



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ)

ปริญญญา

เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ

วิทยาการสิ่งทอ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

การศึกษากระบวนการเตรียมผ้า การสังเคราะห์และการย้อมสีรีแอคทีฟ-ดิสเพิร์ส
บนผ้าถักผสมพอลิแลคติกแอซิด/ฝ้าย

Study of Pretreatment Processes, Reactive-Disperse Dyes Synthesis and
Application for Polylactic Acid/Cotton Knitted Fabric

นามผู้วิจัย นายอิสระ ณ พัทลุง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์พรทิพย์ แซ่เบ๊,วท.ด.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จันทร์ทิพย์ เศรษฐยานนท์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์กรทิพย์ วัชรปัญญาวงศ์ เตชะเมธีกุล, วท.ด.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษากระบวนการเตรียมผ้า การสังเคราะห์และการย้อมสีรีแอคทีฟ-ดิสเพิร์ส
บนผ้าถักผสมพอลิแลคติกแอซิด/ฝ้าย

Study of Pretreatment Processes, Reactive-Disperse Dyes Synthesis and Application
for Polylactic Acid/Cotton Knitted Fabric

โดย

นายอิสระ ณ พัทลุง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อขอความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อิสระ ณ พัทลุง 2557: การศึกษากระบวนการเตรียมผ้า การสังเคราะห์และการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าถักผสมพอลิแลกติกแอซิด/ฝ้าย ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (เทคโนโลยีอุตสาหกรรม และการจัดการสินค้าสิ่งทอ) สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการสินค้าสิ่งทอ ภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์พรทิพย์ แซ่เบ๊, วท.ด. 106 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายที่จำเป็นก่อนที่จะนำผ้าเข้าสู่การย้อมมี 2 วิธี คือ การทำขั้นตอนการทำความสะอาด (Scouring) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) เอนไซม์เพกทิเนส (Pectinase enzyme) และต่อด้วยขั้นตอนฟอกขาว (Bleaching) ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) และการเตรียมผ้าถักขั้นตอนเดียวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ นอกจากนี้ทำการสังเคราะห์และศึกษาพฤติกรรมการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สจากปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชันและคัปปลิง (diazotization-coupling reaction) ระหว่าง Aminophenyl-4-(β-sulphatoethyl sulphone) กับ N,N-diethylaniline ทำการตกตะกอนด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน คือ สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่ตกตะกอนด้วยเกลือ (RD-Salt) และ สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่ตกตะกอนด้วยด่าง (RD-Alkali) สำหรับย้อมผ้า PLA ผ้าฝ้าย และผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว จากผลการวิจัยพบว่า วิธีการเตรียมผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่เหมาะสมสำหรับนำไปย้อมผ้าสีเข้ม คือ การใช้เอนไซม์เพกทิเนส 10%owf อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที หรือการใช้โซเดียมคาร์บอเนต 7%owf อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที ในการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย โดยทั้ง 2 วิธีส่งผลเสียต่อความแข็งแรงของผ้าถักน้อยที่สุด วิธีการเตรียมผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่เหมาะสมจะนำไปย้อมผ้าสีอ่อน คือ การทำความสะอาดและฟอกขาวในขั้นตอนเดียวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 7%owf อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที เนื่องจากสามารถทำให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายดูดซึมน้ำทันทีและมีความขาว 72.47 วิธีการดังกล่าวสามารถประหยัดเวลาในการเตรียมผ้าและส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของผ้าภายหลังผ่านกระบวนการน้อยที่สุดผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าถักทั้ง 3 ชนิด พบว่าสี RD-Salt สามารถย้อมติดบนผ้า PLA ผ้าฝ้าย ผ้าผสม PLA/ฝ้าย ได้ดีกว่าสี RD-Alkali ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมด้วยสี RD-Salt บนผ้า PLA คือ ทำการย้อมด้วยสารละลายสี pH 6 อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที บนผ้าฝ้าย คือ การใช้โซเดียมซัลเฟต 60 กรัมต่อลิตรและโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตรเป็นสารช่วยย้อม ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เวลา 60 นาที ส่วนภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสี RD-Salt บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย คือ ทำการย้อมด้วยสารละลายสี pH 6 อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที (การย้อมเส้นใย PLA) หลังจากนั้นลดอุณหภูมิเหลือ 90 องศาเซลเซียส เติมโซเดียมซัลเฟต 60 กรัมต่อลิตรทำการย้อม 30 นาทีจึงเติมโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตรย้อมต่ออีก 30 นาที (การย้อมเส้นใยฝ้าย) ผลการทดสอบความคงทนของสีรีแอกทีฟดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดต่อการซักบนผ้าทั้ง 3 ชนิด พบว่าผ้าฝ้ายและผ้าผสม PLA/ฝ้ายมีความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง ส่วนผ้า PLA มีความคงทนต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

Issara Na Phatthalung 2014: Study of Pretreatment Processes, Reactive-Disperse Dyes Synthesis and Application for Polylactic Acid/Cotton Knitted Fabric. Master of Science (Textile Industrial Technology and Merchandising), Major Field: Textile Industrial Technology and Merchandising, Department of Textile Science. Thesis Advisor: Ms. Porn-tip Sea-bae, Ph.D. 106 pages.

This research aimed to investigate an appropriate pretreatment process for the knitted fabric of PLA/cotton blend. Two different pretreatment processes were studied viz. the two-step scouring with NaOH, Na₂CO₃ and pectinase enzyme followed by H₂O₂ bleaching and the 1-step pretreatment with H₂O₂. In addition, the reactive-disperse dye was synthesized by diazotization and coupling reactions between aminophenyl-4-(β-sulphatoethyl sulphone) and N,N-diethylaniline. The synthesized dye obtained was precipitated by two different techniques i.e. salt precipitation (RD-Salt) and alkali precipitation (RD-Alkali). Their dyeing behavior was examined on PLA, cotton and PLA/cotton blended fabrics (for all-in dyeing process). The results found that the optimum pretreatment process for PLA/cotton blended fabric prior to deep shade dyeing was either that employed 10%owf pectinase enzyme at 60°C for 60 minutes or pretreatment with 7%owf Na₂CO₃ at 70°C for 90 minutes. These two pretreatment conditions had the least effect on the fabric strength. In the case of that ongoing to pale-shade dyeing, the 1-step pretreatment with H₂O₂ at 100°C for 60 minutes provided satisfactory water absorption and whiteness on the PLA/cotton blended fabric. The fabric could absorb water instantaneously and the whiteness was achieved at 72.47. This process was beneficial in terms of time saving and minimal loss of fabric strength. The dyeing study showed that RD-Salt dye exhibited a superior dyeing result on PLA, cotton and the blended fabrics to RD-Alkali dye. The optimum dyeing condition of RD-Salt for PLA was at pH 6, 110°C for 30 minutes whereas it was suited to apply this dye on cotton under the condition employed 60 g/l Na₂SO₄ and 20 g/l Na₂CO₃ at 90°C for 60 minutes. Application of the RD-Salt dye on the blended fabric was suggested to firstly perform with the dye solution at pH 6, 110°C for 30 minutes (to dye PLA component), after that lowering the dyeing temperature to 90°C followed by addition of 60 g/l Na₂SO₄ stained for 30 minutes afterward added 20 g/l Na₂CO₃ for 30 minutes (to dye cotton component). The color fastness to washing of the two reactive-disperse dyes on cotton and PLA/cotton blended fabrics were moderate while an excellent wash fastness rate was observed on PLA.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ดร. พรทิพย์ แซ่เบ๊ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ได้ให้ความกรุณาช่วยวางแผนวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำในทุกๆ เรื่องและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จันทร์ทิพย์ เศรษฐยานนท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ข้อเสนอแนะในการทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กรทิพย์ วัชรปัญญาวงศ์ เตชะเมธีกุล ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ และขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อุษา แสงวัฒนาโรจน์ ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ผู้วิจัยมีความซาบซึ้งและถือเป็นพระคุณอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณศูนย์วิทยาการขั้นสูงเพื่อการเกษตรและอาหารแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่กรุณาเอื้อเฟื้อทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้ บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำหรับการสนับสนุนทุนการไปนำเสนอผลงานวิจัยที่ประเทศเกาหลีซึ่งผลงานที่ไปนำเสนอคือส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้และขอขอบคุณบริษัท Brenntag DyStar และ Modern Dyestuffs & Pigment ประเทศไทยที่ได้เอื้อเฟื้อสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ท้ายสุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา-มารดาและครอบครัว ที่คอยสนับสนุนด้านการศึกษา มาตลอด รวมทั้งเพื่อนๆ น้องๆ สมาชิกห้องปฏิบัติการทุกคน และบุคลากรภาควิชาวิทยาการสิ่งทอ สำหรับมิตรภาพที่ดี การให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จได้ด้วยดี

คุณงามความดีหรือประโยชน์อันพึงมากจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง และคณาจารย์ผู้ประสพวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

อิสระ ณ พัทลุง

มิถุนายน 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(8)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	56
สรุปและข้อเสนอแนะ	87
สรุป	87
ข้อเสนอแนะ	89
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	90
ภาคผนวก	95
ภาคผนวก ก กระบวนการเตรียมผ้าและการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส	96
ภาคผนวก ข ผลการวิเคราะห์ทางสถิติ	102
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	สมบัติทั่วไปของเส้นใย PLA และเส้นใย PET	8
2	สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย	11
3	องค์ประกอบของเส้นใยฝ้าย	13
4	ภาวะในการทำความสะอาดเส้นใยฝ้ายและเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (PET)	14
5	สมบัติของผ้าถักลายปักที่ใช้ในงานวิจัย	26
6	สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย	27
7	ภาวะการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย (LR 20:1)	31
8	สมบัติของผ้าก่อนและหลังผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 100°C 15 นาที	57
9	สมบัติของผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดในภาวะต่างๆ	59
10	ปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดในภาวะต่างๆ	62
11	สมบัติของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านกระบวนการฟอกขาว	66
12	โครงสร้างและสมบัติของสี RD-Salt และสี RD-Alkali	69
13	ผลการใช้โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารช่วยย้อมต่อค่าความเข้มสีและเจดสีบนผ้าฝ้ายด้วยสีสังเคราะห์ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)	71
14	ผลอุณหภูมิต่อค่าความเข้มสีและเจดสีบนผ้าฝ้ายด้วยสีสังเคราะห์ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)	74
15	ผลการใช้ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าฝ้ายที่แตกต่างกัน (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)	76
16	ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkaline บนผ้า PLA ที่ pH ของสารละลายสีต่างๆ (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)	78
17	ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่อุณหภูมิต่างๆ (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)	79
18	ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่เวลาแตกต่างกัน (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)	80

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
19 ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA เมื่อใช้ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สแตกต่างกัน (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)	82
20 ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายในขั้นตอนเดียว	83
21 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก	85
 ตารางผนวกที่	
ก1 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้าย ผ้า PLA และผ้าผสม PLA/ฝ้าย ก่อนและหลังการ Prewashing	97
ก2 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านการทำความสะอาด ในภาวะต่างๆ กัน	97
ก3 ผลการทดสอบปริมาณ PLA ของผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านการทำความสะอาด ในภาวะต่างๆ กัน	98
ก4 ผลการทดสอบปริมาณ PLA ของผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านกระบวนการเตรียม ผ้าที่ภาวะต่างๆ กัน	98
ก5 ความเข้มสีและเฉดสีบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Salt และ RD-Alkali	99
ก6 ความเข้มสีและเฉดสีบนผ้า PLA ที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Salt	100
ก7 ความเข้มสีและเฉดสีบนผ้า PLA ที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Alkali	101

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ข1 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของค่าความแข็งแรง ของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ของผ้าย่อนและหลังการ Prewashing	103
ข2 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ทำความสะอาดที่ภาวะต่างๆ กัน	104
ข3 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ทำความสะอาดที่ภาวะต่างๆ กัน	105

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	โครงสร้างทางเคมีของ (a) เส้นใย PLA (b) เส้นใย PET	6
2	ปฏิกิริยาสังเคราะห์ PLA (a) แบบปฏิกิริยาควบแน่นโดยตรง (b) แบบสังเคราะห์แลคไทด์	7
3	โครงสร้าง L-lactic acid และ D-lactic acid	8
4	ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและความสามารถในการยึดตัวของเส้นใย PLA และ PET ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65	9
5	โครงสร้างเคมีของเซลลูโลส	10
6	สัณฐานวิทยาของเส้นใยฝ้าย	12
7	โครงสร้างเพกทิน	15
8	กลไกการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; H_2O_2)	16
9	องค์ประกอบของโครงสร้างสีย้อมแอททิฟ	17
10	การเกิดปฏิกิริยาแบบรวมตัวของโมเลกุลสีย้อมแอททิฟกับเส้นใยฝ้าย	20
11	ตัวอย่างของสีย้อมเพอร์สชนิดโมโนเอโซ	21
12	ตัวอย่างของสีย้อมเพอร์สชนิดแอนทราควิโนน	21
13	กราฟแสดงค่า K/S ของการติดสีย้อมเพอร์ส (Disperse red 60) บนเส้นใย PLA และ PET	22
14	ปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชัน (Diazotization reaction)	22
15	ปฏิกิริยาคัปปลิง (Coupling reaction)	23
16	โครงสร้างสีสังเคราะห์ของ Kim <i>et al.</i> , (2011)	25
17	ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยสารละลายต่าง	32
18	ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกทิเนส	33
19	ขั้นตอนการฟอกขาวผ้า scoured PLA/ฝ้าย	34
20	การเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว	35
21	ขั้นตอนการสังเคราะห์สีย้อมแอททิฟ-ดิสเพอร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali	38
22	รูปแบบการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมแอททิฟ-ดิสเพอร์สโดยใช้ปริมาณเกลือ และด่างที่แตกต่างกัน	40

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
23	รูปแบบการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอททีฟ-ดิสเพิร์สที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	41
24	รูปแบบการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอททีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด ด้วยปริมาณสีแตกต่างกัน	42
25	รูปแบบการย้อมผ้า PLA ด้วยสีรีแอททีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่ pH แตกต่างกัน	43
26	รูปแบบการย้อมผ้า PLA ด้วยสีรีแอททีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน	44
27	รูปแบบการย้อมผ้า PLA ด้วยสีรีแอททีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่เวลาแตกต่างกัน	44
28	รูปแบบการย้อมผ้า PLA ด้วยสีรีแอททีฟ-ดิสเพิร์สด้วยปริมาณสารที่ต่างกัน	45
29	รูปแบบการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว	46
30	วิธีการทดสอบค่าการทิ้งตัว	48
31	การทดสอบการหดตัวของผ้า	49
32	เครื่องทดสอบแรงดันทะลุ	51
33	ค่าความแข็งแรงของผ้าถักทั้ง 3 ชนิดในงานวิจัยก่อนและหลังผ่านการ prewashing	58
34	ปฏิกิริยาสปอนนิฟิเคชันในการกำจัดไขมันและน้ำมันบนเส้นใยฝ้าย	60
35	ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย (ร้อยละ) หลังผ่านการทำความสะอาด ด้วยสารเคมีต่างๆ	63
36	ค่าความขาวผ้าผสม PLA/ฝ้าย ผ่านการทำความสะอาดด้วยด่างและเอนไซม์	64
37	ค่าความขาวของผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการฟอก	67
38	ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย (ร้อยละ) หลังผ่านการฟอกขาว ด้วยสารเคมีต่างๆ	67
39	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สี RD-Salt	68
40	ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สี RD-Alkali	70
41	ความเข้มข้นของสีรีแอททีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt บนผ้าฝ้ายเมื่อใช้ปริมาณ โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตแตกต่างกัน	72
42	ความเข้มข้นของสีรีแอททีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Alkali บนผ้าฝ้ายเมื่อใช้ปริมาณ โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตแตกต่างกัน	72

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
43	ปฏิกิริยาการยึดติดระหว่างสี RD-Salt กับโครงสร้างเซลล์โลสของเส้นใยฝ้าย	73
44	ปฏิกิริยาการยึดติดระหว่างสี RD-Alkali กับโครงสร้างเซลล์โลสของเส้นใยฝ้าย	73
45	ความเข้มสีของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าฝ้าย เมื่อใช้อุณหภูมิในการย้อมแตกต่างกัน	75
46	ความเข้มสีของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าฝ้าย เมื่อใช้ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สแตกต่างกัน	76
47	ความเข้มของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่ pH ของสารละลายสีต่างๆ	78
48	ความเข้มของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่อุณหภูมิการย้อมต่างๆ	79
49	ความเข้มของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA เมื่อใช้เวลาในการย้อมต่างๆ	81
50	ความเข้มของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA เมื่อใช้ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สแตกต่างกัน	82
51	ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย ในขั้นตอนเดียว	84

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

PLA	คือ พอลิแลกติกแอซิด
PET	คือ พอลิเอสเตอร์ (พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต)
ผ้า PLA	คือ ผ้าถักพอลิแลกติกแอซิด
ผ้าผสม PLA/ฝ้าย	คือ ผ้าถักลายปีเก้ที่เกิดจากการกระบวนการถักเส้นด้าย (เบอร์ 40 Ne) 2 เส้นไปพร้อมกันระหว่างเส้นด้ายพอลิแลกติกและเส้นด้ายฝ้าย
ผ้า prewashed	คือ ผ้าที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
ผ้า prewashed PLA/ฝ้าย	คือ ผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
ผ้า prewashed PLA	คือ ผ้า PLA ที่ผ่านการต้มในสารละลายที่ประกอบด้วยสารช่วยเปียก (Dypidol 101 M [®]) 1%owf โดยมี LR เท่ากับ 30:1 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
ผ้า A-scoured	คือ ผ้าที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยสารละลายต่าง
ผ้า E-scoured	คือ ผ้าที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยเอนไซม์เพกทิเนส
ผ้า bleached	คือ ผ้าที่ผ่านการทำความสะอาดและนำมาทำการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
ผ้า 1 st -treated	คือ ผ้าที่ผ่านการเตรียมผ้าขั้นตอนเดียวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
LR	คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณน้ำและสารเคมีทั้งหมด (มิลลิลิตร) ต่อน้ำหนักผ้า (กรัม)
%owf	คือ ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (กรัม) ต่อน้ำหนักผ้า 100 กรัม (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
สี RD-Salt	คือ สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Amino phenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone) กับ N,N-diethylaniline และถูกทำให้ตกตะกอนด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์
สี RD-Alkali	คือ สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่าง Amino phenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone) กับ N,N-diethylaniline และถูกทำให้ตกตะกอนด้วยด่างที่ pH 11.3

การศึกษากระบวนการเตรียมผ้า การสังเคราะห์และการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส

บนผ้าถักผสมพอลิแลกติกแอซิด/ฝ้าย

Study of Pretreatment Processes, Reactive-Disperse Dyes Synthesis and Application for Polylactic Acid/Cotton Knitted Fabric

คำนำ

อัตราการเพิ่มของประชากร การขยายตัวทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมก่อให้เกิดปริมาณขยะจำนวนมากซึ่งเป็นปัญหาสำคัญของประเทศไทยที่ต้องจัดการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ผลผลิตสิ่งทอก่อให้เกิดขยะได้จาก 2 แหล่งใหญ่ คือ ขยะที่เกิดขึ้นในโรงงานซึ่งสามารถบริหารจัดการด้วยการนำขยะเหล่านั้นกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (recycle) และขยะจากการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ซึ่งเป็นขยะที่ไม่สามารถบริหารจัดการได้ เนื่องจากต้องใช้ต้นทุนสูงในกระบวนการเก็บและคัดแยกขยะ นอกจากนี้ประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานในการเก็บและคัดแยกขยะที่ดีทำให้การนำขยะที่ผ่านการใช้งานแล้วเข้าสู่กระบวนการผลิตใหม่ (reuse) ทำได้ยาก ปัจจุบันงานวิจัยทางสิ่งทอจึงมุ่งแก้ปัญหาเส้นใยพอลิแลกติกหรือเส้นใย PLA เป็นเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ชนิดใหม่ที่จะช่วยแก้ปัญหาขยะจากผู้บริโภคที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก เนื่องจากเส้นใย PLA ผลิตขึ้นจากผลิตภัณฑ์ทางธรรมชาติซึ่งเป็นทรัพยากรปลูกใหม่ทดแทนได้ เช่น แป้งข้าวโพดและแป้งมันสำปะหลังสามารถย่อยสลายด้วยวิธีการฝังกลบ เส้นใย PLA ถูกพัฒนาเพื่อใช้ทดแทนเส้นใยพอลิเอสเตอร์หรือเส้นใย PET ที่มีการใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอมากเป็นอันดับที่สองรองจากเส้นใยฝ้าย เส้นใย PLA มีต้นทุนการผลิตสูงกว่าเส้นใย PET ในขณะที่มีสมบัติในด้านความร้อนและแข็งแรงต่ำกว่าเส้นใย PET กระบวนการผลิตผ้าถักผสมระหว่างเส้นใย PLA กับเส้นใยฝ้ายสามารถช่วยลดต้นทุน เพิ่มสมบัติด้านความร้อน ความแข็งแรงและการกันยับให้กับผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย ทำให้ผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายเหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเป็นเสื้อผ้าที่ดูแลรักษาง่ายและสามารถย่อยสลายได้เมื่อผู้บริโภคไม่ต้องการใช้งานแล้ว

การใช้งานเป็นเสื้อผ้าของผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายจำเป็นต้องเพิ่มความน่าสนใจให้กับเสื้อผ้าด้วยการเติมสีสันต่างๆ ลงบนผืนผ้าเพื่อเพิ่มมูลค่าและการใช้งานที่หลากหลาย การย้อมเป็นกระบวนการที่นิยมให้สีกับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ ผ้าถักก่อนเข้าสู่กระบวนการย้อมจำเป็นต้องผ่านกระบวนการเตรียมผ้าเพื่อป้องกันปัญหาการย้อมที่เกิดจากคุณภาพวัตถุดิบไม่เหมาะสม เส้นใย PLA เป็นเส้นใยที่ไวต่อความร้อนค่อนข้างมาก สารเคมีและความร้อนที่ใช้ในกระบวนการเตรียมผ้าจึงส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของเส้นใย PLA การเลือกใช้สารเคมีและควบคุมภาวะต่างๆ ของกระบวนการเตรียมผ้าที่เหมาะสมจะช่วยป้องกันความแข็งแรงของผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายได้ การย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่มีการติดสีย้อมต่างชนิดกันจำเป็นต้องทำการย้อม 2 ขั้นตอน เนื่องจากสีย้อม สารช่วยย้อมและภาวะในการย้อมที่แตกต่างของเส้นใย PLA และเส้นใยฝ้ายทำให้เกิดความสิ้นเปลือง พลังงานเวลา สารเคมี ปริมาณน้ำที่ใช้ในการย้อมและส่งผลต่อกระบวนการบำบัดน้ำทิ้ง การลดขั้นตอนการย้อมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายให้เหลือขั้นตอนเดียว นอกจากสามารถรักษาความแข็งแรงของเส้นใย PLA บนผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายแล้ว ยังเพิ่มความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมให้กับกระบวนการย้อมด้วย งานวิจัยนี้ทำการศึกษาภาวะการเตรียมผ้าที่เหมาะสมสำหรับผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย และทำการสังเคราะห์สีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สเพื่อใช้ในการย้อมผ้า PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว โดยทำการศึกษาพฤติกรรมการติดสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าฝ้ายและผ้า PLA เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายในขั้นตอนเดียว

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาภาวะของการเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย (การทำความสะอาดและการฟอกขาว) ที่เหมาะสมในการพัฒนาสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและความขาวของผ้าต่อสมบัติด้านความแข็งแรงของผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย
2. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซึมน้ำและความขาวที่มีผลต่อความแข็งแรงของผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการเตรียมผ้าด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนตและเอนไซม์เพกทิเนส
3. เพื่อศึกษาการสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สจากปฏิกิริยาระหว่างอะมิโนฟีนิล 4 เบต้าซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (Aminophenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone)) และไดเอทิลอะนิลีน (N,N-diethylaniline) สำหรับย้อมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว
4. วิเคราะห์พฤติกรรมการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าถักฝ้ายและผ้าถัก PLA ด้วยสีสังเคราะห์ที่ทำการตกตะกอนด้วยเทคนิคที่แตกต่างกัน
5. ศึกษาและวิเคราะห์ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว

สมมติฐาน

พอลิแลกติกแอซิดหรือ PLA เป็นพอลิเมอร์ที่มีความว่องไวต่อความร้อนและต่าง ในขณะที่ยืดหยุ่นต่างกัน ในการเตรียมผ้าฝ้ายนิยมใช้สารละลายต่างและทำการเตรียมผ้าที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นการเลือกใช้สารเคมี อุณหภูมิ เวลา และปริมาณสารในการเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายที่แตกต่างกันจึงทำให้ความแข็งแรงของผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายภายหลังกระบวนการมีความแตกต่างกัน

เส้นใยฝ้ายและเส้นใย PLA เป็นเส้นใยที่มีกลไกการย้อมที่แตกต่างกัน สีที่ใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายต้องละลายน้ำได้ดี ในขณะที่สีที่ใช้ย้อมเส้นใย PLA ต้องไม่ละลายน้ำ ดังนั้นความสามารถในการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าฝ้ายและผ้าถัก PLA จึงมีความแตกต่างกัน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ส่งเสริมการนำเส้นใย PLA มาใช้งานเป็นเสื้อผ้าทดแทนการใช้เส้นใย PET เพื่อความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม
2. ส่งเสริมการใช้เอนไซม์ในกระบวนการเตรียมผ้าทางสิ่งทอ
3. ทราบชนิดของสารเคมีและภาวะที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเตรียมผ้าผสม PLA/ฝ้าย
4. ได้สรีร์เอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สามารถใช้ย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว
5. ลดปริมาณการใช้สารเคมีในกระบวนการเตรียมและการย้อมผ้าถักผสม PLA/ ฝ้าย

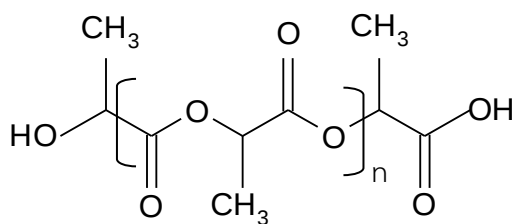
การตรวจเอกสาร

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาเอกสารต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

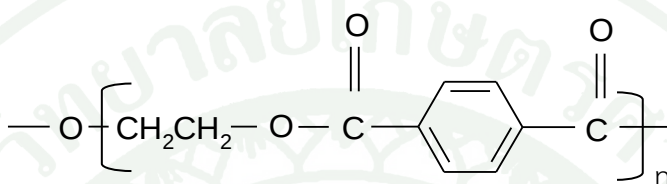
1. เส้นใย PLA
2. เส้นใยฝ้าย
3. กระบวนการเตรียมผ้า
4. สีสียาแกทียฟ
5. สีสียาเพียส
6. ปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชัน-คัปปลิง

1. เส้นใย PLA (Polylactic acid fiber)

เส้นใย PLA หรือเส้นใยพอลิแลกติกแอซิดเป็นเส้นใยสังเคราะห์ตัวแรกที่ใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติและสามารถฉีดเป็นเส้นใยได้ด้วยเทคนิคการหลอมเหลว (melt spinning) (Avinc *et al.*, 2010) โครงสร้างเคมีของ PLA เป็นพอลิเอสเทอร์โซ่ตรง (aliphatic polyester) วัตถุดิบที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ PLA คือ แป้งข้าวโพดหรือแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สามารถปลูกใหม่ทดแทนได้ สมบัติเด่นของ PLA คือ ความสามารถในการย่อยสลายตามธรรมชาติ (biodegradable) และความสามารถในการเข้ากับเนื้อเยื่อของสิ่งมีชีวิต (biocompatibility) ทำให้นิยมนำ PLA มาใช้งานทางการแพทย์และอุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์ (Gupta *et al.*, 2007) บริษัท Nature Works LLC ประเทศสหรัฐอเมริกาเริ่มผลิตเส้นใย PLA เพื่อใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอตั้งแต่ปี 2005 ภายใต้ชื่อทางการค้าคือ Ingeo™ fiber (<http://www.natureworksllc.com>) โครงสร้างทางเคมีของเส้นใย PLA เป็นพอลิเอสเทอร์เหมือนกับเส้นใย PET (Polyethylene terephthalate) ดังภาพที่ 1 เส้นใย PET เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่มีการใช้งานมากประมาณ 40% ของการใช้งานทางสิ่งทอและมีการใช้งานเป็นอันดับสองรองจากเส้นใยฝ้าย (Farrington *et al.*, 2005) แต่วัตถุดิบของการผลิตเส้นใย PET เป็นผลผลิตจากอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ไม่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติจึงเกิดแนวคิดที่จะนำเส้นใย PLA มาใช้งานทดแทนเส้นใย PET เพื่อลดระดับการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ออกสู่ชั้นบรรยากาศและเพิ่มสมบัติการย่อยสลายภายหลังการใช้งานเป็นเสื้อผ้าแล้ว



(a) PLA



(b) PET

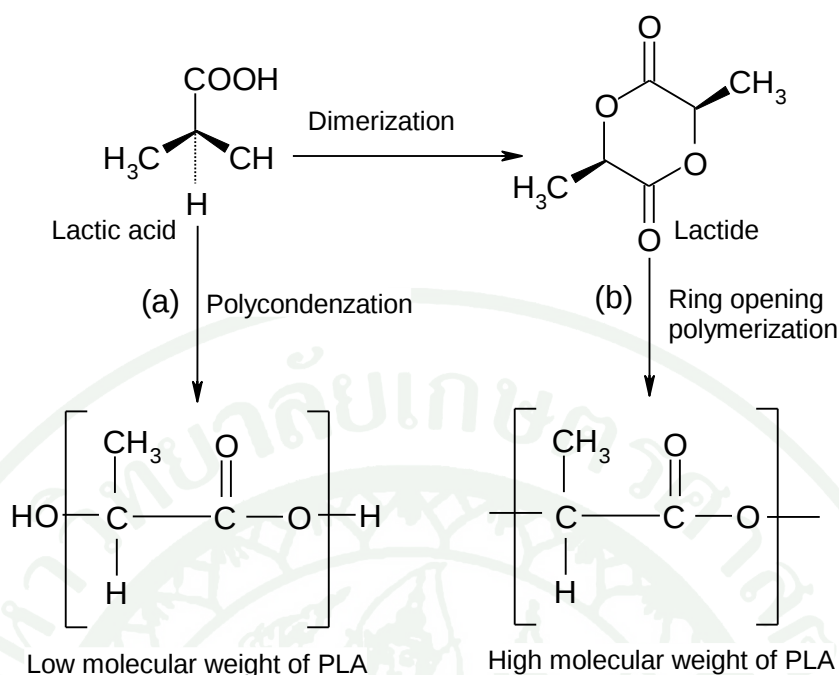
ภาพที่ 1 โครงสร้างทางเคมีของ (a) เส้นใย PLA (b) เส้นใย PET

1.1 กระบวนการผลิตและสังเคราะห์ PLA

กระบวนการผลิต PLA หรือพอลิแลคติกแอซิดที่นิยมมากที่สุด คือ การหมักแป้งข้าวโพด หรือแป้งมันสำปะหลังด้วยแบคทีเรีย *Lactobacillus* (Dorgan *et al.*, 2000) เพื่อให้ได้กรดแลคติก ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์ PLA การผลิตด้วยกระบวนการนี้จะสามารถผลิตกรดแลคติกโครงสร้าง L-lactic-acid มากกว่าร้อยละ 99.5 เมื่อเปรียบเทียบกับการผลิตกรดแลคติกจากวิธีการอื่น (Lunt *et al.*, 1998, 2000)

1.1.1 การสังเคราะห์ PLA จากกรดแลคติกสามารถเกิดปฏิกิริยาได้ 2 แบบ คือ

- ปฏิกิริยาควบแน่นโดยตรง (Direct condensation) ปฏิกิริยานี้จะทำการสังเคราะห์ PLA โดยใช้ตัวทำละลายภายใต้ภาวะสุญญากาศแต่ PLA ที่สังเคราะห์ได้จะมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (Low molecular weight) ดังภาพที่ 2 เนื่องจากการสังเคราะห์ PLA ด้วยปฏิกิริยาการควบแน่นจะเกิดน้ำขึ้นจากการสังเคราะห์ น้ำที่เกิดขึ้นจะเข้าไปทำลายพันธะเอสเทอร์ในโมเลกุลของ PLA (Depolymerization) ทำให้ไม่สามารถสังเคราะห์ PLA น้ำหนักโมเลกุลสูงได้ (Jacobsen, 1999)



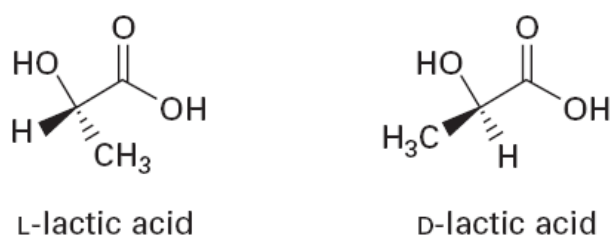
ภาพที่ 2 ปฏิกิริยาสังเคราะห์ PLA (a) ปฏิกิริยาควบแน่นโดยตรงและ (b) การสังเคราะห์แลกไทด์

ที่มา: Farrington *et al.* (2005)

- ปฏิกิริยาการเปิดวงแหวน (Ring Opening Polymerization) ปฏิกิริยานี้ทำการสังเคราะห์แลกไทด์ (Lactide) หรือวงแหวนไดเมอร์ของกรดแลกติกขึ้นก่อน จากนั้นค่อยทำการพอลิเมอร์ไรซ์แลกไทด์ให้กลายเป็น PLA ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง (High molecular weight) (Gupta *et al.*, 2007) ดังภาพที่ 2 การผลิต PLA เชิงพาณิชย์นิยมสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยานี้ เนื่องจากไม่มีการใช้ตัวทำละลายและสามารถสังเคราะห์ PLA ที่มีความแข็งแรงสูง นอกจากนี้การควบคุมภาวะต่างๆ ในการสังเคราะห์ เช่น เวลา อุณหภูมิ ความเข้มข้นของสารและการเลือกใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาสามารถควบคุมอัตราส่วนระหว่างโครงสร้าง L-lactic acid และ D-lactic acid ในโมเลกุลของ PLA ที่สังเคราะห์ขึ้นได้ (Lunt 1998; Lunt 2000; Fambri *et al.*, 1997)

1.2 เส้นใย PLA ทางสิ่งทอ

กรดแลกติกที่ใช้สังเคราะห์ PLA มีโครงสร้าง 2 แบบคือ L-lactic acid และ D-lactic acid ดังภาพที่ 3 PLA ที่จะนำมาใช้เป็นเส้นใยควรสังเคราะห์ให้มีปริมาณ L-lactic acid จำนวนมาก (มี D-lactic acid น้อยกว่าร้อยละ 2) (Gupta *et al.*, 2007) เนื่องจาก L-lactic acid เป็นโครงสร้างที่มีความเป็นผลึกสูงจึงทำให้เส้นใย PLA มีความแข็งแรง



ภาพที่ 3 โครงสร้างของ L-lactic acid และ D-lactic acid

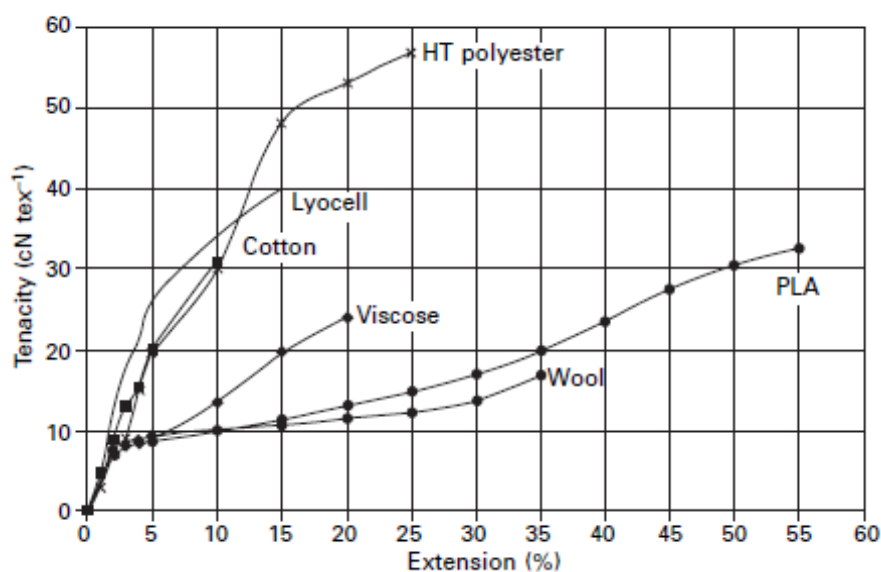
ที่มา: Lunt and Shafer. (2000)

PLA สามารถฉีดเป็นเส้นใยได้หลายวิธี คือ การปั่นเส้นใยแบบเปียก (wet spinning) การปั่นเส้นใยแบบแห้ง (dry spinning) การปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว (melt spinning) และการปั่นเส้นใยแบบผสม (dry-jet-wet spinning) แต่กระบวนการฉีดเส้นใย PLA ที่นิยมในอุตสาหกรรม คือ การปั่นเส้นใยแบบหลอมเหลว เนื่องจากมีอัตราเร็วในการผลิตเส้นใยสูง ไม่มีการใช้ตัวทำละลายและเป็นกระบวนการที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (Gupta *et al*, 2007) สมบัติโดยทั่วไปของเส้นใย PLA เมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใย PET แสดงดังตารางที่ 1 โดยทั่วไปแล้วเส้นใย PLA จะมีความแข็งแรงต่ำกว่าเส้นใย PET แต่จะมีความสามารถในการยืดตัวที่สูงกว่าเส้นใย PET ดังภาพที่ 4

ตารางที่ 1 สมบัติทั่วไปของเส้นใย PLA และเส้นใย PET

สมบัติ	PLA	PET
ความหนาแน่น (g/cm ³)	1.25	1.39
ดัชนีหักเห	1.35 – 1.45	1.58 - 1.64
T _g (°C)	55 - 65	70 - 75
T _m (°C)	160 - 170	250 - 265
ความชื้นรีเกน (Moisture regain; %)	0.4 – 0.6	0.4 – 0.8
Tenacity (cN/tex)	32-36	55 - 75
ความสามารถในการติดไฟ (LOI)	26	22

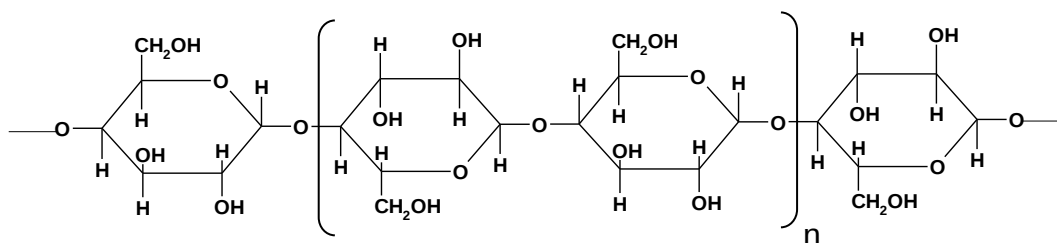
ที่มา: Farrington *et al*. (2005)



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงและความสามารถในการยืดตัวของเส้นใย PLA และ PET ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65

ที่มา: Farrington *et al.* (2005)

การย่อยสลายเส้นใย PLA เกิดในภาวะที่เหมาะสมเท่านั้น คือ เส้นใย PLA จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสย่อยสลายได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และชีวมวล ภายใต้อุณหภูมิที่สูงกว่า 60 องศาเซลเซียสและมีจุลินทรีย์ในการย่อยสลาย (Auras *et al.*, 2010) ดังนั้นภายใต้การใช้งานทางสิ่งทอเส้นใย PLA จึงไม่เกิดการย่อยสลาย



ภาพที่ 5 โครงสร้างเคมีของเซลลูโลส

2. เส้นใยฝ้าย

ฝ้ายเป็นเส้นใยที่เจริญเติบโตมาจากเมล็ดของพืชตระกูล *Mavaceae* สายพันธุ์ *Gossypium* องค์ประกอบหลักทางเคมีของฝ้ายคือ เซลลูโลส ดังภาพที่ 5 ฝ้ายเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีการใช้งานมากที่สุด สามารถปลูกได้ในหลายประเทศที่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น เช่น สหรัฐอเมริกา จีน อินเดีย ปากีสถาน แอฟริกา เป็นต้น สมบัติของเส้นใยฝ้ายจึงขึ้นอยู่กับสายพันธุ์และแหล่งที่ปลูก ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของเส้นใยฝ้ายโดยทั่วไป

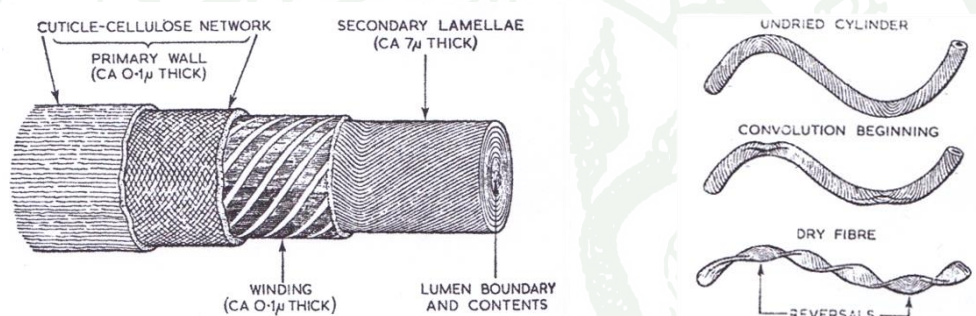
ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย

สมบัติ	ลักษณะของเส้นใยฝ้าย
ภาคตัดขวางและลักษณะตามยาวของเส้นใย	
ที่มา: Nevell. (1995)	
ความแข็งแรง (Tenacity)	ประมาณ 26.5 – 44.1 cN/tex เมื่อเปียกจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นประมาณ 20 เท่า
ความสามารถในการยืดตัว ณ. จุดขาด (elongation at break)	ร้อยละ 5 – 10
ความถ่วงจำเพาะ	1.54
ความยาวและขนาดของเส้นใย	คุณภาพสูงยาว 26-65 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 10-15 ไมโครอน คุณภาพปานกลางยาว 12-33 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 12-17 ไมโครอน คุณภาพต่ำยาว 9-26 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 13-22 ไมโครอน
ความสามารถในการดูดความชื้น	ร้อยละ 6-8
ความร้อน	เส้นใยฝ้ายทนความร้อนดี แต่เมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานาน (อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส) เส้นใยฝ้ายจะเริ่มเปลี่ยนเป็นสีเหลืองมีความแข็งแรงลดลงและเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิ 240 องศาเซลเซียส
แสงแดด	เส้นใยฝ้ายเปลี่ยนเป็นสีเหลืองและมีความแข็งแรงลดลงเมื่อโดนแสงแดดเป็นเวลานาน
สารเคมี	เส้นใยฝ้ายไม่ทนกรด สามารถละลายได้ในกรดซัลฟูริกเข้มข้นร้อยละ 70 ที่ร้อน แต่ทนต่อสารละลายด่างและตัวทำละลายอินทรีย์อื่นๆ ได้ดี
ความคงทนต่อจุลินทรีย์	เส้นใยฝ้ายมีความต้านทานต่อเชื้อราและแบคทีเรียต่ำ ทำให้ผ้าฝ้ายมีกลิ่นอับและมีความแข็งแรงลดลง

ที่มา: Cook. (1984)

2.1 โครงสร้างของเส้นใยฝ้าย

เส้นใยฝ้ายประกอบด้วยเยื่อหุ้มชั้นนอก (Cuticle) ผนังเซลล์ชั้นที่ 1 (Primary wall) ผนังเซลล์ชั้นที่ 2 (Secondary wall) และช่องส่งน้ำกลางเซลล์ (Lumen) เส้นใยฝ้ายจะค่อยๆ เกิดการเจริญเติบโตของเซลล์ulos ที่ละชั้นจากผนังเซลล์ชั้นที่ 1 เข้าสู่ผนังเซลล์ชั้นที่ 2 ด้วยทิศทางที่แตกต่างทำให้เมื่อเส้นใยฝ้ายโตเต็มที่ (Mature) จึงเกิดการบิดเป็นเกลียวและมีค่าความขึ้นบนเส้นใยลดลง (Cook, 1984) ดังภาพที่ 6 เส้นใยฝ้ายมีเซลล์ulos เป็นองค์ประกอบหลักถึงประมาณร้อยละ 94 ขององค์ประกอบทั้งหมด องค์ประกอบอื่นประมาณร้อยละ 6 ประกอบด้วย โปรตีน เพกทิน ไขมัน และสารประกอบอื่นๆ แสดงดังตารางที่ 3



ภาพที่ 6 สัณฐานวิทยาของเส้นใยฝ้าย

ที่มา: Cook. (1984)

3. กระบวนการเตรียมวัสดุสิ่งทอ (Pre-Treatment Processes)

กระบวนการเตรียมวัสดุสิ่งทอ คือ กระบวนการกำจัดสิ่งเจือปนอื่นที่ไม่ใช่องค์ประกอบหลักของเส้นใยออก เส้นด้ายหรือผ้าดิบที่ออกจากโรงปั่นด้ายหรือโรงทอผ้าทุกชนิด ล้วนมีสิ่งเจือปนติดมาด้วยเสมอ เช่น องค์ประกอบตามธรรมชาติของเส้นใย สารหล่อลื่นในกระบวนการปั่นเส้นใยสังเคราะห์ สารลงแป้งที่ใช้ในการเคลือบบนเส้นด้ายยืนของผ้าทอ เป็นต้น ซึ่งสิ่งเจือปนเหล่านี้จะส่งผลโดยตรงกับประสิทธิภาพในการย้อม เช่น ทำให้เกิดการย้อมต่างหรือย้อมไม่ได้เฉดสีตามต้องการ ดังนั้นก่อนนำวัสดุสิ่งทอเข้าสู่กระบวนการย้อมจึงจำเป็นต้องทำการกำจัดสิ่งเจือปนที่อาจก่อให้เกิดปัญหาในการย้อมออก ทำให้วัสดุสิ่งทอมีความสะอาด สามารถดูดซึมสารเคมีและสีย้อมได้สม่ำเสมอ ชนิดและปริมาณสิ่งเจือปนบนวัสดุสิ่งทอขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและกระบวนการผลิตที่ผ่านมา

ตารางที่ 3 องค์ประกอบของเส้นใยฝ้าย

องค์ประกอบทางเคมี	องค์ประกอบของเส้นใย (ร้อยละ)			องค์ประกอบเยื่อหุ้มชั้นนอก (ร้อยละ)
	ทั่วไป	ต่ำ	สูง	
เซลลูโลส	94.0	88.0	96.0	30.4
โปรตีน	1.3	1.1	1.9	19.6
สารประกอบเพกทิน	0.9	0.7	1.2	17.4
ไขมัน น้ำมัน ขี้ผึ้ง	0.6	0.4	1.0	6.5
แร่ธาตุ	1.2	0.7	1.6	-
กรดอินทรีย์	0.8	0.5	1.0	-
คิวติน (Cutins)	-	-	-	8.7
สีธรรมชาติ	เล็กน้อย	-	-	-

ที่มา: Li and Hardin. (1997)

กระบวนการเตรียมวัสดุสิ่งทอนั้นมีหลายขั้นตอน ดังนี้ การเผาขน (Singeing), การลอกแป้ง (Desizing), การทำความสะอาด (Scouring) และการฟอกขาว (Bleaching) การเตรียมวัสดุสิ่งทอให้เหมาะสมสำหรับการย้อมนั้นไม่จำเป็นต้องทำทุกขั้นตอนดังที่กล่าวมา เพราะเป็นการสิ้นเปลืองทั้งสารเคมีและพลังงานรวมถึงอาจส่งผลเสียต่อสมบัติของวัสดุสิ่งทอภายหลังผ่านขั้นตอนที่ไม่จำเป็น เช่น ทำให้ความแข็งแรงของวัสดุสิ่งทอลดลง ปัจจัยในการเลือกขั้นตอนการเตรียมวัสดุสิ่งทอรวมถึงการเลือกใช้สารเคมีในแต่ละขั้นตอนขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและประเภทของสิ่งเจือปนที่ต้องการกำจัดออก ขั้นตอนเตรียมผ้าฝ้ายหลักโดยทั่วไป คือ ขั้นตอนการทำความสะอาด (Scouring process) เพื่อให้ผ้าสามารถดูดซึมน้ำและสีย้อมได้อย่างสม่ำเสมอ และขั้นตอนฟอกขาว (Bleaching process) สำหรับการย้อมสีอ่อนบนผ้าฝ้าย

3.1 การทำความสะอาด (Scouring process)

การทำความสะอาด คือ การกำจัดสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายน้ำ ไขมัน (Fat) น้ำมัน (Oils) ขี้ผึ้ง (Waxes) และสารหล่อลื่น (Lubricants) ซึ่งเคลือบอยู่บนผิวของเส้นใยออก สิ่งเจือปนเหล่านี้หากติดอยู่บนเส้นใยทำให้การดูดซึมน้ำ สี และสารเคมีเป็นไปได้ยาก สมบัติทางเคมีของเส้นใย ปริมาณและชนิดของสิ่งเจือปนในเส้นใยทำให้วิธีการทำความสะอาดผ้าแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน ทั้งชนิดและปริมาณของสารเคมี ตารางที่ 4 แสดงภาวะที่ใช้ในการทำความสะอาดเส้นใยฝ้ายและเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (PET)

ตารางที่ 4 ภาวะในการทำความสะอาดเส้นใยฝ้ายและเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (PET)

ผ้าฝ้าย		ผ้า PET	
โซเดียมไฮดรอกไซด์	4 %owf	โซเดียมคาร์บอเนต	2 กรัม/ลิตร
สารช่วยเปียก	0.1 - 0.5 %owf	-	-
สารจับโลหะหนัก	0.3 - 0.5 %owf	-	-
อุณหภูมิ	90 - 95 °C	อุณหภูมิ	80 - 95 °C
เวลา	60 - 90 นาที	เวลา	20 - 30 นาที

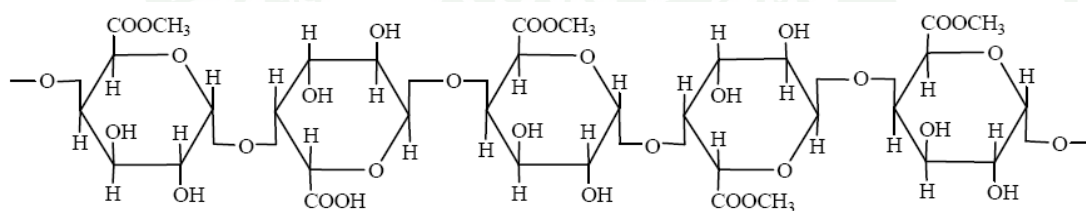
ที่มา: Karmakar. (1999)

วิธีที่นิยมใช้ในการทำความสะอาดเส้นใยฝ้าย คือ การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อน เนื่องจากเส้นใยฝ้ายทนต่อสารละลายต่างดี แต่การใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ร้อนส่งผลต่อความแข็งแรงของผ้าที่ผลิตจากเส้นใยฝ้ายผสมกับเส้นใยที่ไม่ทนต่าง เช่น ฝ้าย/PET ฝ้าย/ไหม และฝ้าย/PLA เป็นต้น ปัจจุบันผู้ประกอบการจึงนิยมใช้เอนไซม์แทนการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในกระบวนการเตรียมผ้า เนื่องจากเอนไซม์เป็นสารเคมีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม บำบัดน้ำทิ้งง่าย และไม่ทำอันตรายกับเส้นใย จึงไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผ้าที่ผลิตจากเส้นใยฝ้ายผสมกับเส้นใยที่ไม่ทนต่อสารละลายต่าง เอนไซม์เป็นสารเคมีทางชีวภาพที่มีความจำเพาะเจาะจงกับสารตั้งต้น (Substrate) ค่อนข้างสูงรวมถึงการทำงานของเอนไซม์สามารถเกิดปฏิกิริยาที่อุณหภูมิและ pH ไม่รุนแรงเมื่อเทียบกับการใช้สารเคมีจึงส่งผลต่อโครงสร้างทางเคมีและความแข็งแรงของเส้นใยน้อยกว่าการใช้สารเคมี

3.1.1 การทำความสะอาดผ้าด้วยเอนไซม์ (Bioscouring)

เอนไซม์ คือ ตัวเร่งปฏิกิริยาชีวภาพ (Biocatalyse) (Cavaco-Paulo and Gubitz, 2003) มีความจำเพาะต่อสารที่เข้าทำปฏิกิริยาก่อนข้างสูงและสามารถเร่งปฏิกิริยาเคมีที่อุณหภูมิต่ำ (Jenkins, 2003)

เส้นใยฝ้ายโตเต็มที่จะมีปริมาณเพกทิน (Pectin substance) ประมาณร้อยละ 0.7-1.2 (Li and Hardin, 1997) เพกทินเป็นอนุพันธ์ของคาร์โบไฮเดรตที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีโครงสร้างเคมีคล้ายกับเซลลูโลส เชื่อมต่อโมเลกุลน้ำตาลกาแลกทูโรนิกด้วยพันธะไกลโคซิดิก (α -1,4-link D-galacturonic) ดังภาพที่ 7 เพกทินในเส้นใยฝ้ายอาจจะอยู่ในรูปของเกลือแคลเซียม แมกนีเซียม และเหล็กของกรดพอลิคาแลกทูโรนิก (Polygalacturonic acid) ซึ่งสามารถละลายได้ในสารละลายต่าง (Gamble 2003; Jayani *et al.*, 2005; Kashyap *et al.*, 2001)



ภาพที่ 7 โครงสร้างเพกทิน

ที่มา: Tavcer. (2011)

เอนไซม์เพกทิเนส (Pectinase enzyme) เป็นกลุ่มเอนไซม์ (Complex enzymes) ที่มีความสามารถในการไฮโดรลิซิสเพกทิน กลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสของเอนไซม์เพกทิเนสแต่ละชนิดมีความแตกต่างกัน คือ

1) พอลิคาแลกทูโรเนส (Polygalacturonase) เป็นเอนไซม์เพกทิเนสที่เร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสพันธะไกลโคซิดิก (Glucosidic linkage) ระหว่างน้ำตาลที่มีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ในสายโซ่โมเลกุลของเพกทิน แบ่งได้เป็น 2 กลุ่มย่อยตามกลไกการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิส คือ เอนโด-พอลิคาแลกทูโรเนส (Endo-polygalacturonase) เป็นเอนไซม์เพกทิเนสที่เกิดกลไกการย่อยสลายภายในสายโซ่โมเลกุลเพกทินแบบสุ่ม และเอ็กโซ-พอลิคาแลกทูโรเนส

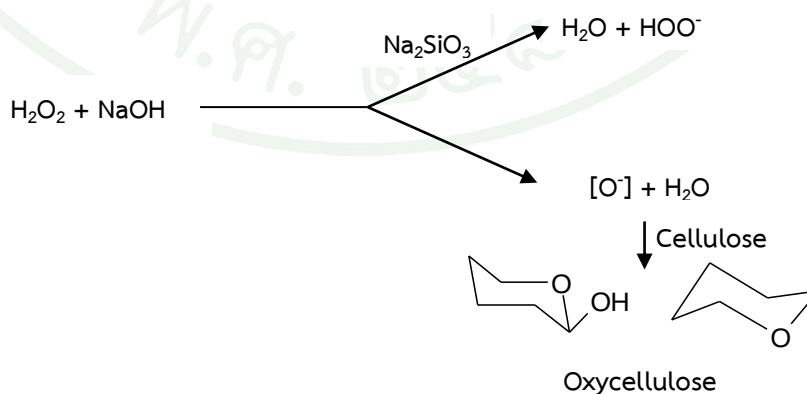
(Exo-polygalacturonase) เป็นเอนไซม์เพกทิเนสที่เกิดกลไกการย่อยสลายโมเลกุลเพกทินจากปลายสายโซ่โมเลกุลตำแหน่งน้ำตาลรีดิวซ์ (Reducing-end group) (Menezes and Choudhari, 2011)

2) เพกทินเอสเทอเรส (Pectin-Esterase) เอนไซม์เพกทิเนสกลุ่มนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนหมู่คาร์บอกซิลเมทิล (carboxyl methyl group) ในโครงสร้างโมเลกุลเพกทินให้กลายเป็นหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) ในสารโซ่โมเลกุลของเพกทินเพื่อส่งต่อให้เอนไซม์พอลิกลาแลกทูโรเนสทำการย่อยสลาย

3) เพกเทสไลเอส (Pectate lyase) เป็นเอนไซม์เพกทิเนสที่อยู่ในกลุ่มไลเอส (Lyase) เร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสโมเลกุลเพกทินให้สั้นลงทำให้เกิดปลายสายโซ่โมเลกุลตำแหน่งน้ำตาลรีดิวซ์มากขึ้น

3.2 การฟอกขาวผ้า (Bleaching)

เส้นใยฝ้ายมีสารตามธรรมชาติเจือปนอยู่เล็กน้อยตามตารางที่ 3 (Li and Hardin, 1977) สีธรรมชาติของฝ้ายแบ่งเป็นสีที่ละลายน้ำซึ่งสามารถกำจัดออกได้ด้วยการต้มในน้ำเดือด และสีที่ไม่ละลายน้ำที่ต้องถูกกำจัดด้วยสารฟอกขาว ชนิดของสารฟอกขาวผ้าฝ้ายมีหลายชนิดแต่ที่นิยมใช้ในปัจจุบัน คือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; H_2O_2) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารออกซิไดซ์ (Oxidizing agent) จะเข้าไปเปลี่ยนโครงสร้างของโมเลกุลสีธรรมชาติ ให้กลายเป็นสารไม่มีสี การย้อมสีอ่อนบนผ้าฝ้ายสีอ่อน เช่น สีเหลือง สีชมพู และสีฟ้า จำเป็นต้องนำผ้าฝ้ายไปทำการฟอกขาวก่อนนำไปย้อม แต่สำหรับการย้อมผ้าฝ้ายสีเข้ม เช่น สีนํ้าตาล สีดำและสีน้ำเงิน ไม่จำเป็นต้องทำการฟอกขาวในขั้นตอนกระบวนการเตรียมผ้า

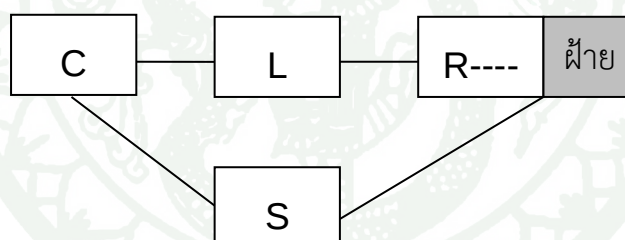


ภาพที่ 8 กลไกการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide; H_2O_2)

เปอร์ไฮดรอกซิลไอออน (Perhydroxyl ion; HOO^-) คือ สารที่มีฤทธิ์ในการฟอกผ้า เกิดจากการแตกตัวของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ภายใต้ภาวะที่เป็นด่าง (pH 10.2-10.7) (Rucker *et al.*, n.d.) การฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จำเป็นต้องเติมโซเดียมซิลิเกต (Sodium silicate; Na_2SiO_3) เพื่อป้องกันไม่ให้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เกิดปฏิกิริยาสลายตัวเร็วเกินไป และเข้าไปทำลายโครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลสบนเส้นใยฝ้าย (Oxycellulose) ดังภาพที่ 8 ส่งผลทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยฝ้ายภายหลังผ่านการฟอกด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ลดลง

4. สีย้อมแอททิฟ (Reactive Dyes)

สีย้อมเส้นใยฝ้ายต้องมีความสามารถในการละลายน้ำดี เนื่องจากเส้นใยฝ้ายจะดูดซึมสีย้อมผ่านตัวกลาง คือ น้ำ สีย้อมแอททิฟเป็นสีที่ละลายน้ำดี นิยมใช้ย้อมเส้นใยฝ้ายมากกว่าสีชนิดอื่น (Zollinger, 2003) จุดเด่นของสีย้อมแอททิฟ คือ เจดสีสดใส หลากหลายและมีความคงทนต่อการซักล้างดีเนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมแอททิฟสามารถเกิดพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับโมเลกุลของเซลลูโลสบนเส้นใยฝ้าย



เมื่อ C คือ ส่วนให้สี (Chromophore)

L คือ ส่วนเชื่อมต่อระหว่างส่วนให้สีกับส่วนทำปฏิกิริยา (Linking groups)

S คือ ส่วนช่วยให้สีละลายน้ำ (Solubilizing groups)

R---X คือ ส่วนทำปฏิกิริยา (Reactive groups)

ภาพที่ 9 องค์ประกอบของโครงสร้างสีย้อมแอททิฟ

4.1 โครงสร้างสีรีแอกทีฟ

โครงสร้างทั่วไปของสีรีแอกทีฟมีองค์ประกอบหลัก 4 ส่วน คือ ส่วนให้สี ส่วนทำปฏิกิริยา ส่วนช่วยให้สีละลายน้ำ และส่วนเชื่อมต่อระหว่างส่วนให้สีกับส่วนทำปฏิกิริยา แสดงดังภาพที่ 9

4.1.1 ส่วนให้สี (Chromophore)

ส่วนให้สี คือ สารประกอบที่ทำให้เกิดเฉดสีต่างๆบนผ้า เช่น กลุ่ม monoazo ให้สีเหลือง ส้ม น้ำตาล แดง ม่วงจนถึงสีฟ้า และกลุ่ม Anthraquinone ให้สีม่วง ม่วงฟ้าแดงและชมพู เป็นต้น (Zollinger, 2003)

4.1.2 ส่วนทำปฏิกิริยา (Reactive groups)

ส่วนทำปฏิกิริยาของสีรีแอกทีฟ จัดเป็นส่วนความสำคัญที่สุดของโครงสร้างสีรีแอกทีฟ เพราะเป็นส่วนที่บ่งบอกถึงความสามารถในการเกาะติดของสีบนเส้นใย ตำแหน่งของการเกิดปฏิกิริยา (leaving groups ; x) ที่แตกต่างกันจะมีความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาแตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติที่ใช้ในการย้อมแตกต่างกัน

4.1.3 ส่วนช่วยให้สีละลายน้ำ (Solubilizing groups)

ส่วนช่วยให้สีรีแอกทีฟละลายน้ำโดยทั่วไปจะประกอบด้วยหมู่ซัลโฟนิค ($-\text{SO}_3\text{H}$) จำนวน 1-4 กลุ่มในโครงสร้างสีรีแอกทีฟ

4.1.4 ส่วนเชื่อมต่อระหว่างส่วนให้สีกับส่วนทำปฏิกิริยา (Linking groups)

ส่วนที่ทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมระหว่างส่วนให้สีกับส่วนทำปฏิกิริยามีความจำเป็นต่อการสังเคราะห์สีรวมถึงสมบัติอื่นๆ ของสีด้วย เช่น ความเสถียร ความว่องไวและความสามารถในการยึดติดของสีกับผ้า เป็นต้น (จันทร์ทิพย์, 2550) หมู่ฟังก์ชันที่พบโดยส่วนใหญ่ คือ $-\text{NH}-$ $-\text{NHCO}-$ $-\text{SO}_2-$ $-\text{NH-SO}_2-$ $-\text{N}(\text{CH}_3)-$ เป็นต้น (ชาติชาย, 2551)

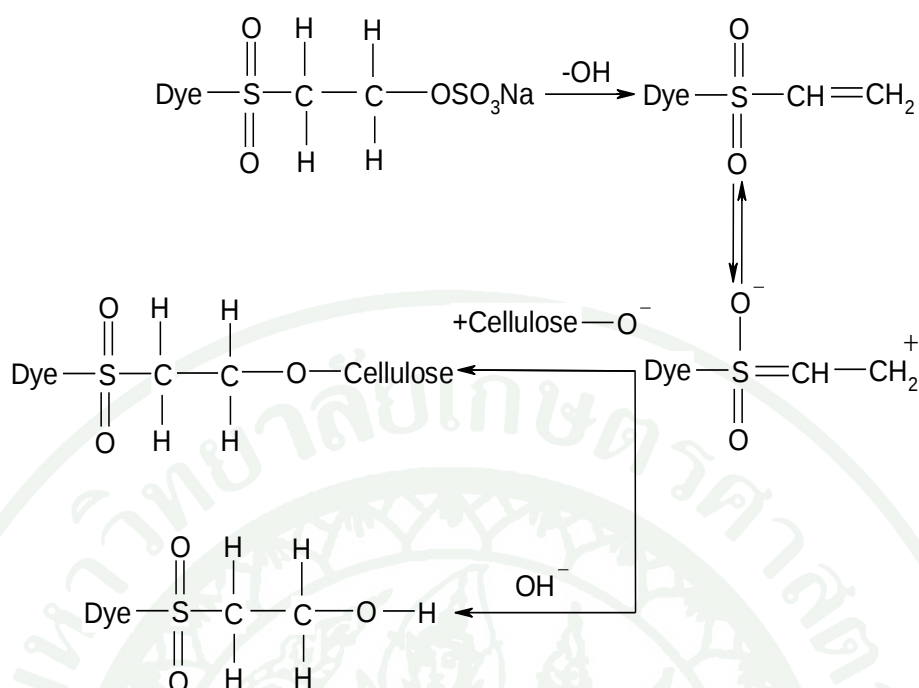
ภาวะในการย้อมสีรีแอกทีฟบนเส้นใยฝ้ายในอุตสาหกรรม คือ ภาวะต่าง ชนิดของสีรีแอกทีฟ แบ่งเป็น 2 ประเภทตามชนิดของปฏิกิริยายึดติดกับเส้นใยฝ้าย คือ สีรีแอกทีฟที่เกิดปฏิกิริยาแบบแทนที่ (nucleophilic substitution) และสีรีแอกทีฟที่เกิดปฏิกิริยาแบบบวมตัว (nucleophilic addition)

- สีรีแอกทีฟที่เกิดปฏิกิริยาแบบบวมตัว

หมู่ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟนิล (β -sulphatoethyl sulphonyl) เป็นส่วนทำปฏิกิริยาที่พบมากของสีรีแอกทีฟที่เกิดปฏิกิริยาแบบบวมตัว เมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นต่าง หมู่ β -sulphatoethyl sulphonyl จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของหมู่ไวนิลซัลโฟน (vinylsulphone) ดังภาพที่ 10 ทำให้อะตอมของคาร์บอนตัวนอกสุดมีประจุเป็นบวกจึงสามารถรับอิเล็กตรอนจากโมเลกุลเซลลูโลสแล้วเกิดพันธะโควาเลนต์ขึ้นจากปฏิกิริยารวมตัวของโมเลกุลสีและโมเลกุลเซลลูโลสบนเส้นใยฝ้าย ในขณะเดียวกันภาวะต่าง (หมู่ไฮดรอกซิล; OH) ในสารละลายก็สามารถเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกับโมเลกุลสีได้เช่นกัน ซึ่งในกรณีนี้จะทำให้สีบางส่วนหมดสภาพที่จะทำปฏิกิริยากับเส้นใยและจำเป็นต้องทำการกำจัดออกเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการย้อม เพื่อป้องกันปัญหาสีตก (staining)

ประสิทธิภาพการย้อมสีรีแอกทีฟขึ้นอยู่กับความว่องไวในการเกิดปฏิกิริยาของสี ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการย้อมสีรีแอกทีฟ คือ

- เกลือ ช่วยลดประจุลบบนผิวหน้าของเส้นใยเซลลูโลส ทำให้สีดูดซึมเข้าสู่เส้นใยได้มากขึ้น
- ต่าง ช่วยทำให้สีรีแอกทีฟทำปฏิกิริยากับเส้นใยเซลลูโลสเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์
- อุณหภูมิการย้อม ทำให้ปริมาณการดูดซึม (Absorption) และการแทรกซึม (Penetration) ของสีรีแอกทีฟเข้าสู่เส้นใยเพิ่มขึ้นและทำให้การย้อมสม่ำเสมอ
- ช่วงเวลาในการต้มต่างและการย้อมที่เหมาะสม ช่วยให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างสีรีแอกทีฟกับเส้นใยเพิ่มสูงขึ้น

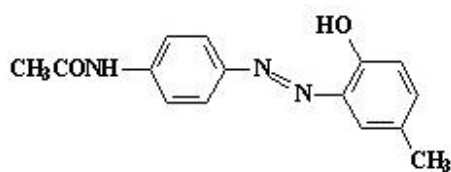


ภาพที่ 10 การเกิดปฏิกิริยาแบบรวมตัวของโมเลกุลสีรีแอกทีฟกับเส้นใยฝ้าย

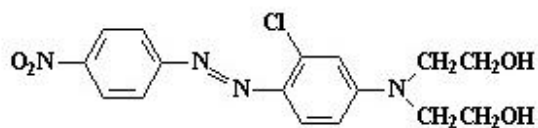
5. สีดิสเพิร์ส

สีดิสเพิร์สเป็นสีที่ไม่มีประจุ (nonionic) จึงละลายน้ำได้น้อยมาก สามารถแขวนลอยในน้ำได้ โดยอาศัยสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) โมเลกุลสีดิสเพิร์สโดยทั่วไปมีขนาดเล็ก สามารถเกิดการระเหิดได้ จึงนิยมใช้ย้อมเส้นใยสังเคราะห์ เช่น พอลิเอสเตอร์ (PET) ไนลอน และ PLA เป็นต้น ส่วนที่ให้สี (chromophore) ในโมเลกุลของสีดิสเพิร์สส่วนใหญ่เป็นสารประกอบเอโซ (azo benzene derivative) หรือสารประกอบแอนทราควิโนน (anthraquinone) ดังภาพที่ 11 และภาพที่ 12

การย้อมสีดิสเพิร์สบนเส้นใย PET นิยมทำการกระจายสีดิสเพิร์สให้แขวนลอยในน้ำโดยใช้สารช่วยการกระจายตัว (Dispersing agent) จากนั้นจึงทำการย้อมเส้นใย PET ที่อุณหภูมิ 120-135 องศาเซลเซียสภายใต้ความดัน เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวยางส่วนของโมเลกุล PET ทำให้โครงสร้างเส้นใยเปิดออก สีดิสเพิร์สจึงแทรกซึมเข้าสู่เส้นใย PET ได้



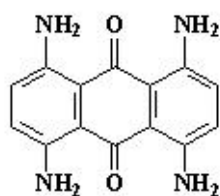
C.I. Disperse Yellow 3



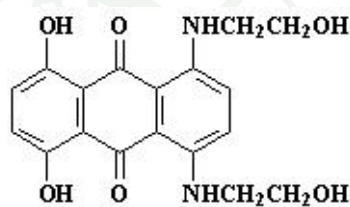
C.I. Disperse Red 7

ภาพที่ 11 ตัวอย่างสีย้อมเพอร์สชนิดโมโนเอโซ

ที่มา: พจนารถ. (2553)



C.I. Disperse Blue 1

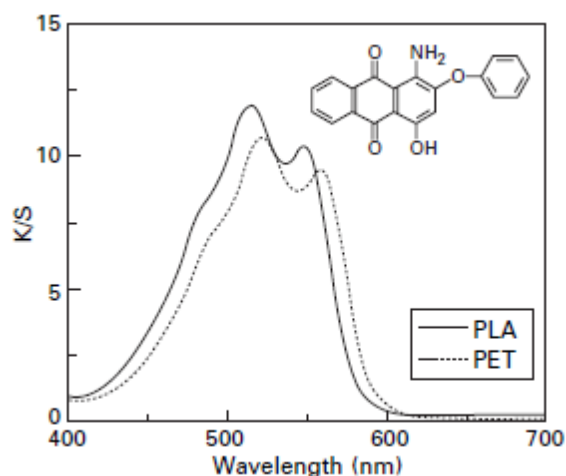


C.I. Disperse Blue 7

ภาพที่ 12 ตัวอย่างสีย้อมเพอร์สชนิดแอนทราควิโนน

ที่มา: พจนารถ. (2553)

การย้อมเส้นใย PLA สามารถย้อมด้วยสีย้อมเพอร์สชนิดเดียวกับที่ใช้ย้อมเส้นใย PET แต่ทำการย้อมที่อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการย้อมของเส้นใย PET (PLA ย้อมที่อุณหภูมิประมาณ 110 องศาเซลเซียส) เนื่องจากอุณหภูมิการหลอมเหลวของเส้นใย PLA ต่ำกว่าเส้นใย PET และพบว่าเส้นใย PLA จะดูดกลืนสี (K/S) ที่ความยาวคลื่นต่ำกว่าเส้นใย PET ทำให้เฉดสีที่ผ่านการย้อมบนเส้นใย PLA สว่างกว่าเฉดสีบนเส้นใย PET (Nakumura, 2003) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 กราฟแสดงค่า K/S ของการติดสีดีสเพิร์ส (Disperse Red 60) บนเส้นใย PLA และ PET

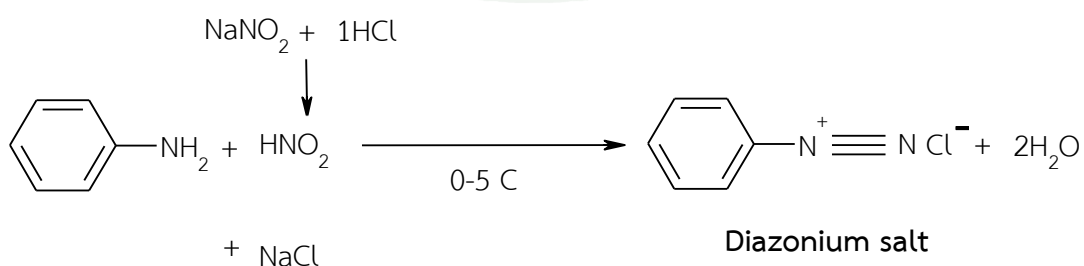
ที่มา: Farrington *et al.* (2005)

6. ปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชัน-คัปปลิง (Diazotization-coupling reaction)

เป็นปฏิกิริยาที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์สีเอโซ (Azo dyes) สารตั้งต้นที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์สีเอโซ คือ สารประกอบแอมโรแมติกเอมีน (Aromatic amine compounds)

6.1 ปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชัน (Diazotization reaction)

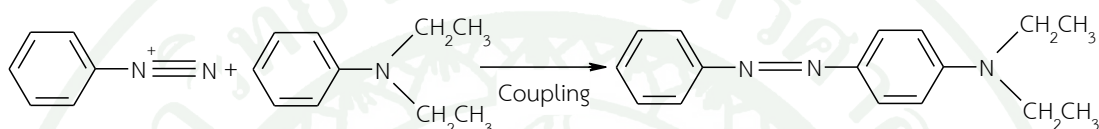
สารประกอบแอมโรแมติกเอมีนจะทำปฏิกิริยากับกรดไนตริก (Nitrous acid; HNO_2) ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมไนไตรต์ (NaNO_2) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ภายใต้อุณหภูมิการสังเคราะห์ที่ต่ำกว่า 5 องศาเซลเซียส เกิดเป็นเกลือไดเอโซเนียม (Diazonium salt) ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชัน (Diazotization reaction)

6.2 ปฏิกิริยาคัปปลิง (Coupling reaction)

เกลือไดเอโซเนียมที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชันเป็นสารตัวกลาง (intermediates) สามารถเกิดปฏิกิริยาการรวมตัวกับสารประกอบคัปปลิง (Coupling agent) ดังภาพที่ 15 สารคัปปลิงที่นิยมใช้ คือ สารประกอบแอโรแมติกประเภทที่ชอบอิเล็กตรอน (Electrophilic aromatic compound) เช่น สารประกอบฟีนอล หรือสารประกอบอะนิลีน (Aniline compounds)



ภาพที่ 15 ปฏิกิริยาคัปปลิง (coupling reaction)

7. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Li and Hardin. (1997) ศึกษาการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกทิเนสและเอนไซม์เซลลูเลส โดยศึกษาลักษณะโครงสร้างของผิวเส้นใยฝ้ายหลังผ่านการทำความสะอาดจากการศึกษาพบว่า เอนไซม์เพกทิเนสสามารถไฮโดรลิซิสเพกทินที่อยู่ภายในเยื่อหุ้มชั้นนอก (Cuticle) ในขณะที่เอนไซม์เซลลูเลสจะทำลายเยื่อหุ้มชั้นนอกเพื่อเข้าไปเกิดปฏิกิริยากับเซลลูโลสที่อยู่ภายในผนังเซลล์ของเส้นใยฝ้าย

Saravannan. (2010) ทำการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ด้วยเอนไซม์กลูโคสออกซิเดส (Glucose oxidase) จากเชื้อรา *Aspergillus niger* โดยใช้น้ำตาลกลูโคส (D-glucose) เป็นอาหารเลี้ยงเชื้อ จากการศึกษพบว่า ภาวะในการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมคือ pH 5 อุณหภูมิในการบ่ม (Incubation) 37 องศาเซลเซียส จากนั้นทำศึกษาต่อโดยนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ผลิตขึ้นภายใต้ภาวะดังกล่าวมาใช้ในการฟอกขาวผ้าฝ้ายที่ pH 11 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส 60 นาที พบว่าเมื่อเปรียบเทียบกับความขาวเริ่มต้นของผ้าฝ้ายคือ 29.06 การใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์สำหรับการฟอกขาวภายใต้ออกซิเจนและแรงเขย่าสามารถเพิ่มค่าความขาวให้กับผ้าฝ้ายได้เป็น 34.02

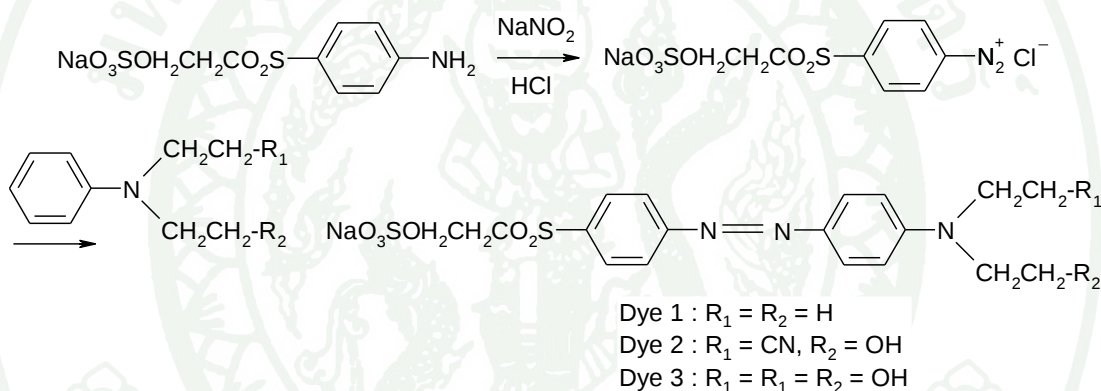
Lee *et al.* (2009) ศึกษาการใช้เอนไซม์คัทินเนส (Cutinase) ในการทำความสะอาดเส้นใยฝ้าย โดยใช้เอนไซม์คัทินเนส (Cutinase) ร่วมกับ คือ Triton x-100 ปริมาณ ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก และแคลเซียมคลอไรด์ 70 มิลลิโมลาร์ ทำความสะอาดเส้นใยฝ้ายที่ pH 9 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที พบว่าเอนไซม์คัทินเนสสามารถย่อยสลายผิวชั้นนอกของเส้นใยฝ้ายได้สังเกตจากรอยแตกบนผิวของเส้นใยฝ้ายเมื่อทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope) โดยไม่ทำให้ความแข็งแรงของเส้นใยลดลง อย่างไรก็ตามเอนไซม์คัทินเนสไม่สามารถพัฒนาสมบัติด้านการดูดซึมน้ำรวมถึงไม่สามารถกำจัดสีธรรมชาติบนเส้นใยฝ้ายได้

Sae-be *et al.* (2006) ได้ศึกษากระบวนการกำจัดสิ่งสกปรกบนผ้าฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกทิเนส เซลลูเลส ไลเปส และโปรติเอส พบว่าเอนไซม์เพกทิเนสสามารถเพิ่มสมบัติการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายทำให้ผ้าฝ้ายดูดซึมน้ำได้ทันทีเมื่อใช้เอนไซม์เพกทิเนส 5 กรัมต่อลิตรร่วมกับสารช่วยเปียก 0.5 กรัมต่อลิตร ทำความสะอาดที่ pH 4 เวลา 2 ชั่วโมง อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสในขณะที่ใช้เอนไซม์เซลลูเลสต้องใช้ร่วมกับเอนไซม์ไลเปสและหรือเอนไซม์โปรติเอสในการทำมาสะอาดผ้าฝ้ายจึงสามารถทำให้ผ้าฝ้ายดูดซึมน้ำได้ทันที

Yang and Huda. (2003) ศึกษาการย่อยแบบจุ่ม (exhaustion) ของสีย้อมฟีนอล์ฟ 10 สีย้อมผ้า PLA และผ้า PET พบว่าเปอร์เซ็นต์ของการดูดซึมสี (%Exhaustion) ดิสเพิร์สบนผ้า PLA ต่ำกว่าผ้า PET แต่ค่าความเข้มของสีย้อมบนผ้า PLA สูงกว่า PET เนื่องจาก PLA มีค่าดัชนีหักเหต่ำกว่า PET ทำให้ปรากฏเฉดสีที่เข้มและแตกต่างจากเฉดสีย้อมบนผ้า PET

Bae *et al.* (2006) ทำการสังเคราะห์สีย้อมฟีนอล์ฟ-ดิสเพิร์สที่มีหมู่ acetoxymethyl sulphone 2 ชนิด เพื่อใช้ย้อมบนผ้า 4 ชนิดคือ ผ้า PET ผ้าไนลอน ผ้าไหม และผ้าผสม PET/ไนลอน พบว่าสีย้อมสังเคราะห์สามารถย้อมได้ดีบนผ้า PET ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส โดยมีพฤติกรรมการติดสีย้อม (build-up) เทียบเท่ากับสีย้อมฟีนอล์ฟทางการค้า นอกจากนี้สีย้อมสังเคราะห์ยังสามารถย้อมได้ดีบนผ้าไหมที่ pH 9 อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ผ้าไนลอนที่ pH 7 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ส่วนการย้อมผ้าผสม PET/ไนลอนขั้นตอนเดียวควรทำการย้อมที่ pH 4 อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส สีย้อมทั้ง 2 ชนิด สามารถย้อมติดบนเส้นใยไนลอนได้ดีกว่าเส้นใย PET ความคงทนของสีต่อการซักบนผ้าทั้ง 4 ชนิดอยู่ในเกณฑ์ดี

Kim *et al.* (2011) ทำการสังเคราะห์สีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์สจากสารตั้งต้นที่มีหมู่ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (sulphatoethyl sulphone) 3 ชนิดตามโครงสร้างดังภาพที่ 16 เพื่อใช้ย้อมบนผ้าฝ้าย ผ้าไนลอน และผ้าผสมฝ้าย/ไนลอน พบว่าสีย้อมตัวที่ 1 (Dye 1) สามารถย้อมติดบนผ้าไนลอนได้ดีที่ pH 5-8 อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส การติดสีบนผ้าฝ้ายเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจะทำให้สีตัวที่ 1 ติดบนผ้าฝ้ายได้เพิ่มขึ้น ในขณะที่สีย้อมตัวที่ 2 และ 3 จะติดบนผ้าฝ้ายได้ดีที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยใช้โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) เป็นสารช่วยย้อม อย่างไรก็ตามค่าความเข้มข้นบนผ้าฝ้ายต่ำกว่าผ้าไนลอน ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าผสมฝ้าย/ไนลอนขั้นตอนเดียว คือ ทำการย้อมที่ pH 7 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส โดยสีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ได้นั้นจะติดเส้นใยไนลอนมากกว่าเส้นใยฝ้ายบนผ้าผสมและมีสมบัติด้านความคงทนของสีต่อการซักดี-ดีมาก ความคงทนของสีต่อการขัดถูดี-ดีมาก แต่มีความคงทนของสีต่อแสงปานกลางบนผ้าทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 16 โครงสร้างสีสังเคราะห์ของ Kim *et al.*, (2011)

Kim *et al.* (2011) ทำการสังเคราะห์สีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่มีหมู่ sulphatoethyl sulphone 2 ชนิดเพื่อใช้ย้อมบนผ้า PET ผ้าไนลอน และผ้าผสม PET/ไนลอน พบว่าสีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์สจะติดบนผ้าไนลอนดีกว่าผ้า PET อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าไนลอนคือ 100 องศาเซลเซียส โดยค่า pH (pH 4-8) ในสารละลายสีมีผลต่อพฤติกรรมการติดสีย้อมบนผ้าไนลอน ผ้าไนลอนสามารถดูดซับสีย้อมได้ร้อยละ 97 (pH 4) มีค่าความคงทนของสีต่อการซักและการขัดถูดีมาก ในขณะที่ผ้า PET อุณหภูมิการย้อมที่เหมาะสม คือ 120 องศาเซลเซียส pH 5-8 ของสารละลายสีไม่มีผลต่อพฤติกรรมการติดสีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้า PET ภาวะในการย้อมผ้าผสม PET/ไนลอน คือ pH 5 อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

วัสดุและสารเคมี

1. ผ้าดิบ (Greige fabric)

ผ้าที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 3 ชนิดเป็นผ้าถักชั้นเดียว (Plain knitted fabric) ลายปีไก่ เบอร์ด้าย 40 Ne/2 ทั้ง 3 ชนิด สมบัติโดยทั่วไปของผ้าแสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สมบัติของผ้าถักลายปีไก่ที่ใช้ในงานวิจัย

ผ้าดิบ	น้ำหนัก (กรัมต่อตารางเมตร)	ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	การทึงตัว (ร้อยละ)
ผ้า PLA (100%)	227	0.985	61.28
ผ้าฝ้าย (100%)	239	7.535	46.48
ผ้าผสม PLA/ฝ้าย (อัตราส่วน 50:50)	213	3.932	50.95

2. สารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย

สารเคมี	บริษัท
กระบวนการเตรียมผ้า	
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	Carlo
- โซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3)	Panreac
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	Carlo
- สารช่วยเปียก (Nonionic wetting agent; Dypidol 101 M [®])	Brenntag ประเทศไทย
- เอนไซม์เพกทีเนส (Pectinase enzyme; Scourzyme [®] L)	Novozymes
- ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 30 โดยปริมาตร (H_2O_2)	Carlo
การสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สและการทดสอบ	
- กรดไฮโดรคลอริก (HCl)	Carlo
- โซเดียมคลอไรด์ (NaCl)	Carlo
- โซเดียมไนไตรต์ (NaNO_2)	Qrec
- โซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa)	Carlo
- โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)	Carlo
- ไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF)	Fisher chemical
- ไดเอทิลอะนิลีน ($\text{N,N-diethylaniline}$)	DyStar ประเทศไทย
- โทลูอีน (tolulene)	Panreac Quimica S.L.U.
- อะซิโตน (Acetone)	Merck
- อะมิโนฟีนิล 4 เบต้า ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน Aminophenyl-4-(β - sulphatoethyl sulphone)	Modern Dyestuffs & Pigment ประเทศไทย
- เอทานอล (Ethanol)	Lab scan
- เฮกเซน (Hexane)	Fisher chemical

ตารางที่ 6 (ต่อ)

สารเคมี	บริษัท
การย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส	
- กรดอะซิติก (CH_3COOH)	Merck
- โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)	Carlo
- โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4)	Fisher scientific
- โซเดียมอะซิเตต (CH_3COONa)	Carlo
- โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$)	Acros Organics
- ผงซักฟอกมาตรฐาน	James H. Heal
- สารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent)	DyStar ประเทศไทย

เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องชั่งระบบอินฟราเรด (Infared moisture balance; A&D[®] MX-50)
2. เครื่องย้อมระบบอินฟราเรด (Infared dyeing Machine; Starlet[®] DL 6000)
3. เครื่องวัดสี (Mcbeth spectrophotometer; ColorEye 7000)
4. เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้าฉีก (Bursting strength; SDL P1000)
5. เครื่องระเหยแบบลดความดัน (Rotary evaporator; Heidolph[®] Advantage)
6. เครื่องวัดจุดหลอมเหลว (Melting point; KRUSS[®] KSP 1N)
7. เครื่องตัดผ้าแบบวงกลม (Circular cutter; Mesdan lab)
8. เครื่องทดสอบการทิ้งตัวของผ้า (Cusick Drape tester)
9. เครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (Elemental Analyzer; LEGO CHN-932)

วิธีการ

ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษากระบวนการเตรียมผ้าที่เหมาะสมสำหรับผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย คือ ขั้นตอนการทำความสะอาดเพื่อพัฒนาสมบัติด้านการดูดซึมน้ำของผ้าผสม PLA/ฝ้าย และขั้นตอนการฟอกขาวเพื่อพัฒนาค่าความขาวของผ้าผสม PLA/ฝ้าย หลังจากนั้นนำผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการเตรียมผ้าแล้วมาทำการย้อมด้วยสีย้อมแอททิฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ขึ้นจากการปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชัน-คัปปลิง เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้าย ขั้นตอนเดียวและสมบัติของด้านความคงทนของสีต่อการซัก

ขั้นตอนการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งขั้นตอนการทำวิจัยออกเป็น 4 ส่วนดังนี้

- ตอนที่ 1 การศึกษาผลของกระบวนการเตรียมผ้าต่อสมบัติของผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย
- ตอนที่ 2 การสังเคราะห์สีย้อมแอททิฟ-ดิสเพิร์ส
- ตอนที่ 3 การศึกษาพฤติกรรมการติดสีย้อมแอททิฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย
- ตอนที่ 4 วิธีการทดสอบ

ตอนที่ 1 การศึกษาผลของกระบวนการเตรียมผ้าต่อสมบัติของผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย

กระบวนการเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย ที่จำเป็นเพื่อให้ผ้าถักมีความพร้อมเข้าสู่กระบวนการย้อม คือ ขั้นตอนการทำความสะอาด (scouring process) และขั้นตอนการฟอกขาว (bleaching process) วัตถุประสงค์ของขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย คือต้องการให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายสามารถดูดซึมน้ำ สีย้อมและสารช่วยย้อมต่างๆ ได้อย่างสม่ำเสมอ ส่วนวัตถุประสงค์ของขั้นตอนการฟอกขาวผ้าผสม PLA/ฝ้าย คือต้องการปรับค่าความขาวของผ้าผสม PLA/ฝ้ายให้มีความเหมาะสมสำหรับการย้อมสีอ่อนบนผ้าผสม PLA/ฝ้าย

กระบวนการเตรียมเส้นฝ้ายในผ้าผสม PLA/ฝ้าย ทั้งขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าและการฟอกขาวต้องทำในสารละลายต่างที่ร้อนจึงมีประสิทธิภาพดี แต่ภาวะดังกล่าวส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย PLA ในผ้าผสม PLA/ฝ้าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงวางแผนแยกการทดลองออกเป็น 3 ส่วน เพื่อศึกษาผลของกระบวนการเตรียมผ้าต่อความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้าย คือ

- ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย
- ขั้นตอนการฟอกขาวผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย
- การเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว

1. ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย

1.1 การต้มผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย (Prewashing)

ผ้าฝ้ายและผ้าผสม PLA/ฝ้ายก่อนเข้าสู่ขั้นตอนการทำความสะอาดจะถูกนำมาต้มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที โดยมี LR เท่ากับ 30:1 หลังจากนั้นนำผ้ามาล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้งเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่สามารถละลายน้ำได้ ผ้าที่ผ่านการต้มในน้ำเดือดของเรียกว่า "ผ้า prewashed"

ผ้า PLA จะถูกนำมาต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสารละลายที่ประกอบด้วยสารช่วยเปียก (Dypidol 101 M[®]) 1%owf โดยมี LR เท่ากับ 30:1 หลังจากนั้นจึงล้างผ้า PLA ด้วยน้ำสะอาดและตากให้แห้ง เรียกว่า "ผ้า prewashed PLA"

1.2 การทำความสะอาดผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย (Scouring)

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการทำทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยสารละลายต่าง (Alkali Scouring) และเอนไซม์ (Enzymatic Scouring) เพื่อให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายสามารถดูดซึมน้ำได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน ต่างที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na₂CO₃) เอนไซม์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เอนไซม์เพกทิเนส (Pectinase Enzyme)

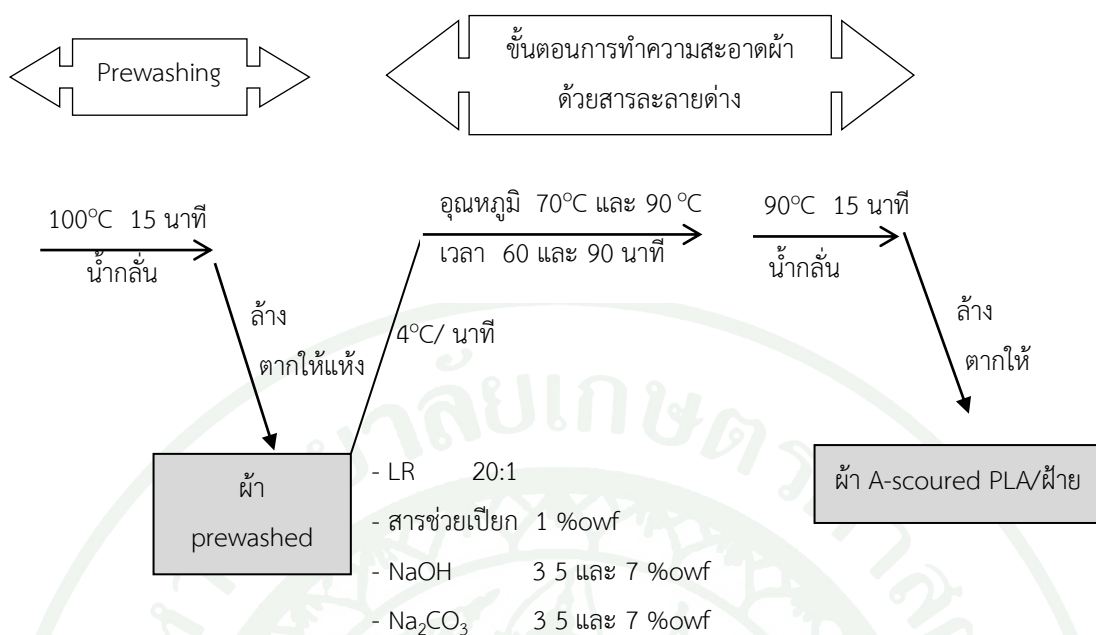
1.2.1 การทำความสะอาดผ้าด้วยสารละลายต่าง (Alkali scouring)

การทำความสะอาดผ้าด้วยสารละลายต่างมีขั้นตอนดังนี้ เตรียมสารละลายต่างที่ประกอบด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ปริมาณ 3.5 และ 7%owf ร่วมกับสารช่วยเปียก (Dypidol 101 M[®]) ปริมาณ 1%owf โดยมี LR เท่ากับ 20:1 นำสารละลายที่เตรียมได้ไปทำความสะอาดผ้า prewashed PLA/ฝ้าย ที่อุณหภูมิ 70 และ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 และ 90 นาทีภายในเครื่องย้อมอินฟราเรดเพื่อหาความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซเดียมคาร์บอเนต อุณหภูมิและเวลาที่เหมาะสมสำหรับการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย หลังจากนั้นนำผ้า prewashed PLA/ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยสารละลายต่างแล้วมาต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อกำจัดด่างที่อยู่บนผ้าออก ล้างผ้าให้สะอาดและตากให้แห้ง ภาพการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยสารละลายต่างแสดงในตารางที่ 7 และขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยสารละลายต่างแสดงดังภาพที่ 17 ผ้าที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยสารละลายต่าง เรียกว่า "ผ้า A-scoured"

นำผ้า A-scoured PLA/ฝ้ายมาทำการทดสอบสมบัติดังนี้ ค่าการดูดซึมน้ำของผ้าถัก ความแข็งแรงของผ้าถัก ดัชนีความขาว ปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายและปริมาณสารที่หลุดออกระหว่างขั้นตอนการทำความสะอาดตามวิธีทดสอบในตอนต้นที่ 4 เปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้กับผ้า prewashed PLA/ฝ้าย ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยสารช่วยเปียก (Dypidol 101 M[®]) ปริมาณ 1%owf เพียงอย่างเดียว

ตารางที่ 7 ภาพการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ ฝ้าย (LR 20:1)

สารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (%owf)	สารช่วยเปียก (%owf)	อุณหภูมิ (°C)	เวลา (นาที)
NaOH	3.5 และ 7	1	70 และ 90	60 และ 90
Na_2CO_3	3.5 และ 7	1	70 และ 90	60 และ 90
Pectinase (pH 8-9)	3.5 7 และ 10	1	60	60

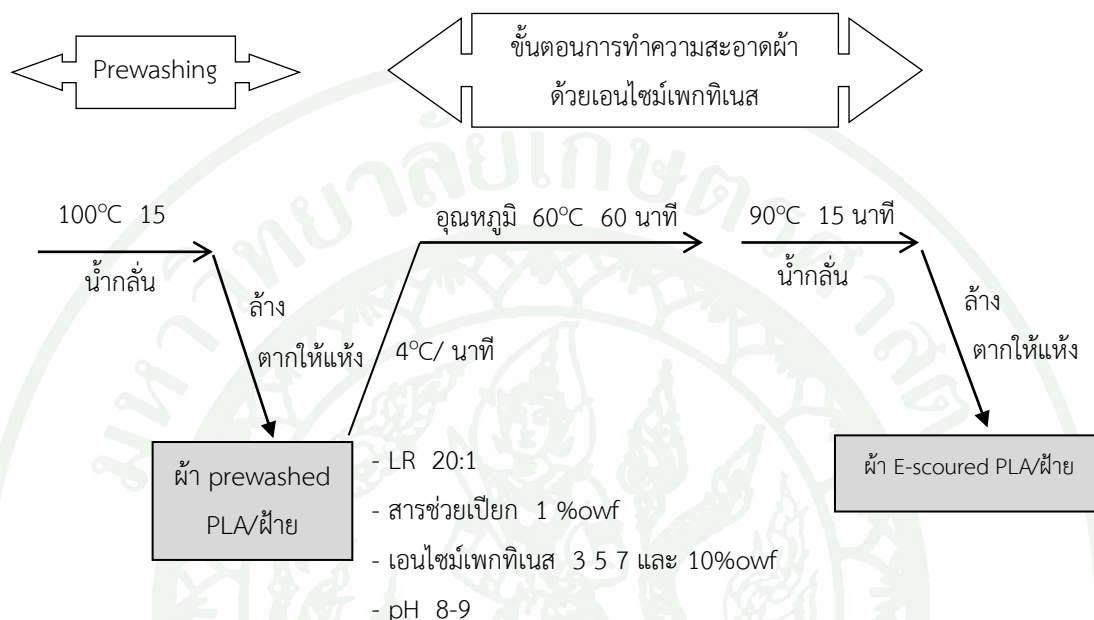


ภาพที่ 17 ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยสารละลายต่าง

1.2.2 การทำความสะอาดผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกทีเนส (Pectinase Scouring)

การทำความสะอาดผ้าด้วยเอนไซม์เพกทีเนสมีขั้นตอนดังนี้ เตรียมสารละลายที่ประกอบด้วยเอนไซม์เพกทีเนสปริมาณ 3 5 7 และ 10%owf ร่วมกับสารช่วยเปียก (Dypidol 101 M®) ปริมาณ 1%owf โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ปรับค่า pH ของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 8-9 ก่อนนำสารละลายที่เตรียมได้ไปทำความสะอาดผ้า prewashed PLA/ฝ้ายที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาทีภายในเครื่องย้อมอินฟราเรด เพื่อหาความเข้มข้นของเอนไซม์เพกทีเนสที่เหมาะสมสำหรับทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย (ตารางที่ 7) จากนั้นนำผ้า prewashed PLA/ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยเอนไซม์เพกทีเนสมาต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เพื่อยุติปฏิกิริยาของเอนไซม์เพกทีเนส ล้างผ้าให้สะอาดและตากให้แห้ง ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกทีเนสแสดงดังภาพที่ 18 ผ้าที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดด้วยเอนไซม์เพกทีเนส เรียกว่า "ผ้า E-scoured"

นำผ้า E-scoured PLA/ฝ้ายมาทำการทดสอบสมบัติดังนี้ ค่าการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้าย ความแข็งแรงของผ้าฝ้าย ดัชนีความขาว ปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายและปริมาณสารที่หลุดออกระหว่างขั้นตอนการทำความสะอาดตามวิธีทดสอบในตอนต้นที่ 4



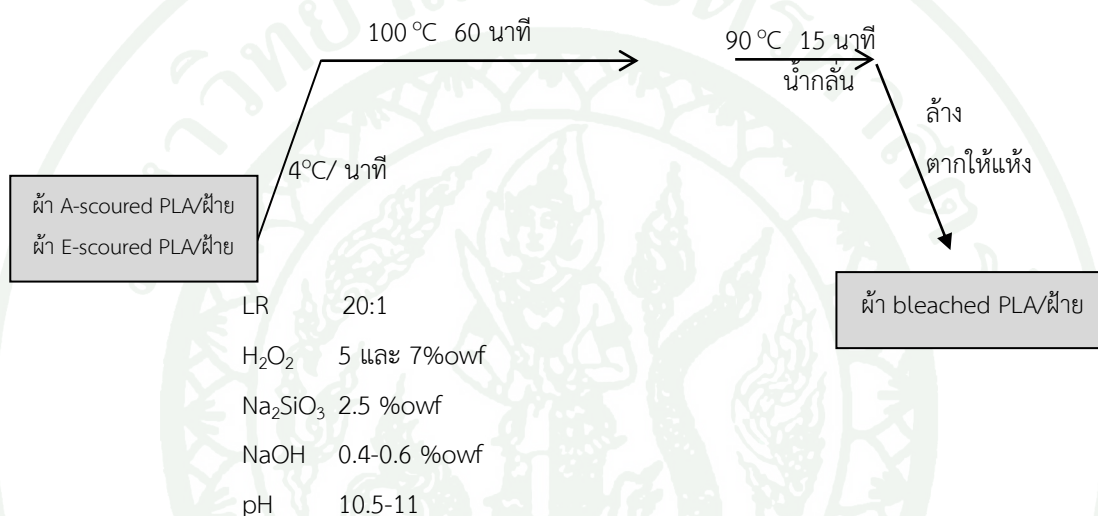
ภาพที่ 18 ขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยเอนไซม์เพกทิเนส

2. ขั้นตอนการฟอกขาวผ้าผสม PLA/ฝ้าย

งานวิจัยนี้ทำการฟอกขาวผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เพื่อศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายมีค่าความขาวตามเกณฑ์มาตรฐาน การฟอกขาวผ้าผสม PLA/ฝ้ายมีขั้นตอนดังนี้ นำผ้า A-scoured PLA/ฝ้ายและผ้า E-scoured PLA/ฝ้าย ที่มีค่าการดูดซึมน้ำผ่านเกณฑ์มาตรฐานมาทำการฟอกขาวด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ปริมาณ 5 และ 7%owf ร่วมกับโซเดียมซิลิเกต (Na_2SiO_3) ปริมาณ 2.5%owf และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) ปริมาณ 0.4-0.6 %owf ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 10.5-11 โดยมี LR เท่ากับ 20:1 นำสารละลายที่เตรียมได้ไปฟอกขาวผ้า A-scoured PLA/ฝ้ายและ E-scoured PLA/ฝ้ายภายในเครื่องย้อมอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที

จากนั้นนำผ้ามาทำการต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนผ้าออก ล้างผ้าด้วยน้ำสะอาดและตากผ้าให้แห้ง ขั้นตอนการฟอกขาวแสดงดังภาพที่ 19 ผ้าที่ผ่านการฟอกขาวด้วยวิธีการนี้ เรียกว่า "ผ้า bleached"

นำผ้า bleached PLA/ฝ้ายมาทำการทดสอบสมบัติดังนี้ ดัชนีความขาวและความเหลืองของผ้าถัก ความแข็งแรงของผ้าถัก และปริมาณสารที่หลุดออกระหว่างขั้นตอนการฟอกขาวตามวิธีทดสอบในตอนี่ 4



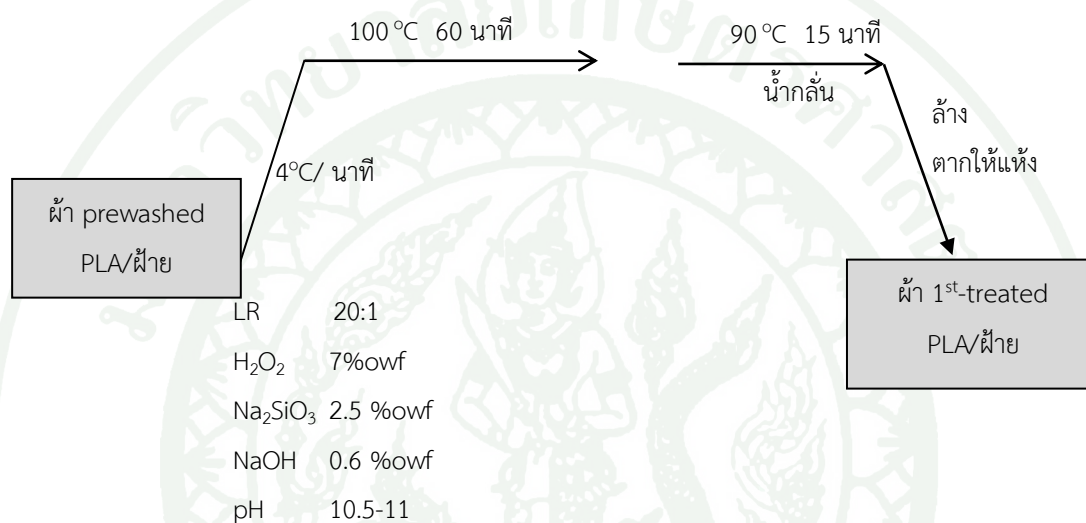
ภาพที่ 19 ขั้นตอนการฟอกขาวผ้า scoured PLA/ฝ้าย

3. การเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว

การเตรียมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียวในงานวิจัยนี้ คือการทำขั้นตอนการทำความสะอาดและการฟอกขาวผ้าผสม PLA/ฝ้ายไปพร้อมกันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) เพื่อศึกษาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายมีค่าการดูดซึมน้ำและค่าความขาวผ่านเกณฑ์มาตรฐาน การเตรียมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียวทำได้ดังนี้ เตรียมสารละลายที่ประกอบด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H₂O₂) 7 %owf รวมกับสารช่วยเปียก (Dypidol 101 M[®]) 1 %owf โซเดียมซิลิเกต (Na₂SiO₃) 2.5%owf และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.6%owf ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 10.5-11 โดยมี LR เท่ากับ 20:1 นำผ้า prewashed PLA/ฝ้ายมาทำความสะอาดและฟอกขาวไปพร้อมกันในสารละลายดังกล่าวภายในเครื่องย้อมอินฟราเรดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำผ้ามาทำการต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาทีเพื่อกำจัดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์บนผ้าออก ล้างผ้าด้วยน้ำสะอาด

และตากผ้าให้แห้ง ขั้นตอนการเตรียมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียวแสดงดังภาพที่ 20 ผ้าที่ผ่านการฟอกขาวด้วยวิธีการนี้ เรียกว่า "ผ้า 1st-treated"

ผ้า 1st-treated PLA/ฝ้าย ที่ผ่านการเตรียมผ้าจะถูกนำมาทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ ดัชนีความขาวและความเหลืองของผ้าสัก ความแข็งแรงของผ้าสัก และปริมาณสารที่หลุดออกระหว่างการเตรียมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียวตามวิธีทดสอบในตอนี่ 4



ภาพที่ 20 การเตรียมผ้าสักผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว

ตอนที่ 2 การสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส

งานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สจากปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชันและคัปปลิง (diazotization-coupling reaction) ระหว่างอะมิโนฟีนอล 4 เบต้า ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (Aminophenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone)) กับไดเอทิลอะนิลีน (N,N-diethylaniline) เพื่อใช้ย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว โดยระหว่างขั้นตอนการสังเคราะห์นั้นจะทำการตกตะกอนสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส 2 วิธี คือ การตกตะกอนด้วยเกลือโซเดียมคลอไรด์ (สี RD-Salt) และการตกตะกอนในภาวะด่างที่ pH 11.3 (สี RD-Alkali) ขั้นตอนการสังเคราะห์แสดงดังภาพที่ 21

1. การสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt

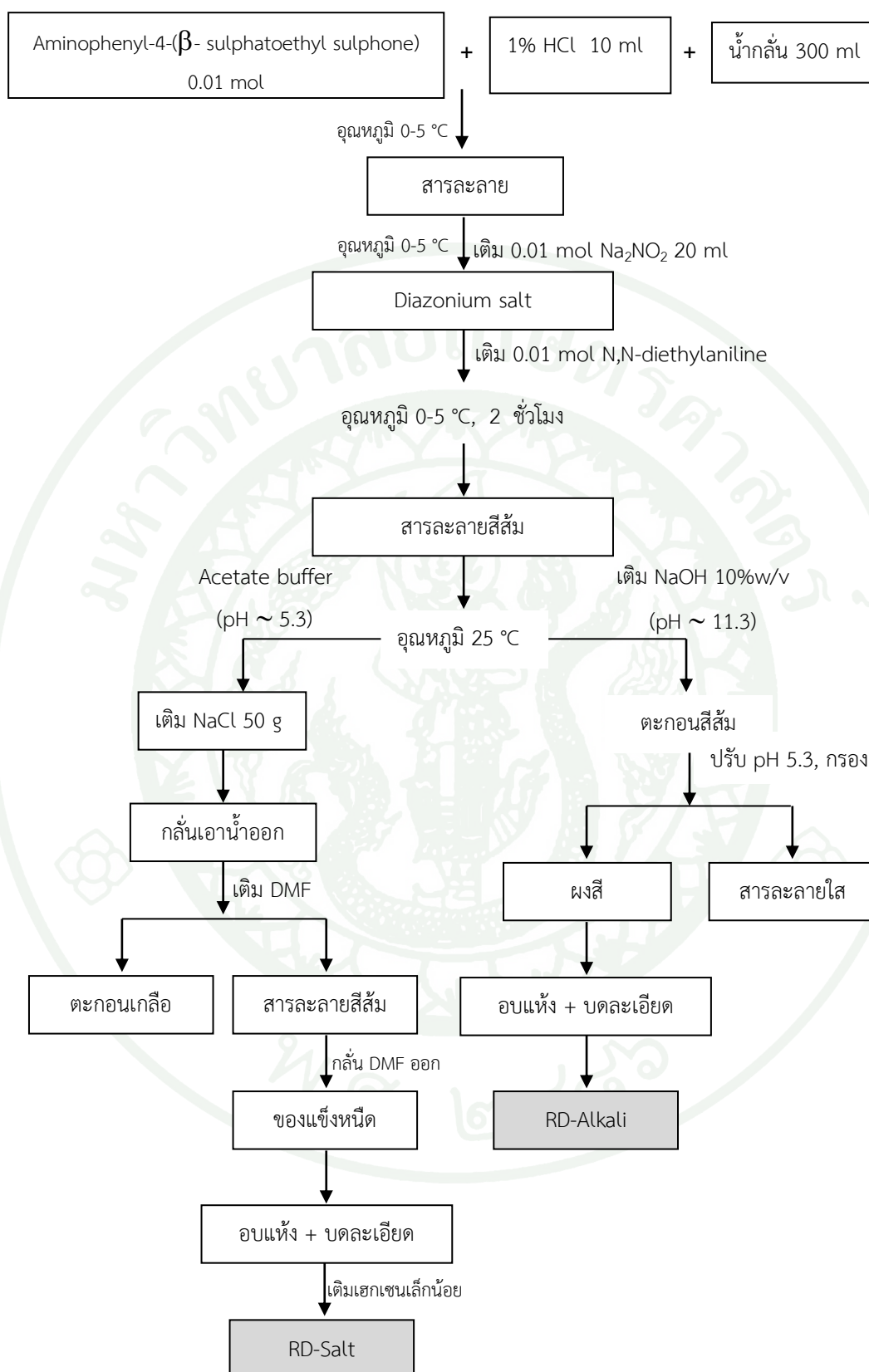
ละลายอะมิโนฟีนิล 4 เบต้า ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (Aminophenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone) 0.01 โมล (2.8 กรัม) ในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตรและกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 0-5 องศาเซลเซียส ก่อนทำการเติมสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมไนไตรต์ (Na_2NO_2) 0.01 โมล (0.75 กรัม) ในน้ำปริมาณ 20 มิลลิลิตรลงไปช้าๆ เพื่อให้เกิดเกลือไดอะโซเนียม (diazodium salt) และเติมไดเอทิลอะนิลีน (N,N-diethylaniline) 0.01 โมล (1.5 กรัม) ลงไปในสารละลายเพื่อให้เกิดการคัปปลิงตามลำดับ ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้อยู่ระหว่าง 0-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นค่อยๆ ปรับอุณหภูมิของสารละลายสีให้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ก่อนทำการปรับ pH ของสารละลายสีให้อยู่ประมาณ 5.3 ด้วยสารละลายบัฟเฟอร์ ทำการตกตะกอนสีในขั้นตอนสุดท้ายด้วยการค่อยๆ เติมโซเดียมคลอไรด์ปริมาณ 50 กรัม ลงไปในสารละลายสี ตั้งสารละลายสีทิ้งไว้ 1 คืนก่อนนำสารละลายสีไปกลั่นน้ำออกด้วยเครื่องกลั่นลดความดันจนกระทั่งได้เป็นของเหลวชั้นหนืดสีส้ม เติมไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF) ลงไปในของเหลวชั้นหนืดสีส้มเพื่อแยกสารละลายสีออกจากเกลือ นำสารละลายสีไปกำจัดไดเมทิลฟอร์มาไมด์ออก อบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจะได้ของแข็งหนืด เติมเฮกเซนลงไปเล็กน้อยจะได้ของแข็งที่สามารถนำมาบดให้เป็นผงละเอียด ซึ่งคือ ผงสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt นำผงสี RD-Salt ที่สังเคราะห์ได้มาทำให้บริสุทธิ์ก่อนทำการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของสีตามวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของสีในตอนที่ 4

2. การสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Alkali

ละลายอะมิโนฟีนิล 4 เบต้า ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (Aminophenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone)) 0.01 โมล (2.8 กรัม) ในสารละลายที่ประกอบด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 300 มิลลิลิตรและกรดไฮโดรคลอริกความเข้มข้นร้อยละ 1 โดยปริมาตร ปริมาณ 10 มิลลิลิตร จากนั้นปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 0-5 องศาเซลเซียส ก่อนทำการเติมสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมไนไตรต์ (Na_2NO_2) 0.01 โมล (0.75 กรัม) ในน้ำปริมาณ 20 มิลลิลิตรลงไปช้าๆ เพื่อให้เกิดเกลือไดอะโซเนียม (diazodium salt) เติมไดเอทิลอะนิลีน (N,N-diethylaniline) 0.01 โมล (1.5 กรัม) ลงไปในสารละลายเพื่อให้เกิดการคัปปลิงตามลำดับ ควบคุมอุณหภูมิของปฏิกิริยาให้อยู่ระหว่าง 0-5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นค่อยๆ ปรับอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ที่ 25 องศาเซลเซียส ทำการตกตะกอนสีด้วยการปรับ pH ของสารละลายสีให้อยู่

ประมาณ 11.3 โดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร จนเกิดตะกอนสีส้ม หลังจากนั้นปรับ pH ของสารละลายให้กลับมามีค่าประมาณ 5.3 ด้วยกรดอะซิติก ร้อยละ 10 โดยปริมาตร กรองตะกอนสีส้มออกจากสารละลาย นำตะกอนสีส้มไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสและบดให้เป็นผงละเอียด ซึ่งคือ ผงสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Alkali นำผงสี RD-Alkali ที่สังเคราะห์ได้มาทำให้บริสุทธิ์ก่อนทำการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของสี RD-Alkali ตามวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของสีในตอนที 4





ภาพที่ 21 ขั้นตอนการสังเคราะห์สรีรแอทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali

ตอนที่ 3 การศึกษาพฤติกรรมการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าฝ้าย

สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali จะถูกนำมาย้อมบนผ้าฝ้ายและผ้า PLA เพื่อหาภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสำหรับเป็นข้อมูลในการเลือกภาวะในการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายชั้นตอนเดียว งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

- การศึกษาพฤติกรรมการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าฝ้าย
- การศึกษาพฤติกรรมการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้า PLA
- การย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายชั้นตอนเดียว

1. การศึกษาพฤติกรรมการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าฝ้าย

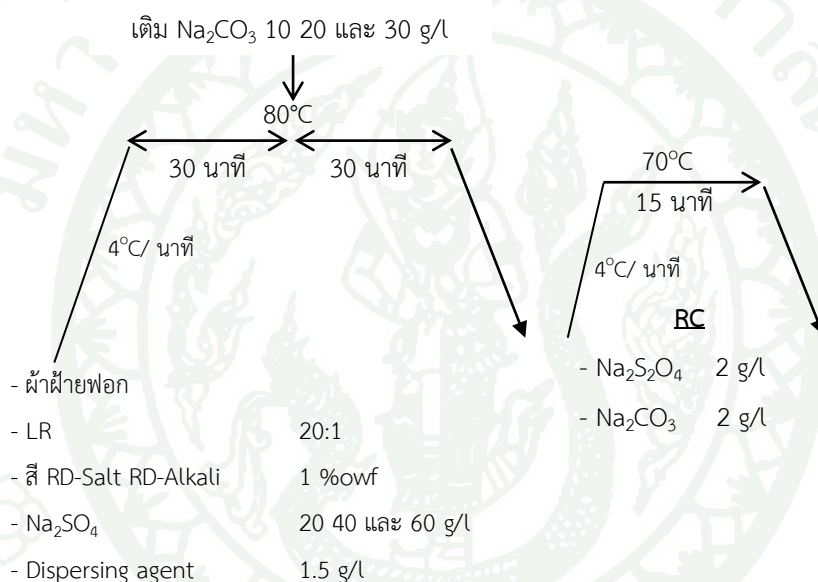
ทำการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali บนผ้าฝ้ายภายในเครื่องย้อมอินฟราเรด ร่วมกับสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) ปริมาณ 1.5 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าฝ้ายด้วยผงสี RD-Salt และ RD-Alkali ทำการศึกษาจากปัจจัยดังนี้

- ปริมาณเกลือและด่างที่เหมาะสมในย้อมผ้าฝ้ายของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด
- ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้าย

ผ้าฝ้ายภายหลังผ่านการย้อมจะถูกนำมาทำกระบวนการกำจัดสีที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับเส้นใยฝ้ายออก (Reduction clear; RC) ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมไดไธโอไนต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 2 กรัมต่อลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 2 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 30:1 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำผ้าไปล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้ง ก่อนนำมาทำการวัดค่าความเข้มสีและเจดสีบนผ้าด้วยเครื่องวัดสี

1.1 ปริมาณเกลือและค่าที่เหมาะสมในย้อมผ้าฝ้ายของสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์ส

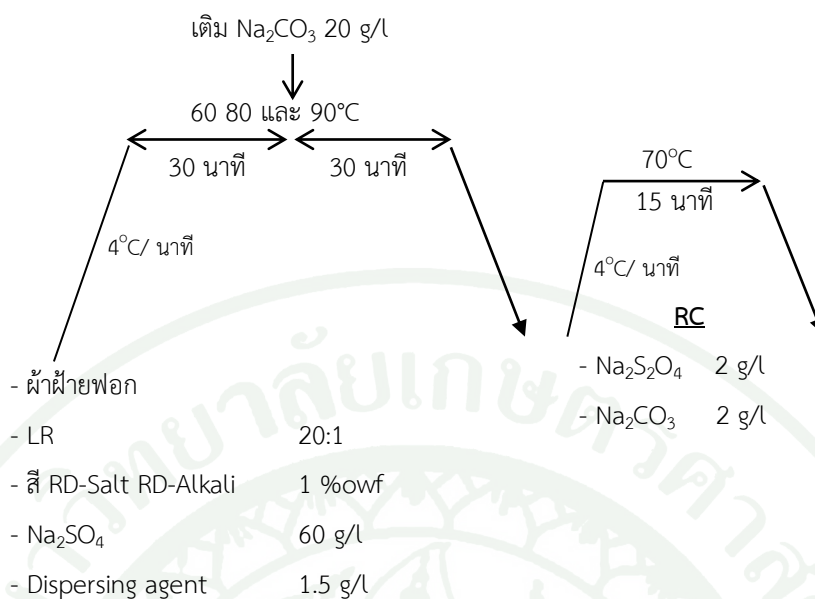
นำผ้าฝ้ายน้ำหนัก 2 กรัมมาย้อมด้วยสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ใช้สีย้อมปริมาณ 1%owf เติมเกลือและค่าเป็นสารช่วยย้อม เกลือที่ใช้ในการศึกษา คือ โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ทำการศึกษาปริมาณโซเดียมซัลเฟตที่แตกต่างกัน คือ 20 40 และ 60 กรัมต่อลิตร ค่าที่ใช้ในการศึกษา คือ โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ทำการศึกษาปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกัน คือ 10 20 และ 30 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที รูปแบบการย้อมแสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 รูปแบบการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์สโดยใช้ปริมาณเกลือและค่าที่แตกต่างกัน

1.2 การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายของสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์ส

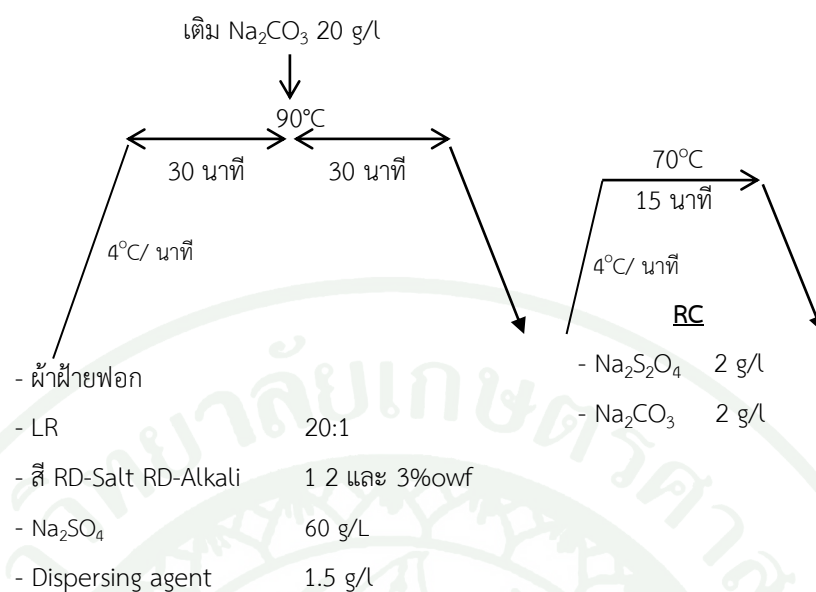
นำผ้าฝ้ายน้ำหนัก 2 กรัมมาย้อมด้วยสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ใช้สีย้อมปริมาณ 1%owf ร่วมกับโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ปริมาณ 60 กรัมต่อลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ทำการย้อม เป็นเวลา 60 นาทีด้วยอุณหภูมิการย้อมที่แตกต่างกัน คือ 60 80 และ 90 องศาเซลเซียส รูปแบบการย้อมแสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 รูปแบบการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

1.3 การศึกษาปริมาณสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้าย

นำผ้าฝ้ายน้ำหนัก 2 กรัมมาย้อมด้วยสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ด้วยปริมาณสีที่แตกต่างกัน คือ 1 2 และ 3%owf ร่วมกับโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ปริมาณ 60 กรัมต่อลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที รูปแบบการย้อมแสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 รูปแบบการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดด้วยปริมาณสีแตกต่างกัน

2. การศึกษาพฤติกรรมการติดสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สบนผ้า PLA

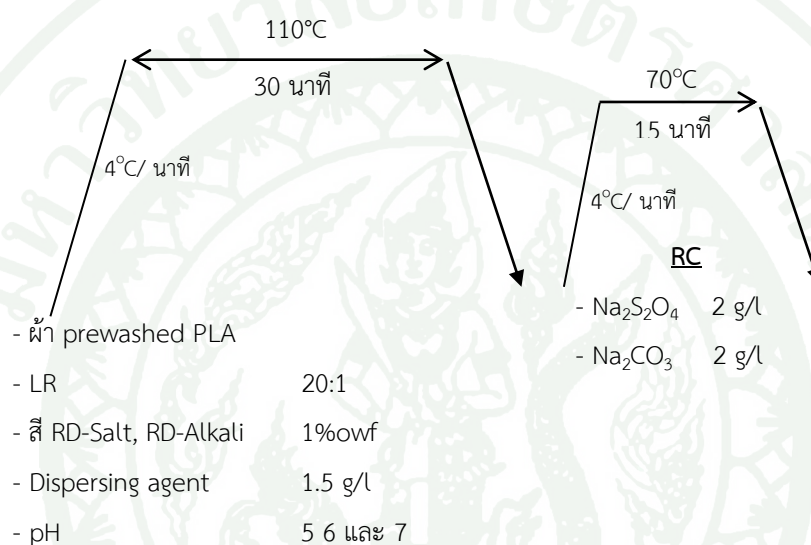
ทำการย้อมสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali บนผ้า PLA ภายในเครื่องย้อมอินฟราเรด ร่วมกับสารช่วยกระจายตัว (Dispersing agent) ปริมาณ 1.5 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้า PLA ด้วยผงสี RD-Salt และ RD-Alkali ทำการศึกษาจากปัจจัยดังนี้

- pH ที่เหมาะสมสำหรับย้อมผ้า PLA ของสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด
- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมผ้า PLA ของสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด
- เวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้า PLA ของสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด
- ปริมาณสีย้อมที่ฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่เหมาะสมในการย้อมผ้า PLA

ผ้า PLA ภายหลังจากการย้อมจะถูกนำมาทำกระบวนการกำจัดสีที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับเส้นใย PLA ออก (Reduction clear; RC) ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมไดไธโอไนต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 2 กรัมต่อลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 2 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 30:1 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำผ้าไปล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้ง ก่อนนำมาทำการวัดค่าความเข้มสีและเจดสีบนผ้าด้วยเครื่องวัดสี

2.1 ค่า pH ของสารละลายสีที่เหมาะสมสำหรับย้อมผ้า PLA ของสีย้อมแอททิฟ-ดิสเพิร์ส

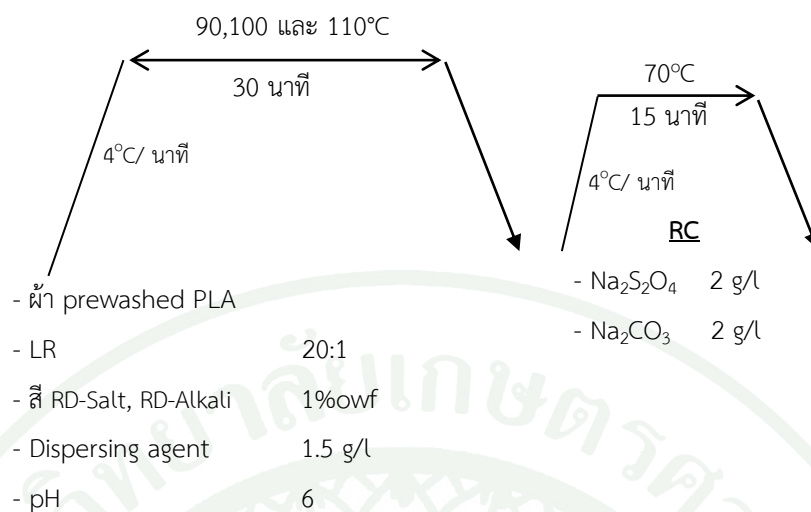
นำผ้า PLA น้ำหนัก 2 กรัมมาย้อมด้วยสีย้อมแอททิฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ใช้สีปริมาณ 1 %owf ร่วมกับสารช่วยกระจายตัวปริมาณ 1.5 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ปรับ pH ของสารละลายสีให้แตกต่างกัน คือ 5 6 และ 7 ก่อนนำไปย้อมผ้า PLA ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที รูปแบบการย้อมแสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 รูปแบบการย้อมผ้า PLA ด้วยสีย้อมแอททิฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่ pH ต่างกัน

2.2 อุณหภูมิที่เหมาะสมในการย้อมผ้า PLA ของสีย้อมแอททิฟ-ดิสเพิร์ส

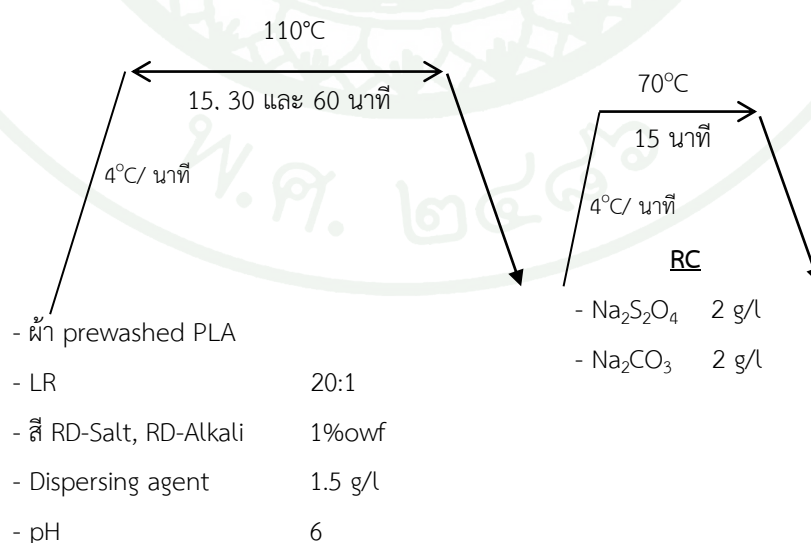
นำผ้า PLA น้ำหนัก 2 กรัมมาย้อมด้วยสีย้อมแอททิฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ใช้สีปริมาณ 1 %owf ร่วมกับสารช่วยกระจายตัวปริมาณ 1.5 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6 นำไปย้อมผ้า PLA เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ 90 100 และ 110 องศาเซลเซียส รูปแบบการย้อมแสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 รูปแบบการย้อมผ้า PLA ด้วยสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

2.3 เวลาที่เหมาะสมในการย้อมผ้า PLA ของสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์ส

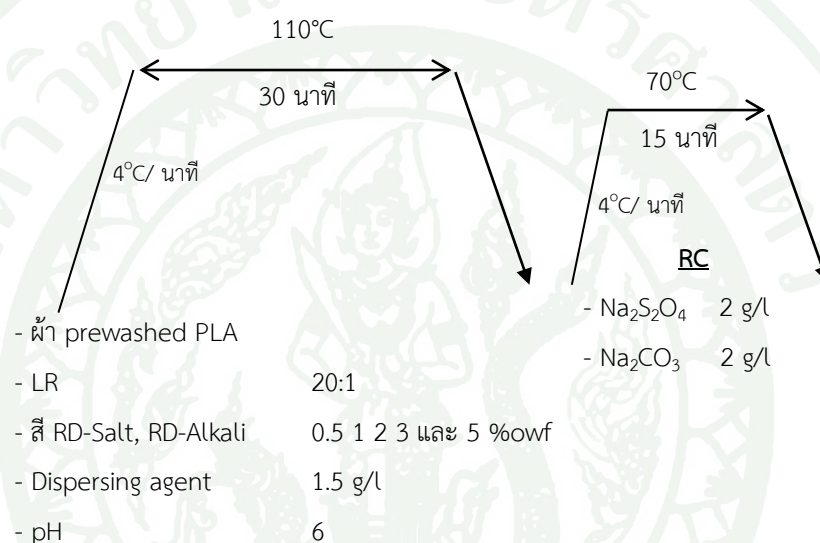
นำผ้า PLA น้ำหนัก 2 กรัมมาย้อมด้วยสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ใช้สีปริมาณ 1 %owf ร่วมกับสารช่วยกระจายตัวปริมาณ 1.5 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6 นำไปย้อมผ้า PLA ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการย้อมแตกต่างกัน คือ 15 30 และ 60 นาที รูปแบบการย้อมแสดงดังภาพที่ 27



ภาพที่ 27 รูปแบบการย้อมผ้า PLA ด้วยสีย้อมฟลิว-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่เวลาแตกต่างกัน

2.4 ปริมาณสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่เหมาะสมในการย้อมผ้า PLA

นำผ้า PLA น้ำหนัก 2 กรัมมาย้อมด้วยสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ด้วยปริมาณสีที่แตกต่างกัน คือ 0.5 1 2 3 และ 5%owf ร่วมกับสารช่วยกระจายตัวปริมาณ 1.5 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6 นำไปย้อมผ้า PLA ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที รูปแบบการย้อมแสดงดังภาพที่ 28



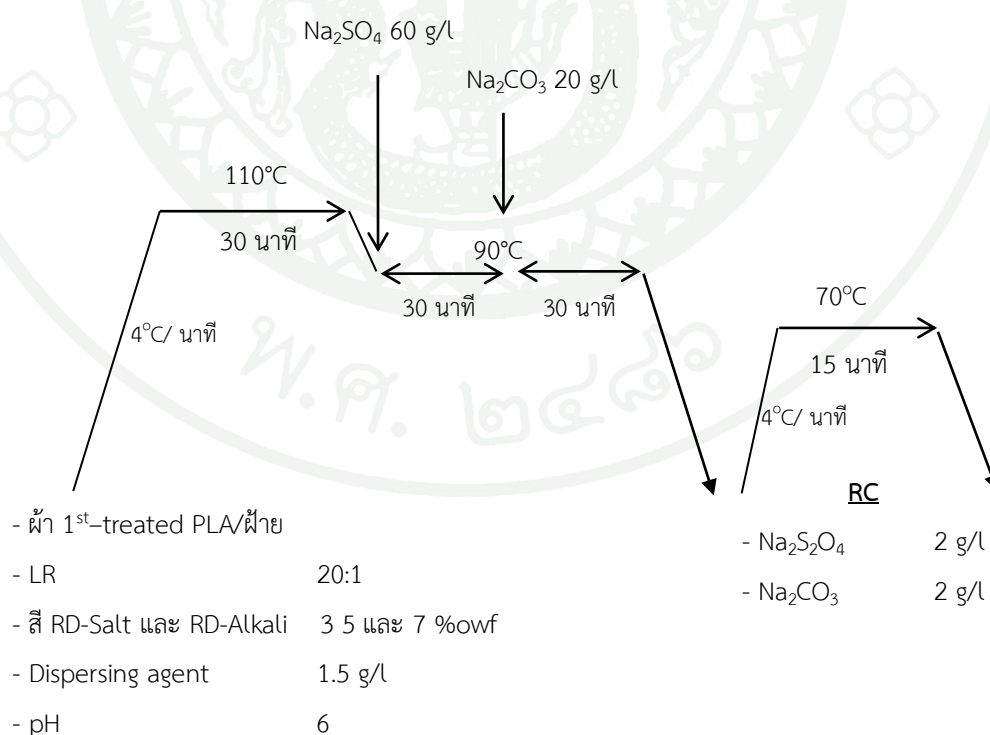
ภาพที่ 28 รูปแบบการย้อมผ้า PLA ด้วยสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สด้วยปริมาณสีแตกต่างกัน

3. การย้อมสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว

จากผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สในข้อ 1 พบว่าควรทำการย้อมผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้เกลือโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ปริมาณ 60 กรัมต่อลิตร และด่างโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตรเป็นสารช่วยย้อม และจากผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้า PLA ในข้อ 2 พบว่าควรทำการย้อมผ้า PLA ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยใช้สารช่วยกระจาย 1.5 กรัมต่อลิตรเป็นสารช่วยย้อมและทำการปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6

การย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียวในงานวิจัยนี้ จึงวางแผนการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้าย ดังนี้ เตรียมสารละลายสีที่ประกอบด้วย สีรีแอทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ ชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ด้วยปริมาณสีที่แตกต่างกัน คือ 3 5 และ 7%owf ร่วมกับสารช่วยกระจายตัว ปริมาณ 1.5 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 20:1 ปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6 นำไปย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นลดอุณหภูมิเครื่องย้อมลงให้เหลืออุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จึงทำการเติมเกลือโซเดียมซัลเฟต ปริมาณ 60 กรัมต่อลิตรลงไป ในกระบอกย้อม ทำการย้อมเป็นเวลา 30 นาทีจึงค่อยเติมโซเดียมคาร์บอเนต ปริมาณ 20 กรัมต่อลิตรลงไป ทำการย้อมต่อที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสอีก 30 นาที รูปแบบการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้าย ขั้นตอนเดียวแสดงดังภาพที่ 29

ผ้าผสม PLA/ฝ้าย ภายหลังผ่านการย้อมจะถูกนำมาทำกระบวนการกำจัดสีที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับเส้นใย PLA และเส้นใยฝ้ายออก (Reduction clear; RC) ด้วยสารละลายที่ประกอบด้วย โซเดียมไดไฮโดรโอไนต์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) 2 กรัมต่อลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 2 กรัมต่อลิตร โดยมี LR เท่ากับ 30:1 ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จึงนำผ้าไปล้างน้ำสะอาดและตากให้แห้ง ก่อนนำมาทำการวัดค่าความเข้มสีและเฉดสีบนผ้าด้วยเครื่องวัดสี



ภาพที่ 29 รูปแบบการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายขั้นตอนเดียว

ตอนที่ 4 วิธีการทดสอบ

1. การทดสอบสมบัติของผ้าดิบ

ผ้าดิบหรือผ้าถักเริ่มต้นของงานวิจัยนี้ถูกนำมาทดสอบหาน้ำหนักผ้า ปริมาณความชื้น และค่าการทึงตัวของผ้าด้วยวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

1.1 การหาน้ำหนักผ้า

ผ้าดิบที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 3 ชนิด คือ ผ้า PLA ผ้าฝ้าย และผ้าผสม PLA/ฝ้าย จะถูกนำมาหาน้ำหนักผ้า โดยตัดผ้าให้มีขนาด 100 ตารางเซนติเมตร ด้วยเครื่องตัดผ้าแบบวงกลม (Circular cutting) จากนั้นชั่งน้ำหนักผ้าที่ตัดด้วยเครื่องชั่ง (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) คำนวณน้ำหนักผ้าในหน่วยกรัมต่อตารางเมตร ทำการทดสอบผ้าชนิดละ 3 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ย

1.2 การหาปริมาณความชื้น (Moisture content)

ตัดตัวอย่างผ้าดิบทั้ง 3 ชนิด คือ ผ้า PLA ผ้าฝ้าย และผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ต้องการทดสอบหาปริมาณความชื้นให้มีน้ำหนักประมาณ 1.5 กรัม ทั้งไว้ในห้องทดลองเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำผ้ามาชั่งน้ำหนักที่อุณหภูมิห้องด้วยเครื่องชั่ง Infrared moisture balance และทำการชั่งน้ำหนักแห้งของผ้าอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องชั่ง Infrared moisture balance ปริมาณความชื้นบนผ้าคำนวณได้ตามสมการที่ 1 ทำการทดสอบผ้าชนิดละ 3 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ย

$$\text{ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)} = \left[\frac{A_1 - A_2}{A_1} \right] \times 100$$

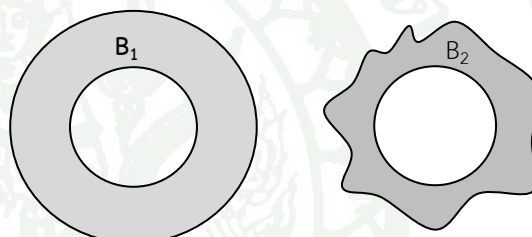
สมการที่ 1

เมื่อ A_1 = น้ำหนักผ้าที่อุณหภูมิห้อง

A_2 = น้ำหนักแห้งของผ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

1.3 การทิ้งตัวของผ้า (มาตรฐาน BS 5058 (1973))

นำตัวอย่างผ้าดิบทั้ง 3 ชนิด คือ ผ้า PLA ผ้าฝ้าย และผ้า PLA/ฝ้ายที่ต้องการวัดค่าการทิ้งตัวมาทำการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การทิ้งตัวด้วยเครื่องทดสอบการทิ้งตัว (Cusick Drape tester) ดังภาพที่ 30 โดยตัดผ้าให้มีขนาดตาม Template B (เส้นผ่านศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร) นำขึ้นทดสอบเข้าเครื่อง เปิดไฟที่เครื่อง นำกระดาศรูปวงแหวนที่ผ่านการชั่งน้ำหนักแล้ววางบนผ้าเครื่อง ใช้ดินสอวาดเงาที่ปรากฏบนกระดาศ ตัดกระดาศตามรอยเงาแล้วนำไปชั่งน้ำหนักสัมประสิทธิ์การทิ้งตัวของผ้า (ร้อยละ) คำนวณตามสมการที่ 2 ทำการทดสอบผ้าชนิดละ 3 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ย



ภาพที่ 30 วิธีการทดสอบค่าการทิ้งตัว

$$\text{สัมประสิทธิ์การทิ้งตัวของผ้า (ร้อยละ)} = \frac{B_2 \times 100}{B_1}$$

สมการที่ 2

เมื่อ B_1 = น้ำหนักของกระดาศทั้งหมด (กรัม)

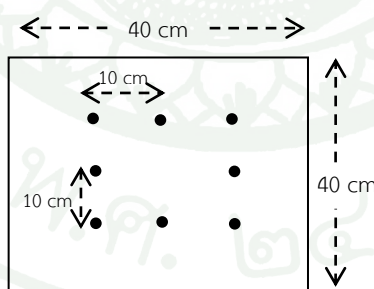
B_2 = น้ำหนักของกระดาศส่วนที่เป็นรอยเงา (กรัม)

2. การทดสอบสมบัติของผ้าที่ผ่านกระบวนการเตรียมผ้า

ผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาดและฟอกขาวจะถูกนำมาทดสอบการหดตัว ค่าการดูดซึมน้ำ ดัชนีความขาว-ความเหลือง ความแข็งแรง ปริมาณสิ่งเจือปนที่หลุดออกและปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยวิธีการทดสอบดังต่อไปนี้

2.1 การหดตัวของผ้า

ตัดผ้าดิบทั้ง 3 ชนิด คือ ผ้า PLA ผ้าฝ้าย และผ้า PLA/ฝ้ายที่ต้องการทดสอบการหดตัวให้มีขนาด 40 x 40 เซนติเมตร ทำเครื่องหมายทั้งในแนวความกว้างและความยาวของผ้าที่ขนาด 10 เซนติเมตร ดังภาพที่ 31 การทดสอบร้อยละการหดตัว มีวิธีการทดสอบดังนี้ เตรียมสารละลายที่ประกอบด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) 1 กรัมต่อลิตร และสารช่วยเปียก (Dypidol 101M[®]) 1 กรัมต่อลิตร LR เท่ากับ 30:1 นำผ้าที่ผ่านการทำเครื่องหมายแล้วใส่ลงในบีกเกอร์ที่มีสารละลายตามปริมาณที่กำหนดไปเข้าเครื่องเขย่าที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 15 นาที นำผ้าตัวอย่างมาล้างน้ำให้สะอาดและวางผึ่งให้แห้งในแนวระนาบ ภายหลังผ้าแห้งจึงนำผ้ามาทำการวัดความกว้างและความยาวในตำแหน่งที่มีการทำเครื่องหมายไว้ คำนวณหาความสามารถในการหดตัวของผ้าแต่ละจุดตามสมการที่ 3 และหาค่าเฉลี่ยร้อยละการหดตัวของผ้าแต่ละผืนตามสมการที่ 4 ทำการทดสอบผ้าชนิดละ 3 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ยอีกครั้งหนึ่ง



ภาพที่ 31 การทดสอบการหดตัวของผ้า

$$\text{ความสามารถในการหดตัวของผ้าแต่ละจุด (ร้อยละ)} = \frac{\text{ความยาวที่เปลี่ยนแปลงไป}}{\text{ความยาวเริ่มต้น}} \times 100 \quad \text{สมการที่ 3}$$

$$\text{การหดตัวของผ้าทั้งผืน (ร้อยละ)} = \sum \frac{\text{ความสามารถในการหดตัวของผ้าแต่ละจุด}}{8} \quad \text{สมการที่ 4}$$

2.2 การดูดซึมน้ำของผ้า (มาตรฐาน AATCC test method 79-2000 "Absorbency of bleached Textiles")

วางหยดน้ำกลั่นลงบนผ้าที่ต้องการทดสอบค่าการดูดซึมน้ำ เริ่มจับเวลาตั้งแต่หยดน้ำกลั่นสัมผัสผิวผ้าจนกระทั่งหยดน้ำกลั่นซึมหายไป จดระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำของผ้าทดสอบ ผ้าทดสอบ 1 ชิ้นจะทำการทดสอบการดูดซึมน้ำอย่างน้อย 5 จุดทั่วผืนผ้า นำระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยการดูดซึมน้ำ และทำการทดสอบผ้าชนิดละ 3 ผืนเพื่อหาค่าเฉลี่ย ผลการประเมินค่าการดูดซึมน้ำตามมาตรฐาน คือ ผ้า 1 ผืนต้องใช้เวลาที่ใช้ในการดูดซึมน้ำน้อยกว่า 5 วินาที จึงถือว่าผ้าผืนนั้นมีความเหมาะสมที่จะนำไปย้อม

2.3 ดัชนีความขาวและความเหลือง (มาตรฐาน AATCC Test Method 110-2000 "Whiteness of textile")

วัดดัชนีความขาวและความเหลืองของผ้าที่ต้องการทดสอบด้วยเครื่องวัดสี Mcbeth spectrophotometer โดยผ้าตัวอย่าง 1 ชิ้นจะทำการวัดดัชนีความขาวและความเหลืองของผ้า 3 จุดทั่วผืนผ้าและทำการทดสอบผ้าชนิดละ 3 ผืน เพื่อหาค่าเฉลี่ย ผลการประเมินค่าความขาวตามมาตรฐาน คือ ผ้าที่ผ่านการฟอกขาวแล้วต้องมีค่าความขาวอยู่ระหว่าง 72-85 ผ้าผืนนั้นเหมาะสมสำหรับนำไปย้อมสีอ่อน

2.4 การทดสอบความแข็งแรงของผ้าถัก (มาตรฐาน JIS L1018 1999 "Testing Methods for Knitted fabrics")

ตัดผ้าถักที่ต้องการทดสอบความแข็งแรงให้มีขนาด 15×15 ตารางเซนติเมตร นำมาทดสอบแรงฉีกของผ้าถักด้วยเครื่องทดสอบแรงฉีก (Bursting strength) ดังภาพที่ 32 โดยใส่ผ้าตัวอย่างเข้าเครื่องทดสอบแรงฉีก เปิดเครื่องทดสอบ เครื่องจะทำการดันผ้าให้ขาดผ่านแผ่นยาง (ไดอะแฟรม) ค่าความแข็งแรงของผ้าถักคำนวณได้ตามสมการที่ 5



ภาพที่ 32 เครื่องทดสอบแรงดันทะลุ

ความแข็งแรงของของผ้าถัก (KPa) = (ค่าแรงดันที่ตำแหน่งผ้าขาด - ค่าแรงไดอะแฟรม) สมการที่ 5

2.5 ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้า (Strength retention)

ค่าความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย ภายหลังจากการทำความสะอาด และกระบวนการเตรียมผ้า (การทำความสะอาดและการฟอกขาว) คำนวณได้จากร้อยละความแข็งแรงที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการต่างๆ ตามสมการที่ 6-8

ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าภายหลังจากการทำความสะอาด (ร้อยละ) = $\left[\frac{\text{ผ้า prewashed} - \text{ผ้า scoured}}{\text{ผ้า prewashed}} \right] \times 100$ สมการที่ 6

ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าภายหลังจากการฟอกขาว (ร้อยละ) = $\left[\frac{\text{ผ้า scoured} - \text{ผ้า bleached}}{\text{ผ้า scoured}} \right] \times 100$ สมการที่ 7

ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าภายหลังจากการเตรียมผ้าขั้นตอนเดียว (ร้อยละ) = $\left[\frac{\text{ผ้า prewashed} - \text{ผ้า 1}^{\text{st}} - \text{scoured}}{\text{ผ้า prewashed}} \right] \times 100$ สมการที่ 8

2.6 การปริมาณสิ่งเจือปนที่หลุดออกในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการเตรียมผ้า

ชั่งน้ำหนักแห้งของผ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสด้วยเครื่องชั่ง Infrared moisture balance ก่อนนำผ้าไปผ่านขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการเตรียมผ้าตามวิธีการในตอนที 1 หลังจากนั้นจึงนำผ้ากลับมาชั่งน้ำหนักแห้งอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องชั่ง Infrared moisture balance คำนวณร้อยละของปริมาณสิ่งเจือปนที่หลุดออกในแต่ละขั้นตอนตามสมการ 9

$$\text{ปริมาณสิ่งเจือปนที่หายไป (ร้อยละ)} = \left[\frac{D_1 - D_2}{D_1} \right] \times 100 \quad \text{สมการที่ 9}$$

เมื่อ D_1 = น้ำหนักแห้งของผ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสก่อนสู่ขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการเตรียมผ้า

D_2 = น้ำหนักแห้งของผ้าที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสหลังจากออกจากขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการเตรียมผ้า

2.7 การทดสอบปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย

นำผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ต้องการทดสอบ มาชั่งน้ำหนักแห้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องชั่ง Infrared moisture balance ก่อนทำการละลายเส้นใย PLA ด้วยคลอโรฟอร์ม (Chloroform) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ล้างผ้าให้สะอาดตากให้แห้งแล้วทำการชั่งน้ำหนักแห้งผ้าผสม PLA/ฝ้าย อีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ด้วยเครื่องชั่ง Infrared moisture balance คำนวณปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย ตามสมการที่ 10

$$\text{ปริมาณ PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย (ร้อยละ)} = \left[\frac{E_1 - E_2}{E_1} \right] \times 100 \quad \text{สมการที่ 10}$$

เมื่อ E_1 = น้ำหนักผ้าผสม PLA/ฝ้ายเริ่มต้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

E_2 = น้ำหนักผ้าผสม PLA/ฝ้าย หลังละลายด้วยโครโรฟอร์มที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส

2.8 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบเชิงสถิติในงานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์แบบ Paired-Samples T-test

3. การวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์ส

ก่อนทำการวิเคราะห์โครงสร้างและสมบัติของสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์ส นำผงสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali มาทำให้บริสุทธิ์อีกครั้ง ด้วยวิธีการดังนี้

- ผงสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt

นำผงสรีรชนิด RD-Salt ที่สังเคราะห์ขึ้นตามวิธีการในตอนต้นที่ 2 (1) มาละลายใน RD-Salt ด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF) เพื่อทำแยกเกลือออกจากสารละลายสีอีกครั้งก่อนนำสารละลายสีมาทำการกลั่นเพื่อกำจัดไดเมทิลฟอร์มาไมด์ออก อบผงสีให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

- ผงสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Alkali

นำผงสรีรชนิด RD-Alkali ที่สังเคราะห์ขึ้นตามวิธีการในตอนต้นที่ 2 (2) มาทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งด้วยการตกตะกอนในโทลูอีน แยกผงสรีรชนิด RD-Alkali ออกจากสารละลายมาทำการอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

3.1 การหาจุดหลอมเหลวของสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์ส

ทำการหาจุดหลอมเหลวของผงสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ด้วยเครื่องวัดจุดหลอมเหลว โดยทำวัดจุดหลอมเหลว 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

3.2 แยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (TLC)

นำผงสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali มาทดสอบแยกสารด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (TLC) โดยใช้เอทานอล (Ethanol) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) สำหรับผงสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และใช้อะซิโตน (acetone) และเอทานอล (Ethanol) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) สำหรับผงสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Alkali วัดระยะการเคลื่อนที่ของสี เพื่อคำนวณหาค่า R_f ตามสมการที่ 11

$$R_f = \frac{\text{ระยะการเคลื่อนที่ของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส}}{\text{ระยะการเคลื่อนที่ของเฟสเคลื่อนที่}} \quad \text{สมการที่ 11}$$

3.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์

ทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจนและซัลเฟอร์ที่ประกอบอยู่ในโครงสร้างสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ด้วยเครื่องวิเคราะห์ปริมาณธาตุ (Elemental Analyzer)

4. การทดสอบสมบัติของผ้าย้อม

ผ้า PLA ผ้าฝ้าย และผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านการย้อมด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali จะถูกนำมาทดสอบค่าความเข้มสี เฉดสี และความคงทนของสีต่อการซักด้วยวิธีการทดสอบดังนี้

4.1 การหาค่าความเข้มสี (K/S) และเฉดสี ($L^* a^* b^*$)

วัดค่าความเข้มสี (K/S) และเฉดสี ($L^* a^*$ และ b^*) บนผ้าย้อมด้วยเครื่องวัดสี (Mcbeth spectrophotometer; ColorEye 7000) ที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ผ้า 1 ชิ้นจะทำการวัดค่าความเข้มสีและเฉดสี 3 ครั้ง และผ้า 1 ชนิดจะทำการทดสอบ 2 ครั้งเพื่อหาค่าเฉลี่ย

4.2 การทดสอบความคงทนของสีบนผ้าต่อการซัก (color fastness to washing)

มาตรฐาน (ISO 105-C06 1994 "color fastness to washing")

ก่อนทำการทดสอบความคงทนของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สต่อการซัก ให้การย้อมสี RD-Salt และสี RD-Alkali บนผ้าฝ้ายและผ้า PLA ให้มีค่าความเข้มสี (K/S) ประมาณ 5 ส่วนผ้าผสม PLA/ฝ้าย ทำการย้อมให้มีค่าความเข้มสี (K/S) ประมาณ 3-4 เพื่อให้ค่าความเข้มสีใกล้เคียงกัน จากนั้นทำการทดสอบดังนี้ ตัดผ้าย้อมให้มีขนาด 4x10 ตารางเซนติเมตร นำไปเย็บติดกับผ้า มัลติไฟเบอร์ก่อนทำการซักด้วยสารละลายผงซักฟอกที่ประกอบด้วย ผงซักฟอกมาตรฐาน (ECE detergent) ปริมาณ 0.4 กรัมต่อสารละลาย 100 มิลลิลิตร ต่อ 1 ตัวอย่างการทดสอบ ทำการซักที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที นำผ้าไปล้างและตากให้แห้ง ประเมินผลการติดเป็นสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้ามัลติไฟเบอร์ด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color staining) และ ประเมินการเปลี่ยนแปลงสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้า PLA ผ้าฝ้ายและผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยเกรย์สเกล (Gray scale for color change) ในแสงไฟ D65

วัดค่าความเข้มสี (K/S) และเฉดสี (L^* a^* b^*) ของผ้า PLA ผ้าฝ้ายและผ้าผสม PLA/ฝ้าย ภายหลังการซักด้วยเครื่องวัดสี (Mcbeth spectrophotometer; ColorEye 7000) ที่ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร ทำการทดสอบ 2 ซ้ำเพื่อหาค่าเฉลี่ย

ผลและวิจารณ์

1. การต้มผ้าฝ้ายผสม PLA/ฝ้าย (Prewashing)

กระบวนการเตรียมผ้าฝ้ายที่จำเป็นก่อนเข้าสู่กระบวนการย้อม คือ ขั้นตอนการทำความสะอาด (Scouring process) และสำหรับการย้อมผ้าสีอ่อนต้องเพิ่มขั้นตอนการฟอกขาว (Bleaching process) (Spicka and Tavcer, 2013) โดยผ้าฝ้ายก่อนเข้าสู่การทำความสะอาดจำเป็นต้องนำผ้ามาต้มในน้ำเพื่อกำจัดสิ่งเจือปนที่สามารถละลายน้ำรวมถึงสีธรรมชาติบางส่วนซึ่งติดบนเส้นใยออก (Rocky, 2012) งานวิจัยนี้ทำการต้มผ้าผสม PLA/ฝ้ายและผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (Prewashing) ในขณะที่ผ้า PLA ถูกต้มที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ในสารละลายที่ประกอบด้วยสารช่วยเปียก 1%owf สมบัติของผ้าก่อนและหลังการต้มผ้า แสดงดังตารางที่ 8

ผ้าดิบทั้ง 3 ชนิด คือ ผ้าผสม PLA/ฝ้าย ผ้า PLA และผ้าฝ้ายที่ใช้ในงานวิจัยนี้เมื่อนำมาทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้า พบว่าใช้เวลาในการดูดซึมน้ำมากกว่า 1 นาทีจึงจำเป็นต้องเตรียมผ้าให้มีความเหมาะสมก่อนนำเข้าสู่กระบวนการย้อม เพื่อป้องกันปัญหาด้านความสม่ำเสมอของการติดสีย้อมและเฉดสีบนผ้าย้อม (Charles, 1992) เมื่อนำผ้าผสม PLA/ฝ้ายมาทำการต้มที่ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที พบว่าผ้าผสม PLA/ฝ้ายสามารถดูดซึมน้ำได้เร็วมากขึ้น (ประมาณ 37 วินาที) แต่ยังไม่เพียงพอที่จะเข้าสู่กระบวนการย้อม จึงจำเป็นต้องนำผ้าผสม PLA/ฝ้ายเข้าสู่ขั้นตอนการทำความสะอาดเพื่อปรับปรุงสมบัติการดูดซึมน้ำให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่กระบวนการย้อม

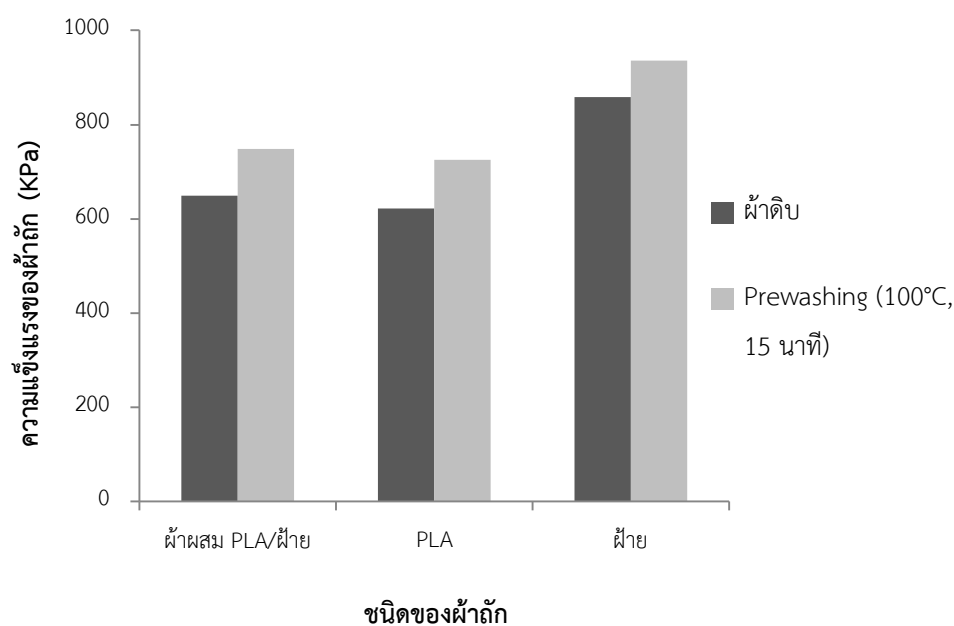
ตารางที่ 8 สมบัติของผ้าก่อนและหลังผ่านการต้มที่อุณหภูมิ 100°C 15 นาที

ชนิดผ้าหลัก		การดูดซึมน้ำ (วินาที)	ความแข็งแรง		ความขาว	การหดตัว (ร้อยละ)
			(KPa)	ρ*		
ผ้าผสม	ผ้าดิบ	60+	649 ± 22		19.17	
PLA/ฝ้าย	ผ้า prewashed	37.2 ± 1.16	749 ± 27	0.006	28.18	15.30
ผ้า PLA	ผ้าดิบ	60+	622 ± 26		76.09	
	ผ้า prewashed	ทันที	726 ± 30	0.006	79.57	10.22
ผ้าฝ้าย	ผ้าดิบ	60+	859± 31		-4.67	
	ผ้า prewashed	60+	936 ± 25	0.018	9.93	20.50

* ค่า p ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ผ้า prewashed PLA คือ ผ้า PLA ที่ถูกต้มในสารละลายที่ประกอบด้วยสารช่วยเปียก (Dypidol 101 M[®]) 1%owf ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที พบว่าน้ำสามารถซึมไปบนผ้า prewashed PLA ทันที (Wicking) และมีความขาวของผ้าเท่ากับ 79.57 ซึ่งผ้าดิบ PLA ก็ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากเส้นใย PLA เป็นเส้นใยที่มีความขาวและสะอาด สิ่งเจือปนส่วนใหญ่บนผ้าหลัก PLA คือ น้ำมันหล่อลื่นที่ถูกเติมลงไประหว่างกระบวนการผลิตสามารถกำจัดออกง่าย ดังนั้นกระบวนการเตรียมผ้าหลัก PLA ที่เหมาะสมก่อนนำเข้าสู่กระบวนการย้อมผ้า PLA ทั้งสีเข้มและสีอ่อน คือ การต้มผ้าหลัก PLA ด้วยสารช่วยเปียกปริมาณ 1%owf ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที

เนื่องจากเส้นใย PLA เป็นเส้นใยที่ไม่คงทนต่อความร้อน (Yang and Huda 2003; Phillips *et al.*, 2004) การต้มผ้าผสม PLA/ฝ้าย ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จึงอาจส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใย PLA ในผ้าผสม PLA/ฝ้ายได้ ดังนั้นงานวิจัยจึงทำการทดสอบค่าความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ก่อนและหลังผ่านการต้มผ้าด้วยน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที เปรียบเทียบกับผ้าหลักอีก 2 ชนิด คือ ผ้าฝ้ายและผ้า PLA ผลการทดสอบแสดงดังภาพที่ 33



ภาพที่ 33 ค่าความแข็งแรงของผ้าถักทั้ง 3 ชนิดในงานวิจัยก่อนและหลังผ่านการ prewashing

การต้มผ้าถักทั้ง 3 ชนิดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที ทำให้ผ้าถักทั้ง 3 ชนิดมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ค่า $p < 0.05$) เนื่องจากการต้มผ้าถักในน้ำร้อนช่วยให้ผ้าถักเกิดการคลายตัวของแรงเค้น (Stress relaxation) ซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการถักผ้า ผลจากการคลายตัวดังกล่าวทำให้ผ้าถักเกิดการหดตัวภายหลังผ่านการต้ม จากผลการวิจัยพบว่า ผ้าฝ้ายถักมีค่าการหดตัวสูงกว่าผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายและผ้าถัก PLA ตามลำดับ นอกจากนี้กระบวนการต้มผ้าผสม PLA/ฝ้ายยังช่วยกำจัดสิ่งเจือปนที่สามารถละลายน้ำซึ่งส่วนใหญ่แล้วพบบนเส้นใยฝ้ายของผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายได้ร้อยละ 1.73 โดยน้ำหนัก (อัตราส่วนฝ้าย : PLA = 50:50) (ตารางที่ 9) ซึ่ง Sae-be และคณะ (2007) ได้ศึกษาปริมาณสารที่หลุดออกจากกระบวนการต้มผ้าฝ้ายถักที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที พบว่าสามารถกำจัดสารประกอบที่สามารถละลายน้ำได้บนเส้นใยฝ้ายได้ประมาณร้อยละ 2.63 โดยน้ำหนัก

2. ขั้นตอนการทำความสะอาด (Scouring process)

การทำความสะอาดเส้นใยฝ้ายสามารถช่วยเพิ่มสมบัติการดูดซึมน้ำให้กับเส้นใยฝ้าย โดยกำจัดสิ่งเจือปนที่ไม่ละลายน้ำบนเส้นใยฝ้าย ได้แก่ ไขมัน (fats) น้ำมัน (oils) และขี้ผึ้ง (waxes) ซึ่งพบประมาณร้อยละ 0.6 โดยน้ำหนักของเส้นใยฝ้าย (Li and Hardin, 1997) ขั้นตอนการทำความสะอาดเส้นใยฝ้ายที่นิยมใช้มี 2 วิธี คือ การใช้สารละลายต่างและการใช้เอนไซม์ งานวิจัยนี้

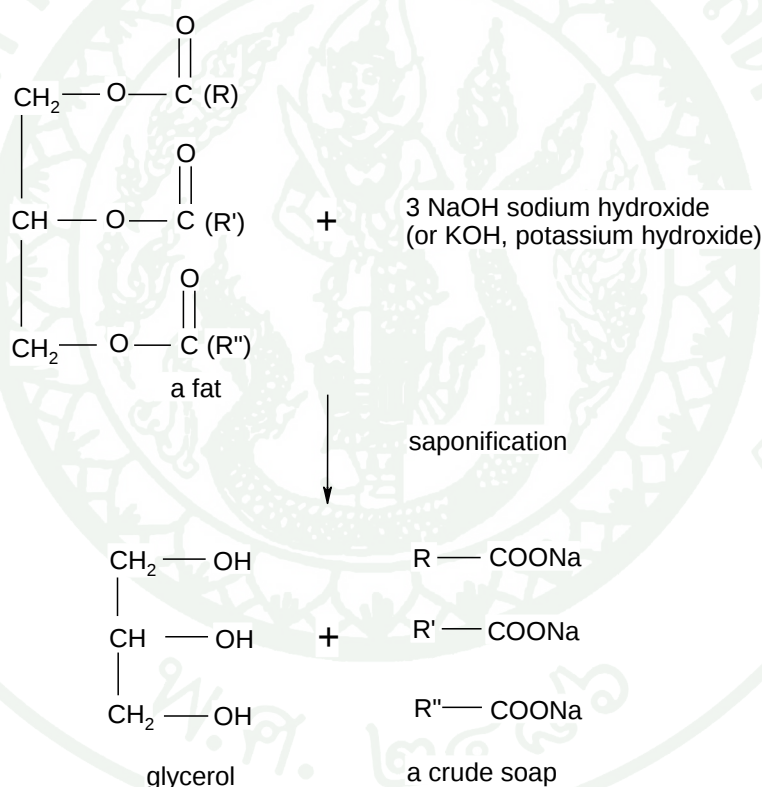
ทำการศึกษาผลการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) โซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) และเอนไซม์เพกทีเนส (Pectinase enzyme) ร่วมกับสารช่วยเปียกชนิดไม่มีประจุ (Dypidol 101 M®) ในการกำจัดไขมัน น้ำมัน และซีฟี่บนเส้นใยฝ้ายของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ต่อสมบัติด้านการดูดซึมน้ำและความแข็งแรงของผ้าเพื่อหาภาวะที่เหมาะสมของการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย กล่าวคือ ทำการหาชนิดและปริมาณของสารเคมี อุณหภูมิและเวลาที่ทำให้ผ้า prewashed PLA/ฝ้าย สามารถดูดซึมน้ำได้ภายใน 5 วินาที (AATCC test method 79-2000) โดยส่งผลต่อความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้ายน้อยที่สุด ภาวะของการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต และเอนไซม์เพกทีเนสในการทำความสะอาดผ้า prewashed PLA/ฝ้ายแล้วสามารถพัฒนาสมบัติการดูดซึมน้ำของผ้า Scoured PLA/ฝ้าย รวมถึงสมบัติอื่นของผ้าผสม PLA/ฝ้ายแสดงในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 สมบัติของผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดในภาวะต่างๆ

ผ้า	สารเคมี	ภาวะการทำความสะอาด	การดูดซึมน้ำ (วินาที)	ความแข็งแรง (KPa)	ความขาว	ปริมาณสารที่หายไป (ร้อยละ)
prewashed	-	100°C, 15 นาที	37.2 ± 1.16	749 ± 27	28.18	1.73
A-scoured	NaOH	3%owf, 90°C, 60 นาที	ทันที	671 ± 10	41.87	N/A
		5%owf, 70°C, 90 นาที	ทันที	711 ± 17	37.86	6.25
		3%owf, 90°C, 60 นาที	ทันที	731 ± 11	38.77	N/A
A-scoured	Na_2CO_3	7%owf, 70°C, 90 นาที	ทันที	733 ± 22	33.18	1.38
		10%owf, 60°C, 60 นาที	ทันที	744 ± 28	28.27	1.03
E-scoured	Pectinase	70°C, 90 นาที	9.15 ± 1.09	740 ± 24	N/A	N/A
	สารช่วยเปียก 1%owf	90°C, 60 นาที	7.98 ± 1.14	733 ± 14	N/A	N/A

N/A คือ ไม่ได้ทำการทดสอบ

การทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยสารช่วยเปียกเพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะนำผ้าผสม PLA/ฝ้ายเข้าสู่การย้อม เนื่องจากผ้าผสม PLA/ฝ้ายภายหลังผ่านการทำทำความสะอาดด้วยสารช่วยเปียกมีค่าการดูดซึมน้ำมากกว่า 5 วินาที สารช่วยเปียกเป็นสารเคมีที่มีความสำคัญในการทำทำความสะอาดผ้าช่วยให้สารประกอบประเภทขี้ผึ้งและสิ่งเจือปนอื่นๆ ที่ไม่สามารถละลายน้ำได้สามารถแตกตัวเป็นอนุภาคเล็กๆ แล้วหลุดจากเส้นใยฝ้ายสู่สารละลายด้วยปฏิกิริยาอิมัลชัน (Karmakar, 1999) รวมถึงช่วยกำจัดน้ำมันหล่อลื่นที่เคลือบผิวเส้นด้ายออก แต่สารช่วยเปียกไม่สามารถกำจัดไขมันและน้ำมันบนเส้นใยฝ้ายได้ การกำจัดไขมันและน้ำมันบนเส้นใยฝ้ายจำเป็นต้องเติมด่างเพื่อเกิดปฏิกิริยาสaponification (saponification) กับโมเลกุลของไขมันและน้ำมัน ทำให้โมเลกุลไขมันและน้ำมันเกิดการแตกตัวกลายเป็นกลีเซอรอล (glycerol) และโคลสบู่ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 ปฏิกิริยาสaponificationในการกำจัดไขมันและน้ำมันบนเส้นใยฝ้าย

ที่มา: Karmakar. (1999)

ผลของการใช้ต่าง 2 ชนิด ในการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) พบว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์สามารถช่วยพัฒนาสมบัติการดูดซึมน้ำบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายได้ดีกว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนต ชนิดของต่างและการเพิ่มอุณหภูมิของขั้นตอนการทำความสะอาดผ้าส่งผลต่อความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้าย เนื่องจากปฏิกิริยาการสลายตัวของเส้นใย PLA จะเพิ่มความรุนแรงมากขึ้นเมื่อสภาพต่างหรืออุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการทำความสะอาดสูงขึ้น การทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณ 3%owf ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาทีทำให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายมีความแข็งแรงของผ้าต่ำที่สุด เมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายแสดงในตารางที่ 10 พบว่าผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีปริมาณ PLA น้อยที่สุดบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำความสะอาดด้วยสารเคมีชนิดอื่น ซึ่งสอดคล้องกับผลของความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่น้อยที่สุดเมื่อผ่านการทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ภาพที่ 35)

เอนไซม์เพกทิเนสสามารถพัฒนาสมบัติการดูดซึมน้ำให้กับผ้าผสม PLA/ฝ้ายได้เช่นกัน เนื่องจากเอนไซม์เพกทิเนสจะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบเพกทิน (Pectin substance) ซึ่งมีอยู่ประมาณร้อยละ 0.9 โดยน้ำหนักของเส้นใยฝ้าย (Li and Hardin, 1997) และพบมากบริเวณผนังเซลล์ชั้นที่ 1 (Primary wall) (Roy *et al.*, 1940) ในระหว่างเอนไซม์เพกทิเนสกำจัดสารประกอบเพกทินออกจากเส้นใยฝ้ายทำให้สิ่งเจือปนอื่นๆ อาทิ สารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ (ไขมัน น้ำมัน และขี้ผึ้ง) และโปรตีนซึ่งอยู่รวมกันหลุดออกมาในระหว่างกระบวนการทำความสะอาดด้วย (Sae-be *et al.*, 2007) ทำให้สามารถพัฒนาสมบัติด้านการดูดซึมน้ำให้กับผ้าผสม PLA/ฝ้าย ได้

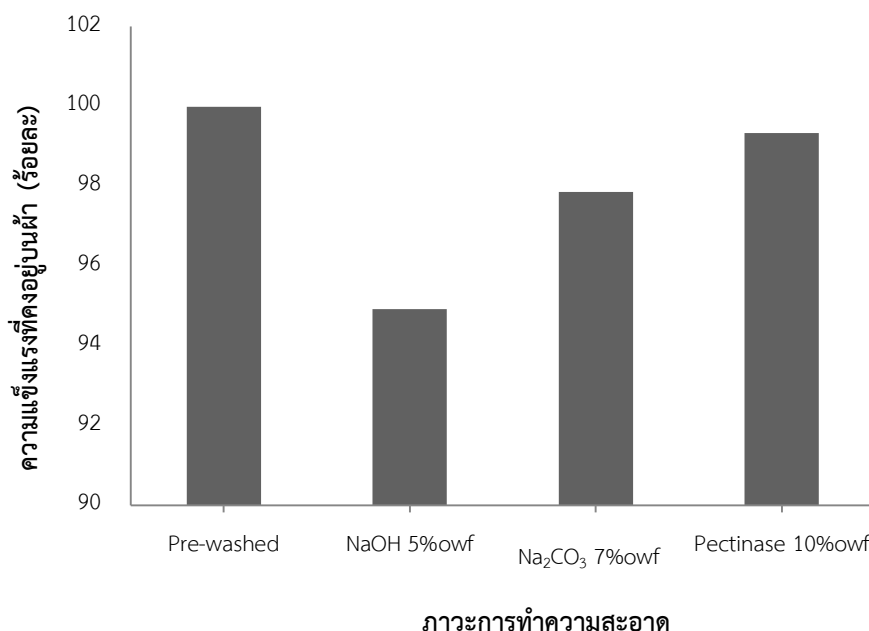
ตารางที่ 10 ปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดในภาวะต่างๆ

ผ้า	ภาวะการทำความสะอาด	ปริมาณ PLA	
		(ร้อยละ)	p*
ผ้าผสม PLA/ฝ้าย	-	51.94 ± 0.85	-
ผ้า prewashed PLA/ฝ้าย	-	50.24 ± 0.65	0.061
ผ้า scoured PLA/ฝ้าย	NaOH 5%owf, 70°C, 90 นาที	48.64 ± 0.77	0.010
	Na ₂ CO ₃ 7%owf, 70°C, 90 นาที	50.89 ± 0.79	0.068
	Pectinase 10 %owf, 60°C, 60 นาที	51.30 ± 0.29	0.136
	(pH 8-9)		

* ค่า p ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายก่อนเข้าสู่กระบวนการใดๆ มีปริมาณร้อยละ 52 ของน้ำหนักผ้า เมื่อต้มผ้าผสม PLA/ฝ้ายในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที (ผ้า prewashed PLA/ฝ้าย) พบว่าภาวะดังกล่าวไม่ส่งผลต่อการลดลงของเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p > 0.05$) เมื่อทำความสะอาดผ้า prewashed PLA/ฝ้ายด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตารางที่ 10) ทำให้ปริมาณ PLA ในผ้าผสม PLA/ฝ้ายลดลงอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 โดย ($p < 0.05$) ในขณะที่ทำความสะอาดด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต ($p > 0.05$) และเอนไซม์เพกทิเนส ($p > 0.05$) ไม่ส่งผลกระทบต่อปริมาณ PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย ดังนั้นการใช้โซเดียมคาร์บอเนตปริมาณ 7%owf ในการทำความสะอาดผ้าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาทีและการใช้เอนไซม์เพกทิเนสปริมาณ 10%owf ในการทำความสะอาดผ้าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จึงไม่ทำให้ความแข็งแรงของผ้า scoured PLA/ฝ้ายลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ 5%owf การทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาทีเนื่องจากโซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นด่างแก่เมื่อเปรียบเทียบกับโซเดียมคาร์บอเนตซึ่งเป็นด่างอ่อนและเอนไซม์เพกทิเนส (pH 8-9) จึงสามารถเร่งปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสที่ตำแหน่งเอสเทอร์ในโมเลกุลของ PLA ให้เร็วขึ้น (อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส) ทำให้เส้นใย PLA เกิดการสลายตัวเมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำความสะอาด ส่งผลให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์มี

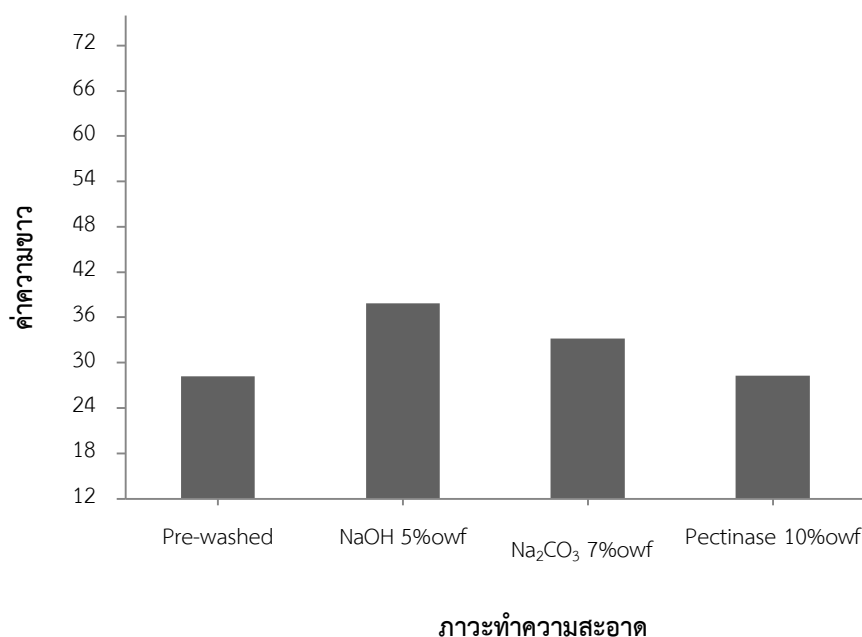
ความแข็งแรงที่หลงเหลือบนผ้าดำที่สุด ดังภาพที่ 35 เพื่อเปรียบเทียบกับ การทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายด้วยวิธีการอื่น



ภาพที่ 35 ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย (ร้อยละ) หลังผ่านการทำความสะอาดด้วยสารเคมีต่างๆ

ผลการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย พบว่ากระบวนการเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าสีเข้ม คือ ทำการต้มผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นสามารถเลือกใช้สารเคมีในการทำความสะอาดได้ 2 ชนิด คือ การใช้เอนไซม์เพกทิเนสหรือการใช้โซเดียมคาร์บอเนต การใช้เอนไซม์เพกทิเนสควรใช้ปริมาณ 10%owf ร่วมกับสารช่วยเปียก 1%owf (pH 8-9) ทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้ายอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ข้อดีของการใช้เอนไซม์เพกทิเนส คือ ไม่ทำลายเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายจึงไม่ส่งผลต่อความแข็งแรงของผ้า ประหยัดพลังงาน (อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส) และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่าการใช้โซเดียมคาร์บอเนตในกระบวนการทำความสะอาดผ้าถัก PLA/ฝ้าย ในขณะที่การใช้โซเดียมคาร์บอเนตควรใช้ปริมาณ 7%owf ร่วมกับสารช่วยเปียก 1%owf ทำความสะอาดผ้าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 90 นาที ภาวะดังกล่าวสามารถรักษาความแข็งแรงของผ้าถักผสม PLA/ฝ้ายเทียบเท่ากับการใช้เอนไซม์เพกทิเนส แต่ต่างที่ร้อนทำให้เส้นใยฝ้ายเกิดการพองตัว สิ่งเจือปนจึงสามารถหลุดออกจากผ้าผสม PLA/ฝ้ายได้ง่าย ค่าปริมาณสารที่หลุดออกจากกระบวนการทำความสะอาดด้วยโซเดียมคาร์บอเนตจึงสูงกว่าการใช้เอนไซม์เพกทิเนส (ตารางที่ 9)

นอกจากนี้ตัวยังสามารถทำลายโครงสร้างสีธรรมชาติได้จึงทำให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายภายหลังผ่านการทำความสะอาดด้วยโซเดียมคาร์บอเนตมีความขาวสูงกว่าการใช้เอนไซม์เพกทีเนส แสดงดังภาพที่ 36 อย่างไรก็ตามความขาวที่ได้ของผ้า scoured PLA/ฝ้ายยังต่ำเกินไปสำหรับการย้อมผ้าสีอ่อน สามารถปรับความขาวของผ้าผสม PLA/ฝ้ายให้เพิ่มขึ้นด้วยขั้นตอนการฟอกขาว



ภาพที่ 36 ค่าความขาวผ้าผสม PLA/ฝ้าย ผ่านการทำความสะอาดด้วยต่างและเอนไซม์

3. การฟอกขาวผ้าผสม PLA/ฝ้าย

การฟอกขาวเป็นการเพิ่มความขาวให้เส้นใยฝ้ายเพื่อป้องกันเฉดสีที่ผิดแปลกไปสำหรับการย้อมผ้าสีอ่อน (Spicka and Tavcer, 2013) ในงานวิจัยจะทำการฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพื่อเปลี่ยนโครงสร้างสีตามธรรมชาติของเส้นใยฝ้ายให้กลายเป็นสารที่ไม่มีสีด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) (พรทิพย์, 2554) ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ใช้ในการฟอกขาวจะแปรผันตามสภาพความขาวและโครงสร้างของผ้าก่อนเข้าสู่กระบวนการ ซึ่งการต้มผ้าในน้ำเดือด 15 นาทีสามารถกำจัดสีตามธรรมชาติบนเส้นใยฝ้ายออกได้เพียงบางส่วนเท่านั้น

การฟอกขาวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในงานวิจัยนี้ ทำการศึกษาภาวะการฟอกขาว ภายหลังขั้นตอนการทำความสะอาดเปรียบเทียบกับในการทำความสะอาดและฟอกขาวขั้นตอนเดียว (scouring and bleaching) ภาวะในการฟอกขาวและสมบัติของผ้าแสดงในตารางที่ 11 ผลการวิจัย พบว่า การฟอกขาวผ้า A-scoured PLA/ฝ้าย (ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์) ภายหลังขั้นตอนการทำความสะอาดใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์น้อยกว่าการฟอกขาวด้วยวิธีการอื่น (5%owf) เนื่องจากความขาวของผ้าเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการฟอกขาวมีค่าสูงกว่า (ความขาว 41.87) ผ้า เริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการฟอกขาวด้วยวิธีอื่น (ค่าความขาวอยู่ระหว่าง 28-33) จากตารางที่ 9 พบว่าผ้า E-scoured PLA/ฝ้ายมีค่าความขาวไม่แตกต่างกับผ้า prewashed PLA/ฝ้าย (ค่าความขาว ประมาณ 28) เนื่องจากเอนไซม์เพกทิเนสมีความจำเพาะเจาะจงจึงเกิดปฏิกิริยา ไฮโดรลิซิสเฉพาะ สารประกอบเพกทินเท่านั้น ไม่เกิดปฏิกิริยากับโครงสร้างสัณฐานธาตibenเส้นใยฝ้าย ทำให้ผ้าฝ้าย ภายหลังผ่านการทำความสะอาดด้วยเอนไซม์เพกทิเนสมีค่าความขาวใกล้เคียงกับผ้า prewashed PLA/ฝ้าย ดังแสดงในภาพที่ 36 การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการฟอกขาว 7%owf ทำให้ผ้าผสม PLA/ฝ้ายมีค่าความขาวสูงกว่า 72 ดังภาพที่ 37

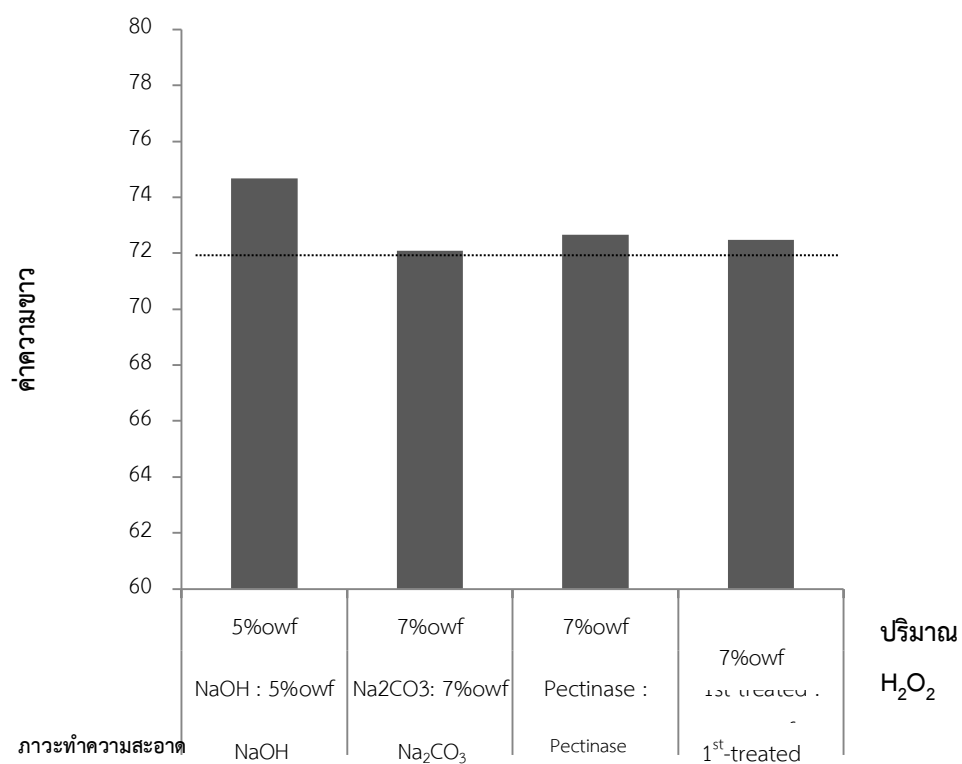
ปริมาณสารที่หลุดออกในระหว่างกระบวนการฟอกขาวและความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้ายภายหลังการฟอกในตารางที่ 11 พบว่าผ้าที่ใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในขั้นตอนการทำความสะอาดและต่อด้วยการฟอกขาวจะมีปริมาณสารที่หลุดออกจากการฟอกขาวสูงสุดและทำให้ผ้ามีความ แข็งแรงต่ำกว่าการฟอกขาวด้วยภาวะอื่นๆ อาจเนื่องจากการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการทำความสะอาดผ้าผสม PLA/ฝ้าย ทำลายโครงสร้างโมเลกุลของ PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายบางส่วน (ตารางที่ 10) ดังนั้นเมื่อนำผ้าดังกล่าวมาทำการฟอกขาวในภาวะต่างที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที จึงเร่งปฏิกิริยาให้เส้นใย PLA สลายตัวได้เร็วกว่าผ้าเริ่มต้นก่อนเข้าสู่การฟอกขาวในภาวะอื่น ปริมาณสิ่งเจือปนหลักที่ถูกกำจัดออกในระหว่างทำการฟอกขาวผ้าที่ผ่านการทำความสะอาดด้วย โซเดียมไฮดรอกไซด์ จึงน่าจะประกอบด้วยสัณฐานธาตibenเส้นใยฝ้ายและเส้นใย PLA (ตารางที่ 11) ทำให้ความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์และฟอกขาว มีค่าต่ำที่สุด ผ้าผสม PLA/ฝ้ายผ่านหลังผ่านการทำความสะอาดผ้าด้วยโซเดียมคาร์บอเนตและ เอนไซม์เพกทิเนสและทำการฟอกขาวผ้าด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (2 ขั้นตอน) จะมีค่าความ แข็งแรงของผ้าใกล้เคียงกับการทำความสะอาดและฟอกขาวผ้าขั้นตอนเดียวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์ ดังนั้นภาวะของการเตรียมผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าสีอ่อน คือ ทำ การกำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวผ้าขั้นตอนเดียวด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 7%owf ที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที เนื่องจากภาวะดังกล่าวทำให้ผ้าสูญเสียความแข็งแรง น้อยที่สุด รวมถึงสามารถประหยัดสารเคมีและเวลาในการทำกระบวนการเตรียมผ้า (ลดระยะเวลาลง ได้มากกว่า 1 ชั่วโมง) อย่างไรก็ตามทุกภาวะที่ใช้ในการเตรียมผ้าของงานวิจัยนี้ ผลของความแข็งแรง

ของผ้าถัก PLA/ฝ้าย ยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ (ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าดิบไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งแรงเริ่มต้น (ภาพที่ 38)

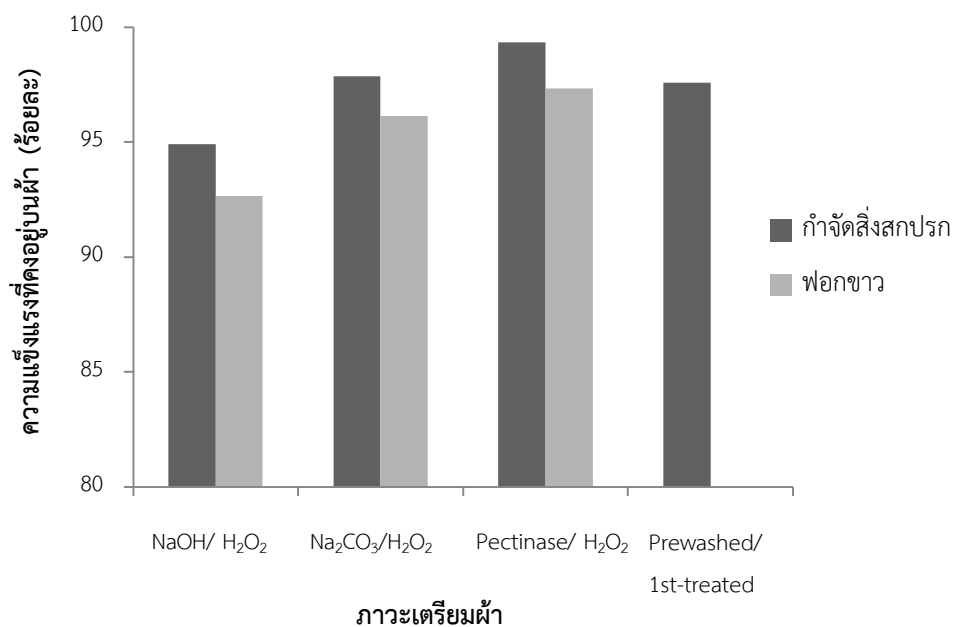
ตารางที่ 11 สมบัติของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านกระบวนการฟอกขาว

การเตรียม ผ้า	ผ้าผสม PLA/ฝ้าย	ปริมาณ H ₂ O ₂ (%owf)	การดูดซึมน้ำ (วินาที)	ความ ขาว	ความ เหลือง	ความ แข็งแรง (KPa)	ปริมาณสาร ที่หลุดออก (ร้อยละ)
-	ดิบ	-	60+	19.18	20.76	649 ± 22	-
-	ผ้า Prewashed	-	37.20	28.18	17.88	749 ± 27	1.73
2 ขั้นตอน	ผ้า A-scoured (NaOH: 5%owf 70°C, 90 นาที)	5	ทันที	74.67	3.47	694 ± 17	10.94
2 ขั้นตอน	ผ้า A-scoured (Na ₂ CO ₃ : 7%owf 70°C, 90 นาที)	5 7	ทันที ทันที	67.54 72.09	5.77 4.31	N/A 720 ± 21	5.92
2 ขั้นตอน	ผ้า E-scoured (Pecitanse: 10%owf 60°C, 60 นาที)	5 7	ทันที ทันที	67.77 72.67	5.90 4.51	N/A 731 ± 8	5.55
1 ขั้นตอน	1 st -treated	7	ทันที	72.47	4.01	729 ± 8	4.85

N/A คือ ไม่ได้ทำการทดสอบ



ภาพที่ 37 ค่าความขาวของผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ผ่านการฟอก



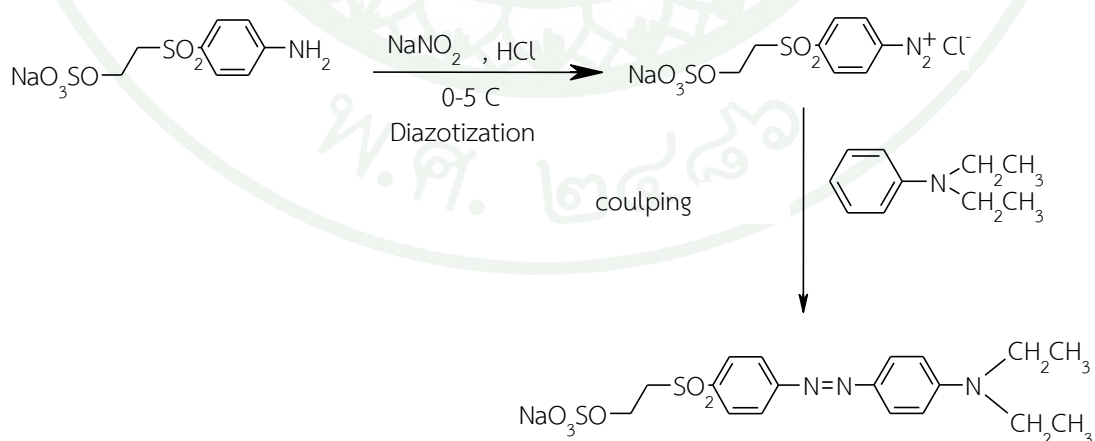
ภาพที่ 38 ความแข็งแรงที่คงอยู่บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย (ร้อยละ) หลังผ่านการฟอกขาวด้วยสารเคมีต่างๆ

4. ผลการสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส

4.1 RD-Salt

สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาไดเอโซไดเซชัน-คัปปลิงของ อะมิโนฟีนิล 4 เบต้า ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (Aminophenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone)) 0.01 โมลและไดเอทิลอะนิลีน (N,N-diethylaniline) 0.01 โมล และทำการตกตะกอนของสี RD-Salt ด้วยโซเดียมคลอไรด์จะได้ผงสีที่สัมผัส ปฏิกิริยาการสังเคราะห์แสดงดังภาพที่ 39 เมื่อนำผงสี RD-Salt มาทำให้บริสุทธิ์อีกครั้งด้วยไดเมทิลฟอร์มาไมด์ (DMF) ทำการวัดจุดหลอมเหลว แยกสาร ด้วยเทคนิคโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (TLC) โดยใช้เอทานอล (Ethanol) เป็นเฟสเคลื่อนที่ (Mobile phase) และวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนโครงสร้างและสมบัติ ของสี RD-Salt แสดงในตารางที่ 12

สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิดสี RD-Salt มีอุณหภูมิการหลอมเหลว 193-197 องศาเซลเซียส เทคนิคโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบางสามารถแยกสี RD-Salt โดยใช้เอทานอลเป็นเฟสเคลื่อนที่ มีระยะการเคลื่อนที่ของสี RD-Salt (R_f) เท่ากับ 0.867 และเมื่อทำการวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนด้วยเครื่อง Elemental Analyzer พบว่าปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจนที่ได้จากการวิเคราะห์มีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Lee และคณะ (2005) ที่ทำการสังเคราะห์สีด้วยสารตั้งต้นชนิดเดียวกัน (ตารางที่ 12)



ภาพที่ 39 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์สี RD-Salt

ตารางที่ 12 โครงสร้างและสมบัติของสี RD-Salt และสี RD-Alkali

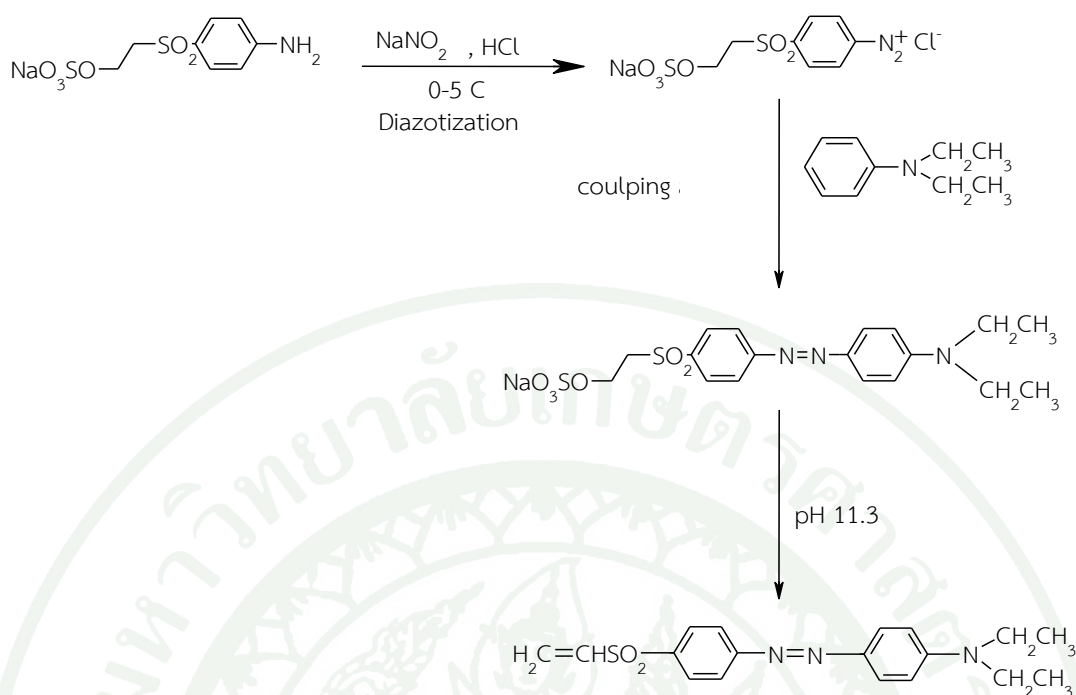
สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส		RD-Salt		RD-Alkali	
สี		ส้ม		ส้ม	
จุดหลอมเหลว ($^{\circ}\text{C}$)		193-197		131.7-135.6	
TLC	เอทานอล	$R_f = 0.867$		$R_f = 0.825$	
	อะซิโตน	-		$R_f = 0.908$	
ปริมาณธาตุใน	ธาตุ	อ้างอิง*	วิเคราะห์	คำนวณ	วิเคราะห์
โครงสร้าง (ร้อยละ)	C	42.51	43.54	62.948	61.76
	H	5.35	5.1215	6.163	6.790
	N	8.26	8.818	12.235	12.145

* อ้างอิงจาก Lee. (2005)

4.2 RD-Alkali

เมื่อนำสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ขึ้นจากปฏิกิริยาไดเอโซไดเซชัน-คัปปลิงของอะมิโนฟีนิล 4 เบต้า ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (Aminophenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone) และไดเอทิลอะนิลีน (N,N-diethylaniline) มาทำการตกตะกอนในภาวะที่เป็นด่าง (pH ประมาณ 11.3) จะเกิดการตกตะกอนสีส้มของสี RD-Alkali เนื่องจากเมื่ออยู่ในภาวะที่เป็นด่างหมู่ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (sulphatoethylsulphone) จะเกิดปฏิกิริยาการขจัดออก (elimination reaction) กลายเป็นหมู่ไวนิลซัลโฟน (vinyl sulphone) ดังภาพที่ 40 (Kim 2011; Mock, 2002)

สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิดสี RD-Alkali มีอุณหภูมิการหลอมเหลว 132-136 องศาเซลเซียส เทคนิคโครมาโตกราฟีแบบแผ่นบาง (TLC) สามารถแยกสี RD-Alkali โดยใช้เอทานอลหรืออะซิโตนเป็นเฟสเคลื่อนที่ มีระยะการเคลื่อนที่ (R_f) ของสี RD-Salt เท่ากับ 0.825 และ 0.908 ตามลำดับ ปฏิกิริยาการสังเคราะห์และโครงสร้างเคมีของสี RD-Alkali สามารถยืนยันได้ด้วยผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจนและไนโตรเจน ซึ่งมีความใกล้เคียงกันระหว่างค่าที่คำนวณโครงสร้างสีกับค่าปริมาณธาตุที่วิเคราะห์ได้ด้วยเครื่อง Elemental Analyzer (ตารางที่ 12)



ภาพที่ 40 ปฏิกริยาการสังเคราะห์สี RD-Alkali

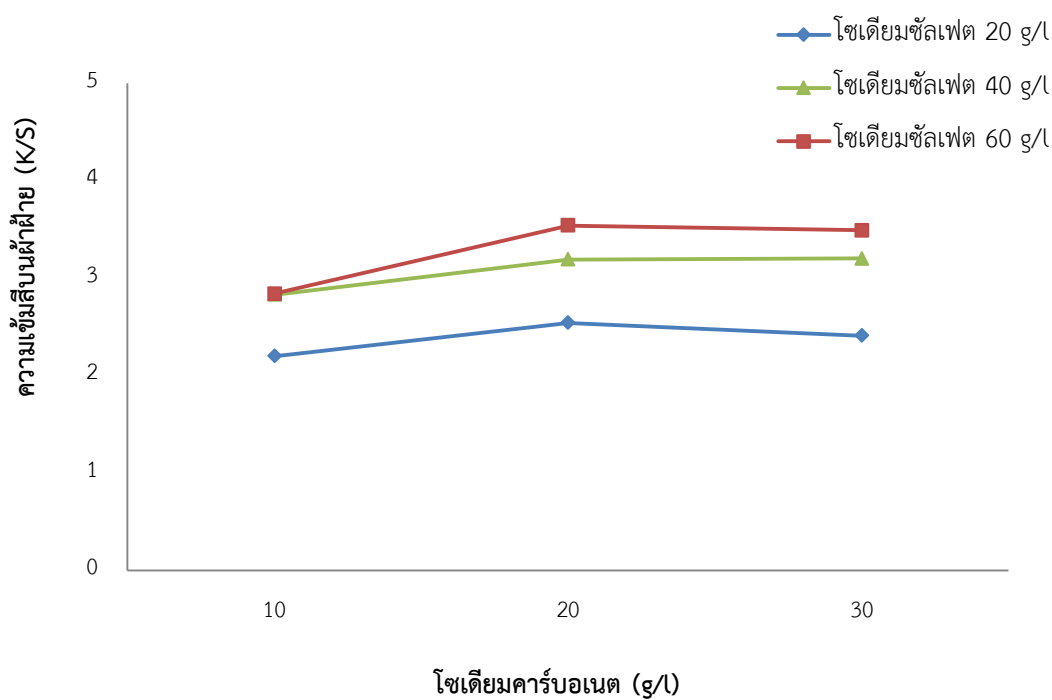
ที่มา: Kim. (2011); Mock. (2002)

5. ผลการศึกษาพฤติกรรมการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าฝ้าย

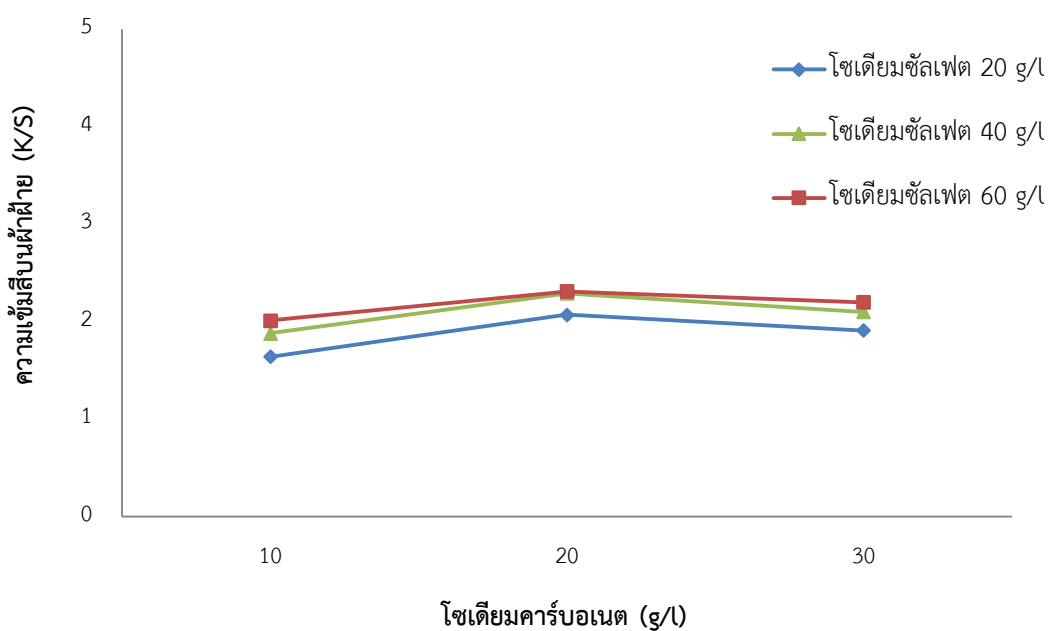
ปัจจัยที่ส่งผลต่อการย้อมสีรีแอกทีฟบนเส้นใยผ้าฝ้ายโดยทั่วไป คือ ปริมาณเกลือและด่างที่เติม เป็นสารช่วยย้อม อุณหภูมิในการย้อมและปริมาณรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่ใช้ย้อม ในงานวิจัยนี้เกลือที่ใช้ย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าฝ้าย คือ โซเดียมซัลเฟต และด่างที่ใช้ย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าฝ้าย คือ โซเดียมคาร์บอเนต ผลการย้อมผ้าฝ้ายโดยใช้ปริมาณโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 13 และภาพที่ 41 และ 42

ตารางที่ 13 ผลการใช้โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตเป็นสารช่วยย้อมต่อค่าความเข้มสีและ
เจดสีบนผ้าฝ้ายด้วยสีย้อมสกัดจากพืช-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali (ความยาวคลื่น
470 นาโนเมตร)

สี	ปริมาณสาร (กรัม/ลิตร)		K/S	L*	a*	b*
	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃				
RD-Salt	20	10	2.20	69.80	31.00	36.67
		20	2.54	68.95	32.73	39.07
		30	2.41	69.24	32.06	38.27
	40	10	2.83	67.95	33.57	40.26
		20	3.19	66.92	34.52	41.83
		30	3.20	67.25	34.57	42.55
	60	10	2.84	67.82	33.67	40.17
		20	3.54	66.14	35.55	43.06
		30	3.49	66.29	35.31	43.02
RD-Alkali	20	10	1.64	71.28	27.47	31.38
		20	2.07	68.88	29.00	33.21
		30	1.91	70.14	28.82	33.45
	40	10	1.88	70.24	29.13	33.15
		20	2.31	68.05	29.98	34.77
		30	2.20	68.51	29.56	34.49
	60	10	2.01	69.23	29.07	33.00
		20	2.29	68.29	30.27	34.91
		30	2.10	68.77	29.15	33.50

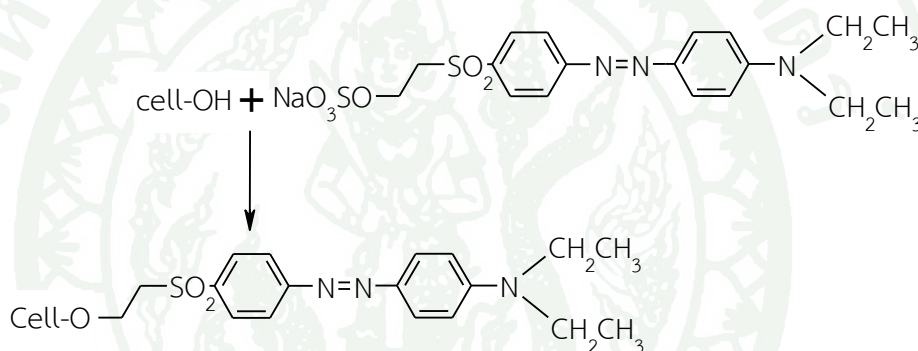


ภาพที่ 41 ความชื้นของสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt บนผ้าฝ้ายเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมคาร์บอเนตแตกต่างกัน

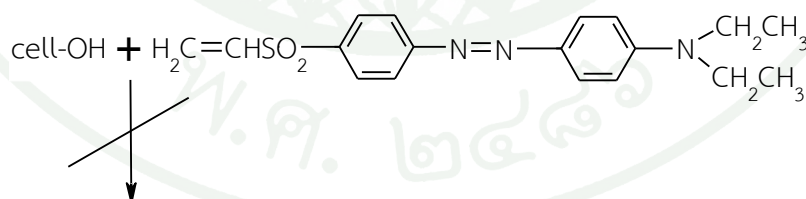


ภาพที่ 42 ความชื้นของสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Alkali บนผ้าฝ้ายเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมคลอไรด์และโซเดียมคาร์บอเนตแตกต่างกัน

ผลการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali พบว่า เมื่อปริมาณ โซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตที่ใช้ในการย้อมผ้าฝ้ายเพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นผ้า (K/S) สูงขึ้นด้วย เนื่องจากเกลือโซเดียมซัลเฟตเติมลงไปในการย้อมจะทำให้หน้าที่จะเห็นประจุลบบนผ้า ฝ้ายและประจุลบของโมเลกุลสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สจึงช่วยเพิ่มโอกาสให้โมเลกุลสีอยู่ใกล้ชิดกับเส้นใย ฝ้ายมากขึ้นทำให้การดูดซึมสีเข้าสู่เส้นใยฝ้ายดีขึ้น เมื่อสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สดูดซึมเข้าสู่เส้นใยฝ้ายแล้ว โซเดียมคาร์บอเนตจึงทำให้หมู่ไฮดรอกซิลบนเส้นใยเซลลูโลสเกิดการแตกตัวไปทำปฏิกิริยากับหมู่ ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟนของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส เกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ระหว่างเซลลูโลสกับสีรีแอก ทีฟ-ดิสเพิร์ส ดังภาพที่ 43 สี RD-Salt สามารถย้อมสีบนผ้าฝ้ายได้ดีกว่าสี RD-Alkali เนื่องจากหมู่ไวนิลซัลโฟนในโมเลกุลสี RD-Alkali ไม่ละลายน้ำและไม่สามารถเกิดปฏิกิริยายึดติดกับเซลลูโลสได้ดัง ภาพที่ 44



ภาพที่ 43 ปฏิกิริยาการยึดติดระหว่างสี RD-Salt กับโครงสร้างเซลลูโลสของเส้นใยฝ้าย



ภาพที่ 44 ปฏิกิริยาการยึดติดระหว่างสี RD-Alkali กับโครงสร้างเซลลูโลสของเส้นใยฝ้าย

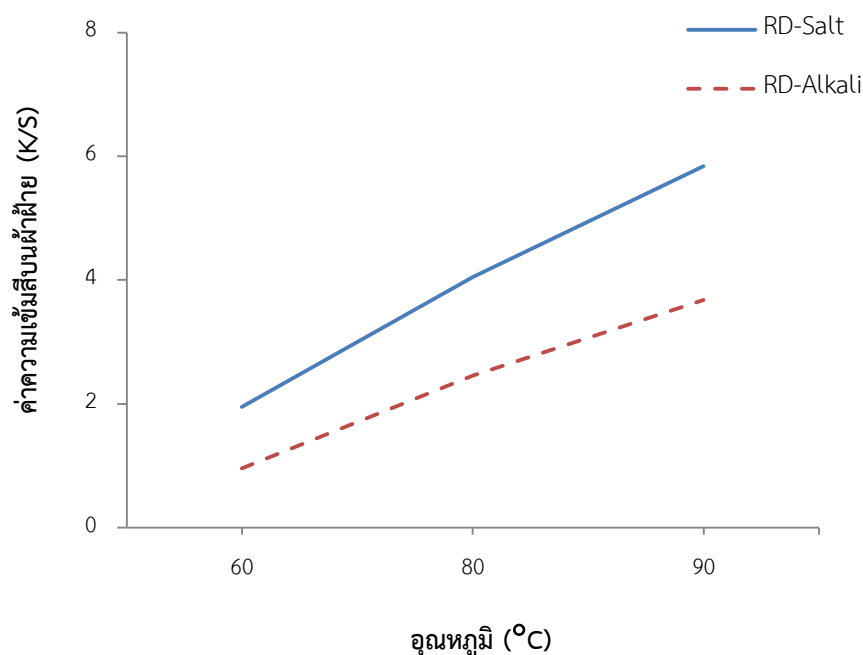
ปริมาณโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าฝ้ายเมื่อใช้ ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส 1%owf และทำการย้อมผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที พบว่าปริมาณโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าฝ้ายด้วย สี RD-Salt คือ การใช้โซเดียมซัลเฟต 60 กรัมต่อลิตรและโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตร ส่วน

ปริมาณโซเดียมซัลเฟตและโซเดียมคาร์บอเนตที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสี RD-Alkali คือการใช้โซเดียมซัลเฟต 40 กรัมต่อลิตรและโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตร ปริมาณโซเดียมคาร์บอเนตส่งผลต่อพฤติกรรมการติดสี RD-Alkali บนผ้าฝ้าย อาจเนื่องจากในขั้นตอนการตกตะกอนที่ pH 11.3 ของการสังเคราะห์ทำเร็วเกินไป (พอเห็นตะกอนสีสั้มก็ทำการปรับ pH ของสารละลายกลับมาที่ 5.3) ทำให้ไม่สามารถเปลี่ยนหมู่ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟนในโครงสร้างสีให้กลายเป็นหมู่ไวนิลซัลโฟนได้อย่างสมบูรณ์ สี RD-Alkali ที่สังเคราะห์และนำมาใช้จึงมีโครงสร้างสีที่ประกอบด้วยหมู่ซัลฟาโทเอทิลซึ่งสามารถเกิดปฏิกิริยายึดติดกับเซลลูโลสบนเส้นใยฝ้ายเมื่อมีด่าง (โซเดียมคาร์บอเนต) ร่วมกับหมู่ไวนิลซัลโฟนซึ่งไม่ละลายน้ำและไม่เกิดปฏิกิริยายึดติดกับเซลลูโลสบนเส้นใยฝ้าย

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Salt มีค่า a^* และ b^* สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Alkali จึงทำให้ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี RD-Salt มีเฉดสีสั้มที่สดใสมากกว่า ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสี RD-Alkali

ตารางที่ 14 ผลอุณหภูมิต่อค่าความเข้มสีและเฉดสีบนผ้าฝ้ายด้วยสีสังเคราะห์ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)

สี	อุณหภูมิ (°C)	K/S	L^*	a^*	b^*
RD-Salt	60	1.95	69.87	29.37	35.84
	80	4.05	65.08	36.97	44.81
	90	5.84	63.09	39.78	50.59
RD-Alkali	60	0.96	75.30	21.49	25.39
	80	2.46	68.02	31.61	36.39
	90	3.68	65.71	33.97	41.57

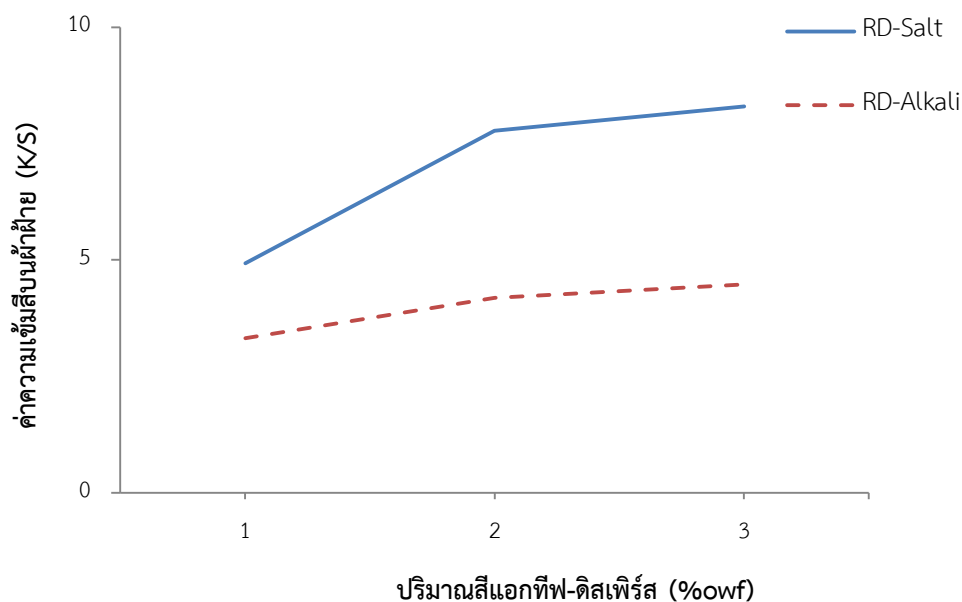


ภาพที่ 45 ความเข้มข้นของสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าฝ้ายเมื่อใช้ อุณหภูมิในการย้อมแตกต่างกัน

ผลการศึกษาอุณหภูมิในการย้อมผ้าฝ้ายเมื่อใช้สรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali ปริมาณสี 1%owf โดยมีโซเดียมซัลเฟต 60 กรัมต่อลิตรและโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตรเป็นสารช่วยย้อม ทำการย้อมเป็นเวลา 60 นาที ความเข้มข้นและเจดสีแสดงดังตารางที่ 14 และภาพที่ 45 พบว่าเมื่อใช้อุณหภูมิในการย้อมสูงขึ้น ความเข้มข้น (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มอุณหภูมิสามารถเพิ่มปริมาณการดูดซึม (Absorption) และการแทรกซึม (Penetration) ของสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สเข้าสู่เส้นใยผ้าฝ้ายได้สูงขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอในการย้อมได้ สังเกตจากผ้าฝ้ายที่ย้อมอุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสจะมีความสม่ำเสมอในการย้อมที่สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ย้อมอุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้าฝ้ายเมื่อใช้ปริมาณสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิด คือ อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

ผลการศึกษาปริมาณสรีรเอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali ในการย้อมผ้าฝ้ายเมื่อใช้ปริมาณโซเดียมซัลเฟต 60 กรัมต่อลิตร โซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตร เป็นสารช่วยย้อม ทำการย้อมผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ค่าความเข้มข้น (K/S) และเจดสีบนผ้าฝ้ายแสดงในตารางที่ 15 และภาพที่ 46 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสี RD-Salt ในการย้อมผ้าฝ้ายค่าความเข้มข้นของสีของผ้าฝ้าย (K/S) มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเพิ่มปริมาณสีที่ใช้ในการย้อมเป็นการเพิ่มโอกาส

เกิดปฏิกิริยายึดติดระหว่างสี RD-Salt กับเส้นใยฝ้าย การเพิ่มปริมาณสี RD-Alkali มากกว่า 2%owf ไม่ส่งผลต่อค่าความเข้มสีบนฝ้ายอม เนื่องจากสี RD-Alkali มีโครงสร้างสีเป็นหมู่ไวโนลซัลโฟนซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำต่ำและเกิดปฏิกิริยายึดติดกับเซลลูโลสบนเส้นใยฝ้ายต่ำ



ภาพที่ 46 ความเข้มสีของสีรีแอคทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าฝ้ายเมื่อใช้ปริมาณสีรีแอคทีฟ-ดิสเพิร์สแตกต่างกัน

ตารางที่ 15 ผลการใช้ปริมาณสีรีแอคทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าฝ้ายที่แตกต่างกัน (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)

สี	ปริมาณสี (%owf)	K/S	L*	a*	b*
RD-Salt	1	4.93	64.06	38.22	48.62
	2	7.77	59.54	41.24	51.87
	3	8.30	57.85	40.82	50.40
RD-Alkali	1	3.32	66.08	33.69	41.44
	2	4.18	62.52	33.63	41.16
	3	4.48	61.10	33.64	40.21

จากผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส พบว่าสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt เหมาะที่จะใช้ย้อมผ้าฝ้ายมากกว่าสี RD-Alkali ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt คือ การใช้สารช่วยย้อมโซเดียมซัลเฟต 60 กรัมต่อลิตร และโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตร ทำการย้อมผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที ค่าความเข้มสีบนผ้าฝ้ายจะเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณสี RD-Salt ในการย้อมผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt มีเฉดสีแดง (a^*) และเหลือง (b^*) กว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Alkali

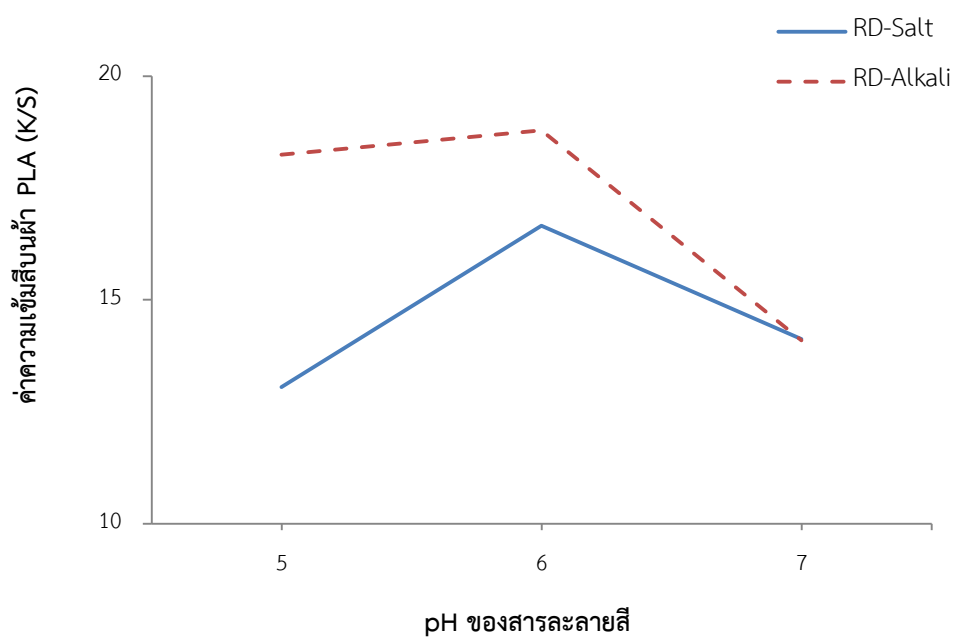
6. ผลการศึกษาพฤติกรรมการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้า PLA

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนเส้นใย PLA คือ ค่า pH ของสารละลายสี เวลา อุณหภูมิในการย้อมและปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่ใช้ย้อม ผลการย้อมผ้า PLA ด้วย pH ของสารละลายสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali ที่แตกต่างกันแสดงในตารางที่ 16 และภาพที่ 47

ผลการย้อมผ้า PLA โดยใช้ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali 1 %owf ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที พบว่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้า PLA ของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali คือ pH 6 ซึ่งนอกจากจะทำให้ผ้า PLA มีความเข้มสีบนผ้าสูงแล้วการเตรียมสารละลายสียังทำได้ง่าย จากค่าความเข้มสี (K/S) บนผ้า PLA พบว่าสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali สามารถย้อมติดบนผ้า PLA ได้ดีกว่าบนผ้าฝ้าย (K/S น้อยกว่า 10)

ตารางที่ 16 ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่ pH ของสารละลายสีต่างๆ (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)

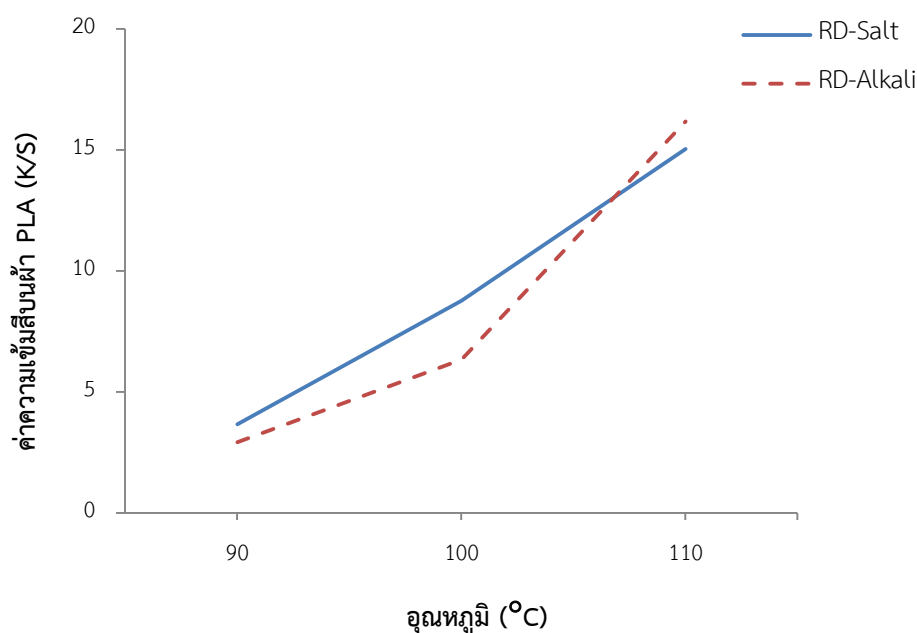
สี	pH	K/S	L*	a*	b*
RD-Salt	5	13.05	60.74	41.45	63.01
	6	16.66	57.77	43.92	63.29
	7	14.13	58.78	43.03	61.72
RD-Alkali	5	18.25	54.66	39.73	59.52
	6	18.79	54.46	39.25	58.69
	7	14.09	55.50	37.37	55.63



ภาพที่ 47 ความเข้มของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่ pH ของสารละลายสีต่างๆ

ตารางที่ 17 ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่ อุณหภูมิ
ต่างๆ (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)

สี	อุณหภูมิ (°C)	K/S	L*	a*	b*
RD-Salt	90	3.66	67.41	31.17	46.45
	100	8.78	61.61	39.26	54.59
	110	15.03	58.43	43.30	62.42
RD-Alkali	90	2.92	64.98	26.67	35.87
	100	6.35	60.19	32.28	46.41
	110	16.18	55.77	37.99	57.48



ภาพที่ 48 ความเข้มของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่อุณหภูมิ
การย้อมต่างๆ

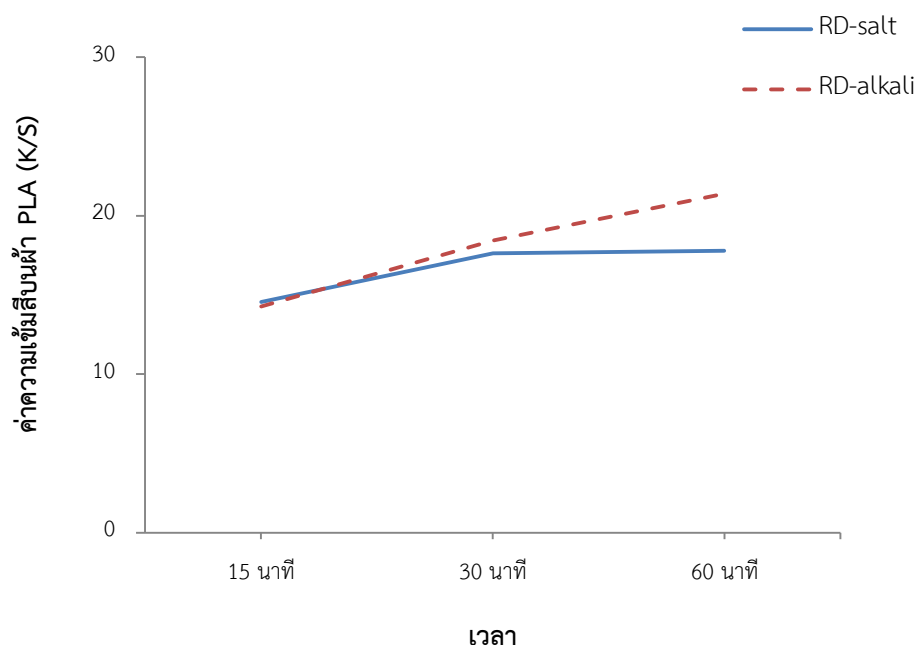
อุณหภูมิที่ใช้ในการย้อมผ้า PLA ด้วยสารละลายสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali ที่ pH 6 ทำการย้อมเป็นเวลา 30 นาที แสดงในตารางที่ 17 และภาพที่ 48 พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการย้อมผ้า PLA สูงขึ้น ความเข้มสี (K/S) บนผ้า PLA จะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากการย้อมผ้า PLA ในงานวิจัยนี้เป็นการย้อมโดยไม่ใช้สารแคริเออร์ (carrier) จึงจำเป็นต้องทำการย้อมที่อุณหภูมิ

สูง (สูงกว่าอุณหภูมิ T_g ของ PLA) เพื่อให้ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) ของสายโซ่โมเลกุล PLA เกิดการเคลื่อนตัว โมเลกุลสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สจึงสามารถแพร่เข้าสู่เส้นใย PLA ได้ อุณหภูมิที่เหมาะสม สำหรับการย้อมผ้า PLA ของสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali คือ 110 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการย้อมสีดิสเพิร์สบนเส้นใย PLA โดยทั่วไป

เวลาที่ใช้ในการย้อมผ้า PLA ด้วยสารละลายสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali ที่ pH 6 และทำการย้อมที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสแสดงในตารางที่ 18 ภาพที่ 49 พบว่าสี RD-Salt เมื่อเพิ่มระยะเวลาในการย้อมมากกว่า 30 นาที ไม่ทำให้ค่าความเข้มสีบนผ้า PLA เพิ่มขึ้น ดังนั้นระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการย้อมผ้า PLA ด้วยสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt ในงานวิจัยนี้ คือ 30 นาที ในขณะที่การเพิ่มเวลาในการย้อมสี RD-Alkali จะให้ค่าความเข้มสี (K/S) บนผ้า PLA เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 18 ผลการย้อมสรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA ที่เวลาแตกต่างกัน (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)

สี	เวลา	K/S	L*	a*	b*
RD-Salt	15	14.56	58.94	43.20	62.59
	30	17.63	57.19	44.26	63.58
	60	17.77	56.78	44.15	63.20
RD-Alkali	15	14.27	55.64	37.66	56.21
	30	18.43	54.77	39.31	58.71
	60	21.37	53.76	40.19	59.47



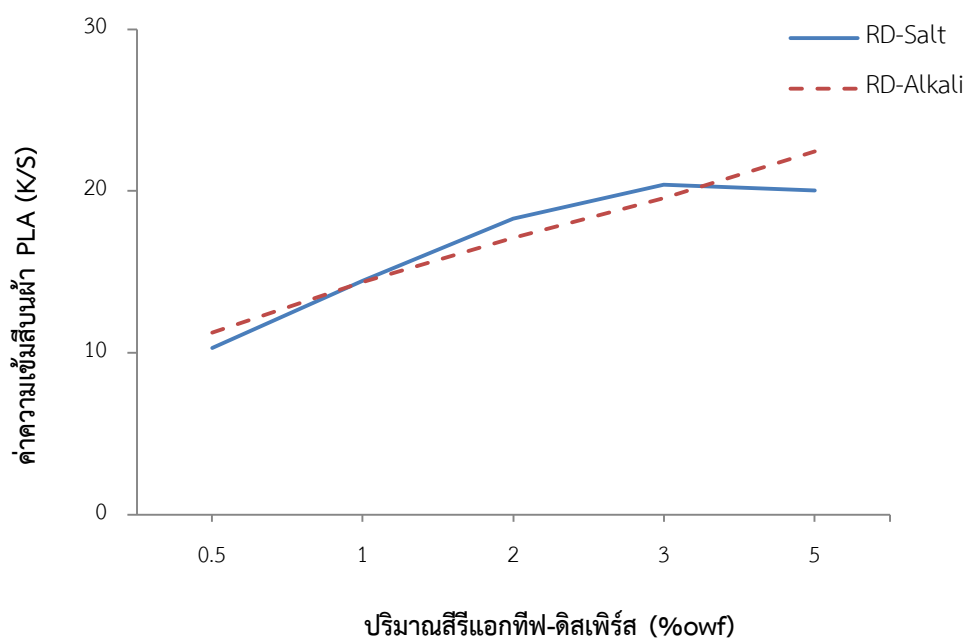
ภาพที่ 49 ความเข้มของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส ชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA เมื่อใช้เวลาในการย้อมต่างๆ

ผลการใช้ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่แตกต่างกันทั้งชนิด RD-Salt และ RD-Alkali ในการย้อมผ้า PLA ที่ pH 6 อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีแสดงในตารางที่ 19 ภาพที่ 50 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สในการย้อมสูงขึ้นค่าความเข้มสี (K/S) บนผ้า PLA จะสูงขึ้น นอกจากนี้พบว่า ค่าความเข้มสีบนผ้า PLA สูงกว่าผ้าฝ้ายเมื่อใช้ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สเท่ากัน แสดงว่าสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ขึ้นทั้ง 2 ชนิดสามารถยึดติดบนเส้นใย PLA ได้ดีกว่าเส้นใยฝ้าย อาจเนื่องจากอัตราการเพิ่มอุณหภูมิของเครื่องย้อมที่เร็วเกินไปทำให้เกิดปฏิกิริยายึดติดระหว่างส่วนทำปฏิกิริยาของโครงสร้างสีกับเส้นใยไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร (4 องศาเซลเซียสต่อ นาที)

จากผลการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการย้อมผ้า PLA ด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส พบว่าภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้า PLA ด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali คือทำการเตรียมสารละลายสีที่ pH 6 ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาทีสำหรับสี RD-Salt ส่วนสี RD-Alkali ยิ่งเพิ่มระยะเวลาในการย้อมยิ่งทำให้สี RD-Alkali ยิ่งติดบนผ้า PLA ดีขึ้น เจดสีที่ติดบนผ้า PLA เมื่อทำการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali มีความแตกต่างกัน คือ ผ้า PLA ที่ย้อมด้วยสี RD-Salt มีเจดสีแดง (a^*) และเหลือง (b^*) สูงกว่าผ้า PLA ที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Alkali

ตารางที่ 19 ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA เมื่อใช้ ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สแตกต่างกัน (ความยาวคลื่น 470 นาโนเมตร)

สี	ปริมาณสาร (%owf)	K/S	L*	a*	b*
RD-Salt	0.5	10.32	62.33	40.42	60.57
	1	14.47	57.69	43.18	60.40
	2	18.30	54.76	45.41	60.45
	3	20.38	51.75	46.91	56.91
	5	20.03	50.90	47.21	55.20
RD-Alkali	0.5	11.25	59.59	37.65	57.67
	1	14.39	54.95	37.83	55.32
	2	17.13	51.73	37.15	53.51
	3	19.57	47.29	37.10	48.01
	5	22.44	44.40	38.01	45.73



ภาพที่ 50 ความเข้มของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้า PLA เมื่อใช้ ปริมาณสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สแตกต่างกัน

7. ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายชั้นตอนเดียว

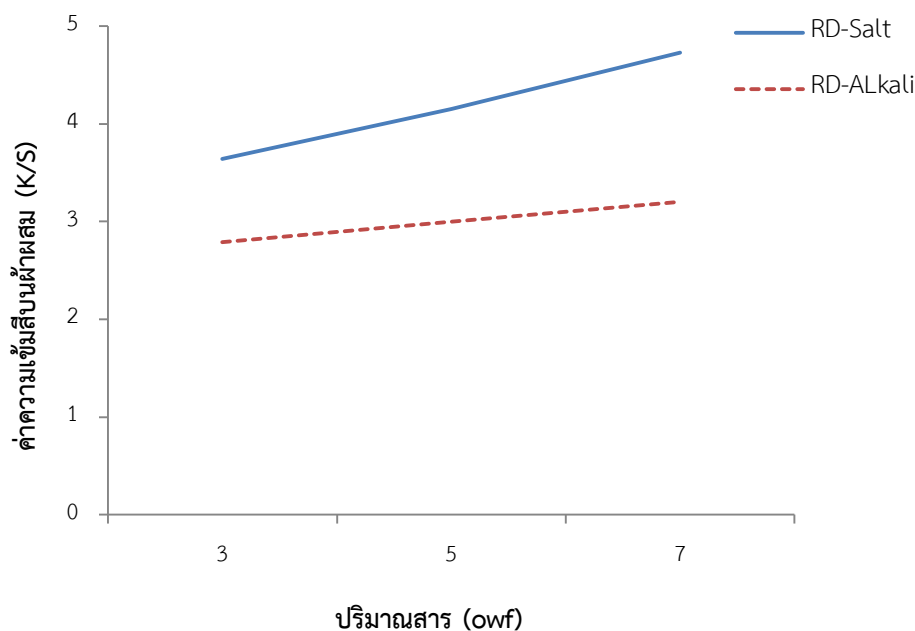
ผลการศึกษาภาวะที่เหมาะสมสำหรับการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดบนผ้าฝ้ายและผ้า PLA นำมาสู่การวางแผนการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายในชั้นตอนเดียว โดยทำการย้อมเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายก่อนด้วยการปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6 ทำการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นจึงทำการย้อมเส้นใยฝ้ายบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส โดยการเติมเกลือโซเดียมซัลเฟตปริมาณ 60 กรัมต่อลิตรทำการย้อมเป็นเวลา 30 นาทีก่อนเติมโซเดียมคาร์บอเนตปริมาณ 20 กรัมต่อลิตรย้อมเส้นใยฝ้ายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสอีก 30 นาที (ภาพที่ 29) หลังจากนั้นทำการกำจัดสีที่ไม่ได้เกิดปฏิกิริยากับเส้นใย PLA และเส้นใยฝ้ายออก (Reduction clear; RC) ออก ผลการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายในชั้นตอนเดียวแสดงในตารางที่ 20 และภาพที่ 51

ตารางที่ 20 ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายในชั้นตอนเดียว

สี	ปริมาณสี (%owf)	K/S	L*	a*	b*
RD-Salt	3	3.64	66.64	33.88	44.59
	5	4.15	64.84	34.47	44.90
	7	4.73	62.94	35.05	45.03
RD-Alkali	3	2.79	68.19	28.83	40.50
	5	3.00	66.87	28.10	39.08
	7	3.20	65.00	28.33	37.86

ผลการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายในชั้นตอนเดียวด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali พบว่าสี RD-Salt สามารถย้อมติดบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายได้ดีกว่าสี RD-Alkali โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสี RD-Salt ในการย้อมสูงขึ้น ความเข้มสี (K/S) บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเปรียบเทียบกับ การเพิ่มปริมาณสี RD-Alkali เฉดสีที่ได้จากการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายจะมีความใกล้เคียงกับเฉดสีบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้า PLA ทั้งสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ Alkali อาจเนื่องมาจากภาวะการย้อมฝ้าย (90 องศาเซลเซียส) ทำให้สี RD-Salt และ RD-Alkali ที่ถูกขังอยู่ภายในเส้นใย PLA หลุดออกมาสังเกตจากผ้าผสม PLA/ฝ้ายภายหลังผ่านการย้อมเส้นใย PLA และเส้นใยฝ้ายแล้วยังคงมีเฉดสีที่เข้มและสดใสคล้ายคลึงกับการย้อมผ้า PLA แต่ภายหลังผ่าน

กระบวนการ RC ด้วยโซเดียมไดไทโอไนท์ ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) และโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) ความเข้มข้นและชนิดของผ้าผสม PLA/ฝ้ายมีลักษณะเหมือนการย้อมผ้าฝ้าย แสดงว่าในภาวะการย้อมเส้นใยฝ้ายทำให้สี RD-Salt และ RD-Alkali ที่ย้อมติดบนเส้นใย PLA ของผ้าผสม PLA/ฝ้ายหลุดออกมา



ภาพที่ 51 ผลการย้อมสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Salt และ RD-Alkali บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายในขั้นตอนเดียว

8. ความคงทนของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สต่อการซัก

การศึกษาความคงทนของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และชนิด RD-alkali ต่อการซักบนผ้าทั้ง 3 ชนิด คือ ผ้า PLA ผ้าฝ้าย และผ้าผสม PLA/ฝ้าย งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบความคงทนของสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สต่อการซักที่ค่าความเข้มข้น (K/S ประมาณ 5) ใกล้เคียงกันของผ้าฝ้ายและผ้า PLA ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Salt และ RD-Alkali ในขณะที่ผ้าผสม PLA/ฝ้ายทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มข้นประมาณ 3 ของผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ย้อมด้วยสี RD-Salt และสี RD-Alkali ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ผลการทดสอบความคงทนของสีต่อการซัก

ผ้าซัก	ชนิดสี	ปริมาณสี (%owf)	Color change	wool	acrylic	PET	Nylon	ฝ้าย	K/S เริ่มต้น
ฝ้าย	RD-Salt	1	2	2/3	4/5	3/4	2	4	4.89
	RD- Alkali	3	3	2	4	3/4	1/2	3/4	4.62
PLA	RD-Salt	0.2	5	5	5	5	5	5	4.75
	RD- Alkali	0.15	5	5	5	5	5	5	5.13
Blend	RD-Salt	3	3	3	5	4/5	3	4/5	3.79
	RD- Alkali	7	3/4	3	5	4/5	3	4/5	3.26

ผลการทดสอบความคงทนของสีรีแอคทีฟ-ดิสเพิร์สทั้งชนิด RD-Salt และชนิด RD-Alkali ต่อการซัก พบว่าสีรีแอคทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดที่ย้อมบนผ้า PLA มีความคงทนของสีต่อการซักสูงกว่าผ้าฝ้าย โดยมีค่าความคงทนของสีบนผ้า PLA ต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ดีมากและไม่เกิดการเปื้อนติด (staining) บนเส้นใยทุกชนิดของผ้ามัลติไฟเบอร์ เนื่องจากผ้า PLA ไม่มีประจุจึงมีกลไกการย้อมที่แตกต่างจากฝ้ายคือ ย้อมอุณหภูมิสูงกว่า T_g (T_g ของ PLA ประมาณ 60-70 องศาเซลเซียส) เพื่อให้ส่วนที่เป็นอสัณฐาน (Amorphous) เกิดการเคลื่อนตัว สีจึงแทรกซึมและถูกขังภายในเส้นใยทำให้ความคงทนของสีต่อการซักบนผ้า PLA สูง ในขณะที่ค่าความคงทนของสีบนผ้าฝ้ายและผ้าผสม PLA/ฝ้ายต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง มีการเปื้อนติด (staining) บนเส้นใยในลอนและเส้นใยขนสัตว์สูงกว่าเส้นใยชนิดอื่นบนผ้ามัลติไฟเบอร์ เนื่องจากสีรีแอคทีฟ-ดิสเพิร์สชนิด RD-Alkali มีความสามารถในการละลายน้ำได้น้อยจึงทำให้เกิดปฏิกิริยาโควาลেন্টกับเส้นใยฝ้ายได้ต่ำ ส่วนสี RD-Salt การเพิ่มอุณหภูมิในการย้อมที่เร็วเกินไปทำให้ปฏิกิริยาการเกิดพันธะโควาลেন্টระหว่างสีกับเส้นใยฝ้ายมีประสิทธิภาพน้อยลงและการทำรีดักชันเคลียร์เพียงครั้งเดียวอาจทำให้ไม่สามารถกำจัดสีส่วนเกินออกได้หมดจึงทำให้ค่าการเปลี่ยนแปลงของสี (Color change) ต่ำกว่าสี RD-Alkali

ผ้าผสม PLA/ฝ้ายภาวะในการย้อมเส้นใยฝ้าย (ย้อมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส) ทำให้โครงสร้างของเส้นใย PLA เปิดออก สิริเอกทีฟ-ดิเพิร์สที่ถูกขังในเส้นใย PLA จึงเคลื่อนและหลุดออกมาในระหว่างกระบวนการ RC ทำให้เฉดสีและความคงทนของสีบนผ้าผสม PLA/ฝ้ายจึงมีลักษณะใกล้เคียงกับเส้นใยฝ้าย

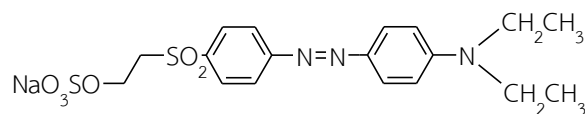


สรุปและข้อเสนอแนะ

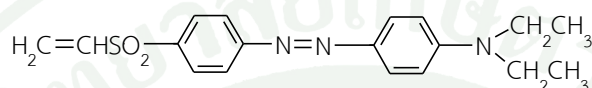
สรุป

1. กระบวนการเตรียมผ้าถัก PLA ที่เหมาะสม คือ การต้มผ้า PLA ในสารละลายที่ประกอบด้วยสารช่วยเปียก 1%owf อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที
2. กระบวนการเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย ที่เหมาะสมสำหรับย้อมผ้าสีอ่อน คือ การต้มผ้าถักในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณ 7%owf ร่วมกับสารช่วยเปียก 1%owf ทำการฟอกผ้าที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
3. กระบวนการเตรียมผ้าถักผสม PLA/ฝ้าย ที่เหมาะสมสำหรับย้อมผ้าสีเข้ม คือ ทำการต้มผ้าผสม PLA/ฝ้าย ในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที หลังจากนั้นสามารถเลือกใช้วิธีการเตรียมผ้าได้ทั้ง 2 วิธี
 - การใช้โซเดียมคาร์บอเนตปริมาณ 7%owf ร่วมกับสารช่วยเปียก 1%owf ทำความสะอาดผ้าที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที
 - การใช้เอนไซม์เพกทิเนส 10%owf ร่วมกับสารช่วยเปียก 1%owf ปรับ pH ของสารละลายให้อยู่ระหว่าง 8-9 ทำความสะอาดผ้าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที
4. การสังเคราะห์สีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สด้วยปฏิกิริยาไดเอโซไทเซชัน-คัปปลิง ระหว่างอะมิโนฟีนอล 4 เบต้า ซัลฟาโทเอทิลซัลโฟน (Aminophenyl-4-(β -sulphatoethyl sulphone)) และไดเอทิลอะนิลีน (N,N-diethylaniline) และทำการตกตะกอนด้วย 2 วิธีที่แตกต่างกัน จะมีโครงสร้างสีที่แตกต่างกัน ดังนี้

- สี RD- salt คือ สีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่ตกตะกอนด้วยเกลือมีโครงสร้างดังรูป



- สี RD- Alkali คือ สีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่ตกตะกอนด้วยด่างมีโครงสร้างดังรูป



5. สี RD-Salt สามารถย้อมติดบนผ้าฝ้าย และผ้าผสม PLA/ฝ้ายได้ดีกว่าสี RD- Alkali

6. ภาวะในการย้อมผ้าฝ้ายที่เหมาะสมสำหรับสีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส คือ

- สี RD-Salt ใช้โซเดียมซัลเฟต 60 กรัมต่อลิตรและโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตรเป็นสารช่วยย้อม ทำการย้อมผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที
- สี RD-alkali ใช้โซเดียมซัลเฟต 40 กรัมต่อลิตรและโซเดียมคาร์บอเนต 20 กรัมต่อลิตรเป็นสารช่วยย้อม ทำการย้อมผ้าฝ้ายที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 60 นาที

7. ภาวะในการย้อมผ้า PLA ที่เหมาะสมสำหรับสีย้อมแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส คือ

- สี RD-Salt เตรียมสารละลายสีในสารช่วยกระจายตัว 1.5%owf ปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6 ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที
- สี RD-alkali เตรียมสารละลายสีในสารช่วยกระจายตัว 1.5%owf ปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6 ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส

8. ภาวะในการย้อมผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่เหมาะสมสำหรับสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์ส คือ เตรียมสารละลายสีในสารช่วยกระจายตัว 1.5%owf ปรับ pH ของสารละลายสีเท่ากับ 6 ทำการย้อมที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเป็น 30 นาที หลังจากนั้นปรับอุณหภูมิการย้อมลงที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เติมเกลือโซเดียมซัลเฟต 60 กรัมต่อลิตรทำการย้อมเป็นเวลา 30 นาที จึงเติมโซเดียมคาร์บอเนตปริมาณ 20 กรัมต่อลิตรทำการย้อมต่ออีก 30 นาที

9. ผ้า PLA ที่ถูกย้อมด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดมีค่าความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ดีมาก

10. ผ้าฝ้ายและผ้าผสม PLA/ฝ้ายที่ถูกย้อมด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สทั้ง 2 ชนิดมีค่าความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในเกณฑ์ปานกลาง

ข้อเสนอแนะ

1. เส้นใย PLA เป็นเส้นใยที่ไม่ทนต่อแสงและความร้อน จึงควรทำการศึกษาผลการใช้เอนไซม์ชนิดอื่นต่อสมบัติด้านความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้าย แทนการใช้สารเคมีที่มีฤทธิ์เป็นด่าง
2. ทำการศึกษาความสามารถในการติดสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์บนผ้าผสม PLA/ฝ้ายชั้นตอนเดียวด้วยสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ เพื่อให้ได้เฉดสีบนผ้าที่หลากหลายขึ้นและทำการวิจัยเปรียบเทียบประสิทธิภาพสีรีแอกทีฟ-ดิสเพิร์สที่สังเคราะห์ขึ้นกับสีที่มีขายทางการค้า

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จันทร์ทิพย์ ชี้อัสตย์. 2550. **วิทยาศาสตร์การย้อมสีสิ่งทอ**. เอกสารประกอบการสอนรายวิชา 055312, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชาติชาย อิมเกษรรุ่งเจริญ. 2551. **การเตรียมตัวดูดซับจากดักแด้ใหม่เพื่อกำจัดสีรีแอกทีฟบลู 19 และสีรีแอกทีฟเรด 3**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

พรทิพย์ แซ่เบ๊. 2554. การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นสารฟอกขาวผ้าฝ้าย. **วารสารวิทยาศาสตร์ มศว**. 27: 1-12.

พจนารถ สุวรรณรุจิ. 2553. **สถิติพีรส์**. ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี. แหล่งที่มา: <http://www.chemtrack.org>, 27 พฤษภาคม 2557.

Auras, R., L.T. Lim, S.M. Selke and H. Tsuji. 2010. **Poly(Lactic acid) Synthesis, Structure, Properties, Processing, and Applications**. John Wiley & Sons, New Jersey.

Avinc, O. and A. Khoddami. 2010. A Overview of Poly(lactic acid) (PLA) fiber : Part II : Wet processing; Pretreatment , Dyeing, Clearing, Finishing, and Washing Properties of Poly(lactic acid) Fibers. **FiberChemistry**. 42: 68-78.

Bae, J.S., J.H. Park, J. Koh. and S.D. Kim. 2006. Dyeing and Fastness Properties of a Reactive Disperse Dye on PET, Nylon, Silk and N/P Fabrics. **Fiber and Polymers**. 7: 174-179.

Bahrum Prang Rocky, A.M.K. 2012. Comparison of Effectiveness Between Conventional Scouring & Bio-Scouring On Cotton Fabrics. **International Journal of Scientific & Engineering Research**. 3: 1-5.

- Cavaco-Paulo A. and G.M. Gubitz. 2003. **Woodhead Publishing**. Textile processing with enzyme, Cambridge.
- Cook, J.G. 1984. **Handbook of Textile fibers I. natural fibers**, Merrow, England.
- Fambri, L., A. Pegoretti, R. Fender, S.D. Incardona, C. Migliaresi. 1997. Biodegradable fibers of poly (L-lactic) produced by melt spinning. **Polymer** : 38: 79-85.
- Farrington, W.W., J. L.S. Davies. and R.S. Blanckburn. 2005. Poly(lactic acid) fiber. **Biodegradable and sustainable fibres**. 191-220.
- Gamble, G. R. 2003. Effects of elevated temperatures on the chemical properties of cotton fiber pectin. **Textile Research Journal**. 73: 157-160.
- Gupta, B., N. Revagade. and J. Hiborn. 2007. Poly(lactic acid) fiber: An Overview. **Progress in Polymer Science**. 32: 455-482.
- Jacobsen, S., P.H. Degee, H.G. Fritz, P.H. Dubois and R. Jerome. 1999. Polylactide (PLA)-A New Way of Production. **Polymer Engineering and Science**. 7: 1311-1319.
- Jayani, R. S., S. Saxena, and R. Gupta. 2005. Microbial pectinolytic enzymes: a review. **Process Biochemistry**. 40: 2931-2944.
- Jenkins R. O. 2003. **Textile Processing with Enzymes**. Edited by Cavaco-Paulo A. & Gubitz GM, Woodhead publishing Ltd. CRC Press, Boca Raton. 18557366101.
- Karmakar, S. R. 1999. Textile Science and Technology 12. **Chemical Technology in the Pretreatment processes of textiles**. 12: 3-8.

Kashya, D.R., P.K. Vohra, S. Chopra and R. Tewari. 2001. Application of pectinases in the commercial sector. **Bioresource Technology**. 77: 215-227.

Kim, S.D., H.Y. Lee, Y..J. Choi and J.L. Lee. 2011. Dyeing Characteristics of Nylon, Cotton, and N/C Mixture Fabrics with Reactive-Disperse Dyes Containing a Sulphatoethylsulphone Group. **Fiber and Polymers**. 12: 932 - 938.

_____, _____, _____ and _____ 2011. Dyeing Properties of Nylon, PET, and N/P Mixture Fabrics with Reactive-Disperse Dyes Having a Sulphatoethylsulphone Group. **Fiber and Polymers**. 13: 199 - 205.

Lee, J.J., W.J. Lee, J.H. Choi, J.P. Kim. 2005. Synthesis and application of temporarily solubilised azo disperse dyes containing β -sulphatoethylsulphonyl group. **Dye and Pigment**. 65: 75-78.

_____, S.H., W.S. Song and H.R. Kim. 2009. Cutinase Treatment of Cotton Fabrics. **Korea Department of Clothing & Textiles, Sookmyung Women's University, Seoul**. 140-742.

Li, Y. and I.R. Hardin. 1977. Enzymatic Scouring of Cotton: Effect on Structure and Properties. **Textile Chemist and Colorist**. 29: 71-76.

Lunt, J. 1998. Large scale production, properties and commercial application of polylactic acid polymer. **Polymer Degradation and Stability**. 59: 145-52.

_____ and A. L. Shafer. 2000. Polylactic acid polymers from corn: applications in the textiles industry. **Journal of Scientific & Industrial Research**. 29: 191-205.

Mock, G. 2002. **Fundamentals of Dyeing and Printing**. Privately Printed, Raleigh.

- Nevell, T.P. 1995. Cellulose : Structure, Properties and Behaviour in the Dyeing Process. Inj. **shore ed. Cellulose Dyeing**. Oxford : Alder Press.
- Phillips, D., J. Suesat, M. Wilding, D. Farrington, D. Sawyer, J. Bone, S. Dervan. 2004. **Color Technology**. 1: 35-40.
- Roy, L. W., R. M. Albert and M.C. Carl. 1940. Pectic Substance of Cotton Fibers in Relation to Growth. **Part of Journal of Research of the National Bureau of Standards**. 25: 305-308.
- Rucker, J.W. and C.B. Smith. n.d. **Troubleshooting in Preparation**, A Systematic Approach Textile Chemistry Department. North Carolina State University. Available source: www.p2pays.org/ref/03/02332.pdf, May 5, 2014.
- Sae-be, P., U. Sangwatanaroj and H. Punnapayak. 2007. Analysis of the products from enzymatic scouring of cotton. **Biotechnology Journal**. 2: 316-325.
- Savannan, D. 2010. Bleaching of cotton fabrics using hydrogen peroxide produced by glucose oxidase. **Indaian Journal of Fiber & Textile Research**. 35: 281-283.
- Spicka, N. and P.F. Tavcer. 2013. New Combined Bio-Scouring and Bio-Bleaching Process of Cotton Fabrics. **Materials and technology**. 4: 409-412.
- Tavcer, P.F. 2011. **Biotechnology in Textile-an Oppornity of Saving Water**. Waste water Treatment and Reutilization. Available Source: <http://www.intechopen.com/books/waste-water-treatment-and-reutilization/biotechnology-in-textiles-an-opportunity-of-saving-water>, May 25, 2014.

Tomasino, C. 1992. **Chemistry & Technology of Fabric Preparation & Finishing.**

Department of Textile Engineering, Chemistry and Science College of Textiles,
North Carolina State University.

Yang, Y. and S. Huda. 2003. Comparison of disperse dye exhaustion, color yield, and colorfastness between polylactide and poly(ethylene terephthalate). **Journal of Applied Polymer Science.** 90: 3285–3290.

Zollinger, H. 2003. **Color Chemistry Syntheses, Properties, and Application of Organic Dyes and Pigment.** VHCA, Switzerland.





ตารางผนวกที่ ก1 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าฝ้าย ผ้า PLA และผ้าผสม PLA/ฝ้าย ก่อนและหลังการ Prewashing

ผืนที่	ฝ้ายดิบ		ฝ้าย prewashed		PLA ดิบ		PLA prewashed		ผ้าผสมดิบ		ผ้าผสม prewashed	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	166	1113	144	1047	170	932	156	766	174	947	138	756
2	175	1092	147	1018	170	858	157	773	170	902	138	777
3	170	1145	144	968	168	916	156	793	172	943	138	794
4	176	1093	144	980	171	876	158	815	168	879	138	813
5	178	1101	145	1006	168	895	153	743	171	931	136	794

* Min = ค่าแรงไดอะแฟรม Max = ค่าแรงดันที่ตำแหน่งผ้าขาด

ตารางผนวกที่ ก2 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านการทำความสะอาดใน
ภาวะต่างๆ กัน

ผืนที่	NaOH 5%owf 70°C 90 min		NaOH 3%owf 90°C 60 min		Na ₂ CO ₃ 3%owf 90°C 60 min		Na ₂ CO ₃ 7%owf 70°C 90 min		Enzyme 10%owf 60°C 60 min	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	212	929	211	868	210	953	212	949	209	911
2	207	913	213	878	208	948	213	964	207	986
3	211	901	215	894	211	931	209	906	211	967
4	212	949	210	882	208	942	208	956	213	951
5	208	914	211	892	209	926	209	945	212	959

* Min = ค่าแรงไดอะแฟรม Max = ค่าแรงดันที่ตำแหน่งผ้าขาด

ตารางผนวกที่ ก3 ผลการทดสอบปริมาณ PLA ของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านการทำความสะอาดใน
ภาวะต่างๆ กัน

ผืนที่	ผ้าดิบ		ผ้าต้ม		NaOH 5 %owf		Na ₂ CO ₃ 7 %owf		Pectinase 10 %owf	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	0.97	0.46	0.96	0.47	0.97	0.49	0.97	0.47	0.97	0.48
2	0.97	0.47	0.95	0.48	0.95	0.50	0.96	0.48	0.97	0.48
3	0.97	0.46	0.96	0.48	0.97	0.50	0.97	0.47	0.97	0.47

ตารางผนวกที่ ก4 ผลการทดสอบปริมาณ PLA ของผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ผ่านกระบวนการ
เตรียมผ้าที่ภาวะต่างๆ กัน

ผืนที่	NaOH/H ₂ O ₂		Na ₂ CO ₃ /H ₂ O ₂		Pectinase/H ₂ O ₂		1st-treated	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
1	0.96	0.49	0.95	0.48	0.97	0.47	0.95	0.48
2	0.95	0.49	0.96	0.48	0.96	0.47	0.96	0.48
3	0.96	0.49	0.96	0.48	0.97	0.46	0.98	0.48

ตารางผนวกที่ ก5 ความเข้มและเฉดสีบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Salt และ RD-Alkali

สี	ปริมาณสี (%owf)	ผืนที่	K/S	L*	a*	b*
RD-Salt	1	1	4.86	64.16	38.04	48.41
		2	4.92	64.14	38.35	48.68
		3	5.02	63.87	38.28	48.78
	2	1	7.63	60.29	41.72	52.74
		2	8.04	59.18	41.00	52.03
		3	7.65	59.16	40.99	50.84
	3	1	8.73	57.17	40.74	50.42
		2	8.20	58.25	41.19	50.81
		3	7.96	58.14	40.53	49.96
RD-Alkali	1	1	3.18	66.63	33.64	41.29
		2	3.37	65.92	34.04	41.50
		3	3.41	65.69	33.40	41.54
	2	1	4.37	62.15	33.44	41.72
		2	4.05	62.92	34.04	41.17
		3	4.11	62.48	33.41	40.59
	3	1	4.22	61.64	33.22	39.72
		2	4.97	60.44	34.59	41.71
		3	4.26	61.21	33.12	39.20

ตารางผนวกที่ ก6 ความเข้มและเฉดสี บนผ้า PLA ที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Salt

สี	ปริมาณสี (%owf)	ผืนที่	K/S	L*	a*	b*
RD-Salt	0.5	1	10.39	62.45	40.52	60.88
		2	10.52	62.08	40.47	60.56
		3	10.04	62.46	40.26	60.28
	1	1	14.74	57.65	43.23	60.74
		2	15.57	57.45	43.62	61.41
		3	13.10	57.97	42.68	59.06
	2	1	19.76	54.46	45.27	61.51
		2	17.60	54.48	45.51	59.28
		3	17.53	55.35	45.45	60.56
	3	1	20.56	51.75	46.35	58.12
		2	20.20	51.39	47.08	56.97
		3	17.67	52.12	47.29	55.63
	5	1	20.47	49.93	47.47	54.74
		2	19.59	50.73	47.23	55.31
		3	17.95	52.05	46.94	55.54

ตารางผนวกที่ ก7 ความเข้มและเฉดสี บนผ้า PLA ที่ผ่านการย้อมด้วยสี RD-Alkali

สี	ปริมาณสี (%owf)	ผืนที่	K/S	L*	a*	b*
RD-Alkali	0.5	1	11.61	59.44	37.95	58.07
		2	11.49	59.54	37.81	58.06
		3	10.65	59.78	37.18	56.89
	1	1	14.84	54.73	38.36	55.77
		2	14.79	55.31	38.11	56.42
		3	13.55	54.82	37.01	53.77
	2	1	18.32	51.44	37.71	54.45
		2	16.62	51.89	36.84	53.16
		3	16.44	51.86	36.90	52.93
	3	1	18.85	47.66	37.39	48.90
		2	20.29	46.60	37.48	48.58
		3	16.81	47.60	36.44	46.54
	5	1	22.05	44.90	38.67	47.61
		2	22.82	43.45	38.25	45.66
		3	18.47	44.86	37.12	43.93



ตารางผนวกที่ ข1 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของผ้า
ผ้าผสม PLA/ฝ้าย ของผ้าก่อนและหลังการ Prewashing

ผ้าก่อนและหลัง Prewashing	Paired Differences							Sig. (2-tailed)
	95% Confidence Interval of the Difference							
	Std.		Std. Error					
	Mean	Deviation	Mean	Lower	Upper	t	df	
PLA/ฝ้าย-เริ่มต้น - PLA/ฝ้าย-Prewashed	-100.20000	43.00814	19.23382	-153.60166	-46.79834	-5.210	4	.006
PLA-เริ่มต้น - PLA-Prewashed	-104.00000	43.59472	19.49615	-158.13000	-49.87000	-5.334	4	.006
ฝ้าย-เริ่มต้น - ฝ้าย-Prewashed	-76.80000	44.06473	19.70634	-131.51358	-22.08642	-3.897	4	.018

ตารางผนวกที่ ข2 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณเส้นใย PLA บนผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ทำความสะอาดที่ภาวะต่างๆ กัน

ภาวะ	Paired Differences						Sig. (2-tailed)	
	95% Confidence Interval of the Difference							
		Std.	Std. Error					
	Mean	Deviation	Mean	Lower	Upper	t		df
raw - prewashed	1.69872	0.76520	0.44179	-0.20214	3.59957	3.845	2	0.061
prewashed - NaOH 5%owf	1.60085	0.28381	0.16386	0.89582	2.30588	9.770	2	0.010
prewashed - Na ₂ CO ₃ 7%owf	-0.64923	0.30886	0.17832	-1.41649	0.11802	-3.641	2	0.068
prewashed - Enzyme 10%owf	-1.05948	0.75479	0.43578	-2.93449	0.81553	-2.431	2	0.136

ตารางผนวกที่ ข3 ผลการวิเคราะห์เพื่อหาความแตกต่างของค่าความแข็งแรงของผ้า
ผ้าผสม PLA/ฝ้าย ที่ทำความสะอาดที่ภาวะต่างๆ กัน

ภาวะ	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	95% Confidence Interval of the Difference							
	Mean	Std.	Std. Error	Lower	Upper			
		Deviation	Mean					
prewashed - NaOH 5%	38.20000	40.83136	18.26034	-12.49883	88.89883	2.092	4	0.105
prewashed - Na ₂ CO ₃ 7%	15.60000	44.33170	19.82574	-39.44508	70.64508	0.787	4	0.475
prewashed - Enzyme 10 5%owf	5.00000	45.40925	20.30763	-51.38303	61.38303	0.246	4	0.818

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ	นายอิสระ ณ พัทลุง
เกิดวันที่	17 สิงหาคม 2531
สถานที่เกิด	พัทลุง
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งทอ) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ธัญบุรี
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	- - ทุนผู้ช่วยผู้วิจัยระดับบัณฑิตศึกษาจากศูนย์วิทยาการ ขั้นสูงเพื่อการเกษตรและอาหารแห่ง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ - ทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงานระดับนานาชาติแบบ ปากเปล่าบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์