การขจัดคราบและขนผ้าจากผ้าฝ้ายโดยการซักด้วยสารซักฟอกที่มีแอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส

นายพรเฉลิม นาคสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

STAIN AND FUZZ REMOVAL FROM COTTON FABRICS THROUGH LAUNDERING WITH ALKALINE ENDOCELLULASE CONTAINED DETERGENTS

Mr. Pornchaloem Naksuwan

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

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

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การขจัดคราบและขนผ้าจากผ้าฝ้ายโดยการซักด้วยสารซักฟอกที่มีแอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส
โดย	นายพรเฉลิม นาคสุวรรณ
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

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

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์)

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

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิรีรัตน์ จารุจินดา)

…… กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มัณฑนา โอภาประกาสิต)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.นราพร รังสิมันตกุล)

พรเฉลิม นาคสุวรรณ : การขจัดคราบและขนผ้าจากผ้าฝ้ายโดยการซักด้วยสารซักฟอกที่มีแอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส. (STAIN AND FUZZ REMOVAL FROM COTTON FABRICS THROUGH LAUNDERING WITH ALKALINE ENDOCELLULASE CONTAINED DETERGENTS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์: ผศ.ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์, 106 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้นำเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลสทางการค้า Carezyme มาใช้ผสมกับสารซักฟอกทางการค้า 3 ชนิดที่มีค่าพีเอช 7.36, 8.85 และ 11.26 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการซักขจัดคราบน้ำมันปาล์มและขจัดขนผ้าจากผ้าฝ้าย ทดลองการซักด้วยสารซักฟอกทั้งสามชนิดที่มีและไม่มีเอนไซม์ Carezyme ผสมโดยใช้ปริมาณสารซักฟอกและเอนไซม์ต่างๆ และซักที่เวลาต่างๆ กัน ผ้าที่ผ่านการซักขจัดคราบและขนผ้าจากผ้าฝ้ายแล้วถูกนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ ตามมาตรฐานการทดสอบ เช่น ดัชนีความขาว ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า ความต้านแรงดันทะลุ ความทนแรงดึง สภาพแข็งเกร็งดัดโค้ง ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่หายไป และระดับการขึ้นขน

จากผลการทดลองได้ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าฝ้ายเปื้อนคราบน้ำมันปาล์มและผ้าฝ้ายขึ้นขนโดยใช้สารซักฟอก 3 ชนิดที่มีค่าพีเอช 7.36, 8.85 และ 11.26 ปริมาตร 0.1-30 มิลลิลิตร ในกรณีที่ใช้เอนไซม์ด้วยจะใช้เอนไซม์ปริมาตร 0.05-0.1 มิลลิลิตร ใช้อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ 1:400 ซักที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30-60 นาที พบว่าการซักล้างผ้าฝ้ายเปื้อนคราบอย่างมีประสิทธิภาพสามารถกระทำได้โดยใช้สารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดทั้งที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม แต่หากคราบถูกทิ้งไว้บนผ้านานขึ้น เช่น ทิ้งไว้ 2 วันก่อนซัก ควรซักด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์ Carezyme ผสมเนื่องจากจะช่วยขจัดคราบออกได้ดียิ่งขึ้น การซักล้างผ้าฝ้ายขึ้นขนที่มีประสิทธิภาพควรซักด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 8.85 ที่ผสมเอนไซม์ Carezyme เนื่องจากสามารถช่วยกำจัดขนบนผ้าออกได้มากกว่าการซักด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอชอื่นๆทั้งที่มีและไม่มีเอนไซม์ Carezyme ผสม ผ้าฝ้ายหลังซักด้วยสารซักฟอกที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสมสูญเสียความแข็งแรงเพียงเล็กน้อยและน้ำหนักผ้าหายไปเพียงเล็กน้อยราวร้อยละ 1-2

ภาควิชา วัสดุศาสตร์ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ลายมือ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2554 .....

5272440923 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORDS : COTTON FABRIC/ALKALINE ENDOCELLULASE/DETERGENT/STAIN AND FUZZ REMOVAL

PORNCHALOEM NAKSUWAN: STAIN AND FUZZ REMOVAL FROM COTTON FABRICS THROUGH LAUNDERING WITH ALKALINE ENDOCELLULASE CONTAINED DETERGENTS. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. USA SANGWATANAROJ, Ph.D., 106 pp.

This research aims to increase the efficiency of oily-stain and fuzzy hairs removal from cotton fabrics through laundering with cellulase enzyme contained detergents. Three commercial detergents at various pHs (pH 7.36, pH 8.85, and pH 11.26) and a commercial alkaline endocellulase enzyme, Carezyme, were used for cotton laundering at various conditions. After washed fabrics were tested for whiteness index and color change, bursting strength and tensile strength, flexural rigidity, % weight loss, and level of fuzz.

Optimal laundering conditions for stain and fuzz removal from cotton fabrics were determined as follows: dosages of detergents 0.1-30 ml, dosage of enzyme 0.05-0.1 ml, fabric to liquor ratio 1:400, wash at room temperature (28^{o}C) for 30-60 minutes. Results indicated that laundering with all three detergents with and without cellulase enzyme could efficiently remove immediate stain from cotton fabrics. However, in the case of removing 2-day left-over stain, laundering with detergents plus cellulase enzyme showed better stain removal ability. In addition, the efficiency of fuzz removal from cotton fabrics also improved through laundering with cellulase enzyme contained detergent at pH 8.85. All washed fabrics showed acceptable strength loss and weight loss (1-2%).

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

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้นั้นเป็นเพราะได้รับคำแนะนำด้านวิชาการ การเอื้อเฟื้อสถานที่ เครื่องมือ และวัตถุดิบสำหรับการทำวิทยานิพนธ์ อีกทั้งยังได้รับการช่วยเหลือและการแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จากผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านต่างๆเป็นอย่างดี

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ ผศ.ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้คำปรึกษาและการแก้ไขในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รศ. เสาวรจน์ ช่วยจุลจิตร์ ผศ.ดร สิรีรัตน์ จารุจินดา ผศ.ดร. มัณฑนา โอภาประกาสิต ดร.นราพร รังสิมันตกุล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำแนะนำ และแนวคิดที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์

ขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสาขาวิชาออกแบบแฟชั่นและสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอและออกแบบแฟชั่น มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ ศูนย์เชี่ยวชาญเฉพาะทางด้านสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับค่าใช้จ่ายบางส่วนในงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท แบรนน์แท็กอินกรีเดียนส์ (ประเทศไทย) จำกัด (มหาชน) ที่ให้การสนับสนุนเอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อน และบุคลากรอันเป็นที่รักทุกท่านที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนกระทั่งสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....จ
กิตติกรรมประกาศ.....ฉ
สารบัญ.....ช
สารบัญตาราง.....ญ
สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่
1 บทนำ.....1
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....3
2.1 ฝ้าย.....3
2.1.1 องค์ประกอบทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย.....3
2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย.....3
2.1.3 สมบัติของเส้นใยฝ้าย.....4
2.1.4 สมบัติด้านการติดคราบ.....7
2.2 สารซักฟอกและการซักล้าง.....8
2.2.1 องค์ประกอบหลักของสารซักฟอก.....8
2.2.1.1 สารลดแรงตึงผิว.....8
2.2.1.2 สารลดความกระด้างของน้ำ.....9
2.2.1.3 สารรักษาระดับความเป็นด่าง.....9
2.2.1.4 สารกันคราบคืน.....9
2.2.1.5 สารเพิ่มความสดใส.....9

บทที่ หน้า

2.2.2 กลไกการทำงานของสารซักฟอก.....10
2.2.2.1 การทำให้สิ่งสกปรกและพื้นผิวเปียก.....10
2.2.2.2 การสะเทิน.....10
2.2.2.3 การดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว.....10
2.2.2.4 การแปรสภาพเป็นสบู่.....10
2.2.2.5 การแขวนลอยในน้ำ.....10
2.2.2.6 การกระจายตัว.....10
2.2.2.7 การป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่.....11
2.3 เอนไซม์.....11
2.3.1 รูปร่างและโครงสร้างของเอนไซม์.....11
2.3.2 การทำงานของเอนไซม์.....12
2.3.3 การจำแนกกลุ่มของเอนไซม์และลักษณะเฉพาะกลุ่ม.....14
2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์.....15
2.3.5 เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยด้านสิ่งทอ.....17
2.3.5.1 เอนไซม์เซลลูเลส.....17
2.3.5.2 เอนไซม์ไลเพส.....18
2.3.5.3 เอนไซม์โพรทิเอส.....20
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....20
3 การทดลอง.....23
3.1 วัสดุและสารเคมี.....23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....24
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....26
3.3.1 การเตรียมผ้าเปื้อนคราบและผ้าขึ้นขนก่อนซัก.....27
3.3.2 การซักผ้าเปื้อนคราบและผ้าขึ้นขน.....28

บทที่ หน้า

3.4 การทดสอบสมบัติของผ้า....31
3.4.1 การวัดดัชนีความขาวและความเหลืองของผ้า....31
3.4.2 การวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า....33
3.4.3 การทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านความต้านแรงดันทะลุ....34
3.4.4 การทดสอบสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้า....35
3.4.5 การทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านความต้านแรงดึง....36
3.4.6 การทดสอบหาร้อยละของน้ำหนักผ้าที่หายไป....37
4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง....38
4.1 ผลการซักผ้าเปื้อนคราบที่ภาวะการซักที่เหมาะสม....38
4.1.1 ดัชนีความขาวของผ้า....38
4.1.2 ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า....47
4.1.3 ความแข็งแรงของผ้า....48
4.1.4 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้า....58
4.2 ผลการซักผ้าขึ้นขนที่ภาวะการซักที่เหมาะสม....61
4.2.1 ระดับการขึ้นขนของผ้า....62
4.2.2 ความแข็งแรงของผ้า....64
4.2.3 ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป....66
5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ....68
รายการอ้างอิง....70
ภาคผนวก....72
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....106

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สมบัติของเส้นใยฝ้าย....4

2.2 ส่วนประกอบอื่นๆ ของสารซักฟอกที่อาจมีได้....9

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง....24

3.2 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าทอสีขาวเปื้อนคราบซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง....29

3.3 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าทอสีขาวเปื้อนคราบซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก....29

3.4 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าถักสีขาวเปื้อนคราบซึ่งซักหลัง เปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง....30

3.5 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าถักสีขาวเปื้อนคราบซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก....30

3.6 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าขึ้นขน....31

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	โครงสร้างภาคตัดขวางและโครงสร้างภาคตามยาวของเส้นใยฝ้าย	3
2.2	โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส	4
2.3	คราบที่ติดอยู่ที่ผิวของเส้นด้าย	7
2.4	คราบที่ติดอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยฝ้าย	7
2.5	คราบที่ติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยฝ้าย	8
2.6	การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของ Gibbs	12
2.7	สมมติฐานแม่กุญแจและลูกกุญแจ	13
2.8	โมเดลการซักนำให้เข้ารูป	14
2.9	กลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส	18
2.10	ปฏิกิริยาการย่อยสลายไตรกลีเซอร์ไรด์ของเอนไซม์ไลเพส	19
2.11	ปฏิกิริยาการย่อยสลายเปปไทด์ของเอนไซม์โพทิเอส	20
3.1	ขั้นตอนการทดลอง	26
3.2	เครื่อง ICI pilling box	27
3.3	รูปภาพตรวจระดับการเกิดขนบนผ้า	28
3.4	เครื่องทดสอบการซัก Gyrowash	29
3.5	เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer (Macbeth Cokor-Eye 7000)	32
3.6	ตู้แสงมาตรฐาน	33
3.7	แถบสีเทาวัดระดับการเปลี่ยนแปลงสีผ้า	33
3.8	เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านความต้านแรงดันทะลุ	34
3.9	เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างของผ้า	35
3.10	เครื่องทดสอบแรงดึง	36
3.11	เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอินฟราเรด	37
4.1	ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก	39

ภาพที่ หน้า

4.2 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก....39
4.3 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก....40
4.4 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก....40
4.5 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก....41
4.6 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก....41
4.7 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก....43
4.8 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก....43
4.9 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก....44
4.10 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก....44

ภาพที่ หน้า

4.11 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก....45
4.12 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก....45
4.13 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....48
4.14 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....49
4.15 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....49
4.16 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....50
4.17 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....50
4.18 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....51
4.19 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....52
4.20 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....52
4.21 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....53
4.22 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ....53

ภาพที่ หน้า

4.23 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซัก ด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ.....54
4.24 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซัก ด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ.....54
4.25 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ.....56
4.26 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ.....56
4.27 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ.....57
4.28 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซัก ด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ.....58
4.29 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซัก ด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ.....58
4.30 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซัก ด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ.....59
4.31 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซัก ด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ.....59
4.32 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซัก ด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ.....60
4.33 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซัก ด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ.....60
4.34 ภาพถ่ายแสดงผ้าขึ้นขนก่อนซักและหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36.....62
4.35 ภาพถ่ายแสดงผ้าขึ้นขนก่อนซักและหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85.....62
4.36 ภาพถ่ายแสดงผ้าขึ้นขนก่อนซักและหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26.....63

ภาพที่ หน้า

4.37 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอก พีเอช 7.36 เทียบกับผ้าถักก่อนขึ้นขนและผ้าถักขึ้นขน.....64
4.38 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอก พีเอช 8.85 เทียบกับผ้าถักก่อนขึ้นขนและผ้าถักขึ้นขน.....64
4.39 ความต้านทานแรงดันทะลุของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอก พีเอช 11.26 เทียบกับผ้าถักก่อนขึ้นขนและผ้าถักขึ้นขน.....65
4.40 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม.....66
4.41 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม.....66
4.42 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม.....67

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ผ้าฝ้ายเป็นผ้าใยเซลลูโลสที่สวมใส่สบายเพราะสามารถระบายความร้อนและความชื้นได้ดี อย่างไรก็ตาม เมื่อผ้าฝ้ายถูกใช้งานและซักล้างบ่อยๆจะมีขนขึ้นที่ผิวผ้าทำให้ผ้าดูเก่าสีไม่สดใสเหมือนเดิม หรือเมื่อผ้าเปื้อนคราบสิ่งสกปรกนานๆ ก็จะซักคราบออกยากขึ้น ทั้งขนและคราบจากผ้าฝ้ายนี้สามารถกำจัดออกไปได้โดยการซักด้วยสารซักฟอกซึ่งปริมาณขนและคราบจะหลุดออกมากน้อยขึ้นกับประสิทธิภาพของการซักและของสารซักฟอก โดยทั่วไปสารซักฟอกทางการค้าสามารถใช้ในการกำจัดขนและกำจัดคราบจากผ้าฝ้ายแต่ต้องเพิ่มความเข้มข้นของของสารซักฟอกในการซัก โดยปกติคราบสกปรกจะมีประจุลบ สารซักฟอกจะช่วยลดแรงตึงผิวของน้ำและช่วยให้ผ้าเปียก สารซักฟอกจะเรียงตัวหันส่วนที่เป็นประจุลบไปที่คราบสกปรกเพื่อผลักคราบสกปรกออกจากผ้า สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการซักล้างคราบโดยการซักด้วยสารซักฟอกที่ผสมเอนไซม์ตามสัดส่วนที่เหมาะสม ตัวอย่างเอนไซม์ที่ผสมในสารซักฟอกในปัจจุบันประกอบด้วย เอนไซม์เซลลูเลส เอนไซม์โพรทิเอส และเอนไซม์ไลเพส เป็นต้น โดยเอนไซม์เซลลูเลสจะช่วยกำจัดขนบนผ้าฝ้ายหรือใยเซลลูโลสที่ผิวผ้า เอนไซม์โพรทิเอสจะช่วยกำจัดคราบโปรตีนจากผ้า และเอนไซม์ไลเพสจะช่วยกำจัดคราบไขมันจากผ้า ซึ่งปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างเอนไซม์เหล่านี้กับขนจากผ้าหรือคราบที่ติดบนผ้าเป็นปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสทั้งสิ้น ในงานวิจัยนี้มีความสนใจที่จะผสมเอนไซม์เซลลูเลสชนิดแอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลสลงในสารซักฟอกทางการค้า 3 ชนิดเพื่อใช้ในการซักกำจัดคราบสิ่งสกปรกและกำจัดขนจากผ้าฝ้าย โดยแอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลสเป็นเอนไซม์เซลลูเลสที่มีส่วนประกอบของเอนโดเซลลูเลสเป็นหลักและมีแอคติวิตีสูงในภาวะด่าง สามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดไลซิสใยเซลลูโลสที่ผิวผ้าฝ้าย โดยทำให้ผ้าฝ้ายสูญเสียน้ำหนักและความแข็งแรงน้อยกว่าการไฮโดรไลซิสด้วยเอนไซม์เซลลูเลสทั่วไป คาดว่าน่าจะสามารถช่วยกำจัดขนบางส่วนจากผ้าฝ้ายและกำจัดคราบที่ติดกับขนหรือบนผิวผ้าฝ้ายออกไปด้วย การซักผ้าฝ้ายด้วยสารซักฟอกที่มีแอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลสนี้จะกระทำที่ภาวะต่างๆ โดยจำลองจากภาวะการซักจริงในชีวิตประจำวัน โดยกระทำการซักกับผ้าฝ้ายขึ้นขน และผ้าฝ้ายเปื้อนคราบ หลังการซักทดสอบหาระดับของคราบและ

ระดับของขนบนผ้า ดัชนีความขาวและความเหลืองของผ้า ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าและความแข็งแรงของผ้า และศึกษาประสิทธิภาพของการกำจัดขนและการกำจัดคราบจากผ้าฝ้ายโดยการซักด้วยสารซักฟอกผสมแอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลสเทียบกับการซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าฝ้ายด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโด-เซลลูเลส

2. ศึกษาประสิทธิภาพของการขจัดคราบและขนผ้าจากผ้าฝ้ายโดยการซัก

3. ศึกษาสมบัติต่างๆ ของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการซัก

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้คือ การผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลสลงในสารซักฟอกทางการค้า 3 ชนิดที่มีค่าพีเอชต่างๆกัน และนำมาซักผ้าฝ้ายเปื้อนคราบน้ำมันปาล์มและผ้าฝ้ายขึ้นขน ที่ภาวะการซักต่างๆ จำลองจากภาวะการซักผ้าจริง ทดสอบสมบัติต่างๆของผ้าทั้งก่อนและหลังผ่านการซักและหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักกำจัดคราบและกำจัดขนบนผ้าฝ้าย

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือได้สารซักฟอกผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโด-เซลลูเลสที่สามารถใช้ซักขจัดคราบและขนผ้าจากผ้าฝ้ายอย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

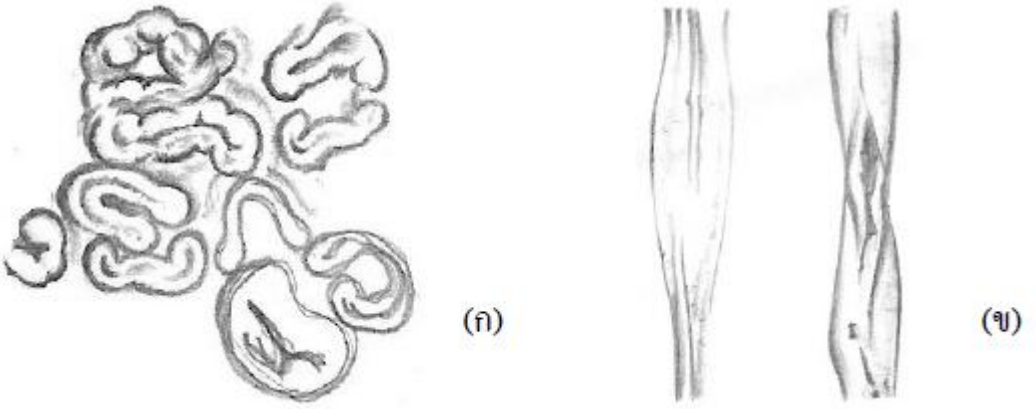
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ฝ้าย (Cotton)

ฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสที่สำคัญที่สุด และใช้ประโยชน์มากที่สุด ประมาณร้อยละ 50 ของเส้นใยที่ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอทั่วโลก สามารถนำเส้นใยฝ้ายปั่นเป็นด้าย อาจเป็นด้ายฝ้ายร้อยละ 100 หรือนำไปผสมกับเส้นใยอื่นๆ ได้เกือบทุกชนิดเพื่อทำเป็นด้ายใยผสม

2.1.1 องค์ประกอบทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย

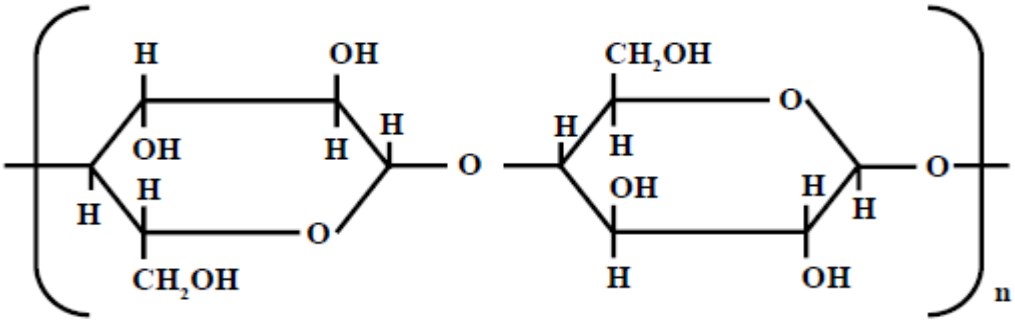
ฝ้ายเป็นเส้นใยสั้นมีความยาวประมาณ 0.5-2.5 นิ้ว มีขนาดหน้าตัด 16-20 ไมโครเมตร ตามธรรมชาติเป็นสีขาว สีครีมหรือสีน้ำตาลอ่อนภาคตัดขวางของฝ้ายคล้ายรูปเม็ดถั่ว ภาคตามยาวของฝ้ายคล้ายริบบิ้นและบิดเกลียวตามแนวยาว ประมาณ 200-300 รอบต่อนิ้ว



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างภาคตัดขวาง (ก) และโครงสร้างภาคตามยาว (ข) ของเส้นใยฝ้าย [1]

2.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยฝ้าย

องค์ประกอบหลักทางเคมีของเซลลูโลสในใยฝ้ายคือ คาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน ฝ้ายมีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลสร้อยละ 94 โมเลกุลของเซลลูโลสจะประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ คือ กลูโคส ซึ่งแต่ละหน่วยของกลูโคสในสายโซ่พอลิเมอร์จะประกอบไปด้วย หมู่ไฮดรอกซิล 3 หมู่อยู่ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2, 3 และ 6 โดยกลูโคสแต่ละหน่วยมาเชื่อมต่อกันเป็นสายโซ่พอลิเมอร์ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 และ 4 ของกลูโคสแต่ละหน่วย



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างโมเลกุลของเซลลูโลส [2]

2.1.3 **สมบัติของเส้นใยฝ้าย**

สมบัติต่างๆ ของเส้นใยฝ้ายแสดงไว้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของเส้นใยฝ้าย [3]

สมบัติทางกายภาพ	
ความยาว	3-5 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับภูมิอากาศ และแหล่งที่ปลูก)
ภาคตัดขวาง	รูปถั่ว
สี	ขาว ครีม น้ำตาล หรือเทา
การสะท้อนแสง	ไม่ดีนัก มีความมันต่ำ ฝ้ายที่ผ่านการชุบมันในด่างเส้นใยจะพองกลม ทำให้มีความมันเพิ่มขึ้น
ความเหนียว	มีความเหนียวปานกลาง ขณะแห้งมีความเหนียว 3.0-5.0 กรัม/เดนเยอร์ เมื่อเปียกความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเป็น 3.6-6.0 กรัม/เดนเยอร์
การยืดตัว	ยืดหยุ่นได้ค่อนข้างต่ำ ยืดหยุ่นได้สูงสุดร้อยละ 3-7 ก่อนขาด

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

การหดกลับ	ถ้าเส้นใยถูกยืดออกไปร้อยละ 2 ของความยาวปกติเมื่อปล่อยแรงหดกลับได้ร้อยละ 70 ของความยาวที่ยืดออกไป
การคืนตัว	ต่ำ ผ้าฝ้ายจึงยับง่าย
ความทนต่อการขัดถู	พอใช้จนถึงดี
ความคงรูป	ไม่ดีนัก ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการชุบมันด้วยด่าง (mercerization) เมื่อซักฟอกมักหดตัว
การดูดความชื้น (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65 อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส)	ร้อยละ 8.5
ความถ่วงจำเพาะ	1.54
สมบัติทางเคมี	
สารฟอกขาว	ฝ้ายมีความคงทนต่อสารฟอกขาวทุกชนิด ทั้งชนิดที่เป็นสารฟอกขาว ประเภทคลอรีน (chlorine bleach) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรด์ และสารฟอกขาวประเภทออกซิเจน (oxygen bleach) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
กรดและด่าง	ทนด่างได้ดี กรดเข้มข้นและกรดเจือจางที่ร้อนสามารถทำลายเส้นใยได้

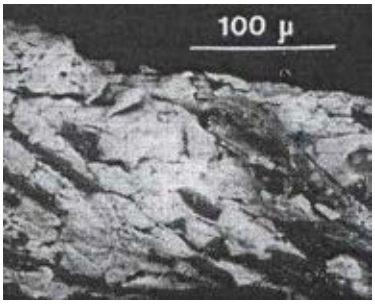
ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

แสงแดดและความร้อน	ทนความร้อนและแสงแดดได้ดี แสงแดดไม่ทำอันตรายต่อผ้าที่ตากจนแห้ง แต่ถ้าปล่อยให้ถูกแสงเป็นระยะเวลานานติดต่อกันจะทำให้เซลลูโลสถูกออกซิไดส์ ความเหนียวของเส้นใยฝ้ายลดลงได้ ฝ้ายเปลี่ยนเป็นสีเหลือง การรีดผ้าฝ้ายควรใช้อุณหภูมิไม่สูงเกินกว่า 218 องศาเซลเซียส หรือ 425 องศาฟาเรนไฮต์
สีย้อม	สีย้อมที่ใช้ย้อมฝ้ายได้ คือ สีไดเรกท์ รีแอคทีฟ แวต แนฟทอล สีย้อมที่ติดเส้นใยได้คงทนมากที่สุดคือ สีแวต
สมบัติทางชีวภาพ	
เห็ด รา และแบคทีเรีย	ฝ้ายที่อยู่ในสภาพเปียกชื้นและอับจะไม่ทนต่อเชื้อรา โดยราดำจะขึ้นได้ง่ายบนผ้าฝ้าย ทำให้เกิดจุดดำฝังแน่นในเส้นใย แบคทีเรียจะทำให้เสื้อผ้าที่หมักไว้นานๆ จะมีกลิ่นเหม็นและเปื่อยขาดได้ง่าย
แมลง	ตัวมอด ตัวด้วงไม่กัดกินใยฝ้าย แต่แมลงบางชนิด เช่น ตัวสามง่าม (silverfish) จะชอบกินใยฝ้ายโดยเฉพาะผ้าฝ้ายที่ลงแป้ง
สมบัติในการติดไฟ	ติดไฟง่ายลุกไหม้อย่างรวดเร็ว
สมบัติในการนำไฟฟ้าและความร้อน	ฝ้ายเป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ดี

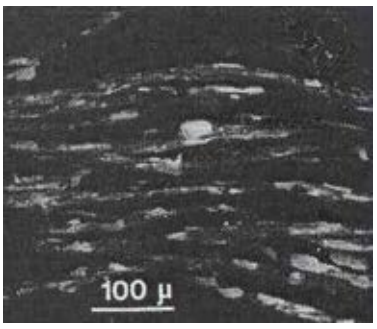
2.1.4 **สมบัติด้านการติดคราบ**

สมบัติด้านนี้จะเกี่ยวข้องกับผ้าฝ้ายที่เปื้อนคราบจากการใส่เสื้อผ้าในชีวิตประจำวัน

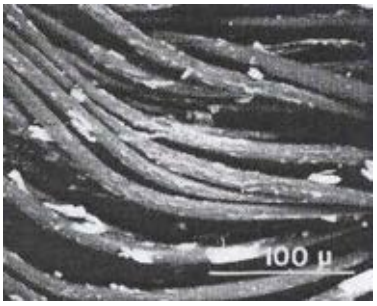
Obendrof [4] ศึกษาการใส่เสื้อผ้าในชีวิตประจำวันและพบคราบสิ่งสกปรกที่เกิดจากร่างกายของมนุษย์มากที่สุด ที่บริเวณคอปกด้านในและปกข้อมือ ซึ่งคราบสิ่งสกปรก คือ เหงื่อและขี้ไคล เมื่อศึกษาการกระจายตัวของคราบสกปรกโดยเทคนิคไมโครสโคปีพบว่าคราบสกปรกจะติดอยู่ที่ผิวของเส้นด้ายฝ้ายมากที่สุด (ภาพที่ 2.3) รองลงมาคือติดอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยฝ้าย (ภาพที่ 2.4) และติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยฝ้าย (ภาพที่ 2.5) โดยคราบที่ติดอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยฝ้าย และคราบติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยฝ้ายจะเป็นคราบประเภทฝังลึก



ภาพที่ 2.3 คราบที่ติดอยู่ที่ผิวของเส้นด้ายฝ้าย [4]



ภาพที่ 2.4 คราบที่ติดอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยฝ้าย [4]



ภาพที่ 2.5 คราบที่ติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยฝ้าย [4]

สำหรับการซักล้างคราบออกนั้นพบว่าคราบที่ติดอยู่ที่ผิวของเส้นด้ายฝ้ายซึ่งเป็นคราบส่วนมากจะซักล้างออกได้ง่ายที่สุด สำหรับคราบที่ติดอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยฝ้ายและคราบที่ติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยฝ้ายเป็นคราบประเภทฝังลึกจะซักล้างออกยากและยากที่สุด ตามลำดับ

2.2 **สารซักฟอกและการซักล้าง**

ผงซักฟอกหรือสารซักฟอกคือผลิตภัณฑ์ที่มีสารลดแรงตึงผิวเป็นส่วนประกอบหลักสำหรับใช้ในการซักผ้า โดยทั่วไปสารซักฟอกมีองค์ประกอบหลักดังนี้

2.2.1 **องค์ประกอบหลักของสารซักฟอก** [5]

องค์ประกอบหลักของสารซักฟอกและหน้าที่ของสารต่างๆในสารซักฟอกแสดงดังต่อไปนี้

2.2.1.1 **สารลดแรงตึงผิว** [6, 7]

สารลดแรงตึงผิวโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ดังนี้

<u>แอนไอออนิก (anionic)</u> เมื่อละลายน้ำจะมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ มีปริมาณฟองมาก เป็นสารที่มีปฏิกิริยาต่อผิวหน้าของน้ำ ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในสารซักฟอก สามารถแพร่กระจายและขจัดสิ่งสกปรกได้ดี

<u>แคทไอออนิก (cationic)</u> เมื่อละลายน้ำจะมีประจุไฟฟ้าเป็นบวก ไม่ใช้แพร่หลายนักโดยมากจะใช้ในน้ำยาปรับผ้านุ่ม ช่วยในการลดไฟฟ้าสถิต

<u>นอนไอออนิก (nonionic)</u> เมื่อละลายน้ำจะไม่มีประจุไฟฟ้า มีฟองน้อย สามารถใช้ตามลำพัง หรือใช้ร่วมกับแอนไอออนิก หรือแคทไอออนิก ในสารซักฟอกได้

<u>แอมโฟเทอริค (amphoteric)</u> เป็นสารที่มีหมู่ที่ละลายน้ำ เป็นได้ทั้งประจุบวกและประจุลบ

ขึ้นอยู่กับความเป็นกรดและด่าง (พีเอช) ของน้ำ มีประสิทธิภาพในการทำความสะอาดสูง แต่มีราคาแพง มักพบในยาสระผม หรือผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดผิว

2.2.1.2 **สารลดความกระด้างของน้ำ** [8]

น้ำที่ใช้ในการซักล้าง หากเป็นน้ำกระด้างจะมี Mg^{2+} และ Ca^{2+} ทำให้ประสิทธิภาพของสารลดแรงตึงผิวลดลง สารลดความกระด้างของน้ำจะทำให้ Mg^{2+} และ Ca^{2+} ตกตะกอนทำให้สารลดแรงตึงผิวทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.1.3 **สารรักษาระดับความเป็นด่าง** [8]

สารลดแรงตึงผิวจะทำงานได้ดีต้องอยู่ในภาวะที่เป็นด่าง สารรักษาระดับความเป็นด่างจะช่วยรักษาสภาพของน้ำให้เป็นด่าง

2.2.1.4 **สารกันคราบคืน** [8]

เป็นสารที่ช่วยป้องกันคราบหรือสิ่งสกปรกที่หลุดออกไปแล้วกลับมาจับผ้าอีกขณะซัก

2.2.1.5 **สารเพิ่มความสดใส**

สารเพิ่มความสดใสได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องมาจากเป็นสารที่สามารถดูดแสงอัลตราไวโอเรต แล้วให้แสงที่ทำให้ผ้าดูสดใสยิ่งขึ้น

ตารางที่ 2.2 ส่วนประกอบอื่นๆ ของสารซักฟอกที่อาจมีได้ [5]

สารเพิ่มฟอง หรือสารลดฟอง	สารกันการจับตัว เป็นก้อน	สารคงสภาพ การเก็บรักษา
สารช่วยการละลาย	สารต้านจุลินทรีย์	สารละมุน
สารฟอก	สารช่วยให้ผ้านุ่ม	สารช่วยขับสิ่งสกปรก
น้ำหอม	สารกันไฟฟ้าสถิต	สารกันการกัดกร่อน
เอนไซม์	สารกันหมอง	แอนติออกซิแดนต์

2.2.2 **กลไกการทำงานของสารซักฟอก** [9]

2.2.2.1 **การทำให้สิ่งสกปรกและพื้นผิวเปียก** (Wetting)

สารลดแรงตึงผิวมีองค์ประกิบหลัก 2 ส่วนคือส่วนที่ไม่ละลายน้ำและส่วนที่ละลายน้ำ โดยส่วนที่ไม่ละลายน้ำจะถูกผลักออกไป ทำให้ส่วนที่ละลายน้ำไปเรียงตัวที่ผิวน้ำหรือลดความตึงผิวของน้ำ ทำให้พื้นผิวเปียก

2.2.2.2 **การสะเทิน** (Neutralization)

ธรรมชาติของสิ่งสกปรกโดยทั่วไป จะมีความเป็นกรด แต่ภาวะที่จะทำความสะอาดได้ดีนั้น ในน้ำซักต้องมีความเป็นด่าง จึงต้องอาศัยสารรักษาระดับความเป็นด่างช่วยรักษาภาวะการทำความสะอาด

2.2.2.3 **การดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว** (Detergency)

การดึงสิ่งสกปรกออกจากพื้นผิว อาศัยสมบัติของสารลดแรงตึงผิวไปลดแรงดึงดูดกันระหว่างสิ่งสกปรกกับผิวผ้า ให้หลุดออกจากกัน

2.2.2.4 **การแปรสภาพเป็นสบู่** (Saponifiable)

สิ่งสกปรกประเภทไขมันต่างๆ เมื่อทำปฏิกิริยากับด่างจะแปรสภาพเป็นสบู่ซึ่งสามารถละลายหรือลอยตัวในน้ำ

2.2.2.5 **การแขวนลอยในน้ำ** (Emulsion)

สิ่งสกปรกประเภทน้ำมันปิโตรเลียมอื่นๆ ที่ไม่ละลายน้ำและไม่สามารถแปรสภาพเป็นสบู่ได้ สามารถถูกขจัดออกได้โดยสารลดแรงตึงผิว จะหันส่วนที่ไม่ละลายน้ำจับตัวกับน้ำมัน ทำให้น้ำมันแขวนลอยอยู่ในน้ำได้

2.2.2.6 **การกระจายตัว** (Dispersion)

สิ่งสกปรกที่ไม่ละลายเช่น ฝุ่นละอองต่างๆ เมื่อถูกดึงออกจากเส้นใยหรือผ้า สารลดแรงตึงผิวจะไปล้อมจับตัวเป็นชั้นบางๆ ที่มีประจุไฟฟ้าเหมือนกัน ทำให้สิ่งสกปรกผลักกันเองไม่รวมตัวและกระจายอยู่ในน้ำ

2.2.2.7 **การป้องกันการกลับเข้าไปจับใหม่** (Suspension or Prevention of Redeposition)

เมื่อสิ่งสกปรกถูกดึงออกจากเส้นใยหรือผ้า แต่อาจกลับเข้าไปจับผ้าหรือเส้นใยได้ใหม่อีก จึงป้องกันด้วยการเติมสารกันคราบคืน เพื่อไม่ให้เข้าจับกับเส้นใยหรือผ้าได้อีก

2.3 **เอนไซม์** (Enzyme) [10]

เอนไซม์ คือ ชีวโมเลกุลที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบชีวภาพ (biocatalyst) สามารถเปลี่ยนแปลงซับสเตรต (substrate) ให้เป็นผลิตภัณฑ์ โดยปริมาณเอนไซม์ไม่เปลี่ยนแปลง และมีลักษณะเด่นซึ่งตัวเร่งสังเคราะห์หรือตัวเร่งอินทรีย์ไม่มี คือ มีประสิทธิภาพในการเร่งปฏิกิริยาสูง เอนไซม์บางชนิดทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็วหลายเท่า เอนไซม์มีความจำเพาะต่อซับสเตรตสูงถูกควบคุมการทำงานให้เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ง่าย และสามารถทำงานในภาวะที่ไม่รุนแรง

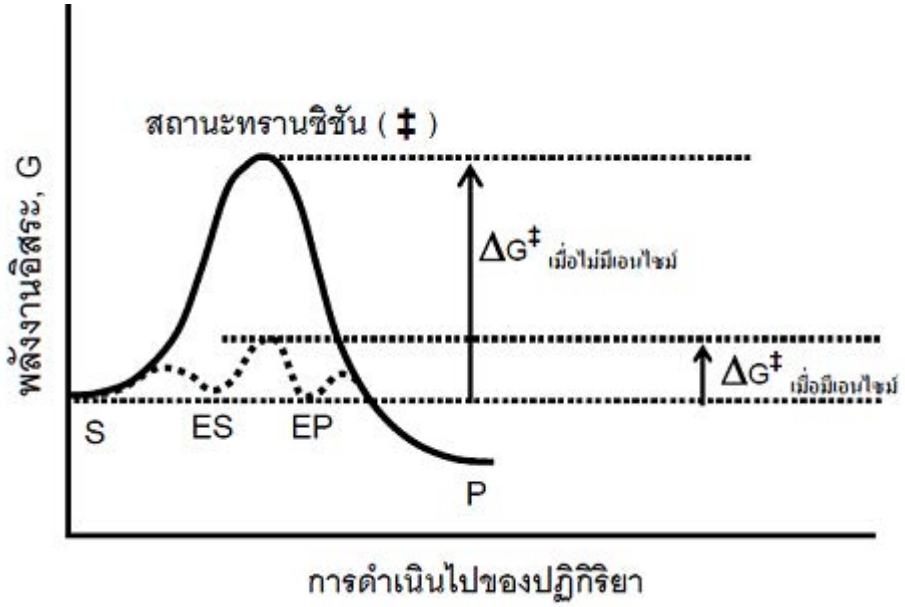
2.3.1 **รูปร่างและโครงสร้างของเอนไซม์**

เอนไซม์เป็นโปรตีนที่มีรูปร่างกลม แต่ละชนิดมีโครงสร้างและโครงรูปที่จำเพาะ ซึ่งเป็นตัวกำหนดสมบัติต่างๆ และการทำงานของเอนไซม์ เอนไซม์ประกอบขึ้นจากสายพอลิเพปไทด์ (polypeptide) ที่เกิดจากกรดอะมิโนเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ โดยเอนไซม์บางชนิดประกอบด้วยพันธะเพปไทด์เพียง 1 สาย บางชนิดประกอบด้วยพอลิเพปไทด์มากกว่า 1 สาย จากการศึกษาพบว่าเอนไซม์บางชนิดไม่ใช่โปรตีนบริสุทธิ์ล้วนๆ แต่จะมีส่วนประกอบอื่นๆ ที่ไม่ใช่โปรตีนรวมอยู่ด้วยจึงทำงานได้ เอนไซม์พวกนี้เรียกว่า โฮโลเอนไซม์ (holoenzyme) หมายถึงเอนไซม์ที่สามารถแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นโปรตีนซึ่งไม่สามารถทำงานตามลำพังได้เรียกว่า แอโพเอนไซม์ (apoenzyme) และส่วนที่ไม่ใช่โปรตีนแต่ช่วยให้เอนไซม์ทำงานได้เรียกว่า โคแฟคเตอร์ (cofactor) โดยโคแฟคเตอร์ของเอนไซม์อาจเป็นไอออนของโลหะต่างๆ หรืออาจเป็นสารประกอบอินทรีย์เชิงซ้อน ซึ่งแบ่งเป็น 2 ชนิดคือ โคเอนไซม์ (coenzyme) ซึ่งหมายถึง โคแฟคเตอร์ที่มักจะจับกับส่วนที่เป็นโปรตีนอย่างหลวมๆ สามารถแยกออกจากกันได้ง่ายและส่วนใหญ่มักจะมีวิตามินเป็นส่วนประกอบอยู่ด้วย โคแฟคเตอร์อีกชนิดหนึ่งจะยึดติดกับส่วนที่เป็นโปรตีนอย่างหนาแน่นจนดูเหมือนเป็นโครงสร้างเดียวกัน เรียกโคแฟคเตอร์ชนิดนี้ว่า หมู่พรอสทีติก (prosthetic group) แต่ก็มีหลายกรณีที่เราไม่ทราบแน่นอนว่าสารที่ทำหน้าที่ช่วยการทำงานของ

เอนไซม์เป็นโคเอนไซม์หรือหมู่พรอสทีติก ดังนั้นจึงมีผู้ใช้คำว่า “โคเอนไซม์” ซึ่งหมายรวมถึงสารทั้ง 2 ชนิดคือ โคเอนไซม์และหมู่พรอสทีติก

2.3.2 การทำงานของเอนไซม์

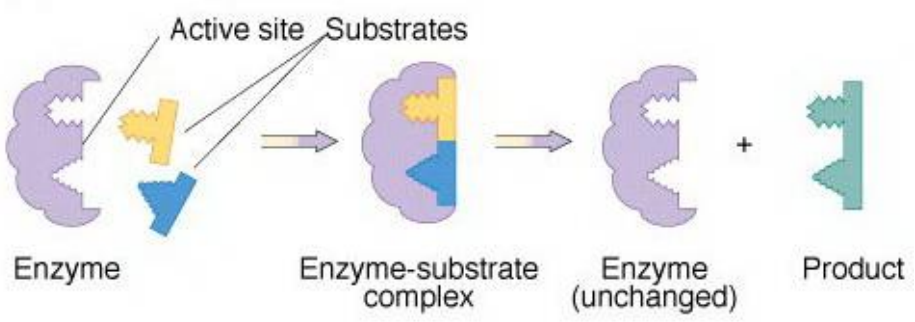
เอนไซม์ทำหน้าที่เร่งหรือเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา ปฏิกิริยาที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น 10^5-10^{17} เท่า เมื่อเทียบกับปฏิกิริยาที่เกิดแบบไม่มีตัวเร่งหรือเกิดโดยตัวเร่งอื่นที่ไม่ใช่เอนไซม์ เอนไซม์สามารถลดพลังงานกระตุ้นซึ่งคือพลังงานที่ใช้ในการเปลี่ยนซับสเตรตให้เป็นผลิตภัณฑ์ได้ถึง 3 เท่าเมื่อเทียบกับปฏิกิริยาที่ไม่มีตัวเร่ง การเพิ่มอัตราเร็วของปฏิกิริยา เกิดจากการที่เอนไซม์สามารถลดพลังงานกระตุ้นของสารตัวกลางที่เกิดในสถานะทรานซิชันในระหว่างปฏิกิริยาได้ โดยทฤษฎีของสถานะทรานซิชันกล่าวว่าเมื่อซับสเตรต S ชนกับ E เอนไซม์ จะเกิดสถานะทรานซิชัน (‡) ซึ่งมีพลังงานที่เกิดจากโมเลกุลชนกัน เรียกว่าพลังงานกระตุ้น ($\Delta G^{‡}$) ภาพที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า การเปลี่ยนสถานะทรานซิชันเป็นผลิตภัณฑ์ P ในกรณีที่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง ($\Delta G^{‡}$ เมื่อมีเอนไซม์) เกิดได้เร็วกว่าและใช้พลังงานอิสระน้อยกว่ากรณีที่ไม่มีเอนไซม์เป็นตัวเร่ง ($\Delta G^{‡}$ เมื่อไม่มีเอนไซม์) ไม่มีความแตกต่างระหว่างพลังงานอิสระของซับสเตรตกับผลิตภัณฑ์



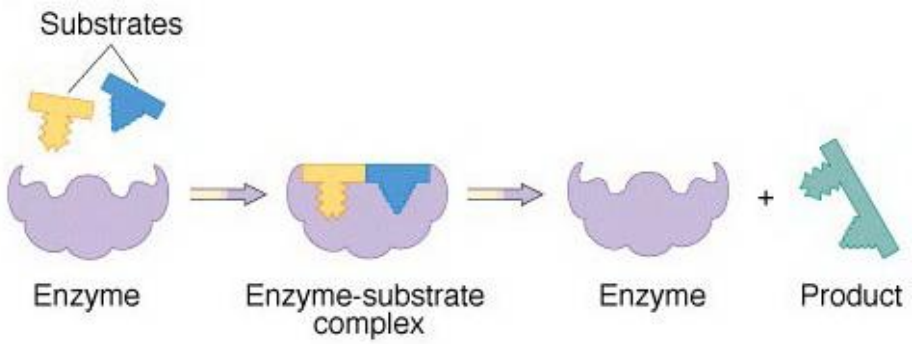
ภาพที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระของ Gibbs ขณะที่เกิดปฏิกิริยาเมื่อมีเอนไซม์ (เส้นประ) และไม่มีเอนไซม์ (เส้นทึบ) [11]

2.3.2.1 ความจำเพาะของเอนไซม์

ในปี ค.ศ. 1894 Emil Fischer ได้ตั้งสมมติฐานว่า การจับกันระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรตเหมือนการจับคู่ระหว่างแม่กุญแจกับลูกกุญแจ (Lock and Key Hypothesis) ทั้งสองโมเลกุลจะมีรูปร่างคงที่เหมาะสมพอเหมาะที่จะจับตัวกันได้ (ภาพที่ 2.7) ต่อมาเป็นสมมติฐานที่ถูกปรับปรุงโดย Koshland ซึ่งเสนอโมเดลการชักนำให้เข้ารูป (Induced fit Model) ซึ่งอธิบายว่า การจับกันระหว่างเอนไซม์กับซับสเตรตจะชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงรูปเอนไซม์ (conformational change) เช่น การเปลี่ยนตำแหน่งและทิศทางของหมู่ฟังก์ชันที่จะร่วมในการเร่งปฏิกิริยา (ภาพที่ 2.8) ซึ่งมีผลให้เกิดสถานะทรานซิชันที่จำเพาะในปฏิกิริยานั้นๆ โมเดลของ Koshland นี้สื่อให้เห็นว่า เอนไซม์เป็นโมเลกุลที่มีความยืดหยุ่น (flexibility) ได้ ความจำเพาะต่อซับสเตรตสูงของเอนไซม์เป็นสมบัติสำคัญในการนำเอนไซม์ไปใช้ประโยชน์ เนื่องจากส่งผลให้เกิดข้อดี 2 ประการคือ ทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ในปริมาณเพิ่มขึ้น และประการที่สองคือ ลดการเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงอื่น (side-products) ที่ไม่ต้องการ



ภาพที่ 2.7 สมมติฐานแม่กุญแจและลูกกุญแจ [12]



ภาพที่ 2.8 โมเดลการชักนำให้เข้ารูป [12]

2.3.3 **การจำแนกชนิดของเอนไซม์และลักษณะเฉพาะกลุ่ม** [10]

เอนไซม์ถูกแบ่งออกเป็น 6 กลุ่ม ตามประเภทของปฏิกิริยาเคมีที่เอนไซม์เป็นตัวเร่ง ดังนี้

2.3.3.1 **เอนไซม์กลุ่มออกซิโดรีดักเทส** (Oxidoreductase)

ลักษณะเฉพาะกลุ่ม: เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน รีดักชัน สามารถออกซิไดส์หรือรีดิวส์ซับสเตรต โดยทำการย้ายอิเล็กตรอนหรือไฮโดรเจนไปยังสารตัวรับ ซึ่งมักเป็นโคเอนไซม์หรืออาจเป็นออกซิเจนก็ได้ เช่น เอนไซม์ดีไฮโดรจีเนส (dehydrogenase) และออกซิเดส (oxidase)

2.3.3.2 **เอนไซม์กลุ่มแทรน์เฟอเรส** (Transferases)

ลักษณะเฉพาะกลุ่ม: เป็นเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยาย้ายส่วนหนึ่งของซับสเตรตไปไว้อีกส่วนหนึ่งของซับสเตรตอีกตัวหนึ่ง สามารถกระตุ้นการโยกย้ายหมู่ (ที่ไม่ใช่โปรตอน) จากซับสเตรตตัวให้ไปยังซับสเตรตตัวรับที่ไม่ใช่น้ำ เช่น ทรานสคีโตเลส (transketolase) และเมทิลทรานสเฟอเรส (methyl transferase)

2.3.3.3 **เอนไซม์กลุ่มไฮโดรเลส** (Hydrolases)

ลักษณะเฉพาะกลุ่ม: เป็นเอนไซม์ที่ทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) สามารถย่อยพันธะโคเวเลนต์ระหว่าง C-O, C-N, C-C, C-P, P-O และพันธะอื่นๆ ในซับสเตรตโดยมีน้ำเป็นตัวรับ เช่น เซลลูเลส (cellulase) ไลเพส (lipase) โพรทิเอส (protease) ฯลฯ

2.3.3.4 เอนไซม์กลุ่มไลเอส (Lyases)

ลักษณะเฉพาะกลุ่ม: เป็นเอนไซม์ที่สามารถตัดพันธะ C-C, C-O, C-N และพันธะอื่นๆในซับสเตรต โดยไม่มีน้ำเป็นตัวรับ ทำให้เกิดการย้ายหมู่หรือกำจัดหมู่ออกจากซับสเตรต เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ที่ประกอบด้วยพันธะคู่ ในกระบวนการอุตสาหกรรมมักใช้เอนไซม์กลุ่มนี้ในการสังเคราะห์สารโดยใช้ปฏิกิริยาย้อนกลับ คือการเติมหมู่ให้กับซับสเตรตที่ไม่อิ่มตัว เช่น เอนไซม์ดีคาร์บอกซิเลส (decarboxylase) ฟูมาเรตไฮดราเตส (fumarate hydratase) ฯลฯ

2.3.3.5 เอนไซม์กลุ่มไอโซเมอเรส (Isomerases)

ลักษณะเฉพาะกลุ่ม: เป็นเอนไซม์ที่ทำให้เกิดการปลี่ยนไอโซเมอร์ (isomer) สามารถเปลี่ยนตำแหน่งของหมู่ในซับสเตรตโดยไม่เปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโมเลกุล เช่น เอนไซม์ฟอสโฟกลีเซอโรมิวเตส (phosphoglyceromutase)

2.3.3.6 เอนไซม์กลุ่มซินเทเตส (Synthetase) หรือไลเกส (Ligases)

ลักษณะเฉพาะกลุ่ม: เป็นเอนไซม์ที่เกี่ยวกับการสร้างพันธะเคมีโดยใช้พลังงาน ATP สามารถต่อเชื่อม 2 โมเลกุล ด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยอาศัยพลังงานจากการย่อยพันธะไพโรฟอสเฟตใน ATP หรือสารไทรฟอสเฟตอื่น ซึ่งมักเกิดร่วมเป็นปฏิกิริยาคู่ควบ (coupled reaction) เอนไซม์กลุ่มนี้เป็นกลุ่มเดียวที่ยังไม่มีการใช้งานในการผลิตผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมโดยตรง แต่พบว่ามีบทบาทสำคัญมากในกระบวนการพันธุวิศวกรรม เช่น ไพรูเวต คาร์บอกซิเลส (pyruvate carboxylase) เปลี่ยนกรดไพรูวิก (pyruvic acid) ให้เป็นกรดออกซาโลอะซิติก (oxaloacetic acid)

2.3.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ [10]

เอนไซม์ทุกชนิดมีความสามารถในการเร่งปฏิกิริยา (catalytic function) และเสถียรภาพขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญหลายชนิดคือ

2.3.4.1 อุณหภูมิ

เอนไซม์แต่ละชนิดจะมีช่วงอุณหภูมิที่ทำงานได้ดีที่สุด (optimum temperature) โดยทั่วๆไปจะอยู่ประมาณ 25-40 องศาเซลเซียส การเพิ่มอุณหภูมิทำให้อัตราเร็วของปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นเนื่องจากโมเลกุลมีพลังงานจลน์มากขึ้น ซึ่งจะนำไปใช้กระตุ้นให้เกิดปฏิกิริยาได้ แต่ถ้า

อุณหภูมิสูงเกินไปปฏิกิริยาจะลดลง ทั้งนี้เพราะเอนไซม์ซึ่งเป็นโปรตีนจะเกิดการเสียสภาพ (denature) จึงเข้ารวมกับซับสเตรตไม่ได้

2.3.4.2 **ความเป็นกรดด่าง (พีเอช)**

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

2.3.4.3 **ปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์**

ปริมาณความเข้มข้นของเอนไซม์มีผลต่อการทำงานของเอนไซม์คือ ถ้าเอนไซม์มีปริมาณมากจะทำให้ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว นั่นคืออัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของเอนไซม์ แต่ถ้าเอนไซม์มากเกินพอ ความเร็วของปฏิกิริยาจะไม่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะไม่มีซับสเตรตเหลือพอที่จะเข้าทำปฏิกิริยา

2.3.4.4 **ปริมาณความเข้มข้นของซับสเตรต**

เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของซับสเตรต อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้น และความเร็วของปฏิกิริยาจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของซับสเตรตในช่วงที่ความเข้มข้นยังน้อย เพราะถ้าเพิ่มซับสเตรตมากเกินไป ปฏิกิริยาก็จะไม่เกิดเร็วขึ้น เนื่องจากปริมาณของเอนไซม์ไม่เพียงพอ

2.3.4.5 **แรงเฉือน**

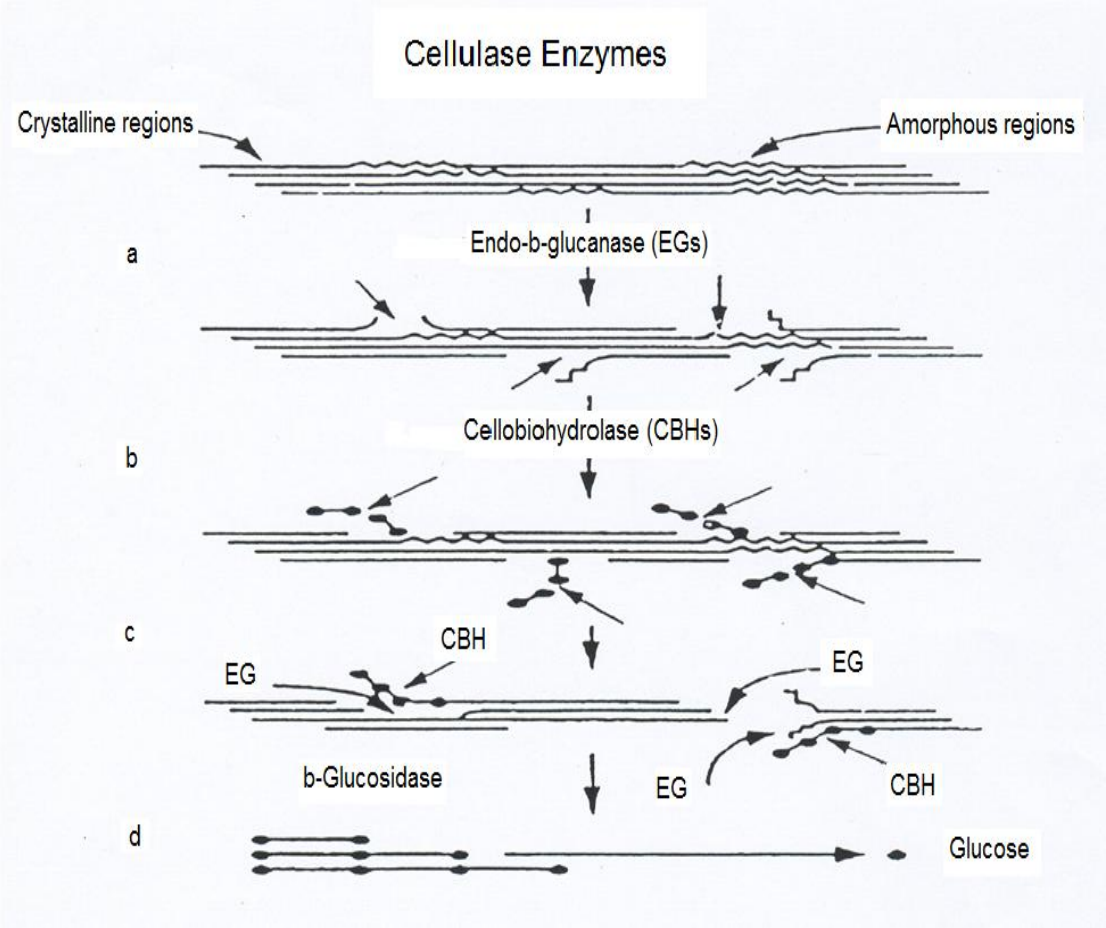
แรงเฉือน (shearing force) มีผลต่อรูปร่างของโมเลกุลเอนไซม์ซึ่งทำให้เอนไซม์เกิดการเสื่อมสภาพได้ แรงเฉือนเกิดจากแรงกระทำในแนวขนานกับแนวราบของชิ้นงานกับของเหลวในภาชนะ การเขย่าภาชนะ และการกวนด้วยใบพัด ผลของแรงเฉือนต่อเสถียรภาพของเอนไซม์มีความสำคัญต่อการออกแบบถังหมักเอนไซม์เพราะว่าในถังหมักจำเป็นต้องมีการกวนเพื่อลดความต้านทานของการถ่ายเทมวล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

2.3.5 **เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยด้านสิ่งทอ**

เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยด้านสิ่งทอนี้เน้นเอนไซม์ที่ใช้งานในการผสมลงในสารซักฟอกเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของสารซัก จะเป็นเอนไซม์ในอุตสาหกรรมกลุ่มเทคนิคัล อุตสาหกรรมด้านสารซักฟอกซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีการใช้เอนไซม์มากที่สุดทั้งด้านปริมาณและมูลค่าเอนไซม์ โดยมีโพรทิเอสเป็นเอนไซม์ชนิดแรกจะช่วยในการกำจัดรอยเปื้อนจากโปรตีน และตามมาด้วยเซลลูเลสกำจัดพวกใยเซลลูโลส และไลเพสกำจัดรอยเปื้อนไขมันหรือน้ำมัน [13] เป็นต้น ดังนี้

2.3.5.1 **เซลลูเลส**

เซลลูโลสเป็นกลุ่มของเอนไซม์ที่ย่อยเซลลูโลส (cellulolytic enzymes) ประกอบด้วยเอนไซม์ 3 กลุ่มหลักคือ เอนโดกลูแคเนส (EG, endoglucanase) เอกโซกลูแคเนส หรือเซลโลไบโอไฮโดเลส (CBH, cellobiohydrolase) และ บีต้า-กลูโคซิเดส หรือเซลโลไบเอส (BGL, β-glucosidase, cellobiase) โดย EG ย่อยภายในสายเซลลูโลสแบบสุ่ม โดยส่วนใหญ่จะย่อยในบริเวณอสัณฐาน ได้ออลิโกแซคคาไรด์ ในขณะที่ CBH ย่อยจากปลายสายทั้ง 2 ด้าน โดยย่อยทีละ 2 หน่วยกลูโคส ให้เซลโลไบโอสเป็นผลิตภัณฑ์หลัก เอนไซม์ทั้ง 2 นี้จึงอาจเรียกโดยรวมว่าเซลลูเลสโดยเอนไซม์ EG และ CBH จะย่อยเซลลูโลสไปพร้อมกันและทำงานเสริมกัน สำหรับเอนไซม์ BGL จะย่อยออลิโกแซคคาไรด์สายสั้นที่เกิดจาการย่อยของ EG และเซลโลไบโอสที่เกิดจากการย่อยของ CBH ให้ได้กลูโคส เพื่อเป็นแหล่งพลังงานต่อไป ดังภาพที่ 2.9



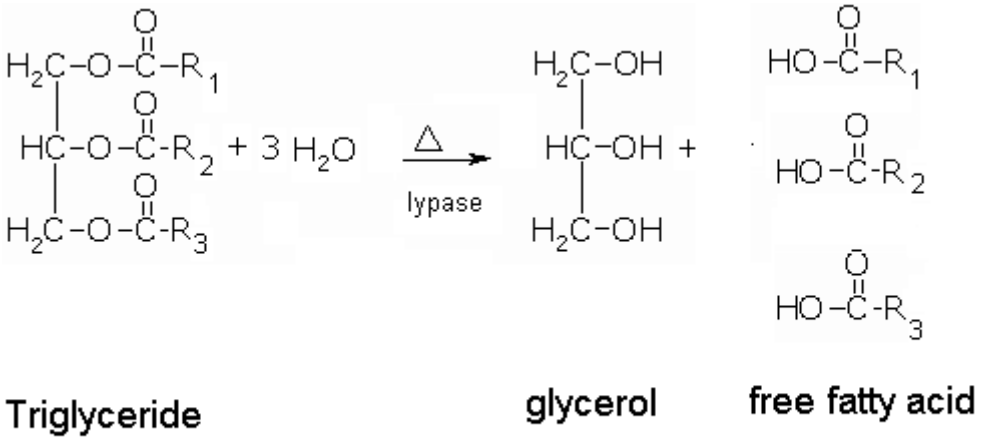
ภาพที่ 2.9 กลไกการทำงานของเซลลูเลสบนเซลลูโลส [14]

เอนไซม์เซลลูเลสในทางการค้าได้มาจากเชื้อราพวก Trichoderma และ Penicillium โดยจะผลิตในรูปแบบผงหรือเป็นของเหลวความเข้มข้นร้อยละ 25 ในน้ำเกลือ ที่พีเอช 4.5-5 และอุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เอนไซม์เซลลูเลสจะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.3.5.2 ไลเพส

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

ไลเพสพบได้ทั้งในสัตว์ พืช และจุลินทรีย์ ในสัตว์พบได้ในน้ำนมและตับอ่อน ส่วนพืชพบในเมล็ดที่กำลังงอก เช่น เมล็ดข้าวต่างๆ ไลเพสจากพืชและสัตว์มีความเสถียรต่ำกว่าจุลินทรีย์ ไลเพสจากจุลินทรีย์จะพบทั้งที่สร้างอยู่ในเซลล์ และขับออกมานอกเซลล์ นอกจากนี้ยังมีข้อดี คือ เจริญเติบโตเร็ว เลี้ยงง่าย ไม่ต้องการพื้นที่มากในการเลี้ยง ไม่ขึ้นกับฤดูกาล และนอกจากนี้ยังสามารถเพิ่มผลผลิตได้โดยวิธีปรับปรุงพันธุกรรมของจุลินทรีย์ ในปัจจุบันมีการใช้เอนไซม์ไลเพสจากเชื้อจุลินทรีย์ในทางเทคโนโลยีชีวภาพอย่างกว้างขวางเนื่องจากมีข้อดีหลายประการ เช่น เอนไซม์มีความเสถียรในตัวทำละลายอินทรีย์ ไม่ต้องการ cofactors มีความจำเพาะต่อซับสเตรตน้อย ได้มีการนำเอนไซม์ไลเพสไปใช้ประโยชน์มากมาย เช่น ใช้ในการสังเคราะห์สารอินทรีย์ ใช้เติมในผงซักฟอกเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการซักล้าง เพิ่มรสชาติในอาหาร ใช้ในอุตสาหกรรมกระดาษ และมีการนำมาใช้เพื่อบำบัดของเสีย เนื่องจากประโยชน์อันหลากหลายของเอนไซม์ไลเพสจากจุลินทรีย์ จึงมีผู้คิดที่จะหาเชื้อที่มีความสามารถผลิตเอนไซม์ไลเพสได้จากธรรมชาติ โดยเลือกตรวจกรองจุลินทรีย์พวกยีสต์จากเกสรดอกไม้เนื่องจากเป็นแหล่งที่มีน้ำตาลสูง โดยคาดหวังว่าจะพบยีสต์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเพสได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไป

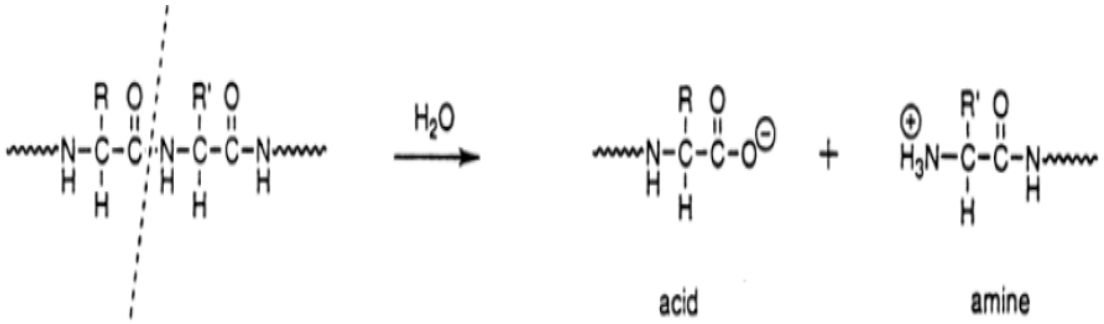


ภาพที่ 2.10 ปฏิกิริยาการย่อยสลายไตรกลีเซอไรด์ของเอนไซม์ไลเพส [15]

ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสไขมันขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พีเอช อุณหภูมิ ปริมาณน้ำและบริเวณที่เข้าทำปฏิกิริยา ค่าพีเอชที่เหมาะสมกับการทำงานของเอนไซม์ไลเพสอยู่ระหว่าง 7.5-9.0

2.3.5.3 **โพรทิเอส**

โพรทิเอสเป็นเอนไซม์ชนิดแรกๆ ที่ใช้ผสมลงในสารซักฟอก โดยช่วงแรกใช้แช่ผ้าเปื้อนเศษอาหารก่อนนำผ้าไปซัก ถัดมามีการปรับปรุงโพรทิเอสเพื่อให้ทนภาวะด่างของสารซักฟอกได้ และได้รับความนิยมในด้านอื่นๆ อีกเช่น อุตสาหกรรมกระดาษ เพื่อกำจัด biofilm ที่ผิวกระดาษ โดยโพรทิเอสเป็นเอนไซม์กลุ่มไฮโดรเลส ทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของพอลิเปปไทด์ในโปรตีนให้มีขนาดโมเลกุลเล็กลงเป็นกรดอะมิโน หรือเอมีน



ภาพที่ 2.11 ปฏิกิริยาการย่อยสลายเปปไทด์ของเอนไซม์โพรทิเอส [16]

2.4 **งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง**

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์เรื่องนี้ประกอบด้วยงานวิจัยที่มีการผสมเอนไซม์ลงในสารซักฟอกเพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของสารซักฟอกโดยเปรียบเทียบระหว่างสารซักฟอกที่ผสมและไม่ผสมเอนไซม์ ดังนี้

Obendrof [4] ศึกษาคราบบนผ้าก่อนและหลังการซักและสูตรของสารซักฟอกที่มีผลต่อการซักล้าง จากการศึกษาการใส่เสื้อผ้าในชีวิตประจำวันจะพบคราบสิ่งสกปรกที่เกิดจากร่างกายมนุษย์มากที่สุดบริเวณคอปกด้านในและปกข้อมือ และคราบสิ่งสกปรก คือ เหงื่อและขี้ไคล เมื่อศึกษาการกระจายตัวของคราบสกปรกโดยเทคนิคไมโครสโคปีพบว่าคราบสกปรกจะติดอยู่ระหว่างช่องว่างของเส้นใยฝ้ายมากที่สุด รองลงมา คือ ติดอยู่ที่ผิวของเส้นใยฝ้าย จากการศึกษาการซักผ้

ฝ้ายด้วยสารซักฟอกพบว่าการซักด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์ผสมอยู่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการซักล้าง เช่น เมื่อผสมเอนไซม์ไลเพสลงในการซักล้างจะช่วยในการกำจัดคราบน้ำมัน เอนไซม์โพรทิเอสช่วยกำจัดคราบโปรตีนและเอนไซม์เซลลูเลสช่วยกำจัดขนบนผ้าใยเซลลูโลส เป็นต้น

Hoshino และคณะ [17] ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการซักคราบออกจากผ้าฝ้ายโดยผสมแอลคาไลน์เซลลูเลสจาก *Bacillus sp.* KSM-635 ลงในสารซักฟอก ทำการซักผ้าฝ้ายเปื้อนคราบ 3 ชนิดคือ คราบจากคาร์บอนแบล็ค คราบจากคาร์บอนแบล็คผสมน้ำมันมะกอก และคราบจากดิน โดยใช้ปริมาณเอนไซม์แอลคาไลน์เซลลูเลส 42.2 หน่วยต่อลิตร ซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พีเอช 9.5 เป็นเวลา 30 นาที เปรียบเทียบระดับของคราบบนผ้าฝ้ายก่อนและหลังซัก พบว่าประสิทธิภาพของการซักเพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 25-65 เป็นร้อยละ 30-75 นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการเติมสารลดแรงตึงผิวในสารซักฟอกพบว่าเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวลงในสารซักฟอกจะเพิ่มประสิทธิภาพของการซักคราบออกได้มากขึ้นโดยแอคติวิตีของเอนไซม์ไม่ลดลงและเมื่อเติมสารกันคราบในปริมาณร้อยละ 28 โดยน้ำหนักของสารซักฟอกจะช่วยในการกำจัดคราบมากขึ้นอีก

Bund และ Singhal [18] ศึกษาการดัดแปรเอนไซม์เซลลูเลสโดยใช้มาเลอิกแอนไฮไดรด์และ เอ็น-โบรโมซัคซินิไมด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสารซักฟอกโดยเตรียมสูตรสารซักฟอก 6 แบบดังนี้ สารซักฟอก สารซักฟอกผสมมาเลอิกแอนไฮไดรด์ สารซักฟอกผสม เอ็น-โบรโมซัคซินิไมด์ สารซักฟอกผสมเอนไซม์เซลลูเลส สารซักฟอกผสมเอนไซม์เซลลูเลสดัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์และสารซักฟอกผสมเอนไซม์เซลลูเลสดัดแปรด้วย เอ็น-โบรโมซัคซินิไมด์ นำไปซักกับผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 30, 50 และ 85 องศาเซลเซียส พีเอช 4.8-9 เป็นเวลา 0, 30, 60 และ 120 นาที พบว่าที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส พีเอช 9 เวลาในการซัก 30 นาที พบว่า เอนไซม์ดัดแปรด้วยมาเลอิกแอนไฮไดรด์ และเอ็น-โบรโมซัคซินิไมด์ที่ผสมในสารซักฟอกมีค่าแอคติวิตีสูงที่สุด และมีความคงทนต่อภาวะด่างในสารซักฟอกมากที่สุด จึงเป็นเอนไซม์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะผสมในสารซักฟอก

Hemachander และ Puvanakrishnan [19] ศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการใช้เอนไซม์ไลเพสเป็นสารเติมแต่งในสารซักฟอก โดยการใช้สารซักฟอกทางการค้า 8 ชนิดผสมกับเอนไซม์ไลเพสซักผ้าฝ้ายเปื้อนคราบน้ำมันมะกอกแล้ววัดปริมาณการหลุดออกของน้ำมันมะกอกที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส พีเอช 6.5 เป็นเวลา 30 นาที พบว่า เอนไซม์ ไลเพสในสารซักฟอก 2 ชนิด คือ Ariel และ Surf Ultra มีค่าปริมาณการหลุดออกของน้ำมันมะกอกสูงกว่าเอนไซม์ไลเพสในสารซักฟอกชนิดอื่นๆ เมื่อนำสารซักฟอกสองชนิดนี้มาศึกษาการซักที่ภาวะต่างๆคือ ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเพส อุณหภูมิ เวลาในการซัก และความเข้มข้นของสารซักฟอก พบว่าเอนไซม์ ไลเพสในสารซักฟอกทางการค้าทั้งสองชนิดมีปริมาณการหลุดออกของน้ำมันมะกอกที่สูงสุดและมีประสิทธิภาพในการซักล้างสูงสุดเมื่อใช้ความเข้มข้นของเอนไซม์ไลเพส 100 หน่วย/มิลลิลิตรและซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที โดยใช้ความเข้มข้นของสารซักฟอกร้อยละ 0.6

Shikata และคณะ [20] ศึกษาการใช้เอนไซม์แอลคาไลน์เซลลูเลสผง 3 ชนิด ชื่อทางการค้าคือ K-19, K-64 และ K-520 เป็นเอนไซม์สายพันธุ์แบคทีเรีย *Bacillus* sp.KSM-19, *Bacillus* sp.KSM-64 และ*Bacillus* sp.KSM-520 มีน้ำหนักโมเลกุล 34,000 80,000 และ 120,000 ตามลำดับ ผสมลงในสารซักฟอกทั่วไป และตรวจวัดค่าแอคติวิตีของเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิด (ใช้คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส เป็นซับสเตรต) ที่พีเอชและอุณหภูมิต่างๆ พบว่าแอคติวิตีของเอนไซม์ K-19 และ K-64 มีค่าสูงกว่าแอคติวิตีของเอนไซม์ K-520 โดยพบว่าเอนไซม์ทั้ง 3 ชนิดมีค่าแอคติวิตีสูงสุดที่พีเอช 8.5-9.5 และอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส จึงเหมาะในการนำมาผสมกับสารซักฟอกเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการซักล้างที่ภาวะด่าง และพบว่าความแตกต่างของน้ำหนักโมเลกุลของเอนไซม์ไม่มีผลกระทบต่อค่าแอคติวิตีของเอนไซม์มากนัก นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดของสารลดแรงตึงผิว และชนิดของสารจับโลหะหนักมีผลกระทบต่อค่าแอคติวิตีของเอนไซม์

บทที่ 3

การทดลอง

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ส่วนที่ 1 เป็นการเตรียมผ้าฝ้ายเปื้อนคราบน้ำมันปาล์ม

ส่วนที่ 2 เป็นการเตรียมผ้าฝ้ายขึ้นขน และ

ส่วนที่ 3 เป็นการทดสอบผ้าก่อนและหลังการซักล้างด้วยสารซักฟอก

3.1 วัสดุและสารเคมี

1) ผ้าฝ้ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้มี 3 ชนิด ชนิดแรกคือ ผ้าฝ้ายทอลายขัด (plain weave) ที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่เท่ากับ 77 กรัมต่อตารางเมตร มีจำนวนเส้นด้ายแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง 106 และ 86 เส้นต่อนิ้ว ตามลำดับ ใช้ทดลองด้านการเปื้อนคราบ ชนิดที่สองคือ ผ้าฝ้ายถักชั้นเดียว (single jersey) ที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่เท่ากับ 136 กรัมต่อตารางเมตรใช้ทดลองด้านการเปื้อนคราบ และชนิดที่สามคือ ผ้าฝ้ายถักชั้นเดียวที่ผ่านการฟอกขาวและย้อมสีเทาแล้ว น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่เท่ากับ 147 กรัมต่อตารางเมตรใช้ทดลองด้านการขึ้นขน

2) สารซักฟอก (detergent) ที่ใช้เป็นสารซักฟอกทางการค้าชนิดเหลว 3 ชนิดที่ไม่มีเอนไซม์ผสมและมีค่าพีเอชแตกต่างกันดังนี้ ชนิดแรกคือสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 7.36 ชนิดที่สองคือสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 8.85 และชนิดที่สามคือสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 11.26

3) เอนไซม์ (enzyme) ที่ใช้เป็นเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส ชื่อทางการค้า Carezyme ผลิตโดยบริษัท บริษัท แบรนน์แท็กอินกรีเดียนส์ (ประเทศไทย) จัดกัด (มหาชน) มีค่าแอคติวิตี 4500 U/mg และมีค่าแอคติวิตีสูงที่ค่าพีเอช 8-11 และอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

4) น้ำมันที่ใช้เป็นน้ำมันปาล์ม ชื่อทางการค้าโอลีน ผลิตโดยบริษัท โอลีน จำกัด

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้

ชื่อเครื่องมือ / อุปกรณ์	**รุ่น / บริษัทผู้ผลิต**
1.เครื่องทดสอบการซัก Launder-o-meter (Gyrowash)	James H. Heal & Co., Ltd. England
2.เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile strength - Universal Testing Machine)	รุ่น LLOYD LR 100K / Intro Enterprise Co., Ltd.
3.เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอินฟราเรด (Infrared Moisture Determination Balance)	รุ่น AD – 4725 / AND Co., Ltd.
4.กล้องจุลทรรศน์ดิจิทัล (Optical Digital Microscope)	รุ่น OLYMPUS SZ40 / E for L International Co., Ltd.
5.เครื่องวัดสี (Reflectance Spectrophotometer)	รุ่นMacbethcolor–eye7000/X-Rite, Incorporated, United States
6.ตู้แสงมาตรฐาน (Color Assessment Cabinet)	รุ่น VERIVIDE CAC 60 / LESLIE HUBBLE Limited.
7.เครื่องทดสอบการขึ้นขน (ICI Pilling Box Tester)	รุ่น SDL M227 A1

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือ / อุปกรณ์	**รุ่น / บริษัทผู้ผลิต**
8.เครื่องวัดความแข็งกระด้างของผ้า (Stiffness Tester)	รุ่น M003B / SDL Atlas Co., Ltd.
9.แถบสีเทาวัดระดับการเปลี่ยนแปลงสีผ้า (Gray Scale for Assessing Change in Colour)	James H. Heal & Co., Ltd. England
10.รูปภาพตรวจระดับการเกิดขนบนผ้า (Pilling Assessment Photographs)	SDL Atlas Co., Ltd.
11.เครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (Bursting Strength Tester)	รุ่น P1000 model SDL 229B

3.3 การดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ แสดงในภาพที่ 3.1

ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลอง

3.3.1 การเตรียมผ้าเปื้อนคราบและผ้าขึ้นขน

ในงานวิจัยนี้กระทำการเตรียมผ้าฝ้ายสองแบบเพื่อนำมาทดลองซักด้วยสารซักฟอกคือ การเตรียมผ้าฝ้ายเปื้อนคราบ และการเตรียมผ้าฝ้ายขึ้นขนโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.3.1.1 การเตรียมผ้าฝ้ายเปื้อนคราบ

การเตรียมผ้าฝ้ายเปื้อนคราบกระทำบนผ้า 2 ชนิดคือ ผ้าทอฟอกขาว และผ้าถักฟอกขาว อ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ AATCC 130 Soil Release: Oily Stain Release Method โดยตัดผ้าขนาด 10x10 เซนติเมตร วางผ้าไว้บนแผ่นพลาสติกแล้วหยดน้ำมันปาล์มลงบนผ้า 9 หยด (ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร) วางกระดาษแก้วบนคราบน้ำมันที่หยดและทับด้วยตุ้มน้ำหนัก 2.22 กิโลกรัม เป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเอาตุ้มน้ำหนักและกระดาษแก้วออกแล้วจึงนำผ้าไปซักด้วยสารซักฟอก โดยในการซักผ้าจะซักหลังคราบน้ำมันบนผ้าแห้งแล้ว (ประมาณ 1 ชั่วโมงหลังหยดน้ำมัน) เปรียบเทียบกับการซักหลังทิ้งคราบน้ำมันไว้บนผ้า 2 วัน

3.3.1.2 การเตรียมผ้าขึ้นขน

การเตรียมผ้าฝ้ายขึ้นขนกระทำบนผ้าถักสีเทาตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 3511 Standard Test Method for Pilling Resistance and Other Related Surface Changes of Textile Fabrics : Brush Pilling Tester ทำการขัดให้ผ้าขึ้นขนในกล่องที่ผนังด้านในบุไม้ของ ICI pilling box (ภาพที่ 3.2) โดยใช้ความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นจำนวน 7200 รอบการขัด จะได้ผ้าขึ้นขนในระดับเดียวกับการเกิดขนผ้าเมื่อใช้และซักในชีวิตประจำวันซึ่งเทียบเท่าระดับ 3 ของรูปภาพบอกระดับการเกิดขนบนผ้า (ภาพที่3.3, ระดับ 5 คือ ผ้าเรียบไม่มีขนหรือมีขนและเม็ดน้อยมาก ระดับ 1 คือ ผ้ามีขนและเม็ดมากทั่วผืนผ้า)

ภาพที่ 3.2 เครื่อง ICI pilling box เตรียมผ้าขึ้นขน

ภาพที่ 3.3 รูปภาพตรวจระดับการเกิดขนบนผ้า [21]

3.3.2 การซักผ้าฝ้ายเปื้อนคราบและผ้าฝ้ายขึ้นขน

3.3.2.1 การซักผ้าฝ้ายเปื้อนคราบ

การซักผ้าฝ้ายเปื้อนคราบใช้สารซักฟอก 3 ชนิดคือ Attack, Home และ Purex ที่มีค่าพีเอช 7.36, 8.85 และ11.26 ตามลำดับ โดยปริมาณที่ใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิตถึงปริมาณ 20 เท่าของปริมาณที่แนะนำ คือใช้สารซักฟอกพีเอช 7.36 ปริมาตร 0.1-2.0 มิลลิลิตร สารซักฟอกพีเอช 8.85 ปริมาตร 20-30 มิลลิลิตร และสารซักฟอกพีเอช 11.26 ปริมาตร 0.11-2.2 มิลลิลิตร ในกรณีที่ใช้เอนไซม์ด้วยจะใช้เอนไซม์ Carezyme (แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส) ปริมาตร 0.05 มิลลิลิตร ใช้อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ 1:400 ซักที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30-60 นาที ในเครื่องทดสอบการซัก Gyrowash (ภาพที่ 3.4) โดยในการทดลองนี้ได้ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าเปื้อนคราบ (คือ ไม่มีคราบให้มองเห็น และผ้ามีดัชนีความขาวใกล้เคียงผ้าก่อนเปื้อนคราบ) แสดงในตารางที่ 3.2-3.5

ภาพที่ 3.4 เครื่องทดสอบการซัก Gyrowash

ตารางที่ 3.2 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าทอฟอกขาวเปื้อนคราบ ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

ภาวะที่เหมาะสม	สารซักฟอก พีเอช 7.36	สารซักฟอก พีเอช 8.85	สารซักฟอก พีเอช 11.26
อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ	1:400	1:400	1:400
ปริมาณเอนไซม์ (ml/ml สารซักฟอก)	0.05	0.05	0.05
ปริมาณสารซักฟอก (ml/g ผ้า)	1.0	20	1.1
อุณหภูมิในการซัก	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง
เวลาในการซัก (นาที)	60	60	60

ตารางที่ 3.3 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าทอฟอกขาวเปื้อนคราบซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก

ภาวะที่เหมาะสม	สารซักฟอก พีเอช 7.36	สารซักฟอก พีเอช 8.85	สารซักฟอก พีเอช 11.26
อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ	1:400	1:400	1:400
ปริมาณเอนไซม์ (ml/ml สารซักฟอก)	0.05	0.05	0.05
ปริมาณสารซักฟอก (ml/g ผ้า)	0.10	20	0.11
อุณหภูมิในการซัก	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง
เวลาในการซัก (นาที)	60	60	60

ตารางที่ 3.4 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าถักฟอกขาวเปื้อนคราบ ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1ชม.

ภาวะที่เหมาะสม	สารซักฟอก พีเอช 7.36	สารซักฟอก พีเอช 8.85	สารซักฟอก พีเอช 11.26
อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ	1:400	1:400	1:400
ปริมาณเอนไซม์ (ml/ml สารซักฟอก)	0.05	0.05	0.05
ปริมาณสารซักฟอก (ml/g ผ้า)	2.0	30	2.2
อุณหภูมิในการซัก	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง
เวลาในการซัก (นาที)	30	30	30

ตารางที่ 3.5 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าถักฟอกขาวเปื้อนคราบซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก

ภาวะที่เหมาะสม	สารซักฟอก พีเอช 7.36	สารซักฟอก พีเอช 8.85	สารซักฟอก พีเอช 11.26
อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ	1:400	1:400	1:400
ปริมาณเอนไซม์ (ml/ml สารซักฟอก)	0.05	0.05	0.05
ปริมาณสารซักฟอก (ml/g ผ้า)	0.4	20	0.55
อุณหภูมิในการซัก	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง
เวลาในการซัก (นาที)	30	30	30

3.3.2.2 การซักผ้าฝ้ายขึ้นขน

สำหรับการซักผ้าฝ้ายขึ้นขนใช้สารซักฟอก 3 ชนิดนี้เช่นกัน โดยปริมาณที่ใช้ตามคำแนะนำของผู้ผลิต ในกรณีที่ใช้เอนไซม์ด้วยจะใช้เอนไซม์ Carezyme (แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส) ปริมาตร 0.1 มิลลิลิตร ใช้อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ 1:400 ซักที่อุณหภูมิห้อง (ประมาณ 28 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30-60 นาที โดยในการทดลองนี้ได้ภาวะที่เหมาะสมสำหรับซักผ้าฝ้ายขึ้นขน (คือ ระดับการขึ้นขนบนผ้าเปลี่ยนจากระดับ 3 เป็นระดับ 5) แสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการซักผ้าถักสีเทาขึ้นขน

ภาวะที่เหมาะสม	สารซักฟอก พีเอช 7.36	สารซักฟอก พีเอช 8.85	สารซักฟอก พีเอช 11.26
อัตราส่วนผ้าต่อน้ำ	1:400	1:400	1:400
ปริมาณเอนไซม์ (ml/ml สารซักฟอก)	0.1	0.1	0.1
ปริมาณสารซักฟอก (ml/g ผ้า)	0.1	20	0.11
อุณหภูมิในการซัก	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง	อุณหภูมิห้อง
เวลาในการซัก (นาที)	60	60	60

3.4 การทดสอบสมบัติของผ้า

3.4.1 การวัดดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองของผ้า

การทดสอบนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการซักผ้าเปื้อนคราบโดยใช้สารซักฟอก ซึ่งจะวัดจากค่าดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองของผ้าก่อนเปื้อนคราบ ผ้าหลังเปื้อนคราบ และผ้าซักหลังเปื้อนคราบเปรียบเทียบกัน โดยใช้เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer (Macbeth Color–Eye 7000) (ภาพที่ 3.5) โดยภาวะที่ใช้ในการวัดสีเป็นการวัดในโหมดที่ไม่รวมความมันเงา (specular exclude, SPE) แต่รวมแสง ยูวี (UV include) เลือกใช้ Illuminant Daylight 6500 K (D65) และ 10° Standard observer ผ้าแต่ละผืนจะถูกวัดสี 3 ตำแหน่งแล้วนำมาเฉลี่ยเป็นดัชนีความขาว (whiteness index CIE) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.1 และดัชนีความเหลือง (Yellowness Index, ASTM Method E313) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.2 โดยซอฟต์แวร์ของเครื่องวัดสีจะคำนวณค่าเฉลี่ยของดัชนีความขาวและดัชนีความเหลืองของผ้า และแสดงผล

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

โดยที่ W = ดัชนีความขาว (CIE whiteness index)

Y = CIE Tristimulus value

x, y = chromaticity coordinate

$$YIE313 = \frac{100(C_xX - C_zZ)}{Y} \quad \text{..... (3.2)}$$

โดยที่ YIE313 = ดัชนีความเหลือง (Yellowness Index per ASTM Method E313)

X,Y,Z = CIE Tristimulus values

C_x, C_z = เลขสัมประสิทธิ์ ซึ่งจะขึ้นกับ Illuminant และ observer ที่ใช้

ภาพที่ 3.5 เครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer (Macbeth Color–Eye 7000)

3.4.2 การวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อศึกษา การเปลี่ยนแปลงของสีผ้าหลังเปื้อนคราบและสีผ้าซักหลังเปื้อนคราบเทียบกับสีผ้าก่อนเปื้อนคราบ โดยกระทำการเปรียบเทียบในตู้แสงมาตรฐานภายใต้แหล่งแสง D65 (ภาพที่ 3.6) และเทียบกับแถบสีเทาวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า 5 ระดับ (gray scale for assessing change in colour, ภาพที่ 3.7) ว่าสีผ้าหลังเปื้อนคราบแตกต่างจากสีผ้าก่อนเปื้อนคราบเทียบเทาแถบสีเทาระดับใด และสีผ้าซักหลังเปื้อนคราบแตกต่างจากสีผ้าก่อนเปื้อนคราบเทียบเท่าแถบสีเท่าระดับใด ถ้าแตกต่างกันระดับ 5 แสดงว่า สีผ้าทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน ถ้าแตกต่างกันระดับ 1 แสดงว่าสีผ้ามีความแตกต่างกันมากที่สุด โดยผ้าหลังซักคราบควรมีระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าแตกต่างจากผ้าก่อนเปื้อนคราบเทียบเท่าแถบสีเทาระดับ 5 คือ ผ้าไม่เปลี่ยนสีจากผ้าก่อนเปื้อนคราบ

ภาพที่ 3.6 ตู้แสงมาตรฐาน

ภาพที่ 3.7 แถบสีเทาวัดระดับการเปลี่ยนแปลงสีผ้า

3.4.3 การทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านความต้านแรงดันทะลุ

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อศึกษาความแข็งแรงด้านความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength) ของผ้าถักก่อนและหลังการซักด้วยสารซักฟอก โดยใช้เครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุ (ภาพที่ 3.8) กระทำตามมาตรฐานการทดสอบ มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. เล่ม 19-2553 ความทนแรงดันทะลุและระยะโป่งทะลุของผ้าโดยวิธีไฮดรอลิก ตัดผ้าขนาด 100 ตารางเซนติเมตร วางผ้าบนไดอะแฟรมในสภาพเรียบและไม่มีแรงดึง ยึดผ้าเข้ากับตัวยึดวงกลมพลาสติกใส เพื่อจะได้สังเกตและสามารถปรับตำแหน่งศูนย์กลางผ้าให้ตรงกับไดอะแฟรมได้ง่าย ปิดให้แน่นป้องกันผ้าลื่นหลุดขณะทดสอบ ทำการทดสอบ 5 ซ้ำแล้วเฉลี่ยคือค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันทะลุ (หรือ ค่าแรงดันผ้ารวมกับค่าแรงดันยาง) ลบด้วย ค่าแรงดันไดอะแฟรม (หรือ ค่าแรงดันยาง) โดยค่าความต้านแรงดันทะลุของผ้าคำนวณได้จากสมการที่ 3.3

ความต้านแรงดันทะลุของผ้า = ค่าเฉลี่ยของค่าแรงดันทะลุ – ค่าแรงดันไดอะแฟรม...(3.3)
(ปอนด์ต่อนิ้ว)

ภาพที่ 3.8 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านความต้านแรงดันทะลุ

3.4.4 การทดสอบสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้า

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงด้านสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอก่อนและหลังซักด้วยสารซักฟอก (ภาพที่ 3.9) กระทำตามมาตรฐานการทดสอบ BS 3356 Determination of bending length and flexural rigidity of fabrics ตัดผ้าด้วยเครื่องตัดวงกลมหาน้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อตารางเมตร) ตัดชิ้นผ้าทดสอบทั้งแนวด้ายพุ่งและแนวด้ายยืนขนาด 25 มิลลิเมตร x 200 มิลลิเมตร วางผ้าลงบนแท่นวางตัวอย่าง โดยปลายผ้าพอดีกับจุดอ้างอิง ทับด้วยแถบวัดระดับการโค้งงอเลื่อนแถบวัดระดับไปพร้อมๆ กับผ้าด้วยความเร็ว 120 มิลลิเมตรต่อนาที จนขอบผ้าเลยเส้นอ้างอิงการโค้งงอ อ่านค่าความยาวของผ้าที่โค้งงอ หรือ bending length ตรงจุดอ้างอิง ทำการทดสอบซ้ำ 5 ครั้งแล้วเฉลี่ยค่าความยาวโค้งงอ นำค่าความยาวโค้งงอและน้ำหนักผ้าไปคำนวณหาค่าสภาพแข็งเกร็งดัดโค้ง หรือ flexural rigidity คำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$G = 0.1W \times C^3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3.4)$$

โดยที่ G = สภาพแข็งเกร็งดัดโค้ง (มิลลิกรัมxเซนติเมตร)

W = น้ำหนักของผ้าต่อหน่วยพื้นที่ (กรัม/ตารางเมตร)

C = ความยาวโค้งงอ (เซนติเมตร)

ภาพที่ 3.9 เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างของผ้า

3.4.5 การทดสอบความแข็งแรงของผ้าด้านความทนแรงดึง

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อศึกษาความแข็งแรงด้านความทนแรงดึงของผ้าทอก่อนและหลังซักด้วยสารซักฟอกโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (ภาพที่ 3.10) กระทำตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 5035 Standard Test Method for Breaking Force and Elongation of Textile Fabrics (Strip Method) ตัดชิ้นผ้าทดสอบทั้งแนวด้ายพุ่งและแนวด้ายยืน ขนาด 25 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร ขีดระยะความยาวเริ่มต้น 75 มิลลิเมตรบนผ้า ใช้ตัวจับยึดที่ขอบความยาวเริ่มต้นด้านบนและด้านล่างของชิ้นทดสอบ ใช้ความเร็วในการดึง 300 มิลลิเมตรต่อนาที กระทำการทดสอบซ้ำ 8-10 ครั้ง โดยซอฟต์แวร์ของเครื่องทดสอบแรงดึงจะคำนวณ ค่าแรงดึงที่จุดขาดและ ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด โดยคำนวณค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดจากสมการที่ 3.5

$$\% \text{ elongation at break} = [(L_1 - L_0)/L_0] \times 100 \quad \text{.....(3.5)}$$

โดยที่ % elongaton at break = ร้อยละการยืดตัวก่อนขาด

L_1 = ระยะยืดตัวก่อนขาด

L_0 = ระยะเริ่มต้น

ภาพที่ 3.10 เครื่องทดสอบแรงดึง

3.4.6 การทดสอบหาร้อยละของน้ำหนักผ้าที่หายไป

วัตถุประสงค์ของการทดสอบนี้เพื่อศึกษา ร้อยละของน้ำหนักที่หายไปของผ้าถักหลังซักกำจัดขนด้วยสารซักฟอก โดยชั่งน้ำหนักของผ้าก่อนและหลังการซักกำจัดขนด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักระบบอินฟราเรด (ภาพที่ 3.11) ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส กระทำการทดสอบซ้ำ 3 ครั้ง หาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของผ้า นำค่าเฉลี่ยน้ำหนักของผ้าก่อนและหลังการซักกำจัดขน มาคำนวณหาค่าร้อยละของน้ำหนักผ้าที่หายไป ได้จากสมการที่ 3.6

$$\% \text{ weight loss} = [(W_0 - W_1)/W_0] \times 100 \quad \text{.....(3.6)}$$

โดยที่ % weight loss = ร้อยละของน้ำหนักที่หายไป

W_1 = น้ำหนักของผ้าหลังซัก

W_0 = น้ำหนักของผ้าก่อนซัก

ภาพที่ 3.11 เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอินฟราเรด

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

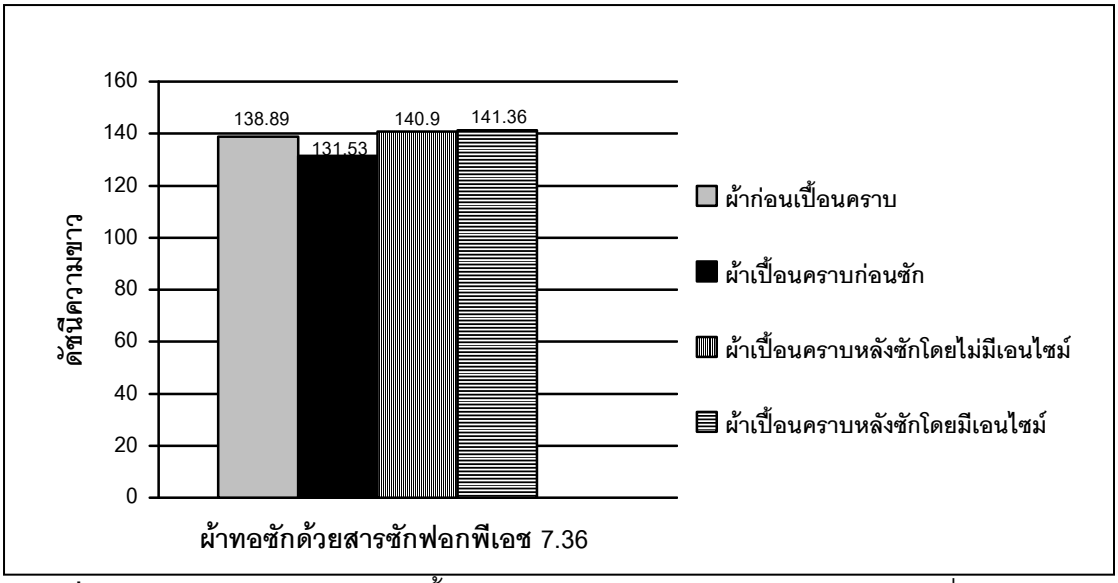
ผลการทดลองในงานวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ผลการซักผ้าเปื้อนคราบ และผลการซักผ้าขึ้นขน โดยใช้สารซักฟอก 3 ชนิดพีเอช 7.36, 8.85 และ 11.26 ที่ผสมและไม่ผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ซักที่ภาวะต่างๆกัน และได้เลือกภาวะที่เหมาะสม (แสดงในตารางที่ 3.2-3.5 ซึ่งผ้าหลังซักคราบมีดัชนีความขาวใกล้เคียงผ้าก่อนเปื้อนคราบและมีระดับการเปลี่ยนแปลงของสีระดับ 5 คือ มีสีผ้าเหมือนสีของผ้าก่อนเปื้อนคราบ ส่วนผ้าหลังซักกำจัดขนมีระดับการขึ้นขนระดับ 5 คือ ผ้ามีปริมาณขนและเม็ดน้อยมาก) มาซักผ้าเพื่อเตรียมสำหรับนำไปทดสอบสมบัติต่างๆ โดยแสดงผลการทดลองทั้งหมดดังต่อไปนี้

4.1 ผลการซักผ้าเปื้อนคราบที่ภาวะการซักที่เหมาะสม

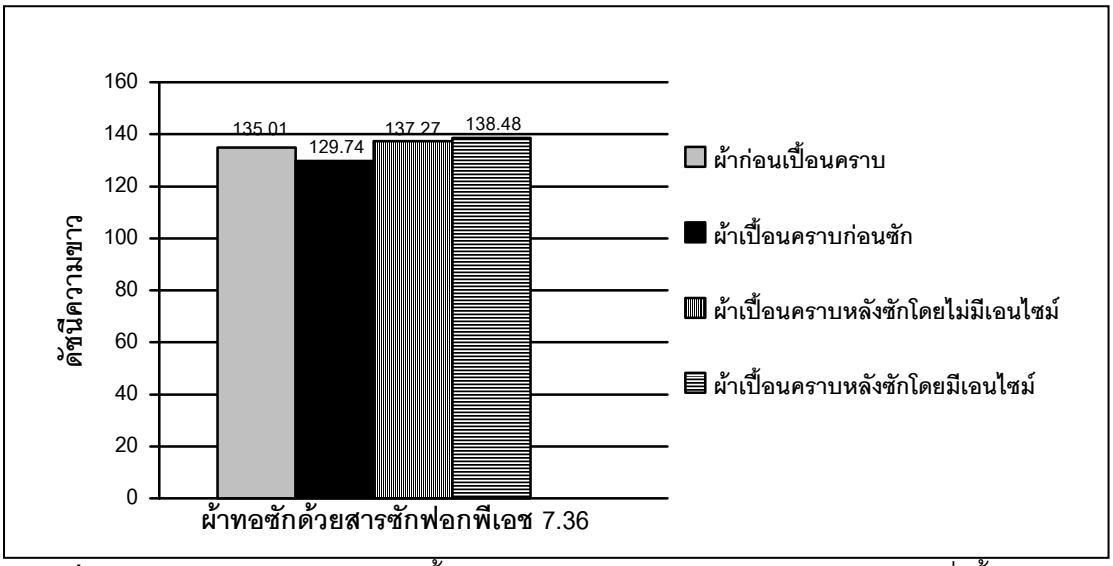
ผ้าเปื้อนคราบก่อนผ่านการซักที่ภาวะที่เหมาะสมเป็นผ้าทอฟอกขาวเปื้อนคราบและผ้าถักฟอกขาวเปื้อนคราบ โดยผ้าทั้งสองชนิด ถูกซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง และถูกซักหลังทิ้งคราบไว้สองวันหลังการซัก ผ้าถูกนำไปทดสอบหาค่าดัชนีความขาวของผ้า ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า ความแข็งแรงของผ้า และความแข็งกระด้างของผ้า แสดงผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.1.1 ดัชนีความขาวของผ้า

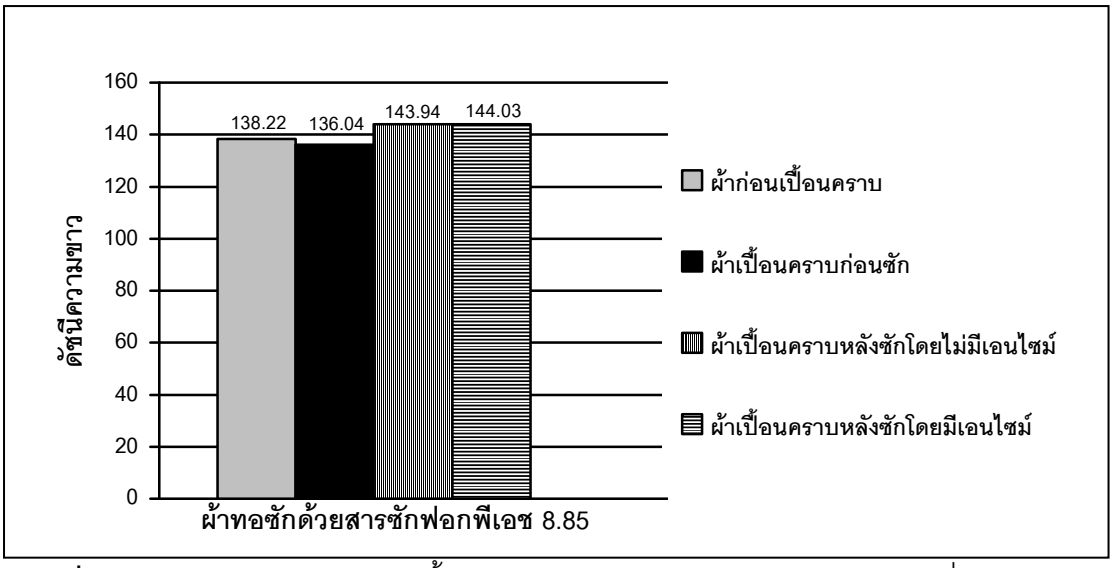
หลังการซักผ้าทอฟอกขาวเปื้อนคราบโดยใช้สารซักฟอก 3 ชนิด (ที่มีค่าพีเอชต่างกัน) ที่ผสมและไม่ผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ที่ภาวะที่เหมาะสม และวัดค่าดัชนีความขาวของผ้า ด้วยเครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer ได้ผลการวัดแสดงในภาพที่ 4.1-4.6 ดังนี้



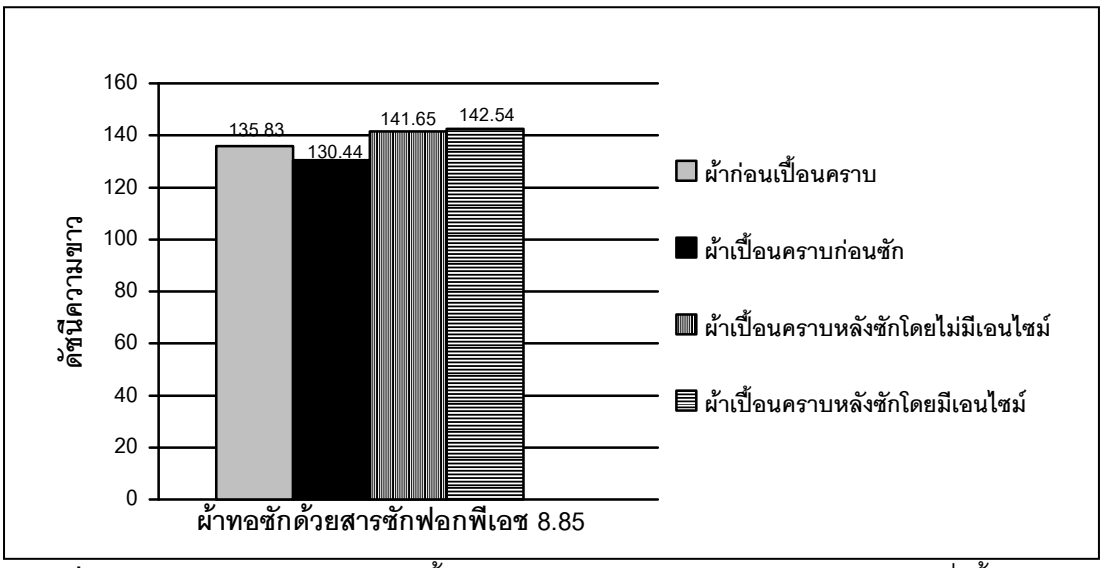
ภาพที่ 4.1 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก



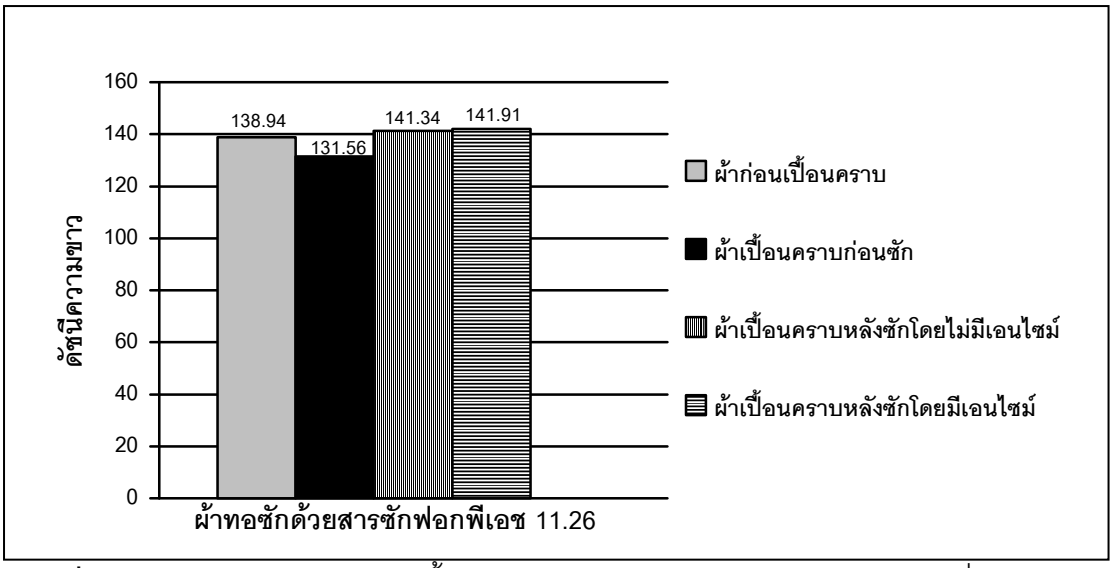
ภาพที่ 4.2 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก



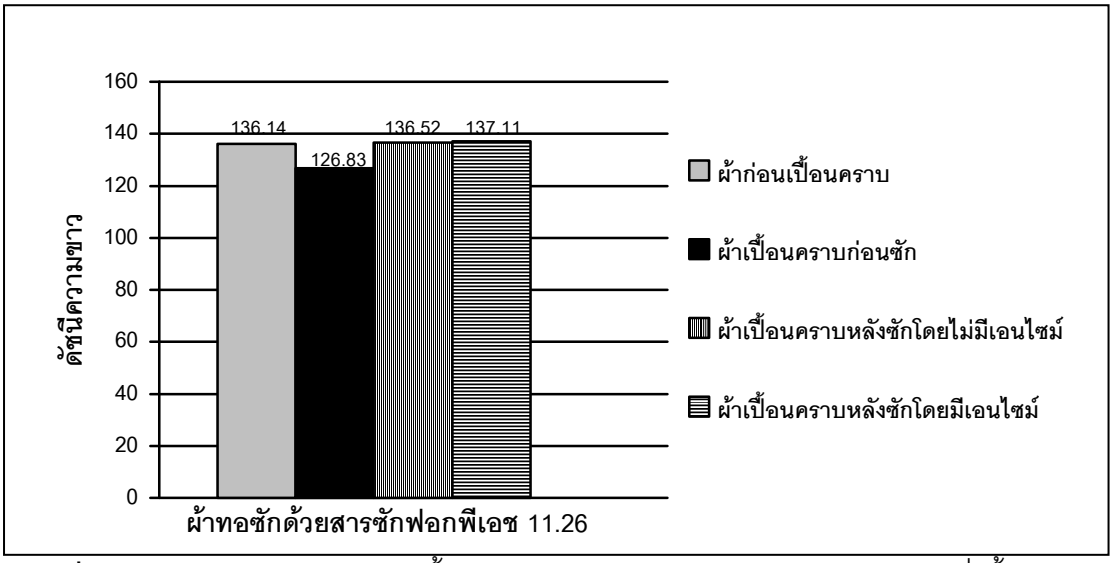
ภาพที่ 4.3 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก



ภาพที่ 4.4 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก



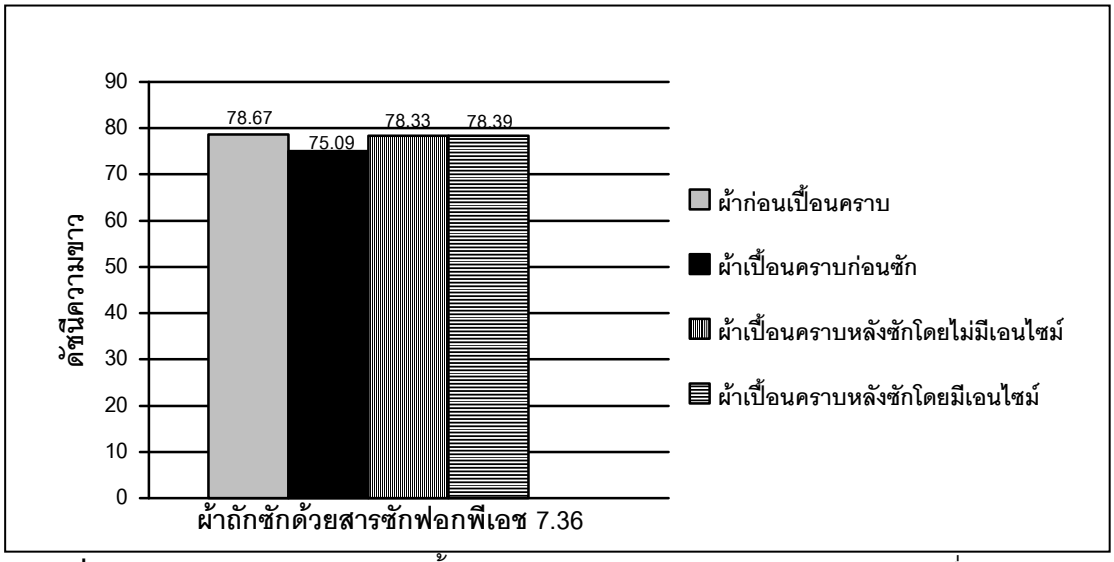
ภาพที่ 4.5 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก



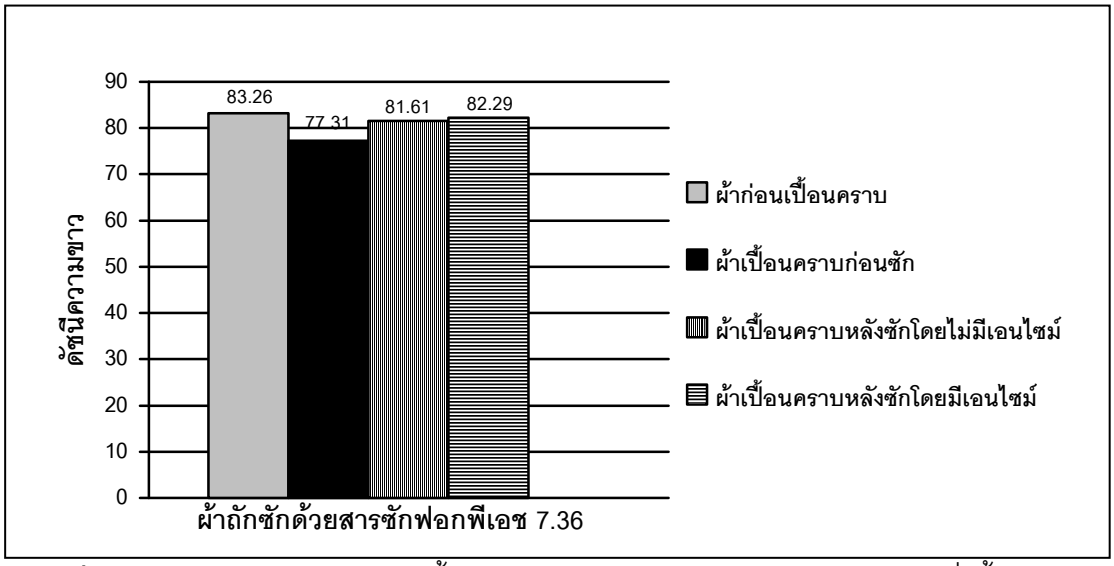
ภาพที่ 4.6 ดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าทอก่อนเปื้อนคราบและผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก

จากภาพที่ 4.1-4.6 แสดงดัชนีความขาวของผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซักมีค่าต่ำกว่าดัชนีความขาวของผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ 2.18-9.31 หน่วย หรือโดยเฉลี่ย 6.15 หน่วย (เปรียบเทียบกราฟแท่ง 2 แท่งแรกในภาพที่ 4.1-4.6) นั่นแสดงให้เห็นว่า เมื่อผ้าทอฟอกขาวเปื้อนคราบน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองนี้ผ้าจะมีความขาวลดลงจากเดิมก่อนเปื้อนคราบ ทั้งนี้เพราะผ้าทอมีตำแหน่งที่สานของเส้นด้ายพุ่งและเส้นด้ายยืนอยู่มากมายบนผ้า ทำให้คราบน้ำมันถูกกักขังอยู่ตามรอยสานและบดบังความขาวของผ้า จึงทำให้ผ้าทอเปื้อนคราบมีความขาวลดลงจากผ้าทอก่อนเปื้อนคราบมาก เมื่อนำผ้าทอเปื้อนคราบไปซักในภาวะที่เหมาะสมด้วยสารซักฟอก 3 ชนิดที่มีค่าพีเอช 7.36, 8.85 และ 11.26 ทั้งที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์ Carezyme จะพบว่าผ้าหลังซักมีค่าดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นกลับมาเหมือนเดิมเท่าผ้าทอก่อนเปื้อนคราบหรือในบางกรณีผ้าขาวยิ่งขึ้นอีก โดยการซักผ้าเปื้อนคราบด้วยสารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดที่มีเอนไซม์ผสม ให้ผ้าที่มีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าการซักด้วยสารซักฟอกที่ไม่มีเอนไซม์อยู่เพียงเล็กน้อย (สูงกว่าอยู่ 0.46, 0.09 และ 0.57 หน่วย) ในกรณีที่ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง (เปรียบเทียบกราฟแท่ง 2 แท่งหลังในภาพที่ 4.1, 4.3 และ 4.5) แต่ความแตกต่างจะมีมากขึ้น (สูงกว่าอยู่ 1.21, 0.89 และ 0.59 หน่วย) เมื่อซักหลังทิ้งคราบไว้ 2 วัน (เปรียบเทียบกราฟแท่ง 2 แท่งหลังในภาพที่ 4.2, 4.4 และ 4.6) แสดงว่าการทิ้งคราบนานขึ้นจะทำให้คราบซึมลึกลงภายในผ้าทำให้การซักคราบออกทำได้ยากขึ้นจำเป็นต้องใช้เอนไซม์ผสมลงในสารซักฟอกเพื่อช่วยขจัดคราบที่ฝังลึกในเนื้อผ้าออกไปและให้ความขาวของผ้ากลับมาเหมือนเดิมหรือขาวยิ่งกว่าเดิม

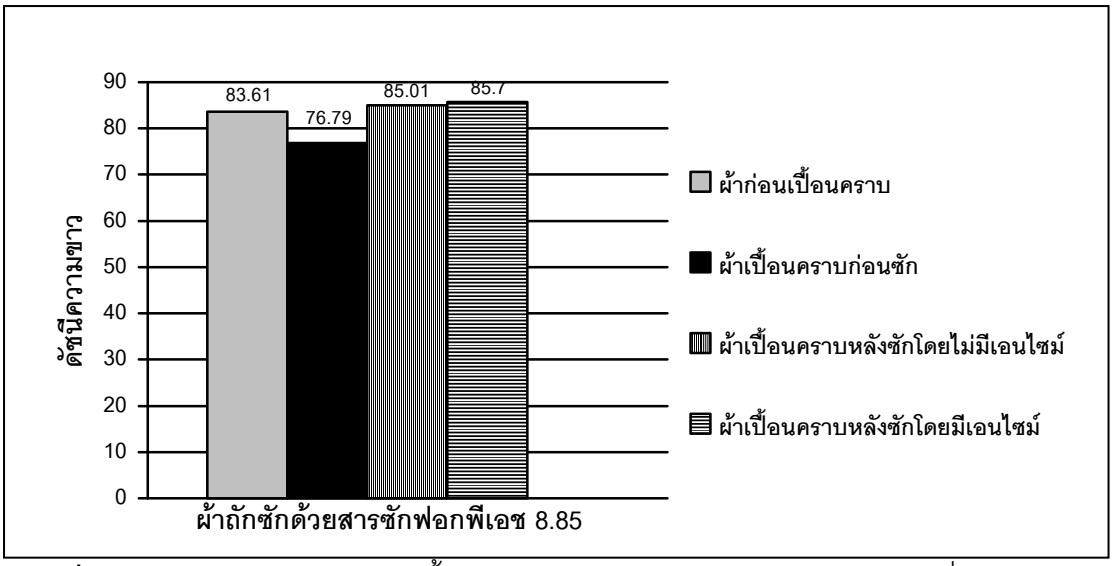
หลังการซักผ้าถักฟอกขาวเปื้อนคราบโดยใช้สารซักฟอก 3 ชนิด (ที่มีค่าพีเอชต่างกัน) ที่ผสมและไม่ผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ที่ภาวะที่เหมาะสม และวัดค่าดัชนีความขาวด้วยเครื่องวัดสี reflectance spectrophotometer ได้ผลการวัดแสดงในภาพที่ 4.7-4.12 ดังนี้



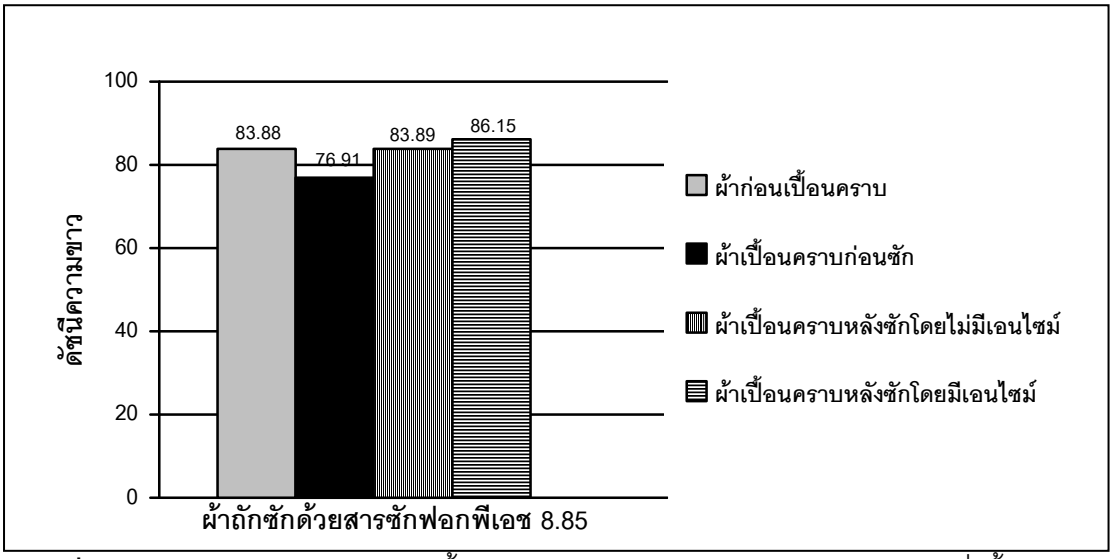
ภาพที่ 4.7 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก



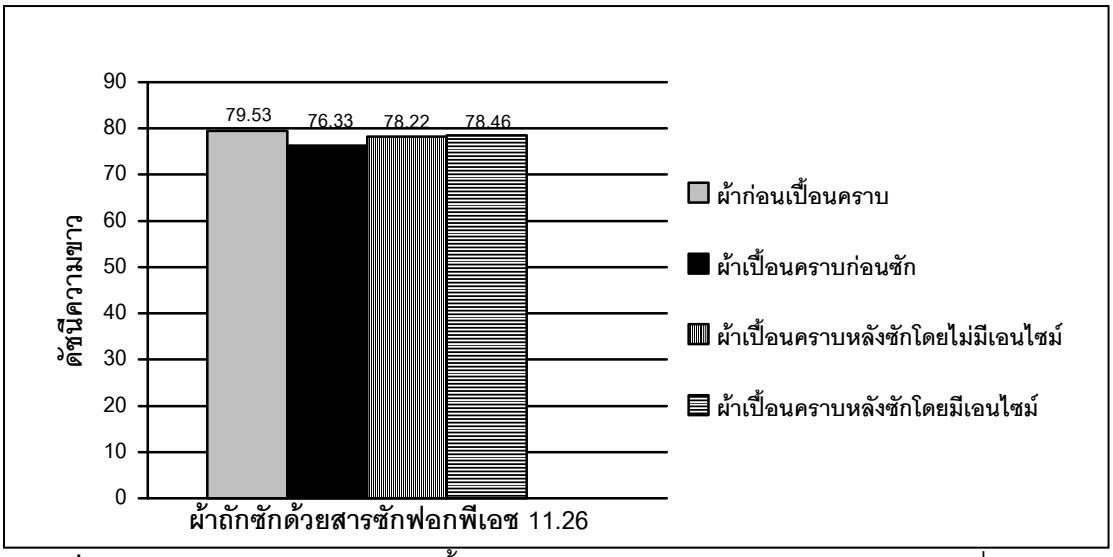
ภาพที่ 4.8 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก



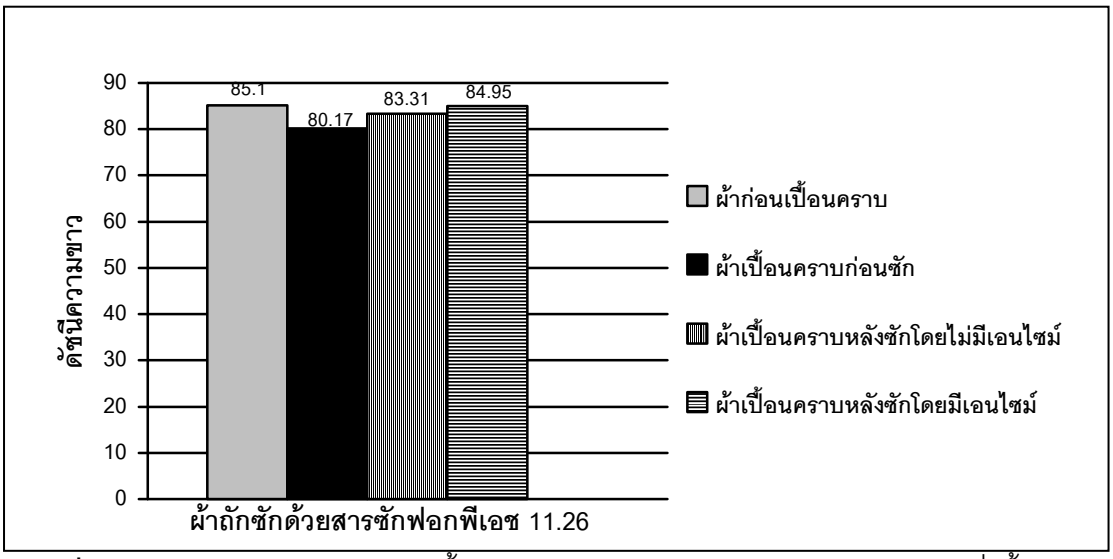
ภาพที่ 4.9 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก



ภาพที่ 4.10 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก



ภาพที่ 4.11 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก



ภาพที่ 4.12 ดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 วันก่อนซัก เทียบกับ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก

จากภาพที่ 4.7-4.12 แสดงดัชนีความขาวของผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซักมีค่าต่ำกว่าดัชนีความขาวของผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ 3.2-6.97 หน่วย หรือโดยเฉลี่ย 5.27 หน่วย (เปรียบเทียบกราฟแท่ง 2 แท่งแรกในภาพที่ 4.7-4.12) นั่นแสดงให้เห็นว่า เมื่อผ้าถักฟอกขาวเปื้อนคราบน้ำมันปาล์มที่ใช้ในการทดลองนี้ผ้ามีความขาวลดลงจากเดิมก่อนเปื้อนคราบ ทั้งนี้เพราะผ้าถักผลิตจากการถักเป็นห่วงๆมาคล้องกัน โครงสร้างผ้าจึงหลวมและมีน้ำมันปริมาณน้อยกองอยู่บนผิวผ้าเมื่อหยดน้ำมันลงไป ทำให้การบดบังความขาวของผ้าถักเกิดน้อยกว่าในผ้าทอ เมื่อนำผ้าถักเปื้อนคราบไปซักในภาวะที่เหมาะสมด้วยสารซักฟอก 3 ชนิดที่มีค่าพีเอช 7.36, 8.85 และ 11.26 ทั้งที่มีและไม่มีเอนไซม์ Carezyme จะพบว่าผ้าหลังซักมีค่าดัชนีความขาวเพิ่มขึ้นกลับมาเหมือนเดิมเท่าผ้าถักก่อนเปื้อนคราบหรือในบางกรณีผ้าขาวยิ่งขึ้นอีก โดยการซักผ้าเปื้อนคราบด้วยสารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดที่มีเอนไซม์ผสม ให้ผ้าที่มีค่าดัชนีความขาวสูงกว่าการซักด้วยสารซักฟอกที่ไม่มีเอนไซม์ผสมอยู่เพียงเล็กน้อย (สูงกว่าอยู่ 0.06, 0.69 และ 0.24 หน่วย) ในกรณีที่ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง (เปรียบเทียบกราฟแท่ง 2 แท่งหลังใน ภาพที่ 4.7, 4.9 และ 4.11) แต่ความแตกต่างจะมีมากขึ้น (สูงกว่าอยู่ 0.68, 2.26 และ 1.64 หน่วย) เมื่อซักหลังทิ้งคราบไว้ 2 วัน (เปรียบเทียบกราฟแท่ง 2 แท่งหลังในภาพที่ 4.8, 4.10 และ 4.12) แสดงว่าการทิ้งคราบให้นานขึ้นจะทำให้คราบซึมลึกลงภายในผ้าทำให้การซักคราบออกทำได้ยากขึ้นจำเป็นต้องใช้เอนไซม์ผสมลงในสารซักฟอกเพื่อช่วยขจัดคราบที่ฝังลึกในเนื้อผ้าออกไปและให้ความขาวของผ้ากลับมาเหมือนเดิมหรือขาวยิ่งกว่าเดิม

4.1.2 ระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้า

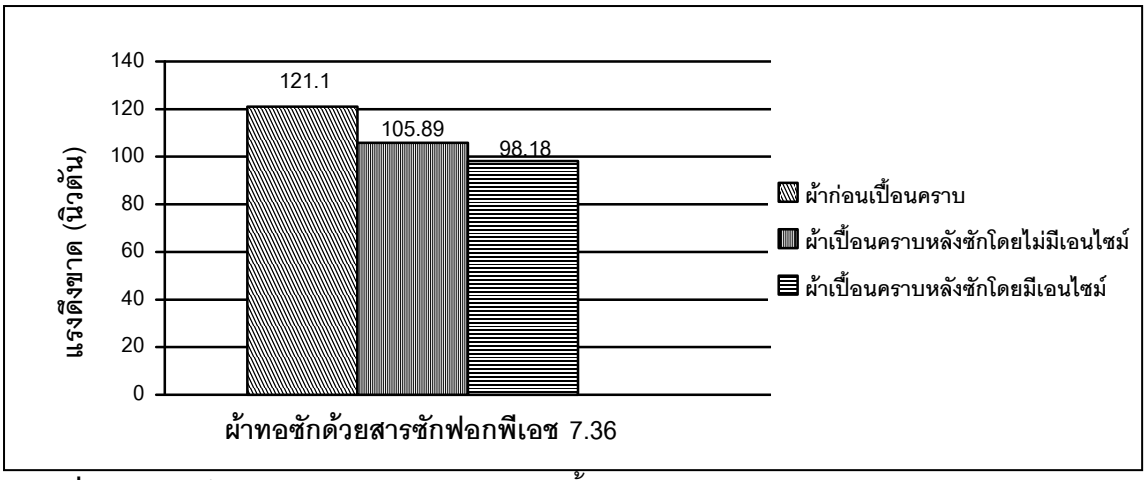
หลังการซักผ้าทอฟอกขาวเปื้อนคราบ (ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมงและซักหลังเปื้อนคราบแล้ว 2 วัน) โดยใช้สารซักฟอก 3 ชนิดที่ผสมและไม่ผสมเอนไซม์ ที่ภาวะที่เหมาะสม และตรวจดูระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าด้วยสายตาว่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด โดยใช้สเกลแถบสีเทา 5 ระดับ (gray scale for assessing change in colour) เป็นมาตรฐานในการเทียบสี และวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าด้วยเครื่องวัดสีโดยแสดงค่าสเกลแถบสีเทา 5 ระดับเช่นกัน (ระดับ 1 แสดงว่าสีผ้าเปลี่ยนแปลงมาก ระดับ 5 แสดงว่า สีผ้าไม่เปลี่ยนแปลง) พบว่าเมื่อเทียบสีผ้า ระหว่างผ้าทอก่อนเปื้อนคราบกับผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซัก ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนซักมีระดับการปลี่ยนแปลงของสีผ้าเทียบเท่าสเกลแถบสีเทาระดับ 3.5 และระดับ 4 ทั้งตรวจดูด้วยสายตาและวัดด้วยเครื่องวัดสี นั่นคือหลังผ้าเปื้อนคราบ สีผ้าเปลี่ยนแปลงไปปานกลางถึงน้อยตามลำดับ และเมื่อเทียบสีผ้าระหว่างผ้าทอก่อนเปื้อนคราบกับผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักทุกผืน พบว่า ผ้าทอเปื้อนคราบหลังซักมีระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าเทียบเท่าสเกลแถบสีเทาระดับ 5 แสดงว่า หลังซักผ้าเปื้อนคราบ คราบบนผ้าถูกกำจัดออกไปมากจนสีผ้าไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมก่อนเปื้อนคราบ

หลังการซักผ้าถักฟอกขาวเปื้อนคราบ (ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมงและซักหลังเปื้อนคราบแล้ว 2 วัน) โดยใช้สารซักฟอก 3 ชนิดที่ผสมและไม่ผสมเอนไซม์ ที่ภาวะที่เหมาะสม และตรวจดูระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าด้วยสายตาว่าเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมากน้อยเพียงใด โดยใช้สเกลแถบสีเทา 5 ระดับ เป็นมาตรฐานในการเทียบสี และวัดระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าด้วยเครื่องวัดสีโดยแสดงค่าสเกลแถบสีเทา 5 ระดับเช่นกัน (ระดับ 1 แสดงว่าสีผ้าเปลี่ยนแปลงมาก ระดับ 5 แสดงว่า สีผ้าไม่เปลี่ยนแปลง) พบว่าเมื่อเทียบสีผ้า ระหว่างผ้าถักก่อนเปื้อนคราบกับผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซัก ผ้าถักเปื้อนคราบก่อนซักมีระดับการปลี่ยนแปลงของสีผ้าเทียบเท่าสเกลแถบสีเทาระดับ 4 และระดับ 4.5 ทั้งตรวจดูด้วยสายตาและวัดด้วยเครื่องวัดสี นั่นคือหลังผ้าเปื้อนคราบ สีผ้าเปลี่ยนแปลงไปน้อยถึงน้อยมากตามลำดับ และเมื่อเทียบสีผ้าระหว่างผ้าถักก่อนเปื้อนคราบกับผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักทุกผืน พบว่า ผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักมีระดับการเปลี่ยนแปลงของสีผ้าเทียบเท่าสเกลแถบสีเทาระดับ 5 แสดงว่า หลังซักผ้าเปื้อนคราบ คราบบนผ้าถูกกำจัดออกไปมากจนสีผ้าไม่เปลี่ยนแปลงไปจากเดิมก่อนเปื้อนคราบ

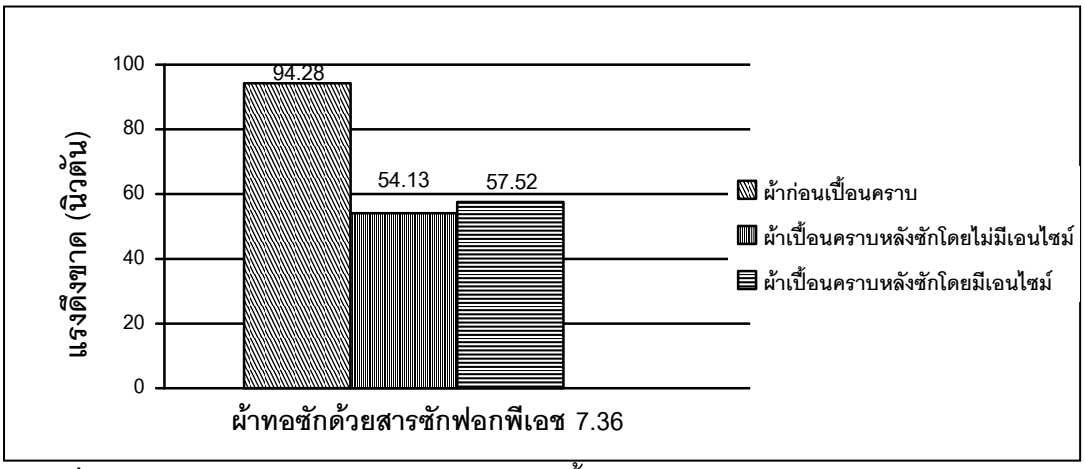
4.1.3 **ความแข็งแรงของผ้า**

ความแข็งแรงของผ้าในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบความแข็งแรงของผ้าทอ โดยวัดจากความแข็งแรงด้านความทนแรงดึง และความแข็งแรงของผ้าถัก โดยวัดจากความแข็งแรงด้านความต้านแรงดันทะลุ

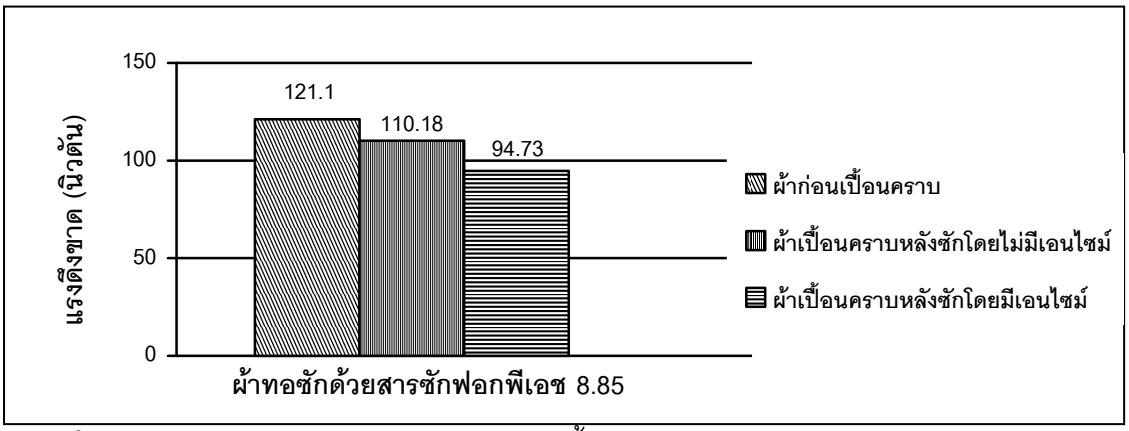
หลังการซักผ้าทอและผ้าถักเปื้อนคราบ (ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง) โดยใช้สารซักฟอก 3 ชนิด ที่ผสมและไม่ผสมเอนไซม์ที่ภาวะที่เหมาะสม ได้นำผ้าทอมาทดสอบความแข็งแรงด้านแรงดึงขาด และร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด และนำผ้าถักมาทดสอบความแข็งแรงด้านความต้านแรงดันทะลุ โดยการทดสอบของผ้าทอกระทำบนผ้าตามแนวด้ายยืน และตามแนวด้ายพุ่ง แสดงค่าแรงดึงขาดในภาพที่ 4.13-4.18 และร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดในภาพที่ 4.19-4.24 และผลการทดสอบความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักแสดงในภาพที่ 4.25-4.27



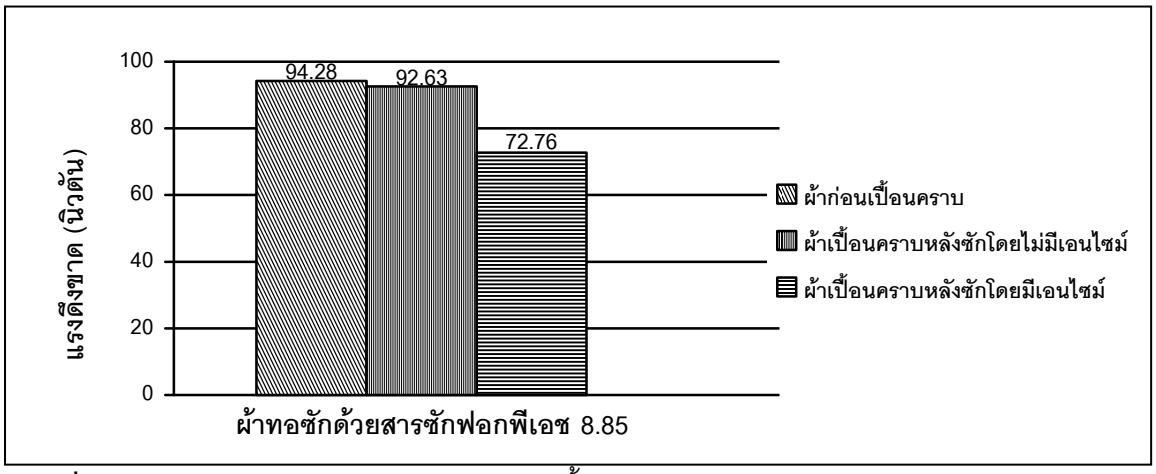
ภาพที่ 4.13 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



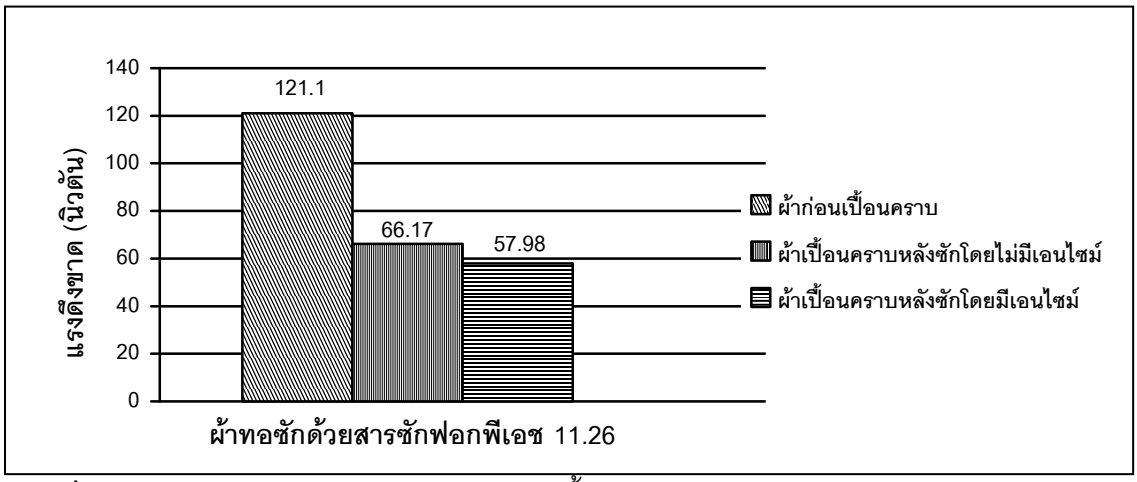
ภาพที่ 4.14 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



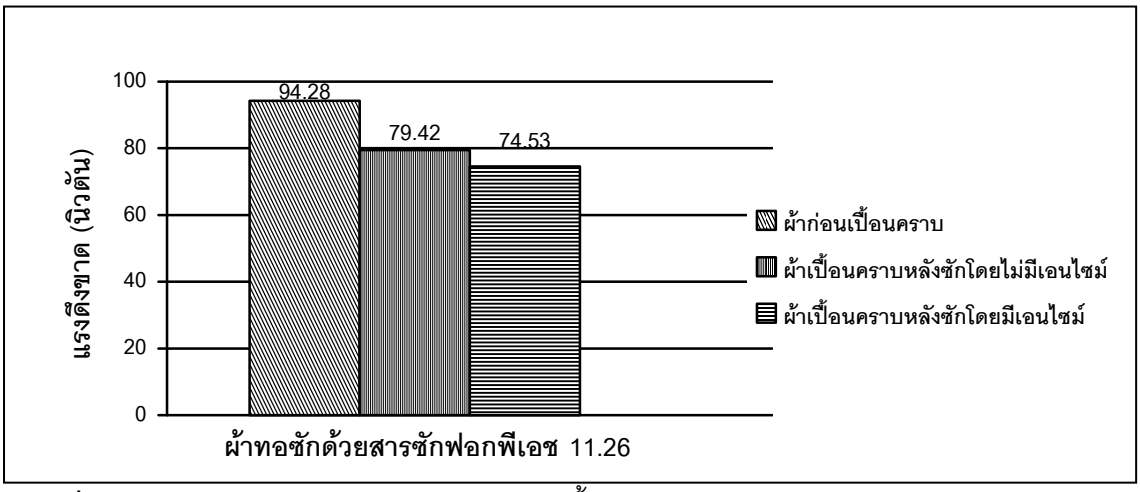
ภาพที่ 4.15 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



ภาพที่ 4.16 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



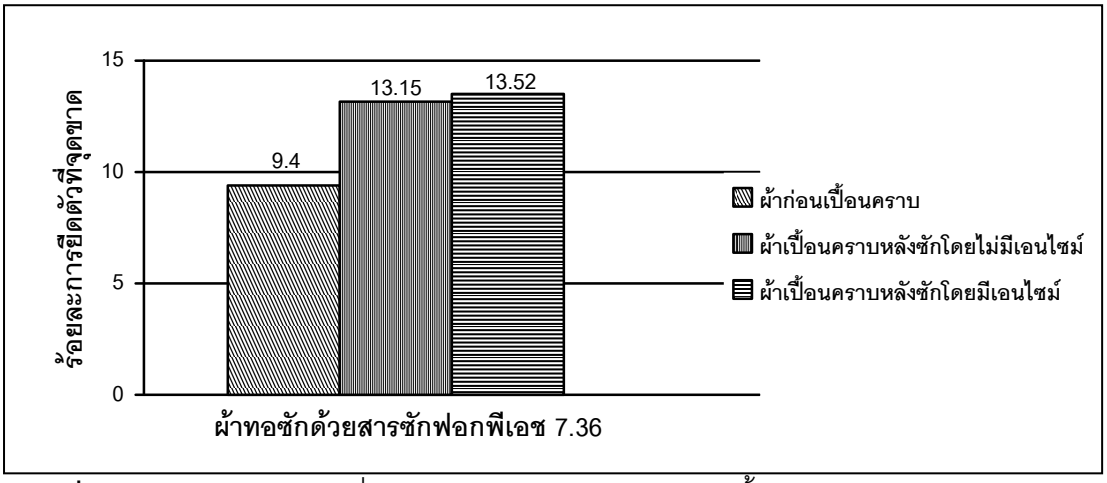
ภาพที่ 4.17 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



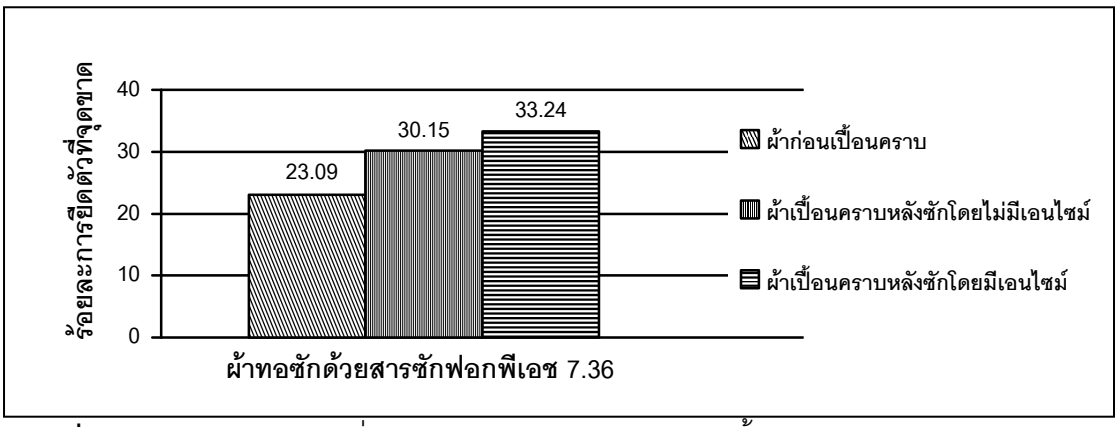
ภาพที่ 4.18 แรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ

ภาพที่ 4.13-4.18 แสดงค่าแรงดึงขาดของผ้าทอ (ทั้งแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักเทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ พบว่าแรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักมีค่าน้อยกว่าผ้าทอก่อนเปื้อนคราบตั้งแต่ 10.92-63.12 นิวตัน (ภาพที่ 4.13, 4.15 และ 4.17) และแรงดึงขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักมีค่าน้อยกว่าผ้าทอก่อนเปื้อนคราบตั้งแต่ 1.65-40.15 นิวตัน (ภาพที่ 4.14, 4.16 และ 4.18) แสดงให้เห็นว่าการซักผ้าด้วยสารซักฟอกทั้งที่มีและไม่มีเอนไซม์ ต่างทำให้ผ้าทอทนต่อแรงดึงขาดน้อยลงหรือแสดงว่าผ้าหลังซักมีความแข็งแรงลดลงนั่นเอง ทั้งนี้เนื่องจากการซักผ้าทำให้เส้นใยหลุดออกจากผ้า ผ้าจึงมีความแข็งแรงลดน้อยลงบ้าง นอกจากนี้พบว่าแรงดึงขาดของผ้าทอแนวด้ายยืนมีค่ามากกว่าของผ้าทอแนวด้ายพุ่งทั้งผ้าก่อนและหลังซัก ทั้งนี้เนื่องมาจากในผ้าทอแนวด้ายยืนมีจำนวนเส้นด้ายมากกว่าผ้าทอแนวด้ายพุ่ง ผ้าทอแนวด้ายยืนจึงมีความแข็งแรงกว่า การซักด้วยสารซักฟอกที่ไม่มีเอนไซม์และมีเอนไซม์ จะพบว่า ผ้าที่ซักด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์จะมีแรงดึงขาดต่ำกว่าผ้าที่ซักด้วยสารซักฟอกที่ไม่มีเอนไซม์ อาจเนื่องมาจากการซักผ้าฝ้ายทอโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส Carezyme และสารซักฟอก จะทำให้เส้นใยฝ้าย (เซลลูโลส) และคราบน้ำมันหลุดออกจากผิวผ้าได้มากขึ้นกว่าการซักโดยใช้สารซักฟอกอย่างเดียว และทำให้ผ้าทนแรงดึงขาดได้น้อยลง

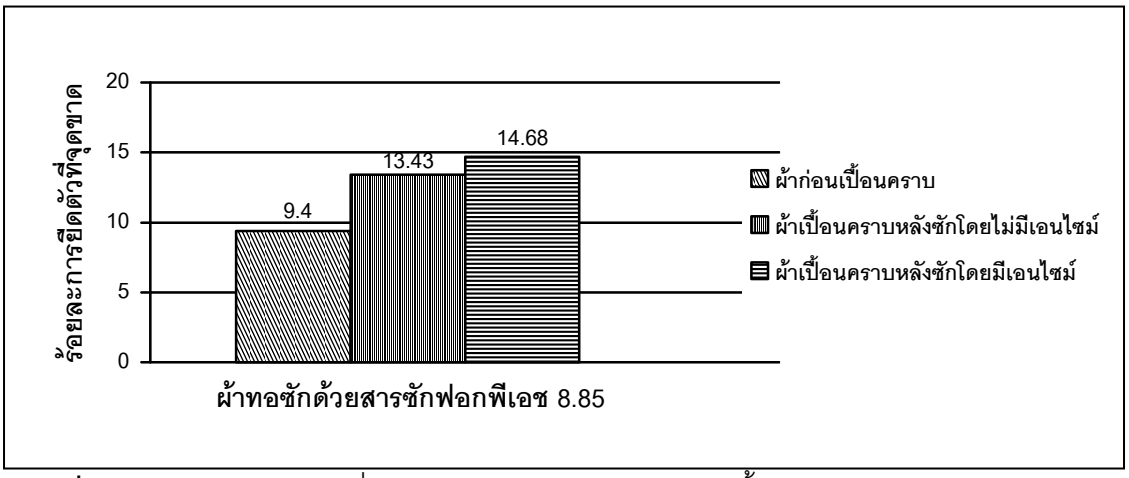
หลังการซักผ้าทอเปื้อนคราบ (ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง) ผ้าถูกนำมาทดสอบ หาร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง แสดงผลในภาพที่ 4.19-4.24 ดังนี้



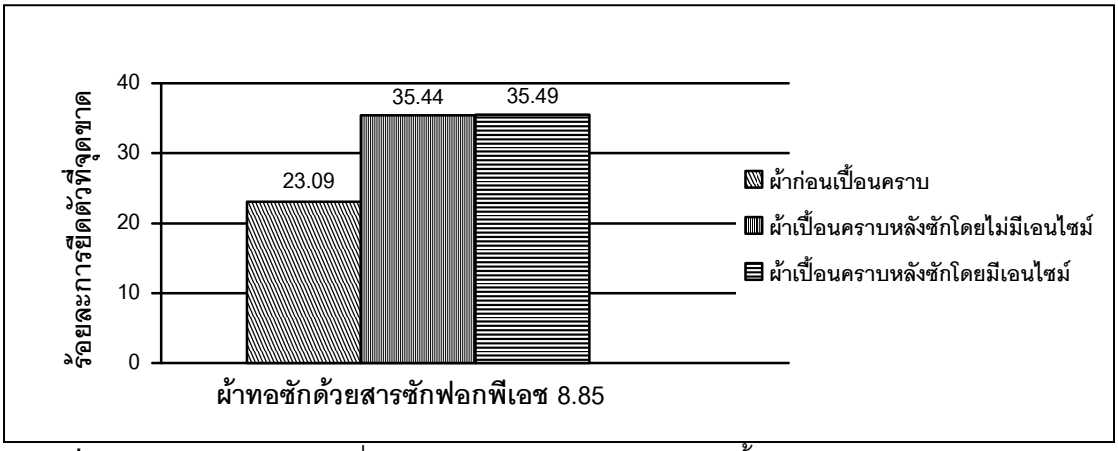
ภาพที่ 4.19 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



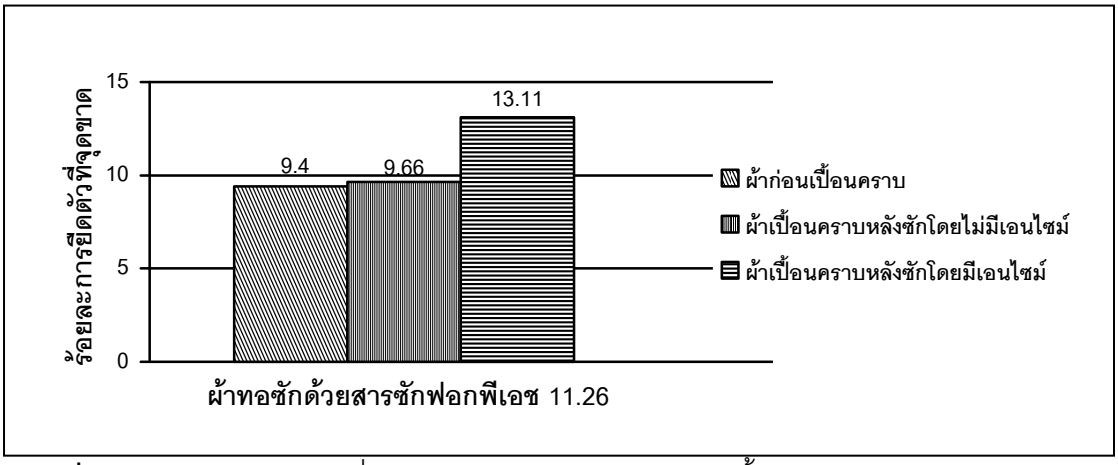
ภาพที่ 4.20 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



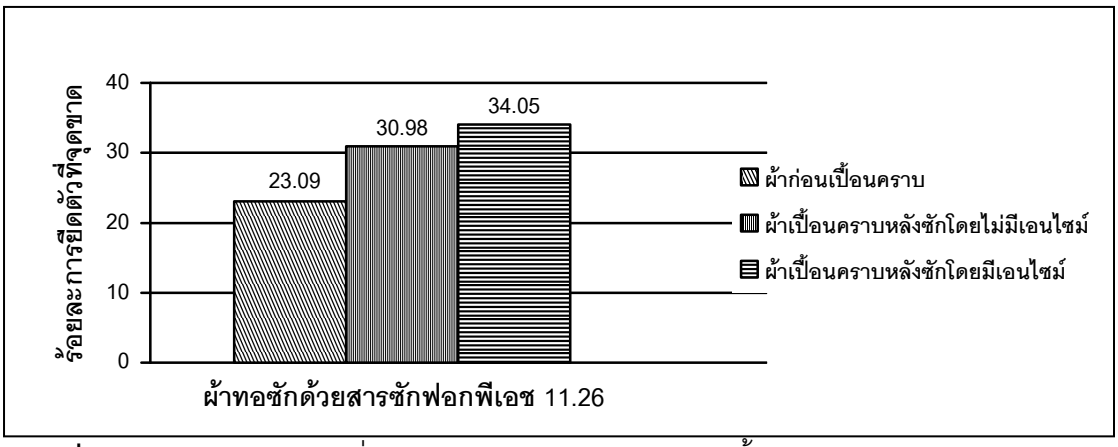
ภาพที่ 4.21 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



ภาพที่ 4.22 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



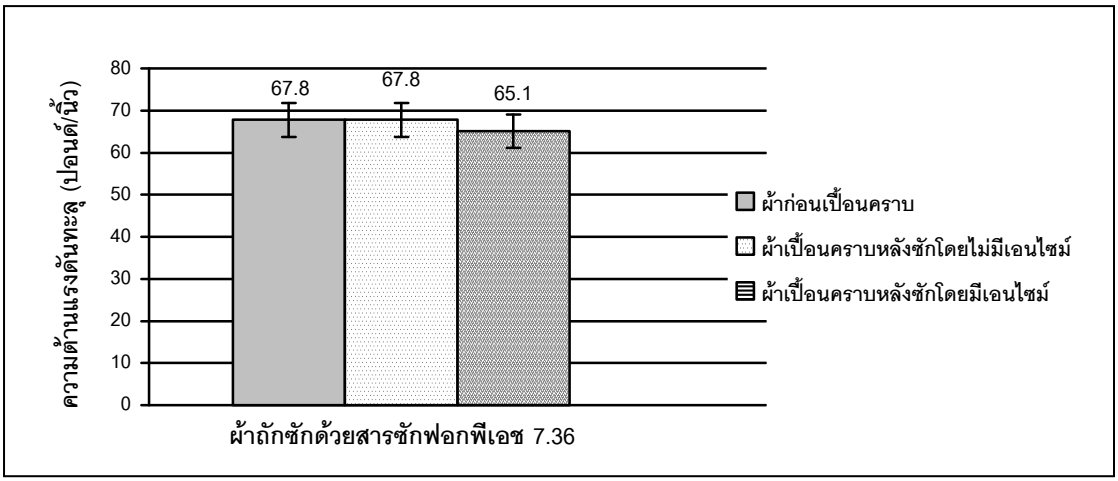
ภาพที่ 4.23 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



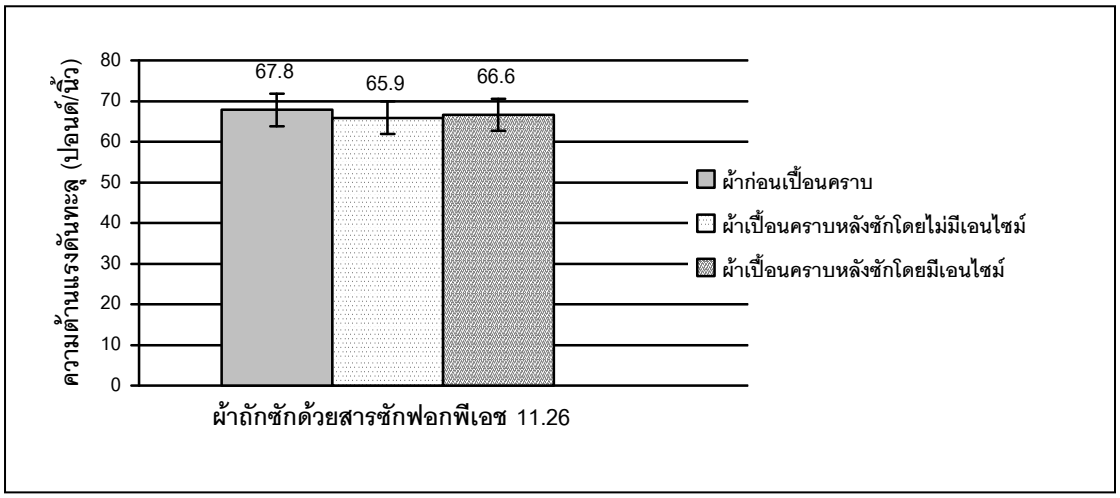
ภาพที่ 4.24 ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ

ภาพที่ 4.19-4.24 แสดงค่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (ทั้งแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักเทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ พบว่าร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักมีค่ามากกว่าผ้าทอก่อนเปื้อนคราบตั้งแต่ร้อยละ 0.26-5.28 (ภาพที่ 4.19, 4.21 และ 4.23) และร้อยละการยืดตัวที่จุดขาดของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักมีค่ามากกว่าผ้าทอก่อนเปื้อนคราบตั้งแต่ร้อยละ 7.06-12.40 (ภาพที่ 4.20, 4.22 และ 4.24) แสดงให้เห็นว่าการซักผ้าด้วยสารซักฟอกทั้งที่มีและไม่มีเอนไซม์ ต่างทำให้ผ้าทอยืดตัวได้มากขึ้นก่อนขาดหรือแสดงว่าผ้าหลังซักมีความยืดหยุ่นมากขึ้นนั่นเอง อาจเนื่องจากเมื่อผ้าทอถูกซักล้าง เส้นใยในผ้าจะพองตัวด้วยน้ำและความเครียดของผ้าลดลง ผ้ามีความยืดหยุ่นมากขึ้น ไม่แข็งตึงเหมือนผ้าก่อนซักล้าง นอกจากนี้พบว่าการยืดตัวของผ้าทอแนวด้ายพุ่งมีค่ามากกว่าของผ้าทอแนวด้ายยืนทั้งผ้าก่อนและหลังซัก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากในผ้าทอแนวด้ายพุ่งมีจำนวนเส้นด้ายพุ่งน้อยกว่าจำนวนเส้นด้ายยืนในผ้าทอแนวด้ายยืน ผ้าทอแนวด้ายพุ่งจึงมีโครงสร้างที่หลวมกว่าผ้าทอแนวด้ายยืน และทำให้ผ้าทอแนวด้ายพุ่งมีช่องว่างให้เกิดการยืดตัวของผ้าได้มากกว่านั่นเอง เมื่อเทียบการยืดตัวของผ้าทอ (ทั้งแนวด้ายพุ่งและแนวด้ายยืน) หลังซักโดยไม่มีเอนไซม์และโดยมีเอนไซม์ จะพบว่า ผ้าที่ซักด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์จะมีการยืดตัวมากกว่าผ้าที่ซักด้วยสารซักฟอกที่ไม่มีเอนไซม์ อาจเนื่องจากการซักผ้าฝ้ายทอโดยใช้เอนไซม์เซลลูเลส Carezyme และสารซักฟอก จะทำให้เส้นใยฝ้าย (เซลลูโลส) และคราบน้ำมันหลุดออกจากผิวผ้าได้มากขึ้นกว่าการซักโดยใช้สารซักฟอกอย่างเดียว อาจเกิดช่องว่างในผ้ามากขึ้นและทำให้ผ้ายืดหยุ่นได้มากขึ้น

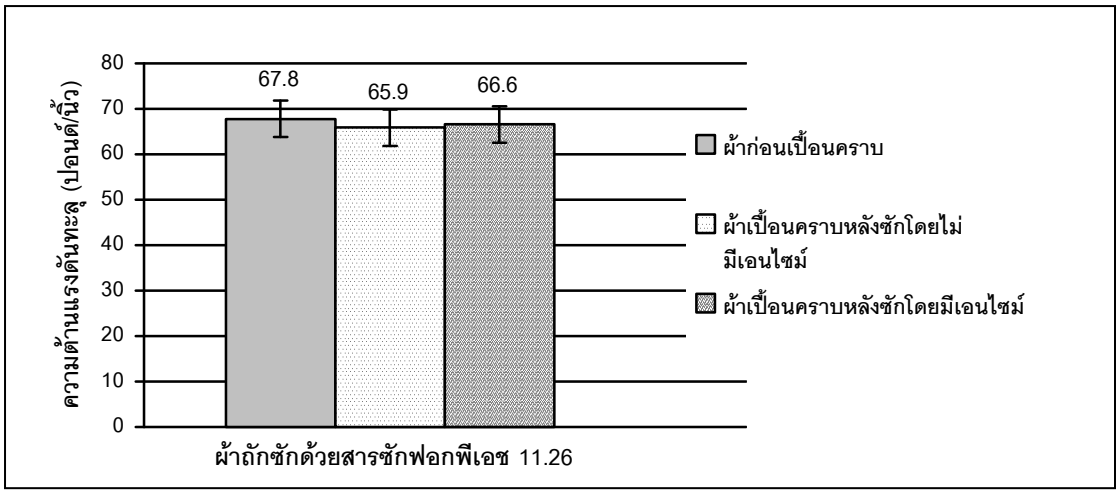
หลังการซักผ้าถักเปื้อนคราบ (ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง) ผ้าถูกนำมาทดสอบความแข็งแรงด้านความต้านแรงดันทะลุโดยใช้เครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุ (bursting strength tester) แสดงผลในภาพที่ 4.25–4.27 ดังนี้



ภาพที่ 4.25 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ



ภาพที่ 4.26 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ

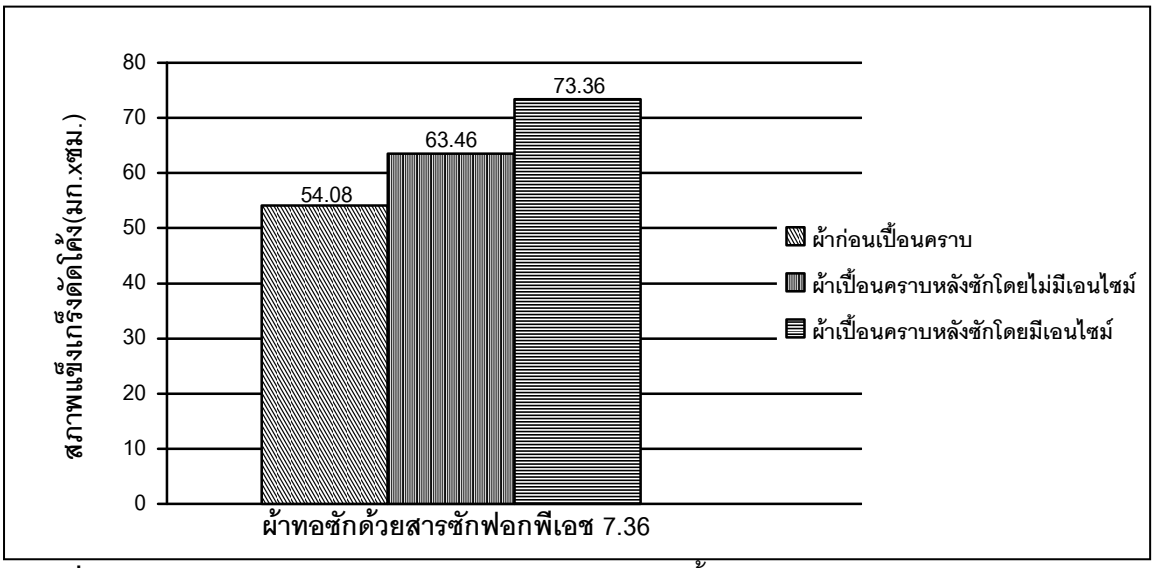


ภาพที่ 4.27 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ

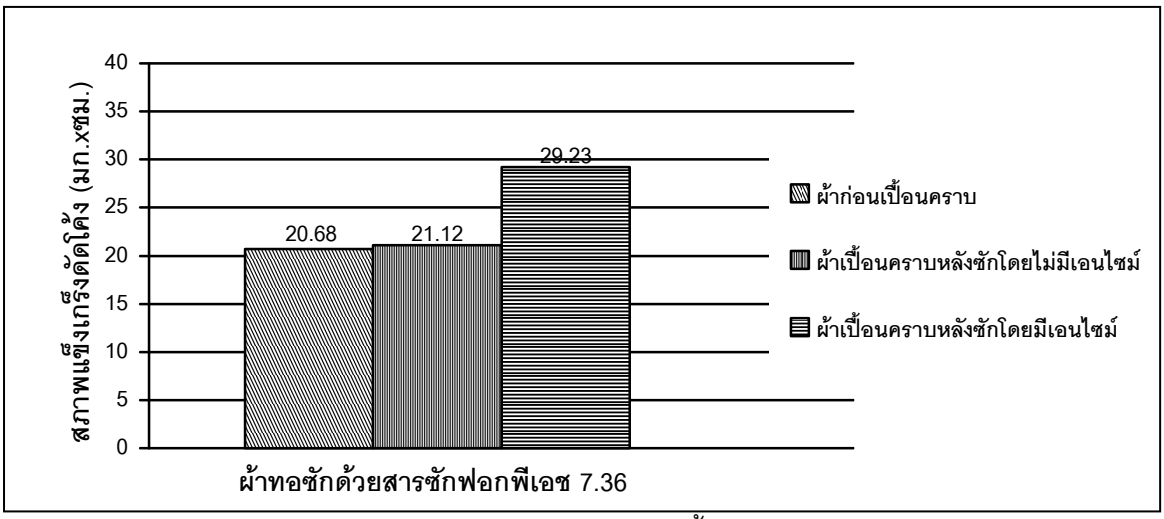
จากภาพที่ 4.25-4.27 แสดงความแข็งแรงด้านความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักก่อนเปื้อนคราบและผ้าถักเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36, 8.85 และ 11.26 ที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม พบว่าผ้าถักก่อนเปื้อนคราบมีค่าความต้านแรงดันทะลุ 67.8 ปอนด์ต่อนิ้ว เมื่อผ้าเปื้อนคราบถูกนำไปซัก ความต้านแรงดันทะลุของผ้าแทบไม่มีการปลี่ยนแปลงหรือความแข็งแรงไม่มีการเปลี่ยนแปลงนั่นเอง (เมื่อพิจารณาจากแถบข้อผิดพลาด) ดังนั้นการซักด้วยสารซักฟอกที่มีและไม่มีเอนไซม์ไม่ทำให้ความแข็งแรงของผ้าเปื้อนคราบหลังซักเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อเทียบกับผ้าก่อนเปื้อนคราบ

4.1.4 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้า

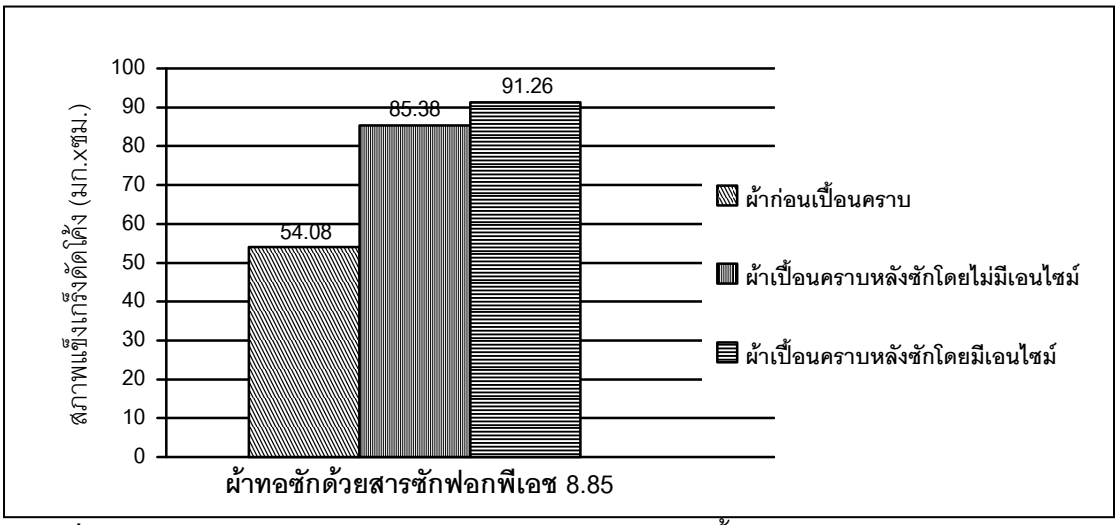
หลังการซักผ้าทอเปื้อนคราบ (ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง) ผ้าถูกนำไปวัดสภาพแข็งเกร็งดัดโค้ง ทั้งผ้าทอแนวด้ายพุ่งและแนวด้ายยืน โดยใช้เครื่องวัดความแข็งกระด้าง (stiffness tester) แสดงผลในภาพที่ 4.28–4.33 ดังนี้



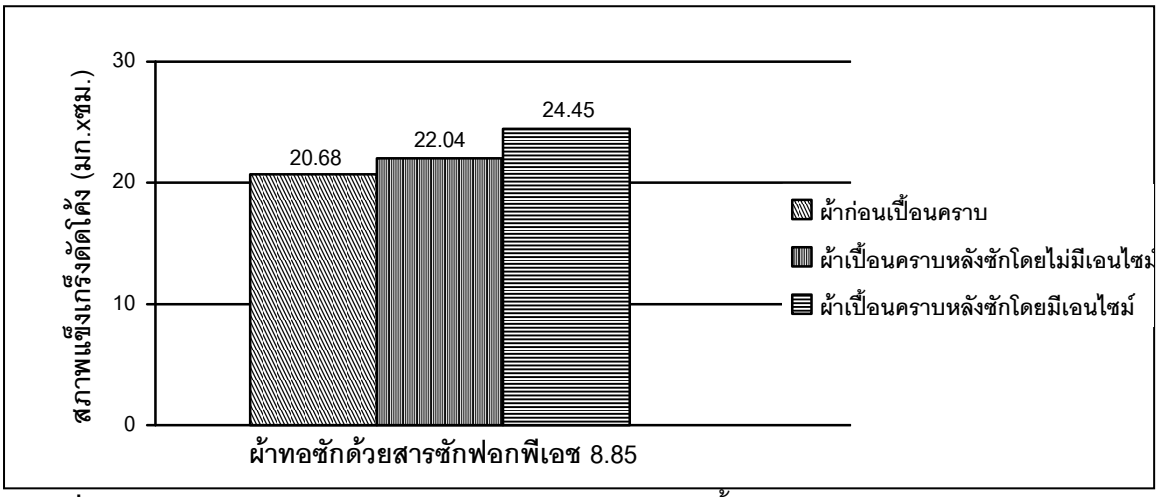
ภาพที่ 4.28 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



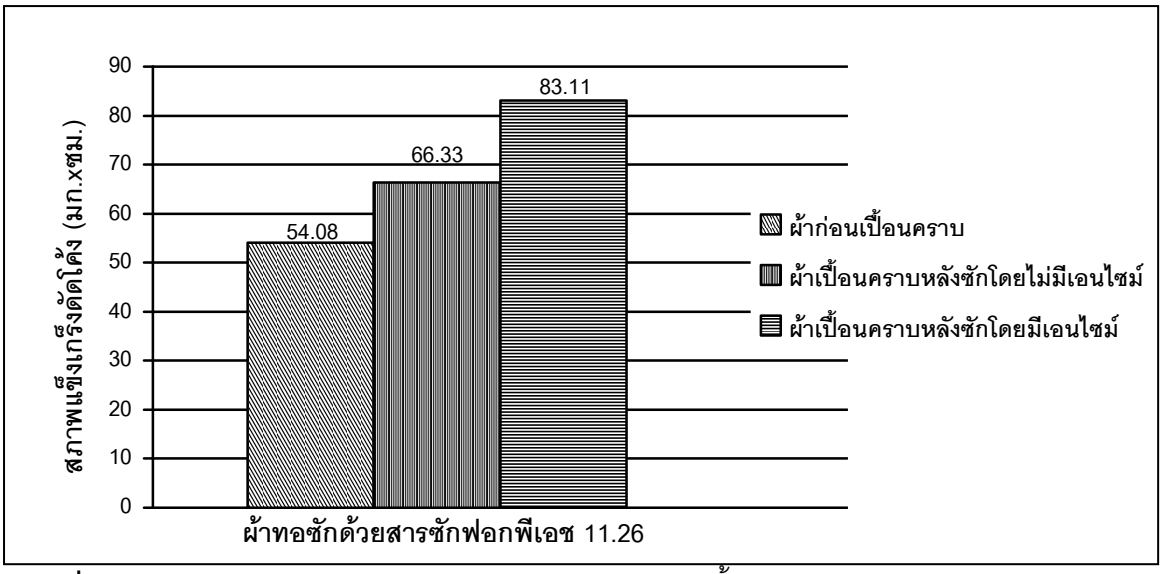
ภาพที่ 4.29 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



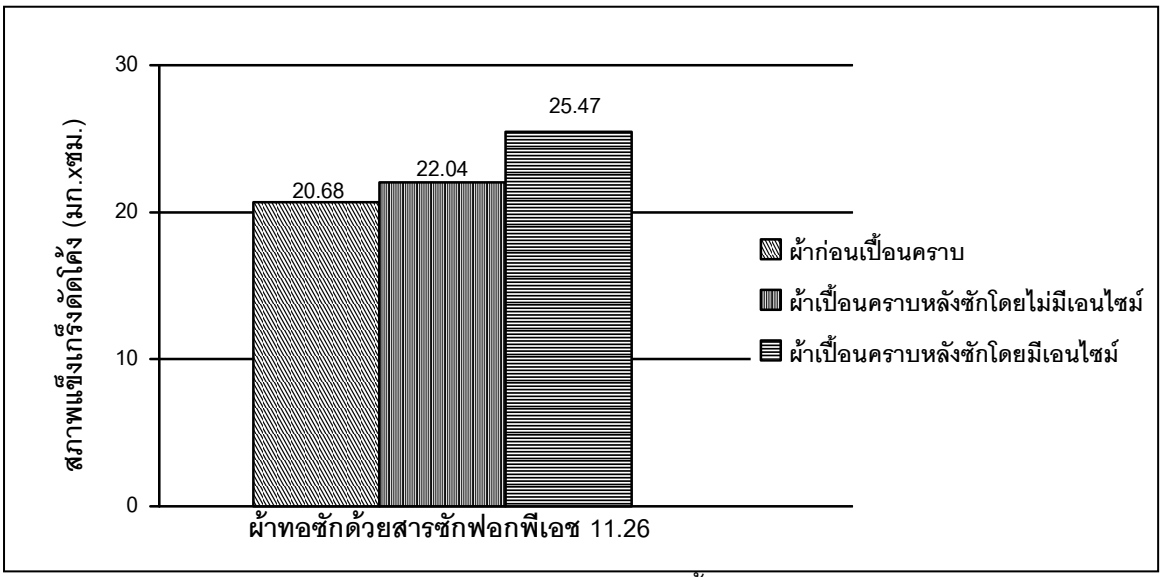
ภาพที่ 4.30 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



ภาพที่ 4.31 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



ภาพที่ 4.32 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายยืน) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ



ภาพที่ 4.33 สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ

ภาพที่ 4.28-4.33 แสดงค่าสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอ (แนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง) เปื้อนคราบ หลังซักด้วยสารซักฟอก 3 ชนิดที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม เทียบกับของผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ พบว่าสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอแนวด้ายยืนมีค่าสูงกว่าสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอแนวด้ายพุ่งเนื่องจากผ้าทอแนวด้ายยืนมีจำนวนเส้นด้ายมากกว่าจึงมีน้ำหนักมากกว่าผ้าทอแนวด้ายพุ่ง และทำให้ผ้ามีสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งมากกว่าและสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งแปรผันตามน้ำหนักผ้าด้วย สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอแนวด้ายยืนหลังซักมีค่าเพิ่มขึ้นจากความแข็งกระด้างของผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ (ถ้าสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งหรือ flexural rigidity มีค่ามากแสดงว่าผ้ามีความแข็งกระด้างสูง ดูภาพที่ 4.28, 4.30 และ 4.32) นั่นแสดงว่าการซักล้างผ้าด้วยสารซักฟอกที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสมทำให้ผ้ามีความแข็งกระด้างมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามกลับพบว่าสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอแนวด้ายพุ่งหลังซักมีค่าไม่แตกต่างไปจากสภาพแข็งเกร็งดัดโค้งของผ้าทอก่อนเปื้อนคราบ (ดูภาพที่ 4.29, 4.31 และ 4.33)

จากผลการซักผ้าเปื้อนคราบทั้งหมดนี้ สามารถสรุปได้ว่าการซักล้างผ้าฝ้ายเปื้อนคราบน้ำมันปาล์มอย่างมีประสิทธิภาพสามารถกระทำได้โดยใช้สารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดนี้ เนื่องจากได้ผ้าที่สะอาดมีความขาวกลับมาเหมือนเดิมก่อนเปื้อนคราบ ผ้าสูญเสียความแข็งแรงไปในระดับที่ยอมรับได้ และถ้าคราบถูกทิ้งไว้บนผ้านานขึ้นเช่น ทิ้งไว้ 2 วันก่อนซัก การซักคราบให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นอีกอาจจำเป็นต้องใช้สารซักฟอก 3 ชนิดที่ผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme สำหรับการซักล้างเพราะให้ผ้าหลังซักมีความขาวมากขึ้นอีก

4.2 ผลการซักผ้าขึ้นขนที่ภาวะการซักที่เหมาะสม

ผ้าขึ้นขนในงานวิจัยนี้เป็นผ้าถักย้อมสีเทาและถูกทำให้มีปริมาณขนระดับ 3 (ปริมาณปานกลาง) โดยใช้เครื่อง ICI pilling box จากนั้นผ้าถูกซักด้วยสารซักฟอก 3 ชนิด (ที่มีค่าพีเอชต่างกัน) ที่ผสมและไม่ผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ที่ภาวะที่เหมาะสม หลังการซักผ้าถูกตรวจหาระดับการขึ้นขน ความแข็งแรงด้านความต้านแรงดันทะลุ และร้อยละของน้ำหนักผ้าที่หายไป แสดงผลดังต่อไปนี้

4.2.1 **ระดับการขึ้นขนของผ้า**

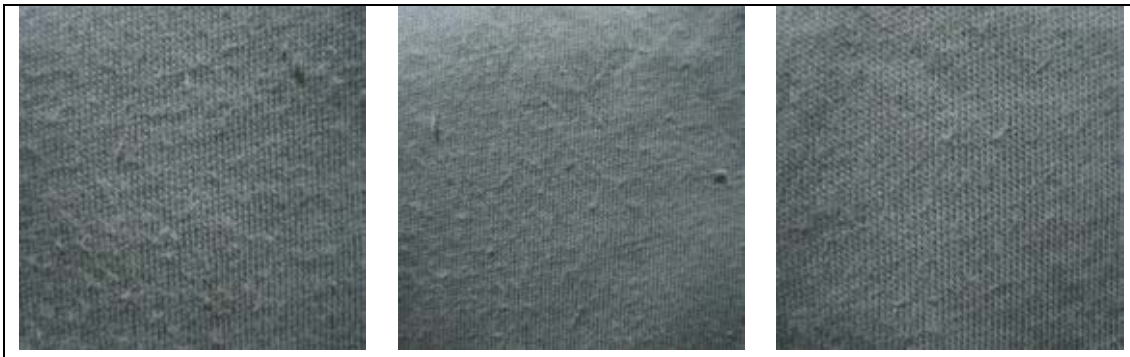
หลังการซักผ้าถักขึ้นขนด้วยสารซักฟอกที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม นำรูปภาพมาตรฐานแสดงระดับการขึ้นขน 5 ระดับของผ้าถักชั้นเดียว (single jersey) มาเทียบกับผ้าขึ้นขนก่อนและหลังซัก แสดงผลในภาพที่ 4.34-4.36 ดังนี้

ผ้าขึ้นขนก่อนซัก (ขึ้นขนระดับ 3) | ผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 (ขึ้นขนระดับ 4) | ผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ผสมเอนไซม์ (ขึ้นขนระดับ 4)

ภาพที่ 4.34 ภาพถ่ายแสดงผ้าขึ้นขนก่อนซักและหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36

ผ้าขึ้นขนก่อนซัก (ขึ้นขนระดับ 3) | ผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 (ขึ้นขนระดับ 4) | ผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ผสมเอนไซม์ (ขึ้นขนระดับ 5)

ภาพที่ 4.35 ภาพถ่ายแสดงผ้าขึ้นขนก่อนซักและหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85



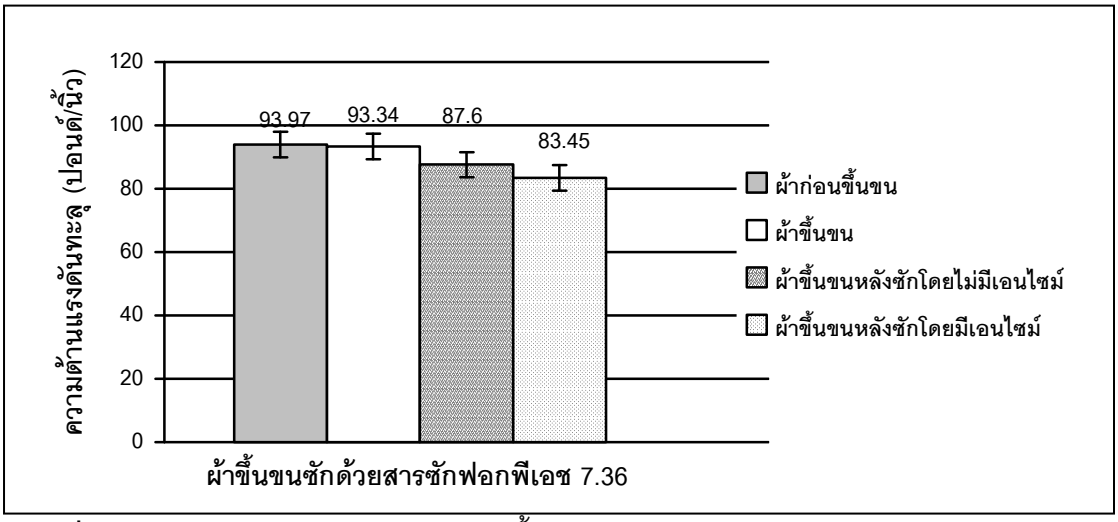
ผ้าขึ้นขนก่อนซัก (ขึ้นขนระดับ 3) ผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 (ขึ้นขนระดับ 4) ผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ผสมเอนไซม์ (ขึ้นขนระดับ 4)

ภาพที่ 4.36 ภาพถ่ายแสดงผ้าขึ้นขนก่อนซักและหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26

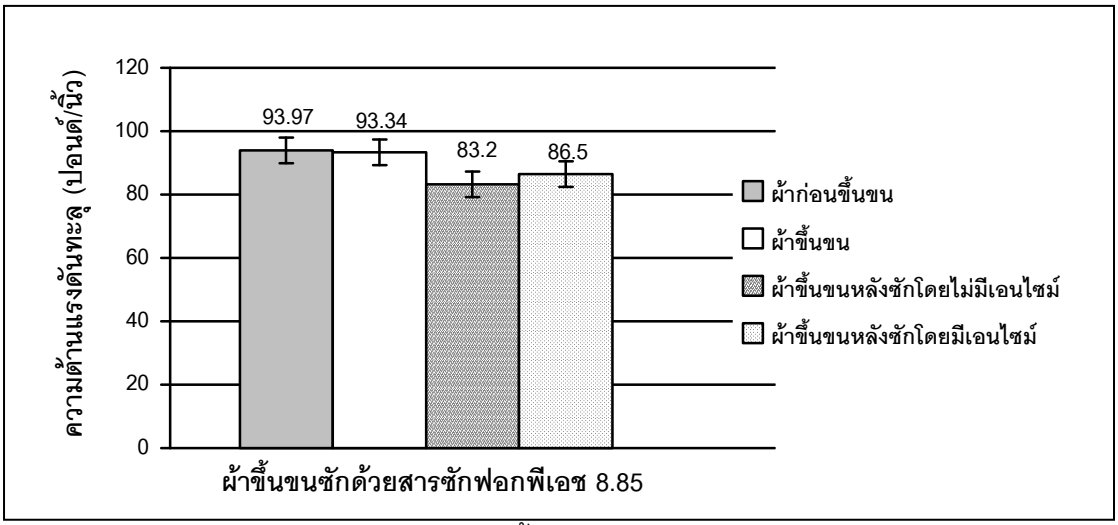
ภาพที่ 4.34-4.36 แสดงผ้าขึ้นขนก่อนและหลังซักด้วยสารซักฟอกที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสมพบว่า เมื่อนำผ้าขึ้นขนก่อนซักไปเทียบกับรูปภาพมาตรฐานแสดงการขึ้นขน 5 ระดับ ผ้าขึ้นขนก่อนซักมีระดับการขึ้นขนเทียบเท่าระดับ 3 คือปริมาณขนและเม็ดระดับปานกลาง (ผ้าซ้ายสุดของภาพที่ 4.34-4.36) เมื่อนำผ้าขึ้นขนระดับ 3 ไปซักด้วยสารซักฟอก 3 ชนิดที่ไม่มีเอนไซม์ผสม ผ้าจะมีระดับการขึ้นขนเทียบเท่าระดับ 4 คือปริมาณขนและเม็ดระดับน้อย (ผ้าตรงกลางของภาพที่ 4.34-4.36) และเมื่อนำผ้าขึ้นขนระดับ 3 ไปซักด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 8.85 ผสมเอนไซม์ Carezyme ผ้าจะมีระดับการขึ้นขนเทียบเท่าระดับ 5 คือปริมาณขนและเม็ดระดับน้อยมาก (ผ้าขวาสุดของภาพที่ 4.35) ส่วนเมื่อนำผ้าขึ้นขนระดับ 3 ไปซักด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 7.36 และ 11.26 ผสมเอนไซม์ Carezyme ผ้าจะมีระดับการขึ้นขนเทียบเท่าระดับ 4 คือปริมาณขนและเม็ดระดับน้อย (ผ้าขวาสุดของภาพที่ 4.34 และ 4.36) นั่นแสดงว่าการซักผ้าฝ้ายถักขึ้นขนด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 8.85 ผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme สามารถช่วยกำจัดขนบนผ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นกว่าการซักโดยใช้สารซักฟอกเพียงอย่างเดียว เพราะได้ผ้าหลังซักที่มีผิวเรียบขึ้นดูสะอาดขึ้นกว่าเดิม ดูสีสดใสขึ้นและผิวสัมผัสนุ่มขึ้นกว่าเดิม ส่วนการซักผ้าฝ้ายถักขึ้นขนด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 7.36 และ 11.26 ผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ทำให้ผ้ามีการขึ้นขนระดับเดียวกับการซักด้วยสารซักฟอกเพียงอย่างเดียว อาจเนื่องมาจาก เอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ไม่เหมาะกับสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 7.36 และ 11.26

4.2.2 **ความแข็งแรงด้านความต้านแรงดันทะลุของผ้า**

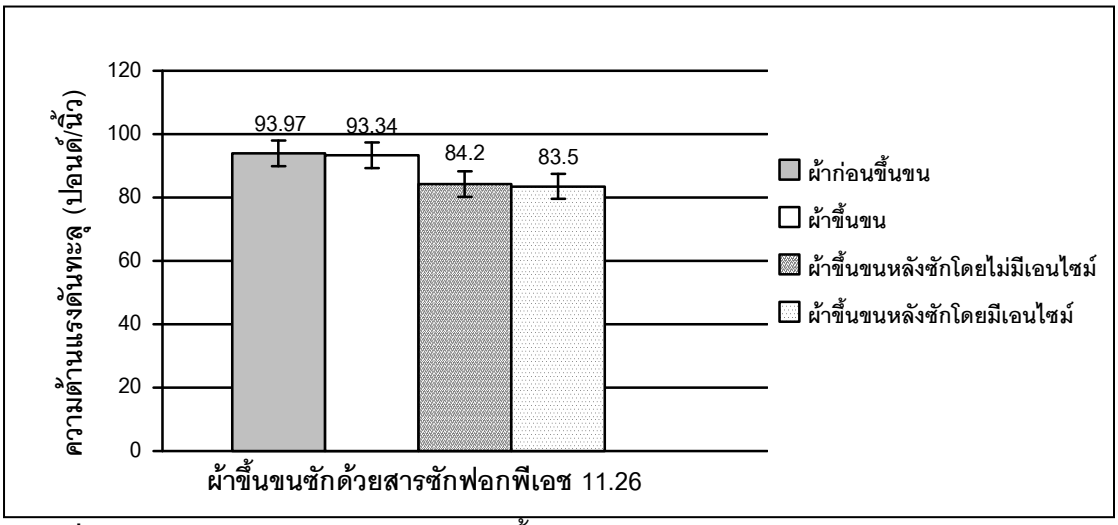
หลังการซักผ้าถักขึ้นขนด้วยสารซักฟอกที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม ผ้าถูกทดสอบความแข็งแรงด้านความต้านแรงดันทะลุด้วยเครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุ แสดงผลในภาพที่ 4.37-4.39 ดังนี้



ภาพที่ 4.37 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 เทียบกับผ้าถักก่อนขึ้นขนและผ้าถักขึ้นขน



ภาพที่ 4.38 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 เทียบกับผ้าถักก่อนขึ้นขนและผ้าถักขึ้นขน

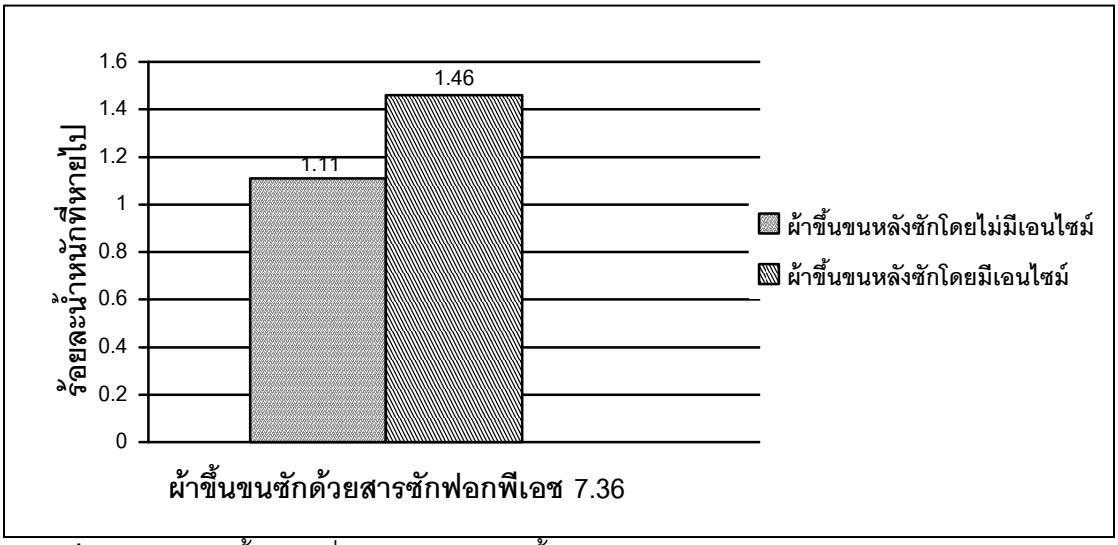


ภาพที่ 4.39 ความต้านแรงดันทะลุของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 เทียบกับผ้าถักก่อนขึ้นขนและผ้าถักขึ้นขน

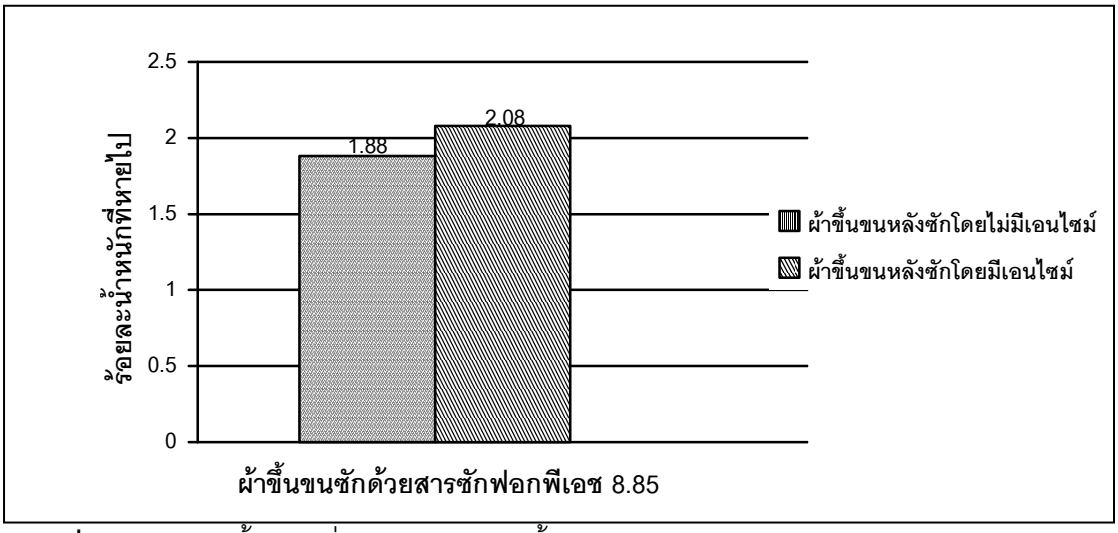
จากภาพที่ 4.37-4.39 จะพบว่าผ้าก่อนขึ้นขนมีค่าความต้านแรงดันทะลุ 93.97 ปอนด์ต่อนิ้ว เมื่อผ้าถูกทำให้ขึ้นขน (จากการขัดถู) ความต้านแรงดันทะลุของผ้าจะลดลงเพียงเล็กน้อย (แทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิม) แต่เมื่อผ้าขึ้นขนถูกนำไปซักด้วยสารซักฟอกที่มีและไม่มีเอนไซม์ ผ้าจะมีความต้านแรงดันทะลุลดลงหรือมีความแข็งแรงลดลงมากขึ้น โดยผ้าขึ้นขนหลังซักมีความต้านทานแรงดันทะลุลดลงร้อยละ 6.78 และ 11.20 จากผ้าก่อนขึ้นขน สำหรับการซักด้วยสารซักฟอก พีเอช 7.36 ที่ไม่มีและมีเอนไซม์ผสม (ภาพที่ 4.37), ลดลงร้อยละ 11.46 และ 7.95 จากผ้าก่อนขึ้นขน สำหรับการซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ที่ไม่มีและมีเอนไซม์ผสม (ภาพที่ 4.38) และลดลงร้อยละ 10.40 และ 11.14 จากผ้าก่อนขึ้นขน สำหรับการซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ที่ไม่มีและมีเอนไซม์ผสม (ภาพที่ 4.39) เนื่องจากการซักด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์จะช่วยกำจัดขนบนผ้าออกไปและทำให้ผ้ามีความแข็งแรงลดลงบ้าง

4.2.3 **ร้อยละของน้ำหนักผ้าที่หายไป**

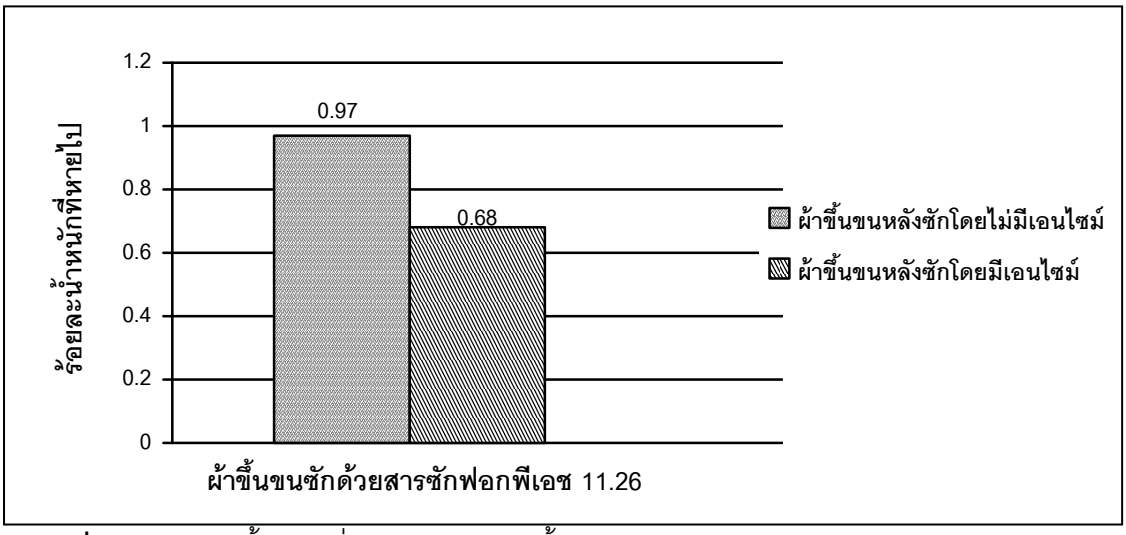
หลังซักผ้าถักขึ้นขนด้วยสารซักฟอกที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม ผ้าถูกชั่งหาน้ำหนักที่หายไป โดยใช้เครื่องชั่งน้ำหนักระบบอินฟราเรด โดยแสดงผลในภาพที่ 4.40-4.42 ดังนี้



ภาพที่ 4.40 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม



ภาพที่ 4.41 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม



ภาพที่ 4.42 ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม

จากภาพที่ 4.40-4.42 แสดงร้อยละน้ำหนักที่หายไป (เทียบกับน้ำหนักผ้าขึ้นขนก่อนซัก) ของผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36, 8.85 และ 11.26 ที่มีและไม่มีเอนไซม์ผสม พบว่าผ้าหลังซักมีน้ำหนักลดลงไปราวร้อยละ 1-2 จากผ้าก่อนซัก โดยมีแนวโน้มลดลงมากขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อซักผ้าด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์เซลลูเลสผสม เนื่องจากเอนไซม์เซลลูเลสจะช่วยกำจัดขนบนผ้าฝ้ายให้หลุดออกมากขึ้น

จากผลการทดลองการซักผ้าฝ้ายถักขึ้นขนด้วยสารซักฟอก 3 ชนิดที่มีพีเอชต่างกันตั้งแต่ 7.36, 8.85 และ 11.26 โดยมีและไม่มีเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ผสม สรุปได้ว่า การซักกำจัดขนบนผ้าฝ้ายด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์ Carezyme ผสมจะช่วยให้สามารถกำจัดขนได้ผลดีขึ้นกว่าการซักกำจัดขนบนผ้าฝ้ายโดยใช้สารซักฟอกอย่างเดียว เนื่องจากได้ผ้าที่เรียบสะอาดกว่า สีสดใสกว่าและนุ่มกว่า น้ำหนักผ้าหายไปเพียงเล็กน้อย และความแข็งแรงลดลงในระดับที่ยอมรับได้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองและการวิจารณ์ผลการทดลองดังแสดงไว้ในบทที่ 4 สามารถสรุปผลการทดลองและมีข้อเสนอแนะ ดังต่อไปนี้

1.การซักล้างผ้าฝ้าย (ที่ใช้ในงานวิจัยนี้) เปื้อนคราบน้ำมันปาล์มอย่างมีประสิทธิภาพสามารถกระทำได้โดยใช้สารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดนี้ เนื่องจากได้ผ้าหลังซักที่สะอาดมีความขาวกลับมาเหมือนเดิมก่อนเปื้อนคราบน้ำมัน ผ้าสูญเสียความแข็งแรงไปในระดับที่ยอมรับได้ และถ้าคราบถูกทิ้งไว้บนผ้านานขึ้น เช่น ทิ้งไว้ 2 วันก่อนซัก การซักผ้าเปื้อนคราบให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นอีก อาจจำเป็นต้องใช้สารซักฟอก 3 ชนิดที่ผสมเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme สำหรับการซักล้างเพราะให้ผ้าหลังซักที่มีความขาวมากกว่าการซักด้วยสารซักฟอกเพียงลำพัง แรงดึงขาดแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่งของผ้าทอหลังซักทั้งหมดมีค่าลดลงร้อยละ 9.02-52.12 และ 1.75-42.58 ตามลำดับ อาจเป็นเพราะการซักผ้าด้วยสารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดที่มีและไม่มีเอนไซม์ต่างทำให้ผ้าทอทนต่อแรงดึงขาดน้อยลงหรือแสดงว่าผ้าหลังซักมีความแข็งแรงลดลง เนื่องจากการซักผ้าทำให้เส้นใยหลุดออกจากผ้า ผ้าจึงมีความแข็งแรงลดน้อยลง การยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่งของผ้าทอหลังซักทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.76-56.17 และ 30.57-53.7 ตามลำดับ อาจเป็นเพราะการซักผ้าด้วยสารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดที่มีและไม่มีเอนไซม์ ต่างทำให้ผ้าทอยืดตัวได้มากขึ้นก่อนขาดหรือแสดงว่าผ้าหลังซักมีความยืดหยุ่นมากขึ้น เนื่องจากเมื่อผ้าทอถูกซักล้าง เส้นใยในผ้าจะพองตัวด้วยน้ำและความเครียดของผ้าลดลง ทำให้ผ้ามีความยืดหยุ่นมากขึ้นไม่แข็งตึงเหมือนผ้าก่อนซักล้าง และเมื่อซักผ้าถักเปื้อนคราบด้วยสารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดที่มีและไม่มีเอนไซม์ ความแข็งแรงของผ้าถักเปื้อนคราบแทบไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากผ้าก่อนเปื้อนคราบ

2. การซักผ้าฝ้าย (ที่ใช้ในงานวิจัยนี้) ขึ้นขน ด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 7.36, 8.85 และ 11.26 โดยมีและไม่มีเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ผสม สรุปได้ว่าการซักกำจัดขนบนผ้าฝ้ายด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 8.85 ผสมเอนไซม์ Carezyme จะช่วยให้สามารถกำจัดขนได้ผลดีขึ้นกว่าการซักกำจัดขนบนผ้าฝ้ายโดยใช้สารซักฟอกอย่างเดียว เนื่องจากได้ผ้าที่เรียบสะอาดกว่า สีสดใสกว่าและนุ่มกว่า การซักผ้าขึ้นขนด้วยสารซักฟอกที่มีค่าพีเอช 7.36 และ 11.26 ทำให้ผ้ามีระดับการขึ้นขนระดับเดียวกับการซักด้วยสารซักฟอกเพียงอย่างเดียวอาจเนื่องมาจากเอนไซม์แอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส Carezyme ไม่เหมาะกับสารซักฟอกที่มีค่า พีเอช 7.36 และ 11.26 น้ำหนักที่หายไปของผ้าหลังซักทั้งหมดมีค่าราวร้อยละ 1-2 และเมื่อซักผ้าขึ้นขนด้วยสารซักฟอกทั้ง 3 ชนิดที่มีและไม่มีเอนไซม์ ความแข็งแรงของผ้าหลังซักทั้งหมดมีค่าลดลงราวร้อยละ 7.95-11.20 และ 6.78-11.46 ตามลำดับ เนื่องมาจากการซักด้วยสารซักฟอกที่มีเอนไซม์และไม่มีเอนไซม์จะช่วยกำจัดขนบนผ้าออกไปได้บ้างและทำให้ผ้ามีความแข็งแรงลดลงบ้าง

ข้อเสนอแนะ

1. การเลือกใช้สารซักฟอกในการทดลองการซักคราบออกจากผ้าอาจเลือกใช้สารซักฟอกที่ไม่มีส่วนผสมของสาร OBA (optical brightening agent) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการซักล้างคราบด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว อย่างไรก็ตามสารซักฟอกที่จำหน่ายในท้องตลาดปัจจุบันมักมีองค์ประกอบของสาร OBA ผสมอยู่เสมอ

2. การเลือกใช้ชนิดของคราบสิ่งสกปรกสำหรับการทดลองการซักคราบ อาจเลือกใช้คราบอื่นๆ เช่น คราบน้ำมันเครื่อง คราบหมึกหรือคราบเครื่องดื่มที่มีสี

รายการอ้างอิง

[1] ขจีจรัส ภิรมย์ธรรมศิริ และคณะ. 2549. เส้นใยธรรมชาติ. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[2] วีระศักดิ์ อุดมกิจเดชา. 2542. วิทยาศาสตร์เส้นใย. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[3] มณฑา จันทร์เกตุเลี้ยด. 2541. วิทยาศาสตร์สิ่งทอเบื้องต้น. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร.

[4] Obendrof. 2002. S. K. Microscopy to define soil, fabric and detergent formulation characteristics that affect detergency. Proceedings of the Annual International Conference Exhibition of the American Association of Textile Chemists and Colorists, 277-285.

[5] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2549. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ผงซักฟอก. มอก. 78-2549.

[6] Jakobi, G. and Lohr, A. 1987. Detergent and Textile Washing. New York: VCH Publishers, 248p.

[7] Lange, K.R. 1994. Detergent and Cleaners. New York: Hanser Publishers. 276p.

[8] อารัมภ์รัตน์ รัชดานุรักษ์. 2542. ผงซักฟอก วัตถุดิบ และส่วนประกอบ. วารสารจาร์พา ฉบับที่ 30 เดือนกันยายน - ตุลาคม 2542.

[9] Pithayanukul, P. 1984. Surfactant Technology Part1, Classification structure and general properties of surfactant. Journal of Pharmceutical Sciences. Mahidol University: Apr.–Jun. 11(2): 46-49.

[10] เปี่ยมสุข พงษ์สวัสดิ์. 2552. เอนไซม์ดัดแปรคาร์โบไฮเดรตในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาชีวเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[11] Nelson, DL. and Cox, MM. 2000. Lehninger Principles of Biochemistry, 3th ed. New York: Worth Publishers, pp. 182-193, 243-270.

[12] Berg, JM. Tymoczko, JL. and Stryev, L. 2002. Biochemistry. 5th ed. New York: W.H. freeman and company, Chapter 3, 8.

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

[14] 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.

[15] Stryer, L. 1995. Biochemistry 4th ed. New York: W. H. Freeman and Company.

[16] Walsh, C. Proteases: Hydrolysis of Peptide Bonds: Specificity and Mechanism. From: http://www.jiaowu.buct.edu.cn/Courseware/Harvard/BCMP201/pdf/ctw_proteases1.pdf.

[17] Hoshino, E., Chiwaki, M., Suzuki, A. and Murata, M. 2000. Improvement of cotton cloth soil removal by inclusion of alkaline cellulase from *Bacillus* sp. KSM-635 in detergent. Journal of Surfactants and Detergents. 3(3): 317-326.

[18] Bund, R. K. and Singhal, R. S. 2002.Chemical modification of cellulase by maleicanhydride and n-bromosuccinimide for improved detergent stability. Journal of Surfactants and Detergents. 5(1): 1-4.

[19] Hemachander, C. and Puvanakrishnan, R. 2000. Lipase from *Ralstonia pickettii* as an additive in laundry detergent formulations. Process Biochemistry. 35: 809-814.

[20] Shikata, S., Saeki, K., Okoshi, H., Yoshimatsu, T., Ozaki, K., Kawai, S. and Ito, S. 1990. Alkaline cellulase for laundry detergent: production by alkalophilic Strains of *Bacillus* and some properties of the crude enzymes. Agricultural Biology and Chemistry. 54(1): 91-96.

[21] ASTM D 3511-76, Standard Test Method for Pilling Resistance and Other Related Surface Changes of Textile Fabrics: Brush Pilling Tester

ภาคผนวก

\

ภาคผนวก ก

ดัชนีความขาว

ภาคผนวก ก
ดัชนีความขาว

ตารางที่ ก1. ดัชนีความขาว ผ้าทอเปื้อนคราบ ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						138.89
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						131.53
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	139.4	139.25	139.12	139.25
		45	140.4	140.34	-	140.37
		60	140.99	140.82	140.89	140.9
	มีเอนไซม์	30	139.46	140.09	139.41	139.65
		45	140.51	140.45	-	140.48
		60	141.32	141.46	141.3	141.36
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						138.22
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						136.04
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	141.92	141.96	141.99	141.95
		45	143.53	143.55	-	143.54
		60	143.92	143.94	143.97	143.94
	มีเอนไซม์	30	142.7	142.53	142.47	142.56
		45	142.8	142.84	-	142.82
		60	144.2	143.88	144.01	144.03
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						138.94
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						131.56
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	140.73	140.57	140.75	140.68
		45	141.23	141.5	-	141.36
		60	141.3	141.3	141.44	141.34
	มีเอนไซม์	30	140.89	140.48	140.76	140.71
		45	141.86	141.34	-	141.6
		60	141.91	142.13	141.7	141.91

ตารางที่ ก2. ดัชนีความขาว ผ้าทอเปื้อนคราบ ซึ่งทิ้งคราบไว้สองวันก่อนซัก

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						135.01
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						129.74
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	136.93	137.08	136.88	136.93
		45	136.74	137.12	-	136.96
		60	137.15	137.44	137.22	137.27
	มีเอนไซม์	30	137.72	137.66	137.61	137.66
		45	137.93	137.94	-	137.935
		60	138.54	138.53	138.48	138.48
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						135.83
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						130.44
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	141.92	140.36	139.88	140.705
		45	140.23	141.18	-	140.25
		60	141.63	141.52	141.8	141.65
	มีเอนไซม์	30	141.34	141.28	141.13	141.25
		45	142.6	142.49	-	142.54
		60	142.4	142.16	142.33	142.54
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						136.14
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						126.83
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	135.99	135.92	135.75	135.88
		45	136.14	136.25	-	136.19
		60	136.61	136.65	136.32	136.52
	มีเอนไซม์	30	135.46	136.95	135.81	136.07
		45	136.47	136.5	-	136.48
		60	137.08	137.01	137.25	137.11

ตารางที่ ก3. ดัชนีความขาว ผ้าถักเปื้อนคราบ ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมง

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						78.67
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						75.09
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	78.31	78.42	78.27	78.33
		45	78.4	78.53	-	78.46
		60	78.63	78.95	78.98	78.85
	มีเอนไซม์	30	78.42	78.4	78.36	78.39
		45	78.73	78.81	-	78.77
		60	79.11	78.92	78.8	78.94
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						83.61
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						76.79
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	83.77	85.85	85.41	85.01
		45	86.31	86.37	-	86.34
		60	86.1	86.2	86.74	86.35
	มีเอนไซม์	30	85.54	85.72	85.84	85.7
		45	86.52	86.79	-	86.65
		60	88.56	87.28	87.12	87.65
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						79.53
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						76.33
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	78.05	78.23	78.38	78.22
		45	78.56	78.44	-	78.5
		60	78.96	78.78	78.86	78.86
	มีเอนไซม์	30	78.56	78.34	78.49	78.46
		45	78.57	78.76	-	78.66
		60	79.12	78.87	79.11	79.03

ตารางที่ ก4. ดัชนีความขาว ผ้าถักเปื้อนคราบ ซึ่งทิ้งคราบไว้สองวันก่อนซัก

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						83.26
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						77.31
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	82.24	81.26	81.33	81.61
		45	83.2	82.3	-	82.75
		60	83.3	82.5	84.1	83.3
	มีเอนไซม์	30	81.35	83.45	82.37	82.29
		45	82.45	83.35	-	82.9
		60	82.1	84.1	84.03	83.41
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						83.88
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						76.91
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	84.21	83.32	84.16	83.89
		45	85.99	85.33	-	85.55
		60	86.28	85.1	85.27	85.66
	มีเอนไซม์	30	85.42	85.97	87.07	86.15
		45	87.13	87.02	-	87.07
		60	86.7	87.3	87.51	87.17
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ						85.1
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก						80.17
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	82.35	84.35	83.23	83.31
		45	85.3	84.6	-	84.95
		60	85.01	83.02	87	85.01
	มีเอนไซม์	30	85.2	83.3	85.35	84.95
		45	84.09	86.07	-	85.08
		60	85.01	86	84.01	85.34

ภาคผนวก ข
แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด

ภาคผนวก ข
แรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด

ตารางที่ ข1. แรงดึงขาด ด้ายพุ่ง/ด้ายยืน blank

แรงดึงขาด ด้ายพุ่ง/ด้ายยืน blank	
พุ่ง	94.28
ยืน	121.1

ตารางที่ ข2. ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด ด้ายพุ่ง/ด้ายยืน blank

ร้อยละการยืดตัวที่จุดขาด ด้ายพุ่ง/ด้ายยืน blank			
ระยะเริ่มต้น (มิลลิเมตร)		ระยะยืดตัวที่จุดขาด (มิลลิเมตร)	% elongation
75	พุ่ง	17.32	23.09
	ยืน	7.05	9.4

ตารางที่ ข3. แรงดึงขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	52.07	48.44	68.34	46.17
45	49.4	53.64	63.31	48.1
60	63.2	68.35	54.13	57.52
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	79.73	60.1	109.86	77.4
45	90.8	66.05	104.8	60.94
60	77.22	60.56	105.89	98.18

ตารางที่ ข4. ระยะยืดตัวที่จุดขาดขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36
ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	24.06	23.83	25.25	24.63
45	22.88	24.34	23.57	24.22
60	23.24	21.78	24.93	22.61
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	8.35	10.21	10.15	10.27
45	6.54	9.28	8.37	9.81
60	7.91	9.27	9.86	10.14

ตารางที่ ข5. แรงดึงขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ทิ้งคราบไว้สองวันก่อนซัก

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	70.96	85.89	60.75	70.63
45	56.88	82.04	77.23	98.74
60	68.06	70.73	67.77	46.03
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	85.72	104.89	77.89	89.32
45	70.51	96.95	63.99	75.89
60	103.01	79.9	80.61	52.24

ตารางที่ ข6. ระยะยืดตัวที่จุดขาดขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ทิ้งคราบไว้สองวันก่อนซัก

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	20.93	22.09	22.09	23.22
45	23.47	21.44	26.16	23.86
60	23.14	20.26	23.61	22.33
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	8.45	6.9	8.83	7.91
45	10.41	8.62	10.22	9.75
60	7.34	9.92	7.83	10.43

ตารางที่ ข7. แรงดึงขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	105.23	100.81	71.89	87.46
45	84.39	95.09	67.77	103.3
60	117.77	82.36	92.63	72.76
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	77.65	114.18	57.82	88.5
45	95.15	94.28	85.48	84.74
60	116	103.91	110.18	94.73

ตารางที่ ข8. ระยะยืดตัวที่จุดขาดขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	22.11	25.77	23.23	26.65
45	23.64	23.72	23.62	26.02
60	26.26	26	26.58	26.62
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	11.07	12.04	10.92	12.65
45	8.52	8.05	8.93	11.01
60	8.12	8.63	8.93	10.07

ตารางที่ ข9. แรงดึงขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ทิ้งคราบไว้สองวันก่อนซัก

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	95.14	71.03	61.19	67.41
45	86.06	89.3	50.86	63.37
60	80.11	92.25	63.62	50.26
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	84.56	95.12	77.9	86.57
45	104.41	85.02	101.88	76.56
60	94.03	94.2	100.57	94.03

ตารางที่ ข10. ระยะยืดตัวที่จุดขาดขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ทิ้งคราบไว้สองวันก่อนซัก

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	23.22	23.71	24.21	23.89
45	22.7	23.41	25.36	25.02
60	24.26	23.34	25.48	25.5
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	4.38	6.96	8.79	8.89
45	7.17	7.11	8.45	9.7
60	7.61	8.66	8	10.35

ตารางที่ ข11. แรงดึงขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	104.77	62.51	69.5	47.01
45	89.14	80.52	80.11	63.28
60	100.56	54.64	79.42	74.53
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	121.07	93.68	84.2	61.24
45	75.56	91.34	61.38	56.12
60	85.57	82.15	66.17	57.98

ตารางที่ ข12. ระยะยืดตัวที่จุดขาดขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	21.89	22.04	24.3	23.61
45	21.05	24.1	21.9	24.92
60	21.88	25.23	23.24	25.54
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	10.62	8.5	14.18	11.39
45	8.45	8.78	8.85	10.17
60	6	8.26	7.25	9.83

ตารางที่ ข13. แรงดึงขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ทิ้งคราบไว้สองวันก่อนซัก

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	61.07	53.83	49.51	46.06
45	69.57	59.68	62.02	27.09
60	60.55	49.64	34.92	37.49
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก แรงดึงขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	74.54	71.28	53.99	66.74
45	86.48	76.37	83.01	93.72
60	76.15	73.69	68.97	53.35

ตารางที่ ข14. ระยะยืดตัวที่จุดขาดขาดด้ายยืน/พุ่ง ซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ทิ้งคราบไว้สองวันก่อนซัก

ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายพุ่ง				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	25	24	26.22	24.72
45	23.57	24.41	24.19	27.1
60	23.64	26.4	25.06	26.93
ผ้าทอเปื้อนคราบก่อนและหลังซัก ระยะยืดตัวที่จุดขาดแนวด้ายยืน				
เวลาในการซัก (นาที)	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกอย่างเดียว	ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอก + เอนไซม์
30	9.35	9.13	10.28	9.37
45	8.66	9.09	9.06	9.9
60	8.56	8.58	8.81	9.6

ภาคผนวก ค
ความต้านแรงดันทะลุ

ภาคผนวก ค
ความต้านแรงดันทะลุ

ตารางที่ ค1. ความต้านแรงดันทะลุ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ (blank) ซึ่งเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมงก่อนซัก

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ			67.8	68.6	67	67.8	0.8
ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	66.4	62	57.6	62	4.4
		45	59.3	62.1	-	60.7	1.97
		60	65.3	60.2	54.4	59.96	5.45
	มีเอนไซม์	30	65.3	65.2	62.7	64.4	1.47
		45	64.8	61.5	-	63.15	2.33
		60	58.4	64.5	64.7	62.53	3.58
ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	63.9	64.7	61.6	63.4	1.6
		45	59.2	61.2	-	60.2	1.41
		60	57.9	55	61.1	58	3.05
	มีเอนไซม์	30	57.7	59.9	55	57.53	2.45
		45	62.9	60.6	-	61.75	1.62
		60	63.4	60.8	63.1	62.43	1.42
ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	51.4	57.1	-	54.25	4.03
		45	51.5	59.9	53.4	54.93	4.40
		60	61.6	54.3	56.7	57.53	3.72
	มีเอนไซม์	30	58.1	59.8	-	58.95	1.20
		45	55.5	56.4	59.1	57	1.87
		60	51.4	57.1	-	54.25	4.03

ตารางที่ ค2. ความต้านแรงดันทะลุ ผ้าถักก่อนเปื้อนคราบ (blank) ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 ก่อนซัก

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ			67.8	68.6	67	67.8	0.8
ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	62.1	62.2	58.3	60.8	2.22
		45	64.9	60.6	-	62.75	3.04
		60	62.1	59.6	60.2	60.63	1.30
	มีเอนไซม์	30	57.4	62.9	60	60.1	2.75
		45	62.8	57.9	-	60.35	3.46
		60	61.5	59.6	59	60.03	1.30
ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	60.9	61.2	57.8	59.96	1.88
		45	63.8	63.8	-	63.8	0
		60	57.9	64.1	56	59.33	4.23
	มีเอนไซม์	30	66	58.4	62.1	62.16	3.80
		45	63.2	65.1	-	64.15	1.34
		60	62.5	55.3	63.1	60.3	4.34
ผ้าก่อนเปื้อนคราบซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	61.8	60.3	59.9	60.66	1.0
		45	60.4	57.6	-	59	1.97
		60	61.2	57	58.7	58.96	2.11
	มีเอนไซม์	30	67.3	59.6	60.1	62.33	4.3
		45	63.7	59.7	-	61.7	2.81
		60	60.2	62.9	62.6	61.9	1.47

ตารางที่ ค3. ความต้านแรงดันทะลุ ผ้าถักเปื้อนคราบ ซึ่งเปื้อนคราบ 1 ชั่วโมงก่อนซัก

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
ผ้าเปื้อนคราบก่อนซัก			67.8	68.6	67	67.8	0.8
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	67.5	66.5	69.4	67.8	1.47
		45	6.66	67.8	-	67.2	0.84
		60	68.4	62.9	70.2	67.16	3.8
	มีเอนไซม์	30	65.2	64	66.1	65.1	1.05
		45	69.1	68.2	-	68.65	0.63
		60	64.3	71.6	73.4	69.76	4.81
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	60.9	63.55	62.9	62.43	1.38
		45	66.1	68.5	-	67.3	1.69
		60	64.2	66.3	65.1	65.2	1.05
	มีเอนไซม์	30	59.4	62.1	61.3	60.8	1.6
		45	63.9	62.3	-	63.1	1.13
		60	66.5	67.3	66.3	66.7	0.52
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	64.15	66.5	66.4	65.9	1.32
		45	65	65.1	-	65.05	0.07
		60	57.9	66.1	66.5	63.5	4.85
	มีเอนไซม์	30	65.8	65.9	68.1	6.66	1.3
		45	69.5	65.8	-	67.65	2.61
		60	66.7	69	66.9	67.53	1.27

ตารางที่ ค4. ความต้านแรงดันทะลุ ผ้าถักเปื้อนคราบ ซึ่งทิ้งคราบไว้ 2 ก่อนซัก

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
ผ้าเปื้อนคราบ ก่อนซัก			67.8	68.6	67	67.8	0.8
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	114	102.9	110	108.96	5.62
		45	105	120.1	-	112.55	10.67
		60	113.3	110.8	107.9	110.66	2.7
	มีเอนไซม์	30	112.5	114.6	109.8	112.3	2.4
		45	115	118.6	-	116.8	2.54
		60	110.2	118.8	122.2	117.06	6.18
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	103.1	113.7	116.9	111.23	7.22
		45	115.9	121.1	-	118.5	3.67
		60	111.5	116.5	115.7	114.56	2.68
	มีเอนไซม์	30	112.2	120.1	105.1	112.46	7.5
		45	119.2	121.8	-	120.5	1.83
		60	105.4	113.5	105.3	108.06	4.7
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	119.5	106.5	112.4	112.8	6.5
		45	111.1	112.9	-	112	1.27
		60	112.7	110.9	112.4	112	0.96
	มีเอนไซม์	30	114.6	105	117.5	112.3	6.54
		45	111.9	106.6	-	109.25	3.74
		60	112.2	109.9	118.4	113.5	4.39

ตารางที่ ค5. แรงดันทะลุ ผ้าถักก่อนขึ้นขน

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
ผ้าถักก่อนขึ้นขน			95.1	94.5	92.21	93.97	1.56
ผ้าถักก่อนขึ้นขน ซักด้วยสาร ซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	94.4	97.3	98.2	96.63	1.98
		45	88.4	86.9	-	87.65	1.06
		60	93.4	90.2	88.4	90.66	2.53
	มีเอนไซม์	30	89.4	90.8	85.4	88.53	2.8
		45	94.7	94.5	-	94.6	0.14
		60	94	91.3	91.5	92.26	1.5
ผ้าถักก่อนขึ้นขน ซักด้วยสาร ซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	90.2	91.6	91.9	91.23	0.9
		45	91.4	87.9	-	89.65	2.47
		60	87.3	86.7	85.7	86.56	0.8
	มีเอนไซม์	30	87.2	83.9	89.3	86.8	2.72
		45	81.8	80.5	-	81.15	0.91
		60	82.7	84.6	81.2	82.83	1.7
ผ้าถักก่อนขึ้นขน ซักด้วยสาร ซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	91.5	89.4	90.5	90.46	1.05
		45	87.6	85.4	-	86.5	1.55
		60	89.1	92.3	91.1	90.83	1.61
	มีเอนไซม์	30	92.7	92.6	88.6	91.3	2.33
		45	86.1	89.1	-	87.6	2.12
		60	98.8	98.3	95.9	97.66	1.55

ตารางที่ ค6. แรงดันทะลุ ผ้าถักขึ้นขน

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	SD
ผ้าถักขึ้นขนก่อนซัก			95.1	94.5	92.21	93.34	1.52
ผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	89.2	90.1	89.7	89.6	0.45
		45	93.5	89.2	-	91.35	3.04
		60	86.6	87.6	88.6	87.6	1
	มีเอนไซม์	30	89.9	80.3	85.3	85.16	4.8
		45	93.5	88.2	-	90.85	3.74
		60	85	82.2	83.15	83.45	1.42
ผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	89.8	84.5	80.6	84.96	4.61
		45	84.8	83.5	-	84.15	0.91
		60	81.7	84.4	83.5	83.2	1.37
	มีเอนไซม์	30	86.3	82.4	82.2	83.63	2.31
		45	85.8	83	-	84.4	1.97
		60	86.5	85.3	87.7	86.5	1.2
ผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	86.2	82.6	86.8	85.2	2.27
		45	88.5	87.3	-	87.9	1.2
		60	84.5	83.8	84.3	84.2	0.36
	มีเอนไซม์	30	84.1	79.2	84.4	82.56	2.91
		45	90	88.5	-	89.25	1.06
		60	83.3	84.7	82.5	83.5	1.11

ภาคผนวก ง
สภาพแข็งเกร็งดัดโค้ง

ภาคผนวก ง
สภาพแข็งเกร็งดัดโค้ง

ตารางที่ ง1. สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งผ้าทอเปื้อนคราบ แนวด้ายยืน ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย (ซม.)	ความแข็งกระด้าง (มก. X ซม.)
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ			1.93	1.96	1.76	1.96	1.96	1.92	54.08
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	2.15	2	2.05	2	2.1	2.06	67.31
		45	1.95	2	1.95	2.15	2	2.01	62.52
		60	2	2.05	2.2	1.9	1.95	2.02	63.46
	มีเอนไซม์	30	2.1	2.05	2.05	2.1	2	2.06	67.31
		45	2.2	2.2	2.15	2	2.15	2.14	75.46
		60	2.1	2.25	2.15	2.1	2	2.12	73.36
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	2.05	2.1	2.1	2.15	2.1	2.1	71.30
		45	2.2	2.2	2.3	2.25	2.2	2.23	85.38
		60	2.3	2.25	2.15	2.25	2.2	2.23	85.38
	มีเอนไซม์	30	2.05	2.35	2.3	2.35	2.35	2.28	91.26
		45	2.25	2.3	2.4	2.5	2.25	2.34	98.65
		60	2.35	2.35	2.25	2.25	2.2	2.28	91.26
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	2.2	2.1	2.1	1.95	2.15	2.1	71.30
		45	2.05	2.15	2.1	2.15	2.1	2.11	72.33
		60	2.05	2.15	1.95	2.05	2.05	2.05	66.33
	มีเอนไซม์	30	2.15	2.25	2.25	2.2	2.15	2.2	81.98
		45	2.15	2.25	2.3	2.2	2.3	2.24	86.54
		60	2.25	2.25	2.2	2.2	2.15	2.21	83.11

ตารางที่ ง2. สภาพแข็งเกร็งดัดโค้งผ้าทอเปื้อนคราบ แนวด้ายพุ่ง ซึ่งซักหลังเปื้อนคราบ 1 ชม.

	เวลาในการซัก (นาที)		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ค่าเฉลี่ย (ซม.)	ความแข็งกระด้าง (มก. X ซม.)
ผ้าก่อนเปื้อนคราบ			1.4	1.41	1.41	1.32	1.41	1.39	20.68
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	1.4	1.45	1.45	1.4	1.4	1.42	22.04
		45	1.45	1.45	1.45	1.4	1.4	1.43	22.51
		60	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	21.12
	มีเอนไซม์	30	1.5	1.35	1.4	1.5	1.4	1.43	22.51
		45	1.4	1.3	1.25	1.2	1.4	1.31	17.31
		60	1.55	1.55	1.7	1.55	1.45	1.56	29.23
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	1.45	1.4	1.45	1.45	1.4	1.43	22.51
		45	1.5	1.5	1.5	1.45	1.4	1.47	24.45
		60	1.4	1.4	1.45	1.45	1.4	1.42	22.04
	มีเอนไซม์	30	1.5	1.45	1.45	1.45	1.45	1.46	23.96
		45	1.5	1.5	1.55	1.5	1.5	1.51	26.51
		60	1.45	1.45	1.55	1.45	1.45	1.47	24.45
ผ้าเปื้อนคราบหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	1.5	1.55	1.5	1.5	1.5	1.51	26.51
		45	1.45	1.5	1.45	1.35	1.45	1.44	22.99
		60	1.45	1.5	1.5	1.3	1.35	1.42	22.04
	มีเอนไซม์	30	1.35	1.35	1.4	1.5	1.4	1.4	21.12
		45	1.5	1.35	1.5	1.5	1.5	1.47	24.45
		60	1.55	1.5	1.5	1.4	1.5	1.49	25.47

ภาคผนวก จ
ร้อยละน้ำหนักที่หายไป

ภาคผนวก จ
ร้อยละน้ำหนักที่หายไป

ตารางที่ จ1. ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36 ที่ไม่มีและมีเอนไซม์

	เวลาในการซัก (นาที)		นน.ก่อนซัก	นน.หลังซัก	นน.ก่อน – นน.หลัง	% WL	% W เฉลี่ย
ผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 7.36	ไม่มีเอนไซม์	30	0.7115	0.7075	0.004	0.562	0.532
			0.6965	0.6925	0.004	0.574	
			0.652	0.649	0.003	0.460	
		45	0.7135	0.708	0.0055	0.770	0.778
			0.699	0.6935	0.0055	0.786	
		60	0.673	0.665	0.008	1.188	1.114
			0.68525	0.6785	0.00675	0.985	
			0.6835	0.6755	0.008	1.170	
	มีเอนไซม์	30	0.699	0.693	0.007	1.001	0.977
			0.7015	0.695	0.0065	0.926	
			0.6965	0.691	0.007	1.005	
		45	0.724	0.7165	0.0075	1.035	1.105
			0.723	0.7145	0.0085	1.175	
		60	0.739	0.7285	0.0105	1.420	1.454
			0.741	0.73	0.011	1.484	
			0.7165	0.706	0.0105	1.465	

ตารางที่ จ2. ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85 ที่ไม่มีและมีเอนไซม์

	เวลาในการซัก (นาที)		นน.ก่อนซัก	นน.หลังซัก	นน.ก่อน – นน.หลัง	% WL	% W เฉลี่ย
ผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 8.85	ไม่มีเอนไซม์	30	0.6495	0.64	0.0075	1.154	1.20
			0.7055	0.701	0.0085	1.204	
			0.685	0.678	0.0085	1.240	
		45	0.71	0.699	0.008	1.126	1.22
			0.7145	0.707	0.0095	1.329	
		60	0.7005	0.69	0.013	1.855	1.88
			0.6955	0.682	0.013	1.869	
			0.714	0.702	0.0135	1.899	
	มีเอนไซม์	30	0.7375	0.729	0.0085	1.152	0.928
			0.698	0.6925	0.0055	0.787	
			0.709	0.703	0.006	0.846	
		45	0.7185	0.7165	0.0115	1.6	1.549
			0.701	0.7145	0.0105	1.497	
		60	0.7265	0.7105	0.016	2.202	2.081
			0.755	0.7395	0.0155	2.052	
			0.722	0.7075	0.0145	2.008	

ตารางที่ จ3. ร้อยละน้ำหนักที่หายไปของผ้าขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26 ที่ไม่มีและมีเอนไซม์

	เวลาในการซัก (นาที)		นน.ก่อนซัก	นน.หลังซัก	นน.ก่อน – นน.หลัง	% WL	% W เฉลี่ย
ผ้าถักขึ้นขนหลังซักด้วยสารซักฟอกพีเอช 11.26	ไม่มีเอนไซม์	30	0.7045	0.702	0.0025	0.354	0.445
			0.7325	0.729	0.0035	0.477	
			0.6955	0.692	0.0035	0.503	
		45	0.7305	0.724	0.0065	0.889	0.394
			0.705	0.7015	0.0035	0.496	
		60	0.7005	0.693	0.0075	1.070	0.974
			0.666	0.6595	0.0065	0.975	
			0.652	0.651	0.001	0.153	
	มีเอนไซม์	30	0.731	0.727	0.004	0.547	0.612
			0.688	0.6835	0.0045	0.654	
			0.7065	0.702	0.0045	0.636	
		45	0.7265	0.7215	0.005	0.688	0.619
			0.725	0.721	0.004	0.551	
		60	0.714	0.709	0.005	0.700	0.684
			0.73	0.725	0.005	0.684	
			0.7345	0.7295	0.005	0.680	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพรเฉลิม นาคสุวรรณ เกิดเมื่อวันที่ 30 กรกฎาคม พ.ศ. 2529 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต วิศวกรรมเคมีสิ่งทอ สาขาวิชาการผลิตเส้นใยสังเคราะห์ ภาควิชาสิ่งทอ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ในปี พ.ศ.2551 หลังจากนั้น เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นในปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้นของปีการศึกษา 2554

การเสนอผลงานวิจัย ดังนี้

พรเฉลิม นาคสุวรรณ และ อุษา แสงวัฒนาโรจน์, การขจัดคราบและขนผ้าจากผ้าฝ้ายโดยการซักด้วยสารซักฟอกที่มีแอลคาไลน์เอนโดเซลลูเลส, การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 22: 6-7 ตุลาคม 2554, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร.