ผึ้ง (waxes) ไขมัน (fats) น้ำมัน (oils) เพกทิน (pectin) โปรตีน (proteins) กรดอินทรีย์ (organic acids) แร่ธาตุ (minerals) และสารสี (coloring matter) ส่วนประกอบของเส้นใยฝ้ายดิบแสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบของเส้นใยฝ้ายดิบที่แห้ง [7,4]

องค์ประกอบ	ส่วนประกอบที่สำคัญของเส้นใยฝ้าย (เปอร์เซ็นต์)			ส่วนประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มชั้นนอก (เปอร์เซ็นต์)
	ค่าทั่วไป	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	
เซลลูโลส	94	88.0	96	
โปรตีน	1.3	1.1	1.9	30.4
เพกทิน	0.9	0.7	1.2	19.5
ขี้ผึ้งและน้ำมัน	0.6	0.4	1.0	17.4
แร่ธาตุ	1.2	0.7	1.6	6.5
กรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ	0.8	0.5	1.0	
น้ำตาล	0.3			
คิวทิน				8.7
อื่นๆ	0.9			

2.1.6 การใช้งาน

ฝ้ายมีสมบัติเด่นมากมาย ทั้งด้านความแข็งแรง ความทนทาน ความสามารถในการดูดความชื้น การใช้งานหลากหลาย สามารถนำใยฝ้ายมาปั่นเป็นเส้นด้ายได้แทบทุกระดับของความละเอียด และทอเป็นผ้าได้ทุกโครงสร้าง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากฝ้ายเป็นที่นิยมและใช้กันมาตลอด มีผลิตภัณฑ์มากมายที่ไม่สามารถใช้เส้นใยชนิดอื่นมาผลิตทดแทนเส้นใยฝ้ายได้ เช่น กางเกงยีนส์ ผ้าปลอกหมอน ผ้าคลุมเตียง เป็นต้น นอกจากนี้ฝ้ายยังสามารถใช้ผสมร่วมกับเส้นใยชนิดอื่นทั้งใยธรรมชาติและใยสังเคราะห์ ที่รู้จักกันกว้างขวางคือการผสมเส้นใยฝ้ายกับเส้นใยพอลิเอสเทอร์สำหรับการผลิตผ้า T/C คือการผสมแบบมาตรฐานระหว่างพอลิเอสเทอร์กับฝ้ายในอัตราส่วน 65 ต่อ 35 ตามลำดับ

นอกจากนี้ยังสามารถตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายเพื่อให้มีสมบัติเหมาะกับการใช้งานมากขึ้น ได้แก่ การตกแต่งด้วยการชุบด่าง (mercerization) เพื่อทำให้ฝ้ายมีความเหนียว ความมัน ดูดสีย้อมได้ดี การตกแต่งเพื่อให้ผ้าไม่หด โดยวิธีการดึงผ้าให้ตึงเคลื่อนผ่านลูกกลิ้งร้อน (compressive shrinkage)

2.2 **เอนไซม์** (Enzyme)

เอนไซม์เป็นสารอินทรีย์ประเภทโปรตีน ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ (biocatalyst) เอนไซม์มีความสำคัญมากต่อสิ่งมีชีวิตไม่ว่าจะเป็นมนุษย์ สัตว์ พืช และจุลินทรีย์ เพราะกระบวนการต่างๆ เช่น การสังเคราะห์สารอาหาร การย่อยสลายสารอาหาร การสร้างพลังงาน เป็นต้น ในสิ่งมีชีวิตจะเกิดขึ้นได้ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาและทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ โดยเอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาในสิ่งมีชีวิตได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงภายใต้ภาวะที่ไม่รุนแรงและเมื่อปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์สิ้นสุดลงแล้วเอนไซม์จะยังคงมีปริมาณและสมบัติเหมือนเดิม สามารถนำมาใช้ใหม่ได้อีก เอนไซม์ต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ คือเอนไซม์มีความจำเพาะต่อปฏิกิริยาหรือต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยาชนิดใดชนิดหนึ่งเท่านั้น ทำให้สามารถควบคุมปฏิกิริยาต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

2.2.1 **ประวัติการศึกษาเอนไซม์** [8]

คำว่า “เอนไซม์” ถูกตั้งขึ้นในปี ค.ศ. 1876 โดย Kuhne ซึ่งแปลว่า “in yeast” การตั้งชื่อดังกล่าวเนื่องจากมีผู้ศึกษาเรื่องการหมักของยีสต์กันมากในช่วงนั้น โดยในปี ค.ศ. 1857 Liebig และ Pasteur กล่าวว่าการหมักจะเกิดได้ในเซลล์ยีสต์เท่านั้น แต่ต่อมาในปี ค.ศ. 1897 Buchner พบว่าการผลิตแอลกอฮอล์จากน้ำตาลเกิดขึ้นได้ในสภาวะปลอดเซลล์โดยใช้สารสกัดจากเซลล์ยีสต์ ซึ่งการค้นพบเหล่านี้เป็นการยืนยันว่าเอนไซม์ทำงานนอกเซลล์ได้

ในปี ค.ศ. 1894 Fischer พบว่าเอนไซม์มีความจำเพาะและมีธรรมชาติเป็นโปรตีน ในปี ค.ศ. 1926 Sumner เป็นผู้เสนอว่าเอนไซม์คือโปรตีนอย่างง่ายโดยการสกัดและตกผลึกเอนไซม์ยูรีเอส (urease) จากถั่ว แต่อย่างไรก็ตามเอนไซม์ที่สกัดได้ยังไม่บริสุทธิ์ จึงสรุปไม่ได้อย่างชัดเจนว่าเอนไซม์คือโปรตีน จนในปี ค.ศ. 1935 ผลงานของ Northrop และ Kunitz ซึ่งได้แยกเอนไซม์เพปซิน (pepsin) ออกมาในรูปผลึก และทำให้สรุปได้อย่างแน่ชัดว่าเอนไซม์คือโปรตีน

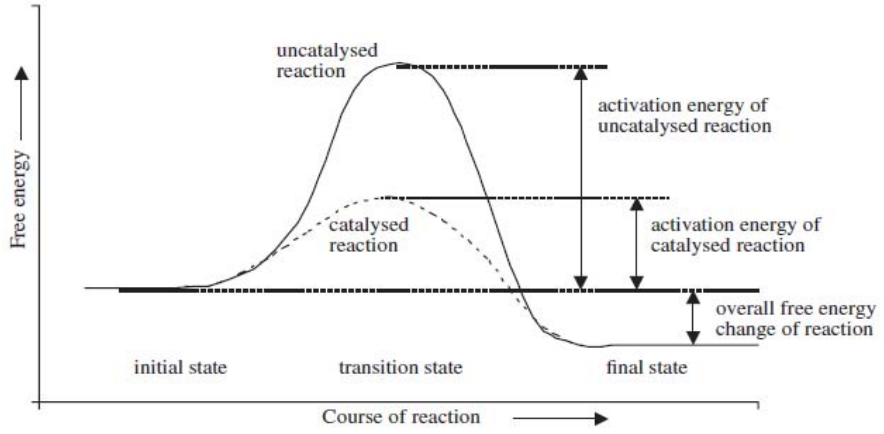
2.2.2 **โครงสร้างของเอนไซม์**

เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีลักษณะเป็นก้อนกลม (globular proteins) โดยเอนไซม์เกิดจากการทำปฏิกิริยาเคมีของกรดอะมิโน (amino acids) ต่างๆ เชื่อมต่อกันด้วยพันธะเปปไทด์กลายเป็นสายพอลิเปปไทด์ (polypeptide) ประกอบกันเป็นเอนไซม์ โดยเอนไซม์บางชนิดประกอบด้วยสายพอลิเปปไทด์เพียงสายเดียว และบางชนิดประกอบด้วยพอลิเปปไทด์หลายสาย มีน้ำหนักโมเลกุลราว 10,000 ถึง 2,000,000 เอนไซม์บางชนิดไม่ได้ประกอบด้วยสารโปรตีนล้วนๆ แต่มีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โปรตีนช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้ เรียกเอนไซม์เหล่านี้ว่า โฮโลเอนไซม์

(holoenzyme) โดยส่วนที่เป็นโปรตีนซึ่งไม่สามารถทำงานตามลำพังได้ เรียกว่า แอโพเอนไซม์ (apoenzyme) และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนแต่ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้เรียกว่า โคแฟคเตอร์ (cofactor) โดยโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์อาจเป็นไอออนของโลหะ เช่น Zn^{2+},Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+} อื่นๆ หรืออาจเป็นสารประกอบอินทรีย์ก็ได้ ถ้าส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนนี้จับกับเอนไซม์อย่างเหนียวแน่นเมื่อช่วยเอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาแล้วไม่หลุดออกมา เรียกหมู่นี้ว่า หมู่พรอสทีติก (prosthetic) แต่โคแฟคเตอร์ที่จับกับเอนไซม์อย่างหลวมๆ และจะแยกออกจากเอนไซม์ได้เมื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาแล้ว เรียกว่า โคเอนไซม์ (coenzyme) ได้แก่ พวกวิตามินเป็นส่วนใหญ่ [9]

2.2.3 การทำงานของเอนไซม์

เอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาเคมีทางชีวภาพ เอนไซม์สามารถเร่งหรือเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น โดยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาลง ดังนั้นจึงทำให้เอนไซม์สามารถเร่งการเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ เช่น อุณหภูมิห้อง หรืออุณหภูมิร่างกาย เป็นต้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เอนไซม์เป็นตัวเร่งจะเพิ่มขึ้นถึง 10^{5}- 10^{17} เท่า เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาที่เกิดโดยไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดลงเอนไซม์จะไม่แตกสลายหรือเปลี่ยนแปลงไป และพร้อมทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาต่อไปได้อีก [8]



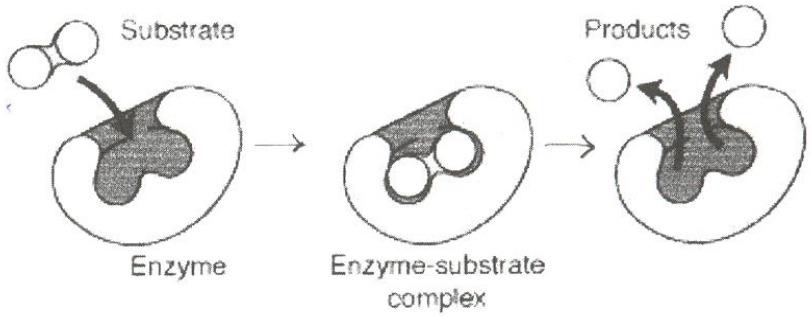
ภาพที่ 2.5 การเปลี่ยนแปลงพลังงานของปฏิกิริยาเคมีที่ไม่มีตัวเร่งและมีตัวเร่ง [10]

เอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาอื่นๆ คือเอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยาซึ่งเรียกว่า ซับสเตรต (substrate) เอนไซม์มีความสามารถในการแยกความแตกต่างของซับสเตรตออกจากสารอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันได้ เช่น เอนไซม์ซูเครส (sucrase) จะจำเพาะต่อซูโครส (sucrose) แต่ไม่จำเพาะต่อน้ำตาลโมเลกุลคู่อื่นๆ เช่น มอลโทส

(maltose) ทั้งนี้เนื่องจากเอนไซม์เป็นโปรตีนชนิดหนึ่ง และโปรตีนแต่ละชนิดมีโครงสร้าง 3 มิติที่มีรูปแบบเฉพาะตัว ดังนั้นความจำเพาะของเอนไซม์ต่อซับสเตรตจึงเป็นผลมาจากรูปร่างของเอนไซม์

โมเลกุลของเอนไซม์มีตำแหน่งที่เรียกว่า บริเวณเร่ง (active site) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ซับสเตรตเข้าจับ และกระตุ้นให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของเอนไซม์เพียงเล็กน้อยเพื่อให้มีการจับได้ดีขึ้น หลังจากซับสเตรตเข้าจับที่ active site จะเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนเอนไซม์กับซับสเตรต (enzyme-substrate complex) โดยการจับกันจะอาศัยพันธะทางเคมี เช่น พันธะไฮโดรเจน พันธะไอออนิก เป็นต้น ส่วน side chain ของ active site จะเร่งการเปลี่ยนสารตั้งต้นให้เป็นผลิตภัณฑ์ จากนั้นผลิตภัณฑ์จะหลุดออกจาก active site ทำให้เอนไซม์สามารถจับกับซับสเตรตได้อีก [11]

$$\text{Enzyme} + \text{Substrate} \longleftrightarrow \text{Enzyme-Substrate Complex} \longrightarrow \text{Enzyme} + \text{Product}$$



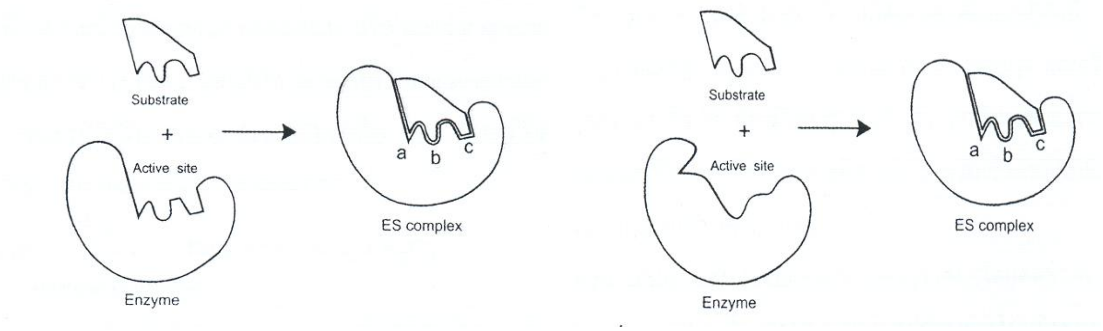
ภาพที่ 2.6 กลไกการทำงานของเอนไซม์ [12]

การที่เอนไซม์มีความจำเพาะเจาะจงสูงสามารถอธิบายได้โดยอาศัยทฤษฎีดังนี้ [13]

<u>ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ</u> (The lock and key theory) เสนอโดย อีมิล ฟิชเชอร์ (Emil Fischer) อธิบายว่าแต่ละโมเลกุลของเอนไซม์จะต้องมีโครงรูปที่บริเวณ active site เฉพาะเจาะจงกับซับสเตรต ทำให้ซับสเตรตเข้ามาสวมได้พอดีที่บริเวณ active site เหมือนกับการที่ลูกกุญแจสวมเข้าพอดีกับแม่กุญแจ ซึ่งทฤษฎีนี้แสดงถึงสภาพแข็งแกร่ง (rigidity) ของบริเวณ active site ของเอนไซม์

<u>ทฤษฎีเหนี่ยวนำให้เหมาะสม</u> (Induced-fit theory) เสนอโดยคอชแลนด์ (Koshland) ทฤษฎีนี้แสดงถึงความยืดหยุ่นและลักษณะไม่แข็งของเอนไซม์บางชนิดที่บริเวณ active site ซึ่งอธิบายว่าเมื่อซับสเตรตเข้าไปจับที่ active site ของเอนไซม์ จะเหนี่ยวนำให้เอนไซม์เปลี่ยนโครงรูป

ให้เหมาะสมทำให้การจับกันระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรตดีขึ้น และทำให้เอนไซม์ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาได้ผลผลิต



(ก) (ข)

ภาพที่ 2.7 การจับกันระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรต [13]
(ก) ทฤษฎีแม่กุญแจและลูกกุญแจ
(ข) ทฤษฎีเหนี่ยวนำให้เหมาะสม

2.2.4 **การจำแนกชนิดของเอนไซม์** [14]

เอนไซม์แบ่งได้เป็น 6 กลุ่ม ตามลักษณะปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ดังนี้

1. **ออกซิโดรีดักเทส** (oxidoreductase) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน เช่น เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) และออกซิเดส (oxidase)

2. **ทรานสเฟอเรส** (transferase) เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาการโยกย้ายหมู่บางหมู่ในซับสเตรต คือ หมู่ amino, carboxyl, methyl, glycosyl เช่น เอนไซม์เมธิลทรานสเฟอเรส (methyltransferase) และ ทรานสคีโตเลส (transketolase)

3. **ไฮโดรเลส** (hydrolase) เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ในซับสเตรตโดยการทำลายพันธะเดี่ยวต่างๆ เช่น C-C, C-O, C-N และอื่นๆ เช่น เอนไซม์เซลลูเลส (cellulase) ไลเพส (lipase) เพกทิเนส (pectinase) โพรทิเอส (protease)

4. **ไลเอส** (lyase) เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาสลายพันธะเคมีบางชนิดบนซับสเตรต คือพันธะ C-C, C-N, C-O และอื่นๆ เช่น เอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส (decarboxylase) แอลโดเลส (aldolase) และดีไฮดราเทส (dehydratase)

5. **ไอโซเมอเรส** (isomerase) เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนชนิดของไอโซเมอร์ (isomer) เช่น เอนไซม์ไอโซเมอเรส (isomerase) อีพิเมอเรส (epimerase) มิวเทส (mutase)

6. **ไลเกส** (ligase) หรือ ซินเทเตส (synthetase) เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยาระหว่างซับสเตรต 2 โมเลกุล คือสร้างพันธะระหว่าง C-O, C-S, C-N, C-C และอื่นๆ โดยควบคู่กับปฏิกิริยาที่มีการสลาย ATP เช่น เอนไซม์ไพรูเวต คาร์บอกซิเลส (pyruvate carboxylase)

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ [14]

ปฏิกิริยาของเอนไซม์จะดำเนินไปได้อย่างไรขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ ดังนี้

2.2.5.1 อุณหภูมิ

เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่ทำงานได้ดีที่สุด (optimum temperature) โดยทั่วๆ ไปจะอยู่ที่ประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปปฏิกิริยาจะลดลง ทั้งนี้เพราะเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติด้วยความร้อน (thermal denaturation) ทำให้โครงสร้างของเอนไซม์ถูกทำลาย จึงเข้ารวมกับซับสเตรตไม่ได้

2.2.5.2 ความเป็นกรดเป็นเบส (พีเอช)

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

2.2.5.3 ปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์

เนื่องจากสมบัติในการเป็นตัวเร่งของเอนไซม์ เพราะฉะนั้นอัตราเร็วของปฏิกิริยาจึงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเอนไซม์ เมื่อเอนไซม์มีปริมาณมากจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าเอนไซม์มีมากเกินพอความเร็วของปฏิกิริยาจะไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากไม่มีซับสเตรตเหลือให้เอนไซม์ที่มากเกินพอเข้าทำปฏิกิริยาด้วย

2.2.5.4 ปริมาณความเข้มข้นของซับสเตรต

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรตอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าที่ความเข้มข้นของซับสเตรตน้อยๆ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นด้วยอัตราเร็วเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของซับสเตรตที่เพิ่มขึ้น แต่ถ้าเพิ่มซับสเตรตมากเกินไปปฏิกิริยาก็จะไม่เกิดเร็วขึ้น ทั้งนี้เพราะปริมาณของเอนไซม์ไม่เพียงพอที่จะทำปฏิกิริยากับซับสเตรต

2.2.6 เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยด้านสิ่งทอ

2.2.6.1 เพกทิเนส

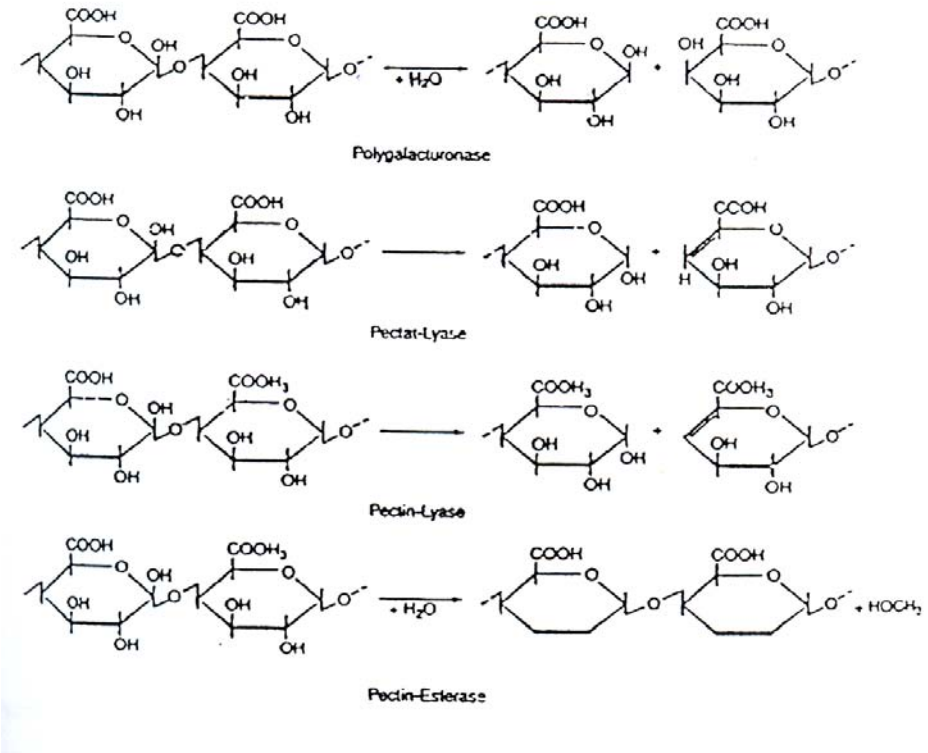
เพกทิเนสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยสลายเพกทิน โดยทั่วไปเอนไซม์เพกทิเนสประกอบด้วย polygalacturonase, pectin esterase, pectate lyase และ pectin lyase [8] เอนไซม์เพกทิเนสทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ polygalacturonic acid ในเพกทิน โดยการเปลี่ยน polygalacturonic acid ให้เป็น galacturonic acid monomer โดยมีกลไกดังนี้

- polygalacturonase เร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพันธะไกลโคซิดิกที่อยู่ถัดจากหมู่คาร์บอกซิลโดยการใช้น้ำ

- pectate lyase เร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพันธะไกลโคซิดิกที่อยู่ถัดจากหมู่คาร์บอกซิลโดยไม่ใช้น้ำ

- pectin lyase เร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสพันธะไกลโคซิดิกที่อยู่ถัดจากหมู่เมทิลเอสเทอร์โดยปฏิกิริยา beta-elimination

- pectin esterase เร่งการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสหมู่เมทิลเอสเทอร์ออกจากเพกทินโดยการใช้น้ำ และเปลี่ยนรูปเพกทินไปเป็น low methoxyl pectin และ pectate



ภาพที่ 2.8 ปฏิกิริยา ester hydrolysis และปฏิกิริยา depolymerization ของเพกทิน [15]

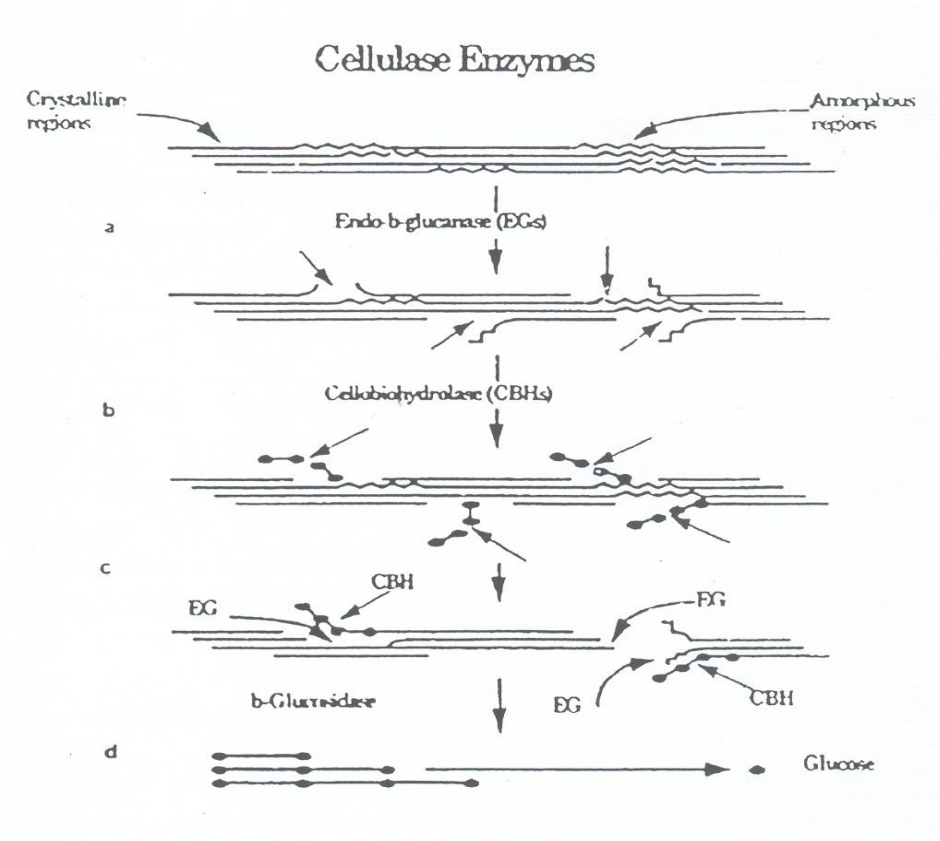
2.2.6.2 **เซลลูเลส**

เซลลูเลสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลส โดยส่วนใหญ่จะผลิตจากราหรือแบคทีเรีย มีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ endoglucanase cellobiohydrolase และ beta-glucosidase ส่วนประกอบต่างๆ เหล่านี้จะทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสเซลลูโลสให้กลายเป็นกลูโคส [8] ซึ่งมีกลไกการทำงานดังนี้

- endoglucanase จะเข้าไปที่ส่วนอสัณฐานของสายโซ่เซลลูโลสและเร่งการไฮโดรไลซ์เซลลูโลสที่ตำแหน่งออกซิเจนที่เชื่อมระหว่างวงแหวนกลูโคส ทำให้สายโซ่เปิดออกเป็นปลายโซ่ (chian end)

- cellobiohydrolase เข้าไปที่ปลายโซ่เร่งการไฮโดรไลซ์ให้เกิดเป็น cellobiose ส่วนใหญ่ และเป็นโมเลกุลเล็กอื่นๆ บ้าง

- beta-glucosidase จะไปเร่งการไฮโดรไลซ์ cellobiose ให้เป็นกลูโคส



ภาพที่ 2.9 กลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส [16]

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ธีระดล รุ่งเรืองกิจไกร [17] ศึกษาการใช้เอนไซม์ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนเส้นด้ายและผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด คือ ไลเพส โพรทิเอส และเพกทิเนส จากผลการทดลองพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกทิเนสสามารถกำจัดสิ่งสกปรกออกได้มาก ผ้ามีความสามารถในการดูดซึมน้ำได้ทันที แต่การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเพสเดี่ยวๆ หรือเอนไซม์ไลเพสร่วมกับโพรทิเอสไม่สามารถทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้เนื่องจากยังมีสิ่งสกปรกหลงเหลืออยู่มาก ผ้าและเส้นด้ายที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์มีการสูญเสียน้ำหนักต่ำกว่าผ้าและเส้นด้ายที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยที่ผ้าทอมีการสูญเสียน้ำหนักต่ำสุดเนื่องจากสิ่งสกปรกบนผ้าบางส่วน เช่น ขี้ผึ้ง น้ำมัน เพกทินและอื่นๆ ได้ถูกกำจัดออกไปบ้างในระหว่างการลอกแป้งก่อนหน้านี้ การกำจัดสิ่งสกปรกทั้งสองวิธีให้ความสามารถในการกำจัดเพกทินได้ใกล้เคียงกันคือมีปริมาณเพกทินบนผ้าประมาณ 10-11 กรัม/กิโลกรัมของผ้า โดยที่การใช้เอนไซม์ให้ประสิทธิภาพการกำจัดเพกทินสูงกว่าเล็กน้อย ความแข็งแรงของผ้าทอลายขัดและเส้นด้ายเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5-43 ในขณะที่ผ้าทอลายสองและผ้าถักเจอร์ซี่มีความแข็งแรงลดลงเล็กน้อยหลังจากการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส

ภูวดล กิจเจริญเสรี [18] ศึกษาการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้าย ผ้าพอลิเอสเทอร์ และผ้าฝ้ายผสมพอลิเอสเทอร์ ด้วยเอนไซม์ 3 ชนิด คือ เอนไซม์ไลเพส โพรทิเอส และเซลลูเลส จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไปทดสอบหาสมบัติต่างๆ และเปรียบเทียบผลกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ให้ผลใกล้เคียงกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผ้าที่ได้มีความสะอาด ดูดซึมน้ำได้ทันที มีความขาว และความนุ่มเพิ่มขึ้น ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ และด้วยเอนไซม์มีการสูญเสียน้ำหนักไปประมาณร้อยละ 1.0 และ 0.8 ตามลำดับ ผ้ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 5 เมื่อกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเพส โพรทิเอส และเซลลูเลส นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เอนไซม์ไลเพส โพรทิเอส และเซลลูเลสเดี่ยวๆ เพื่อกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชนิดต่างๆ ไม่สามารถทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ทันที แต่หากแบ่งการกำจัดสิ่งสกปรกออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าด้วยเอนไซม์ไลเพสหรือโพรทิเอสหรือไลเพสผสมโพรทิเอส แล้วตามด้วยเอนไซม์เซลลูเลสในขั้นตอนที่สองจะทำให้การกำจัดสิ่งสกปรกมีประสิทธิภาพดีมากขึ้นโดยทำให้ผ้าสามารถดูดซึมน้ำได้ทันที

Hebeish และคณะ [19] ศึกษาภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้าย และผ้าฝ้ายผสมพอลิเอสเทอร์ โดยการใช้เอนไซม์เพกทิเนสเดี่ยวๆ และการใช้เอนไซม์เพกทิเนสในขั้นตอนแรกแล้วตามด้วยการใช้เอนไซม์เซลลูเลสในขั้นตอนที่สอง จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่ง

สกปรกไปทดสอบสมบัติต่างๆ เช่น น้ำหนักผ้าที่หายไป ดัชนีความขาว ความสามารถในการดูดซึมน้ำ และความแข็งแรง เปรียบเทียบผลกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ให้ผลใกล้เคียงกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ แต่การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ทำให้ผ้าสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 6-11 ซึ่งมากกว่าการใช้เอนไซม์ที่มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 2-7 และพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนสร่วมกับเซลลูเลสทำให้ผ้ามีความสามารถในการดูดซึมน้ำดีที่สุด ผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักและความแข็งแรงสูงกว่าการใช้เอนไซม์เพกทิเนสเดี่ยวๆอยู่เล็กน้อย และผ้ามีความขาวใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ยังพบว่าการเติม EDTA และบีตา-ไซโคลเดกซ์ทริน จะทำให้ความสามารถในการกำจัดสิ่งสกปรกของเอนไซม์เพกทิเนสและเซลลูเลสเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ดีขึ้น ผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักและสูญเสียความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

Sangwatanaroj และคณะ [20] ศึกษาการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายถักและผ้าฝ้ายทอด้วยการใช้เอนไซม์หลายชนิดประกอบด้วยไลเพส โพรทิเอส เซลลูเลส และเพกทิเนส โดยการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยไลเพส โพรทิเอส และเซลลูเลสแบ่งขั้นตอนการกำจัดสิ่งสกปรกออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ไลเพสหรือโพรทิเอส หรือไลเพสร่วมกับโพรทิเอสในขั้นตอนที่หนึ่งแล้วตามด้วยการใช้เซลลูเลสในขั้นตอนที่สอง เปรียบเทียบผลการกำจัดสิ่งสกปรกกับการใช้เอนไซม์เพกทิเนสและการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และเอนไซม์เพกทิเนส ไลเพส โพรทิเอส และเซลลูเลส ทำให้ผ้ามีความสามารถในการดูดซึมน้ำและสีย้อมได้ดี สามารถขจัดเพกทินบนผ้าได้ดีทุกวิธี โดยผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณเพกทินบนผ้าสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนสอยู่เล็กน้อย และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเพส โพรทิเอส และเซลลูเลสมีปริมาณเพกทินต่ำสุด การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนสให้ผ้าที่มีความขาวเท่ากับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีค่า 3.4-23.2 และ 4.2-23.6 ตามลำดับ แต่มีค่าความขาวต่ำกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเพส โพรทิเอส และเซลลูเลสอยู่เล็กน้อย และพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเพส โพรทิเอส และเซลลูเลสทำให้ผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุดร้อยละ 10.80-17.30 นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้เอนไซม์ร่วมกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าได้ดีกว่าการใช้เอนไซม์ชนิดเดียว

Ahlawat และคณะ [21] ศึกษาการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้าย และผ้าไมโครพอลิเอสเทอร์ด้วยเอนไซม์เพกทิเนสจาก *Bacillus subtilis* และศึกษาผลของการเติม EDTA และสารช่วยเปียกโดยผันแปรความเข้มข้น พีเอช อุณหภูมิ เวลา และอัตราเร็วการเขย่า จากผลการทดลองกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนสร่วมกับ EDTA และสารช่วยเปียก พบว่าที่ความเข้มข้นเอนไซม์

เพกทิเนส 5 หน่วย/กรัม พีเอช 9.5 อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เวลา 180 นาที เป็นภาวะที่ดีที่สุดสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกโดยทำให้ผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักสุงสุด และผ้าฝ้ายมีการสูญเสียน้ำหนักสูงกว่าผ้าไมโครพอลิเอสเทอร์อยู่เล็กน้อยคือร้อยละ 1.65 และ 1.48 ตามลำดับ และพบว่าการใช้เอนไซม์เพกทิเนสร่วมกับ EDTA และสารช่วยเปียกจะทำให้ผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้เอนไซม์เพกทิเนสหรือ EDTA เดี่ยวๆ และความสามารถในการกำจัดสิ่งสกปรกจะสูงขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนสมีสมบัติในการดูดซึมน้ำดีขึ้น มีความขาว ความแข็งแรงต่อแรงดึง และการทนต่อการฉีกขาดเพิ่มขึ้น

Abdel-Halim และคณะ [22] ศึกษาการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าลินินด้วยเอนไซม์เพกทิเนสร่วมกับไลเพส เปรียบเทียบการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากผลการทดลองพบว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มีการดูดซึมน้ำดีกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเพกทิเนสร่วมกับไลเพส แต่การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะทำลายผ้าลินิน ซึ่งส่งผลให้ความแข็งแรงของผ้าลินินลดลง และมีการสูญเสียน้ำหนักไปประมาณร้อยละ 10 ในขณะที่การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์มีการสูญเสียน้ำหนักประมาณร้อยละ 2.5 และจากการดูลักษณะผิวหน้าของเส้นใยลินินด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าลักษณะผิวหน้าของเส้นใยลินินที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะถูกทำลายมากกว่าเส้นใยลินินที่ผ่านเอนไซม์เพกทิเนสร่วมกับไลเพส ทั้งนี้มีสาเหตุเนื่องมาจากโซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถทำลายทั้งเพกทินและเส้นใยลินิน ในขณะที่เพกทิเนสและไลเพสจะมีความจำเพาะเจาะจงต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยา คือ เพกทินและไขมันในผ้าลินิน ตามลำดับ โดยจะไม่ทำลายเส้นใยเซลลูโลสบนผ้าลินิน

บทที่ 3
การทดลอง

การทดลองนี้แสดงวิธีการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบโดยใช้เอนไซม์ทางการค้า 2 ชนิด เป็นสารในการกำจัดสิ่งสกปรก ชนิดแรกคือเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 ซึ่งปกติใช้ในการฟอกสีผ้ายีนส์และกำจัดขนบนผ้าใยเซลลูโลส แต่เนื่องจากมีแอคติวิตีของเพกทิเนสสูง จึงถูกนำมาลองใช้สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้าย เช่น เพกทิน ในงานวิจัยนี้ และทำการเปรียบเทียบกับการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้เอนไซม์อีกชนิดหนึ่งคือเอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L ซึ่งเป็นเอนไซม์เพกทิเนสที่ใช้สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกในอุตสาหกรรมสิ่งทอในปัจจุบัน ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกถูกทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานการทดสอบที่ระบุในบทนี้ และสุดท้ายนำผลการทดสอบมาสรุปหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิด

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 ผ้า

ผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผ้าฝ้ายดิบ 2 ชุด ที่ถักเป็นโครงสร้างแบบชั้นเดียว (single jersey) โดยชุดแรกเป็นผ้าเนื้อบาง และอีกชุดเป็นผ้าเนื้อหนา โดยมีน้ำหนักผ้าดังนี้

- ผ้าเนื้อบาง มีน้ำหนักผ้า 0.9665 กรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร
- ผ้าเนื้อหนา มีน้ำหนักผ้า 2.6297 กรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร

3.1.2 เอนไซม์

เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัย

เอนไซม์	ชื่อทางการค้า	เชื้อจุลินทรีย์	แอคติวิตี	ผู้ผลิต
เซลลูเลส	ANP-N300*	Aspergillus niger	70,000 Unit/ml	ANC Enzyme, Singapore
เพกทิเนส	Scourzyme L	Bacillus licheniformis	375 APSU (Alkaline Pectinase Standard Unit)/g **	Novozymes, Denmark

* พบว่ามีแอคติวิตีของเพกทิเนส 10750 หน่วย/มิลลิลิตร แอคติวิตีของเอนโดเซลลูเลส 4200 หน่วย/มิลลิลิตร และโปรตีน 703.79 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร วิเคราะห์โดยศูนย์พันธุวิศวกรรมละเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ

** 1 Unit ของแอคติวิตีของเอนไซม์ หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์ที่ใช้ในการเร่งปฏิกิริยาการเกิดผลิตภัณฑ์ uronide ไม่อิ่มตัว 1 ไมโครโมล/นาที

3.1.3 **สารเคมี**

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเกรดรีเอเจนต์ แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	ตัวแทนจำหน่าย
Disodium hydrogen orthophosphate	APS Ajax Finechem, Australia
Potassium dihydrogen orthophosphate	APS Ajax Finechem, Australia
nonionic wetting agent	-

3.1.4 **สีย้อม**

สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด แสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย

สีย้อม	ตัวแทนจำหน่าย
Methylene blue (basic dye)	APS Ajax Finechem, Australia
Benzopurpurine 4B (direct dye)	Tokyo Chemical Industry, Japan

3.2 **เครื่องมือและอุปกรณ์**

1. เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, pHTestr 20)
2. เครื่องย้อมแบบแช่ (Exhaustion dyeing machine, LABTEC, Model H-24M)
3. นาฬิกาจับเวลา (Stop watch, Citizen)
4. เครื่องชั่ง (Balance, Mettler Toledo, Model AB 204)
5. เครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared Moisture Balance, Model AD-4715)
6. เครื่องวัดสี (Macbeth reflectance spectrophotometer, COLOR-EYE 7000)
7. UV-Visible spectrophotometer, SPECORD, Model S 100
8. เครื่องวัดความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength tester P1000, Model SDL 229 B)
9. เครื่องตัดผ้าวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 11.3 เซนติเมตร (Sample Cutter, Jen-Haur Co., Ltd., Taiwan)

3.3 ขั้นตอนการทดลอง

การทดลองนี้แสดงการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส (ANP-N300) เปรียบเทียบกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส (Scourzyme L) โดยทำการทดลองหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรก เช่น พีเอช อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนผ้าต่อสารละลาย ปริมาณเอนไซม์ และปริมาณสารช่วยเปียก จากนั้นนำผ้าดิบและผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกไปทดสอบหาสมบัติต่างๆ รายละเอียดของการกำจัดสิ่งสกปรกและการทดสอบผ้ามีดังต่อไปนี้

3.3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส (ANP-N300)

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบน้ำหนัก 2 กรัม (ผ้าบางและผ้าหนา) ที่ภาวะต่างๆ โดยดัดแปลงจากภาวะการฟอกสีผ้ายีนส์และการกำจัดขนบนผ้าใยเซลลูโลสที่แนะนำโดยผู้ผลิตเอนไซม์และอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา คือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ 0.5-7 กรัม/ลิตร สารช่วยเปียก 0.5-1 กรัม/ลิตร ที่พีเอช 6.5 โดยใช้ Disodium hydrogen orthophosphate และ Potassium dihydrogen orthophosphate ซึ่งเตรียมที่ความเข้มข้น 0.033 โมล/ลิตร เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ปรับพีเอช อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:10-1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 5-60 นาที ในกระบอกสแตนเลสขนาด 400 มิลลิลิตร ของเครื่องย้อมแบบแช่ LABTEC (ดูภาพที่ 3.1) จากนั้นนำผ้าออกจากสารละลายแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ ล้างผ้าด้วยน้ำซ้ำอีกครั้งแล้วทำให้แห้ง แต่ละภาวะกระทำ 3 ซ้ำ ภาวะต่างๆ ที่ใช้สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบด้วยเอนไซม์ ANP-N300 แสดงดังตารางที่ 3.4

ภาพที่ 3.1 เครื่องย้อมแบบแช่ LABTEC

ตารางที่ 3.4 การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วยเอนไซม์ ANP-N300 ที่ภาวะต่างๆ

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ ANP-N300 (กรัม/ลิตร)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ		
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)
ผ้าบาง	1	0.5	0.5	1:50	60	6.5	60
	2	1	0.5	1:50	60	6.5	60
	3	0.5	1	1:50	60	6.5	60
	4	1	1	1:50	60	6.5	60
	5	3	1	1:50	60	6.5	60
	6	5	1	1:50	60	6.5	60
	7	0.5	1	1:50	60	6.5	5
	8	0.5	1	1:50	60	6.5	10
	9	0.5	1	1:50	60	6.5	15
	10	0.5	1	1:50	60	6.5	30
	11	0.5	1	1:50	60	6.5	45
	12	0.5	1	1:50	60	6.5	60
	13	0.5	1	1:10	60	6.5	10
	14	0.5	1	1:15	60	6.5	10
	15	0.5	1	1:20	60	6.5	10
	16	0.5	1	1:30	60	6.5	10
	17	0.5	1	1:40	60	6.5	10
	18	0.5	1	1:50	60	6.5	10
	19	0.5	1	1:50	50	6.5	15
	20	0.5	1	1:50	50	6.5	30
	21	0.5	1	1:50	50	6.5	45
	22	0.5	1	1:50	50	6.5	60

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ ANP-N300 (กรัม/ลิตร)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ		
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)
ผ้าบาง	23	0.5	1	1:15	50	6.5	45
	24	0.5	1	1:20	50	6.5	45
	25	0.5	1	1:30	50	6.5	45
	26	0.5	1	1:40	50	6.5	45
	27	0.5	1	1:50	50	6.5	45
ผ้าหนา	28	0.5	0.5	1:50	60	6.5	60
	29	1	0.5	1:50	60	6.5	60
	30	0.5	1	1:50	60	6.5	60
	31	1	1	1:50	60	6.5	60
	32	3	1	1:50	60	6.5	60
	33	5	1	1:50	60	6.5	60
	34	7	1	1:50	60	6.5	60
	35	0.5	1	1:50	60	6.5	5
	36	0.5	1	1:50	60	6.5	10
	37	0.5	1	1:50	60	6.5	15
	38	0.5	1	1:50	60	6.5	30
	39	0.5	1	1:50	60	6.5	45
	40	0.5	1	1:50	60	6.5	60
	41	0.5	1	1:10	60	6.5	10
	42	0.5	1	1:15	60	6.5	10
	43	0.5	1	1:20	60	6.5	10
	44	0.5	1	1:30	60	6.5	10
	45	0.5	1	1:40	60	6.5	10

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ ANP-N300 (กรัม/ลิตร)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ		
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)
ผ้าหนา	46	0.5	1	1:50	60	6.5	10
	47	0.5	1	1:50	50	6.5	15
	48	0.5	1	1:50	50	6.5	30
	49	0.5	1	1:50	50	6.5	45
	50	0.5	1	1:50	50	6.5	60
	51	0.5	1	1:15	50	6.5	45
	52	0.5	1	1:20	50	6.5	45
	53	0.5	1	1:30	50	6.5	45
	54	0.5	1	1:40	50	6.5	45
	55	0.5	1	1:50	50	6.5	45

3.3.2 **การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส** (Scourzyme L)

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบน้ำหนัก 2 กรัม (ผ้าบางและผ้าหนา) ในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เพกทิเนสความเข้มข้นร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักผ้า (0.12 กรัม/ลิตร) และสารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร ที่พีเอช 8 โดยใช้ Disodium hydrogen orthophosphate และ Potassium dihydrogen orthophosphate ซึ่งเตรียมที่ความเข้มข้น 0.033 โมล/ลิตร เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ปรับพีเอช อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:20-1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 10-60 นาที ในกระบอก สแตนเลสขนาด 400 มิลลิลิตร ของเครื่องย้อมแบบแช่ LABTEC จากนั้นนำผ้าออกจากสารละลายแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที เพื่อหยุดการทำงานของเอนไซม์ ล้างผ้าด้วยน้ำซ้ำอีกครั้งแล้วทำให้แห้ง แต่ละภาวะกระทำ 3 ซ้ำ ภาวะต่างๆ ที่ใช้สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบด้วยเอนไซม์ Scourzyme L แสดงดังตารางที่ 3.5 ในงานวิจัยนี้ดัดแปลงมาจากภาวะการกำจัดสิ่งสกปรกที่แนะนำโดยผู้ผลิตเอนไซม์และอ้างอิงจากงานวิจัยที่ผ่านมา

ตารางที่ 3.5 การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วยเอนไซม์ Scourzyme L ที่ภาวะต่างๆ

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ Scourzyme L (%นน.ผ้า)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ		
					อุณหภูมิ (ºC)	พีเอช	เวลา (นาที)
ผ้าบาง	1	0.6	1	1:20	60	8	30
	2	0.6	1	1:30	60	8	30
	3	0.6	1	1:40	60	8	30
	4	0.6	1	1:50	60	8	30
	5	0.6	1	1:50	60	8	10
	6	0.6	1	1:50	60	8	20
	7	0.6	1	1:50	60	8	30
	8	0.6	1	1:20	50	8	45
	9	0.6	1	1:30	50	8	45
	10	0.6	1	1:40	50	8	45
	11	0.6	1	1:50	50	8	45
	12	0.6	1	1:50	50	8	30
	13	0.6	1	1:50	50	8	45
	14	0.6	1	1:50	50	8	60
ผ้าหนา	15	0.6	1	1:20	60	8	30
	16	0.6	1	1:30	60	8	30
	17	0.6	1	1:40	60	8	30
	18	0.6	1	1:50	60	8	30
	19	0.6	1	1:50	60	8	10
	20	0.6	1	1:50	60	8	20
	21	0.6	1	1:50	60	8	30

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ Scourzyme L (% นน.ผ้า)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ		
					อุณหภูมิ (ºC)	พีเอช	เวลา (นาที)
ผ้าหนา	22	0.6	1	1:20	50	8	45
	23	0.6	1	1:30	50	8	45
	24	0.6	1	1:40	50	8	45
	25	0.6	1	1:50	50	8	45
	26	0.6	1	1:50	50	8	30
	27	0.6	1	1:50	50	8	45
	28	0.6	1	1:50	50	8	60

3.3.3 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วย Blank Treatment

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วย blank treatment เพื่อศึกษาผลของการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบด้วยสารช่วยเปียกอย่างเดียวโดยไม่ใช้เอนไซม์ ที่พีเอช อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายที่เหมาะสมซึ่งคัดเลือกมาจากผลการทดลองในข้อ 3.3.1 และ 3.3.2 การทดลองนี้กระทำบนผ้าฝ้ายดิบน้ำหนัก 2 กรัม (ผ้าบางและผ้าหนา) ใช้สารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร ที่พีเอช 6.5 และ 8 โดยใช้ Disodium hydrogen orthophosphate และ Potassium dihydrogen orthophosphate ซึ่งเตรียมที่ความเข้มข้น 0.033 โมล/ลิตร เป็นสารละลายบัฟเฟอร์ปรับพีเอช อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 และ 45 นาที โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:50 ในกระบอกสแตนเลสขนาด 400 มิลลิลิตร ของเครื่องย้อมแบบแช่ LABTEC จากนั้นนำผ้ามาล้างด้วยน้ำแล้วทำให้แห้ง แต่ละภาวะกระทำ 3 ซ้ำ ภาวะต่างๆ ที่ใช้สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบด้วย blank treatment แสดงดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วย BlankTreatment ที่ภาวะต่างๆ

ชนิดผ้า	สูตร	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ		
				อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)
ผ้าบาง	1	1	1:50	50	6.5	45
	2	1	1:50	50	8	45
	3	1	1:50	60	6.5	10
	4	1	1:50	60	8	10
ผ้าหนา	5	1	1:50	50	6.5	45
	6	1	1:50	50	8	45
	7	1	1:50	60	6.5	10
	8	1	1:50	60	8	10

3.4 การทดสอบผ้า

ผ้าดิบและผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกถูกทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานการทดสอบ โดยการทดสอบประกอบด้วย น้ำหนักผ้า การดูดซึมน้ำของผ้า น้ำหนักผ้าที่หายไป ความแข็งแรงของผ้า ดัชนีความขาวของผ้า ระดับเพกทินบนผ้า และการย้อมติดสี

3.4.1 การทดสอบหาน้ำหนักผ้า

การหาน้ำหนักผ้าทำโดยตัดผ้าด้วยเครื่องตัดผ้าวงกลม (fabric sample cutter ดูภาพที่ 3.2) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.3 เซนติเมตร ตัดผ้าจำนวนชุดละ 3 ชิ้นเพื่อนำมาชั่งน้ำหนัก แล้วหาค่าเฉลี่ย และรายงานผลเป็นกรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร

ภาพที่ 3.2 เครื่องตัดผ้าวงกลม (fabric sample cutter)

3.4.2 การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ความสามารถในการดูดซึมน้ำเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งที่จะบ่งบอกว่าการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้ามีประสิทธิภาพหรือไม่ ผ้าหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกควรดูดซึมน้ำได้ทันที หรือภายใน 1 ถึง 3 วินาที และดูดซึมน้ำสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำจะทดสอบตามมาตรฐาน AATCC Test Method 79-2000 “Absorbency of Bleached Textiles” โดยการหยดน้ำลงบนผ้าแล้วจับเวลาจนกระทั่งหยดน้ำซึมหายไป สำหรับงานวิจัยนี้จะทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นอันดับแรกเพื่อวิเคราะห์หาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรก โดยผ้าหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกจะต้องสามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน จากนั้นจึงนำผ้าไปทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป การทดสอบนี้กระทำ 3 ซ้ำ

3.4.3 การทดสอบหาน้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป

การหาน้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป ทำโดยนำผ้าทั้งก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกไปชั่งน้ำหนักที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นน้ำหนักหลังอบไล่ความชื้นแล้วด้วยเครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared moisture balance ดูภาพที่ 3.3) น้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไปของผ้าแต่ละชุดได้จากค่าเฉลี่ยของการชั่งน้ำหนักผ้า 2 ผืน น้ำหนักผ้าก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกจะถูกนำไปคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่ขาดหายไป ได้ดังนี้

$$\text{\% น้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

โดยที่ W_1 = น้ำหนักผ้าอบแห้งก่อนการกำจัดสิ่งสกปรก

W_2 = น้ำหนักผ้าอบแห้งหลังการกำจัดสิ่งสกปรก

ภาพที่ 3.3 เครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared moisture balance)

3.4.4 การทดสอบความแข็งแรงของผ้า

การทดสอบความแข็งแรงของผ้าถักจะทดสอบด้วยวิธีการวัดความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength) โดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 121 เล่ม 19 “ความทนแรงดันทะลุและระยะโป่งทะลุของผ้าโดยวิธีไฮดรอลิก”

วิธีหาความต้านทานแรงดันทะลุทำโดยยึดชิ้นทดสอบบนแผ่นไดอะแฟรมที่ขยายตัวได้โดยใช้ตัวยึด เพิ่มแรงดันของของไหลที่อยู่ใต้แผ่นไดอะแฟรมเพื่อทำให้แผ่นไดอะแฟรมขยายตัวและดันผ้าให้โป่งขึ้น โดยปริมาตรของไหลเพิ่มขึ้นด้วยอัตราคงที่จนกระทั่งชิ้นทดสอบขาดทะลุ สำหรับค่าแรงดันทะลุที่ทำให้ชิ้นตัวอย่างขาดนั้นเป็นค่าแรงดันทะลุทั้งหมด ซึ่งเป็นค่าที่ประกอบด้วยค่าความต้านทานแรงดันทะลุด้วยไดอะแฟรม และค่าแรงดันที่ทำให้ไดอะแฟรมพองตัว

ค่าแรงดันทะลุที่แท้จริง = ค่าแรงดันทะลุทั้งหมด – ค่าแรงดันที่ทำให้ไดอะแฟรมพองตัว

ผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกในแต่ละชุดจะนำมาหาความต้านทานแรงดันทะลุชุดละ 3 ผืน เพื่อหาค่าเฉลี่ย และรายงานผลเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ภาพที่ 3.4 เครื่องวัดความต้านทานแรงดันทะลุ

3.4.5 การวัดค่าดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองของผ้า

นำผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกมาวัดค่าดัชนีความขาว (whiteness index) และดัชนีความเหลือง (yellowness index) ของผ้า โดยใช้มาตรฐาน ASTM E 313 และวัดด้วย Macbeth reflectance spectrophotometer (ดูภาพที่ 3.5) ซึ่งวัดค่าดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองของผ้าชุดละ 3 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ย โดยการวัดค่าดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองของผ้าในแต่ละผืนจะวัดที่ตำแหน่งต่างๆ ของผ้า 3 ตำแหน่ง

ภาพที่ 3.5 Macbeth reflectance spectrophotometer, COLOR-EYE 7000

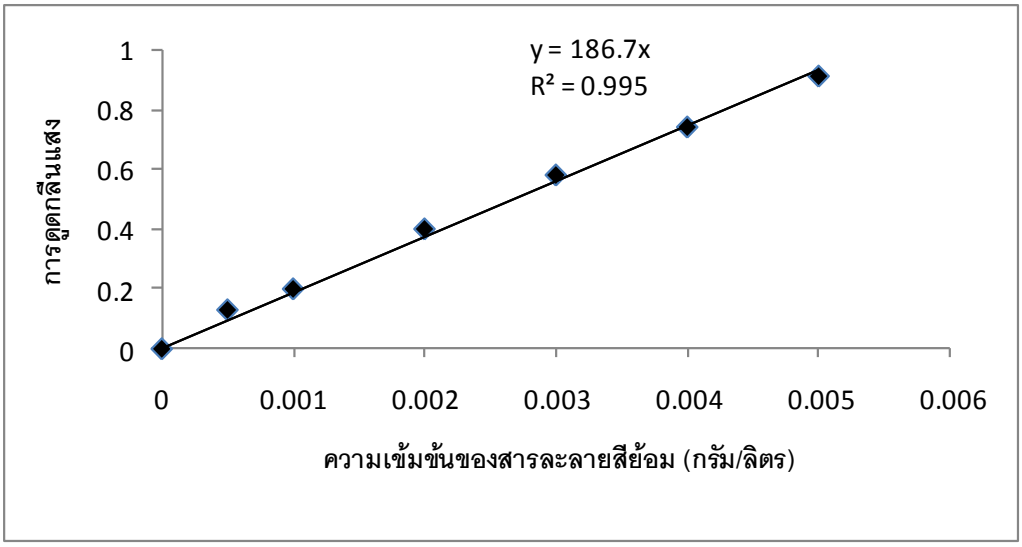
3.4.6 การทดสอบหาระดับเพกทินบนผ้า

ผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วจะถูกนำมาทดสอบหาระดับเพกทินบนผ้าด้วยวิธีการวัดความสามารถในการย้อมติดสีย้อม methylene blue ตามวิธีของ Birtwell *et al*., [23] ซึ่งวิธีนี้จะขึ้นกับความสามารถในการทำปฏิกิริยากันระหว่างประจุบวกของสีย้อม methylene blue และประจุลบของหมู่คาร์บอกซิเลตของเพกทินที่หลงเหลืออยู่บนผ้า ถ้าผ้าสามารถดูดซับสีได้มากแสดงว่ามีระดับของเพกทินบนผ้ามาก โดยสามารถเทียบหาได้จากกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีกับค่าการดูดกลืนแสง (absorbance) ของสารละลายสี โดยสารละลายสีย้อม methylene blue จะถูกเตรียมให้มีหลากหลายความเข้มข้น (0.0005, 0.001, 0.002, 0.003, 0.004, 0.005 g/l) และจะนำสารละลายสีแต่ละความเข้มข้นมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร ด้วย

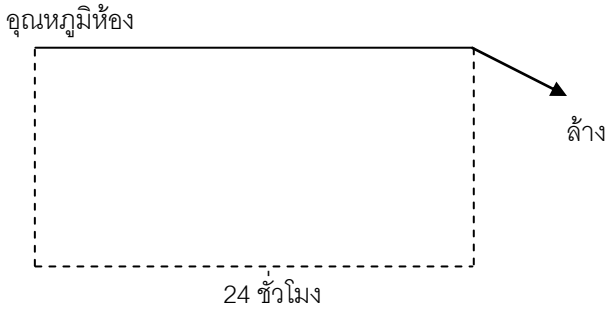
เครื่อง UV-visible spectrophotometer SPECORD S 100 (ดูภาพที่ 3.6) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นสีต่างๆ มาวาดกราฟมาตรฐานซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.7

จากนั้นนำผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วไปย้อมในสารละลายที่ประกอบด้วยสีย้อม methylene blue ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร ในเครื่องย้อมแบบแช่ LABTEC โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:30 ย้อมที่อุณหภูมิห้อง (28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง (ขั้นตอนการย้อมแสดงได้ดังแผนภาพที่ 3.1) จากนั้นนำสารละลายหลังการย้อมมาเจือจางลง 40 เท่าด้วยน้ำ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุดของสีย้อม methylene blue ด้วยเครื่อง UV-visible spectrophotometer ความเข้มข้นของสารละลายสีหลังจากการย้อมแล้ว จะหาได้โดยการเทียบจากกราฟมาตรฐานในภาพที่ 3.7 และจะถูกคำนวณหาความเข้มข้นของสีบนผ้าได้โดยการนำมาหักลบออกจากความเข้มข้นของสารละลายสีก่อนย้อม ดังนั้นเมื่อทราบความเข้มข้นของสีที่อยู่บนผ้าก็จะสามารถหาระดับเพกทินที่หลงเหลืออยู่บนผ้าได้เช่นกัน ในการทดสอบจะนำผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วมาหาระดับเพกทินบนผ้าชุดละ 3 ผืน เพื่อหาค่าเฉลี่ย

ภาพที่ 3.6 UV-visible spectrophotometer, SPECORD S 100



ภาพที่ 3.7 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีย้อม methylene blue กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร



อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:30

- ผ้าฝ้าย
- สีย้อม methylene blue

แผนภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการย้อมผ้าด้วยสีย้อม methylene blue

3.4.7 การทดสอบความสามารถในการย้อมติดสี

ผ้าที่ไม่ได้ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้ว จะถูกนำมาย้อมด้วยสีไดเรกท์คือ Benzopurpurine 4B (เป็นสีย้อมบริสุทธิ์ที่ไม่มีสารเติมแต่งใดๆ) ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักผ้า ในเครื่องย้อมแบบแช่ LABTEC ที่อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:30 ที่อุณหภูมิห้องแล้วทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 95 องศาเซลเซียส (เพิ่มอุณหภูมิในอัตรา 2 องศาเซลเซียสต่อนาที) และคงอุณหภูมินี้ไว้เป็นเวลา 45 นาที หลังจากการย้อมเสร็จแล้ว นำผ้าไปล้างน้ำด้วยการแกว่งผ้าในน้ำและทำให้แห้ง ขั้นตอนการย้อมแสดงได้ดังแผนภาพที่ 3.2

จากนั้นนำผ้าที่ผ่านการย้อมแล้วไปวัดความเข้มของสี (K/S) โดยใช้ Macbeth reflectance spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ค่า K/S สามารถคำนวณได้จาก Kubelka Munk equation ดังนี้

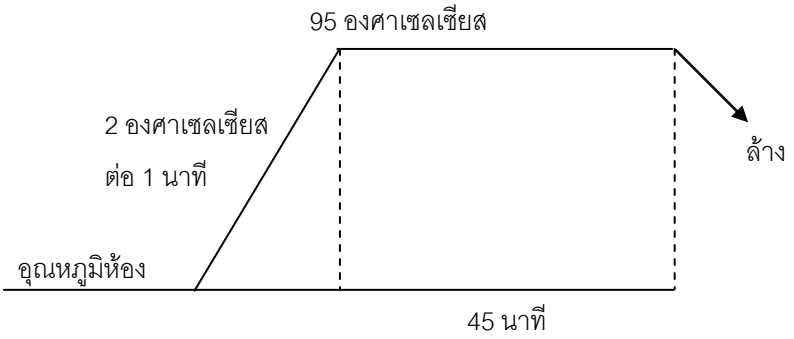
$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R}$$

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (absorption coefficient)

S คือ สัมประสิทธิ์การกระจายตัว (scattering coefficient)

R คือ การสะท้อนแสง (reflectance) ของผ้า ณ ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนสูงสุด

ผ้าที่มีค่า K/S สูง จะแสดงว่าผ้ามีเฉดสีเข้ม โดยจะนำผ้าในแต่ละชุดมาทดสอบความสามารถในการย้อมติดสีชุดละ 3 ผืน เพื่อหาค่าเฉลี่ย



อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:30

- ผ้าฝ้าย
- สี Benzopurpurine 4B

แผนภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสี Benzopurpurine 4B

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 สมบัติของผ้าดิบ

ผ้าฝ้ายดิบที่เป็นผ้าถักเนื้อบางและเนื้อหนาถูกทดสอบสมบัติต่างๆ ตามการทดลองในหัวข้อที่ 3.4 ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติต่างๆ ของผ้าฝ้ายดิบ

สมบัติ	ผ้าฝ้ายดิบ	
	ผ้าบาง	ผ้าหนา
น้ำหนัก (กรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร)	0.9665	2.6297
จำนวนห่วงถักต่อนิ้ว	35	23
ความสามารถในการดูดซึมน้ำ	ไม่ดูดซึมน้ำ	ไม่ดูดซึมน้ำ
ดัชนีความขาว	11.39	ไม่สามารถวัดได้
ดัชนีความเหลือง	26.74	35.69
ปริมาณ methylene blue (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม	12.00	12.13
ความต้านทานแรงดันทะลุ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)	60.3	165.6

จากผลการทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาพบว่าผ้าดิบไม่ดูดซึมน้ำ เนื่องจากมีสิ่งสกปรกที่มีสมบัติสะท้อนน้ำอยู่บนผ้าจำนวนมาก ผ้าบางมีความขาวมากกว่าผ้าหนา ผ้าทั้งสองชนิดมีปริมาณเพกทินบนผ้าใกล้เคียงกันซึ่งดูได้จากปริมาณสีย้อม methylene blue ที่ติดอยู่บนผ้า ผ้าบางและผ้าหนามีความแข็งแรงด้านความต้านทานแรงดันทะลุประมาณ 60 และ 165 ปอนด์ต่อตารางนิ้วตามลำดับ

4.2 สมบัติของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก

ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ซึ่งประกอบด้วยการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าโดยการใช้เอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 โดยการใช้เอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L และโดยการใช้ blank treatment ถูกนำไปทดสอบหาความสามารถในการดูดซึมน้ำ น้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป

ความแข็งแรงของผ้า ดัชนีความขาว ระดับเพกทินบนผ้า และความสามารถในการย้อมติดสี ผลการทดสอบสมบัติต่างๆ ของผ้ามีดังนี้

4.2.1 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกเป็นอันดับแรก เพื่อวิเคราะห์หาสูตรที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรก ซึ่งผ้าฝ้ายที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกอย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถดูดซึมน้ำได้ทันที และดูดซึมน้ำสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน (ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ยึดถือกันในอุตสาหกรรมสิ่งทอ) ทั้งนี้ในการพิจารณาเลือกภาวะที่เหมาะสมก็จะต้องพิจารณาจากปริมาณการใช้เอนไซม์ ปริมาณสารช่วยเปียก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนผ้าต่อสารละลายด้วยซึ่งต้องใช้สิ่งเหล่านี้ให้น้อยที่สุด แต่ให้ผลการกำจัดสิ่งสกปรกที่มีประสิทธิภาพดี ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.2, 4.3, 4.4

ตารางที่ 4.2 ผลการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 ที่ภาวะต่างๆ

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ ANP-N300 (กรัม/ลิตร)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ			การดูดซึมน้ำของผ้า
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)	
ผ้าบาง	1	0.5	0.5	1:50	60	6.5	60	B
	2	1	0.5	1:50	60	6.5	60	B
	3	0.5	1	1:50	60	6.5	60	A
	4	1	1	1:50	60	6.5	60	A
	5	3	1	1:50	60	6.5	60	A
	6	5	1	1:50	60	6.5	60	A
	7	0.5	1	1:50	60	6.5	5	B
	8	0.5	1	1:50	60	6.5	10	A
	9	0.5	1	1:50	60	6.5	15	A

A คือ ดูดซึมน้ำทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน B คือ ดูดซึมน้ำภายใน 1-3 วินาที C คือ ดูดซึมน้ำมากกว่า 3 วินาที

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ ANP-N300 (กรัม/ลิตร)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ			การดูดซึมน้ำของผ้า
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)	
ผ้าบาง	10	0.5	1	1:50	60	6.5	30	A
	11	0.5	1	1:50	60	6.5	45	A
	12	0.5	1	1:50	60	6.5	60	A
	13	0.5	1	1:10	60	6.5	10	C
	14	0.5	1	1:15	60	6.5	10	C
	15	0.5	1	1:20	60	6.5	10	C
	16	0.5	1	1:30	60	6.5	10	C
	17	0.5	1	1:40	60	6.5	10	B
	18	0.5	1	1:50	60	6.5	10	A
	19	0.5	1	1:50	50	6.5	15	B
	20	0.5	1	1:50	50	6.5	30	B
	21	0.5	1	1:50	50	6.5	45	A
	22	0.5	1	1:50	50	6.5	60	A
	23	0.5	1	1:15	50	6.5	45	C
	24	0.5	1	1:20	50	6.5	45	C
	25	0.5	1	1:30	50	6.5	45	C
	26	0.5	1	1:40	50	6.5	45	B
	27	0.5	1	1:50	50	6.5	45	A
ผ้าหนา	28	0.5	0.5	1:50	60	6.5	60	C
	29	1	0.5	1:50	60	6.5	60	C
	30	0.5	1	1:50	60	6.5	60	A

A คือ ดูดซึมน้ำทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน B คือ ดูดซึมน้ำภายใน 1-3 วินาที C คือ ดูดซึมน้ำมากกว่า 3 วินาที

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ ANP-N300 (กรัม/ลิตร)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ			การดูดซึมน้ำของผ้า
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)	
ผ้าหนา	31	1	1	1:50	60	6.5	60	A
	32	3	1	1:50	60	6.5	60	A
	33	5	1	1:50	60	6.5	60	A
	34	7	1	1:50	60	6.5	60	A
	35	0.5	1	1:50	60	6.5	5	C
	36	0.5	1	1:50	60	6.5	10	A
	37	0.5	1	1:50	60	6.5	15	A
	38	0.5	1	1:50	60	6.5	30	A
	39	0.5	1	1:50	60	6.5	45	A
	40	0.5	1	1:50	60	6.5	60	A
	41	0.5	1	1:10	60	6.5	10	C
	42	0.5	1	1:15	60	6.5	10	C
	43	0.5	1	1:20	60	6.5	10	C
	44	0.5	1	1:30	60	6.5	10	C
	45	0.5	1	1:40	60	6.5	10	C
	46	0.5	1	1:50	60	6.5	10	A
	47	0.5	1	1:50	50	6.5	15	B
	48	0.5	1	1:50	50	6.5	30	B
	49	0.5	1	1:50	50	6.5	45	A
	50	0.5	1	1:50	50	6.5	60	A

A คือ ดูดซึมน้ำทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน B คือ ดูดซึมน้ำภายใน 1-3 วินาที C คือ ดูดซึมน้ำมากกว่า 3 วินาที

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ ANP-N300 (กรัม/ลิตร)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ			การดูดซึมน้ำของผ้า
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)	
ผ้าหนา	51	0.5	1	1:15	50	6.5	45	C
	52	0.5	1	1:20	50	6.5	45	C
	53	0.5	1	1:30	50	6.5	45	C
	54	0.5	1	1:40	50	6.5	45	B
	55	0.5	1	1:50	50	6.5	45	A

A คือ ดูดซึมน้ำทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน B คือ ดูดซึมน้ำภายใน 1-3 วินาที C คือ ดูดซึมน้ำมากกว่า 3 วินาที

ตารางที่ 4.3 ผลการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L ที่ภาวะต่างๆ

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ Scourzyme L (%นน.ผ้า)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ			การดูดซึมน้ำของผ้า
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)	
ผ้าบาง	1	0.6	1	1:20	60	8	30	C
	2	0.6	1	1:30	60	8	30	B
	3	0.6	1	1:40	60	8	30	B
	4	0.6	1	1:50	60	8	30	A
	5	0.6	1	1:50	60	8	10	A
	6	0.6	1	1:50	60	8	20	A
	7	0.6	1	1:50	60	8	30	A
	8	0.6	1	1:20	50	8	45	C
	9	0.6	1	1:30	50	8	45	B
	10	0.6	1	1:40	50	8	45	B
	11	0.6	1	1:50	50	8	45	A
	12	0.6	1	1:50	50	8	30	C
	13	0.6	1	1:50	50	8	45	A
	14	0.6	1	1:50	50	8	60	A
ผ้าหนา	15	0.6	1	1:20	60	8	30	C
	16	0.6	1	1:30	60	8	30	B
	17	0.6	1	1:40	60	8	30	B
	18	0.6	1	1:50	60	8	30	A
	19	0.6	1	1:50	60	8	10	A
	20	0.6	1	1:50	60	8	20	A
	21	0.6	1	1:50	60	8	30	A

A คือ ดูดซึมน้ำทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน B คือ ดูดซึมน้ำภายใน 1-3 วินาที C คือ ดูดซึมน้ำมากกว่า 3 วินาที

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ชนิดผ้า	สูตร	เอนไซม์ Scourzyme L (% นน.ผ้า)	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ			การดูดซึมน้ำของผ้า
					อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)	
ผ้าหนา	22	0.6	1	1:20	50	8	45	B
	23	0.6	1	1:30	50	8	45	B
	24	0.6	1	1:40	50	8	45	B
	25	0.6	1	1:50	50	8	45	A
	26	0.6	1	1:50	50	8	30	C
	27	0.6	1	1:50	50	8	45	A
	28	0.6	1	1:50	50	8	60	A

A คือ ดูดซึมน้ำทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน B คือ ดูดซึมน้ำภายใน 1-3 วินาที C คือ ดูดซึมน้ำมากกว่า 3 วินาที

ตารางที่ 4.4 ผลการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วย Blank Treatment ที่ภาวะต่างๆ

ชนิดผ้า	สูตร	สารช่วยเปียก (กรัม/ลิตร)	นน.ผ้าต่อสารละลาย	ภาวะ			การดูดซึมน้ำของผ้า
				อุณหภูมิ (°C)	พีเอช	เวลา (นาที)	
ผ้าบาง	1	1	1:50	50	6.5	45	C
	2	1	1:50	50	8	45	C
	3	1	1:50	60	6.5	10	C
	4	1	1:50	60	8	10	C
ผ้าหนา	5	1	1:50	50	6.5	45	C
	6	1	1:50	50	8	45	C
	7	1	1:50	60	6.5	10	C
	8	1	1:50	60	8	10	C

A คือ ดูดซึมน้ำทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน B คือ ดูดซึมน้ำภายใน 1-3 วินาที C คือ ดูดซึมน้ำมากกว่า 3 วินาที

จากผลการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าในตารางที่ 4.2 พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วยเอนไซม์ ANP-N300 มี 2 สูตรดังนี้

สูตรที่ 1 คือที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที พีเอช 6.5 อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:50 ปริมาณเอนไซม์ 0.5 กรัม/ลิตร และปริมาณสารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร

สูตรที่ 2 คือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที พีเอช 6.5 อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:50 ปริมาณเอนไซม์ 0.5 กรัม/ลิตร และปริมาณสารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร

โดยที่แต่ละสูตรมีการใช้ปริมาณเอนไซม์ ปริมาณสารช่วยเปียก อุณหภูมิ เวลา และอัตราส่วนผ้าต่อสารละลายต่ำสุด และให้ผ้าที่สามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน และจากการทดลองยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ก็จะน้อยลงด้วย

จากผลการดูดซึมน้ำในตารางที่ 4.3 พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบเนื้อบางและเนื้อหนาด้วยเอนไซม์ Scourzyme L มี 2 สูตรดังนี้

สูตรที่ 1 คือที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที พีเอช 8 อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:50 ปริมาณเอนไซม์ร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักผ้า และปริมาณสารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร

สูตรที่ 2 คือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที พีเอช 8 อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:50 ปริมาณเอนไซม์ร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักผ้า และปริมาณสารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร

เมื่อพิจารณาผลการดูดซึมน้ำของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 และเอนไซม์ Scourzyme L ด้วยสูตรดังกล่าวข้างต้นจะพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดสามารถกระทำได้ที่อุณหภูมิ เวลา อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย และปริมาณสารช่วยเปียกที่เท่ากันทั้งบนผ้าบางและผ้าหนา และพบว่าผ้าสามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีหลังจากหยดน้ำลงบนผ้า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสิ่งสกปรกต่างๆ เช่น เพกทินและขี้ผึ้งน่าจะถูกกำจัดออกไปจากผ้าได้มากเพียงพอที่จะทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน ในขณะที่ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วย blank treatment (จากตารางที่ 4.4) ผ้าไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ทันที เนื่องจากยังมีสิ่งสกปรกที่ต้านการดูดซึมน้ำของผ้าหรือมีสมบัติสะท้อนน้ำหลงเหลืออยู่บนผ้าอีกมาก

จากนั้นผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกตามภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมนี้ได้ถูกนำไปทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป

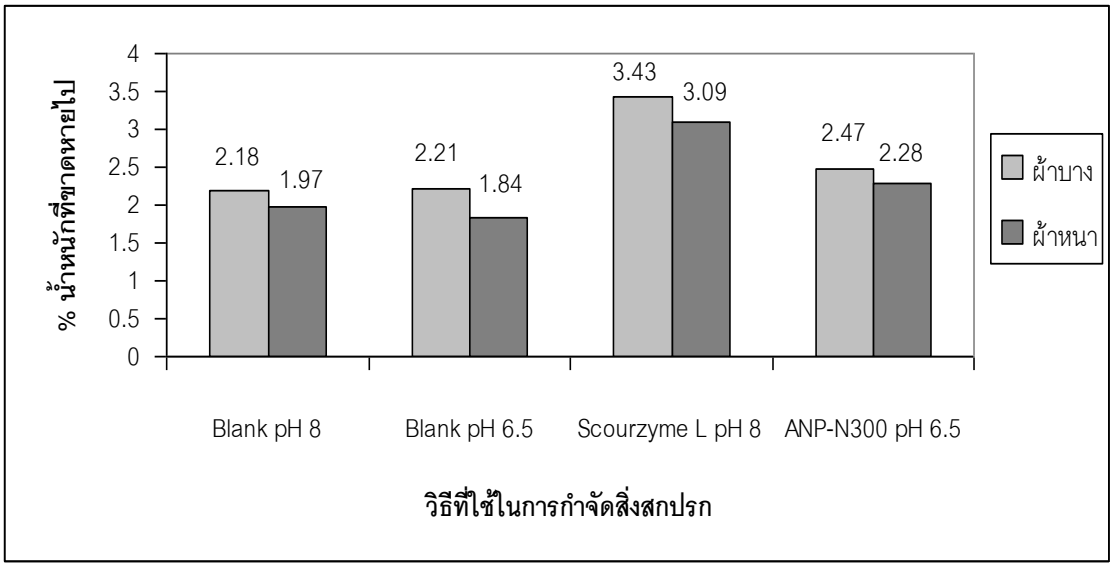
4.2.2 น้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป

การหาน้ำหนักของผ้าที่ขาดหายไป เป็นการวัดปริมาณของสิ่งเจือปนที่ถูกกำจัดออกไปจากผ้าด้วยกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรก ผลการทดสอบหาน้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้าหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแสดงดังตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.1, 4.2

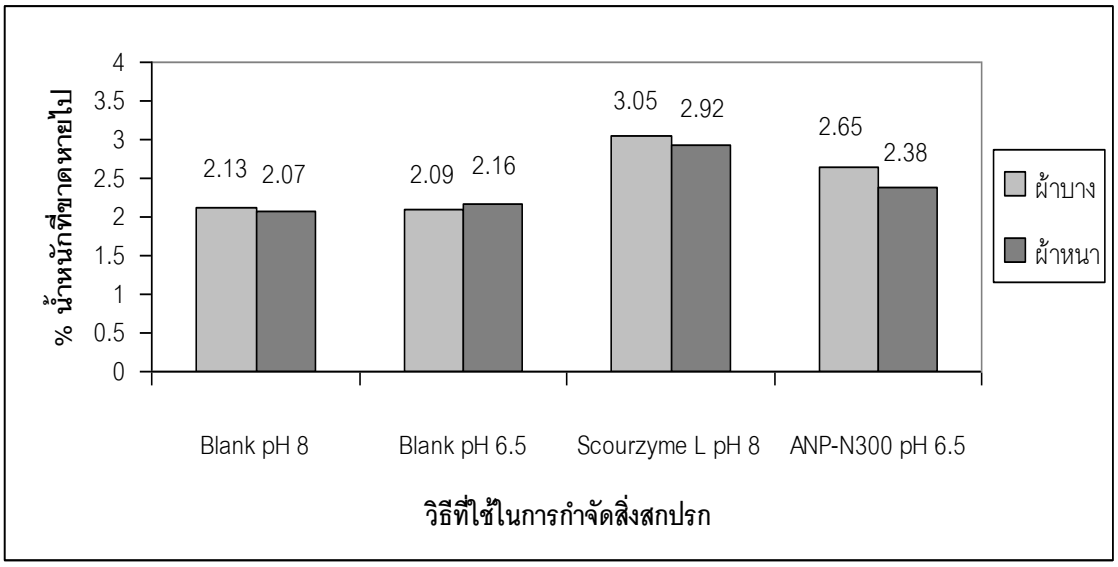
ตารางที่ 4.5 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป	
		ผ้าบาง	ผ้าหนา
อุณหภูมิ 50 ºC	Blank treatment pH 8	2.18	1.97
เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 6.5	2.21	1.84
	Scourzyme L pH 8	3.43	3.09
	ANP-N300 pH 6.5	2.47	2.28
อุณหภูมิ 60 ºC	Blank treatment pH 8	2.13	2.07
เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 6.5	2.09	2.16
	Scourzyme L pH 8	3.05	2.92
	ANP-N300 pH 6.5	2.65	2.38

ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป คำนวณจากข้อมูลดิบในตารางที่ ก.1 ก.2 ก.3 และ ก.4 ภาคผนวก ก



ภาพที่ 4.1 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที



ภาพที่ 4.2 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.1, 4.2 พบว่าผ้าหนาและผ้าบางที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วย blank treatment pH 8 และ pH 6.5 ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนักใกล้เคียงกัน คือราวร้อยละ 1.8-2.2 ซึ่งสิ่งเจือปนที่หลุดออกจากผ้านี้น่าจะเป็นสารที่สามารถละลายน้ำที่ค่าพีเอช 6.5 และ 8 ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 ซึ่งเป็นเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนส ผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักไปร้อยละ 2.28 และ 2.47 ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และร้อยละ 2.38 และ 2.65 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วย blank treatment ในขณะที่การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L ซึ่งเป็นเอนไซม์เพกทิเนส ทำให้ผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักสูงสุด คือราวร้อยละ 2.92-3.43 ซึ่งสารที่หลุดออกจากผ้าเมื่อกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ชนิดนี้น่าจะเป็นเพกทินและขี้ผึ้งเป็นส่วนใหญ่ โดยเกิดการไฮโดรไลซิสของเพกทินจากการเร่งปฏิกิริยาด้วยเอนไซม์เพกทิเนสและเกิดการกำจัดขี้ผึ้งด้วยสารช่วยเปียกและน้ำ นอกจากนี้พบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดนี้ทำให้ผ้าบางสูญเสียน้ำหนักไปมากกว่าผ้าหนา หรืออีกนัยหนึ่งก็คือสิ่งสกปรกถูกกำจัดออกจากผ้าบางมากกว่าผ้าหนานั่นเอง ทั้งนี้อาจเนื่องจากผ้าบางมีโครงสร้างของห่วงบนผ้าแบบหลวมๆ ทำให้สิ่งสกปรกถูกกำจัดออกจากผ้าบางได้ง่ายกว่าและมากกว่าสิ่งสกปรกที่ถูกกำจัดออกจากผ้าหนาที่มีโครงสร้างของห่วงแน่นกว่า

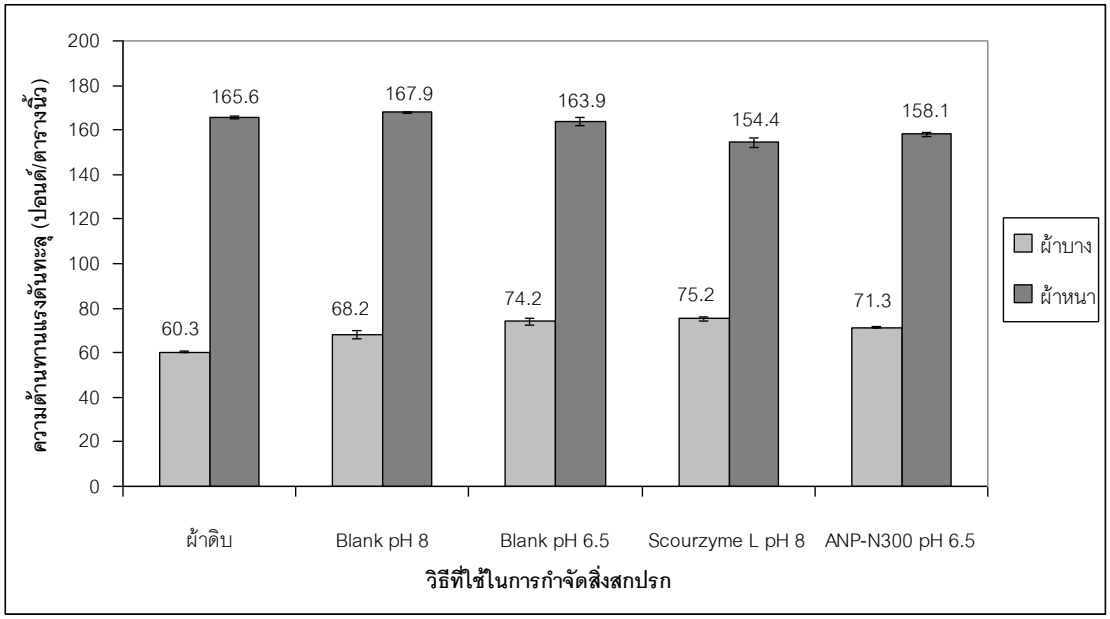
4.2.3 **ความแข็งแรงของผ้า**

ผลการทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก แสดงดังตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.3, 4.4

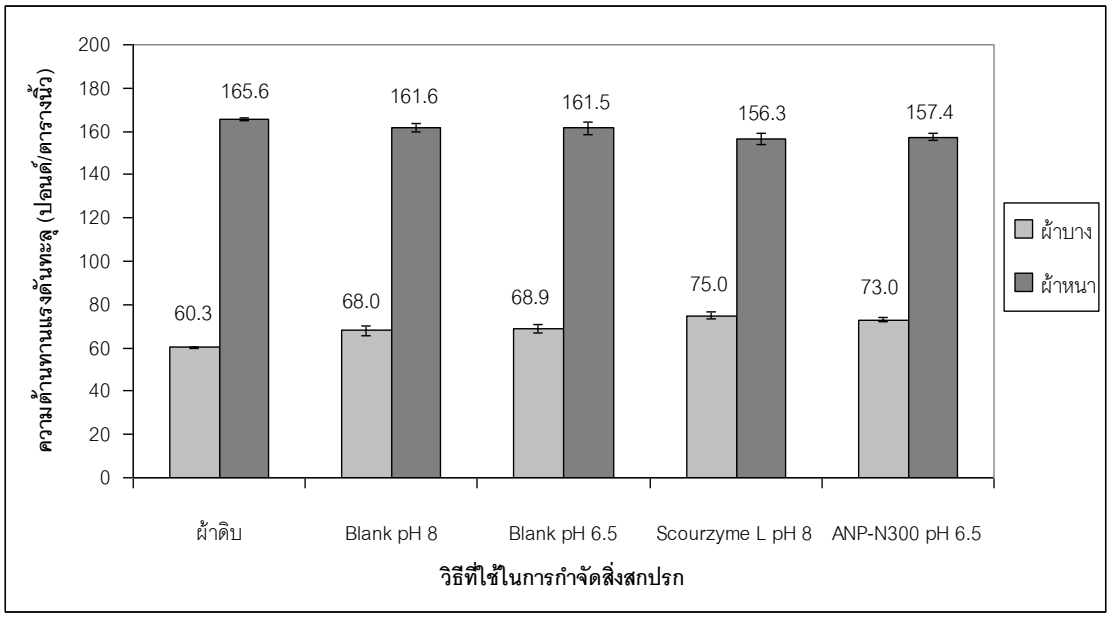
ตารางที่ 4.6 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ความต้านทานแรงดันทะลุ (ปอนด์/ตารางนิ้ว)			
		ผ้าบาง		ผ้าหนา	
		ค่าเฉลี่ย	S.D.	ค่าเฉลี่ย	S.D.
	ผ้าดิบ	60.3	0.25	165.6	0.38
อุณหภูมิ 50 ºC เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	68.2	1.77	167.9	0.28
	Blank treatment pH 6.5	74.2	1.56	163.9	1.96
	Scourzyme L pH 8	75.2	0.99	154.4	2.12
	ANP-N300 pH 6.5	71.3	0.26	158.1	1.06
อุณหภูมิ 60 ºC เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	68.0	2.16	161.6	1.72
	Blank treatment pH 6.5	68.9	1.82	161.5	2.90
	Scourzyme L pH 8	75.0	1.30	156.3	2.62
	ANP-N300 pH 6.5	73.0	1.23	157.4	1.77

ค่าเฉลี่ย และค่า S.D. คำนวณจากข้อมูลดิบในตารางที่ ข.1 และ ข.2 ภาคผนวก ข



ภาพที่ 4.3 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที



ภาพที่ 4.4 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

จากผลการทดลองพบว่าผ้าเนื้อบางที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้นจากผ้าดิบทั้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วง 68-75 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว สาเหตุที่ผ้าเนื้อบางมีค่าความต้านทานแรงดันทะลุเพิ่มขึ้นอาจเนื่องมาจากผ้าเนื้อบางมีโครงสร้างหลวม เมื่อผ้าผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกหรือผ่านน้ำนอกจากเส้นใยและสิ่งสกปรกจะหลุดออกจากผ้าแล้ว เส้นใยพองตัวออกและผ้าอาจเกิดการหดตัว ทำให้จำนวนห่วงถักต่อความยาวเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผ้ามีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นด้วย และพบว่าผ้าเนื้อหนาที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 และ Scourzyme L มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุไม่ต่างกันนัก คือมีค่าอยู่ในช่วง 157-158 และ 154-156 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามลำดับ แต่มีค่าความต้านทานแรงดันทะลุต่ำกว่าผ้าที่ผ่าน blank treatment และผ้าดิบ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากผ้าสูญเสียเส้นใยและสิ่งเจือปนและไม่หดตัวขณะผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกจึงทำให้ความแข็งแรงของผ้าลดลงบ้างแต่อยู่ในเกณฑ์จะรับได้

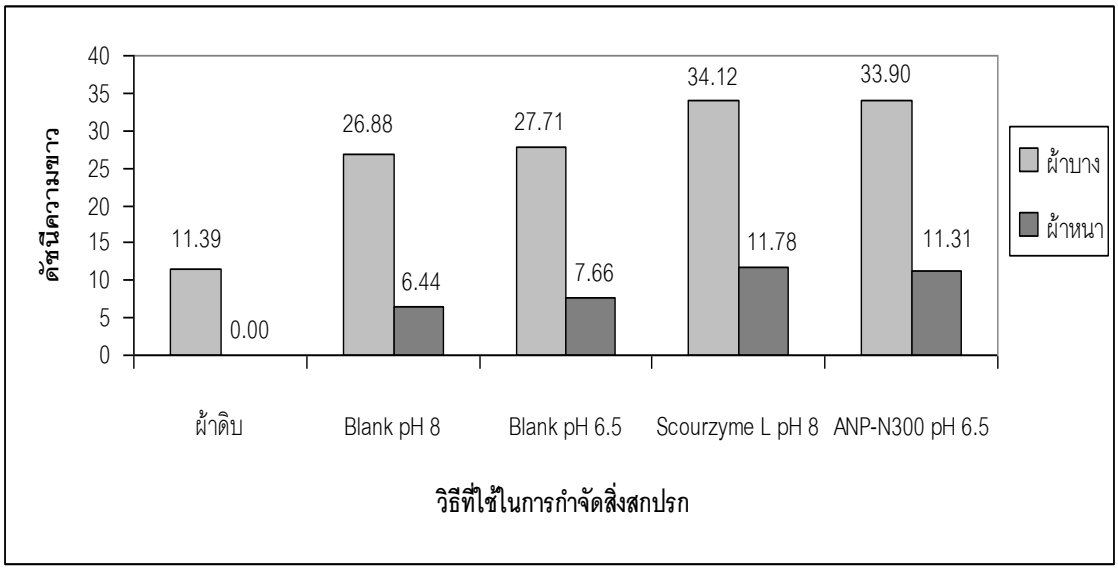
4.2.4 **ความขาวของผ้า**

ผลการวัดค่าดัชนีความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแสดงดังตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.5, 4.6

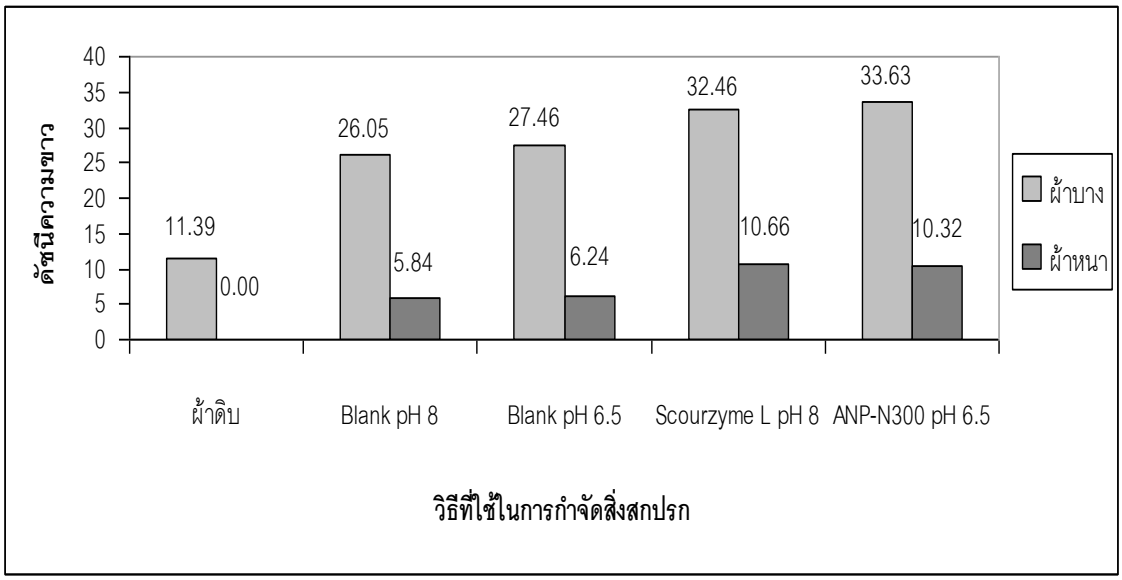
ตารางที่ 4.7 ดัชนีความขาว และดัชนีความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ผ้าบาง		ผ้าหนา	
		ความขาว	ความเหลือง	ความขาว	ความเหลือง
	ผ้าดิบ	11.39	26.74	วัดไม่ได้	35.69
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	26.88	20.18	6.44	29.87
	Blank treatment pH 6.5	27.71	19.79	7.66	29.11
	Scourzyme L pH 8	34.12	17.34	11.78	27.12
	ANP-N300 pH 6.5	33.90	17.40	11.31	27.33
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	26.05	20.52	5.84	30.24
	Blank treatment pH 6.5	27.46	19.95	6.24	29.93
	Scourzyme L pH 8	32.46	18.00	10.66	27.77
	ANP-N300 pH 6.5	33.63	17.54	10.32	27.85

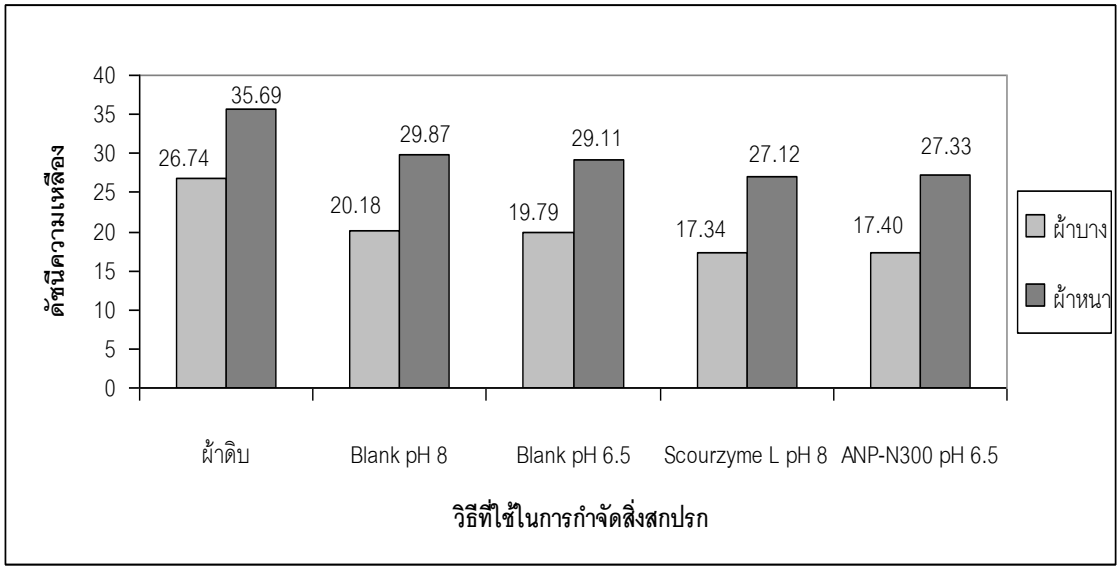
ดัชนีความขาวและดัชนีความเหลือง คำนวณจากข้อมูลดิบในตารางที่ ค.1 ค.2 ค.3 และ ค.4 ภาคผนวก ค



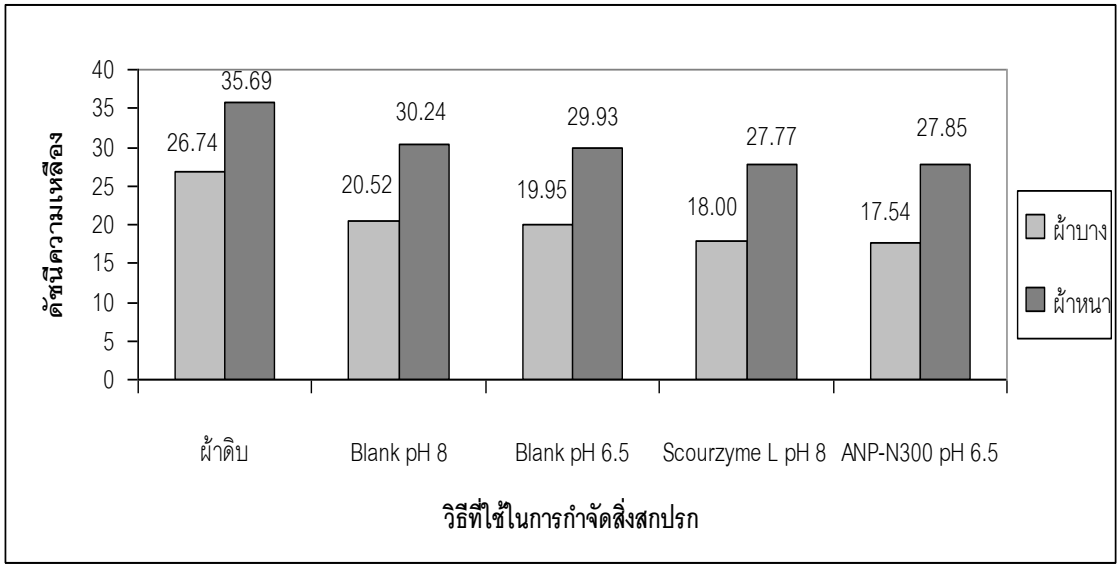
ภาพที่ 4.5 ดัชนีความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที



ภาพที่ 4.6 ดัชนีความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที



ภาพที่ 4.7 ดัชนีความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที



ภาพที่ 4.8 ดัชนีความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.5, 4.6 พบว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกทุกวิธีมีค่าดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นจากผ้าดิบ โดยผ้าบางมีดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นอย่างมากทั้งที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส คือจากผ้าดิบที่มีค่าดัชนีความขาว 11.4 เพิ่มขึ้นเป็น 26-27.7 ในผ้าที่ผ่าน blank treatment และเพิ่มมากขึ้นเป็น 32-34 ในผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้เอนไซม์ทั้งสองชนิด ผ้าหนาที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกมีดัชนีความขาวอยู่ในช่วง 5.8-11.8 โดยผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์มีดัชนีความขาวสูงกว่าผ้าที่ผ่าน blank treatment และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 มีค่าดัชนีความขาวใกล้เคียงกันกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L คือมีค่าดัชนีความขาวอยู่ในช่วง 32.5-34 ในผ้าบางและ 10.3-11.8 ในผ้าหนา และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียสก็มีค่าดัชนีความขาวไม่แตกต่างกัน ซึ่งความขาวที่เพิ่มขึ้นของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกน่าจะเกิดจากสิ่งเจือปนที่มีสีบนผ้าถูกกำจัดออกไปจึงทำให้ผ้าดูขาวขึ้น

จากตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7, 4.8 แสดงค่าดัชนีความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ พบว่าค่าดัชนีความเหลืองของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกมีค่าต่ำกว่าผ้าดิบ ทั้งนี้เพราะสีธรรมชาติที่สามารถละลายน้ำที่มีอยู่ในฝ้ายดิบถูกกำจัดออกไปด้วยหลังผ้าผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก โดยผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ มีค่าดัชนีความเหลืองลดลง ซึ่งผ้าที่ผ่าน blank treatment มีค่าความเหลืองอยู่ราว 19.8-20.5 ในผ้าบาง และ 29.1-30.2 ในผ้าหนา และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 มีค่าความเหลืองใกล้เคียงกันกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L คือมีค่าความเหลือง 17.3-18 ในผ้าบาง และ 27.1-27.8 ในผ้าหนา

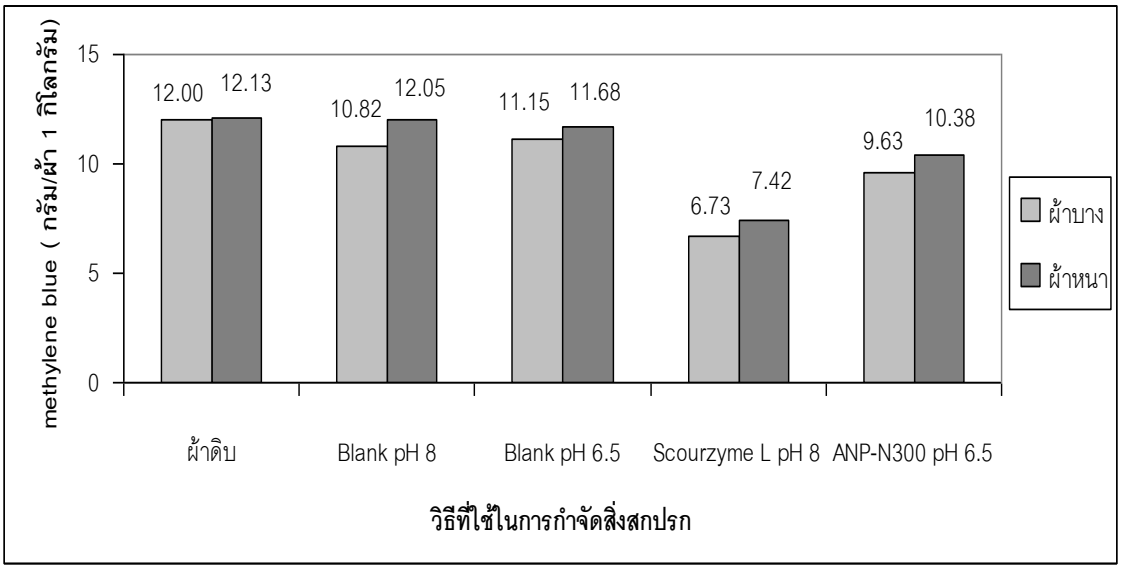
4.2.5 ระดับเพกทินบนผ้า

การหาระดับเพกทิน (ซึ่งมีประจุลบ) บนผ้าทำโดยการย้อมผ้าด้วยสีย้อมประจุบวก methylene blue แล้ววัดปริมาณสีที่ติดอยู่บนผ้า ถ้ามีปริมาณสีย้อม methylene blue อยู่มากก็แสดงว่ามีปริมาณเพกทินอยู่มากด้วย ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบและบนผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแสดงดังตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9, 4.10

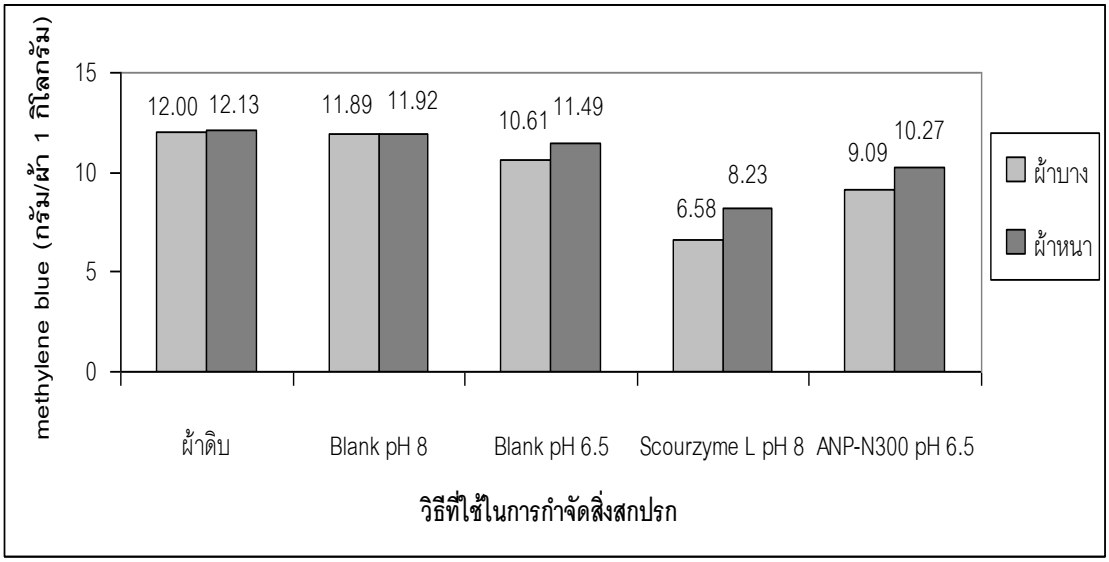
ตารางที่ 4.8 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ปริมาณสีย้อม methylene blue (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม	
		ผ้าบาง	ผ้าหนา
	ผ้าดิบ	12.00	12.13
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	10.82	12.05
	Blank treatment pH 6.5	11.15	11.68
	Scourzyme L pH 8	6.73	7.42
	ANP-N300 pH 6.5	9.63	10.38
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	11.89	11.92
	Blank treatment pH 6.5	10.61	11.49
	Scourzyme L pH 8	6.58	8.23
	ANP-N300 pH 6.5	9.09	10.27

ปริมาณสีย้อม methylene blue คำนวณจากข้อมูลดิบในตารางที่ ง.1 ง.2 ง.3 และ ง.4 ภาคผนวก ง



ภาพที่ 4.9 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที



ภาพที่ 4.10 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9, 4.10 พบว่าผ้าดิบและผ้าที่ผ่าน blank treatment มีปริมาณสีย้อม methylene blue อยู่บนผ้าใกล้เคียงกัน และมีปริมาณสีย้อม methylene blue สูง คือมีค่าอยู่ในช่วง 10.8-12.1 กรัมบนผ้า 1 กิโลกรัม ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีปริมาณเพกทินอยู่บนผ้าสูงเช่นกัน ในขณะที่ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 มีปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าอยู่ในช่วง 9-10.4 กรัมบนผ้า 1 กิโลกรัม ซึ่งจะเห็นว่ามีปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 6.6-8.2 กรัมบนผ้า 1 กิโลกรัม แสดงว่าผ้าที่ผ่านเอนไซม์ ANP-N300 มีปริมาณเพกทินหลงเหลือบนผ้ามากกว่าผ้าที่ผ่านเอนไซม์ Scourzyme L ทั้งนี้อาจเนื่องจากเอนไซม์ Scourzyme L ซึ่งเป็นเอนไซม์เพกทิเนสมีแอคติวิตีของเพกทิเนสสูงกว่าเอนไซม์ ANP-N300 ซึ่งเป็นเอนไซม์เซลลูเลสที่มีเพกทิเนสผสม จึงสามารถเร่งการไฮโดรไลซ์เพกทินให้หลุดออกจากผ้าได้มากกว่านั่นเอง

4.2.6 **ความสามารถในการย้อมติดสีของผ้า**

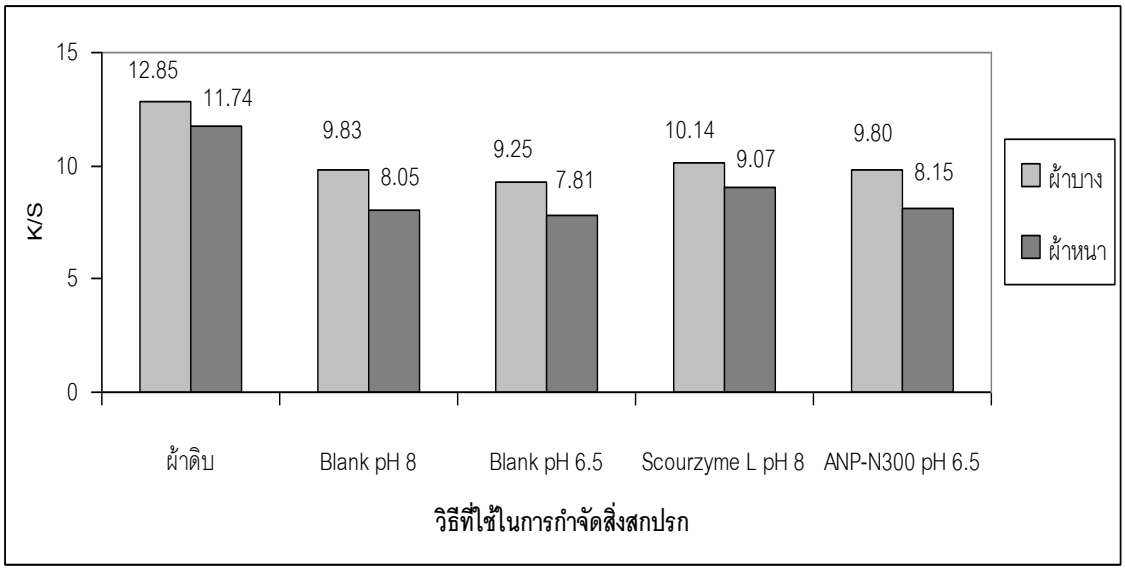
การทดสอบความสามารถในการย้อมติดสีของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกจะแสดงผลในรูปของความเข้มสี (K/S) แสดงดังตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.11, 4.12

ตารางที่ 4.9 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

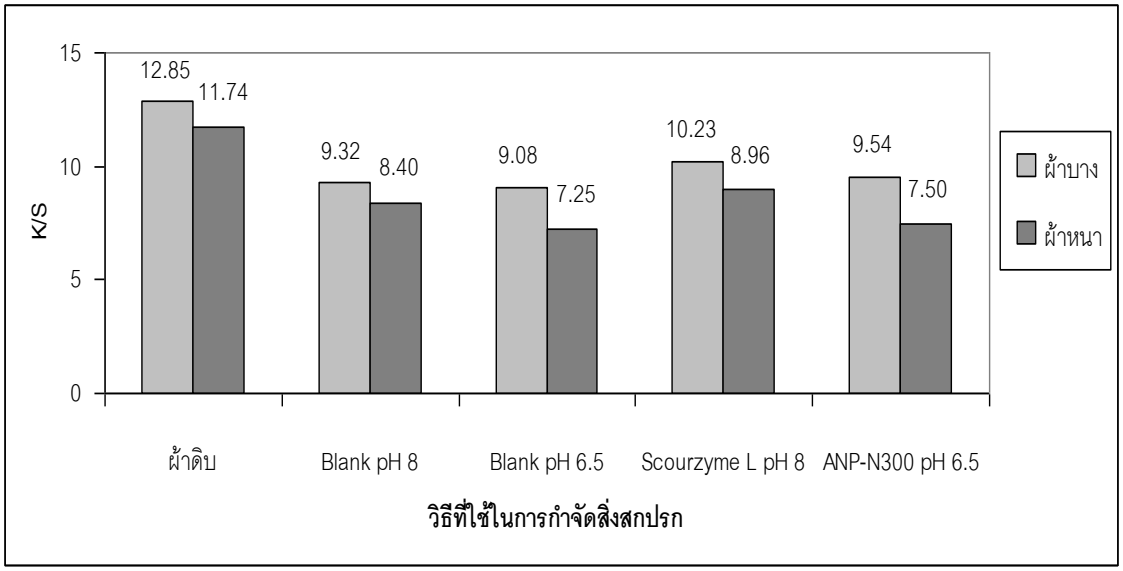
ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ความเข้มสี (K/S)	
		ผ้าบาง	ผ้าหนา
	ผ้าดิบ	12.85*	11.74*
อุณหภูมิ 50 ºC	Blank treatment pH 8	9.83*	8.05*
เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 6.5	9.25*	7.81*
	Scourzyme L pH 8	10.14	9.07
	ANP-N300 pH 6.5	9.80	8.15
อุณหภูมิ 60 ºC	Blank treatment pH 8	9.32*	8.40*
เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 6.5	9.08*	7.25*
	Scourzyme L pH 8	10.23	8.96
	ANP-N300 pH 6.5	9.54	7.50

*สีติดบนผ้าไม่สม่ำเสมอ และซักหลุดออกจากผ้าได้ง่าย

ความเข้มสี (K/S) คำนวณจากข้อมูลดิบในตารางที่ จ.1 และ จ.2 ภาคผนวก จ



ภาพที่ 4.11 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที



ภาพที่ 4.12 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

จากผลการทดสอบความสามารถในการย้อมติดสีของผ้าโดยการย้อมด้วยสีไดเรกท์ Benzopurpurine 4B ที่แสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.11, 4.12 พบว่าผ้าดิบมีค่าความเข้มของสีสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ แต่สีติดบนผ้าอย่างไม่สม่ำเสมอ เช่นเดียวกับผ้าที่ผ่าน blank treatment และสามารถซักหลุดออกจากผ้าได้ง่าย โดยสาเหตุที่มีความเข้มสีสูงนั้นอาจเนื่องมาจากสีย้อมไม่ได้ติดบนเส้นใยเพียงอย่างเดียว แต่สีส่วนใหญ่ติดบนสิ่งเจือปนอย่างเช่น ไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง โปรตีน ที่กระจัดกระจายอยู่บนเส้นใยทำให้มีสีไม่สม่ำเสมอ และสีบนสิ่งสกปรกสามารถถูกซักหลุดออกมาได้ง่ายกว่าสีที่ย้อมติดบนเส้นใยที่ปราศจากสิ่งสกปรกเหล่านี้ นอกจากนี้พบว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 ให้ผลการย้อมติดสีใกล้เคียงกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L ซึ่งมีความเข้มของสีสูงและติดสีสม่ำเสมอ โดยมีค่าความเข้มสีอยู่ในช่วง 7.5-9 ในผ้าหนาและค่าความเข้มสี 9.5-10.2 ในผ้าบาง

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 ให้ผลใกล้เคียงกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L โดยผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดสามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืนผ้า ผ้ามีความขาวเพิ่มขึ้นจากผ้าดิบ หลังการกำจัดสิ่งสกปรกผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 2-3 และความแข็งแรงของผ้าไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก ถึงแม้ว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 มีปริมาณเพกทินบนผ้าสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 ก็สามารถขจัดเพกทินบนผ้าออกไปได้มากพอที่จะทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ทันที ผ้ามีความขาว และความเข้มสีใกล้เคียงกันกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาหาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายดิบ (ชนิดผ้าถักเนื้อบางและเนื้อหนา) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส (ANP-N300) พบว่าภาวะที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกมี 2 สูตรดังนี้

สูตรที่ 1 คือที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที พีเอช 6.5 อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:50 ปริมาณเอนไซม์ 0.5 กรัม/ลิตร และปริมาณสารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร

สูตรที่ 2 คือที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที พีเอช 6.5 อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลายทั้งหมด 1:50 ปริมาณเอนไซม์ 0.5 กรัม/ลิตร และปริมาณสารช่วยเปียก 1 กรัม/ลิตร

2. จากผลการทดสอบสมบัติต่างๆ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายถักที่ใช้ในงานวิจัยนี้ด้วยเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 0.5 กรัม/ลิตร ให้ผลใกล้เคียงกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L 0.12 กรัม/ลิตร (ร้อยละ 0.6 ของน้ำหนักผ้า) โดยผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ทั้งสองชนิดสามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีและสม่ำเสมอทั่วทั้งผืนผ้า ผ้ามีความขาวเพิ่มขึ้นจากผ้าดิบ หลังการกำจัดสิ่งสกปรกผ้ามีการสูญเสียน้ำหนักเพียงร้อยละ 2-3 และความแข็งแรงของผ้าไม่เปลี่ยนแปลงจากเดิมมากนัก ถึงแม้ว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 มีปริมาณเพกทินบนผ้าสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ANP-N300 ก็สามารถขจัดเพกทินบนผ้าออกไปได้มากพอที่จะทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ทันที ผ้ามีความขาว และความเข้มสีใกล้เคียงกันกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ Scourzyme L จึงสรุปได้ว่าเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 ซึ่งปกติใช้ในการฟอกสีผ้ายีนส์และกำจัดขนบนผ้าใยเซลลูโลส สามารถนำมาใช้สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายได้ผลดีเช่นเดียวกับเอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L ที่นิยมใช้ในกระบวนการดังกล่าวในปัจจุบัน

3. เมื่อคำนวณต้นทุนของเอนไซม์ทั้งสองชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ พบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเซลลูเลส ANP-N300 ต้องใช้ปริมาณเอนไซม์ 25 กรัม/ผ้า 1 กิโลกรัม มีต้นทุนการใช้เอนไซม์ 13 บาท/ผ้า 1 กิโลกรัม (เอนไซม์ ANP-N300 1 กิโลกรัม ราคา 520 บาท) ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเพกทิเนส Scourzyme L ซึ่งต้องใช้ปริมาณเอนไซม์ 6 กรัม/ผ้า 1 กิโลกรัม มีต้นทุนการใช้เอนไซม์ 1.20 บาท/ผ้า 1 กิโลกรัม (เอนไซม์ Scourzyme L 1 กิโลกรัม ราคา 200 บาท)

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำเอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 มาใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรก อาจจะมีการทดสอบหาผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการไฮโดรไลซิสผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์ เช่น กรดกาแลกทูโรนิก น้ำตาลรีดิวซิง เปรียบเทียบกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกทิเนส Scourzyme L เพื่อศึกษาปริมาณและชนิดของผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรก

2. อาจจะทดลองศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชนิดอื่นๆ โดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส ANP-N300 เช่น ผ้าฝ้ายผสมพอลิเอสเทอร์

รายการอ้างอิง

[1] วีรศักดิ์ อุดมกิจเดชา. วิทยาศาสตร์เส้นใย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

[2] มณฑา จันทร์เกตุเลี้ยด. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : หอรัตนชัยการพิมพ์, 2541.

[3] เกษม พิพัฒนปัญญานุกูล. กรมการควบคุมคุณภาพการเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : (ม.ป.ท.), 2537.

[4] อัจฉรา ไศละสูต. ความรู้เรื่องผ้า. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร : (ม.ป.ท.), 2529.

[5] Wakelyn, P. J., French, A. D., Bertoniere, N. R., Thibodeaux, D. P., Triplett, B. A., Goynes, W. R., Hunter, L., Mcalister, D. D., and Gamble, G. R. Cotton Fiber Chemistry and Technology. New York : Taylor & Francis Group, 2007.

[6] Nevell, T. P. Cellulose : Structure, Properties and Behaviour in the Dyeing Process. In J. Shore ed. Cellulosics Dyeing. Oxford : Alden Press, 1995.

[7] Li, Y., and Hardin, I. R. Enzyme Scouring of Cotton : Effect on Structure and Properties. Textile Chemist and Colorist 29 (8)(1997) : 71-76.

[8] เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์. เอนไซม์ดัดแปรคาร์โบไฮเดรตในอุตสาหกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

[9] ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. สารชีวโมเลกุล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์, 2524.

[10] Cavaco-Paulo, A., and Gübitz, G.M. Textile Processing with Enzymes. England : The Textile Institute, 2003.

[11] ไพศาล สิทธิกรกุล และคณะ. ชีววิทยา เล่ม 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : ด่านสุทธาการพิมพ์, 2546.

[12] สมศักดิ์ วรคามิน. เอนไซม์กุญแจแห่งชีวิต. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สามเจริญพานิชย์, 2550.

[13] อาภัสสรา ชูเทศะ. ชีวเคมี. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร : ภาควิชาสรีรวิทยา คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2538.

[14] ปรีชา สุวรรณพินิจ และ นงลักษณ์ สุวรรณพินิจ. ชีววิทยา1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

[15] Helmut, U. Industrial Enzymes and Applications. New York : John Wiely and Sons,1998.

[16] Kumar, A., Yoon, M., and Purtell, C. Optimimizg the Use of Cellulase Enzyme in Finishing Cellulosic Fabric. Textile Chemist and Colorist, (April 1997) : 37-42.

[17] ธีระดล รุ่งเรืองกิจไกร. การประยุกต์เอนไซม์ในกระบวนการเตรียมด้ายและผ้าฝ้าย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

[18] ภูวดล กิจเจริญเสรี. การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชนิดต่างๆด้วยเอนไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

[19] Hebeish, A., Hashem, M., Shaker, N., Ramadan, M., El-Sadek, B., and Hady, M. A. New development for combined bioscouring and bleaching of cotton-based fabrics. Carbohydrate Polymers 78 (2009) : 961-972.

[20] Sangwatanaroj, U., Choonukulpong, K., and Ueda, M. Cotton Scouring with Pectinase/Lipase/ Protease/ cellulase. AATCC REVIEW. (May 2003) : 17-20.

[21] Ahlawat, S., Dhiman, S. S., Battan, B., Mandhan, R. P., and Sharma, J. Pectinase production by *Bacillus subtilis* and its potential application in biopreparation of cotton and micropoly. Process Biochemistry 44 (2009) : 521-526.

[22] Abdel-Halim, E.S., Fahmy, H.M., and Fouda, M.M.G. Bioscouring of linin fabric in comparison with conventional chemical treatment. Carbohydrate Polymers 74 (2008) : 707-711.

[23] Birtwell, C., Clibbens, D. A., and Ridge, B. P. Journal Textile Institute 14 (1923) T297.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ของผ้าดิบชนิดบาง ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที

การกำจัดสิ่งสกปรก	น้ำหนักผ้าก่อนการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	น้ำหนักผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป
Blank treatment pH 8	1.905	1.864	2.15
	1.911	1.869	2.20
	เฉลี่ย		2.18
Blank treatment pH 6.5	1.899	1.858	2.16
	1.903	1.860	2.26
	เฉลี่ย		2.21
Scourzyme L pH 8	1.904	1.839	3.41
	1.940	1.873	3.45
	เฉลี่ย		3.43
ANP-N300 pH 6.5	1.923	1.875	2.50
	1.926	1.879	2.44
	เฉลี่ย		2.47

ตารางที่ ก.2 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ของผ้าดิบชนิดหนา ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที

การกำจัดสิ่งสกปรก	น้ำหนักผ้า ก่อนการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	น้ำหนักผ้า หลังการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักผ้า ที่ขาดหายไป
Blank treatment pH 8	1.901	1.864	1.95
	1.910	1.872	1.99
	เฉลี่ย		1.97
Blank treatment pH 6.5	1.904	1.869	1.84
	1.906	1.871	1.84
	เฉลี่ย		1.84
Scourzyme L pH 8	1.907	1.848	3.09
	1.908	1.849	3.09
	เฉลี่ย		3.09
ANP-N300 pH 6.5	1.919	1.875	2.29
	1.891	1.848	2.27
	เฉลี่ย		2.28

ตารางที่ ก.3 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ของผ้าดิบชนิดบาง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

การกำจัดสิ่งสกปรก	น้ำหนักผ้าก่อนการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	น้ำหนักผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป
Blank treatment pH 8	1.910	1.869	2.15
	1.854	1.815	2.10
	เฉลี่ย		2.13
Blank treatment pH 6.5	1.917	1.876	2.14
	1.908	1.869	2.04
	เฉลี่ย		2.09
Scourzyme L pH 8	1.906	1.848	3.04
	1.926	1.867	3.06
	เฉลี่ย		3.05
ANP-N300 pH 6.5	1.934	1.883	2.64
	1.924	1.873	2.65
	เฉลี่ย		2.65

ตารางที่ ก.4 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ของผ้าดิบชนิดหนา ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

การกำจัดสิ่งสกปรก	น้ำหนักผ้า ก่อนการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	น้ำหนักผ้า หลังการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักผ้า ที่ขาดหายไป
Blank treatment pH 8	1.917	1.878	2.03
	1.905	1.865	2.10
	เฉลี่ย		2.07
Blank treatment pH 6.5	1.910	1.870	2.09
	1.894	1.852	2.22
	เฉลี่ย		2.16
Scourzyme L pH 8	1.916	1.860	2.92
	1.917	1.861	2.92
	เฉลี่ย		2.92
ANP-N300 pH 6.5	1.892	1.847	2.38
	1.902	1.857	2.37
	เฉลี่ย		2.38

ภาคผนวก ข

ตารางที่ ข.1 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบ (ชนิดบาง) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ความต้านทานแรงดันทะลุ (ปอนด์/ตารางนิ้ว)				
		1	2	3	เฉลี่ย	S.D.
ผ้าดิบ		60.3	60.1	60.6	60.3	0.25
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	69.4	66.9	-	68.2	1.77
	Blank treatment pH 6.5	73.1	75.3	-	74.2	1.56
	Scourzyme L pH 8	74.5	76.3	74.7	75.2	0.99
	ANP-N300 pH 6.5	71.2	71.6	71.1	71.3	0.26
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	68.6	65.6	69.8	68.0	2.16
	Blank treatment pH 6.5	70.4	69.5	66.9	68.9	1.82
	Scourzyme L pH 8	75.0	73.7	76.3	75.0	1.30
	ANP-N300 pH 6.5	71.6	73.9	73.5	73.0	1.23

ตารางที่ ข.2 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบ (ชนิดหนา) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ความต้านทานแรงดันทะลุ (ปอนด์/ตารางนิ้ว)				
		1	2	3	เฉลี่ย	S.D.
ผ้าดิบ		165.2	165.9	165.8	165.6	0.38
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	168.1	167.7	-	167.9	0.28
	Blank treatment pH 6.5	164.1	165.8	161.9	163.9	1.96
	Scourzyme L pH 8	152.9	155.9	-	154.4	2.12
	ANP-N300 pH 6.5	158.8	157.3	-	158.1	1.06
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	163.5	161.3	160.1	161.6	1.72
	Blank treatment pH 6.5	162.4	163.9	158.3	161.5	2.90
	Scourzyme L pH 8	158.1	157.5	153.3	156.3	2.62
	ANP-N300 pH 6.5	156.1	158.6	-	157.4	1.77

ภาคผนวก ค

ตารางที่ ค.1 ดัชนีความขาวของผ้าดิบ (ชนิดบาง) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ดัชนีความขาว			
		1	2	3	เฉลี่ย
ผ้าดิบ		11.20	11.27	11.70	11.39
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	26.81	26.47	27.35	26.88
	Blank treatment pH 6.5	27.44	27.71	27.98	27.71
	Scourzyme L pH 8	34.20	34.11	34.05	34.12
	ANP-N300 pH 6.5	33.89	33.80	34.00	33.90
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	25.89	25.69	26.56	26.05
	Blank treatment pH 6.5	27.44	27.45	27.50	27.46
	Scourzyme L pH 8	32.70	32.21	32.46	32.46
	ANP-N300 pH 6.5	33.25	34.18	33.45	33.63

ตารางที่ ค.2 ดัชนีความขาวของผ้าดิบ (ชนิดหนา) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ดัชนีความขาว			
		1	2	3	เฉลี่ย
ผ้าดิบ		-	-	-	วัดไม่ได้
อุณหภูมิ 50 ºC เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	6.09	5.94	7.30	6.44
	Blank treatment pH 6.5	8.27	6.74	7.97	7.66
	Scourzyme L pH 8	12.51	11.01	11.82	11.78
	ANP-N300 pH 6.5	10.99	11.60	11.35	11.31
อุณหภูมิ 60 ºC เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	5.59	6.13	5.80	5.84
	Blank treatment pH 6.5	6.24	6.33	6.16	6.24
	Scourzyme L pH 8	11.31	10.13	10.54	10.66
	ANP-N300 pH 6.5	10.05	10.32	10.59	10.32

ตารางที่ ค.3 ดัชนีความเหลืองของผ้าดิบ (ชนิดบาง) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ดัชนีความเหลือง			
		1	2	3	เฉลี่ย
ผ้าดิบ		26.84	26.80	26.58	26.74
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	20.21	20.36	19.98	20.18
	Blank treatment pH 6.5	19.86	19.80	19.70	19.79
	Scourzyme L pH 8	17.28	17.37	17.38	17.34
	ANP-N300 pH 6.5	17.42	17.45	17.33	17.40
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	20.58	20.68	20.31	20.52
	Blank treatment pH 6.5	19.95	19.97	19.92	19.95
	Scourzyme L pH 8	17.90	18.15	17.94	18.00
	ANP-N300 pH 6.5	17.70	17.28	17.63	17.54

ตารางที่ ค.4 ดัชนีความเหลืองของผ้าดิบ (ชนิดหนา) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ดัชนีความเหลือง			
		1	2	3	เฉลี่ย
ผ้าดิบ		35.89	35.25	35.93	35.69
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	30.08	30.13	29.40	29.87
	Blank treatment pH 6.5	28.90	29.54	28.90	29.11
	Scourzyme L pH 8	26.71	27.49	27.16	27.12
	ANP-N300 pH 6.5	27.45	27.20	27.33	27.33
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	30.35	30.11	30.26	30.24
	Blank treatment pH 6.5	29.95	29.88	29.97	29.93
	Scourzyme L pH 8	27.49	28.01	27.82	27.77
	ANP-N300 pH 6.5	27.98	27.86	27.72	27.85

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบ (ชนิดบาง) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที

น้ำหนักผ้า (กรัม)	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นสีบนผ้า (กรัม/ลิตร)	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม
ผ้าดิบ							
2.0360	61.1	0.47	0.0025	0.1007	0.3993	0.0244	11.98
2.0540	61.6	0.49	0.0026	0.1050	0.3950	0.0243	11.85
2.0102	60.3	0.44	0.0024	0.0943	0.4057	0.0245	12.17
เฉลี่ย							12.00
Blank treatment pH 8							
1.9960	59.9	0.65	0.0035	0.1393	0.3607	0.0216	10.82
2.0198	60.6	0.66	0.0035	0.1414	0.3586	0.0217	10.76
2.0248	60.7	0.64	0.0034	0.1371	0.3629	0.0220	10.89
เฉลี่ย							10.82
Blank treatment pH 6.5							
1.9876	59.6	0.57	0.0031	0.1221	0.3779	0.0225	11.34
2.0212	60.6	0.61	0.0033	0.1307	0.3693	0.0224	11.08
2.0343	61.0	0.62	0.0033	0.1328	0.3672	0.0224	11.02
เฉลี่ย							11.15
Scourzyme L pH 8							
2.0029	60.1	1.30	0.0070	0.2785	0.2215	0.0133	6.65
2.0178	60.5	1.31	0.0070	0.2807	0.2193	0.0133	6.58
2.0095	60.3	1.25	0.0067	0.2678	0.2322	0.0140	6.97
เฉลี่ย							6.73
ANP-N300 pH 6.5							
2.0157	60.5	0.81	0.0043	0.1735	0.3265	0.0197	9,80
1.9922	59.8	0.87	0.0047	0.1864	0.3136	0.0187	9.41
2.0109	60.3	0.83	0.0044	0.1778	0.3222	0.0194	9.67
เฉลี่ย							9.63

ตารางที่ ง.2 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบ (ชนิดหนา) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 45 นาที

น้ำหนักผ้า (กรัม)	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นสีบนผ้า (กรัม/ลิตร)	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม
ผ้าดิบ							
2.0366	61.1	0.45	0.0024	0.0964	0.4036	0.0247	12.11
2.0267	60.8	0.42	0.0022	0.0900	0.4100	0.0249	12.30
2.0478	61.4	0.47	0.0025	0.1007	0.3993	0.0245	11.98
เฉลี่ย							12.13
Blank treatment pH 8							
2.0378	61.1	0.42	0.0022	0.0900	0.4100	0.0251	12.30
2.0245	60.7	0.48	0.0026	0.1028	0.3972	0.0241	11.92
2.0172	60.5	0.48	0.0026	0.1028	0.3972	0.0240	11.92
เฉลี่ย							12.05
Blank treatment pH 6.5							
2.0397	61.2	0.50	0.0027	0.1071	0.3929	0.0240	11.79
2.0469	61.4	0.54	0.0029	0.1157	0.3843	0.0236	11.53
2.0585	61.8	0.51	0.0027	0.1093	0.3907	0.0241	11.72
เฉลี่ย							11.68
Scourzyme L pH 8							
1.9581	58.7	1.18	0.0063	0.2528	0.2472	0.0145	7.42
1.9930	59.8	1.19	0.0064	0.2550	0.2450	0.0146	7.35
1.9528	58.6	1.17	0.0063	0.2507	0.2493	0.0146	7.48
เฉลี่ย							7.42
ANP-N300 pH 6.5							
2.0024	60.1	0.71	0.0038	0.1521	0.3479	0.0209	10.44
1.9949	59.8	0.69	0.0037	0.1478	0.3522	0.0211	10.57
1.9618	58.9	0.76	0.0041	0.1628	0.3372	0.0198	10.12
เฉลี่ย							10.38

ตารางที่ ง.3 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบ (ชนิดบาง) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

น้ำหนักผ้า (กรัม)	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นสีบนผ้า (กรัม/ลิตร)	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม
ผ้าดิบ							
2.0360	61.1	0.47	0.0025	0.1007	0.3993	0.0244	11.98
2.0540	61.6	0.49	0.0026	0.1050	0.3950	0.0243	11.85
2.0102	60.3	0.44	0.0024	0.0943	0.4057	0.0245	12.17
เฉลี่ย							12.00
Blank treatment pH 8							
2.0119	60.4	0.46	0.0025	0.0986	0.4014	0.0242	12.04
2.0110	60.3	0.49	0.0026	0.1050	0.3950	0.0238	11.85
2.0325	61.0	0.50	0.0027	0.1071	0.3929	0.0240	11.79
เฉลี่ย							11.89
Blank treatment pH 6.5							
2.0198	60.6	0.68	0.0036	0.1457	0.3543	0.0215	10.63
2.0132	60.4	0.69	0.0037	0.1478	0.3522	0.0213	10.57
2.0160	60.5	0.68	0.0037	0.1457	0.3543	0.0214	10.63
เฉลี่ย							10.61
Scourzyme L pH 8							
1.9829	59.5	1.33	0.0071	0.2849	0.2151	0.0128	6.45
1.9539	58.6	1.31	0.0070	0.2807	0.2193	0.0129	6.58
1.9710	59.1	1.29	0.0069	0.2764	0.2236	0.0132	6.71
เฉลี่ย							6.58
ANP-N300 pH 6.5							
1.9280	57.8	0.94	0.0050	0.2014	0.2986	0.0173	8.96
1.9487	58.5	0.94	0.0050	0.2014	0.2986	0.0175	8.96
2.0079	60.2	0.88	0.0047	0.1885	0.3115	0.0188	9.35
เฉลี่ย							9.09

ตารางที่ ง.4 ปริมาณสีย้อม methylene blue บนผ้าดิบ (ชนิดหนา) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 10 นาที

น้ำหนักผ้า (กรัม)	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย (มิลลิลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม (กรัม/ลิตร)	ความเข้มข้นสีบนผ้า (กรัม/ลิตร)	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม
ผ้าดิบ							
2.0366	61.1	0.45	0.0024	0.0964	0.4036	0.0247	12.11
2.0267	60.8	0.42	0.0022	0.0900	0.4100	0.0249	12.30
2.0478	61.4	0.47	0.0025	0.1007	0.3993	0.0245	11.98
เฉลี่ย							12.13
Blank treatment pH 8							
2.0348	61.0	0.47	0.0025	0.1007	0.3993	0.0244	11.98
2.0411	61.2	0.49	0.0026	0.1050	0.3950	0.0242	11.85
2.0245	60.7	0.48	0.0026	0.1028	0.3972	0.0241	11.92
เฉลี่ย							11.92
Blank treatment pH 6.5							
2.0328	61.0	0.56	0.0030	0.1200	0.3800	0.0232	11.40
2.0010	60.0	0.58	0.0031	0.1243	0.3757	0.0226	11.27
2.0373	61.1	0.50	0.0027	0.1071	0.3929	0.0240	11.79
เฉลี่ย							11.49
Scourzyme L pH 8							
1.9930	59.8	1.05	0.0056	0.2250	0.2750	0.0164	8.25
2.0065	60.2	1.07	0.0057	0.2292	0.2708	0.0163	8.12
1.9825	59.5	1.04	0.0056	0.2228	0.2772	0.0165	8.32
เฉลี่ย							8.23
ANP-N300 pH 6.5							
2.0236	60.7	0.76	0.0041	0.1628	0.3372	0.0205	10.12
2.0076	60.2	0.75	0.0040	0.1607	0.3393	0.0204	10.18
2.0119	60.4	0.70	0.0037	0.1500	0.3500	0.0211	10.50
เฉลี่ย							10.27

ภาคผนวก จ

ตารางที่ จ.1 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบ (ชนิดบาง) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ความเข้มสี (K/S)			
		1	2	3	เฉลี่ย
ผ้าดิบ		12.83	12.98	12.75	12.85
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	10.52	9.57	9.40	9.83
	Blank treatment pH 6.5	9.58	9.15	9.01	9.25
	Scourzyme L pH 8	10.54	9.94	9.94	10.14
	ANP-N300 pH 6.5	9.64	10.11	9.64	9.80
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	8.39	10.16	9.40	9.32
	Blank treatment pH 6.5	8.59	9.13	9.58	9.08
	Scourzyme L pH 8	10.36	10.16	10.16	10.23
	ANP-N300 pH 6.5	10.11	9.19	9.33	9.54

ตารางที่ จ.2 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบ (ชนิดหนา) และผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยวิธีต่างๆ

ภาวะ	การกำจัดสิ่งสกปรก	ความเข้มสี (K/S)			
		1	2	3	เฉลี่ย
ผ้าดิบ		11.81	11.94	11.46	11.74
อุณหภูมิ 50 °C เวลา 45 นาที	Blank treatment pH 8	8.12	8.51	7.52	8.05
	Blank treatment pH 6.5	7.38	8.29	7.77	7.81
	Scourzyme L pH 8	8.83	8.93	9.44	9.07
	ANP-N300 pH 6.5	7.71	8.55	8.18	8.15
อุณหภูมิ 60 °C เวลา 10 นาที	Blank treatment pH 8	8.27	8.13	8.79	8.40
	Blank treatment pH 6.5	7.13	7.15	7.46	7.25
	Scourzyme L pH 8	8.97	9.04	8.87	8.96
	ANP-N300 pH 6.5	7.50	7.55	7.46	7.50

ภาคผนวก ฉ

ตารางที่ ฉ.1 น้ำหนักผ้าดิบ

ผืนที่	น้ำหนัก (กรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร)	
	ผ้าบาง	ผ้าหนา
1	0.9458	2.6185
2	0.9550	2.6215
3	0.9988	2.6490
เฉลี่ย	0.9665	2.6297

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเบญจมาส ขวัญคง เกิดเมื่อวันที่ 8 พฤศจิกายน พ.ศ. 2527 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งทอ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ปีการศึกษา 2549 หลังจากนั้นจึงเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นปีการศึกษา 2554