การใช้เอนไซม์ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้าย

นางสาวเบญจมาศ คล้ายเครือญาติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2775-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

REUSE OF ENZYMES IN COTTON SCOURING PROCESS

Miss Benjamas Klaykruayat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Materials Science
Faculty of Science
Chulalongkorn University

Academic Year 2002
ISBN 974-17-2775-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้เอนไซม์ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้าย
โดย	นางสาว เบญจมาศ คล้ายเครือญาติ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย โพธิ์พิจิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กาวี ศรีกูลกิจ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ไพพรรณ สันติสุข)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สิรีรัตน์ จารุจินดา)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เบญจมาศ คล้ายเครือญาติ : การใช้เอนไซม์ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้าย. (REUSE OF ENZYMES IN COTTON SCOURING PROCESS) อ. ที่ปรึกษา : ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์, 97 หน้า. ISBN 974-17-2775-5.

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เอนไซม์ต่างๆ ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายซึ่งทดลองทั้งที่ไม่มีการปรับพีเอชและปรับพีเอชของระบบให้เหมาะสมกับเอนไซม์แต่ละชนิด โดยใช้เอนไซม์ 4 ชนิดได้แก่ เอนไซม์เพกติเนส ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลส

ผ้าฝ้ายดิบถูกกำจัดสิ่งสกปรกในสารละลายเอนไซม์ที่ภาวะเหมาะสม สารละลายที่เหลือจากการใช้ครั้งแรกถูกนำมาใช้ซ้ำสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่ทันที ใช้สารละลายเหล่านี้ซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งสารละลายหมดประสิทธิภาพโดยดูจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกไม่ดูดซึมน้ำในทันที ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกถูกทดสอบหาสมบัติการดูดซึมน้ำ การย้อมติดสี ความขาว ความต้านทานแรงดันทะลุ ระดับเพกตินบนผ้า และน้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้า ผลการวิจัยพบว่าหากไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนนำมาใช้จะไม่สามารถใช้เอนไซม์ซ้ำสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกได้อีก แต่หากมีการปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนนำมาใช้จะสามารถนำเอนไซม์เพกติเนสกลับมาใช้ซ้ำได้อีก 2 ครั้ง ส่วนเอนไซม์ไลเปส โปรทีเอสและเซลลูเลส สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีก 1 ครั้ง การใช้เอนไซม์เหล่านี้ซ้ำสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกยังคงให้ผลการกำจัดสิ่งสกปรกที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ครั้งแรก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชาวัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต.....
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์ฯ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ปีการศึกษา 2545

#4472314423 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEY WORDS: SCOURING / COTTON / ENZYME / REUSE

BENJAMAS KLAYKRUAYAT : REUSE OF ENZYMES IN COTTON SCOURING PROCESS. THESIS ADVISOR : USA SANGWATANAROJ, Ph.D. 97 pp. ISBN 974-17-2775-5.

This research studied a possibility of reusing various enzymes in cotton scouring process. Enzymes were reused both with and without a pH adjustment of the enzyme solution before each reuse. Four enzymes containing pectinase, lipase, protease, and cellulase were used for this task.

Greige cotton fabric was scoured in various enzyme solutions at conditions suitable for each enzyme. Then the solutions were reused for scouring other greige fabrics. The experiment was carried out this way until the solutions showed inefficient scouring power. All scoured fabrics were tested for water absorbency, dyeability, whiteness, bursting strength, pectin content and weight loss. It was found that the enzyme solution could not be reused sufficiently without a pH adjustment of the enzyme solution before reuse. While reusing the pH adjusting enzyme solution showed an adequate scouring. Pectinase enzyme could be reused twice while the other enzymes (lipase , protease , and cellulase) could be reused only once for fabric scouring. Results also indicated that the reused enzyme showed approximately the same scouring power as the first used enzyme.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department of Materials Science Student's signature.....
Field of study Applied Polymer Science and Textile Technology Advisor's signature.....
Academic year 2002

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้นั้น เป็นเพราะได้รับคำแนะนำด้านวิชาการ การเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และวัตถุดิบสำหรับทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับการช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านต่างๆ เป็นอย่างดี

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ อ. ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษาและการแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ รศ. ไพพรรณ สันติสุข ผศ. ดร. กาวี ศรีกูลกิจ อ. ดร. สิรีรัตน์ จารุจินดา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีไทย – ญี่ปุ่น และ Professor Mitsuo Ueda จาก Kyoto Institute of Technology ที่ให้การสนับสนุนเอนไซม์และสารเคมีที่ใช้ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อน และบุคคลอันเป็นที่รักทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ

กิตติกรรมประกาศ.....ฉ

สารบัญ.....ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญรูป.....ฏ

สารบัญแผนภาพ.....ฒ

บทที่

1 บทนำ.....1

2 วารสารปริทรรศน์.....3

2.1 ฝ้าย.....3

2.1.1 โครงสร้างทางกายภาพ.....3

2.1.2 โครงสร้างทางเคมี.....5

2.1.3 สมบัติของเส้นใยฝ้าย.....6

2.1.4 ส่วนประกอบของฝ้ายดิบ.....8

2.1.5 การใช้ประโยชน์และการดูแลรักษา.....11

2.2 เอนไซม์.....12

2.2.1 ประวัติการศึกษาเอนไซม์.....12

2.2.2 รูปร่างและโครงสร้างของเอนไซม์.....12

2.2.3 การทำงานของเอนไซม์.....13

2.2.4 การจำแนกชนิดของเอนไซม์.....16

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์.....17

2.2.6 เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยด้านสิ่งทอ.....18

2.2.6.1 เพกติเนส.....18

2.2.6.2 เซลลูเลส.....20

2.2.6.3 ไลเปส.....21

หน้า

2.2.6.4 โปรทีเอส.....23
2.3 กระบวนการเตรียมสิ่งทอด้วยเอนไซม์.....23
2.4 การนำเอนไซม์กลับมาใช้ใหม่.....24
2.4.1 การตรึงเอนไซม์.....24
2.4.2 การนำสารละลายที่เหลือจากการลอกแป้งมาใช้ในการฟอกผ้าฝ้าย.....25
2.4.3 การกรองเอนไซม์.....26
3 การทดลอง.....27
3.1 วัสดุและสารเคมี.....27
3.1.1 ผ้าตัวอย่าง.....27
3.1.2 เอนไซม์.....27
3.1.3 สารเคมี.....27
3.1.4 สีย้อม.....28
3.2 เครื่องมือ.....28
3.3 การทดลองกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า.....28
3.3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์และการนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับและควบคุมภาวะของระบบ.....29
3.3.2 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์และการนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำโดยมีการปรับและควบคุมภาวะของระบบ.....32
3.4 การทดสอบผ้า.....36
3.4.1 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ.....36
3.4.2 น้ำหนักผ้า.....37
3.4.3 น้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้า.....37
3.4.4 ระดับเพกตินบนผ้า.....38
3.4.5 ความสามารถในการย้อมติดสี.....40
3.4.6 ค่าความขาว.....43
3.4.7 ความแข็งแรงของผ้า.....43
4 ผลการทดลองและวิจารณ์.....45

หน้า

4.1 สมบัติของผ้าดิบ.....45
4.2 สมบัติของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก.....45
4.2.1 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ.....46
4.2.2 น้ำหนักที่ขาดหายไป.....47
4.2.3 ความแข็งแรง.....51
4.2.4 ความขาว.....55
4.2.5 ระดับเพกตินบนผ้า.....60
4.2.6 ความสามารถในการย้อมติดสี.....64
5 สรุปผลการทดลอง.....72
รายการอ้างอิง.....74
ภาคผนวก.....77
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....97

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 สมบัติของเส้นใยฝ้าย.....6
ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเส้นใยฝ้ายดิบที่แห้ง.....8
ตารางที่ 3.1 เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัย.....27
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย.....27
ตารางที่ 3.3 สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย.....28
ตารางที่ 3.4 สูตรการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ.....31
ตารางที่ 4.1 สมบัติต่างๆของผ้าดิบ.....45
ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัด
สิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและ
การใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์
ก่อนการใช้ซ้ำ.....46
ตารางที่ 4.3 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัด
สิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและ
การใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์
ก่อนการใช้ซ้ำ..... 48
ตารางที่ 4.4 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัด
สิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและ
การใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์
ก่อนการใช้ซ้ำ.....52
ตารางที่ 4.5 ความขาว ความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัด
สิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและ
การใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์
ก่อนการใช้ซ้ำ.....55
ตารางที่ 4.6 ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัด
สิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและ
การใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์
ก่อนการใช้ซ้ำ.....61

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 4.7 ค่าความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....65

ตารางที่ 4.8 ปริมาณ benzopurpurine 4B บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย……..……4
รูปที่ 2.2 เส้นใยฝ้ายดิบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด……..……..4
รูปที่ 2.3 โครงสร้างตามภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้าย.....5
รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส.....5
รูปที่ 2.5 โครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ของฝ้ายดิบตามภาคตัดขวาง…… ……9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของเพกติน.....10
รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบส์ขณะที่เกิดปฏิกิริยา.....14
รูปที่ 2.8 กลไกการทำงานของเอนไซม์ตามสมมติฐานแม่กุญแจ – ลูกกุญแจ.....16
รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยา ester hydrolysis และปฏิกิริยา depolymerization ของเพกติน.....19
รูปที่ 2.10 กลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส 20
รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาการย่อยสลายไตรกลีเซอร์ไรด์ของไลเปส.....22
รูปที่ 3.1 เครื่องเขย่า (Shaker bath, Gallenkamp, Model No. 900032)……34
รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared moisture balance)……..……37
รูปที่ 3.3 UV-Visible spectrophotometer, JENWAY, Model 6405……..…….. 39
รูปที่ 3.4 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเข้มข้นของสารละลายสี methylene blue กับค่าการดูดกลืนแสง
ที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร.....40
รูปที่ 3.5 เครื่องย้อม (Ahiba Polymat ®)……..……41
รูปที่ 3.6 Macbeth reflectance spectrophotometer, COLOR-EYE® 7000……..……42
รูปที่ 3.7 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความ
เข้มข้นของสารละลายสี Benzopurpurine 4B กับค่าการดูดกลืนแสง.....43
รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความต้านทานแรงดันทะลุ.....44
รูปที่ 4.1 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....49
รูปที่ 4.2 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์เอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....50

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.3 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....53
รูปที่ 4.4 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....54
รูปที่ 4.5 ความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....56
รูปที่ 4.6 ความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....57
รูปที่ 4.7 ความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....59
รูปที่ 4.8 ความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....60
รูปที่ 4.9 ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....62
รูปที่ 4.10 ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....63
รูปที่ 4.11 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....66

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.12 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....67
รูปที่ 4.13 ปริมาณ benzopurpurine 4B บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....69
รูปที่ 4.14 ปริมาณ benzopurpurine 4B บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก
ด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ
โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ.....70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญแผนภาพ

หน้า

แผนภาพที่ 1 การกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ.....35
แผนภาพที่ 2 ขั้นตอนการย้อมผ้าด้วยสี methylene blue.....39
แผนภาพที่ 3 ขั้นตอนการย้อมผ้าด้วยสี benzopurpurine 4B.....41

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติ ฝ้ายดิบนอกจากจะมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักแล้วยังมีเพกติน ขี้ผึ้ง ขี้เถ้า และส่วนประกอบอื่นๆ อีก ส่วนประกอบที่นอกเหนือจากเซลลูโลสเป็นสิ่งเจือปนที่ควรกำจัดออก เนื่องจากจะเป็นปัญหาในกระบวนการย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ เพราะสิ่งเจือปนเหล่านี้จะทำให้การดูดซึมน้ำ สารเคมี และสีย้อมเป็นไปได้ไม่ดีนัก ดังนั้นการเตรียมผ้าฝ้ายก่อนทำการย้อม พิมพ์ และตกแต่งสำเร็จ จึงนับว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญแต่ขั้นตอนการเตรียมผ้าฝ้ายต้องใช้สารเคมีเป็นจำนวนมาก เช่น กระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายนิยมกระทำโดยการต้มผ้าในสารละลายด่างคอสติกโซดา ซึ่งน้ำที่มีสารเคมีจากกระบวนการจะต้องถูกบำบัดก่อนทิ้งลงแหล่งน้ำสาธารณะ ปัจจุบันจึงมีผู้ประกอบการสิ่งทอจำนวนมากให้ความสนใจกับการเลือกใช้สารเคมีที่บำบัดง่าย และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมในกระบวนการทางสิ่งทอเช่น การใช้สารเคมีที่ไม่มีโลหะหนักและการใช้เอนไซม์ เอนไซม์ที่มีการนำมาใช้มากในอุตสาหกรรมสิ่งทอคือ เอนไซม์อะไมเลส ซึ่งเป็นเอนไซม์ที่ใช้เพื่อกำจัดแป้งบนเส้นด้ายยืนของผ้าทอ เอนไซม์อื่นๆที่มีการนำมาใช้บ้างได้แก่ เอนไซม์เซลลูเลสใช้ในการฟอกสีผ้ายีนส์และการกำจัดขนบนผ้าฝ้าย และเอนไซม์คาทาเลสที่ใช้ในการกำจัดสารเปอร์ออกไซด์ที่ตกค้างบนผ้าหลังฟอกสำหรับกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้าย เริ่มมีการนำเอนไซม์เพกติเนสเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรม ส่วนการใช้เอนไซม์ชนิดอื่นๆ ในกระบวนการนี้ยังอยู่ในขั้นการทดลองในห้องปฏิบัติการทั้งสิ้น จากการทดลองเบื้องต้นพบว่าการใช้เอนไซม์ไลเปสร่วมกับเซลลูเลส เอนไซม์โปรทีเอสร่วมกับเซลลูเลส และเอนไซม์ไลเปส โปรทีเอสร่วมกับเซลลูเลสสามารถกำจัดสิ่งปรกบนผ้าฝ้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้เอนไซม์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น แต่การผลิตเอนไซม์เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมภายในประเทศยังไม่สามารถกระทำได้ ถึงแม้จะผลิตเอนไซม์ที่มีประสิทธิภาพแต่ผลิตได้ปริมาณน้อยเกินไป ไม่เพียงพอที่จะรองรับความต้องการของอุตสาหกรรมได้ ทำให้ต้องนำเข้าเอนไซม์จากต่างประเทศซึ่งมีราคาแพง ต้นทุนการผลิตสิ่งทอจึงสูงแต่ถ้าสามารถนำเอนไซม์ที่ใช้แล้วในกระบวนการทางสิ่งทอกลับมาใช้ใหม่ได้อีกก็จะสามารถลดต้นทุนการผลิตได้ เนื่องจากเอนไซม์เป็นสารทางชีวภาพที่ทำหน้าที่คล้ายสารเร่งปฏิกิริยาเคมี เมื่อถูกใช้ในปฏิกิริยาจะไม่เสื่อมสภาพลงเร็วนักถ้าสามารถควบคุมภาวะในระบบให้เหมาะสมแก่เอนไซม์นั้นๆ เช่น ควบคุมความเป็นกรดเป็นด่าง (พีเอช) และอุณหภูมิของระบบให้อยู่ในช่วงที่เอนไซม์มีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุด ควบคุมสิ่งเจือปนในระบบให้มีน้อยที่สุด และควบคุมสิ่งอื่นๆ การควบคุมปัจจัยเหล่านี้อาจทำให้สามารถนำเอนไซม์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำได้อีกตราบเท่าที่เอนไซม์ยังมีประสิทธิภาพดีอยู่

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอนไซม์ต่างๆ ที่ใช้แล้วสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการเดิม โดยเอนไซม์เหล่านี้ประกอบด้วยเอนไซม์เพกติเนส ไลเปส โปรทีเอสและเซลลูเลส ซึ่งถ้าผลการวิจัยแสดงว่าสามารถใช้เอนไซม์เหล่านี้ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกได้ก็จะเป็นการช่วยลดปริมาณเอนไซม์ที่ต้องใช้ในกระบวนการ ลดต้นทุนการผลิต และช่วยสนับสนุนให้มีการใช้เอนไซม์แทนสารเคมีอันตรายต่างๆ ในกระบวนการทางสิ่งทอมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
วารสารปริทรรศน์

2.1 **ฝ้าย** (Cotton)

ฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่สำคัญที่สุด และใช้ประโยชน์ได้มากมายหลายทาง มีแหล่งปลูกกระจายทั่วโลกยกเว้นบางประเทศที่มีอากาศหนาว ฝ้ายเป็นไม้พุ่มให้เส้นใยจากเมล็ดหรือปุยฝ้าย เส้นใยที่นำไปปั่นเป็นเส้นด้ายได้ต้องมีความยาวเหมาะสมคือ ไม่สั้นจนเกินไป อาจปั่นด้ายโดยใช้ฝ้าย 100 เปอร์เซ็นต์ หรือนำไปผสมกับเส้นใยอื่นๆ ได้เกือบทุกชนิดเพื่อปั่นด้ายใยผสม [1]

2.1.1 **โครงสร้างทางกายภาพ**

เส้นใยเซลลูโลสเป็นเส้นใยเซลล์เดียว ลักษณะเซลล์บิดตัว ความยาวเส้นใยตั้งแต่ 1/2 - 2 นิ้ว ถ้าตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์พบว่าประกอบด้วย 3 ส่วนคือ เยื่อหุ้มชั้นนอก ผนังเซลล์ และช่องว่างตรงกลาง [2]

2.1.2.1 **เยื่อหุ้มชั้นนอก** (cuticle) เป็นเยื่อหุ้มบางๆ หุ้มภายนอกเส้นใยทั้งหมด ประกอบด้วยขี้ผึ้ง เพกติน และแร่ธาตุอื่น ๆ

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

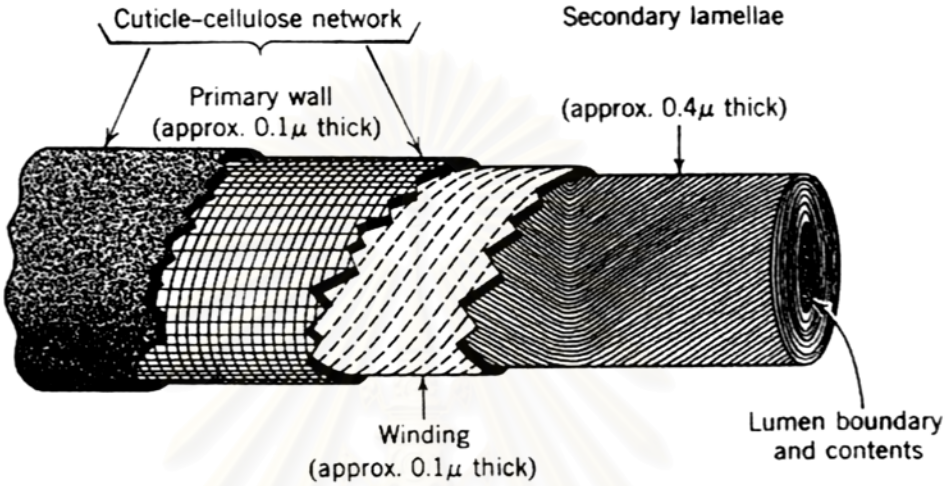
ผนังชั้นนอก (primary wall) มีเซลลูโลสซึ่งประกอบด้วยไฟบริล (fibrils) เส้นเล็กๆ มีความต้านทานต่อกรดและสารเคมีทั่วไป [3]

ผนังชั้นใน (secondary wall) อยู่ชิดกับผนังชั้นนอก เป็นผนังรูปวงแหวนซ้อนกันเป็นชั้นๆ ประกอบด้วยไฟบริลเล็กๆ เรียงตัวกันอยู่ในวงแหวนแต่ละรอบ มีขนาดไม่เท่ากัน

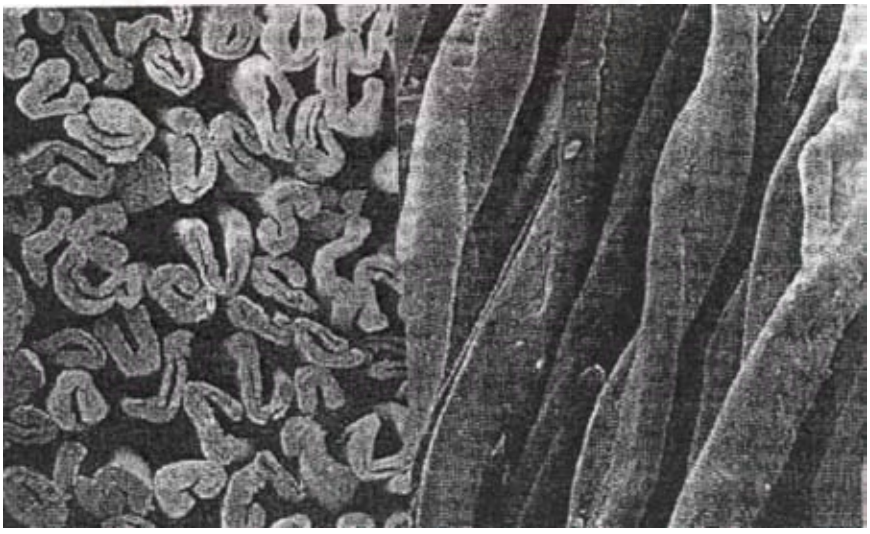
ผนังชั้นนอกและผนังชั้นใน จะมีใยเรียงตัวกันเป็นวงแหวนล้อมรอบลูเมนซึ่งอยู่ตรงกลาง วงแหวนนี้แสดงอายุของเส้นใย ฝ้ายที่แก่จะมีผนังชั้นในหนา

2.1.1.3 **ลูเมน** (lumen) คือช่องว่างตรงกลางภายในเซลล์มีลักษณะเป็นโพรง ใยฝ้ายสดที่อยู่ในเมล็ดฝ้ายจะมีน้ำอยู่ภายในลูเมนทำให้เส้นใยพองตัวตรง เมื่อเมล็ดฝ้ายแตกออก น้ำภายในลูเมนระเหยออกมา เกิดเป็นโพรงอากาศตรงช่องว่างลูเมน อากาศภายนอกกดดันให้โพรงอากาศแฟบลง เส้นใยฟีบและบิดตัว เมื่อเส้นใยแก่ตัวลงบริเวณลูเมนและช่องเล็ก ๆ ในผนังเซลล์จะยุบตัวลงทำให้ใยฝ้ายบิด

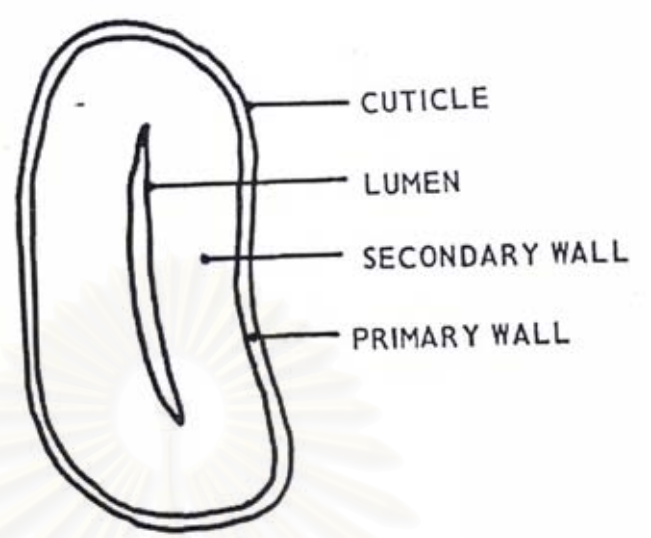
ตัวเป็นเกลียวมากขึ้น ซึ่งเป็นผลดีเมื่อนำเส้นใยฝ้ายไปปั่นเป็นเส้นด้าย คือ ปั่นได้ง่าย เพราะเกลียวของเส้นใยทำให้เกิดเส้นใยยึดเกาะกันได้ดี



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย [4]



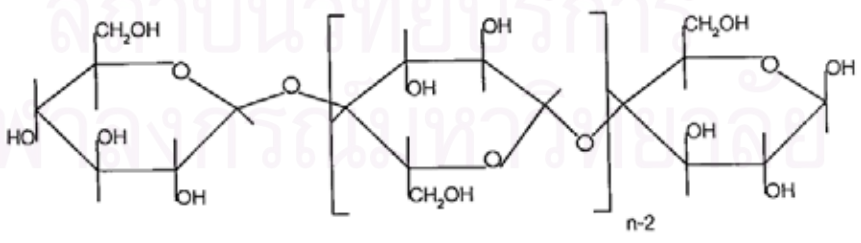
รูปที่ 2.2 เส้นใยฝ้ายดิบจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [5]



รูปที่ 2.3 โครงสร้างตามภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้าย [6]

2.1.2 **โครงสร้างทางเคมี**

องค์ประกอบหลักทางเคมีของเซลลูโลสในใยฝ้ายคือคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน [2] ใยฝ้ายมีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลส 94% โมเลกุลของเซลลูโลสจะประกอบด้วยหน่วยย่อย ๆ คือ กลูโคส ซึ่งแต่ละหน่วยของกลูโคสในสายโซ่พอลิเมอร์จะประกอบไปด้วย หมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 โดยกลูโคสแต่ละหน่วยมาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่คาร์บอนตำแหน่ง 1 และ 4 ของกลูโคสคนละหน่วย



รูปที่ 2.4 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส [5]

2.1.3 **สมบัติของเส้นใยฝ้าย**

สมบัติต่างๆ ของเส้นใยฝ้ายแสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของเส้นใยฝ้าย [7]

สมบัติทางกายภาพ	
ความยาว	3-5 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับภูมิอากาศและแหล่งที่ปลูก)
ภาคตัดขวาง	รูปถั่ว
สี	ขาว ครีม น้ำตาล หรือเทา
การสะท้อนแสง	ไม่ดีนัก มีความมันต่ำ ฝ้ายที่ผ่านการซุบมันในด่างเส้นใยจะพองกลม ทำให้มีความมันเพิ่มขึ้น
ความเหนียว	มีความเหนียวปานกลาง [1] ขณะแห้งมีความเหนียว 3.0 - 5.0 กรัม/เดนเยอร์ เมื่อเปียกความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเป็น 3.6 - 6.0 กรัม/เดนเยอร์
การยืดตัว	ยืดหยุ่นได้ค่อนข้างต่ำ [1] ยืดได้สูงสุด 3-7 เปอร์เซ็นต์ ก่อนขาด
การหดกลับ	ถ้าเส้นใยถูกยืดออกไป 2 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวปกติเมื่อปล่อยแรงจะหดกลับได้ 70 เปอร์เซ็นต์ ของความยาวที่ยืดออกไป
การคืนตัว	ต่ำ ผ้าฝ้ายจึงยับง่าย
ความทนต่อการขัดถู	พอใช้จนถึงดี
ความคงรูป	ไม่ดีนัก ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการซุบมันด้วยด่าง (Mercerization) เมื่อซักฟอกมักหดตัว
การดูดความชื้น (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส)	8.5 เปอร์เซ็นต์
ความถ่วงจำเพาะ	1.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

สมบัติทางเคมี	
สารฟอกขาว	ฝ้ายมีความคงทนต่อสารฟอกขาวทุกชนิด ทั้งชนิดที่เป็นสารฟอกขาว ประเภทคลอรีน (chlorine bleach) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ และสารฟอกขาวประเภทออกซิเจน (oxygen bleach) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
กรดและด่าง	ทนด่างได้ดี กรดเข้มข้นและกรดเจือจางที่ร้อนสามารถทำลายเส้นใยได้
แสงแดดและความร้อน	ทนต่อความร้อนและแสงแดดได้ดี แสงแดดไม่ทำอันตรายต่อผ้าที่ตากจนแห้ง แต่ถ้าปล่อยให้ถูกแสงเป็นระยะเวลานานติดต่อกันจะทำให้เซลลูโลสถูกออกซิไดส์ ความเหนียวของเส้นใยฝ้ายลดลงได้ ฝ้ายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง การรีดผ้าฝ้ายควรใช้อุณหภูมิไม่สูงเกินกว่า 218^{o}C หรือ 425^{o}F
สีย้อม	สีย้อมที่ใช้ย้อมฝ้ายได้ คือ สีไดเรกท์ รีแอคทีฟ แวต แนฟทอล สีย้อมที่ติดเส้นใยได้คงทนมากที่สุดคือ สีแวต
สมบัติทางชีวภาพ	
เห็ด รา และแบคทีเรีย	ฝ้ายที่อยู่ในสภาพเปียกชื้นและอับจะไม่ทนต่อเชื้อเห็ดรา โดยราดำจะขึ้นได้ง่ายบนผ้าฝ้าย ทำให้เกิดจุดดำฝังแน่นในเส้นใย แบคทีเรียจะทำให้เสื้อผ้าที่หมักไว้นาน ๆ มีกลิ่นเหม็นและเปื่อยขาดง่าย

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

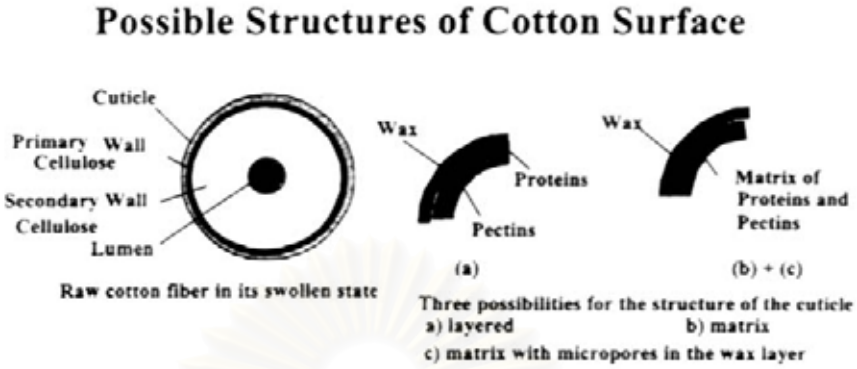
แมลง	ตัวมอด ตัวด้วงไม่กัดกินใยฝ้าย แต่แมลงบางชนิด เช่น ตัวสามง่าม (silverfish) จะชอบกินใยฝ้าย โดยเฉพาะผ้าฝ้ายที่ลงแป้ง
สมบัติในการติดไฟ	ติดไฟง่ายลุกไหม้อย่างรวดเร็ว
สมบัติในการนำไฟฟ้าและความร้อน	ฝ้ายเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี

2.1.4 ส่วนประกอบของฝ้ายดิบ

ฝ้ายดิบนอกจากจะประกอบด้วยเซลลูโลสแล้ว ยังประกอบด้วยขี้ผึ้ง (waxes) ไขมัน (fats) น้ำมัน (oils) เพกติน (pectin) โปรตีน (proteins) กรดอินทรีย์ (organic acids) แร่ธาตุ (minerals) และสารสี (coloring matter)

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบของเส้นใยฝ้ายดิบที่แห้ง [8,3]

องค์ประกอบ	ส่วนประกอบที่สำคัญของเส้นใยฝ้าย (เปอร์เซ็นต์)			ส่วนประกอบที่สำคัญของเยื่อหุ้มชั้นนอก (เปอร์เซ็นต์)
	ค่าทั่วไป	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	
เซลลูโลส	94.0	88.0	96.0	
โปรตีน	1.3	1.1	1.9	30.4
เพกติน	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			
คิวติน				8.7
อื่นๆ	0.9			



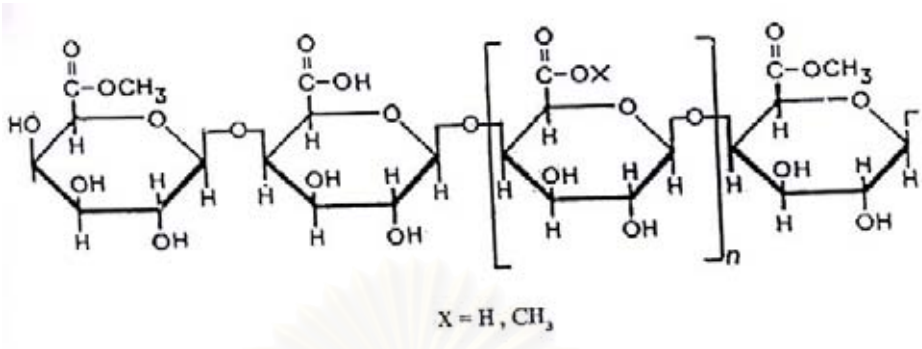
รูปที่ 2.5 โครงสร้างที่น่าจะเป็นไปได้ของฝ้ายดิบตามภาคตัดขวาง [9]

2.1.4.1 **น้ำมันและขี้ผึ้ง**

ฝ้ายมีน้ำมันและขี้ผึ้งประมาณ 0.5 เปอร์เซ็นต์ ขี้ผึ้งในเส้นใยฝ้ายเป็นสารประกอบทางเคมีที่มีกรดและแอลกอฮอล์น้ำหนักโมเลกุลสูงเป็นองค์ประกอบ ซึ่งส่วนใหญ่จะอยู่ที่ชั้นของเยื่อหุ้มชั้นนอก โดยจะเคลือบอยู่ด้านนอกสุดของผนังชั้นนอก [10]

2.1.4.2 **เพกติน**

ปริมาณเพกตินในเส้นใยฝ้ายที่โตเต็มวัยจะมีประมาณ 0.6 - 1.2 เปอร์เซ็นต์ [11] เพกตินเป็นอนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีสายโซ่โมเลกุลคล้ายเซลลูโลส โดยประกอบด้วยสายโซ่ของ α-1,4-linked D-galacturonic ดังรูปที่ 2.4 การแยกสลายของเซลลูโลสจะให้กลูโคส ในขณะที่เพกตินจะสลายตัวให้ galactose และ pentose หลายชนิด นอกนี้ยังมี poly-galacturonic acid และ methyl alcohol เพกตินอาจจะอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็ก ของ poly-galacturonic acid มันจะไม่ละลายน้ำแต่สามารถละลายได้ในสารละลายด่าง [12]



รูปที่ 2.6 โครงสร้างโมเลกุลของเพกติน [13]

2.1.4.3 แร่ธาตุ

ปริมาณของแร่ธาตุที่อยู่ในฝ้ายมีอยู่ 1.0 - 1.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณและส่วนประกอบจะเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติของดินที่ใช้ปลูกฝ้าย เมื่อเผาฝ้ายให้เป็นขี้เถ้า เกลืออินทรีย์ของโลหะในฝ้ายจะเปลี่ยนเป็นคาร์บอเนต และเมื่อวิเคราะห์องค์ประกอบของขี้เถ้าจะพบสารประกอบต่างๆ ดังนี้ [14]

potassium carbonate	44.8	เปอร์เซ็นต์
potassium chloride	9.9	เปอร์เซ็นต์
potassium sulphate	9.3	เปอร์เซ็นต์
calcium sulphate	9.0	เปอร์เซ็นต์
calcium carbonate	10.6	เปอร์เซ็นต์
magnesium sulphate	8.4	เปอร์เซ็นต์
ferric oxide	3.0	เปอร์เซ็นต์
aluminium oxide	5.0	เปอร์เซ็นต์

2.1.4.4 สารประกอบไนโตรเจน

ในฝ้ายจะมีสิ่งเจือปนที่เป็นไนโตรเจนอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ ถ้าไม่กำจัดออกจะทำให้ผ้าเหลืองได้เมื่อตกอยู่บางภาวะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.4.5 สี

เมื่อขี้ผึ้งและสิ่งเจือปนที่เป็นสารประกอบไนโตรเจนถูกกำจัดออก ฝ้ายจะยังคงมีสีเหลืองหรือสีน้ำตาลอยู่เนื่องจากสารธรรมชาติที่มีสี แต่สามารถกำจัดสีเหล่านี้ออกได้โดยใช้สารออกซิไดส์ในกระบวนการฟอก

2.1.4.6 เถ้า

ฝ้ายมีเถ้าอยู่ประมาณ 2-3 เปอร์เซ็นต์ โดยเถ้าส่วนใหญ่จะประกอบด้วย magnesium, calcium หรือ potassium carbonate, sulfates หรือ chloride

2.1.5 การใช้ประโยชน์และการดูแลรักษา

ผ้าฝ้ายถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้านทั้งการทำเป็นเสื้อผ้า เครื่องใช้ในบ้าน งานอุตสาหกรรม สำหรับการใช้ทำเสื้อผ้ามีความเหมาะสมอย่างยิ่ง เนื่องจากผ้าฝ้ายให้ความสบายในการสวมใส่หลายประการ เช่น เป็นตัวนำความร้อนที่ดีจึงไม่สะสมความร้อน ดูดความเปียกชื้นได้ดี และระเหยไปได้เร็ว ผ้าจึงดูดซับความเปียกชื้นได้อยู่เรื่อยๆ คล้ายไส้ตะเกียงดูดซับน้ำมัน สมบัตินี้เรียกว่า wickability ฝ้ายไม่สะสมประจุไฟฟ้าจึงไม่เกิดไฟฟ้าสถิตเหมาะสำหรับสวมใส่ในขณะที่อากาศเย็นและมีความชื้นต่ำ

ถึงแม้ผ้าฝ้ายจะยับง่าย แต่สามารถแก้ไขโดยการตกแต่งสำเร็จให้ทนยับได้ ด้วยสารเคมีหรือผสมเส้นใยฝ้ายกับเส้นใยที่มีความเหนียวและไม่หดหรือยับง่าย เช่น พอลิเอสเทอร์ การผสมมักจะใช้ปริมาณเส้นใยทั้งสองต่างกัน เช่น พอลิเอสเทอร์ 65% ฝ้าย 35% หรือพอลิเอสเทอร์ 45% ฝ้าย 55% นอกจากนี้สามารถตกแต่งสำเร็จให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติเหมาะกับการใช้งานมากขึ้นได้แก่ การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายให้ต้านทานรังสียูวี ตกแต่งให้ผ้าสะท้อนน้ำ และตกแต่งให้ผ้าต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

ผ้าฝ้ายมีความแข็งแรงมากขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปียกน้ำ จึงซักได้ทั้งในน้ำและซักแห้งโดยสามารถใช้สารซักฟอกและสารฟอกขาวได้ทุกชนิด ฝ้ายดูดซับน้ำได้ดี จึงดูดรอยเปื้อนที่ละลายน้ำได้ เมื่อน้ำระเหยไปก็จะทิ้งคราบรอยเปื้อนติดอยู่บนผ้า หากการซักฟอกธรรมดาไม่สามารถกำจัดรอยเปื้อนได้ ก็ควรกำจัดรอยเปื้อนด้วยสารลบรอยเปื้อนที่เหมาะสม ผ้าฝ้ายยับง่าย หดตัวเมื่อซักน้ำแต่ถ้าได้รับการตกแต่งสำเร็จ หรือทำเป็นผ้าใยผสมก็จะลดปัญหานี้ไปได้ ฝ้ายทนต่อแสงแดด หรือความร้อนที่ใช้ทำให้ผ้าแห้งได้ แต่ถ้าถูกแดดตลอดเวลาก็จะทำให้ผ้าเหลืองและความแข็งแรงลดลง การซักและตากผ้าฝ้ายควรให้แห้งสนิท หากยังชื้นแล้วนำไปเก็บไว้จะเกิดราและมีกลิ่นอับเกิดขึ้นได้ การรีดผ้าฝ้ายให้เรียบจะต้องรีดด้วยอุณหภูมิสูง ขณะที่ผ้าชื้นทั่วทั้งผืนผืน

2.2 **เอนไซม์** (Enzyme)

เอนไซม์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาทางชีวภาพ (biological catalyst หรือ biocatalyse) เป็นสารอินทรีย์จำพวกโปรตีน เมื่อปฏิกิริยาที่ใช้เอนไซม์สิ้นสุดแล้วสมบัติทางเคมีและปริมาณของเอนไซม์ยังคงเหมือนเดิม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง สามารถนำไปใช้ทำปฏิกิริยาได้ต่อไปอีก เอนไซม์ต่างจากตัวเร่งปฏิกิริยาชนิดอื่นๆ ตรงที่ถูกสร้างขึ้นมาจากสิ่งมีชีวิต เอนไซม์มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของทั้งพืช สัตว์และจุลินทรีย์ เพราะว่ากระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในเซลล์หรือในร่างกาย เช่น การหายใจ การขับถ่าย การย่อยอาหาร การหดตัวของกล้ามเนื้อ การสืบพันธุ์ เป็นต้น ต้องอาศัยเอนไซม์เป็นตัวช่วยเร่งปฏิกิริยาและทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ

2.2.1 **ประวัติการศึกษาเอนไซม์** [15]

ในปี ค.ศ. 1878 Kuhne ได้ศึกษาเกี่ยวกับและตั้งคำว่า "enzyme" ซึ่งแปลว่า "in yeast" ขึ้นเพื่อใช้เรียกตัวเร่งปฏิกิริยาการหมัก (fermentation) น้ำตาลด้วยยีสต์ ต่อมาพบว่า ปฏิกิริยาเคมีของการใช้น้ำตาลที่เกิดขึ้นในร่างกายก็อาศัยตัวเร่งชนิดเดียวกันนี้ ดังนั้นคำว่า "enzyme" จึงมิได้หมายถึงตัวเร่งปฏิกิริยาที่พบเฉพาะในยีสต์เท่านั้น แต่เรียกครอบคลุมถึงตัวเร่งปฏิกิริยาเคมีอื่นๆ ที่พบในสิ่งมีชีวิตทั้งหลาย

ในปี ค.ศ. 1897 Buchner พบว่า เมื่อแยกสลายเซลล์ยีสต์แล้วสกัดเอาส่วนที่เป็นน้ำออกมาน้ำสกัดของยีสต์ (yeast extract) ซึ่งมีเอนไซม์นี้สามารถนำมาใช้หมักน้ำตาลได้ แสดงให้เห็นว่า "เอนไซม์" สามารถทำงานได้ทั้งภายใน และภายนอกเซลล์ ซึ่งทำให้การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างสมบัติและการทำงานของเอนไซม์เป็นไปอย่างกว้างขวางจนถึงปัจจุบัน

2.2.2 **รูปร่างและโครงสร้างของเอนไซม์**

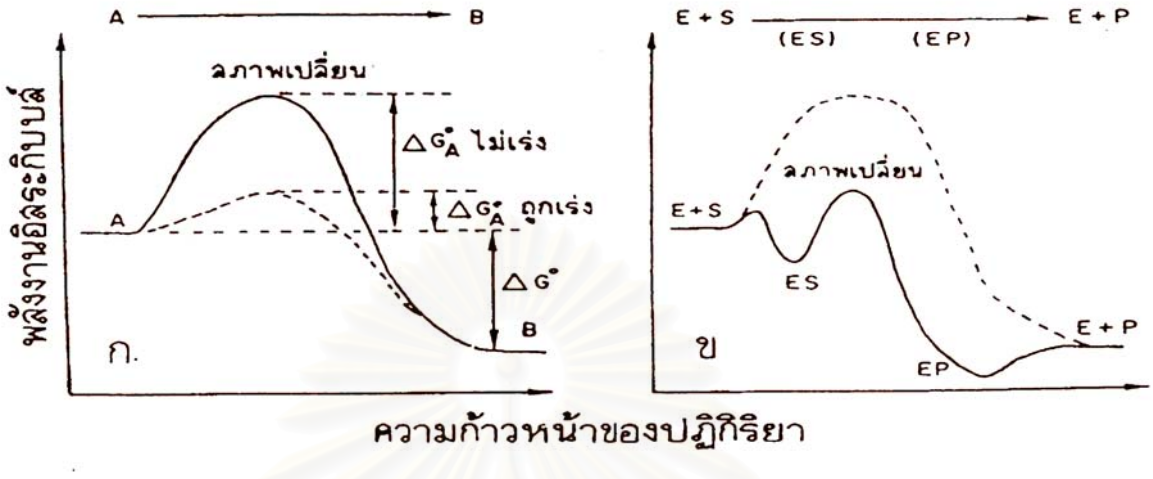
เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีรูปร่างกลม โดยเอนไซม์แต่ละชนิดมีโครงสร้าง (structure) และโครงรูป (conformation) ที่จำเพาะ ซึ่งเป็นตัวกำหนดสมบัติต่างๆ และการทำงานของเอนไซม์ เอนไซม์ประกอบขึ้นจากสายพอลิเพปไทด์ (polypeptide) ที่เกิดจากกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ โดยเอนไซม์บางชนิดประกอบด้วยพันธะเพปไทด์เพียง 1 สาย บางชนิดประกอบด้วยพอลิเพปไทด์มากกว่า 1 สาย จากการศึกษาพบว่าเอนไซม์บางชนิดไม่ใช่โปรตีนบริสุทธิ์ล้วนๆ แต่จะมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โปรตีนรวมอยู่ด้วยจึงจะทำงานได้ เอนไซม์พวกนี้เรียกว่า โฮโลเอนไซม์ (holoenzyme) ดังนั้น โฮโลเอนไซม์ จึงหมายถึง เอนไซม์ที่สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นโปรตีนซึ่งไม่สามารถทำงานตามลำพังได้ เรียกว่า แอโพเอนไซม์ (apoenzyme) และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนแต่ช่วยให้เอนไซม์

ทำงานได้เรียกว่า โคแฟคเตอร์ (cofactor) โดยโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์อาจเป็นอิออนของโลหะเช่น Zn^{2+}, Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Cu^{2+} , Mn^{2+} อื่นๆ หรือ อาจเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ โคเอนไซม์ (coenzyme) ซึ่งหมายถึง โคแฟคเตอร์ที่มักจะจับกับส่วนที่เป็นโปรตีนอย่างหลวมๆ สามารถแยกออกจากกันได้ง่ายและส่วนใหญ่มักจะมีวิตามินเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย เช่น โคเอนไซม์ NAD^+ (nicotinamide adenine dinucleotide) ซึ่งมีวิตามิน B_5 เป็นองค์ประกอบ หรือโคเอนไซม์ FAD (flavine adenine dinucleotide) ซึ่งมีวิตามิน B_2 เป็นองค์ประกอบ โคแฟคเตอร์อีกชนิดหนึ่งจะยึดติดกับส่วนที่เป็นโปรตีนอย่างหนาแน่นจนดูเหมือนเป็นโครงสร้างเดียวกัน เรียกโคแฟคเตอร์ชนิดนี้ว่า หมู่พรอสทีติก (prosthetic group) แต่ก็มีหลายกรณีที่เราไม่ทราบแน่นอนว่าสารที่ทำหน้าที่ช่วยการทำงานของเอนไซม์เป็นโคเอนไซม์หรือหมู่พรอสทีติก ดังนั้นจึงมีผู้ใช้คำว่า "โคเอนไซม์" ซึ่งหมายรวมถึงสารทั้ง 2 ชนิด คือ โคเอนไซม์และหมู่พรอสทีติก

2.2.3 การทำงานของเอนไซม์

เอนไซม์ทำหน้าเร่งหรือเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในสิ่งมีชีวิตได้ โดยที่เอนไซม์ไม่แตกสลายหรือสูญหายไปกับปฏิกิริยาถ้ายังคงอยู่ในภาวะที่เหมาะสม การใช้เอนไซม์ในปฏิกิริยาจะใช้ปริมาณเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นเอนไซม์จึงอาจเรียกเป็นตัวเร่งชีวภาพหรือคะตะลิสต์ชีวภาพ โดยทั่วไปพบว่าเอนไซม์สามารถเร่งหรือเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยาเคมีได้โดยการลดพลังงานกระตุ้นของปฏิกิริยาและทำงานได้ดีกว่าตัวเร่งอนินทรีย์ ดังนั้นจึงทำให้เอนไซม์สามารถเร่งปฏิกิริยาเคมีได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ เช่น อุณหภูมิร่างกาย เป็นต้น อัตราเร็วของปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งจะสูงกว่าปฏิกิริยาที่ไม่มีเอนไซม์ช่วยเร่งได้ถึง 10^{20} เท่า แสดงว่าเอนไซม์มีประสิทธิภาพสูงมาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.7 การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของกิบบส์ขณะที่เกิดปฏิกิริยา [16]

ก. เมื่อมีตัวเร่งธรรมดา (เส้นประ) เทียบกับเมื่อไม่มีตัวเร่ง (เส้นทึบ)

ข. เมื่อมีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง (เส้นทึบ) เทียบกับเมื่อไม่มีตัวเร่ง (เส้นประ)

เอนไซม์เป็นคะตะลิสต์หรือตัวเร่งที่แตกต่างจากตัวเร่งอนินทรีย์ตรงที่เอนไซม์มีความจำเพาะต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยาสูง สารที่เอนไซม์จะเข้าทำปฏิกิริยาด้วยเรียกว่า ซับสเตรต (substrate) นั่นคือ เอนไซม์จะมีความจำเพาะกับซับสเตรตสูง เรียกว่า เอนไซม์มี substrate specificity และระดับความจำเพาะของเอนไซม์แต่ละชนิดจะแตกต่างกันออกไปซึ่งจำแนกเป็น 2 ลักษณะคือ

2.2.3.1 **ความจำเพาะสัมบูรณ์** (absolutely specificity)

ความจำเพาะสัมบูรณ์หมายถึง การที่เอนไซม์มีความจำเพาะกับซับสเตรตเพียงตัวเดียวเช่น มอลเตส (maltase) จะเร่งเฉพาะการย่อยมอลโตส (maltose) หรือ ยูรีเอส (urease) จะเร่งเฉพาะปฏิกิริยาการสลายยูเรียไปเป็นแอมโมเนียกับคาร์บอนไดออกไซด์เท่านั้น แต่มีเอนไซม์บางชนิดสามารถเร่งการเปลี่ยนซับสเตรตที่เป็นสารประกอบประเภทเดียวกันได้หลายชนิด เช่น เอนไซม์ amino acid oxidase สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันของกรดอะมิโนได้หลายชนิด ในอัตราเร็วที่ต่างกัน ลักษณะเช่นนี้ เรียกว่า มีความจำเพาะสัมพัทธ์ (relative specificity)

2.2.3.2 **ความจำเพาะต่อหมู่** (group specificity)

เอนไซม์บางชนิดสามารถเร่งการเปลี่ยนซับสเตรตได้หลายตัว โดยซับสเตรตเหล่านั้นต้องมีหมู่หรือพันธะชนิดเดียวกันที่จำเพาะต่อเอนไซม์ เรียกเอนไซม์พวกนี้ว่ามีความจำเพาะต่อหมู่ เช่น เอนไซม์ย่อยโปรตีนที่เรียกว่า โปรตีเอส (protease) จะเร่งการสลายพันธะเพปไทด์ของโปรตีน และของชนิดต่างๆ โดยเอนไซม์โปรตีเอสมีหลายชนิด เช่น ทริปซิน เพปซิน ไคโมทริปซิน และคาร์บอกซีเพปติเดส เป็นต้น โปรตีเอสแต่ละชนิดนี้จะจำเพาะกับตำแหน่งพันธะเพปไทด์ในซับสเตรต เช่น ทริปซิน จะเร่งการสลายพันธะเพปไทด์ที่อยู่ภายในโมเลกุลของโปรตีนทางด้านหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโนที่มีฤทธิ์เป็นเบส เช่น อาร์จีนิน (Arg) และไลซีน (Lys) ไคโมทริปซินจะเร่งการสลายพันธะเพปไทด์ภายในโมเลกุลของโปรตีนที่อยู่ทางหมู่คาร์บอกซิลของกรดอะมิโน ฟีนิลอะลินีน (Phe) ไทโรซีน (Tyr) และทริปโทเฟน (Trp) การที่เอนไซม์มีความจำเพาะต่อซับสเตรตดังกล่าวนี้จะช่วยให้ปฏิกิริยาต่างๆ ในเซลล์ดำเนินไปเป็นขั้นตอนอย่างมีระเบียบ

ในโมเลกุลของเอนไซม์จะมีบริเวณเฉพาะสำหรับจับหรือรวมกับซับสเตรตกลายเป็น เอนไซม์ - ซับสเตรตคอมเพลกซ์ (enzyme - substrate complex) แล้วทำให้ซับสเตรตเปลี่ยนไปเป็นผลิตภัณฑ์ (ดูสมการที่ 2.1) เรียกบริเวณนี้ของเอนไซม์ว่า บริเวณเร่ง (catalytic or substrate site) ซึ่งในบางครั้งมีผู้เรียกว่า "active site" แต่คำว่า "active site" ของเอนไซม์อาจหมายรวมถึงบริเวณอื่นๆของเอนไซม์ที่สามารถรวมกับสารอื่นที่ไม่ใช่ซับสเตรตแล้วทำให้เพิ่มหรือลดการทำงานของเอนไซม์ได้ [17]

$$E + S \leftrightarrow ES\text{-}Complex \leftrightarrow E + P \qquad \text{สมการที่ 2.1}$$

E = เอนไซม์ S = ซับสเตรต P = ผลิตภัณฑ์

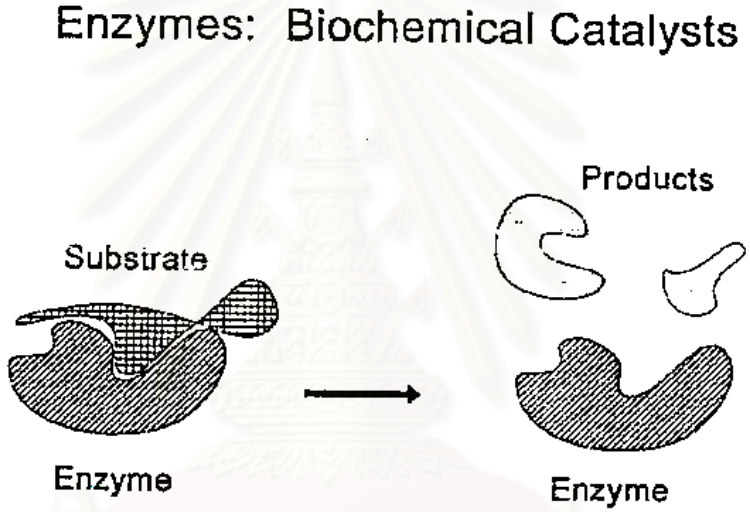
การรวมตัวระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรตส่วนมากมักเป็นพันธะทางเคมีที่ไม่แข็งแรงเช่น พันธะไฮโดรเจน หรือแรงแวนเดอร์วาลส์ แต่ก็พบว่าเอนไซม์บางชนิดจะจับกับซับสเตรตด้วยพันธะที่แข็งแรง เช่น พันธะโควาเลนซ์ ได้แก่ เอนไซม์ไคโมทริปซิน และทริปซิน เป็นต้น

การรวมตัวระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรตเป็นเอนไซม์ - ซับสเตรต คอมเพลกซ์นั้นมีสมมติฐาน 2 ข้อที่อธิบายกลไกการเกิดเอนไซม์ - ซับสเตรตคอมเพลกซ์ดังนี้

สมมติฐานแม่กุญแจ - ลูกกุญแจ (lock and key hypothesis) [18] สมมติฐานนี้เรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สมมติฐานแม่แบบของฟีชเชอร์ (Fischer's template hypothesis) ซึ่งเสนอโดยเอมิล ฟีชเชอร์ (Emil Fischer) ในปี ค.ศ. 1894 โดยกล่าวว่า active site ของเอนไซม์จะถูกกำหนดโครงสร้างมาแล้วให้มีรูปร่างและขนาดแน่นอน ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ ซับสเตรตที่มีรูปร่างและขนาดพอเหมาะกับ

active site ของเอนไซม์เท่านั้นจึงจะเข้ารวมกับเอนไซม์ได้ และเกิดปฏิกิริยาได้เป็นผลิตภัณฑ์ ซึ่งเอนไซม์เปรียบเสมือนลูกกุญแจที่จะไขได้เฉพาะกับแม่กุญแจของมันเท่านั้น ซึ่งเทียบได้กับซับสเตรต

สมมติฐานการเหนี่ยวนำให้เหมาะ (Induced Fit Hypothesis) สมมติฐานนี้เสนอโดย คอชแลนด์ (Koshland) ในปี ค.ศ. 1959 [15] โดยกล่าวว่า active site ของเอนไซม์จะมีความยืดหยุ่นและเปลี่ยนสภาพได้ กล่าวคือเมื่อซับสเตรตเข้าใกล้บริเวณ active site ของเอนไซม์ ซับสเตรตจะเหนี่ยวนำให้เอนไซม์เปลี่ยนลักษณะโครงรูปบริเวณ active site ให้มีขนาดและรูปร่างพอเหมาะเพื่อที่จะรวมกับซับสเตรตได้พอดี



รูปที่ 2.8 กลไกการทำงานของเอนไซม์ตามสมมติฐานแม่กุญแจ – ลูกกุญแจ [18]

2.2.4 การจำแนกชนิดของเอนไซม์ [15]

เอนไซม์มักมีชื่อเรียกตามปฏิกิริยาที่เร่งหรือตามซับสเตรตที่ถูกแยกสลาย โดยเติม –ase ข้างหลัง เช่น decarboxylase เป็นเอนไซม์เร่งปฏิกิริยา decarboxylation อย่างไรก็ตามชื่อเอนไซม์บางตัวไม่มีหลักเกณฑ์ตามนี้ เนื่องจากตั้งชื่อมาก่อนที่จะมีการตกลงหลักเกณฑ์ เช่น เปปซิน (pepsin) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในกระเพาะที่ย่อยโปรตีน หรือปาเปน (papain) ซึ่งเป็นเอนไซม์ในยางมะละกอ

คณะกรรมมาธิการเอนไซม์นานาชาติ (International Enzyme Commission) ได้จัดระบบจำแนกชนิดเอนไซม์และกำหนดวิธีบัญญัติชื่อ และให้หมายเลขเอนไซม์ตามระบบนี้ สามารถแบ่งเอนไซม์เป็น 6ประเภทใหญ่ๆ ตามลักษณะของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น ดังนี้

2.2.4.1 **ออกซิโด-รีดักเตส** (oxido-reductase) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชันรีดักชัน ได้แก่ เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) และออกซิเดส (oxidase)

2.2.4.2 **ทรานสเฟอเรส** (transferase) เป็นเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยาโดยย้ายส่วนหนึ่งของซับสเตรตไปยังซับสเตรตอีกตัวหนึ่ง เช่น ทรานสคีโตเลส (transketolase) และ เมทิลทรานสเฟอเรส (methyl transferase)

2.2.4.3 **ไฮโดรเลส** (hydrolase) เป็นเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส (hydrolysis) เช่น ฟอสเฟเตส (phosphatase) ไลเปส (lipase) ฯลฯ

2.2.4.4 **ไลเอส** (lyase) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้ซับสเตรตแตกตัวระหว่างพันธะ > C = C< , > C = O > C = N - เป็นต้น เช่น เอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส (decarboxylase) ฟูมาเรตไฮเดรเตส (fumarate hydratase) ฯลฯ

2.2.4.5 **ไอโซเมอเรส** (isomerase) เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนไอโซเมอร์ (isomer) เช่น เอนไซม์ฟอสโฟกลีเซอโรมิวเตส (phosphoglyceromutase) จะเปลี่ยนฟอสโฟกลีเซอเรต (3-phosphoglycerate) เป็น 2- ฟอสโฟกลีเซอเรต (2- phosphoglycerate)

2.2.4.6 **ซินเทเตส** (synthetase) หรือไลเกส (ligase) เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสร้างพันธะเคมีโดยใช้พลังงาน (ATP) เช่น ไพรูเวต คาร์บอกซิเลส (pyruvate carboxylase) เปลี่ยนกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ให้เป็นกรดออกซาโลอะซิติก (oxaloacetic acid)

2.2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ [15]

เอนไซม์ทุกชนิดมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (catalytic function) และเสถียรภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญหลายชนิด คือ

2.2.5.1 อุณหภูมิ

เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่ทำงานได้ดีที่สุด (optimum temperature) โดยทั่วๆไปจะอยู่ประมาณ 25 - 40 องศาเซลเซียส การเพิ่มอุณหภูมิทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลมีพลังงานจลน์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะนำไปใช้กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาได้ แต่ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปปฏิกิริยาจะลดลง ทั้งนี้เพราะเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนจะเกิดการเสียสภาพธรรมชาติ (denature) จึงเข้ารวมกับซับสเตรตไม่ได้

2.2.5.2 **ความเป็นกรดเป็นเบส (พีเอช)**

เอนไซม์แต่ละชนิดจะทำงานได้ดีที่สุดในสภาวะที่มีความเป็นกรดเป็นเบสพอเหมาะ (optimum pH) ซึ่งอาจแตกต่างกัน เช่น พีเอชที่เหมาะสมต่อเปปซินอยู่ในช่วง 1.5-2.5 สำหรับซูเครสเป็น 6.2 ไลเปสเป็น 7.0 และทริปซินประมาณ 8-11 เป็นต้น

2.2.5.3 **ปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์**

ปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์คือ ถ้าเอนไซม์มีปริมาณมากจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นคืออัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเอนไซม์ แต่ถ้าเอนไซม์มากเกินพอความเร็วของปฏิกิริยาจะไม่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะไม่มีซับสเตรตเหลือพอที่จะเข้าทำปฏิกิริยา

2.2.5.4 **ปริมาณความเข้มข้นของซับสเตรต**

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรตอัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น และความเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของซับสเตรตในช่วงที่ความเข้มข้นยังน้อย เพราะถ้าเพิ่มซับสเตรตมากไป ปฏิกิริยาก็จะไม่เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณของเอนไซม์ไม่เพียงพอ

2.2.5.5 **แรงเฉือน**

แรงเฉือน (shearing force) มีผลต่อรูปร่างของโมเลกุลเอนไซม์ซึ่งทำให้เอนไซม์เกิดการเสื่อมสภาพได้ แรงเฉือนเกิดจากการไหลของของไหล การเขย่าภาชนะ และการกวนด้วยใบพัด ผลของแรงเฉือนต่อเสถียรภาพของเอนไซม์มีความสำคัญต่อการออกแบบถังหมักเอนไซม์เพราะว่าในถังหมักจำเป็นต้องมีการกวนเพื่อลดความต้านทานของการถ่ายเทมวล (mass transfer resistance)

2.2.6 **เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยด้านสิ่งทอ**

2.2.6.1 **เพกติเนส**

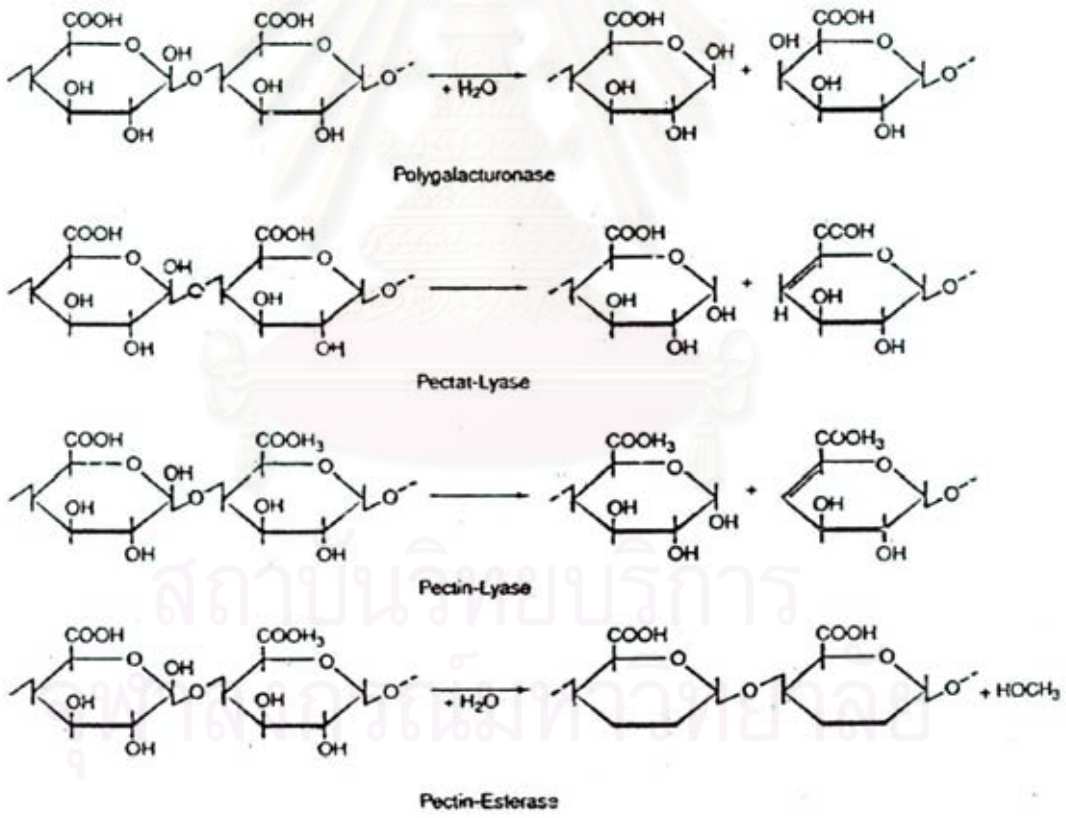
เอนไซม์เพกติเนสทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของ polygalacturonic acid ในเพกตินบนใยฝ้ายโดย polygalacturonic acid จะถูกเปลี่ยนเป็น galacturonic acid monomers และหลุดออกจากฝ้าย โดยทั่วไปเอนไซม์เพกติเนสจะประกอบด้วย polygalacturonases, pectate lyases, pectin lyases และ pectin esterases ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- Polygalacturonases เร่งการเกิดไฮโดรไลซิสของ glucosidic linkages ที่อยู่ถัดจากหมู่คาร์บอกซิล โดยใช้น้ำ

- Pectate- Lyases เร่งการเกิดไฮโดรไลซิสของ glucosidic linkages โดยไม่ใช้น้ำ

- Pectin- Lyases เร่งการเกิดไฮโดรไลซิสของ glucosidic linkages ที่อยู่ถัดจากหมู่ methyl ester ด้วยวิธี β - elimination

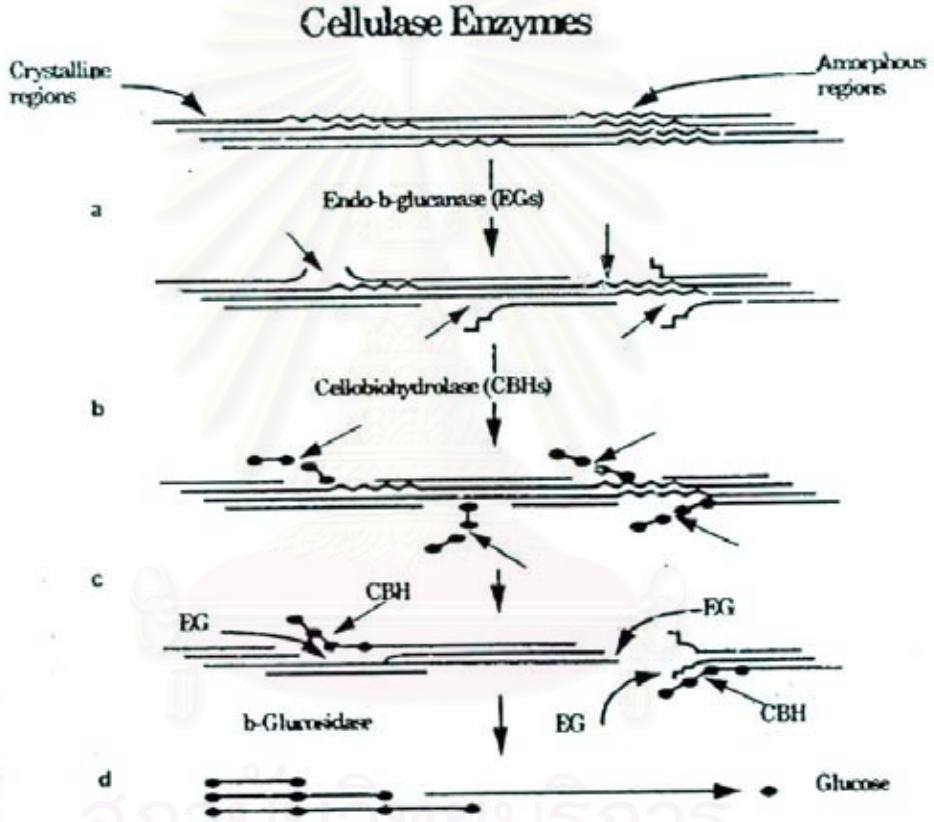
- Pectin-Esterases ได้จากพืชชั้นสูง ยีสต์ แบคทีเรีย และรา ซึ่งจะทำให้ methanol หลุดออกมาจาก esterified carboxyl groups และเปลี่ยนรูปเพกตินไปเป็น low methoxyl pectin และ pectate โดยปกติแล้วค่าพีเอชที่เหมาะสมกับ pectin esterases ที่ผลิตจากราจะต่ำกว่า pectin esterases ที่ผลิตจากแบคทีเรีย เอนไซม์จากราจะทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพที่พีเอช 4-5 และอุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 2.9 ปฏิกิริยา ester hydrolysis และปฏิกิริยา depolymerization ของเพกติน [19]

2.2.6.2 **เซลลูเลส**

เซลลูเลสเป็นเอนไซม์ที่มีหลายองค์ประกอบ โดยปกติจะผลิตจากราหรือแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในดิน ราและแบคทีเรียเหล่านี้ผลิตเซลลูเลสเมื่อเปลี่ยนเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสเพื่อใช้เป็นอาหาร เซลลูเลสมีองค์ประกอบหลัก 3 ชนิด ได้แก่ endo-cellulase exo-cellulase และ β-glucosidase ส่วนประกอบต่างๆ เหล่านี้จะทำหน้าย่อยสลายเซลลูโลสผ่านกระบวนการไฮโดรไลซิสให้กลายเป็นกลูโคส กลไกการทำงานของเซลลูเลสแสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส [20]

เอนไซม์เซลลูเลสในทางการค้าได้มาจากเชื้อราพวก *Trichoderma* และ *Penicillium* โดยอาจจะผลิตในรูปของผงหรือเป็นของเหลวความเข้มข้น 25% ในน้ำเกลือ ที่พีเอช 4.5-5 และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เอนไซม์เซลลูเลสจะทำงานได้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

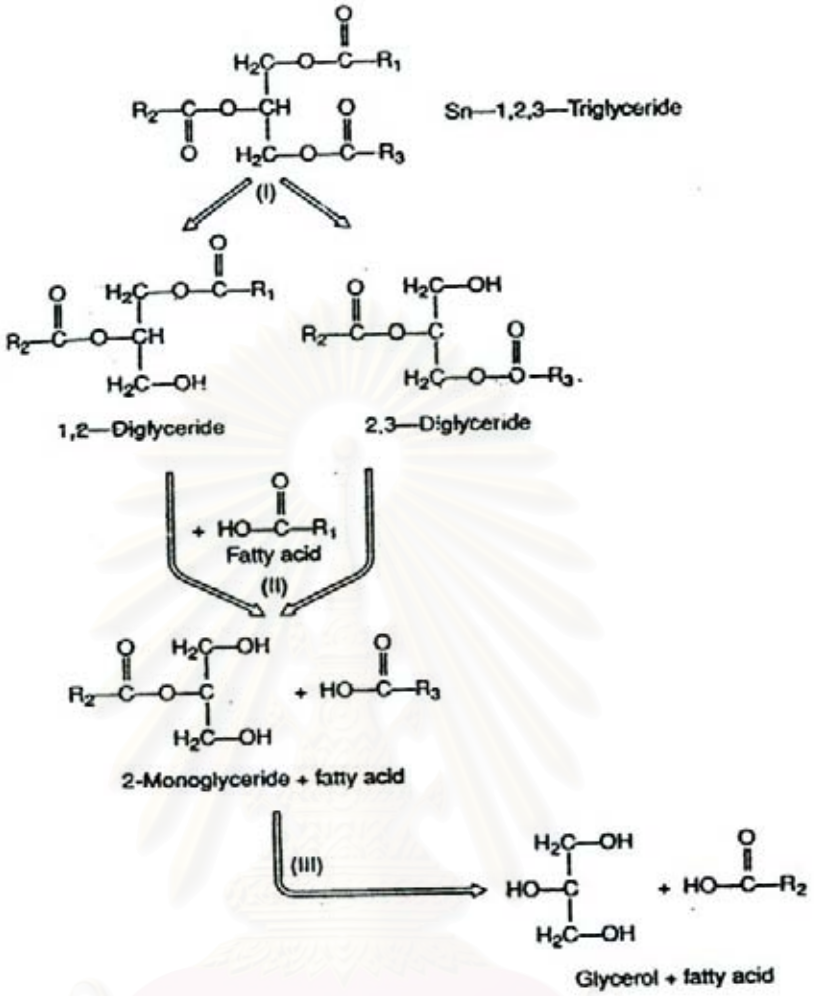
2.2.6.3 **ไลเปส**

ไลเปส หรือเรียกอีกชื่อว่า glycerol ester hydrolase เป็นเอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาทั้งการย่อยสลายและการสร้างพันธะเอสเทอร์ของไตรกลีเซอร์ไรด์ ซึ่งมีกรดไขมันสายยาวเป็นส่วนประกอบ เช่น triacylglycerol ได้ผลิตผลของปฏิกิริยาเป็นกรดไขมันอิสระ (free fatty acid) และกลีเซอรอล (glycerol) หรือในทางกลับกัน เอนไซม์นี้สามารถเร่งปฏิกิริยาระหว่างกลีเซอรอลและกรดไขมันอิสระให้ได้ผลผลิตเป็น triacylglycerol

ไลเปสพบได้ทั้งในสัตว์ พืช และจุลชีพ ในสัตว์พบได้ในน้ำนมและตับอ่อน ส่วนพืชพบในเมล็ดที่กำลังงอก เช่น เมล็ดข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวไรย์ ฝ้าย ถั่วเหลือง และละหุ่ง เป็นต้น ไลเปสจากพืชและสัตว์มีความเสถียรต่ำกว่าจุลินทรีย์ ไลเปสจากจุลินทรีย์จะพบทั้งที่สร้างอยู่ในเซลล์ และขับออกมานอกเซลล์ นอกจากนี้ยังมีข้อดี คือ เจริญเติบโตเร็ว เลี้ยงง่าย ไม่ต้องการพื้นที่มากในการเลี้ยง ไม่ขึ้นกับฤดูกาล และนอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มผลผลิตได้โดยวิธีปรับปรุงพันธุกรรมของจุลินทรีย์

ในปัจจุบันมีการใช้เอนไซม์ไลเปสจากเชื้อจุลชีพในทางเทคโนโลยีชีวภาพอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น เอนไซม์มีความเสถียรในตัวทำละลายอินทรีย์ เอนไซม์ไม่ต้องการ cofactors เอนไซม์มีความจำเพาะต่อซับสเตรตน้อย ได้มีการนำเอนไซม์ไลเปสไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ ใช้เติมในผงซักฟอกเพื่อช่วยประสิทธิภาพการซักล้าง เพิ่มรสชาติในอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ และมีการนำมาใช้เพื่อการบำบัดของเสีย เนื่องจากประโยชน์อันหลากหลายของเอนไซม์ไลเปสจากจุลชีพ จึงมีผู้คิดที่จะหาเชื้อที่มีความสามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้จากธรรมชาติ โดยเลือกตรวจกรองจุลินทรีย์พวกยีสต์จากเกสรดอกไม้เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีน้ำตาลสูงโดยคาดหวังว่าจะพบยีสต์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.11 ปฏิกิริยาการย่อยสลายไตรกลีเซอร์ไรด์ของไลเปส [14]

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พีเอช อุณหภูมิ ปริมาณน้ำและบริเวณที่เข้าทำปฏิกิริยา ค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ไลเปสอยู่ระหว่าง 7.5-9.0

2.2.6.4 โปรทีเอส

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการไฮโดรไลซ์โปรตีนประกอบด้วย โปรทีเอสและเปปทีเดส (peptidase) เอนไซม์เหล่านี้ได้จากพืช อวัยวะสัตว์ และจุลินทรีย์โดยส่วนใหญ่ได้จากแบคทีเรีย เปปทีเดสทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของเอสเทอร์และเอไมด์ และโปรทีเอสทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสายโซ่กรดอะมิโนในโปรตีนโดยจะทำให้พอลิเปปไทด์มีขนาดโมเลกุลเล็กลงในทางการค้าจะให้ความสนใจกับโปรทีเอสมากกว่าเปปทีเอส

2.3 กระบวนการเตรียมสิ่งทอด้วยเอนไซม์

Li และ Hardin [9,21,22] ได้ศึกษาการทำงานของเพกติเนสกับเซลลูเลสบนฝ้าย โดยศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของพื้นผิวฝ้าย จากการทดสอบการย้อมติดสีและดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ เอนไซม์เพกติเนสสามารถทำลาย cuticle โดยไฮโดรไลซ์เพกตินที่อยู่ชั้นใน และเอนไซม์เซลลูเลสจะทำลาย cuticle โดยไฮโดรไลซ์ผนังเซลล์ชั้นนอกที่อยู่ใต้ชั้น cuticle ของเซลลูโลส

Buschle-Diller และคณะ [23] ศึกษาการกำจัดสิ่งสกปกบนเส้นด้ายฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกติเนสและเซลลูเลส 1,1,1-trichloroethylene และคอสติกโซดาพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกทั้ง 3 วิธี สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำของเส้นด้ายแต่การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยคอสติกโซดาจะทำให้ด้ายมีค่าความขาวสูงสุด แต่จะเสื่อมสภาพจากการถูกออกซิไดซ์ในระหว่างกระบวนการฟอกได้ง่าย การกำจัดสิ่งสกปรกด้วย 1,1,1-trichloroethylene จะทำให้เส้นด้ายมีความเหนียวมากขึ้นแต่ก่อให้เกิดความเสียหายบนเส้นด้ายเล็กน้อย การกำจัดสิ่งปกปรกด้วยเพกติเนสและตามด้วยเซลลูเลสจะทำให้เส้นด้ายมีความนุ่ม มีค่าความแข็งแรงปานกลางแต่พบว่ามีเส้นใยบางส่วนที่เสื่อมสภาพ

Sawada และคณะ [24] ศึกษาการกำจัดสิ่งปรกบนผ้าฝ้ายโดยใช้เอนไซม์เพกติเนสร่วมกับสารช่วยเปียกและ D-limonene พบว่าความสามารถในการกำจัดสิ่งสกปรกของเอนไซม์เพกติเนสเพิ่มขึ้นอย่างมากโดยการเติมสารช่วยเปียกและ D-limonene

Hartzell และ Hsieh [25] ได้ศึกษาการทำงานของเอนไซม์ 4 ชนิด ได้แก่ เพกติเนส เซลลูเลสโปรทีเอส และ ไลเปส ในเรื่องของการเพิ่มความสามารถในการเปียกน้ำของฝ้าฝ้าย พบว่าเซลลูเลสเป็นเอนไซม์ชนิดเดียวที่สามารถกำจัดสิ่งสกปรกออกจากเส้นใยฝ้ายและทำให้ผ้าฝ้ายเปียกน้ำได้ ซึ่งสิ่งสกปรกเหล่านี้จะคอยปกป้องใยฝ้ายจากสภาวะอากาศต่างๆ เช่น ช่วยสะท้อนน้ำฝนและป้องกันใยฝ้ายไม่ให้ถูกทำลายจากการชะของฝน สำหรับการใช้เอนไซม์เพกติเนส ไลเปส และโปรทีเอสเพียงลำพังจะเพิ่มความสามารถในการเปียกน้ำของฝ้ายดิบได้เล็กน้อย

Sawada, Tokino และ Ueda [26] ศึกษาการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกติเนสเพิ่มเติม โดยเสนอวิธีการใหม่ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายในของเหลวที่ไม่ใช้น้ำ โดยใช้ (reverse micellar system, RMS) ใน iso-octane และ bis-2-ethylhexylsulphonate (Aerosol-OT, AOT) เป็นสารช่วยเปียก พบว่าการใช้ RMS แทนการกำจัดสิ่งสกปรกในระบบที่ใช้น้ำจะช่วยลดความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ต้องใช้และระยะเวลาในการกำจัดสิ่งสกปรกลงได้

Yachmenev, Blanchard และ Lambert [27] ใช้พลังงานอัลตร้าซาวด์ (ultrasound energy) ร่วมกับเอนไซม์เซลลูเลส เพื่อปรับปรุงสมบัติผ้าฝ้ายพบว่าการใช้พลังงานอัลตร้าโซนิกจะช่วยประหยัดเวลาในกระบวนการและความเข้มข้นของเอนไซม์ที่ต้องใช้เป็นอย่างมากและช่วยให้ผลการปรับปรุงสมบัติผ้ามีความสม่ำเสมอมากขึ้น

Ethers [28] ใช้เอนไซม์เพกติเนสในกระบวนการเตรียมผ้าฝ้ายในภาวะด่างที่พีเอช 9.5 โดยเตรียมผ้าด้วยวิธีการจุ่มอัดและผ่านไอน้ำตามกระบวนการแบบต่อเนื่อง (pad-steam continuous process)และพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนสในภาวะที่เป็นด่างจะให้ผ้าที่มีสมบัติการย้อมที่สม่ำเสมอกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยคอสติกโซดาที่ความเข้มสีระดับเดียวกัน

2.4 การนำเอนไซม์กลับมาใช้ใหม่

2.4.1 การตรึงเอนไซม์

ในปัจจุบันการตรึงเอนไซม์เป็นเรื่องที่น่าสนใจเนื่องจากมีข้อดีเหนือกว่าการใช้เอนไซม์ในรูปสารละลาย เอนไซม์ที่ได้จากการตรึงสามารถนำมาใช้งานได้หลากหลายและสะดวกต่อการนำไปใช้งาน จุดมุ่งหมายหลักของการตรึงเอนไซม์คือเพื่อให้ง่ายต่อการแยกเอนไซม์ออกจากผลิตภัณฑ์ และสามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำได้อีก สมบัติของเอนไซม์ที่ได้จากกระบวนการตรึงนอกจากจะขึ้นกับสมบัติของเอนไซม์แล้วแล้วยังขึ้นกับสมบัติของ carrier อีกด้วย งานวิจัยที่เกี่ยวกับการตรึงเอนไซม์มีดังต่อไปนี้

Afaq [29] ทดลองตรึงเอนไซม์ปาเปน (papain) บนสารจับโลหะเพื่อนำมาใช้ในงานด้านอุตสาหกรรมอาหารและยา เช่น ใช้ปาเปนเป็นสารตรวจสอบความเย็นระหว่างกระบวนการผลิตเบียร์ ใช้เป็นตัวเร่งในการในการสังเคราะห์กรดอะมิโนและเพปไทด์ ผลการทดลองพบว่าเอนไซม์ปาเปนที่ได้จากกระบวนการตรึงสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ มีความเสถียรต่ออุณหภูมิและความร้อนสูง

Mukataka และคณะ [30] ศึกษาการตรึงเอนไซม์เพื่อนำไปใช้ในเตาปฏิกรณ์ของกระบวนการทางอุตสาหกรรม ผลการวิจัยพบว่าความสามารถในการทำงานของเอนไซม์ที่ผ่านการตรึงลดลง

ไม่มากนัก และการปรับปรุงสมบัติของวัสดุที่ใช้เป็นตัวพามีส่วนสำคัญที่จะช่วยให้เอนไซม์มีเสถียรภาพและแอกติวิตี้สูงขึ้น ซึ่งการทดลองในปัจจุบันของผู้วิจัยคณะนี้จะเน้นไปที่การพัฒนาระดับแอกติวิตี้และความเสถียรของเอนไซม์ให้สูงขึ้น

2.4.2 การนำสารละลายที่เหลือจากการลอกแป้งมาใช้ในการฟอกผ้าฝ้าย

สารละลายที่เหลือจากการลอกแป้งจะมีกลูโคสที่เกิดจากการย่อยสลายแป้งบนผ้าอยู่ด้วย ซึ่งเป็นสารที่จำเป็นสำหรับการฟอกผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (glucose oxidase) เนื่องจากกลูโคสออกซิเดสจะเปลี่ยนกลูโคสและออกซิเจนให้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และกรดกลูโคนิก (gluconic acid) ซึ่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารที่ใช้ในการฟอก ดังนั้นจึงมีนักวิจัยหลายกลุ่มสนใจที่จะศึกษาการนำสารละลายที่เหลือจากการลอกแป้งมาใช้ในการฟอกผ้าฝ้ายดังต่อไปนี้

Buschle-Diller, Radhakrishnaiah, Freeman และ Zeronian [23] ศึกษาการเชื่อมโยงกระบวนการลอกแป้ง การกำจัดสิ่งสกปรก และการฟอกผ้าฝ้ายให้เป็นกระบวนการแบบวงจรปิด (closed-loop procedure) และนำสารละลายจากทั้ง 3 กระบวนการมาใช้ซ้ำ โดยใช้เอนไซม์ อะไมโลกลูโคซิเดส (amyloglucosidase) ในการลอกแป้ง และใช้เอนไซม์เพกติเนสในการกำจัดสิ่งสกปรกโดยทดลองทั้งการใช้เพกติเนสเพียงชนิดเดียว และใช้ร่วมกับเอนไซม์ชนิดอื่น ๆ การย่อยสลายสิ่งเจือปนนอกเหนือจากเซลลูโลสในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกนี้จะช่วยเพิ่มปริมาณกลูโคสให้เพียงพอที่จะใช้ในกระบวนการฟอกด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส และพบว่าผ้ามีความสามารถในการดูดซึมน้ำดีและมีค่าความขาวเพิ่มขึ้น

Opwis, Knittel, Kele, Schollmeyer [31] ทดลองนำสารละลายที่เหลือจากการลอกแป้งมาใช้ในการฟอกผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส เพื่อลดปริมาณน้ำที่ใช้ในกระบวนการและลดสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม การฟอกด้วยสารละลายดังกล่าวให้ผลใกล้เคียงกับการฟอกด้วยวิธีดั้งเดิม ปกติเอนไซม์ที่ใช้ในกระบวนการทางสิ่งทอจะเกิดการเสื่อมสภาพ งานวิจัยนี้จึงได้เติม cyclodextrin เพื่อลดการสูญเสียประสิทธิภาพการทำงานของเอนไซม์ นอกจากนี้ยังทดลองตรึงเอนไซม์กลูโคสออกซิเดสบนวัสดุที่ทำจากฝ้ายราคาถูกเพื่อจะสามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ได้หลายครั้ง

2.4.3 การกรองเอนไซม์

Mores, Knutsen และ Davis [32] เสนอวิธีการนำเอนไซม์เซลลูเลสกลับมาใช้ใหม่โดยใช้กระบวนการตกตะกอนร่วมกับการกรอง โดยขั้นตอนแรกจะนำสารละลายที่มีเอนไซม์เซลลูเลสมาตกตะกอนอนุภาคของ lignocellulose ที่มีขนาดใหญ่ออกก่อน จากนั้นจึงทำการกรองเพื่อกำจัดของแข็งที่แขวนลอยอยู่ แล้วกรองสารละลายอย่างละเอียดเป็นขั้นตอนสุดท้าย จึงจะสามารถนำเอนไซม์เซลลูเลสไปใช้งานใหม่ได้ และพบว่าสามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ใหม่ได้ถึง 75 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งการนำเอนไซม์กลับมาใช้ใหม่นี้สามารถลดต้นทุนการผลิตลงได้มาก

โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอนไซม์ต่างๆ ที่ใช้แล้วสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายกลับมาใช้ซ้ำในกระบวนการเดิมโดยเอนไซม์เหล่านี้ประกอบด้วยเอนไซม์เพกติเนส ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลส ใช้สูตรการกำจัดสิ่งสกปรกที่ได้จากการทดลองเบื้องต้นของโครงการการใช้เอนไซม์ในกระบวนการเตรียมผ้าฝ้าย [33] ซึ่งถ้าผลการวิจัยแสดงว่าสามารถใช้ซ้ำเอนไซม์เหล่านี้ในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกได้ก็จะเป็นการช่วยลดปริมาณเอนไซม์ที่ต้องใช้ในกระบวนการลดต้นทุนการผลิต และช่วยสนับสนุนให้มีการใช้เอนไซม์แทนสารเคมีอันตรายต่างๆในกระบวนการทางสิ่งทอมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
การทดลอง

3.1 วัสดุและสารเคมี

3.1.1 ผ้าตัวอย่าง :

ผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผ้าฝ้ายดิบ มีโครงสร้างลายถักแบบซิงเกิลเจอร์ซี่จากด้ายเบอร์ 50/1 มีน้ำหนักผ้า 1.1356 กรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร

ผ้าดิบนี้จะถูกทดสอบหาความสามารถในการดูดซึมน้ำ ความต้านทานแรงดันทะลุ ความขาว และระดับเพกตินตามวิธีการทดสอบที่แสดงไว้ในหัวข้อ 3.4

3.1.2 เอนไซม์ :

เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเอนไซม์ผงมี 4 ชนิด ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัย

เอนไซม์	EC. Number	แหล่งผลิต	แอกติวิตี้	บริษัท
เพกติเนส	EC.3.2.1.15	Aspergillus niger	1,700 หน่วย/กรัม	Tokyo Chemical Industry
ไลเปส	EC.3.1.1.3	Pancreas	15 หน่วย/กรัม	Tokyo Chemical Industry
โปรทีเอส	EC.3.4.23.6	Aspergillus niger	14,000 หน่วย/กรัม	Tokyo Chemical Industry
เซลลูเลส	EC.3.2.1.4	Aspergillus niger	25,000 หน่วย/กรัม	Tokyo Chemical Industry

3.1.3 สารเคมี :

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	บริษัท
Glacial acetic acid	Merck, Germany
Potassium hydrogen phosphate powder	APS Ajax Finechem, Australia
Disodium hydrogen phosphate powder	APS Ajax Finechem, Australia
Womine TE (Wetting agent)	Tokai Seiyu, Japan
Sodium acetate powder	APS Ajax Finechem, Australia

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.4 สีย้อม :

สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 2 ชนิด ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สีย้อมที่ใช้ในงานวิจัย

สีย้อม	บริษัท
Methylene blue (basic dye)	Nacali Tesque, Inc., Japan
Benzopurpurine 4B (direct dye)	Tokyo Chemical Industry, Japan

3.2 เครื่องมือ

3.2.1 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter, Denver Instrument, Model 215)

3.2.2 เครื่องย้อมและกระบอกย้อม (Labolatory dyeing machine & steel pots, Ahiba Polymat®)

3.2.3 เครื่องวัดสี (Macbeth reflectance spectrophotometer, COLOR-EYE® 7000)

3.2.4 UV-Visible spectrophotometer, JENWAY, Model 6405

3.2.5 อ่างเขย่า (Shaker bath, Gallenkamp, Model No. 900032)

3.2.6 เครื่องตัดผ้าวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 11.3 เซนติเมตร (Sample cutter, Jen-Haur Co., Ltd.)

3.2.7 นาฬิกาจับเวลา (Stop watch, Alba, Cal. SW01)

3.2.8 เครื่องวัดความต้านทานแรงดันทะลุ (Bursting strength tester, Yasuda, Mullen type)

3.2.9 เครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared Moisture Balance, Model AD-4715)

3.3 การทดลองกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เอนไซม์ต่างๆ ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้าย โดยการทดลองกำจัดสิ่งสกปรกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าด้วยเอนไซม์เพกติเนส ไลเปส โปรทีเอสและเซลลูเลส แล้วนำเอนไซม์เหล่านี้กลับมาใช้ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่โดยไม่มีการปรับและควบคุมภาวะของระบบให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้ และอีกส่วนหนึ่งเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าด้วยเอนไซม์ต่างๆ เช่นเดียวกับส่วนแรกแล้วนำเอนไซม์เหล่านี้กลับมาใช้ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่โดยมีการปรับและควบคุมภาวะของระบบให้เหมาะสมต่อการทำงานของ

เอนไซม์ ผ้าทั้งก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกจะถูกนำมาทดสอบหาสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานการทดสอบ รายละเอียดของการทดลองกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าและการทดสอบผ้ามีดังต่อไปนี้

3.3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ และการนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับและควบคุมภาวะของระบบ

การกำจัดสิ่งสกปรกส่วนแรกนี้เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าด้วยสารละลายเอนไซม์ แล้วนำสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกครั้งแรกกลับมาใช้ซ้ำทันทีในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่ โดยไม่มีการปรับและควบคุมภาวะของระบบให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ สารละลายที่ใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกจะมีสารช่วยเปียกความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร และเอนไซม์ตามความเข้มข้นที่เหมาะสม (ดังแสดงในตารางที่ 3.4) โดยทำการกำจัดสิ่งสกปรกในขวดแก้วที่แช่ในอ่างน้ำ เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อนาที โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 ที่พีเอช อุณหภูมิ เวลาที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์แต่ละชนิด (ดังแสดงในตารางที่ 3.4) ซึ่งการทดลองประกอบด้วย

3.3.1.1 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนส

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนสเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เพกติเนสและสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 120 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ส่วนสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกนี้จะถูกนำมาใช้ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่ทันที และจะใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกผ้าชุดต่อๆ ไปจนสารละลายหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกโดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกคือ พบว่าผ้าไม่ดูดซึมน้ำได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

3.3.1.2 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสและเซลลูเลส

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสและเซลลูเลส เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์ไลเปสและสารช่วยเปียกความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 8 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็น

เวลา 10 นาที ตามด้วยขั้นที่สองคือกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดเดิมในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 4.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

ส่วนสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกทั้งสองส่วนจะถูกนำมาใช้ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่ทันที และจะใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกผ้าชุดต่อๆ ไปจนสารละลายหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกโดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกคือ พบว่าผ้าไม่ดูดซึมน้ำได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

3.3.1.3 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์โปรทีเอสและเซลลูเลส

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์โปรทีเอสและเซลลูเลสเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์โปรทีเอสและสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยขั้นที่สองคือกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดเดิมในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 4.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

ส่วนสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกทั้งสองส่วนจะถูกนำมาใช้ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่ทันที และจะใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกผ้าชุดต่อๆ ไปจนสารละลายหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกโดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกคือ พบว่าผ้าไม่ดูดซึมน้ำได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

3.3.1.4 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสผสมกับโปรทีเอสและเซลลูเลส

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสผสมกับโปรทีเอสและเซลลูเลสเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์ไลเปส โปรทีเอส และสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.25, 0.25 และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 7.5 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสาร

ละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยขั้นที่สองคือกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดเดิมในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 4.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

ส่วนสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกทั้งสองส่วนจะถูกนำมาใช้ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่ทันที และจะใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกผ้าชุดต่อๆ ไปจนสารละลายหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกโดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกคือ พบว่าผ้าไม่ดูดซึมน้ำได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

ตารางที่ 3.4 สูตรการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ

สูตร	เอนไซม์			สารช่วยเปียก (กรัมต่อลิตร)	ภาวะ*		
	ขั้นตอน	ชนิด	กรัมต่อลิตร		อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	พีเอช	เวลา (นาที)
1	1	เพกติเนส	5.00	1	37	4.0	120
2	1	ไลเปส	0.50	1	37	8.0	30
	2	เซลลูเลส	0.50	1	40	4.5	30
3	1	โปรทีเอส	0.50	1	37	7.0	30
	2	เซลลูเลส	0.50	1	40	4.5	30
4	1	ไลเปส	0.25	1	37	7.5	30
		โปรทีเอส	0.25				
	2	เซลลูเลส	0.50	1	40	4.5	30

*ทุกสูตรการกำจัดสิ่งสกปรกจะใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50

3.3.2 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ และการนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำโดยมีการปรับและควบคุมภาวะของระบบ

การกำจัดสิ่งสกปรกส่วนที่สองนี้เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าด้วยสารละลายเอนไซม์แล้วนำสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกครั้งแรกกลับมาใช้ซ้ำทันทีในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่โดยมีการปรับและควบคุมภาวะของระบบให้เหมาะสมต่อการทำงานของเอนไซม์ สารละลายที่ใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกจะมีสารช่วยเปียกความเข้มข้น 1 กรัมต่อลิตร และเอนไซม์ตามความเข้มข้นที่เหมาะสม (ดังแสดงในตารางที่ 3.4) โดยการกำจัดสิ่งสกปรกในขวดแก้วที่แช่ในอ่างน้ำ เขย่าด้วยความเร็ว 150 รอบต่อวินาที โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 ที่พีเอช อุณหภูมิ เวลาที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์แต่ละชนิด (ดังแสดงในตารางที่ 3.4) ซึ่งการทดลองประกอบด้วย

3.3.2.1 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนส

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนสเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าในสารละลายที่ประกอบด้วย เอนไซม์เพกติเนสและสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 4 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 120 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ส่วนสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกนี้จะนำมาปรับพีเอชให้เป็นพีเอช 4 และใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกผ้าชุดต่อๆ ไปโดยปรับพีเอชก่อนนำสารละลายมาใช้ซ้ำทุกครั้ง จนสารละลายหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกโดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกคือ พบว่าผ้าไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

3.3.2.2 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสและเซลลูเลส

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสและเซลลูเลส เป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์ไลเปส และสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 8 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยขั้นที่สองคือกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดเดิมในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลสและสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 4.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำ

หนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

ส่วนสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกทั้งสองส่วนจะนำมาปรับพีเอช ให้เป็นพีเอช 8 สำหรับสารละลายเอนไซม์ไลเปส และพีเอช 4.5 สำหรับสารละลายเอนไซม์เซลลูเลส และใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดต่อๆ ไปโดยปรับพีเอชก่อนนำสารละลายมาใช้ซ้ำทุกครั้ง จนสารละลายหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกโดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกคือ พบว่าผ้าไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

3.3.2.3 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์โปรทีเอสและเซลลูเลส

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์โปรทีเอสและเซลลูเลสเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์โปรทีเอส และสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 7 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยขั้นที่สองคือกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดเดิมในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 4.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

ส่วนสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกทั้งสองส่วนจะนำมาปรับพีเอช ให้เป็นพีเอช 7 สำหรับสารละลายเอนไซม์โปรทีเอส และพีเอช 4.5 สำหรับสารละลายเอนไซม์เซลลูเลส และใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดต่อๆไปโดยปรับพีเอชก่อนนำสารละลายมาใช้ซ้ำทุกครั้ง จนสารละลายหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกโดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกคือ พบว่าผ้าไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

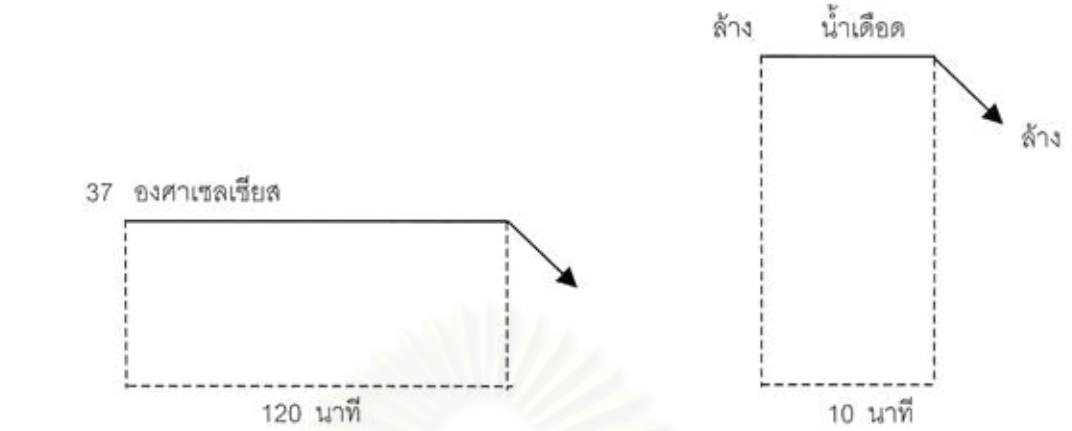
3.3.2.4 การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสผสมโปรทีเอสและเซลลูเลส

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสผสมโปรทีเอสและเซลลูเลสเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า 2 ขั้นตอน โดยขั้นแรกกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์ไลเปส โปรทีเอส และสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.25, 0.25 และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่

พีเอช 7.5 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที ตามด้วยขั้นที่สองคือกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดเดิมในสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เซลลูเลส และสารช่วยเปียก ความเข้มข้น 0.5 กรัมต่อลิตร และ 1 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ ที่พีเอช 4.5 อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในอ่างเขย่าโดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:50 กำจัดสิ่งสกปรกเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำผ้าออกมาบีบสารละลายออกจากผ้าแล้วต้มล้างผ้าในน้ำเดือดเป็นเวลา 10 นาที

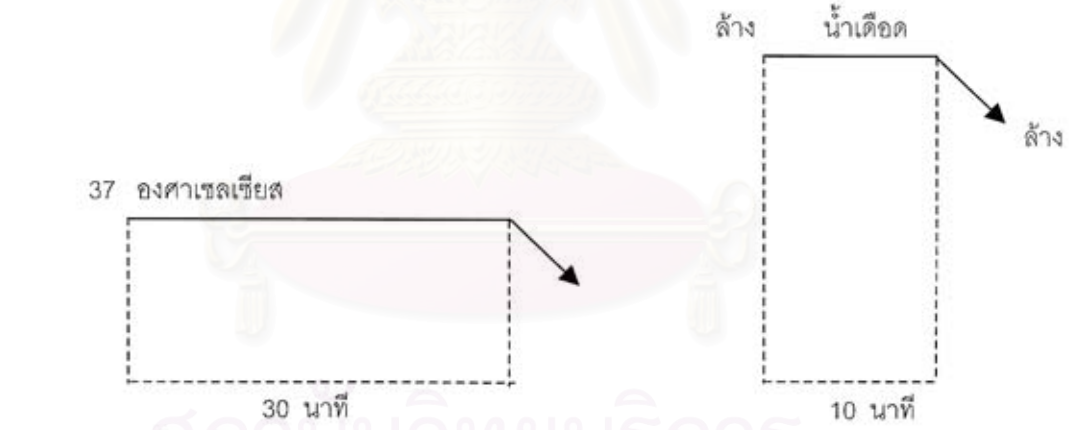
ส่วนสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกทั้งสองส่วนจะนำมาปรับพีเอช ให้เป็นพีเอช 7.5 สำหรับสารละลายเอนไซม์ไลเปสผสมกับโปรทีเอส และพีเอช 4.5 สำหรับสารละลายเอนไซม์เซลลูเลส และใช้สารละลายนี้ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดต่อๆ ไปโดยปรับพีเอชก่อนนำสารละลายมาใช้ซ้ำทุกครั้ง จนสารละลายหมดประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรก โดยพิจารณาจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกคือ พบว่าผ้าไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ทันทีที่หยดน้ำลงบนผ้า

รูปที่ 3.1 เครื่องเขย่า (Shaker bath, Gallenkamp, Model No. 900032)



อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1 : 50

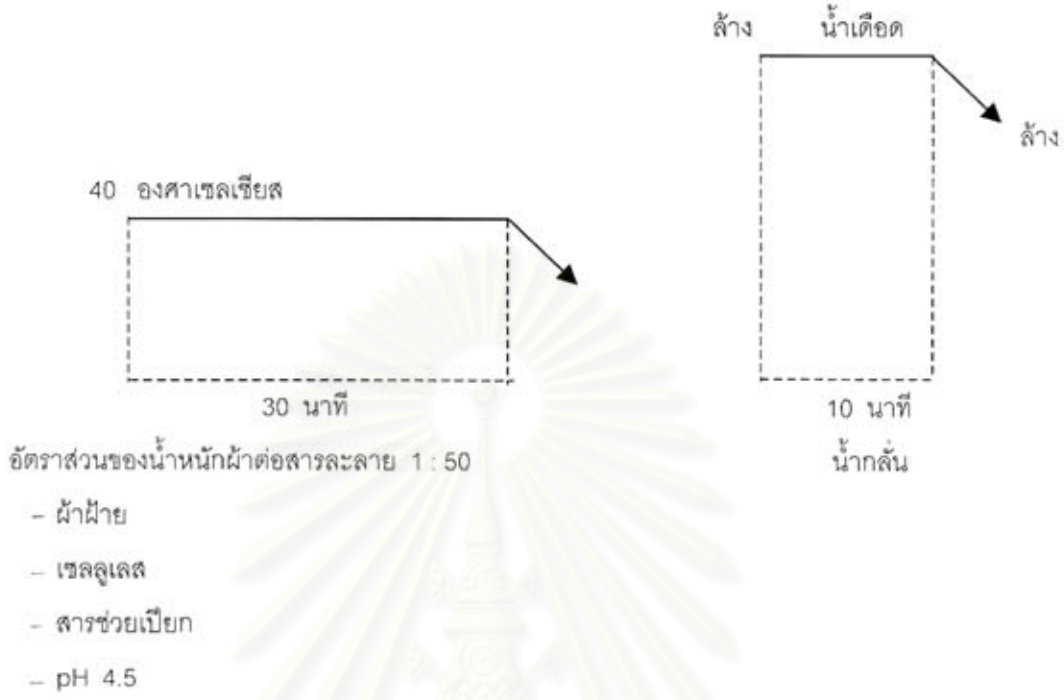
- ผ้าฝ้าย
- เพกติเนส
- สารช่วยเปียก
- pH 4



อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1 : 50

- ผ้าฝ้าย
- ไลเปส, โปรทีเอส หรือ ไลเปส + โปรทีเอส
- สารช่วยเปียก
- pH 8, 7 หรือ 7.5

แผนภาพที่ 3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ



แผนภาพที่ 3.1 การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์ชนิดต่างๆ (ต่อ)

3.4 การทดสอบผ้า

3.4.1 ความสามารถในการดูดซึมน้ำ

ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกอย่างมีประสิทธิภาพจะสามารถดูดซึมน้ำได้ทันที หรือภายใน 3 วินาทีหลังหยดน้ำลงบนผ้า และดูดซึมน้ำอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน การทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำจะทดสอบตามมาตรฐาน AATCC Test Method 79-2000 “Absorbency of Bleached Textiles” โดยการหยดน้ำลงบนผิวผ้าที่ขึงตึงแล้วจับเวลาจนกระทั่งหยดน้ำซึมหายไป

สำหรับงานวิจัยนี้มีการนำสารละลายเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่จึงทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกในแต่ละครั้งเป็นอันดับแรก เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการกำจัดสิ่งสกปรก โดยจะใช้สารละลายเอนไซม์ซ้ำเป็นครั้งสุดท้ายเมื่อพบว่าผ้าไม่ดูดซึมน้ำในทันทีที่หยดน้ำลงไป จากนั้นจึงนำผ้าทุกชุดที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วสามารถดูดซึมน้ำได้ทันที และผ้าชุดแรกที่ไม่ดูดซึมน้ำในทันทีไปทดสอบสมบัติอื่นๆ ต่อไป

3.4.2 น้ำหนักผ้า

การหาน้ำหนักผ้าทำโดยตัดผ้าด้วยเครื่องตัดผ้าวงกลม จะได้ผ้าเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11.3 เซนติเมตร ตัดผ้าจำนวน 5 ชิ้นเพื่อนำมาชั่งน้ำหนักแล้วหาค่าเฉลี่ย และรายงานผลเป็นมวลต่อหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร)

3.4.3 น้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้า

การหาน้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้า เป็นการวัดปริมาณของสิ่งที่ถูกกำจัดออกไปจากผ้าด้วยกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรก โดยนำผ้าทั้งก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกไปชั่งน้ำหนักที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นน้ำหนักหลังไล่ความชื้นแล้วด้วยเครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared moisture balance ดูรูปที่ 3.2) ผ้าแต่ละผืนจะชั่งน้ำหนัก 3 ครั้งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ค่าผลต่างของน้ำหนักผ้าก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกจะนำไปคำนวณหาร้อยละของน้ำหนักที่ขาดหายไป และน้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้าแต่ละชุดได้จากค่าเฉลี่ยของการทดสอบผ้า 2 ผืน

รูปที่ 3.2 เครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infrared moisture balance)

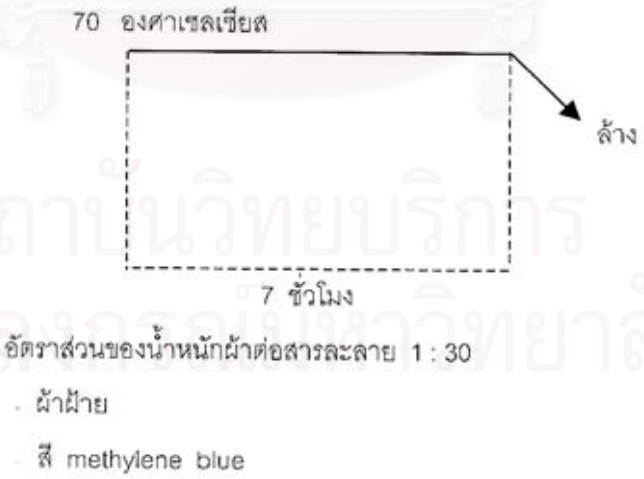
3.4.4 ระดับเพกตินบนผ้า

การทดสอบหาระดับเพกตินทำโดย การวัดความสามารถในการย้อมติดสี methylene blue ซึ่งวิธีนี้จะขึ้นกับความสามารถในการทำปฏิกิริยากันระหว่างประจุบวกของสี methylene blue และประจุลบของหมู่คาร์บอกซิเลตของเพกตินที่มีอยู่บนผ้า ถ้าผ้าดูดซับสีได้มากแสดงว่ามีระดับเพกตินมาก โดยสามารถเทียบหาได้จากกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสีกับค่าการดูดกลืนแสง (light absorbance) ความเข้มข้นของสารละลายสี methylene blue จะถูกเตรียมให้มีหลากหลายความเข้มข้นและนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer, JENWAY, Model 6405 (ดูรูปที่ 3.3) จากนั้นนำค่าการดูดกลืนแสงที่ความเข้มข้นต่างๆ มาวาดกราฟดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.4

ผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วจะถูกนำไปย้อมในสารละลายที่ประกอบด้วย methylene blue 0.5 กรัมต่อลิตร ในอ่างเขย่าที่อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:30 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง (ขั้นตอนการย้อมแสดงได้ดังแผนภาพที่ 3.2) จากนั้นนำสารละลายหลังการย้อมแล้วมาเจือจางลง 40 เท่าด้วยน้ำ แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ความเข้มข้นของสารละลายสีหลังจากการย้อมหาได้โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน และจะถูกเปลี่ยนเป็นความเข้มข้นของสีบนผ้าได้โดยการนำมาลบกับความเข้มข้นของสารละลายสีเริ่มต้น ดังนั้นเมื่อทราบความเข้มข้นของสีที่อยู่บนผ้าก็จะหาระดับเพกตินที่หลงเหลืออยู่บนผ้าได้ การทดสอบจะนำผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกในแต่ละชุดมาหาระดับเพกตินชุดละ 2 ผืน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

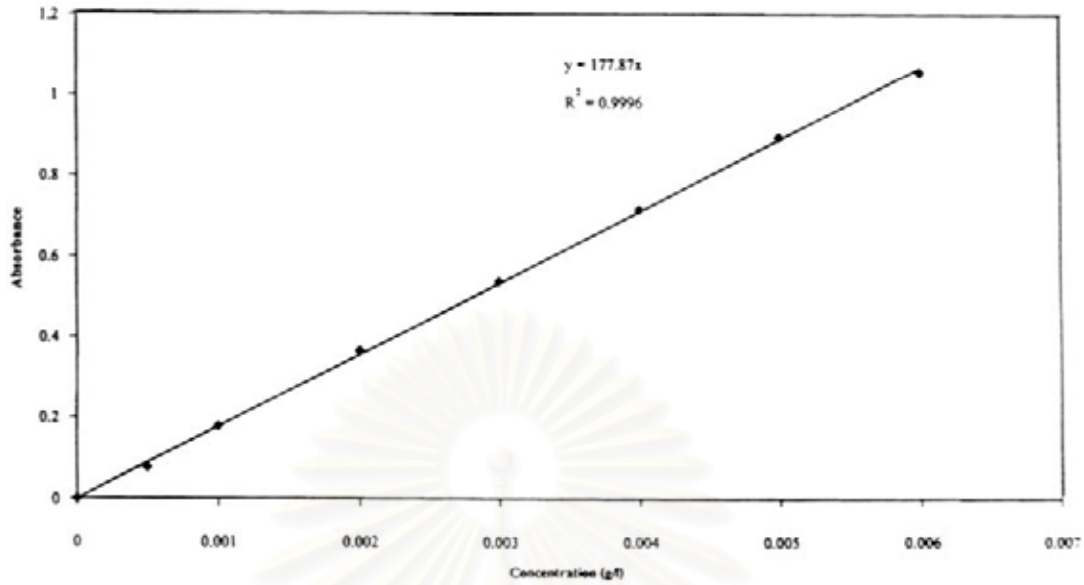
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 UV-Visible spectrophotometer, JENWAY, Model 6405



แผนภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสี methylene blue

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

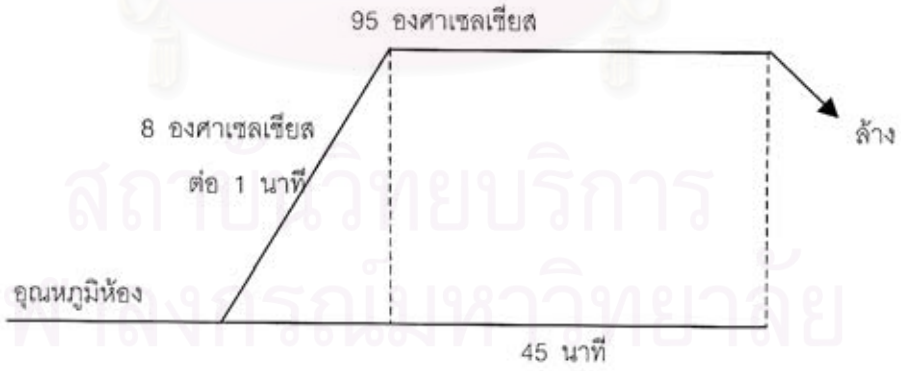


รูปที่ 3.4 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสี methylene blue กับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 662 นาโนเมตร

3.4.5 ความสามารถในการย้อมติดสี

ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วจะถูกย้อมด้วยสีไดเรกท์คือ Benzopurpurine 4B ความเข้มข้นร้อยละ 1 ของน้ำหนักผ้า ในเครื่องย้อม (Ahiba Polymat ®) โดยใช้อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1:30 ที่อุณหภูมิห้องแล้วทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นเป็น 95 องศาเซลเซียส (8 องศาเซลเซียสต่อนาที) และคงไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 45 นาที หลังจากการย้อมเสร็จแล้วนำผ้าออกจากสารละลายสี ล้างด้วยน้ำ 1 ครั้งแล้วทำให้แห้ง ขั้นตอนการย้อมแสดงได้ดังแผนภาพที่ 3.3

รูปที่ 3.5 เครื่องย้อม (Ahiba Polymat ®)



อัตราส่วนของน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย 1 : 30

– ผ้าฝ้าย

– สี benzopurpurine 4B

แผนภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสี Benzopurpurine 4B

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หลังจากการย้อมแล้วจะนำผ้าไปวัดความเข้มสี (K/S) โดยใช้ Macbeth reflectance spectrophotometer (ดูรูปที่ 3.6) จะวัดที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ค่า K/S สามารถคำนวณได้จาก Kubelka Munk equation ดังนี้

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

เมื่อ K คือ สัมประสิทธิ์การดูดกลืน (absorption coefficient)

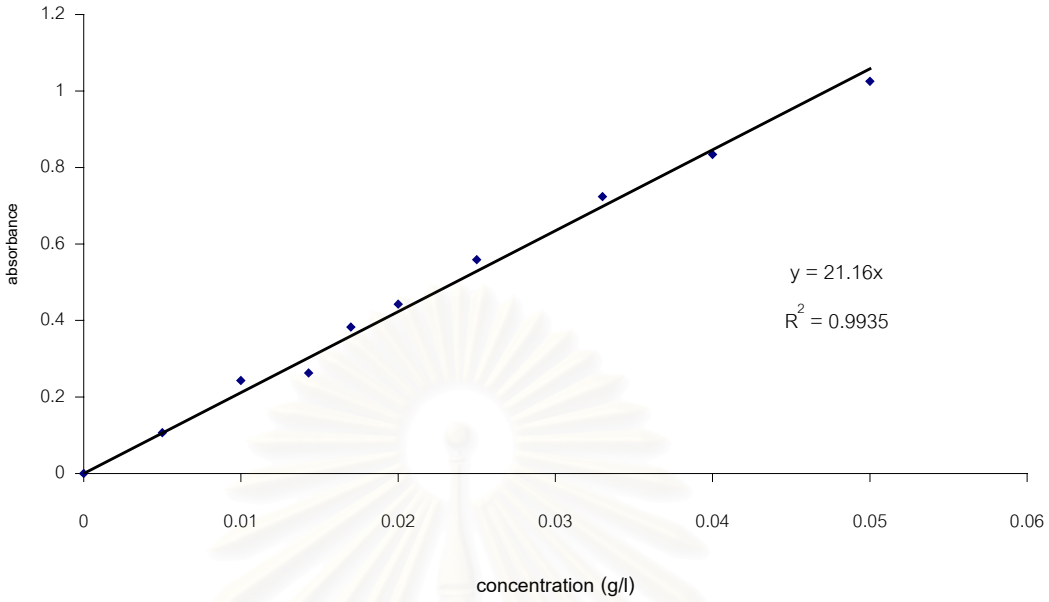
S คือ สัมประสิทธิ์การกระจายตัว (scattering coefficient)

R คือ การสะท้อนแสง (reflectance) ของผ้า ณ ความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนสูงสุด

ในกระบวนการย้อมเดียวกัน ผ้าที่มีค่า K/S สูงกว่าจะมีเฉดสีเข้มกว่าผ้าที่มีค่า K/S ต่ำ โดยจะนำผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกในแต่ละชุดมาทดสอบความสามารถในการย้อมติดสีชุดละ 2 ผืน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

ส่วนสารละลายสีที่เหลือหลังการย้อม (เจือจางลง 20 เท่าด้วยน้ำ) และน้ำล้างผ้าจะถูกนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 520 นาโนเมตร ซึ่งเป็นความยาวคลื่นที่มีการดูดกลืนแสงสูงสุด ด้วยเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ความเข้มข้นของสารละลายสีหลังจากการย้อมหาได้โดยเทียบจากกราฟมาตรฐาน (รูปที่ 3.7) ซึ่งจะสามารถคำนวณหาปริมาณสีที่เหลืออยู่บนผ้าได้

รูปที่ 3.6 Macbeth reflectance spectrophotometer, COLOR-EYE® 7000



รูปที่ 3.7 กราฟมาตรฐาน (calibration curve) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายสี Benzopurpurine 4B กับค่าการดูดกลืนแสง

3.4.6 ค่าความขาว

การวัดค่าความขาวของผ้าใช้มาตรฐาน CIE Ganz โดยวัดด้วย Macbeth reflectance spectrophotometer ผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกในแต่ละชุดจะนำมาวัดค่าความขาวชุดละ 8 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ย ซึ่งค่าความขาวที่วัดได้ในแต่ละผืนได้จากผลเฉลี่ยของการวัดในตำแหน่งต่างๆ ของผ้า 3 ตำแหน่ง

3.4.7 ความแข็งแรงของผ้า

การทดสอบความแข็งแรงของผ้าถักจะใช้วิธีวัดความต้านทานแรงดันทะลุ (bursting strength) โดยใช้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เล่มที่ 19 “ความต้านทานแรงดันทะลุและระยะโป่งทะลุโดยวิธีไดอะแฟรม” ซึ่งความต้านทานแรงดันทะลุ หมายถึง ความดันสูงสุดเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร ของของไหลที่ดันชิ้นทดสอบรูปวงกลมให้โป่งออกจนขาด

วิธีหาความต้านทานแรงดันทะลุทำโดยวางผ้าบนไดอะแฟรมปราศจากแรงดึง ใช้แหวนยึดชิ้นทดสอบให้แน่น เพิ่มความดันอย่างสม่ำเสมอจนกระทั่งผ้าขาดภายใน 30 (+/-10) วินาที ผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกในแต่ละชุดจะนำมาหาความต้านทานแรงดันทะลุชุดละ 8

ผืน เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วนำค่าที่ได้หักออกด้วยค่าแก้ไขไดอะแฟรม (ค่าแก้ไขไดอะแฟรมหาได้โดยทดสอบตามวิธีข้างต้นโดยไม่ต้องใส่ชิ้นทดสอบ)

รูปที่ 3.8 เครื่องวัดความต้านทานแรงดันทะลุ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์

4.1 สมบัติของผ้าดิบ

การทดสอบเพื่อหาสมบัติของผ้าฝ้ายดิบจะทำตามการทดลองในหัวข้อ 3.4 ซึ่งผลการทดสอบที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สมบัติต่างๆ ของผ้าดิบ

สมบัติ	ผ้าดิบ
น้ำหนัก (กรัมต่อ100 ตารางเซนติเมตร)	1.1356
ความสามารถในการดูดซึมน้ำ	ไม่ดูดซึมน้ำ
ค่าความขาว	-9.545
ค่าความเหลือง	30.826
ปริมาณ methylene blue (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม (ระดับเพกติน)	10.87
ความต้านทานแรงดันทะลุ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)	6.10

จากผลการทดสอบผ้าฝ้ายดิบที่ใช้ในการทดลองนี้พบว่า ผ้าไม่ดูดซึมน้ำ มีความเหลืองจากสีธรรมชาติของฝ้าย มีสารเพกตินอยู่ในผ้าระดับหนึ่งโดยดูจากปริมาณสี methylene blue ที่ถูกดูดซับด้วยผ้า และผ้ามีความแข็งแรงด้านความต้านทานแรงดันทะลุราว 6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4.2 สมบัติของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก

ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ประกอบด้วยเอนไซม์เพกติเนส ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลส สารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกแต่ละครั้งถูกนำมาใช้สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่ทันที โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายก่อนนำมาใช้ซ้ำ และถูกนำมาใช้สำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าชุดใหม่โดยมีการปรับพีเอชของสารละลายให้ตรงกับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับเอนไซม์แต่ละชนิดก่อนนำมาใช้ซ้ำ

4.2.1 **ความสามารถในการดูดซึมน้ำ**

การที่จะระบุว่ากระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกมีประสิทธิภาพหรือไม่นั้น ต้องพิจารณาจากความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าหลังกระบวนการดังกล่าวเป็นอันดับแรก ผ้าที่ผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกที่มีประสิทธิภาพจะสามารถดูดซึมน้ำได้ทันที และดูดซึมน้ำอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผืน ผลการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าทั้งก่อนและหลังการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้า (วินาที)	
		ไม่ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ	ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ
ผ้าดิบ		ไม่ดูดซึมน้ำ	
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	ทันที	ทันที
	ครั้งที่ 2	15-20	ทันที
	ครั้งที่ 3	-	ทันที
	ครั้งที่ 4	-	15-20
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	ทันที	ทันที
	ครั้งที่ 2	20-25	ทันที
	ครั้งที่ 3	-	5-10
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	ทันที	ทันที
	ครั้งที่ 2	20-25	ทันที
	ครั้งที่ 3	-	3-5
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	ทันที	ทันที
	ครั้งที่ 2	20-25	ทันที
	ครั้งที่ 3	-	5-10

ผลการดูดซึมน้ำในตารางที่ 4.2 แสดงว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนส ไลเปสตามด้วยเซลลูเลส โปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลส และไลเปสผสมโปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลสในครั้งแรกสามารถดูดซึมน้ำดีคือ น้ำสามารถซึมลงในผ้าได้ทันทีที่หยดลงบนผิวผ้า แต่ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ที่ใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายให้เหมาะกับการทำงานของเอนไซม์ไม่สามารถดูดซึมน้ำในทันที

เมื่อพิจารณาผลการดูดซึมน้ำของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ จะเห็นว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนสในครั้งที่ 1 , 2 และ 3 สามารถดูดซึมน้ำได้ในทันที ส่วนผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้เอนไซม์เพกติเนสในครั้งที่ 4 ไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ในทันที สำหรับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสตามด้วยเซลลูเลส โปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลส และไลเปสผสมโปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลสในครั้งที่ 1 และ 2 สามารถดูดซึมน้ำได้ในทันที ส่วนผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกโดยใช้เอนไซม์เหล่านี้ในครั้งที่ 3 ไม่สามารถดูดซึมน้ำได้ในทันที

จากผลการทดสอบความสามารถในการดูดซึมน้ำข้างต้นแสดงให้เห็นว่า การใช้สารละลายเอนไซม์ซ้ำสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ให้ผลการกำจัดสิ่งสกปรกที่ไม่ดี ผ้าไม่ดูดซึมน้ำในทันทีเนื่องจากยังคงมีสิ่งสกปรกที่สะท้อนน้ำอยู่บนผ้าอีกมาก แต่การใช้สารละลายเอนไซม์ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายโดยมีการปรับพีเอชของสารละลายให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ให้ผลการกำจัดสิ่งสกปรกที่มีประสิทธิภาพ สามารถกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าออกได้มากพอที่ทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ในทันที ทั้งนี้เนื่องมาจากเอนไซม์แต่ละชนิดจะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิและพีเอชเหมาะสมกับเอนไซม์ชนิดนั้นๆ ดังนั้นเมื่อเราควบคุมอุณหภูมิและพีเอชของสารละลายเอนไซม์ให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์แต่ละชนิดก็จะทำให้สามารถนำสารละลายเอนไซม์ที่เหลือจากการกำจัดสิ่งสกปรกกลับมาใช้ได้อีกตราบเท่าที่ยังมีเอนไซม์เหลืออยู่ในสารละลายและเอนไซม์ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

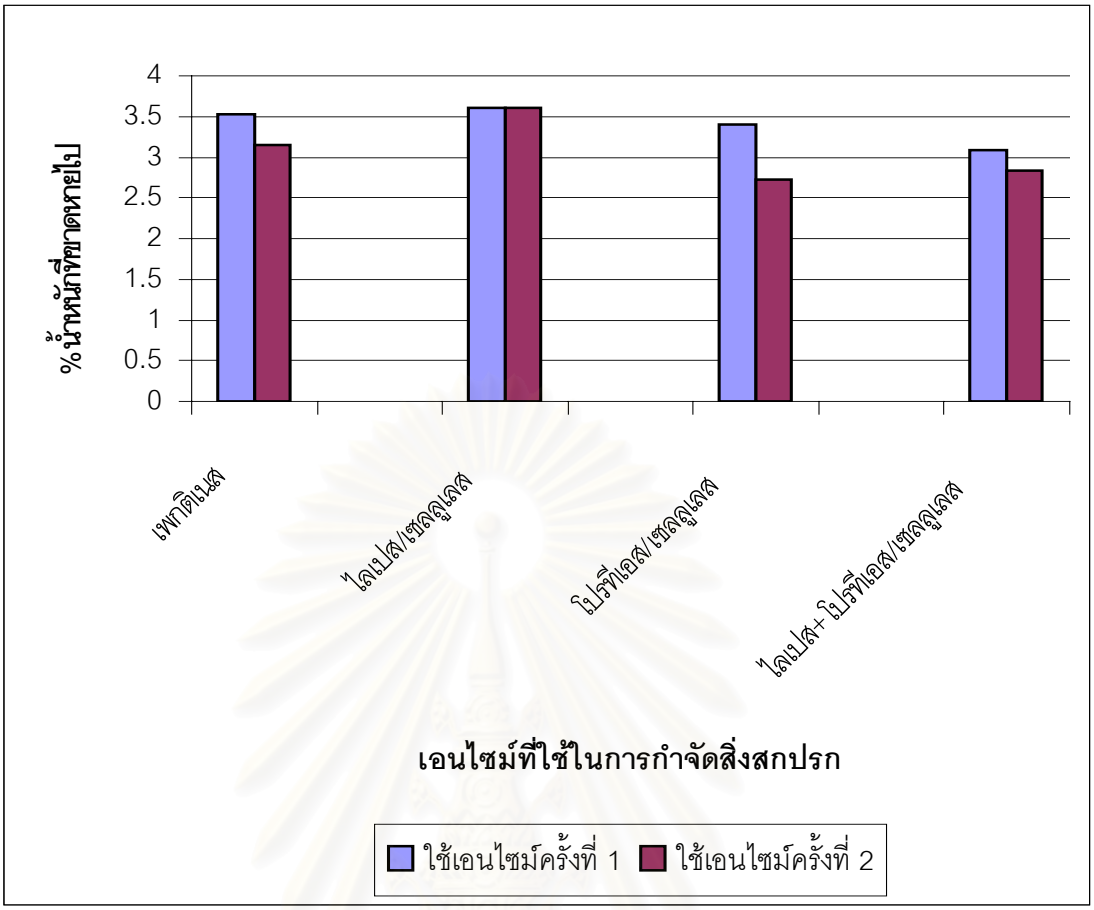
4.2.2 น้ำหนักที่ขาดหายไป

ผลการทดสอบหาน้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้าภายหลังการกำจัดสิ่งสกปรก มีแสดงไว้ในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 , 4.2 ซึ่งเป็นค่าร้อยละของน้ำหนักผ้าที่หายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกเมื่อเทียบกับน้ำหนักของผ้าดิบ

ตารางที่ 4.3 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

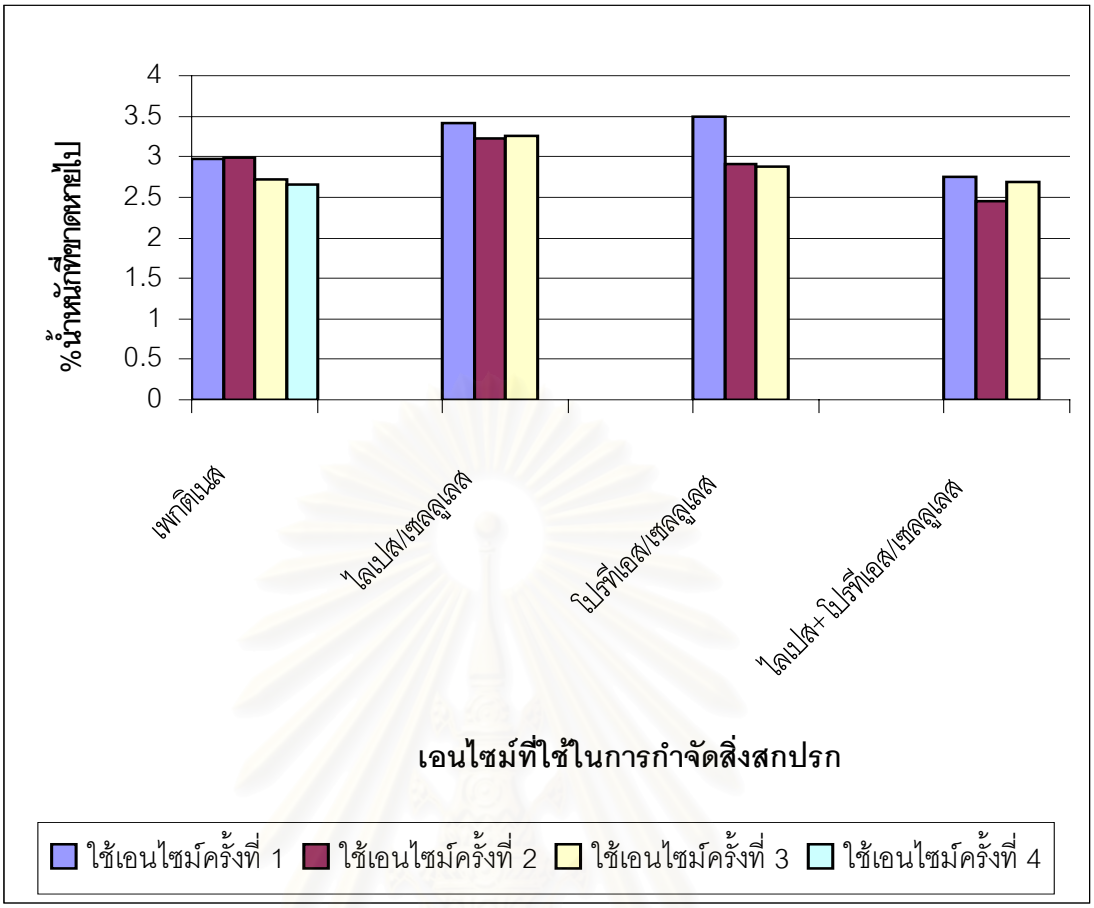
เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป	
		ไม่ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ	ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	3.53	2.98
	ครั้งที่ 2	3.15	2.99
	ครั้งที่ 3	-	2.72
	ครั้งที่ 4	-	2.65
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	3.60	3.41
	ครั้งที่ 2	3.60	3.23
	ครั้งที่ 3	-	3.25
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	3.40	3.50
	ครั้งที่ 2	2.73	2.91
	ครั้งที่ 3	-	2.87
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	3.08	2.75
	ครั้งที่ 2	2.84	2.45
	ครั้งที่ 3	-	2.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

ผลการทดลองในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.1 แสดงว่าน้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้าภายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ โดยเฉลี่ยมีค่าลดลงเมื่อนำเอนไซม์เหล่านี้กลับมาใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนนำมาใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกครั้งต่อไป น้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปด้วยการกำจัดสิ่งสกปรกในครั้งแรกมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 3.0 – 3.6 และในครั้งที่สองมีค่าระหว่างร้อยละ 2.7 –3.6

จากตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าน้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้าภายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ มีค่าลดลงเมื่อนำเอนไซม์เหล่านี้กลับมาใช้ซ้ำโดยมีการปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนนำมาใช้ในการกำจัดสิ่งสกปรกครั้งต่อไป น้ำหนักผ้าที่หายไปด้วยการ

กำจัดสิ่งสกปรกในครั้งแรกมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 2.75 – 3.50 ครั้งที่สองร้อยละ 2.45 – 3.23 และครั้งที่สามร้อยละ 2.68 – 3.25

ถึงแม้ว่าน้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้าภายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้ซ้ำมีค่าโดยเฉลี่ยต่ำกว่าน้ำหนักผ้าที่หายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ในครั้งแรก แต่ผ้าก็ยังดูดซึมน้ำได้ทันที หรืออีกนัยหนึ่งหมายถึงสิ่งสกปรกที่ถูกกำจัดออกจากผ้าเมื่อใช้เอนไซม์ครั้งแรกมีปริมาณสูงกว่าสิ่งสกปรกที่ถูกกำจัดออกจากผ้าเมื่อใช้เอนไซม์ซ้ำ นั่นคือประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งสกปรกลดลงเมื่อใช้เอนไซม์ซ้ำ ถึงแม้สิ่งสกปรกจะออกจากผ้าน้อยลงเมื่อใช้เอนไซม์ซ้ำแต่อาจจะออกอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งผืนผ้า และออกมากพอที่จะทำให้ผ้าดูดซึมน้ำได้ทันที

การกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าด้วยเอนไซม์ต่างๆ เหล่านี้ สามารถกำจัดสิ่งเจือปนและเส้นใยบางส่วนออกจากผ้าได้ จากผลการทดลองพบว่าเมื่อกำจัดสิ่งเจือปนและเส้นใยบางส่วนออกไปประมาณร้อยละ 2.5 – 3.0 ของน้ำหนักผ้าดิบ และปรับพีเอชพร้อมทั้งควบคุมอุณหภูมิการกำจัดสิ่งสกปรกให้เหมาะสมกับเอนไซม์แต่ละชนิด จะทำให้การกำจัดสิ่งสกปรกมีประสิทธิภาพและทำให้ผ้าสามารถดูดซึมน้ำได้ดีตามต้องการ การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างชนิดกันมีผลให้สิ่งเจือปนหลุดออกจากผ้าไม่เท่ากัน ซึ่งผลการทดลองพบว่าการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสตามด้วยเซลลูเลสสามารถกำจัดสิ่งเจือปนออกจากผ้าได้มากที่สุด

สำหรับงานวิจัยนี้ใช้เอนไซม์เพกติเนส ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลส ในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้า จึงสามารถกล่าวได้ว่าสิ่งที่ถูกกำจัดออกไปจากกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกนี้ได้แก่ เพกติน น้ำมันหรือไขมัน โปรตีน และเส้นใยอีกจำนวนเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสที่มีเอนไซม์เพกติเนส ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาตามลำดับ และการที่น้ำหนักที่ขาดหายไปของผ้าภายหลังการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยสารละลายเอนไซม์ลดลงเมื่อนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำทั้งที่ปรับพีเอชและไม่ปรับพีเอชของสารละลายก่อนใช้ซ้ำ ก็เนื่องมาจากเอนไซม์มีประสิทธิภาพในการทำงานลดลงทั้งจากการเสื่อมสภาพไป และมีการสูญเสียเอนไซม์จำนวนหนึ่งไปกับผ้าเมื่อนำผ้าออกจากสารละลายเอนไซม์อีกด้วย

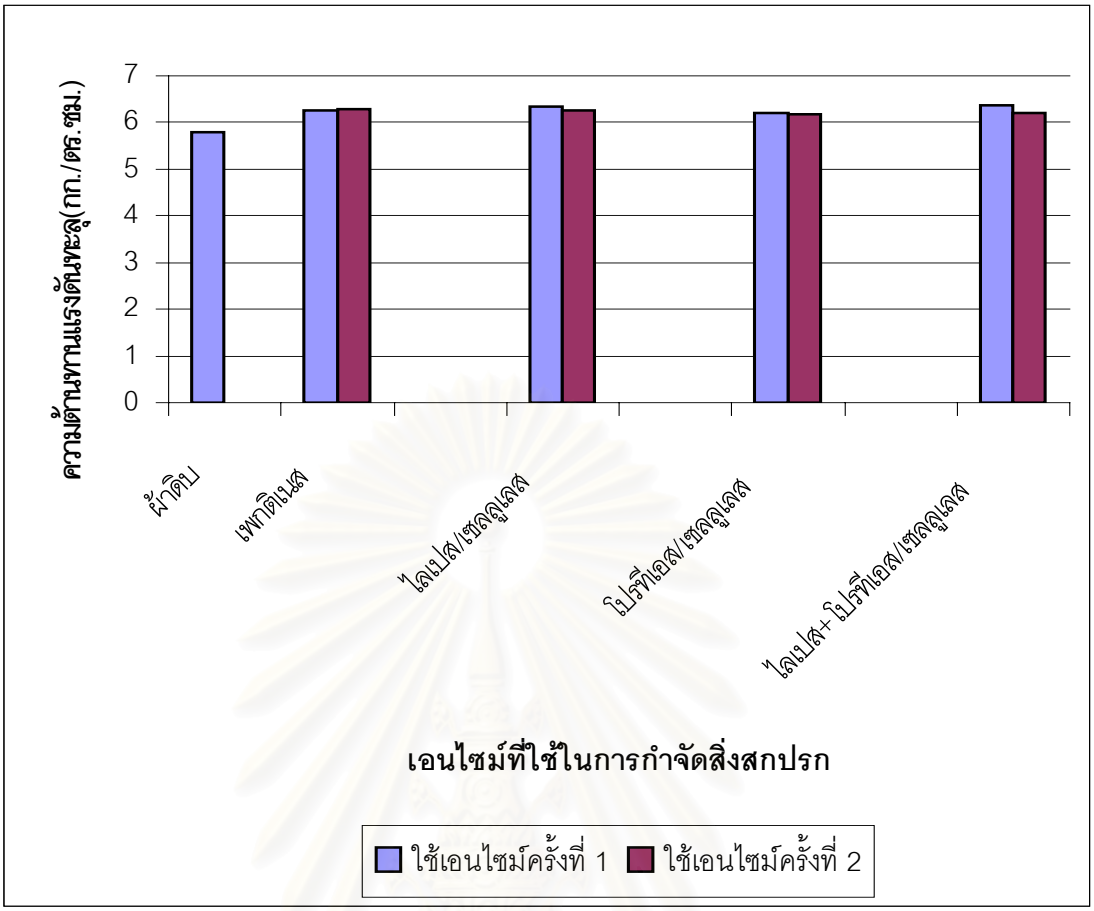
4.2.3 ความแข็งแรง

ผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นผ้าฝ้ายถักชนิดบางที่มีโครงสร้างซิงเกิลเจอร์ซี่ (เบอร์ด้าย 50/1) ซึ่งการทดสอบหาความแข็งแรงของผ้าถัก จะวัดค่าความต้านทานแรงดันทะลุ โดยผลการทดสอบความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.3 , 4.4

ตารางที่ 4.4 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

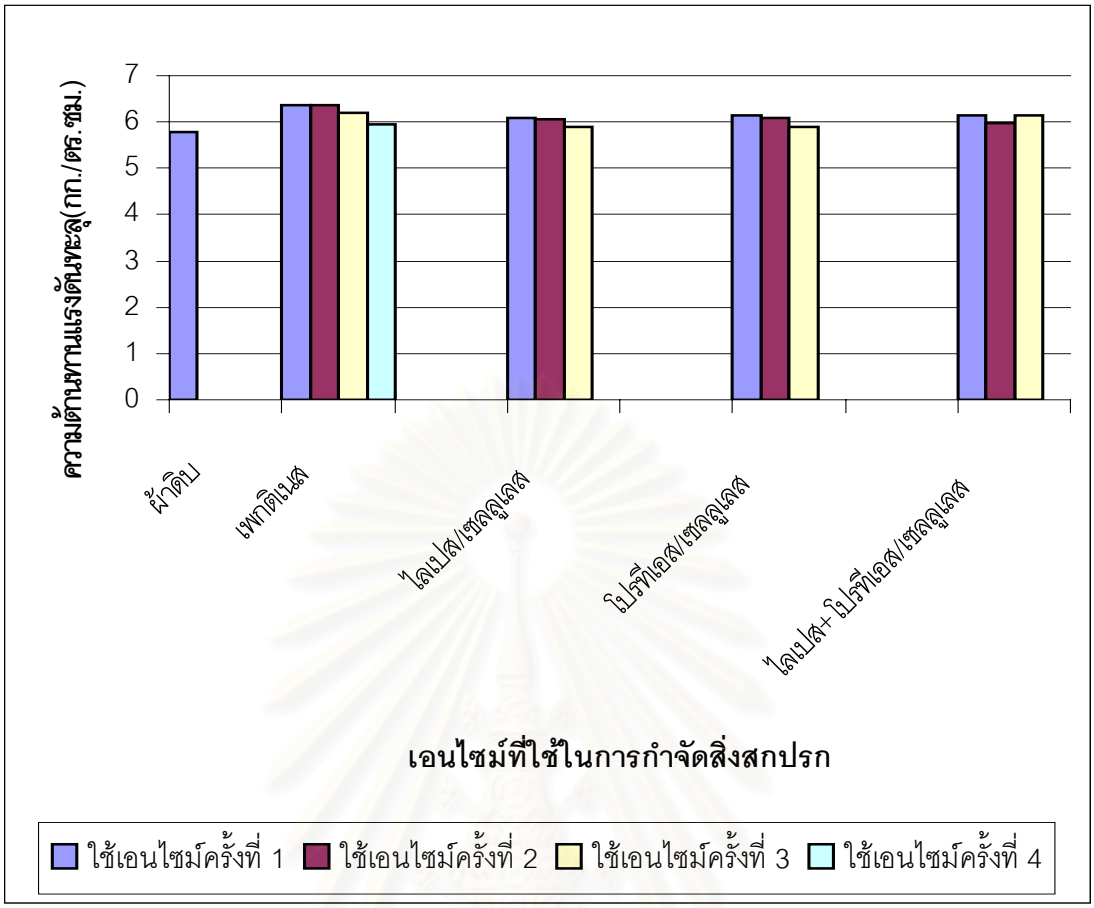
เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความต้านทานแรงดันทะลุ (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	
		ไม่ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ	ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ
ผ้าดิบ		5.79	
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	6.25	6.35
	ครั้งที่ 2	6.29	6.35
	ครั้งที่ 3	-	6.19
	ครั้งที่ 4	-	5.95
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	6.33	6.10
	ครั้งที่ 2	6.25	6.05
	ครั้งที่ 3	-	5.90
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	6.21	6.15
	ครั้งที่ 2	6.19	6.09
	ครั้งที่ 3	-	5.90
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	6.38	6.13
	ครั้งที่ 2	6.20	5.99
	ครั้งที่ 3	-	6.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

ผลการทดลองข้างต้นแสดงว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ และการใช้เอนไซม์ซ้ำมีความต้านทานแรงดันทะลุสูงกว่าผ้าดิบทั้งหมด ค่าความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนส ไลเปสตามด้วยเซลลูเลส โปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลส และไลเปสผสมโปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลสมีค่าใกล้เคียงกัน และค่าความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์เหล่านี้ซ้ำก็ไม่แตกต่างจากผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ครั้งแรกมากนักคืออยู่ในช่วง 6.19 – 6.38 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ และอยู่ในช่วง 5.90 – 6.35 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

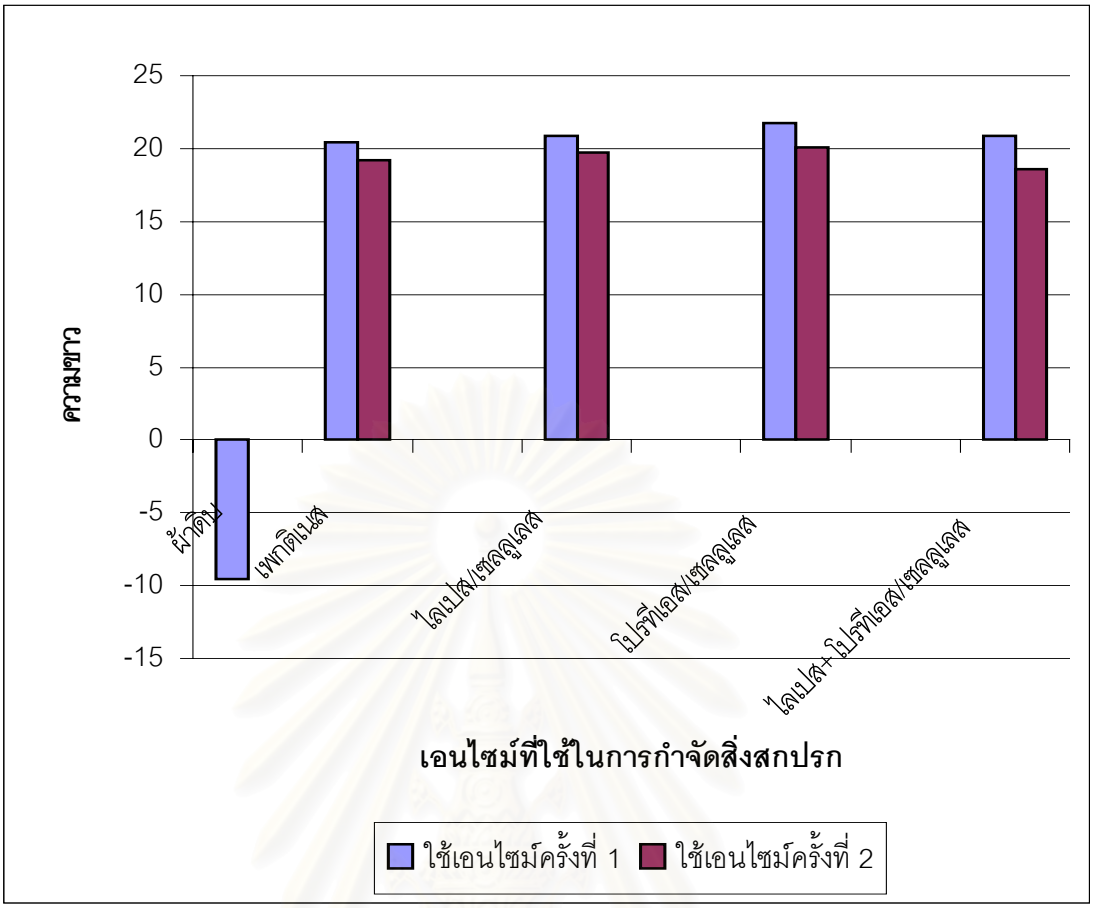
สาเหตุที่ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกมีค่าเพิ่มขึ้นจากผ้าดิบอาจเนื่องมาจากกระบวนการถักผ้าทำให้เกิดความเค้น (stress) กับเส้นด้าย เมื่อผ้าผ่านกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกหรืออยู่ในน้ำเส้นด้ายก็จะคืนสภาพเพื่อลดความเค้นภายใน โดยเส้นด้ายพองตัวออก ห่วงถักขยายขนาดขึ้นทำให้เส้นด้ายถูกดึงเข้าหากันจนในที่สุดทำให้ผ้าหดตัว เมื่อผ้าหดตัวจำนวนเส้นด้ายต่อพื้นที่มีค่าเพิ่มขึ้นจึงทนแรงดึงมากขึ้น ดังนั้นเมื่อนำผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกไปหาค่าความต้านทานแรงดันทะลุจึงได้ค่าสูงกว่าผ้าดิบ

4.2.4 ความขาว

ผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกถูกนำมาวัดค่าความขาวได้ผลดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 , 4.6

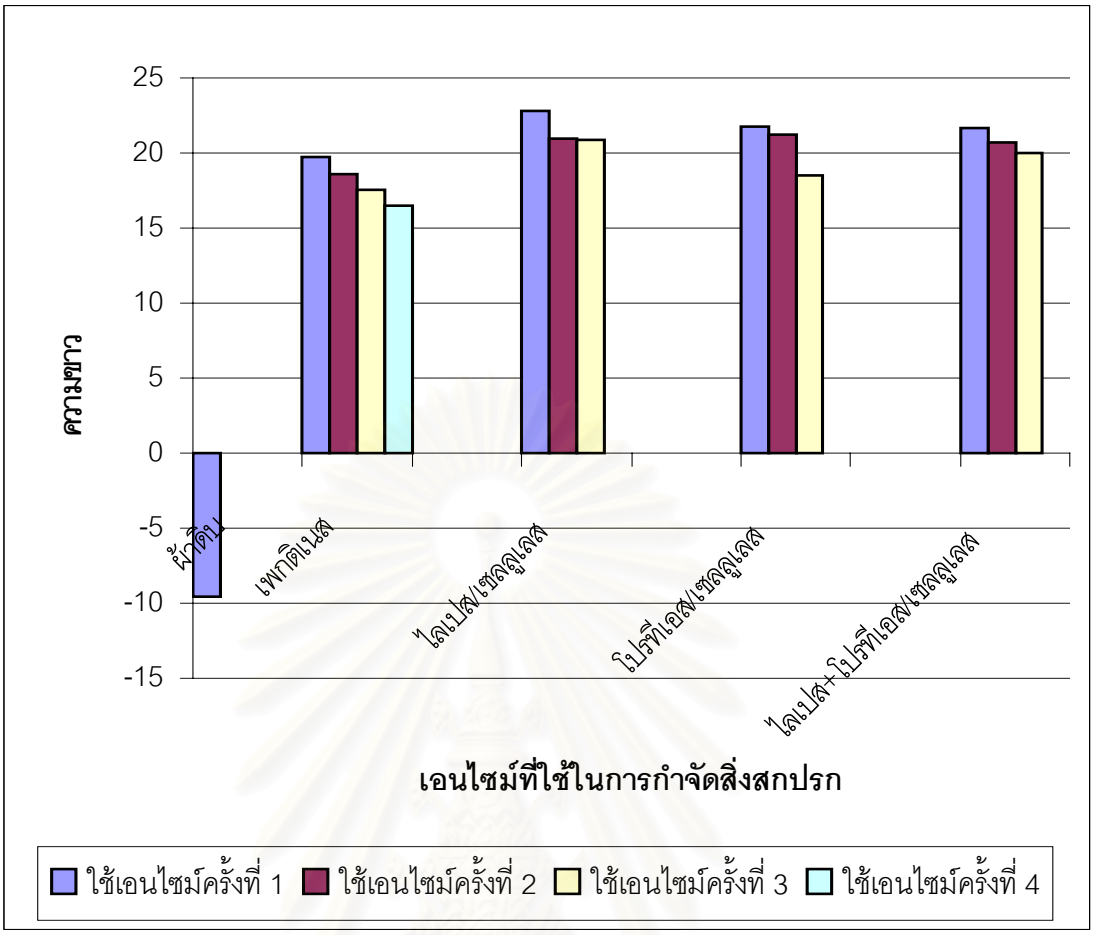
ตารางที่ 4.5 ความขาว ความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ไม่ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ		ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ	
		ความขาว	ความเหลือง	ความขาว	ความเหลือง
ผ้าดิบ		-9.545	30.826	-9.545	30.826
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	20.388	21.320	19.775	21.250
	ครั้งที่ 2	19.184	21.573	18.598	21.272
	ครั้งที่ 3	-	-	17.538	21.346
	ครั้งที่ 4	-	-	16.510	21.420
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	20.893	20.894	22.773	20.055
	ครั้งที่ 2	19.743	21.542	20.974	20.618
	ครั้งที่ 3	-	-	20.918	20.806
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	21.728	21.155	21.718	20.809
	ครั้งที่ 2	20.042	21.243	21.238	21.087
	ครั้งที่ 3	-	-	18.551	21.791
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	20.897	21.047	21.672	20.862
	ครั้งที่ 2	18.601	21.698	20.702	21.122
	ครั้งที่ 3	-	-	20.043	21.040



รูปที่ 4.5 ความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 ความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

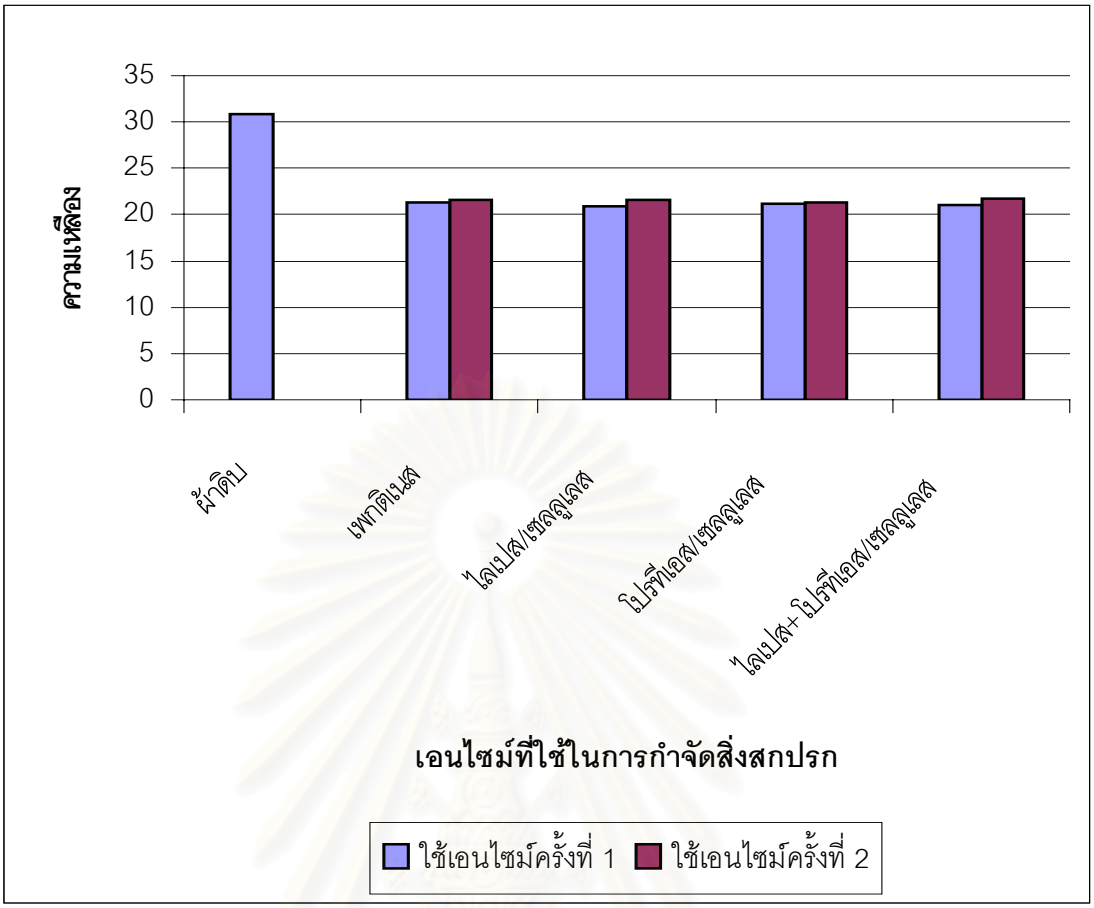
จากผลการทดลองข้างต้นจะเห็นว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ มีค่าความขาวสูงกว่าความขาวของผ้าดิบ เมื่อพิจารณาค่าความขาวจากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.5 พบว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ให้เหมาะสมต่อเอนไซม์แต่ละชนิดก่อนการใช้ซ้ำ จะมีค่าความขาวใกล้เคียงกันมากคืออยู่ระหว่าง 18.6 – 21.7 เช่นเดียวกันกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชก่อนใช้ซ้ำซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 16.5 – 22.7 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.6 จากค่าความขาวเหล่านี้จะพบว่าความขาวของผ้ามีค่าลดลงเมื่อกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ซ้ำไม่ว่าจะปรับ หรือไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนใช้ซ้ำก็ตาม นั่นคือเมื่อไม่ปรับพีเอชของสารละลายให้เหมาะกับเอนไซม์แต่ละชนิดก่อนการใช้ซ้ำ เอนไซม์จึงจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดสิ่งสกปรกลดลงทำให้

ผ้ามีความขาวลดลงและปริมาณเอนไซม์ในสารละลายลดลงเพราะติดไปกับผ้าหลังกำจัดสิ่งสกปรก จึงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งสกปรกลดลงไปด้วย

การกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์เพกติเนส ไลเปสตามด้วยเซลลูเลส โปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลส และไลเปสผสมโปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลส สามารถกำจัดสารสีที่มีอยู่ตามธรรมชาติในเส้นใยฝ้ายดิบออกได้ในระดับใกล้เคียงกัน เอนไซม์แต่ละชนิดเร่งการกำจัดสารสกปรกต่างชนิดออกจากผ้าแต่สามารถกำจัดสีธรรมชาติออกจากผ้าได้เท่าๆ กัน ทำให้ผ้ามีความขาวใกล้เคียงกัน นั่นอาจหมายความว่าสีธรรมชาติของเส้นใยฝ้ายมีอยู่ทั่วๆ ไปในเส้นใยฝ้าย เช่นใน เพกติน ขี้ผึ้ง โปรตีน

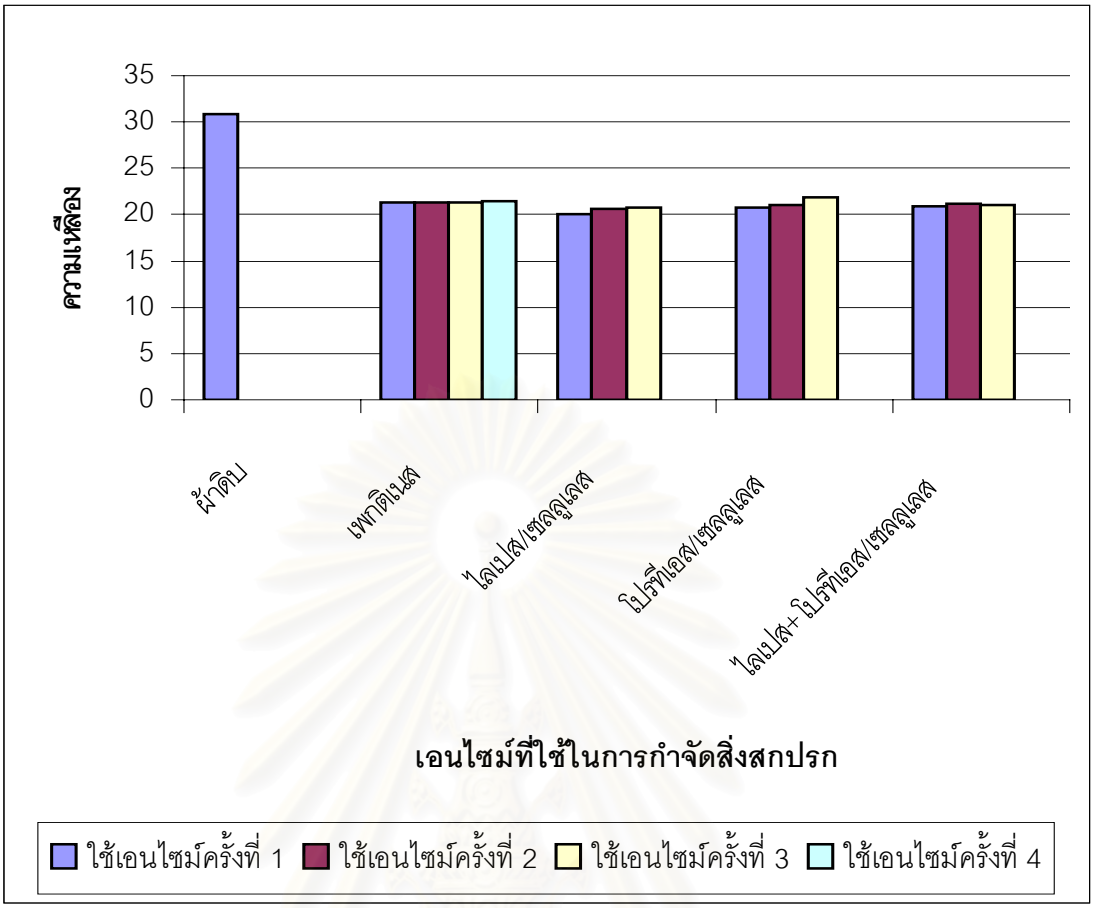
ตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7 , 4.8 แสดงค่าความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ผลการวัดค่าความเหลืองแสดงให้เห็นว่าค่าที่วัดได้สวนทางกับค่าความขาวโดยที่ค่าความเหลืองของผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกมีค่าต่ำกว่าความเหลืองของผ้าดิบทั้งเพราะสีธรรมชาติในฝ้ายที่ทำให้ผ้าดิบดูเหลืองถูกกำจัดออกไป และพบว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกโดยการใช้เอนไซม์ครั้งแรก กับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกโดยการใช้เอนไซม์ซ้ำมีค่าความเหลืองไม่แตกต่างกันนัก ทั้งที่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำและไม่ปรับพีเอช คือมีค่าอยู่ราว 20 – 21 ทั้งนี้เนื่องจากสีธรรมชาติในฝ้ายถูกกำจัดออกในปริมาณที่ใกล้เคียงเมื่อผ้าถูกกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งที่เอนไซม์ถูกใช้ครั้งแรกและที่ถูกใช้ซ้ำ ถึงแม้ประสิทธิภาพของเอนไซม์จะลดลงและปริมาณเอนไซม์น้อยลง (บางส่วนติดไปกับผ้า) ก็ตาม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

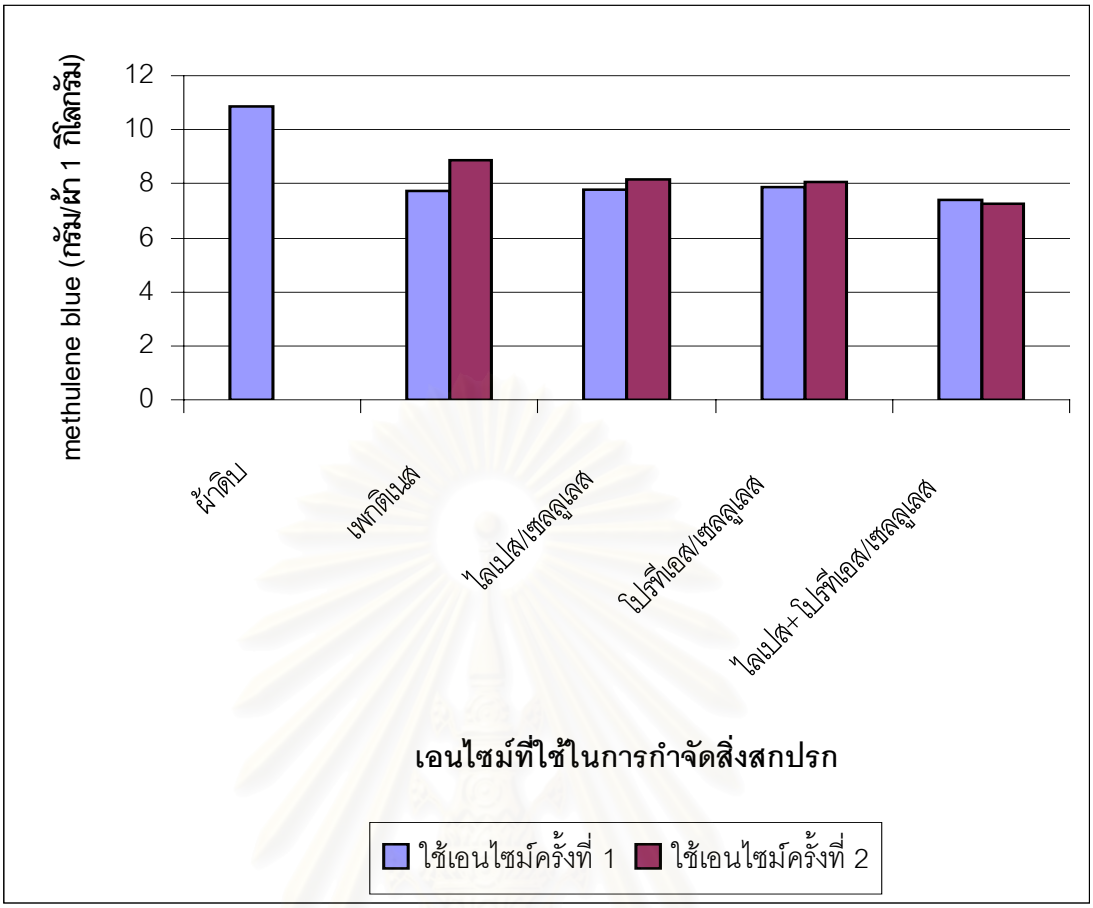
4.2.5 ระดับเพกตินบนผ้า

การหาระดับเพกตินที่อยู่บนผ้าทำโดยการย้อมผ้าด้วยสารละลายสี methylene blue แล้ววัดปริมาณ methylene blue ที่เหลืออยู่บนผ้า ซึ่งถ้าผ้ามีปริมาณ methylene blue อยู่มากก็แสดงว่ามีปริมาณเพกตินอยู่มากเช่นกัน ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกมีแสดงไว้ในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.9 , 4.10

ตารางที่ 4.6 ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

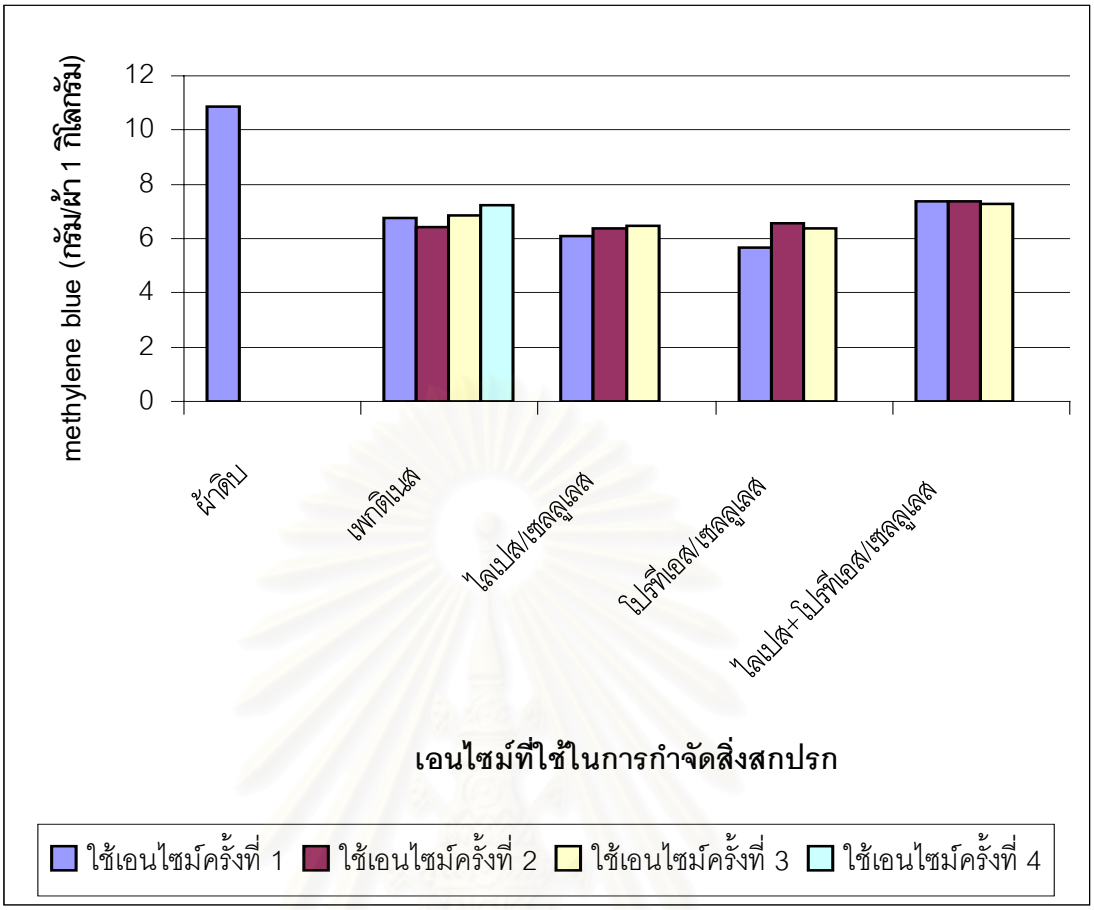
เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ปริมาณ methylene blue (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม	
		ไม่ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ	ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ
ผ้าดิบ		10.87	
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	7.75	6.74
	ครั้งที่ 2	8.85	6.44
	ครั้งที่ 3	-	6.87
	ครั้งที่ 4	-	7.23
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	7.76	6.10
	ครั้งที่ 2	8.16	6.37
	ครั้งที่ 3	-	6.45
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	7.88	5.66
	ครั้งที่ 2	8.07	6.57
	ครั้งที่ 3	-	6.36
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	7.40	7.35
	ครั้งที่ 2	7.28	7.39
	ครั้งที่ 3	-	7.29

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.9 ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าผ้าดิบมีปริมาณ methylene blue บนผ้า สูงที่สุดคืออยู่ในช่วง 10 - 11 กรัมบนผ้า 1 กิโลกรัม นั่นหมายถึงมีระดับเพกตินอยู่มากที่สุด และพบว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วจะมีปริมาณ methylene blue บนผ้าอยู่ในช่วง 6 – 8 กรัมบนผ้า 1 กิโลกรัม คือระดับเพกตินต่ำกว่าผ้าดิบมากเนื่องจากเพกตินบนผ้าถูกกำจัดออกด้วยกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกไม่ว่าจะใช้เอนไซม์ชนิดใดก็ตาม จากตาราง 4.6 และรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าเมื่อนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ซ้ำโดยเฉลี่ยมีปริมาณ methylene blue หรือมีระดับเพกตินสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้สารละลายเอนไซม์ในครั้งแรก และเมื่อพิจารณาผลในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.10 ก็จะเห็นว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ซ้ำ

โดยมีการปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนใช้ซ้ำ มีระดับเพกตินสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ในครั้งแรกเช่นเดียวกัน

งานวิจัยนี้ใช้เอนไซม์เพกติเนส ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลสในการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าซึ่งจากผลการทดสอบการดูดซับ methylene blue บนผ้าเพื่อหาระดับของเพกตินนี้พบว่าไม่เพียงแต่เอนไซม์เพกติเนสที่สามารถช่วยการกำจัดเพกตินบนผ้าออกได้ เอนไซม์ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลสก็สามารถช่วยกำจัดเพกตินบนผ้าออกได้เช่นกัน โดยสันนิษฐานว่าเพกตินในเส้นใยอาจปะปนกับไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง หรือโปรตีน เมื่อกำจัดไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง โปรตีน หรือเส้นใยที่ผิวผ้าออกด้วยเอนไซม์ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลส เพกตินอาจหลุดออกไปด้วย

ส่วนการที่ระดับเพกตินบนผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ซ้ำมีค่าสูงกว่าระดับเพกตินบนผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ครั้งแรก อาจเนื่องมาจากประสิทธิภาพในการทำงานของเอนไซม์ลดลงเมื่อเอนไซม์ถูกใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนใช้ซ้ำและปริมาณเอนไซม์ลดลงจากการติดไปกับผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรกแต่ละครั้ง

4.2.6 **ความสามารถในการย้อมติดสี**

งานวิจัยนี้พิจารณาความสามารถในการย้อมติดสี Benzopurpurine 4B ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ โดยแสดงผลในรูปของความเข้มสีหรือค่า K/S (แสดงไว้ในตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.11 , 4.12) และปริมาณสี Benzopurpurine 4B บนผ้า (แสดงไว้ในตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.13 , 4.14)

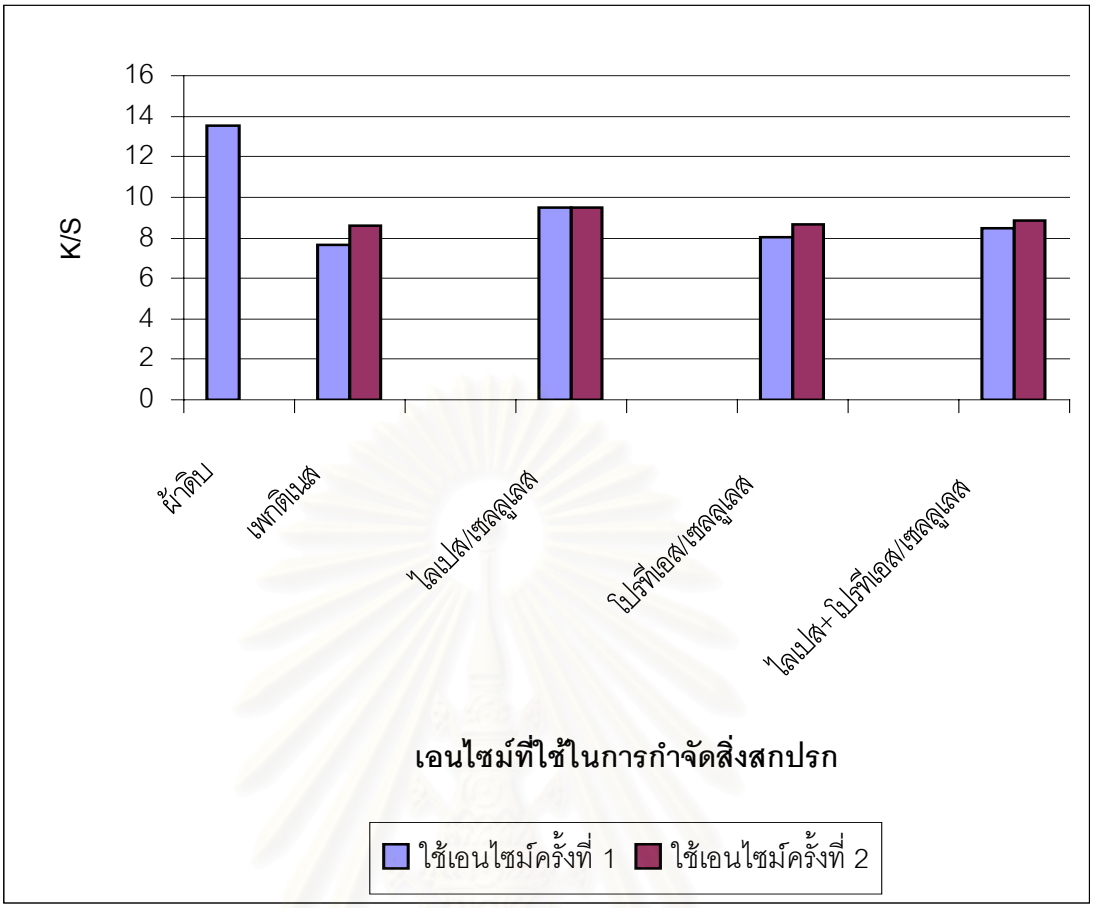
การย้อมผ้าด้วยสี benzopurpurine 4B ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ใช้สารช่วยย้อมซึ่งตามปกติแล้วการย้อมด้วยสีไดเรกท์จะต้องใช้สารช่วยย้อม เช่น fixing agent ร่วมด้วย และหลังจากการย้อมจะล้างผ้าด้วยการแกว่งผ้าในน้ำโดยไม่มีการขยี้ผ้าเพื่อเก็บน้ำล้างผ้าไปหาความเข้มข้นของสี ดังนั้นสีที่หลงเหลืออยู่บนผ้าจึงไม่หลุดออกมาทั้งหมด ผ้าที่ผ่านการย้อมจึงมีสีเข้ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

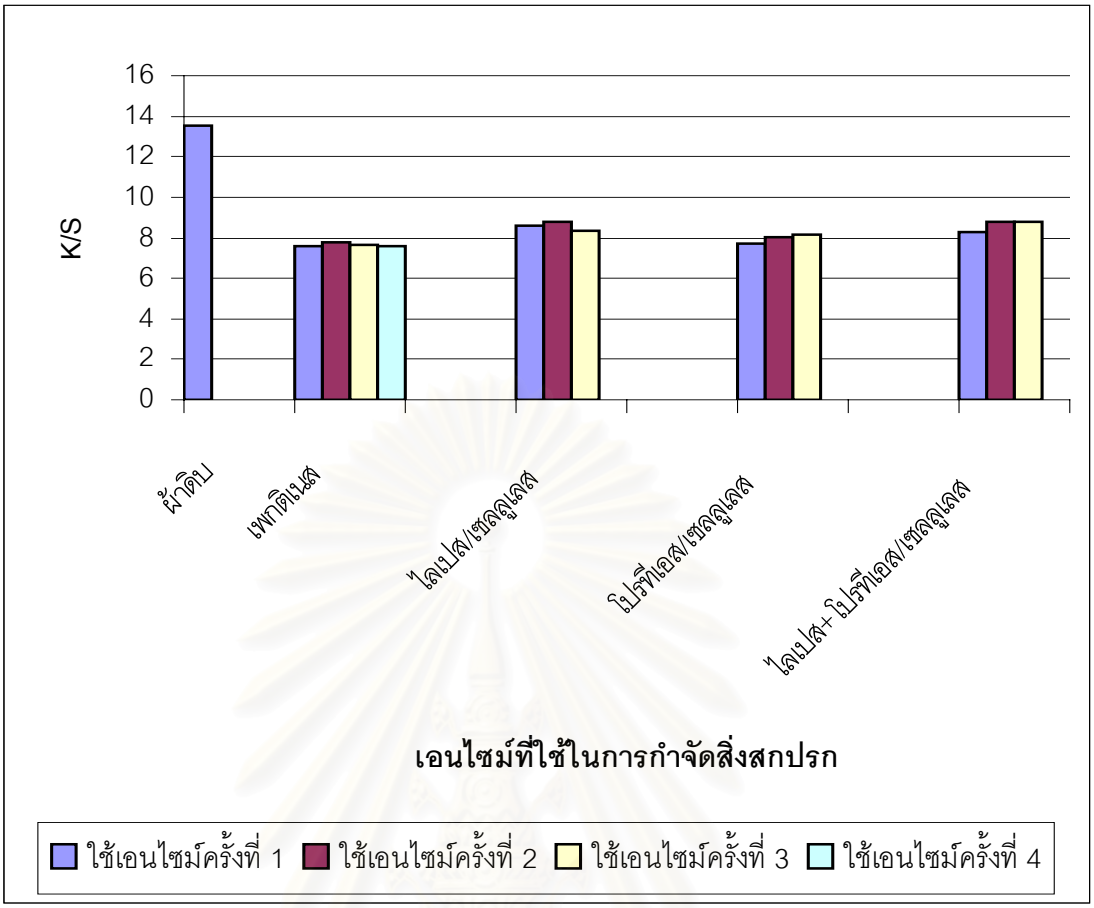
เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความเข้มสี (K/S)	
		ไม่ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ	ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ
ผ้าดิบ		13.517	
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	7.641	7.603
	ครั้งที่ 2	8.592	7.760
	ครั้งที่ 3	-	7.632
	ครั้งที่ 4	-	7.600
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	9.515	8.626
	ครั้งที่ 2	9.494	8.811
	ครั้งที่ 3	-	8.370
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	8.011	7.736
	ครั้งที่ 2	8.640	8.028
	ครั้งที่ 3	-	8.171
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	8.502	8.306
	ครั้งที่ 2	8.858	8.783
	ครั้งที่ 3	-	8.775

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.11 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



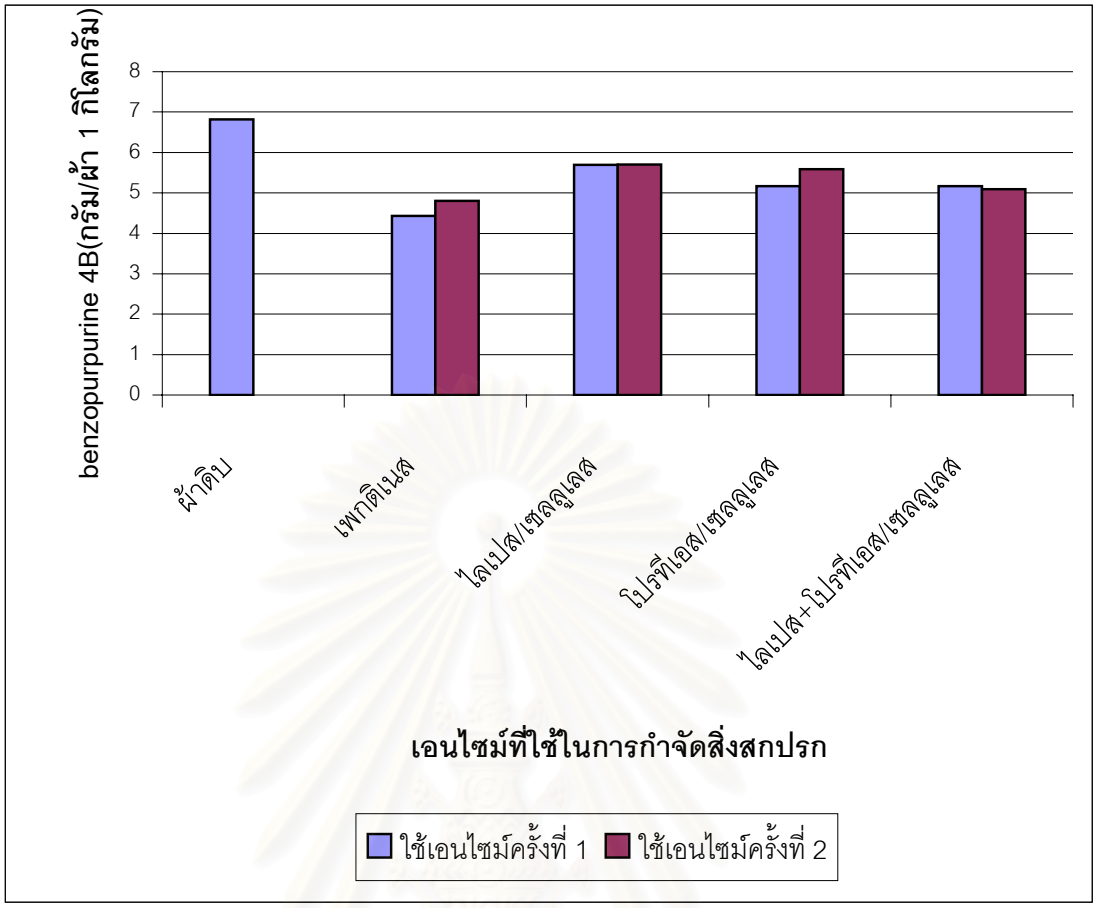
รูปที่ 4.12 ความเข้มสี (K/S) ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8 ปริมาณ benzopurpurine 4B บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

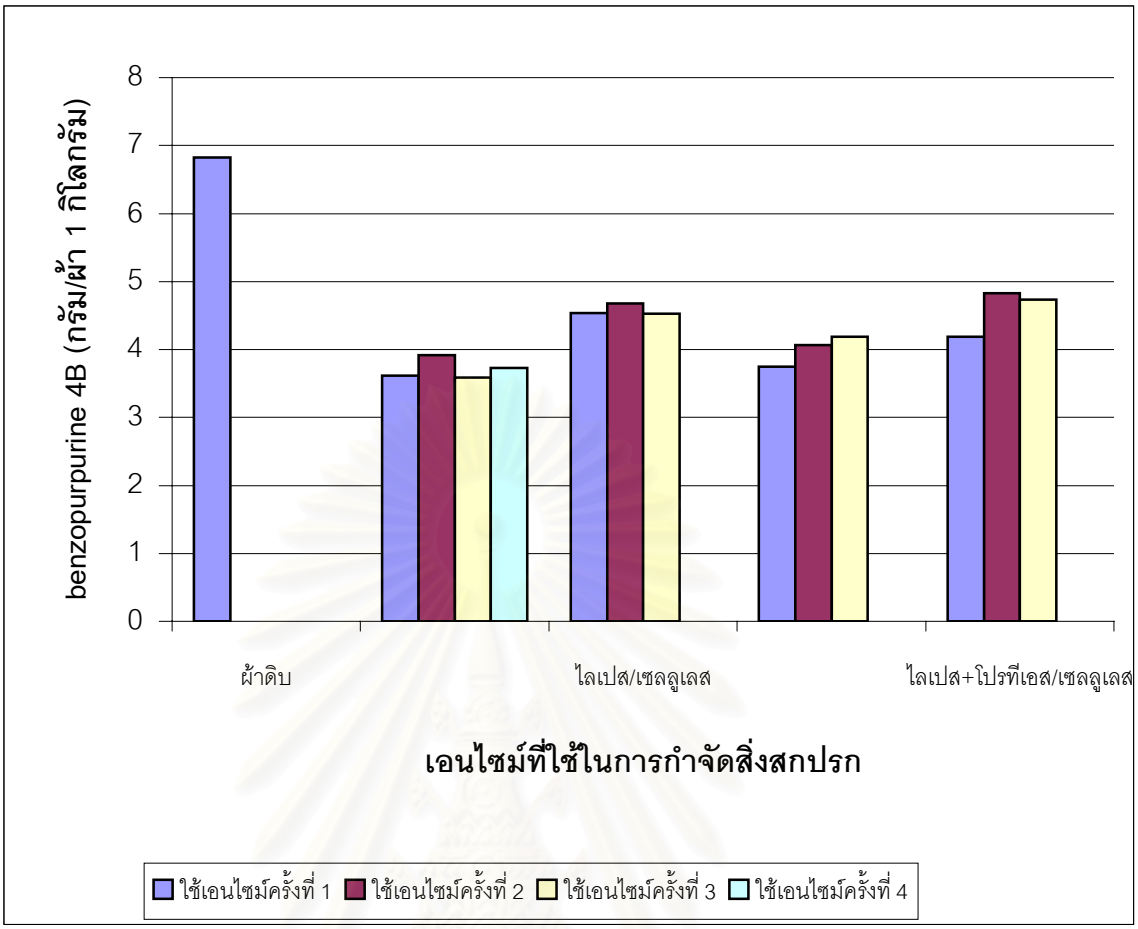
เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ปริมาณ benzopurpurine 4B (กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม	
		ไม่ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ	ปรับพีเอชสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ
ผ้าดิบ		6.82	
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	4.43	3.61
	ครั้งที่ 2	4.80	3.92
	ครั้งที่ 3	-	3.59
	ครั้งที่ 4	-	3.73
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	5.69	4.54
	ครั้งที่ 2	5.70	4.68
	ครั้งที่ 3	-	4.53
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	5.17	3.75
	ครั้งที่ 2	5.59	4.07
	ครั้งที่ 3	-	4.19
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	5.17	4.19
	ครั้งที่ 2	5.09	4.83
	ครั้งที่ 3	-	4.73

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 ปริมาณ benzopurpurine 4B บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.14 ปริมาณ benzopurpurine 4B บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำ โดยปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ

จากผลการทดลองพบว่าผ้าที่มีค่าความเข้มสีมากจะหมายถึงมีความสามารถในการดูดซึมสีย้อมไปบนผิวผ้าได้สูง จากการวัดค่า K/S และปริมาณสีบนผ้าก็ให้ผลสอดคล้องกัน คือ ผ้าที่มีค่า K/S สูงจะมีปริมาณ benzopurpurine 4B บนผ้าสูงเช่นกัน สำหรับงานวิจัยนี้พบว่าเมื่อนำผ้าดิบไปย้อมสี benzopurpurine 4B จะมีความเข้มสีสูงกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรก การที่ผ้าดิบซึ่งมีปริมาณเพกติน (มีประจุลบ) บนผ้าสูง ย้อมติดสี benzopurpurine 4B (เป็นสีไดเรกท์ เมื่อละลายน้ำจะให้ประจุลบ) ได้ความเข้มสีสูงนั้นเนื่องจากการที่สีย้อมติดบนผ้าไม่ได้เกิดจากการจับกันระหว่างสีย้อมกับเส้นใยเพียงอย่างเดียว แต่อาจมาจากการที่สีย้อมไปจับกับไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง โปรตีน หรือสิ่งสกปรกที่อยู่บนผ้า จึงเป็นสาเหตุให้ผ้าดิบซึ่งมีปริมาณไขมัน

น้ำมัน ขี้ผึ้ง โปรตีน หรือสิ่งสกปรกอยู่มากย้อมติดสีได้เข้มกว่าผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแต่สีย้อมที่ติดบนผ้าดิบไม่สม่ำเสมอทั้งผืนและสามารถซักออกได้ ส่วนผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วเมื่อนำไปย้อมจะมีความเข้มสีสูงและติดสีสม่ำเสมอ ซึ่งแสดงว่ามีความสามารถในการย้อมติดสีอยู่ในเกณฑ์ดี ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ไลเปสตามด้วยเซลลูเลสให้ผลการย้อมติดสีดีที่สุด รองลงมาเป็นผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ ไลเปสผสมโปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลส โปรทีเอสตามด้วยเซลลูเลส และเพกติเนสตามลำดับ ผลการทดลองสอดคล้องกันทั้งในส่วนของการกำจัดสิ่งสกปรกที่ไม่ปรับพีเอชและปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

สำหรับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกโดยการใช้เอนไซม์ต่างๆ ซ้ำให้ผลการย้อมติดสีใกล้เคียงกับผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกโดยการใช้เอนไซม์ต่างๆ เป็นครั้งแรกแต่มีแนวโน้มสูงกว่าเล็กน้อย ซึ่งอาจเนื่องมาจากสีย้อมไปจับกับไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง โปรตีน หรือสิ่งสกปรกที่คงเหลืออยู่บนผ้าเช่นเดียวกับกรณีของผ้าดิบ

จากผลการทดลองทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้เอนไซม์ซ้ำสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกได้โดยต้องปรับพีเอชของสารละลายก่อนการกำจัดสิ่งสกปรกครั้งต่อไป ซึ่งจำนวนครั้งของการใช้ซ้ำขึ้นอยู่กับชนิดของเอนไซม์ ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์ซ้ำได้โดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการกำจัดสิ่งสกปรกครั้งต่อไปมีประสิทธิภาพดีตามต้องการ แสดงว่าเอนไซม์ยังสามารถทำงานต่อไปได้อีกระยะหนึ่งในภาวะที่มีพีเอช และอุณหภูมิเหมาะกับเอนไซม์ชนิดนั้นๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลและวิจารณ์ผลการทดลองที่แสดงไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. การทดลองใช้เอนไซม์ซ้ำในกระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนฝ้ายพบว่า หากไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ จะไม่สามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำได้อีก แต่หากมีการปรับพีเอชของสารละลายให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ จะสามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำได้
2. ในกรณีที่มีการปรับพีเอชของสารละลาย ให้เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ก่อนการใช้ซ้ำ พบว่าสามารถนำเอนไซม์เพกติเนสกลับมาใช้ซ้ำได้อีก 2 ครั้ง ส่วนเอนไซม์ไลเปส โปรทีเอส และเซลลูเลส สามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อีก 1 ครั้ง โดยผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้เอนไซม์เหล่านี้ซ้ำสามารถดูดซึมน้ำได้ทันที สม่ำเสมอทั่วทั้งผืนและมีสมบัติต่างๆ ที่ยอมรับได้
3. ประสิทธิภาพการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้สารละลายเอนไซม์ซ้ำ ใกล้เคียงกับการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยการใช้สารละลายเอนไซม์เป็นครั้งแรก ผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกแล้วจะมีความสามารถในการดูดซึมน้ำและสีย้อมอยู่ในเกณฑ์ดี ความขาวและความแข็งแรงเพิ่มขึ้นจากผ้าดิบ และพบว่าระดับเพกตินบนผ้าเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้สารละลายเอนไซม์ซ้ำ ในขณะที่น้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปลดลง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการทำงานและปริมาณของเอนไซม์อาจลดลงเมื่อใช้สารละลายเอนไซม์ซ้ำ
4. เอนไซม์ซึ่งเป็นสารทางชีวภาพเมื่อนำเข้ามาใช้ในปฏิกิริยาเคมี จะไม่เสื่อมสภาพลงเร็วนักหากสามารถควบคุมภาวะของระบบให้เหมาะสมแก่เอนไซม์นั้นๆ เช่น ควบคุมความเป็นกรด-ด่าง (พีเอช) และอุณหภูมิของระบบให้อยู่ในช่วงที่เอนไซม์มีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุด การควบคุมปัจจัยเหล่านี้ทำให้สามารถนำเอนไซม์ที่ใช้แล้วกลับมาใช้ซ้ำได้อีกตราบเท่าที่ยังมีเอนไซม์และเอนไซม์มีประสิทธิภาพดี
5. การที่สามารถนำเอนไซม์ที่ใช้แล้วสำหรับการกำจัดสิ่งสกปรกกลับมาใช้ซ้ำได้อีก เป็นการช่วยลดปริมาณการใช้เอนไซม์ในกระบวนการเตรียมสิ่งทอลงได้ ซึ่งเท่ากับว่าเป็นการลดต้นทุนการผลิตและช่วยสนับสนุนให้มีการใช้เอนไซม์แทนสารเคมีอันตรายต่างๆ ในกระบวนการทางสิ่งทอมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

1. การทดลองใช้เอนไซม์ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรก พบว่าสามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำได้อีก 1-2 ครั้ง ขึ้นกับชนิดของเอนไซม์ก่อนเอนไซม์หมดประสิทธิภาพโดยต้องมีการปรับพีเอชของสารละลายเอนไซม์ก่อนใช้ซ้ำ หากกระทำทั้งการปรับพีเอชและล้างเอนไซม์ที่อาจติดไปกับผ้าออก อาจสามารถนำเอนไซม์กลับมาใช้ได้มากครั้งกว่านี้
2. ในระหว่างการนำเอนไซม์กลับมาใช้ซ้ำในการกำจัดสิ่งสกปรก อาจมีการวัดแอกติวิตี้ของเอนไซม์และปริมาณสิ่งสกปรกในสารละลายในผ้าเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเอนไซม์เมื่อถูกใช้ซ้ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2542. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. เกษม พิพัฒนปัญญานุกูล. 2537. การควบคุมคุณภาพการเตรียมสิ่งทอเพื่อการย้อมพิมพ์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร.
3. อัจฉราพร ไศละสูต. 2529. ความรู้เรื่องผ้า. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร.
4. Dame, S.H. 1965. American Cotton Handook Volume I. 3nd ed. New York: John Wiley & Sons.
5. Nevell, T.P. 1995. Cellulose: Structure, Propperties and Behacviour in the Dyeing Process. In J. Shore ed. Cellulosics Dyeing. Oxford: Alden Press.
6. Joseph, M.L. 1972 Introductory Textile Science. 2nd ed. New York: Rinehart and Winston.
7. มณฑา จันทร์เกตุเลี้ยด. 2541. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.
8. Li, Y., and Hardin, I.R. 1997. Enzymatic Scouring of Cotton: Effect on Structure and Properties. Textile Chemist and Colorist, 29(8): 71-76
9. Li, Y., and Hardin, I.R. 1998. Enzymatic Scouring of Cotton : Surfactants, Agitation, and Selection of Enzymes. Textiie Chemist and Colorist, 30(9): 23-29.
10. Clifford, P.H., and Probert, M.E. 1924. The Constituents of the Wax of American (Mississippi Dalta) Cotton. J. Textile Inst. 15: T401-13.
11. Karmakar, S.R. 1999. Chemical Technology in the Pre – treatment Process of Textile. Textile Science and Technology, 12. Amsterdam: Elsevier Science B.V.

12. Peters, R.H. 1963. Textile Chemistry Volume II: Impurities in fibres; Purification of fibres. Amsterdam: Elsevier.

13. Bodie, E.R. 1968. Textile Scouring and Bleaching. London: Charles Griffin.

14. Trotman, E.R. 1975. Dyeing and Chemical Technology of Textile fibers. 5th ed. London: Charless Griffin.

15. Roger, L. Biology[Online]. (n.d.). Available from: http: //www. geocities.com[2003, March 21]

16. มนตรี จุฬาวัฒนฑล และคณะ. 2542. ชีวเคมี. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

17. คล้ายอัปปสร พงศ์รพีพร. 2542. ชีวเคมี 1. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: บริษัทธรรมสาร จำกัด.

18. Gilbert, H.F. 1992. Basic Concepts in Biochemistry. New York : McGraw-Hill.

19. Helmut, U. 1998. Industrial Enzymes and Applications. New York: John Wiely and Sons.

20. Kumar, A., Yoon, M., and Purtell, C. 1997. Optimizing the Use of Cellulase Enzymes in Finishing Cellulosic Fabrics. Textile Chemist and Colorist, (April): 37-42.

21. Li, Y., and Hardin, I.R. 1997. Enzymatic Scouring of Cotton: Effects on Structrue and Properties. Texitle Chemist and Colorist, 29(7): 71-76.

22. Li, Y., and Hardin, I.R. 1998. Treating Cotton with Cellulase and Pectinases: Effects on Cuticle and Fiber Properties. Textile Research Jonrnal, 68(9): 671-679.

23. Buschle-Diller, and others. 1999. Environmentally Benign, Closed-Loop Preparatory Processes. Research Proposal for National Textile Center, 68(12): 920-929.

24. Sawada, K.,and others. 1998. Bioscouring of Cotton With Pectinase Enzyme. Journal of the Society of Dyers and Colourists, 114(11):333-336

25. Hartzell, M.M. and Hsieh, Y.L. 1998. Enzymatic Scouring to Improve Cotton Fabric Wettability. Textile Research Journal, 68(4): 233-241.

26. Sawada, K., and others 1998, Bioscouring of Cotton With Pectinase Enzyme in a Non-Aqueous System. Journal of the Society of Dyers and Colourists,114(12): 355-359.

27. Yachmenev, V G., Blanchard, E.J., and Lambert, A. H. 1999. Study of the Influence of Ultrasound on Enzymatic Treatment of Cotton Fabric. Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter, 1(1): 47-51.

28. Etters, J. N. 1999. Cotton Preparation with Alkali Pectinase: An Environmental Advance. Textile Chemist and Colorist & American Dyestuff Reporter, 1 (3): 33-36.

29. Afaq, S. 2002. Immobilization and Stabilization of Papain on Chelating Sepharose: a Metal Chelate Regenerable Carrier. EJB Electronic Journal of Biotechnology. India: Department of Biochomistry, Faculty of Life Science, Aligarh Muslim University.

30. Mukataka, S. Bioreactor Engineering[Online]. (n.d.). Available from: http://www.agbi.tsukuba.ac.jp[2002, March 19]

31. Opwis, K., Knittel, D., Kele, A., Schollmeyer, E. 1999. Enzymatic Recycle of Starch – Containing Desizing Liquors. Starch – Starke, 51(10): 348 – 353.

32. Mores, W. D., Knutsen, J. S., Davis, R. H. 2001. Cellulase Recovery via Membrane Filtration. Applied Biochemistry and Biotechnology, 91(3): 297 – 309.

33. ผศ. นภา ศิวรังสรรค์และคณะ. 2545. โครงการการใช้เอนไซม์ในกระบวการเตรียมผ้าฝ้าย. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ชุดโครงการพัฒนาอุตสาหกรรมสิ่งทอ.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความขาว								
		1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย
ผ้าฝ้ายดิบ		-10.037	-8.962	-9.858	-9.401	-7.493	-10.257	-10.219	-10.135	-9.545
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	20.936	20.748	21.914	21.062	19.400	19.758	19.974	19.315	20.388
	ครั้งที่ 2	19.246	19.273	20.816	20.041	17.966	18.933	18.927	18.273	19.184
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	21.639	22.204	21.342	21.372	19.333	22.207	19.870	19.178	20.893
	ครั้งที่ 2	20.922	20.137	19.936	20.068	18.977	19.691	19.545	18.671	19.743
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	21.949	22.019	21.388	22.227	22.050	22.065	21.722	20.403	21.728
	ครั้งที่ 2	19.698	19.764	20.132	20.210	20.400	20.842	19.510	19.780	20.042
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	21.501	21.605	20.546	20.460	20.512	21.258	20.620	20.675	20.897
	ครั้งที่ 2	18.532	18.784	19.121	19.166	18.839	19.507	16.603	18.252	18.601

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2 ความขาวของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความขาว								
		1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย
ผ้าฝ้ายดิบ		-10.037	-8.962	-9.858	-9.401	-7.493	-10.257	-10.219	-10.135	-9.545
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	20.454	19.688	19.282	19.220	19.534	19.699	20.232	20.090	19.775
	ครั้งที่ 2	18.528	18.335	17.601	19.507	18.478	18.697	18.010	19.629	18.598
	ครั้งที่ 3	18.456	17.971	16.791	17.377	16.643	17.959	17.885	17.218	17.538
	ครั้งที่ 4	16.861	16.012	16.929	16.137	16.035	16.255	17.062	16.782	16.510
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	23.259	21.763	23.217	22.534	23.263	21.894	22.976	23.277	22.773
	ครั้งที่ 2	20.577	21.429	21.458	20.332	20.861	20.888	21.090	21.160	20.974
	ครั้งที่ 3	21.318	21.180	20.734	21.215	20.974	20.931	20.679	20.313	20.918
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	22.743	21.530	21.549	21.549	21.326	21.637	21.392	22.019	21.718
	ครั้งที่ 2	21.636	20.719	21.387	21.274	20.270	21.163	21.641	21.811	21.238
	ครั้งที่ 3	18.081	19.180	18.605	18.226	18.840	18.296	18.480	18.702	18.551
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	22.245	21.828	22.248	21.542	21.756	20.884	21.087	21.785	21.672
	ครั้งที่ 2	22.060	20.908	20.258	20.281	20.473	20.513	20.867	20.252	20.702
	ครั้งที่ 3	19.848	19.662	19.788	20.869	20.034	19.598	20.595	19.950	20.043

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 ความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความเหลือง								
		1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย
ผ้าฝ้ายดิบ		31.008	30.693	30.884	30.771	30.153	31.124	30.991	30.985	30.826
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	21.130	21.239	20.862	21.171	21.582	21.552	21.425	21.597	21.320
	ครั้งที่ 2	21.501	21.465	21.103	21.256	21.971	21.844	21.647	21.796	21.573
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	21.639	22.204	21.342	21.372	19.333	22.207	19.187	19.87	20.894
	ครั้งที่ 2	21.322	21.509	21.567	21.455	21.719	21.431	21.566	21.768	21.542
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	20.767	20.72	20.914	20.601	22.050	22.065	21.722	20.403	21.155
	ครั้งที่ 2	21.269	21.301	21.306	21.062	21.231	21.045	21.401	21.326	21.243
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	20.983	20.853	21.113	21.263	21.167	20.957	21.053	20.983	21.047
	ครั้งที่ 2	21.714	21.682	21.524	21.471	21.64	21.328	22.462	21.761	21.698

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 ความเหลืองของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความเหลือง								
		1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย
ผ้าฝ้ายดิบ		31.008	30.693	30.884	30.771	30.153	31.124	30.991	30.985	30.826
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	21.099	21.278	21.279	21.363	21.427	21.262	21.331	20.960	21.250
	ครั้งที่ 2	21.485	21.563	21.793	20.706	21.343	21.104	21.494	21.685	21.272
	ครั้งที่ 3	21.172	21.340	21.574	21.268	21.394	21.188	21.291	21.544	21.346
	ครั้งที่ 4	21.307	21.608	21.206	21.375	22.122	21.557	21.097	21.091	21.420
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	19.866	20.359	19.971	20.279	19.857	20.354	19.833	19.918	20.055
	ครั้งที่ 2	20.768	20.427	20.431	20.730	20.710	20.676	20.625	20.575	20.618
	ครั้งที่ 3	20.754	20.762	20.875	20.742	20.669	20.919	20.819	20.909	20.806
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	20.519	20.806	21.011	20.892	20.930	20.777	20.955	20.578	20.809
	ครั้งที่ 2	21.065	21.229	21.105	20.947	21.335	21.078	21.004	20.933	21.087
	ครั้งที่ 3	21.885	21.639	21.741	21.901	21.738	21.857	21.849	21.720	21.791
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	20.705	20.756	20.740	20.904	20.851	21.043	21.050	20.850	20.862
	ครั้งที่ 2	21.074	21.017	21.110	21.224	20.815	21.220	21.126	21.390	21.122
	ครั้งที่ 3	21.056	21.179	21.095	20.896	21.029	21.132	20.883	21.048	21.040

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความต้านทานแรงดันทะลุ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย
ผ้าฝ้ายดิบ		5.6	5.6	6.0	5.8	5.7	6.2	5.5	5.9	5.79
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	6.5	5.9	6.1	6.5	6.5	5.9	6.2	6.4	6.25
	ครั้งที่ 2	5.8	6.4	6.1	6.3	6.4	6.2	6.5	6.6	6.29
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	6.5	6.0	6.3	6.3	6.6	6.4	6.4	6.1	6.33
	ครั้งที่ 2	6.1	6.1	6.6	6.4	6.5	5.7	6.0	6.6	6.25
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	6.3	5.9	6.4	6.7	6.7	7.0	6.2	6.3	6.21
	ครั้งที่ 2	6.1	6.0	5.7	6.2	6.5	6.6	6.0	6.4	6.19
ไลเปส+โปรทีเอส/ เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	5.6	6.44	6.0	6.3	6.6	7.1	6.2	6.8	6.38
	ครั้งที่ 2	6.2	6.6	6.2	5.8	6.2	6.4	6.2	6.0	6.20

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความต้านทานแรงดันทะลุ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)								
		1	2	3	4	5	6	7	8	เฉลี่ย
ผ้าฝ้ายดิบ		5.6	5.6	6.0	5.8	5.7	6.2	5.5	5.9	5.79
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	6.3	6.7	6.7	5.8	6.1	6.6	6.2	6.4	6.35
	ครั้งที่ 2	6.7	6.3	6.6	6.4	5.9	6.4	6.2	6.3	6.35
	ครั้งที่ 3	5.9	6.4	6.1	6.2	5.9	6.6	6.2	6.2	6.19
	ครั้งที่ 4	5.8	6.1	6.5	6.0	6.2	5.9	5.1	6.0	5.95
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	5.8	5.7	6.1	6.4	6.2	6.2	6.4	6.0	6.10
	ครั้งที่ 2	6.4	6.8	5.8	6.0	5.8	5.5	6.2	5.9	6.05
	ครั้งที่ 3	5.4	6.3	6.0	6.3	5.7	5.5	6.3	5.8	5.90
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	5.3	6.1	6.1	6.2	6.3	6.2	6.8	6.2	6.15
	ครั้งที่ 2	5.4	6.4	6.2	5.8	5.9	6.3	6.1	6.6	6.09
	ครั้งที่ 3	6.3	6.2	6.4	4.8	6.4	5.4	6.4	5.3	5.90
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	6.4	5.9	6.2	6.3	6.1	6.2	5.9	6.0	6.13
	ครั้งที่ 2	5.7	5.9	6.2	5.7	5.8	5.9	6.0	6.7	5.99
	ครั้งที่ 3	6.1	5.9	6.8	6.4	6.2	5.6	5.9	6.2	6.14

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7 ความเข้มสีของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ค่าความเข้มสี (K/S)		
		1	2	เฉลี่ย
ผ้าฝ้ายดิบ		-	13.517	13.517
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	7.829	7.452	7.641
	ครั้งที่ 2	8.704	8.479	8.592
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	9.291	9.738	9.515
	ครั้งที่ 2	9.325	9.662	9.494
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	7.871	8.151	8.011
	ครั้งที่ 2	8.750	8.530	8.640
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	8.459	8.545	8.502
	ครั้งที่ 2	8.641	9.074	8.858

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8 ความเข้มสีของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ค่าความเข้มสี (K/S)		
		1	2	เฉลี่ย
ผ้าฝ้ายดิบ		-	13.517	13.517
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	7.757	7.448	7.603
	ครั้งที่ 2	7.361	8.159	7.760
	ครั้งที่ 3	7.377	7.887	7.632
	ครั้งที่ 4	7.201	7.999	7.600
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	8.635	8.617	8.626
	ครั้งที่ 2	8.932	8.690	8.811
	ครั้งที่ 3	8.301	8.439	8.370
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	7.541	7.930	7.736
	ครั้งที่ 2	7.887	8.169	8.028
	ครั้งที่ 3	8.234	8.108	8.171
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	8.437	8.175	8.306
	ครั้งที่ 2	8.766	8.799	8.783
	ครั้งที่ 3	8.632	8.917	8.775

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 9 ความเข้มข้นสี benzopurpurine 4B (กรัมต่อลิตร) ในผ้า สารละลายหลังย้อม และน้ำล้างผ้า ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซมต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความเข้มข้นสีเริ่มต้น	ความเข้มข้นสีในผ้าหลังย้อม	ความเข้มข้นสีในสารละลายหลังย้อม	ความเข้มข้นสีในน้ำล้างผ้า	ผลรวมความเข้มข้นสีในผ้า/สารละลายหลังย้อม/น้ำล้างผ้า
ผ้าฝ้ายดิบ		0.3333	0.2275	0.1059	0.0021	0.3354
		-	-	-	-	-
		เฉลี่ย				0.3354
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	0.3333	0.1509	0.1824	0.0045	0.3378
		0.3333	0.1443	0.1890	0.0042	0.3375
						0.3377
	ครั้งที่ 2	0.3333	0.1613	0.1720	0.0034	0.3367
		0.3333	0.1585	0.1749	0.0031	0.3364
		เฉลี่ย				0.3365
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	0.3333	0.1830	0.1503	0.0044	0.3377
		0.3333	0.1963	0.1371	0.0040	0.3374
		เฉลี่ย				0.3375
	ครั้งที่ 2	0.3333	0.1906	0.1427	0.0043	0.3376
		0.3333	0.1897	0.1437	0.0039	0.3372
		เฉลี่ย				0.3374
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	0.3333	0.1670	0.1664	0.0036	0.3370
		0.3333	0.1774	0.1560	0.0030	0.3364
		เฉลี่ย				0.3367
	ครั้งที่ 2	0.3333	0.1830	0.1503	0.0027	0.3361
		0.3333	0.1897	0.1437	0.0031	0.3364
		เฉลี่ย				0.3362
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	0.3333	0.1812	0.1522	0.0029	0.3362
		0.3333	0.1632	0.1701	0.0031	0.3365
		เฉลี่ย				0.3363
	ครั้งที่ 2	0.3333	0.1594	0.1739	0.0030	0.3363
		0.3333	0.1802	0.1531	0.0024	0.3357
		เฉลี่ย				0.3360

ตารางที่ 10 ความเข้มข้นสี benzopurpurine 4B (กรัมต่อลิตร) ในผ้า สารละลายหลังย้อม และน้ำล้างผ้า ของผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซมต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความเข้มข้นสีเริ่มต้น	ความเข้มข้นสีในผ้าหลังย้อม	ความเข้มข้นสีในสารละลายหลังย้อม	ความเข้มข้นสีในน้ำล้างผ้า	ผลรวมความเข้มข้นสีในผ้า/สารละลายหลังย้อม/น้ำล้างผ้า
ผ้าฝ้ายดิบ		0.3333	0.2275	0.1059	0.0021	0.3354
		-	-	-	-	-
		เฉลี่ย				0.3354
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	0.3333	0.1282	0.2051	0.0035	0.3369
		0.3333	0.1122	0.2212	0.0037	0.3370
		เฉลี่ย				0.3369
	ครั้งที่ 2	0.3333	0.1273	0.2060	0.0039	0.3372
		0.3333	0.1339	0.1994	0.0041	0.3374
		เฉลี่ย				0.3373
	ครั้งที่ 3	0.3333	0.1103	0.2231	0.0043	0.3377
		0.3333	0.1292	0.2042	0.0036	0.3369
		เฉลี่ย				0.3373
	ครั้งที่ 4	0.3333	0.1188	0.2146	0.0035	0.3369
		0.3333	0.1301	0.2032	0.0032	0.3365
		เฉลี่ย				0.3367
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	0.3333	0.1500	0.1834	0.0038	0.3372
		0.3333	0.1528	0.1805	0.0042	0.3375
		เฉลี่ย				0.3373
	ครั้งที่ 2	0.3333	0.1613	0.1720	0.0039	0.3372
		0.3333	0.1509	0.1824	0.0036	0.3370
		เฉลี่ย				0.3371
	ครั้งที่ 3	0.3333	0.1613	0.1720	0.0039	0.3372
		0.3333	0.1405	0.1928	0.0035	0.3369
		เฉลี่ย				0.3370

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	ความเข้มข้นสีเริ่มต้น	ความเข้มข้นสีในผ้าหลังย้อม	ความเข้มข้นสีในสารละลายหลังย้อม	ความเข้มข้นสีในน้ำล้างผ้า	ผลรวมความเข้มข้นสีในผ้า/สารละลายหลังย้อม/น้ำล้างผ้า
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	0.3333	0.1244	0.2089	0.0035	0.3368
		0.3333	0.1254	0.2079	0.0037	0.3370
		เฉลี่ย				0.3369
	ครั้งที่ 2	0.3333	0.1367	0.1966	0.0033	0.3366
		0.3333	0.1348	0.1985	0.0030	0.3364
		เฉลี่ย				0.3365
	ครั้งที่ 3	0.3333	0.1348	0.1985	0.0034	0.3367
		0.3333	0.1443	0.1890	0.0033	0.3366
		เฉลี่ย				0.3366
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	0.3333	0.1405	0.1928	0.0035	0.3368
		0.3333	0.1386	0.1947	0.0036	0.3369
		เฉลี่ย				0.3369
	ครั้งที่ 2	0.3333	0.1556	0.1777	0.0036	0.3369
		0.3333	0.1660	0.1673	0.0042	0.3375
		เฉลี่ย				0.3372
	ครั้งที่ 3	0.3333	0.1641	0.1692	0.0034	0.3367
		0.3333	0.1509	0.1824	0.0035	0.3369
		เฉลี่ย				0.3368

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 11 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่มีการปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	น้ำหนักผ้าก่อนการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	น้ำหนักผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	1.229	1.184	-3.66
		1.371	1.324	-3.40
		เฉลี่ย		-3.53
	ครั้งที่ 2	1.260	1.227	-2.62
		1.192	1.148	-3.69
		เฉลี่ย		-3.15
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	1.173	1.132	-3.50
		1.253	1.206	-3.70
		เฉลี่ย		-3.60
	ครั้งที่ 2	1.230	1.183	-3.79
		1.178	1.137	-3.40
		เฉลี่ย		-3.60
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	1.349	1.297	-3.88
		1.230	1.194	-2.93
		เฉลี่ย		-3.40
	ครั้งที่ 2	1.368	1.336	-2.39
		1.217	1.180	-3.07
		เฉลี่ย		-2.73
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	1.205	1.173	-2.71
		1.190	1.149	-3.44
		เฉลี่ย		-3.08
	ครั้งที่ 2	1.198	1.164	-2.89
		1.244	1.209	-2.79
		เฉลี่ย		-2.84

ตารางที่ 12 ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไปหลังผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	น้ำหนักผ้าก่อนการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	น้ำหนักผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป
เพกติเนส	ครั้งที่ 1	1.221	1.185	-2.92
		1.152	1.117	-3.04
		เฉลี่ย		-2.98
	ครั้งที่ 2	1.222	1.181	-3.36
		1.219	1.187	-2.63
		เฉลี่ย		-2.99
	ครั้งที่ 3	1.169	1.140	-2.48
		1.220	1.184	-2.95
		เฉลี่ย		-2.72
	ครั้งที่ 4	1.199	1.165	-2.86
		1.229	1.199	-2.44
		เฉลี่ย		-2.65
ไลเปส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	1.165	1.124	-3.49
		1.211	1.171	-3.33
		เฉลี่ย		-3.41
	ครั้งที่ 2	1.153	1.114	-3.38
		1.259	1.220	-3.07
		เฉลี่ย		-3.23
	ครั้งที่ 3	1.298	1.256	-3.24
		1.234	1.194	-3.27
		เฉลี่ย		-3.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 12 (ต่อ)

เอนไซม์	ครั้งที่ของการใช้เอนไซม์	น้ำหนักผ้าก่อนการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	น้ำหนักผ้าหลังการกำจัดสิ่งสกปรก (กรัม)	ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่ขาดหายไป
โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	1.134	1.097	-3.26
		1.204	1.159	-3.74
		เฉลี่ย		-3.50
	ครั้งที่ 2	1.210	1.180	-2.45
		1.098	1.061	-3.37
		เฉลี่ย		-2.91
	ครั้งที่ 3	1.173	1.144	-2.44
		1.212	1.172	-3.30
		เฉลี่ย		-2.87
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส	ครั้งที่ 1	1.205	1.172	-2.79
		1.230	1.196	-2.71
		เฉลี่ย		-2.75
	ครั้งที่ 2	1.159	1.137	-1.84
		1.185	1.149	-3.07
		เฉลี่ย		-2.45
	ครั้งที่ 3	1.140	1.110	-2.66
		1.188	1.156	-2.69
		เฉลี่ย		-2.68

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยไม่ปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

น้ำหนักผ้า	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม	ความเข้มข้นสีบนผ้า	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี(กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม
ผ้าฝ้ายดิบ							
0.5974	17.9	0.625	0.0035	0.1406	0.3594	0.0064	10.78
0.5933	17.8	0.599	0.0034	0.1347	0.3653	0.0065	10.96
เฉลี่ย							10.87
เพกติเนส (ครั้งที่ 1)							
0.6058	18.2	1.059	0.0060	0.2382	0.2618	0.0048	7.86
0.6013	18.0	1.091	0.0061	0.2453	0.2547	0.0046	7.64
เฉลี่ย							7.75
เพกติเนส (ครั้งที่ 2)							
0.5984	18.0	0.860	0.0048	0.1934	0.3066	0.0055	9.20
0.5472	16.4	0.964	0.0054	0.2168	0.2832	0.0046	8.50
เฉลี่ย							8.85
ไลเปส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 1)							
0.6027	18.1	1.032	0.0058	0.2321	0.2679	0.0048	8.04
0.6089	18.3	0.995	0.0056	0.2238	0.2762	0.0050	8.29
เฉลี่ย							8.16
ไลเปส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 2)							
0.6082	18.2	1.025	0.0058	0.2305	0.2695	0.0049	8.08
0.6087	18.3	1.122	0.0063	0.2523	0.2477	0.0045	7.43
เฉลี่ย							7.76

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 13 (ต่อ)

น้ำหนักผ้า	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม	ความเข้มข้นสีบนผ้า	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี(กรัม)บนผ้า 1 กิโลกรัม
โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 1)							
0.6036	18.1	1.012	0.0057	0.2276	0.2724	0.0049	8.17
0.6064	18.2	1.042	0.0059	0.2343	0.2657	0.0048	7.97
เฉลี่ย							8.07
โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 2)							
0.5899	17.7	1.008	0.0057	0.2267	0.2733	0.0048	8.20
0.5991	18.0	1.104	0.0062	0.2483	0.2517	0.0045	7.55
เฉลี่ย							7.88
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 1)							
0.6096	18.3	1.059	0.0060	0.2382	0.2618	0.0048	7.86
0.6048	18.1	1.194	0.0067	0.2685	0.2315	0.0042	6.94
เฉลี่ย							7.40
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 2)							
0.6016	18.0	1.116	0.0063	0.2510	0.2490	0.0045	7.47
0.6091	18.3	1.173	0.0066	0.2638	0.2362	0.0043	7.09
เฉลี่ย							7.28

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 ปริมาณ methylene blue บนผ้าดิบและผ้าที่ผ่านการกำจัดสิ่งสกปรกด้วยเอนไซม์ต่างๆ ทั้งการใช้เอนไซม์ครั้งแรกและการใช้ซ้ำโดยปรับพีเอชของสารละลายก่อนการใช้ซ้ำ

น้ำหนักผ้า	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม	ความเข้มข้นสีบนผ้า	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี(กรัม) บนผ้า 1 กิโลกรัม
ผ้าฝ้ายดิบ							
0.5974	17.9	0.625	0.0035	0.1406	0.3594	0.0064	10.78
0.5933	17.8	0.599	0.0034	0.1347	0.3653	0.0065	10.96
เฉลี่ย							10.87
เพกติเนส (ครั้งที่ 1)							
0.6052	18.2	1.210	0.0068	0.2721	0.2279	0.0041	6.84
0.6057	18.2	1.240	0.0070	0.2789	0.2211	0.0040	6.63
เฉลี่ย							6.74
เพกติเนส (ครั้งที่ 2)							
0.6063	18.2	1.243	0.0070	0.2795	0.2205	0.0040	6.61
0.5933	17.8	1.294	0.0073	0.2910	0.2090	0.0037	6.27
เฉลี่ย							6.44
เพกติเนส (ครั้งที่ 3)							
0.6090	18.3	1.290	0.0073	0.2901	0.2099	0.0038	6.30
0.6095	18.3	1.120	0.0063	0.2519	0.2481	0.0045	7.44
เฉลี่ย							6.87
เพกติเนส (ครั้งที่ 4)							
0.6091	18.3	1.173	0.0066	0.2638	0.2362	0.0043	7.09
0.6066	18.2	1.130	0.0064	0.2541	0.2459	0.0045	7.38
เฉลี่ย							7.23

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 14 (ต่อ)

น้ำหนักผ้า	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม	ความเข้มข้นสีบนผ้า	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี(กรัม)บนผ้า 1 กิโลกรัม
ไลเปส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 1)							
0.6093	18.3	1.285	0.0072	0.2890	0.2110	0.0039	6.33
0.6006	18.0	1.352	0.0076	0.3040	0.1960	0.0035	5.88
เฉลี่ย							6.10
ไลเปส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 2)							
0.6047	18.1	1.277	0.0072	0.2872	0.2128	0.0039	6.38
0.6059	18.2	1.280	0.0072	0.2879	0.2121	0.0039	6.36
เฉลี่ย							6.37
ไลเปส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 3)							
0.6069	18.2	1.286	0.0072	0.2892	0.2108	0.0038	6.32
0.6024	18.1	1.249	0.0070	0.2809	0.2191	0.0040	6.57
เฉลี่ย							6.45
โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 1)							
0.6035	18.1	1.355	0.0076	0.3047	0.1953	0.0035	5.86
0.6042	18.1	1.413	0.0079	0.3178	0.1822	0.0033	5.47
เฉลี่ย							5.66
โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 2)							
0.5993	18.0	1.204	0.0068	0.2708	0.2292	0.0041	6.88
0.6045	18.1	1.295	0.0073	0.2912	0.2088	0.0038	6.26
เฉลี่ย							6.57
โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 3)							
0.6082	18.2	1.257	0.0071	0.2827	0.2173	0.0040	6.52
0.6011	18.0	1.304	0.0073	0.2932	0.2068	0.0037	6.20
เฉลี่ย							6.36

ตารางที่ 14 (ต่อ)

น้ำหนักผ้า	อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อสารละลาย	ค่าการดูดกลืนแสง (y)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม(เจือจาง 40 เท่า)	ความเข้มข้นสารละลายสีหลังย้อม	ความเข้มข้นสีบนผ้า	ปริมาณสีบนผ้า (กรัม)	ปริมาณสี(กรัม)บนผ้า 1 กิโลกรัม
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 1)							
0.5964	17.9	1.158	0.0065	0.2604	0.2396	0.0043	7.19
0.6045	18.1	1.110	0.0062	0.2496	0.2504	0.0045	7.51
เฉลี่ย							7.35
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 2)							
0.6018	18.1	1.110	0.0062	0.2496	0.2504	0.0045	7.51
0.5984	18.0	1.147	0.0064	0.2579	0.2421	0.0043	7.26
เฉลี่ย							7.39
ไลเปส+โปรทีเอส/เซลลูเลส (ครั้งที่ 3)							
0.5962	17.9	1.160	0.0065	0.2609	0.2391	0.0043	7.17
0.6085	18.3	1.127	0.0063	0.2534	0.2466	0.0045	7.40
เฉลี่ย							7.29

ตารางที่ 15 น้ำหนักผ้าดิบ (กรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร)

ผืนที่	น้ำหนัก
1	1.1409
2	1.1413
3	1.1236
4	1.1239
5	1.1483
เฉลี่ย	1.1356

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวเบญจมาศ คล้ายเครือญาติ เกิดวันที่ 23 ธันวาคม พ.ศ. 2521 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ แขนงวิชาพอลิเมอร์และสิ่งทอ จากภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2543 หลังจากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นปีการศึกษา 2544 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย