



รายงานการวิจัย

โครงการวิจัย เรื่อง ผลของความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อสมบัติของผ้าฝ้ายที่
ย้อมด้วยกากใบชา

Effect of concentration and molecular weight of chitosan on tea
sludge dyed cotton fabric



ผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ปิยะพร คามภิรภาพันธ์

โครงการวิจัยทุนสนับสนุนงานวิจัยของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

งบประมาณเงินรายได้ปี พ.ศ. 2562

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ เงินงบประมาณเงินรายได้ ปี พ.ศ. 2562 จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ปิยะพร คามภิรภาพันธ์



บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของไคโตซานต่อการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสีจากกากใบชา โดยนำน้ำย้อมจากกากใบชาไปย้อมบนผ้าฝ้าย 3 ชนิด คือ ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง เพื่อศึกษาผลของน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อความคงทนของสีบนผ้าฝ้าย จากผลการทดลอง พบว่า ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้าย คือ ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีความคงทนของสีสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน และน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานส่งผลให้ความคงทนของสีบนผ้าฝ้ายแตกต่างกันในแต่ละการทดสอบ



Abstract

The aim of this study was to investigate the effect of chitosan on the cotton fabric dyeability with spent tea leaves. The spent tea leaves dyeing solution was used to dyed three different cotton fabrics: untreated cotton fabric, low molecular weight chitosan treated cotton fabric and medium molecular weight chitosan treated cotton fabric. The influence of chitosan's molecular weights on color fastness of cotton fabrics was determined. The result found that the proper concentration of chitosan treated cotton fabrics was 0.75 W/V. The chitosan treated cotton fabric improved color fastness compared with untreated cotton fabric. Also, the molecular weight of chitosan affected the color fastness of cotton fabric depending on the test.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ข
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและปัญหาของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	3
2.1 ชา	3
2.1.1 สายพันธุ์ชา	3
2.1.2 ส่วนประกอบของต้นชา	3
2.1.3 ประเภทของชา	5
2.1.4 โครงสร้างทางเคมีของสารให้สีจากกากใบชา	6
2.1.5 ประโยชน์จากชา	7
2.2 ไคโตซาน	8
2.2.1 การเตรียมไคโตซาน	8
2.2.2 สมบัติของไคโตซาน	9
2.2.3 ประโยชน์ของไคโตซาน	9
2.3 วิธีการย้อมสีธรรมชาติ	10
2.3.1 การย้อมแบบโดยตรง (direct dyeing)	10
2.3.2 การย้อมแบบแวต (vat dyeing)	10
2.3.3 การย้อมแบบมอร์แดนท์ (mordant dyeing)	10

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 ฝ้าย	11
2.4.1 สมบัติทางกายภาพ	12
2.4.2 สมบัติทางเคมี	13
2.4.3 สมบัติทางชีวภาพ	14
2.5 สี	14
2.5.1 ประเภทของสี	14
2.5.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเห็นสี	15
2.5.3 การวัดสี	17
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	21
3.1 วัสดุและสารเคมี	21
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์	21
3.3 การเตรียมการทดลอง	22
3.3.1 การเตรียมกากใบชา	22
3.3.2 การเตรียมสารละลายไคโตซาน	22
3.4 วิธีการทดลอง	22
3.4.1 การศึกษาการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมจากกากใบชา	22
3.4.2 การปรับปรุงสมบัติของผ้าฝ้ายด้วยสารละลายไคโตซาน	23
3.4.3 ศึกษาสมบัติของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน	23
3.4.3.1 ความแข็งของผ้า	23
3.4.3.2 ความขาวและความเหลืองของผ้า	23
3.4.4 การย้อม	23
3.4.5 วิธีทดสอบความคงทนของสีย้อม	24
3.4.5.1 ความคงทนของสีต่อการซัก (colorfastness to washing)	24
3.4.5.2 ความคงทนของสีต่อการขัดถู (colorfastness to crocking)	24
3.4.5.3 ความคงทนของสีต่อความร้อน (colorfastness to heat: dry excluding pressing)	25

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.5.4 ความคงทนของสีต่อการจัดเก็บ (colorfastness to storage)	25
3.4.5.5 ความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water)	25
บทที่ 4 ผลการทดลองและการอภิปรายผล	26
4.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำย้อมจากกากใบชาต่อค่าการดูดกลืนแสง	26
4.2 สมบัติของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน	29
4.2.1 ความแข็งของผ้า	29
4.2.2 ความขาวของผ้า	31
4.2.3 ความเหลืองของผ้า	32
4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการย้อมสีจากกากใบชาบนผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน	35
4.4 ความคงทนของสีต่อการซัก	39
4.5 ความคงทนของสีต่อการขัดถู	42
4.6 ความคงทนของสีต่อความร้อน	44
4.7 ความคงทนของสีต่อการจัดเก็บ	50
4.8 ความคงทนของสีต่อน้ำ	53
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	55
5.1 สรุปผลการทดลอง	55
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก ค่าความแข็งของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน	62
ภาคผนวก ข ค่าความขาวและความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน	64
ภาคผนวก ค ค่าการสะท้อนแสงและ K/S ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตรของผ้าย้อมสีจากกากใบชา	66

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 496 นาโนเมตร	27
4.2	ค่าความแข็งของผ้า	29
4.3	ค่าความขาวของผ้า	31
4.4	ค่าความเหลืองของผ้า	33
4.5	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน	35
4.6	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักรีดต่ำ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	36
4.7	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักรีดปานกลางที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร	37
4.8	ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อการซัก	39
4.9	ระดับการติดเปื้อนของสีบนผ้าฝ้ายต่อการซัก	40
4.10	ผ้า white AATCC textile blotting paper หลังจากการขัดถูกับผ้าที่ไม่ผ่านการ ปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน	42
4.11	ผ้า white AATCC textile blotting paper หลังจากการขัดถูกับผ้าที่ผ่านการ ปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักรีดต่ำ	43
4.12	ผ้า white AATCC textile blotting paper หลังจากการขัดถูกับผ้าที่ผ่านการ ปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักรีดปานกลาง	43
4.13	ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อความร้อน	44
4.14	ผลการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ต่อความร้อน	45
4.15	ระดับการติดเปื้อนบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมที่ประกบติดกับผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการ ปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานต่อความร้อน	46
4.16	ผลการติดเปื้อนของผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมที่ประกบติดกับผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการ ปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานต่อความร้อน	47
4.17	ระดับการติดเปื้อนบนผ้าฝ้ายที่ประกบติดกับผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการ ปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานต่อความร้อน	48
4.18	ผ้าฝ้ายที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ	49

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.19	ระดับการติดเปื้อนของสียบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมต่อการจัดเก็บ	51
4.20	ระดับการติดเปื้อนของสียบนผ้ามัลติไฟเบอร์ต่อการจัดเก็บ	51
4.21	ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อน้ำ	53
4.22	การติดเปื้อนของสียบนผ้ามัลติไฟเบอร์ต่อน้ำ	54



สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ใบชา 4
2.2	ดอกชา 4
2.3	ผลชา 4
2.4	เมล็ดชา 5
2.5	ลักษณะของชา (ก) ชาขาว (ข) ชาเขียว (ค) ชาอู่หลง (ง) ชาดำ 6
2.6	โครงสร้างแคทีชิน 6
2.7	การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน 7
2.8	โครงสร้างไคโตซาน 8
2.9	ดอกฝ้าย 12
2.10	ลักษณะของแสงตกกระทบวัตถุทึบแสง 15
2.11	ลักษณะของแสงทะลุผ่านวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส 16
2.12	ผังโครมาติซิตี 18
2.12	การจัดระบบสีแบบ CIE L*a*b* 19
3.1	กระบวนการย้อม 24
4.1	ช่วงความยาวคลื่นที่มีค่าดูดกลืนแสงของน้ำย้อมจากกากใบชา (ก) ความเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ข) ความเข้มข้นร้อยละ 1.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร 26
4.2	การดูดกลืนแสงของน้ำย้อมจากกากใบชาที่ความยาวคลื่น 496 นาโนเมตร 28
4.3	ความแข็งของผ้า 30
4.4	ความขาวของผ้า 32
4.5	ความเหลืองของผ้า 33
4.6	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน 35
4.7	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ 36
4.8	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง 37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.9	ความคงทนการเปลี่ยนแปลงของสีต่อการซัก (ก) ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	39
4.10	ผ้ามัลติไฟเบอร์หลังการซัก (ก) ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	41
4.11	การติดเปื้อนของผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมต่อการจัดเก็บ (ก) ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	51
4.12	ผลการติดเปื้อนของสีย้อมผ้ามัลติไฟเบอร์ต่อการจัดเก็บ (ก) ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	52
4.13	การเปลี่ยนแปลงของสีต่อน้ำ (ก) ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	53
4.14	ผลการติดเปื้อนของสีย้อมผ้ามัลติไฟเบอร์ต่อน้ำ (ก) ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	54

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและปัญหาของการวิจัย

ปัจจุบันในอุตสาหกรรมสิ่งทอมีการรณรงค์เรื่องของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมกันอย่างแพร่หลาย ดังนั้น การย้อมสีสิ่งทอด้วยวัตถุดิบจากธรรมชาติ จึงเป็นทางเลือกที่ดี ไม่ว่าจะเป็นวัตถุดิบที่หาได้ง่าย ราคาถูกและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม โดยสีธรรมชาติที่นำมาใช้นั้นสามารถนำมาจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ราก ลำต้น ใบและดอก

ในประเทศไทยมีการบริโภคน้ำชากันอย่างแพร่หลาย ทำให้อัตราการผลิตน้ำชามีมากขึ้นและของเหลือจากการผลิตน้ำชานั้นก็คือ กากใบชา ซึ่งหลายภาคส่วนเองก็ได้มีการนำกากใบชาที่เหลือทิ้งจากการผลิตไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ เช่น ทำปุ๋ยใส่ต้นไม้ ใส่ช่องเก็บไว้ตุ๋นกลิ่นในตู้เย็น นำมาพอกที่เปลือกตาช่วยให้รู้สึกสดชื่น ขัดล้างคราบไขมัน (10 ประโยชน์จากกากใบชาและถุงชา, 2015.) และนำกากใบชามาสกัดสี เพื่อนำไปใช้ในการย้อมกระดาษและผ้าซึ่งให้โทนสีรูปแบบโบราณ (vintage style) (Matthews, L., 2018)

อย่างไรก็ดี สีธรรมชาตินั้นค่อนข้างมีความคงทนของสีต่ำ ถูกล้างออกได้ง่าย เนื่องจากสีเหล่านี้ส่วนมากเกาะติดบนเส้นใยได้น้อย แต่สีสามารถเกาะติดเส้นใยได้ดีขึ้นเมื่อใช้สารอื่นช่วย เรียกว่า สารช่วยติด หรือ มอร์แดนต์ (ศรัณยา คุณะดิลก, 2557) จึงมีการนำมอร์แดนต์มาช่วยในการย้อมเพื่อให้สีมีความคงทนมากขึ้น นอกจากนี้ โดยทั่วไปเส้นใยพืช เช่น ฝ้ายและลินิน มีความเหมาะสมในการย้อมสีธรรมชาติได้น้อยกว่าเส้นใยโปรตีน เช่น ไหม ทั้งนี้เนื่องจาก เส้นใยพืชเมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุเป็นลบ และสีธรรมชาติเองก็มีประจุเป็นลบเช่นกันจึงเกิดการผลักกัน (Classification of dyes, 2011) ในขณะที่เส้นใยโปรตีนมีประจุบวกบนพื้นผิว จึงทำให้ดึงดูดสีธรรมชาติเข้าไปติดได้ดีกว่า สีจึงมีการติดได้ดีขึ้น ส่งผลให้ผ้ามีสีเข้มขึ้นและความคงทนของสีดีขึ้น การทำให้เส้นใยพืชติดสีได้ดีขึ้นคือการใช้สารประจุบวกมาปรับปรุงพื้นผิวผ้า ซึ่งหนึ่งในสารประจุบวกที่ใช้ คือ ไคโตซานเป็นสารสกัดที่ได้จากเปลือกของสัตว์ที่มีเปลือกและกระดอง เช่น หอย กุ้ง กั้งและปลาหมึก (Bhuiyan, M.A.R., Shaid, A., and Khan, M.A., 2014)

จากสาเหตุดังกล่าว ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาผลของไคโตซานต่อการย้อมสีธรรมชาติจากกากใบชาบนผ้าฝ้ายทอ โดยเปรียบเทียบความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่มีผลต่อสมบัติของผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยสีจากกากใบชา เช่น ความแข็งของผ้าและความเข้มของสีบนผ้า

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อศึกษาผลของการติดสีบนผ้าฝ้ายด้วยการย้อมสีจากกากใบชา
- 2) เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลของโคโตซานต่อสมบัติของผ้าและการย้อม
- 3) เพื่อศึกษาความคงทนของสีบนผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีจากกากใบชา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาการติดสีบนผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยกากใบชาที่มีการปรับปรุงและไม่ปรับปรุงพื้นผิวผ้าด้วยสารละลายโคโตซาน

- 1) ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อสมบัติของผ้า
 - ความเข้มข้นของสารละลายโคโตซาน
 - น้ำหนักโมเลกุลของโคโตซาน
- 2) ศึกษาความคงทนของสีบนผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีจากกากใบชาโดยทดสอบความคงทนของสีดังนี้
 - ความคงทนของสีต่อการซัก (colorfastness to washing)
 - ความคงทนของสีต่อการขัดถู (colorfastness to crocking)
 - ความคงทนของสีต่อความร้อน (colorfastness to heat)
 - ความคงทนของสีต่อการจัดเก็บ (colorfastness to storage)
 - ความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water)

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ผ้าฝ้ายสามารถติดสีย้อมจากธรรมชาติได้ดีขึ้น
- 2) ทราบความคงทนของสีบนผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยกากใบชา

บทที่ 2

เอกสารและงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

2.1 ชา

ปัจจุบันมีการค้นพบและมีรายงานทางวิทยาศาสตร์มากมายที่แสดงถึงประโยชน์จากการดื่มชา ทำให้มีผู้สนใจดื่มชามากขึ้น ชาเป็นไม้ยืนต้น เชื่อกันว่ามีต้นกำเนิดจากเทือกเขาทางด้านตะวันตกเฉียงใต้ของสาธารณรัฐประชาชนจีน มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze. อยู่ในวงศ์ Theaceae สกุล *Camellia* ที่มีมากกว่า 300 ชนิด ชาที่ผลิตทางการค้าส่วนใหญ่มาจาก 2 สายพันธุ์ คือ *Camellia sinensis* var. *sinensis* และ *Camellia sinensis* var. *assamica* นอกจากนี้ยังพบชาที่เป็นสายพันธุ์ลูกผสมที่เกิดจากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์ด้วย (ธีรพงษ์ เทพภรณ์, 2012)

2.1.1 สายพันธุ์ชา (ณัฐพล พฤกษาโรจนกุล, 2559)

ชา มี 2 สายพันธุ์หลัก คือ

1) ชาอัสสัม (*Camellia sinensis* var. *Assamica*) เป็นไม้ยืนต้นสูง 6-18 เมตร ใบใหญ่เป็นรูปรี กว้าง 3-6 เซนติเมตร ยาว 8-20 เซนติเมตร ผิวใบเป็นคลื่นและเป็นมัน ปลายใบเรียวแหลม

2) ชาจีน (*Camellia sinensis* var. *Sinensis*) เป็นไม้พุ่มเตี้ย ใบชาจีนมีขนาดเล็ก และแคบกว่าใบของชาอัสสัม กล่าวคือ มีความกว้างประมาณ 2-4 เซนติเมตร เนื้อใบด้าน ปลายใบแหลม

2.1.2 ส่วนประกอบของต้นชา (ลักษณะของต้นชา, ม.ป.ป.)

ต้นชาประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ที่สำคัญดังนี้

1) ราก

ชาเป็นพืชที่มีรากแก้วและรากฝอย แต่ไม่มีรากขน ต้นชาที่ได้จากการปักชำจะไม่มีรากแก้ว รากชามีการสะสมของคาร์โบไฮเดรตในรูปของแป้ง

2) ใบ

ใบชาเป็นใบเดี่ยวที่มีการจัดเรียงใบเป็นแบบสลับ 1 ใบต่อ 1 ข้อ ขอบใบหยักแบบฟันเลื่อย แผ่นใบหนาและเหนียวเรียบเป็นมัน (ภาพที่ 2.1)



ภาพที่ 2.1 ใบชา

ที่มา: ณัฐพล พฤษชาโรจนกุล, 2559

3) ดอก

ดอกชาเจริญจากตาบริเวณง่ามใบบนกิ่ง มีทั้งดอกเดี่ยวและดอกช่อแต่ส่วนใหญ่ดอกออกติดกันเป็นกลุ่ม ช่อละประมาณ 2-4 ดอก ก้านดอกสั้น กลีบดอกมีประมาณ 5-6 กลีบ เป็นดอกสมบูรณ์เพศมีทั้งเกสรตัวผู้และตัวเมียในดอกเดียวกัน (ภาพที่ 2.2)



ภาพที่ 2.2 ดอกชา

ที่มา: ชา สรรพคุณและประโยชน์ของชา ใบชา น้ำชา 36 ข้อ ! (Tea), ม.ป.ป.

4) ผล

ผลชามีลักษณะเป็นแคปซูล เปลือกหนามีสีเขียวอมน้ำตาล แบ่งเป็น 3 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.5-2.0 เซนติเมตร (ภาพที่ 2.3) เมื่อแก่ผลจะแตกออก ในหนึ่งผลมีเมล็ดอยู่ประมาณ 1-3 เมล็ด



ภาพที่ 2.3 ผลชา

ที่มา: สายลม สัมพันธ์เวชโสภา และคณะ, 2552

5) เมล็ด

เมล็ดชามีลักษณะค่อนข้างกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 11-12 มิลลิเมตร ผิวของเมล็ดเรียบ แข็ง มีสีน้ำตาลจนถึงน้ำตาลเกือบดำ (ภาพที่ 2.4)



ภาพที่ 2.4 เมล็ดชา

ที่มา: น้ำมันเมล็ดชา, 2559

2.1.3 ประเภทของชา (ณัฐพล พุกษาโรจนกุล, 2559)

ประเภทของชาแบ่งเป็น 4 ชนิด คือ ชาดำ ชาอูหลง ชาเขียวและชาขาว แต่ประเภทของชาดังกล่าวอาจมาจากต้นชาเดียวกัน แต่ผ่านกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันทำให้ชาที่ได้มีความแตกต่างกัน

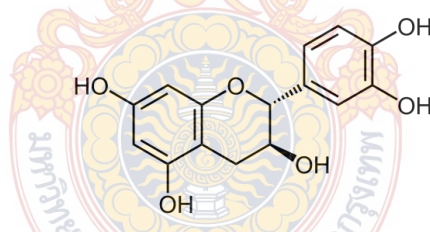
ชาเขียวเป็นการนำใบชาไปอบไอน้ำและทำให้แห้งซึ่งเป็นกระบวนการที่ยังทำให้ใบชามีสารต้านอนุมูลอิสระพวกพอลิฟีนอลอยู่ ส่วนชาดำนั้นจะนำใบชาผ่านกระบวนการออกซิเดชันต่อทำให้สารต้านอนุมูลอิสระมีปริมาณลดลง ส่วนการผลิตชาอูหลงนั้น ขั้นตอนการผลิตอยู่ระหว่างการผลิตชาเขียวและชาดำ และชาขาวเป็นการผลิตชาที่มีขั้นตอนน้อยที่สุดโดยใช้ยอดชาที่ปกคลุมด้วยขนอ่อนสีขาวผ่านขั้นตอนการนำไปตากแห้งด้วยแสงอาทิตย์จึงมีสารต้านอนุมูลอิสระสูงที่สุด



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของชา (ก) ชาขาว (ข) ชาเขียว (ค) ชาอู่หลง (ง) ชาดำ
ที่มา: ชา สรรพคุณและประโยชน์ของชา ใบชา น้ำชา 36 ข้อ ! (Tea), ม.ป.ป.

2.1.4 โครงสร้างทางเคมีของสารให้สีจากกากใบชา

โครงสร้างทางเคมีของสารให้สีจากกากใบชา คือ แทนนิน (tannin) ชนิดแคทีชิน (catechin) ซึ่งมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.6

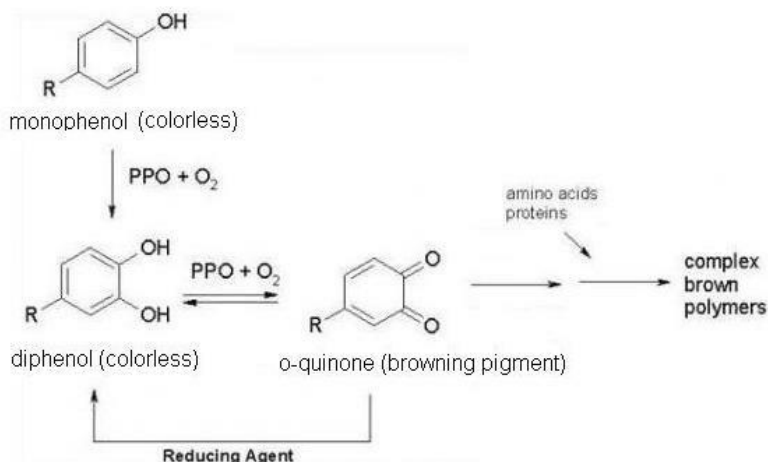


ภาพที่ 2.6 โครงสร้างแคทีชิน

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์, 2556

แทนนินเป็นพอลิฟีนอล (polyphenol) มีสูตรโมเลกุล $C_{75}H_{52}O_{46}$ เป็นกรดอ่อน ประกอบด้วยกรดแกลลิก (gallic acid) 9 โมเลกุลและน้ำตาลกลูโคส (glucose) 1 โมเลกุล พบได้ในพืชหลายชนิด เช่น ใบชา ใบฝรั่ง ใบพลู เปลือกมังคุด เปลือกมะพร้าวอ่อนและเมล็ดองุ่น

แคทีชินพบมากในใบชาเป็นสารทำให้เกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation) ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 การเกิดสีน้ำตาลจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน

ที่มา: พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนานนท์, 2556

2.1.5 ประโยชน์จากชา (ข้อดีของการดื่มชาเพื่อสุขภาพ, 2560)

- 1) การดื่มชาช่วยให้รู้สึกสดชื่น เนื่องจากในใบชามีสารพอลิฟีนอล กรดอะมิโน และคาร์โบไฮเดรต เมื่อสารเหล่านี้เกิดปฏิกิริยากับน้ำลายจะช่วยกระจายความร้อนส่วนเกินในร่างกายได้
- 2) ใบชามีสารคาเฟอีนที่ช่วยกระตุ้นระบบประสาท ช่วยหมุนเวียนโลหิต มีอิทธิพลต่อกระบวนการเมตาบอลิซึมของเซลล์ภายในร่างกายและยังมีการใช้ชาผสมกับยาแก้ปวด รักษาโรคไมเกรนเพื่อช่วยเพิ่มฤทธิ์ในการรักษาและทำให้ยาออกฤทธิ์ได้นานยิ่งขึ้น
- 3) การดื่มชาเป็นประจำทำให้ร่างกายมีสุขภาพแข็งแรงสดชื่น ช่วยขับสารพิษออกจากร่างกาย ช่วยต่อต้านอนุมูลอิสระ ช่วยชะลอความชราและมีส่วนช่วยบำรุงผิวพรรณ
- 4) การดื่มชามีผลต่อระบบต่อมไร้ท่อและช่วยสลายไขมัน ลดระดับคอเลสเตอรอล โดยไปเพิ่มการขับคอเลสเตอรอลในร่างกายผ่านทางน้ำดีในอุจจาระ
- 5) การดื่มชาช่วยขยายหลอดเลือด ป้องกันโรคเส้นเลือดหัวใจตีบและช่วยรักษาอาการเจ็บหน้าอกและกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดได้อีกด้วย
- 6) การดื่มชาแก่ ๆ ช่วยกระตุ้นการหลั่งน้ำย่อยในกระเพาะอาหารและช่วยในการย่อยอาหารจำพวกวิตามินกลุ่มต่าง ๆ
- 7) ชามีสารไอโอดีน ซึ่งเป็นสารที่ช่วยป้องกันภาวะต่อมไทรอยด์ทำงานมากเกินไป และมีฟลูออไรด์ในจำนวนที่เพียงพอกับความต้องการของร่างกายจะช่วยป้องกันฟันผุและเสริมมวลกระดูกได้

8) กากเมล็ดมีสารซาโปนิน (saponin) ที่มีสมบัติช่วยล้างสิ่งต่าง ๆ ได้ดีและยังใช้สระผมเพื่อล้างสิ่งสกปรกออกจากผม นอกจากนี้น้ำมันที่ติดกากเมล็ดก็ยังช่วยทำให้เส้นผมชุ่มชื้นเป็นเงามัน

9) กากขามีประโยชน์ช่วยในการดูดกลืน ส่วนใบชายังใช้ใส่ลงในโรงศพเพื่อดูดกลืนเหม็นจากศพได้

10) ชาใช้ป้องกันสนิมได้เนื่องจากในใบชามีแทนนินที่จะไปจับกับเหล็กและป้องกันผิวภาชนะ

11) ใช้กากชาบรรเทาดวงตาที่อ่อนล้าและบวมจากการอดนอน

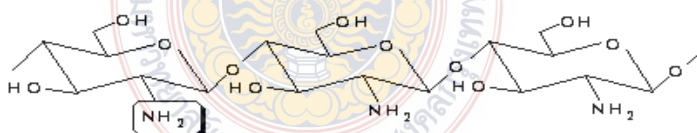
12) ใช้ลดอาการเมื่อยล้าโดยการแช่เท้าในน้ำที่ผสมกับใบชา

2.2 ไคโตซาน (วรรณ ศรีนุตตระกูล, ม.ป.ป.)

ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติที่สกัดได้จากไคตินที่พบได้ในเปลือกกุ้ง กระดองปูและแกนปลาหมึก

2.2.1 การเตรียมไคโตซาน

ไคโตซาน (ภาพที่ 2.8) คือ อนุพันธ์ของไคตินที่ตัดเอาหมู่แอซิติล (acetyl) ของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เรียกว่า ดีอะเซติเลชัน (deacetylation) คือ เปลี่ยนน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine เป็นกลูโคซามีน (glucosamine) ออกตั้งแต่ร้อยละ 50 ขึ้นไป และมีสมบัติละลายได้ในกรดอ่อน



ภาพที่ 2.8 โครงสร้างไคโตซาน

ที่มา: รูปโครงสร้างไคโตซาน, ม.ป.ป.

ไคโตซานที่ได้มีส่วนผสมของน้ำตาล N-acetyl-D-glucosamine และกลูโคซามีนอยู่ในสายพอลิเมอร์เดียวกัน ซึ่งระดับการกำจัดหมู่แอซิติลนี้มีผลต่อสมบัติและการทำงานของไคโตซาน นอกจากนี้ น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานบอกถึงความยาวของสายโซ่ของไคโตซาน ซึ่งมีผลต่อความหนืด กล่าวคือ ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงจะมีสายโซ่ที่ยาวและสารละลายไคโตซานที่เตรียมได้มีความหนืดสูงกว่าสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้ประโยชน์จะต้องพิจารณาทั้งร้อยละการเกิดดีอะเซติเลชันและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน

2.2.2 สมบัติของไคโตซาน

ไคโตซานไม่ละลายน้ำ ต่างและตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในสารละลายที่เป็นกรดอินทรีย์เกือบทุกชนิดที่มีค่าพีเอชน้อยกว่า 6 ซึ่งกรดที่นิยมใช้ในการละลายไคโตซาน คือ กรดแอสติกและกรดฟอร์มิก ส่วนกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก กรดไฮโดรคลอริกสามารถละลายไคโตซานได้เช่นกัน แต่ละลายได้ภายใต้การคนโดยการให้ความร้อน

สารละลายไคโตซานมีพฤติกรรมเป็นของไหลแบบนอนนิวตันเนียน (non-newtonian fluid) ความหนืดของสารละลายไคโตซานขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับของการกำจัดหมู่แอสทิล น้ำหนักโมเลกุลของไคโตซาน ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซาน ความแรงของไอออน ค่าพีเอชและอุณหภูมิ นอกจากนี้ กรดที่ใช้ในการละลายไคโตซานยังส่งผลต่อความหนืดของไคโตซานด้วย เช่น ความหนืดของไคโตซานในกรดแอสติกเพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีค่าพีเอชลดลง ในขณะที่ความหนืดของไคโตซานในกรดไฮโดรคลอริกเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชของสารละลายเพิ่มขึ้น

2.2.3 ประโยชน์ของไคโตซาน (ไคตินและไคโตซานคือวัสดุประเภทใด มีสมบัติอย่างไร, ม.ป.ป.)

ไคโตซานสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ได้ เช่น

- 1) ด้านอาหาร ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิดสามารถนำไปใช้เป็นสารกันบูด สารช่วยรักษากลิ่น รส สารเพิ่มความข้นและใช้เป็นสารเคลือบอาหารผักและผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปแบบฟิล์มที่รับประทานได้
- 2) ด้านอาหารเสริม ไคโตซานช่วยลดคอเลสเตอรอลและไขมันในเส้นเลือด โดยไคโตซานไปจับกับคอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมได้ สามารถใช้รักษาไขข้อเสื่อม
- 3) ด้านการแพทย์ มีการวิจัยนำแผ่นไคโตซานมาใช้ปิดแผล ช่วยทำให้ไม่เป็นแผลเป็น ทำให้แผลเรียบ กระตุ้นให้เกิดการซ่อมแซมบาดแผลให้หายเร็วขึ้น
- 4) ด้านการเกษตร ไคโตซานจะปลดปล่อยไนโตรเจนจากโมเลกุลอย่างช้า ๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนในอากาศและดินจึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืชและกระตุ้นการนำแร่ธาตุไปใช้ ผลคือสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้
- 5) ด้านการปศุสัตว์ ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกันและลดการติดเชื้อทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น
- 6) ด้านการบำบัดน้ำเสีย ไคโตซานมีประจุบวก สามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี นอกจากนี้ ไคโตซานยังสามารถจับโลหะหนักและจับกับสีย้อมช่วยในการบำบัดน้ำเสียได้
- 7) ด้านสิ่งทอ ไคโตซานสามารถนำมาเคลือบกับเส้นใย เพื่อให้ได้สมบัติด้านจุลชีพและลดการเกิดกลิ่นอับชื้น

8) ด้านความงาม ไคโตซานมีสมบัติที่ไม่ละลายน้ำและอุ้มความชื้นได้ดีจึงนำมาทำผลิตภัณฑ์บำรุงผิว บำรุงเส้นผม ยาสีฟันและเครื่องสำอาง โดยเฉพาะนำไปใส่ในเครื่องสำอางที่มีส่วนผสมของกรดผลไม้ธรรมชาติ หรือ AHA ช่วยกระตุ้นให้เซลล์ผิวหนังเก่าหลุดลอก เพื่อสร้างเซลล์ผิวใหม่ที่ดูอ่อนเยาว์ยิ่งขึ้น ไคติน-ไคโตซานสามารถลดความอ้วนได้ เมื่อไคตินเปลี่ยนเป็นไคโตซานแล้วประจุบวกของไคโตซาน จะเป็นตัวดึงดูดประจุลบของกรดไขมันอิสระและคอเลสเตอรอลที่เป็นสาเหตุของความอ้วน ทั้ง 2 ตัว จะเข้ามาเกาะติดกับไคโตซาน ซึ่งทั้งหมดจะถูกขับออกมาพร้อมกับอุจจาระที่มีคอเลสเตอรอลและมีไขมันส่วนเกินตามออกมา

2.3 วิธีการย้อมสีธรรมชาติ (เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอกาส, 2539)

สีธรรมชาติเป็นสีที่ละลายน้ำได้และมีสมบัติพิเศษที่สามารถยึดเกาะเส้นใยได้ด้วยตัวเอง โดยไม่ต้องใช้สารอื่นช่วยในการย้อม เพียงแต่นำสีผสมน้ำก็สามารถย้อมได้ สีธรรมชาติเริ่มย้อมที่อุณหภูมิห้อง แต่จะติดสีดีที่อุณหภูมิ 80-100 องศาเซลเซียส ระหว่างการย้อมต้องหมั่นคน เพราะสีธรรมชาติตกตะกอนง่าย เป็นสาเหตุที่เกิดการย้อมที่ไม่สม่ำเสมอ อย่างไรก็ตาม สีธรรมชาติมีสมบัติพิเศษอีกอย่างคือ ถ้าเกิดปัญหาสีไม่สม่ำเสมอ สามารถแก้ไขปัญหาโดยการนำมาย้อมซ้ำจนกว่าสีจะมีความสม่ำเสมอ การย้อมด้วยสีธรรมชาติโดยทั่วไปมีวิธีการย้อม 3 แบบ คือ

2.3.1 การย้อมแบบโดยตรง (direct dyeing)

การย้อมแบบนี้โมเลกุลของสีเกิดพันธะกับเส้นใยโดยตรง ถ้าเป็นเส้นใยในกลุ่มเซลลูโลสที่มีหมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl groups) จะสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ส่วนเส้นใยในกลุ่มโปรตีนมีหมู่อะมิโนที่ประกอบด้วยส่วนที่เป็นทั้งหมู่กรดและหมู่เบส ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวแบบไอออนิก

2.3.2 การย้อมแบบแวต (vat dyeing)

โดยทั่วไปการย้อมประเภทนี้ เหมาะกับสีที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นขั้นแรกของการย้อมต้องรีดิวซ์สีย้อมให้ละลายน้ำได้ แล้วจึงนำเส้นใยลงไปย้อม จากนั้นนำเส้นใยที่ย้อมแล้วไปออกซิไดซ์กับอากาศหรือสารเคมีให้กลับอยู่ในรูปเดิมที่ไม่ละลายน้ำ ทำให้โมเลกุลของสียึดเกาะอยู่ภายในกับเส้นใย

2.3.3 การย้อมแบบมอร์แดนต์ (mordant dyeing)

การย้อมโดยวิธีใช้สารมอร์แดนต์ เพื่อให้เกิดการยึดติดระหว่างสีและเส้นใยได้ดีขึ้น สีที่ได้จากการย้อมนี้มีความคงทน ไม่ซีดง่าย สารมอร์แดนต์ที่นิยมมีอยู่มาก เช่น การใช้น้ำสกัดจากพืชที่มีแทนนิน เช่น ใบยูคาลิปตัส เปลือกทับทิม เปลือกเพกา เปลือกผลคำแสดและลูกหมาก สำหรับการย้อมด้วยสารเคมีต่าง ๆ เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ โซเดียมคาร์บอเนต กรดแลกติกและกรดแทนนิก

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการย้อมแบบนี้ คือ เมื่อเส้นใยได้ผ่านกระบวนการย้อมสีและการย้อมด้วยสารละลายมอร์แดนต์แล้ว โลหะของสารละลายมอร์แดนต์จะเกิดเป็นสารเชิงซ้อน

ที่แข็งแกร่งกับเส้นใยและสี ดังนั้นการย้อมแบบนี้จะทำให้สีติดดีขึ้น นอกจากนี้ การย้อมโดยใช้สารมอร์แดนต์ที่ต่างชนิดกัน แม้เป็นสีชนิดเดียวกัน เส้นใยที่ได้หลังจากการย้อมจะมีสีที่ต่างกัน การนำสารช่วยติดมาใช้ในการย้อมสีมี 3 แบบ คือ

การย้อมแบบมอร์แดนต์ก่อนการย้อมสี

นำวัสดุที่จะย้อมที่ผ่านกระบวนการทำความสะอาดแล้วใส่ลงในภาชนะที่บรรจุสารละลายมอร์แดนต์ ทำให้อ่อนหรือเดือดนานประมาณ 15 นาที หรือ 1 ชั่วโมง ก่อนปล่อยแช่ทิ้งไว้ในสารละลาย 15 นาที ถึง 1 ชั่วโมง จากนั้นล้างทำความสะอาดก่อนทำการย้อม

การย้อมแบบมอร์แดนต์พร้อมการย้อมสี

วิธีนี้ สารละลายของมอร์แดนต์จะถูกเติมลงไปโดยตรงในน้ำย้อม โดยใช้อุณหภูมิเดียวกับการย้อมสี การย้อมแบบนี้มีข้อเด่น ที่ขั้นตอนของกระบวนการลดลง แต่สีที่ได้ไม่คงทนเท่ากับ การย้อมมอร์แดนต์ก่อนการย้อม

การย้อมแบบมอร์แดนต์หลังการย้อมสี

สารมอร์แดนต์สามารถย้อมได้หลังการย้อมสี เช่น เกลือของดีบุก เกลือของเหล็กแทนนินหรือกรดแทนนิน การย้อมมอร์แดนต์แบบนี้อาจจะใช้การย้อมแยกอิสระ หรือในบางกรณีมอร์แดนต์จะถูกเติมลงไปในน้ำย้อมในช่วง 5 ถึง 10 นาที สุดท้ายก่อนนำวัสดุที่แช่ในน้ำย้อมออก บางกรณีแล้ววัสดุในสารละลายเกลือดีบุกหรือเกลือของเหล็กหลังกระบวนการย้อมสี เพื่อช่วยในการเปลี่ยนเฉดสี

2.4 ฝ้าย

ฝ้ายเป็นเส้นใยพืชชนิดหนึ่งที่ใช้มากที่สุด ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยฝ้ายได้จากใยของดอกฝ้าย (ภาพที่ 2.9) เกรดของฝ้ายในเชิงพาณิชย์จัดตามสมบัติ เช่น สี ความสะอาด ความยาวของเส้นใย ความละเอียดและความชื้น ฝ้ายมีสมบัติที่ดีหลายอย่าง เช่น ความคงทน ราคาถูกและสวมใส่สบาย จึงเหมาะเป็นเสื้อผ้าในฤดูร้อน ชุดทำงานต่าง ๆ ผ้าขนหนูและผ้าปูที่นอน สมบัติเฉพาะเหล่านี้ ทำให้ฝ้ายเป็นที่นิยมของผู้ที่อาศัยอยู่ในเขตร้อนหรือเขตอบอุ่น แม้ว่าจะมีเส้นใยประดิษฐ์เข้าแข่งขัน แต่ก็ยังใช้ฝ้ายหรือยังมีการนำเส้นใยสังเคราะห์มาผสมกับเส้นใยฝ้ายในอัตราส่วนมากถึงร้อยละ 65



ภาพที่ 2.9 ดอกฝ้าย

ที่มา: ฝ้าย สรรพคุณและประโยชน์ของต้นฝ้าย, 2560

เมื่อฝ้ายเริ่มออกดอก เซลล์แต่ละเซลล์ที่อยู่บนเปลือกชั้นนอก (epidermis) ของเมล็ด ซึ่งอยู่ในสมอฝ้ายจะเจริญไปตามแนวยาวจนความยาวเพิ่มขึ้นประมาณ 1,000 เท่า ขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 20 วัน ส่วนสำคัญของเซลล์เหล่านี้ประกอบด้วยน้ำเลี้ยงเซลล์ (cell sap) ล้อมรอบด้วยผนังที่ประกอบด้วยเพกติน (pectin) โปรตีน (protein) และขี้ผึ้ง (wax) ผนังนี้จะกลายเป็นผนังชั้นแรกของเส้นใย

เมื่อใยฝ้ายเจริญเติบโตจนได้เส้นใยที่ยาวที่สุด ผนังชั้นที่ 2 ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสจะเริ่มเกิดเป็นชั้นจากด้านนอกเข้าสู่ด้านใน ในขั้นตอนนี้ใช้เวลาประมาณ 35 ถึง 50 วัน จนใยฝ้ายแก่เต็มที่ ปริมาณเพกตินจะลดลงและปริมาณขี้ผึ้งจะเพิ่มขึ้น ความเหนียวในเส้นใยจะเพิ่มมากขึ้นและเมื่อเส้นใยแก่เต็มที่ น้ำในลูเมน (lumen) จะระเหยออกเหลือเป็นโพรงอากาศ บริเวณลูเมนและช่องเล็ก ๆ ในผนังเซลล์จะยุบตัวลงทำให้เส้นใยบิดตัวเป็นเกลียว

ดังนั้น เส้นใยที่แก่เต็มที่จึงมีหลายส่วน ชั้นนอกสุดเป็นชั้นแรกมีเยื่อหุ้มบาง ๆ ชั้นแรกมีความหนาเพียงประมาณร้อยละ 1 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นใย ผนังชั้นที่สองประกอบด้วยเซลลูโลสที่เรียงตัวกันอย่างซับซ้อนเป็นส่วนใหญ่ ส่วนประกอบของเส้นใยขึ้นกับชนิดของพันธุ์ฝ้าย แหล่งที่ปลูก สภาพการเจริญเติบโตและความแก่ของฝ้าย

2.4.1 สมบัติทางกายภาพ (อัจฉราพร ไชละสุต, 2539)

รูปร่างจากกล้องจุลทรรศน์

เส้นใยฝ้ายมีลักษณะแบนและเป็นเกลียวประมาณ 100 ถึง 400 รอบต่อนิ้ว เกลียวทำให้ผิวเส้นใยไม่เรียบ ฝ้ายมีรูปร่างภาพตัดขวางเป็นรูปถั่ว มีช่องตรงกลาง เรียกว่า ลูเมน

ความยาว

เส้นใยฝ้ายแต่ละเส้นมีความยาวประมาณ 0.125 ถึง 2.5 นิ้ว โดยเส้นใยพันธุ์อียิปต์ (Egyptian) และพันธุ์ซีไอแลนด์ (sea island) มีความยาวมากกว่าเส้นใยพันธุ์อเมริกัน ส่วนฝ้ายอเมริกันส่วนใหญ่มีความยาว 0.75- 1.375 นิ้ว เส้นใยฝ้ายที่มีความยาวมากเป็นที่ต้องการมากกว่าเส้นใยที่มีความยาวน้อยเพราะสามารถปั่นด้ายที่มีความเหนียวทนต่อแรงดึงสูง

สี

ฝ้ายโดยปกติจะมีสีขาว บางพันธุ์มีสีครีมหรือสีน้ำตาล

ความเงามัน

ฝ้ายมีความเงามันเล็กน้อย ถ้าผ่านกระบวนการเมอร์เซอร์ไรเซชัน จะเพิ่มความเงามันมากขึ้น

ความเหนียว

ผ้าฝ้ายที่ยังไม่ผ่านกระบวนการชุบมันมีความเหนียวปานกลาง แต่ผ้าฝ้ายที่ผ่านกระบวนการชุบมันจะมีความเหนียวมากขึ้น สามารถทนแรงดึงถึง 8,000 - 12,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเมื่อทำให้ฝ้ายเปียก ความเหนียวจะสูงขึ้นประมาณร้อยละ 10 - 20

ความยืดหยุ่น

ฝ้ายมีความยืดหยุ่นดีกว่าลินิน แต่น้อยกว่าไหมและขนสัตว์

การคืนตัวต่อแรงที่มากระทำ

ฝ้ายมีการคืนตัวน้อย

การดูดความชื้น

ฝ้ายดูดความชื้นได้ร้อยละ 7 - 8 ในสภาวะมาตรฐาน

ความร้อน

ฝ้ายทนต่อความร้อนได้ดี ในการรีดผ้าสามารถใช้อุณหภูมิได้ถึง 205 - 225 องศาเซลเซียส แต่อาจจะทำได้ในระยะเวลาสั้น เนื่องจากฝ้ายจะเริ่มไหม้และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส และถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ฝ้ายจะสลายตัว นอกจากนี้ ฝ้ายสามารถทนน้ำร้อนได้ถึง 100 องศาเซลเซียส สามารถอบแห้งที่อุณหภูมิ 71 - 93 องศาเซลเซียส

ความถ่วงจำเพาะ

ฝ้ายมีความถ่วงจำเพาะ 1.5

2.4.2 สมบัติทางเคมี (อัจฉราพร ไชละสุต, 2539)

กรด

ฝ้ายถูกทำลายด้วยกรดแก่ (strong acids) เช่น กรดเกลือและกรดกำมะถันเข้มข้น ส่วนกรดอ่อน เช่น กรดน้ำส้มหรือกรดมะนาวเข้มข้น ไม่ทำลายเส้นใย

ต่าง

ฝ้ายมีความคงทนต่อต่างได้ดี สามารถซักล้างในสารละลายที่เป็นต่างแก่ได้ โดยเส้นใยไม่เสียหาย

ตัวทำละลายอินทรีย์

ฝ้ายมีความคงทนต่อตัวทำละลายส่วนใหญ่

สารฟอก

ฝ้ายทนต่อสารฟอกได้ดีแต่สารฟอกที่เป็นตัวออกซิไดส์อย่างรุนแรง เช่น โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนตและโซเดียมไฮโปคลอไรท์จะค่อย ๆ เปลี่ยนเส้นใยไปอยู่ในรูปของออกซีเซลลูโลส (oxycellulose) ซึ่งจะมีความเหนียวลดลง การฟอกที่มากเกินไปทำให้ผ้าฝ้ายขาดง่ายในสภาวะเปียก

การย้อม

ฝ้ายจะย้อมด้วยสีรีแอคทีฟ (reactive) สีไดเร็ก (direct) และสีแวต (vat) การย้อมด้วยสีแวตให้ความคงทนต่อแสงและการซักได้ดี

2.4.3 สมบัติทางชีวภาพ (อัจฉราพร ไชละสุต, 2539)

เชื้อรา

ฝ้ายเกิดเชื้อราได้ง่าย ถ้าไม่มีการป้องกัน ผ้าที่ลงแป้งไว้เมื่อได้รับความชื้นจะเกิดเชื้อรา

แสง

รังสีอัลตราไวโอเล็ตในแสงแดดจะเปลี่ยนโครงสร้างเซลลูโลสเป็นออกซีเซลลูโลสในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น ตากผ้าฝ้ายในแสงแดด 2 สัปดาห์ ส่งผลให้ความคงทนของผ้าต่อแรงดึงลดลงประมาณร้อยละ 50

2.5 สี (Cayless *et al*, 1983)

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน คำว่า สี หมายถึง ลักษณะของแสงที่ปรากฏแก่สายตาผู้มองให้เห็นเป็นสีต่าง ๆ เช่น สีดำ สีแดงและสีเขียว การมองเห็นสีของมนุษย์เกิดจากการที่แสงสะท้อนจากวัตถุนั้น ๆ มากระทบตาเราและส่งไปยังสมองเพื่อแปลออกมาเป็นสีที่เห็น

สีเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่สร้างความสะอาดตาแก่ผู้ที่พบเห็น แม้ว่าตัวสีเองไม่ใช่เป็นสิ่งที่จำเป็นในชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์แต่สีนั้นมีอิทธิพลต่อการดำรงชีวิตประจำวันเป็นอย่างมาก เช่น สามารถแยกสิ่งต่าง ๆ ได้ (สัญญาณไฟจราจรสีเขียวหมายถึงให้ไปได้ ส่วนสัญญาณไฟสีแดงหมายถึงหยุด)

2.5.1 ประเภทของสี (ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสี, ม.ป.ป.)

สีที่ปรากฏในโลก แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) สีที่เกิดในธรรมชาติ มี 2 ชนิด คือ สีที่เป็นแสง (spectrum) เกิดจากการหักเหของแสง เช่น รุ้ง และสีที่อยู่ในวัตถุหรือเนื้อสี (pigment) ซึ่งเป็นสีที่อยู่ในวัตถุธรรมชาติ เช่น สีของพืช

2) สีที่มนุษย์สร้างขึ้น คือ สีที่ได้จากการสังเคราะห์เพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ เช่น งานศิลปะและงานอุตสาหกรรม

2.5.2 ปัจจัยที่ทำให้เกิดการเห็นสี

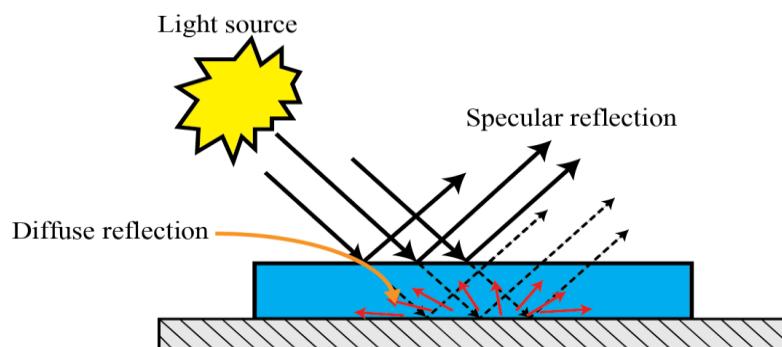
ปัจจัยที่ทำให้เกิดการมองเห็นสีมี 3 ปัจจัย คือ แหล่งกำเนิดแสง วัตถุที่มีสีและผู้สังเกตการณ์

1) แหล่งกำเนิดแสง (light source) แหล่งกำเนิดแสงมีผลอย่างมากในการอธิบายสีของวัตถุ แหล่งกำเนิดแสงมี 2 แหล่ง คือ

แหล่งกำเนิดแสงตามธรรมชาติ ได้แก่ แสงจากดวงอาทิตย์หรือแสงแดดในตอนกลางวัน (daylight) ส่องมายังพื้นผิวโลกเป็นแสงสีขาว และเมื่อผ่านปริซึมแสงสีขาวนี้จะแยกออกเป็นแถบสีต่าง ๆ โดยแต่ละสีจะมีความยาวคลื่นต่างกันซึ่งอยู่ระหว่าง 400-700 นาโนเมตร แต่แสงแดดในแต่ละท้องที่ของประเทศต่าง ๆ จะพบว่าการกระจายพลังงาน (spectral energy distribution, SED) ที่แตกต่างกันไปตามภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ฤดูและช่วงเวลา ดังนั้นจึงเป็นสาเหตุให้การมองเห็นสีต่างกัน

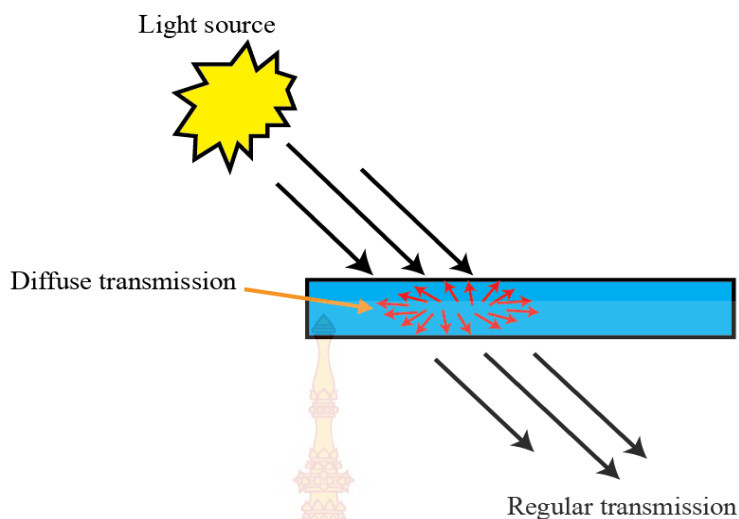
แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ มีอยู่ด้วยกันหลายแบบ ได้แก่ หลอดไส้ (incandescent lamp) หลอดไฟทังสเตน (tungsten filament lamp) หลอดฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent lamp) และหลอดไฟซีนอนอาร์ค (xenon arc lamp)

2) วัตถุที่มีสี แหล่งกำเนิดแสงที่ปล่อยพลังงานออกมากระทบกับผิววัตถุที่มีสีจะเกิดการสะท้อนของแสงบนพื้นผิวของวัตถุที่มีความเงามัน เรียกว่า specular reflection ถ้าพื้นผิวของวัตถุไม่เรียบ ไม่มีความเงามัน เมื่อแหล่งกำเนิดแสงที่ปล่อยพลังงานออกมากระทบกับผิววัตถุจะเกิดการกระเจิงของแสง พลังงานแสงบางส่วนถูกดูดกลืนเข้าไปในเนื้อวัตถุ บางส่วนเกิดการฟุ้งกระจายในเนื้อวัตถุและบางส่วนจะถูกสะท้อนกลับจากผิวของวัตถุ ส่วนที่ทำให้เกิดการมองเห็นสีของวัตถุ คือ ส่วนที่สะท้อนกลับจากผิวของวัตถุและส่วนที่ฟุ้งกระจายในเนื้อวัตถุแล้วมีทิศทางย้อนกลับออกไปที่ผิวของวัตถุที่แสงตกกระทบ เรียกว่า diffuse reflection (ภาพที่ 2.10)



ภาพที่ 2.10 ลักษณะของแสงตกกระทบวัตถุทึบแสง

สำหรับวัตถุโปร่งแสง เมื่อแหล่งกำเนิดแสงที่ปล่อยพลังงานออกมาส่องผ่านวัตถุ และเกิดการกระเจิงแสงที่พื้นผิวของวัตถุ เรียกว่า diffuse transmission ถ้าเป็นวัตถุโปร่งใส จะเกิดการส่องผ่านทะลุวัตถุ เรียกว่า regular transmission (ภาพที่ 2.11)



ภาพที่ 2.11 ลักษณะของแสงทะลุผ่านวัตถุโปร่งแสงและโปร่งใส

3) ผู้สังเกตการณ์ เป็นปัจจัยสุดท้ายของการมองเห็นสี เมื่อแสงตกกระทบบนวัตถุ ที่มีสีและสะท้อนเข้าสู่ตาผ่านเลนส์ (lens) ไปยังเรตินา (retina) เป็นส่วนที่มีความไวต่อแสง ทำหน้าที่บันทึกภาพที่ตกลงบนฉากรับภาพ ประกอบด้วยเซลล์ไวแสง แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ เซลล์แบบแท่ง (rod cell) ทำหน้าที่ในการมองเห็นในสภาวะที่มีแสงสว่างน้อยและเซลล์แบบกรวย (cone cell) ทำหน้าที่ในการเห็นสีต่าง ๆ ภายใต้แสงแดดตอนกลางวัน หรือมีระดับการส่องสว่างปกติ สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ตามการตอบสนองต่อความยาวคลื่นของแสง ดังนี้

- ความยาวคลื่นช่วงสั้น (short wavelength) ไวต่อแสงช่วงสีน้ำเงิน ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 440 นาโนเมตร
- ความยาวคลื่นช่วงกลาง (medium wavelength) ไวต่อแสงช่วงสีเขียว ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 545 นาโนเมตร
- ความยาวคลื่นช่วงยาว (long wavelength) ไวต่อแสงช่วงสีแดง ที่ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 585 นาโนเมตร

ช่วง

โดยทั่วไป การมองเห็นด้วยตาสามารถบ่งบอกลักษณะของวัตถุได้ 3 ลักษณะ คือ

- สีที่ปรากฏในการมองเห็น เรียกว่า hue
- ความสว่างของสีซึ่งเป็นการสะท้อนของแสงที่มีค่าต่างกันเรียกว่า lightness
- ความสดใสด ความเข้มและความบริสุทธิ์ของสี เรียกว่า chroma

2.5.3 การวัดสี

เครื่องมือที่ใช้วัดสีเป็นอุปกรณ์ใช้วัดค่าสี โดยนักวิทยาศาสตร์คิดค้นประดิษฐ์ขึ้นเพื่อใช้แทนสายตามนุษย์ ตัวอย่างเครื่องมือที่ใช้วัดสี คือ เครื่องวัดการสะท้อนแสง (reflectance spectrophotometer) สามารถวัดค่าการสะท้อนแสงของวัตถุในช่วงความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร เป็นตัวเลขได้ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุเทียบกับมาตรฐานอ้างอิงที่เป็น reference beam วัตถุที่มีสีแตกต่างกันจะมี reflectance curve ต่างกันในแต่ละความยาวคลื่น โดยที่

สีน้ำเงิน มีความความคลื่นที่ 430 - 460 นาโนเมตร

สีเขียว มีความความคลื่นที่ 500 - 580 นาโนเมตร

สีแดง มีความความคลื่นที่ 620 - 780 นาโนเมตร

การจัดระบบสีแบบ CIE ได้มีการพัฒนาตามลำดับ ดังนี้ การจัดระบบสีแบบ tristimulus values การจัดระบบสีแบบ chromaticity co-ordinate และการจัดระบบสีแบบ CIE $L^*a^*b^*$

การจัดระบบสีแบบ tristimulus values เป็นการระบุค่าสีหรือสมการสีด้วยตัวเลข 3 ตัว ได้แก่ X, Y, Z โดยตัวเลขนี้ใช้แทนค่าความเป็นสีแดง เขียวและน้ำเงิน หรืออาจเรียกว่า เป็นแม่สีในอุดมคติ (Imaginary primary colors) แต่ไม่สามารถสื่อถึงสมบัติพื้นฐานของสีทางด้าน Hue lightness และ chroma ดังนั้น จึงมีการพัฒนาต่อ โดยการแปรค่า XYZ ให้อยู่ในระบบพิกัด 2 มิติ เรียกว่า chromaticity co-ordinate

การจัดระบบสีแบบ CIE Chromaticity co-ordinate เป็นการแปลค่า tristimulus values ให้อยู่ในรูปที่สื่อกับการมองเห็นของคนมากขึ้น โดยการคำนวณค่า chromaticity co-ordinate x, y หาได้จาก

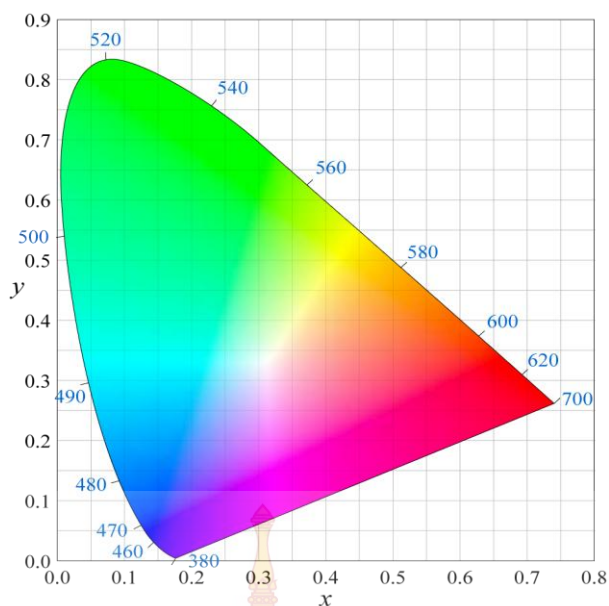
$$x = \frac{X}{X+Y+Z}$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z}$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z}$$

$$\text{และ } x + y + z = 1$$

ในการกำหนดตำแหน่งสีในผังโครมาติซิตี (chromaticity diagram) (ภาพที่ 2.12) ใช้ค่า x และ y เป็นค่าระบุความเป็นสี ส่วนความสว่างเป็นค่า Y



ภาพที่ 2.12 ผังโครมาติซิตี

แต่อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวของสีในผังโครมาติซิตี (Chromaticity diagram) นั้นไม่สม่ำเสมอ บางพื้นที่สีจะอยู่กันอย่างหนาแน่น เช่น สีน้ำเงิน บางพื้นที่สีจะกระจายตัวห่าง ๆ เช่น สีเหลือง เป็นต้น

การจัดระบบสีแบบ CIE $L^*a^*b^*$ เป็นวิธีกำหนดการจัดระบบสีที่พัฒนาจาก Chromaticity diagram เพื่อให้มีความสม่ำเสมอของสีในระบบมากขึ้น โดยระบุตำแหน่งสีเป็น 3 แกน แต่ละแกนแทนสมบัติของสีที่แตกต่างกัน และทั้ง 3 แกนทำมุม 90 องศา ต่อกัน ดังภาพที่ 2.13 โดยที่

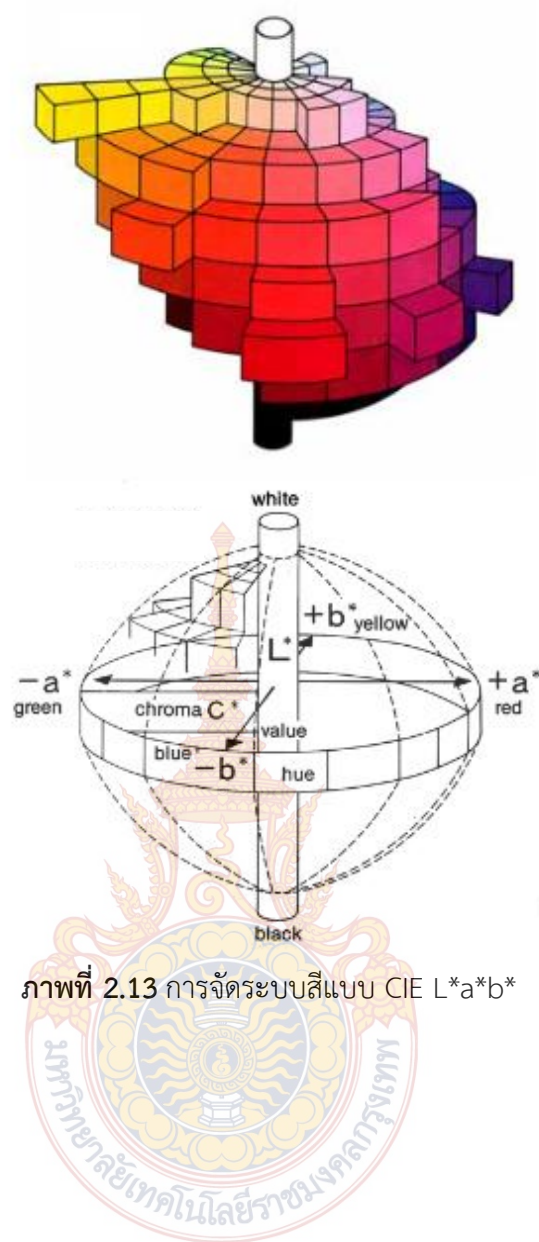
แกน L^* เป็นค่าความสว่าง (Lightness) มีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 100

แกน a^* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีแดง

แกน a^* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีเขียว

แกน b^* ที่เป็น + สีจะเป็นไปในทิศทางสีเหลือง

แกน b^* ที่เป็น - สีจะเป็นไปในทิศทางสีน้ำเงิน



ภาพที่ 2.13 การจัดระบบสีแบบ CIE $L^*a^*b^*$

ค่า L^* a^* และ b^* คำนวณได้สมการดังนี้

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16$$

$$a^* = 500[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

$$b^* = 200[(X/X_n)^{1/3} - (Y/Y_n)^{1/3}]$$

การคำนวณค่าความต่างของสีระหว่างชิ้นตัวอย่าง 2 ชิ้น ในการจัดระบบสีแบบ CIE $L^*a^*b^*$ สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$\Delta E = \sqrt{(L_1^* - L_2^*)^2 + (a_1^* - a_2^*)^2 + (b_1^* - b_2^*)^2}$$

โดยที่ ΔE คือค่าความแตกต่างของสี

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Gupta, D. and Haile, A. (2007) ศึกษาการใช้น้ำมันพืชคาร์บอกซีเมทิลของโคโคซานเพื่อพัฒนาสมบัติของผ้า ผลการทดลองพบว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงสมบัติมีความสามารถในการย้อมด้วยสีไดเรกต์และสีรีแอคทีฟดีขึ้น นอกจากนี้ ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงยังมีสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* และ *S. aureus* ได้ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.1 และผลการทดลองนี้สามารถคงทนต่อการซักได้ 5 ครั้ง

Zhang, Z. et al. (2003) ศึกษาผลของความเข้มข้น น้ำหนักโมเลกุลและระดับของการกำจัดหมู่เอซิทิลของโคโคซานต่อสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ซึ่งพบว่าสารละลายโคโคซานความเข้มข้น 0.3 กรัมต่อลิตรสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *E. coli* ได้

Bhuiyan, M.A.R., Shaid, A., and Khan, M.A. (2014) ศึกษาความเป็นไปได้ในการย้อมสีผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโคโคซานด้วยสีรีแอคทีฟโดยไม่ใช้เกลือ ผลการทดลองพบว่า การดูดซับสีย้อมเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของโคโคซานที่เพิ่มขึ้น

Ren, F. et al. (2016) ศึกษาการย้อมผ้าขนสัตว์ด้วยสีธรรมชาติจากชา รวมทั้งศึกษาผลของค่าพีเอชต่อลักษณะของสี ความคงทนของสี สมบัติการป้องกันรังสียูวีและสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าที่ผ่านการย้อม ผลการทดลองพบว่าค่าพีเอชของอ่างน้ำย้อมมีผลต่อสีและความเข้มของสี ผ้าที่ผ่านการย้อมทุกผืนมีสมบัติความคงทนต่อการขัดถูและทนต่อการซักล้างที่ดี นอกจากนี้ผ้าที่ผ่านการย้อมมีสมบัติป้องกันรังสียูวีและมีสมบัติต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ดีเยี่ยม

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมี

- 1) ผ้าฝ้ายทอที่ผ่านการเผาขน กำจัดสิ่งสกปรกและฟอกขาวแล้ว
- 2) ใบชา (ตรา 3 ม้า, ประเทศไทย)
- 3) ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (low molecular weight) (Sigma-Aldrich, Iceland)
- 4) ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง (middle-viscous) (Fluka, Japan)
- 5) กรดแอสซิติค (Merck, Germany)
- 6) ผ้าขาวบาง สำหรับกรองกากใบชา

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 1) ปีกเกอร์
- 2) ขวดวัดปริมาตร
- 3) ขวดรูปชมพู่
- 4) แท่งแก้วคนสาร
- 5) หลอดหยด
- 6) กระจกบอทดวง
- 7) หม้อสแตนเลส
- 8) เครื่องให้ความร้อน (hotplate) (EGO, Thailand)
- 9) เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 2 ตำแหน่ง (Mettler Toledo, Thailand)
- 10) เครื่องบีบอัด Model PB-1 (Copower technology Co., LTD, Taiwan)
- 11) เครื่องย้อม (shaker machine) Model UN-28 (Union TSL Limited, Thailand)
- 12) เครื่องรีเฟลกแทนซ์ สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (reflectance spectrophotometer)
Datacolor Check Plus S/N 6283 (Datacolor, USA)
- 13) ตู้อบความร้อน Memmert Model UNB 100-500, UFB 400-500 (Memmert, Germany)
- 14) เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Vis Spectrophotometer) Model Aquamate Serial No. AQA 130301 (Thermo Scientific, USA)

3.3 การเตรียมการทดลอง

3.3.1 การเตรียมกากใบชา

- 1) นำใบชา 1,000 กรัม มาห่อด้วยผ้าขาวบางแล้วพักไว้
- 2) ต้มน้ำ 8 ลิตร ในหม้อสแตนเลส เมื่อน้ำเดือดแล้วจึงปิดเครื่องให้ความร้อน
- 3) นำใบชาที่ห่อด้วยผ้าขาวบางใส่ลงในน้ำเดือด นาน 10 นาที (จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก, 2556)
- 4) นำใบชาเข้าตู้อบความร้อน รุ่น UNB 100-500, UFB 400-500 ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส นาน 8 ชั่วโมง เพื่อให้ใบชาแห้ง

3.3.2 การเตรียมสารละลายโคโตซาน

เตรียมสารละลายโคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำและน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 ถึง 2.00 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยละลายโคโตซานในสารละลายกรดแอสติกความเข้มข้นร้อยละ 1.00 โดยปริมาตรต่อปริมาตร ทิ้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิห้อง จนโคโตซานละลายหมด

3.4 วิธีการทดลอง

3.4.1 การศึกษาการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมจากกากใบชา

- 1) นำกากใบชาแห้งที่เตรียมไว้ดังหัวข้อ 3.3.1 มาสกัดน้ำย้อมที่ความเข้มข้นร้อยละ 1.00 - 9.00 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย นำเข้าเครื่องย้อม รุ่น UNB 100-500 และ UFB 400-500 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 15 นาที
- 2) กรองน้ำย้อมด้วยผ้าขาวบาง เพื่อแยกกากใบชาออกจากน้ำสี
- 3) เก็บน้ำย้อมไว้ในบีกเกอร์ ปิดฝาให้แน่น เพื่อไม่ให้สัมผัสกับอากาศ
- 4) ตรวจสอบความยาวคลื่นของน้ำย้อมที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุด โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.4.2 การปรับปรุงสมบัติของผ้าฝ้ายด้วยสารละลายไคโตซาน

- 1) ตัดผ้าฝ้ายทอขนาดกว้าง 19 เซนติเมตร ยาว 23 เซนติเมตร น้ำหนักประมาณ 5 กรัม
- 2) เคลือบสารละลายไคโตซาน (หัวข้อ 3.3.2) ลงบนผ้าฝ้ายโดยใช้เครื่องบีบอัด (padder) ปรับความดันของเครื่องบีบอัดให้มีแรงดัน 2 บาร์ โดยมีปริมาณของสารละลายไคโตซานติดบนผ้า (% Pick up) โดยประมาณร้อยละ 50 - 60
- 3) เมื่อเคลือบสารละลายไคโตซานลงบนผ้าแล้ว ผึ่งผ้าให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ทำซ้ำสูตรละ 3 ผืน

3.4.3 ศึกษาสมบัติของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน

3.4.3.1 ความแข็งของผ้า

ตรวจสอบความแข็งของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ตามมาตรฐาน ASTM D-1388-08

3.4.3.2 ความขาวและความเหลืองของผ้า

วัดค่าความขาวและความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานด้วยเครื่องรีเฟลกแทนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Datacolor Check Plus S/N 6283 ระบบ CIE Lab และระบบ E313 Lab ตามลำดับ

สูตรการประเมินค่าความขาว

$$W = Y + 800(x_n - x) + 1700(y_n - y)$$

สูตรการประเมินค่าความเหลือง

$$Y_i = [(Y - 0.847Z) / Y] \times 100$$

3.4.4 การย้อม

- 1) นำผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ มาย้อมด้วยเครื่องย้อมรุ่น UNB 100-500 และ UFB 400-500 โดยใช้ น้ำย้อมจากกากใบชาที่ความเข้มข้นร้อยละ 3.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ย้อมที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที ใช้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าต่อน้ำ คือ 1:40
- 2) ล้างผ้าฝ้ายที่ย้อมแล้วด้วยน้ำร้อนและล้างน้ำเย็นอย่างละ 15 นาที ตามลำดับ แล้ว ผึ่งให้แห้ง ดังภาพที่ 3.1

- 3) ทำซ้ำข้อที่ 1 - 2 โดยเปลี่ยนอุณหภูมิและเวลา ดังนี้
- 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที และ 90 นาที
 - 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 90 นาที
 - 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 90 นาที
 - 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 90 นาที
 - 90 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที 60 นาที และ 90 นาที
- 4) วัดค่าการสะท้อนแสงของสีบนผ้าด้วยเครื่องรีเฟลกแทนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Datacolor Check Plus S/N 6283 และคำนวณค่า K/S จากสูตร

$$K/S = (1 - R)^2 / (2 \times R)$$

เมื่อ R คือ ค่าการสะท้อนแสงของวัตถุ ณ ความยาวคลื่นสูงสุด



ภาพที่ 3.1 กระบวนการย้อม

3.4.5 วิธีทดสอบความคงทนของสีย้อม

3.4.5.1 ความคงทนของสีต่อการซัก (colorfastness to washing)

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ผ่านการย้อมด้วยสีจากกากใบชา มาทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อการซักตามมาตรฐาน ISO 105 C06 C2S : 2010 (E) colorfastness to washing และประเมินผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีและการติดเปื้อนของสี

3.4.5.2 ความคงทนของสีต่อการขัดถู (colorfastness to crocking)

ตรวจสอบความคงทนของสีย้อมต่อการขัดถูบนผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ผ่านการย้อมสีจากกากใบชา ตามมาตรฐาน AATCC Test method 8-1996 และประเมินผลการติดเปื้อนของสีบนผ้า White AATCC textile blotting paper

3.4.5.3 ความคงทนของสีต่อความร้อน (colorfastness to heat: Dry excluding pressing)

ตรวจสอบความคงทนของสีย้อมต่อความร้อนบนผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ผ่านการย้อมสีจากกากใบชา ตามมาตรฐาน AATCC Test method 117-1999 และประเมินผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีและการติดเปื้อนของสี

3.4.5.4 ความคงทนของสีต่อการจัดเก็บ (colorfastness to storage)

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการย้อมด้วยสีจากกากใบชาแล้ว มาทดสอบความคงทนของสีย้อมต่อการจัดเก็บ ตามมาตรฐาน AATCC Test method 163-1997 และประเมินผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีและการติดเปื้อนของสี

3.4.5.5 ความคงทนของสีต่อน้ำ (colorfastness to water)

ทดสอบความคงทนของสีย้อมจากกากใบชาบนผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ตามมาตรฐาน AATCC Test method 107-2002 และประเมินผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสีย้อมและการติดเปื้อนของสี

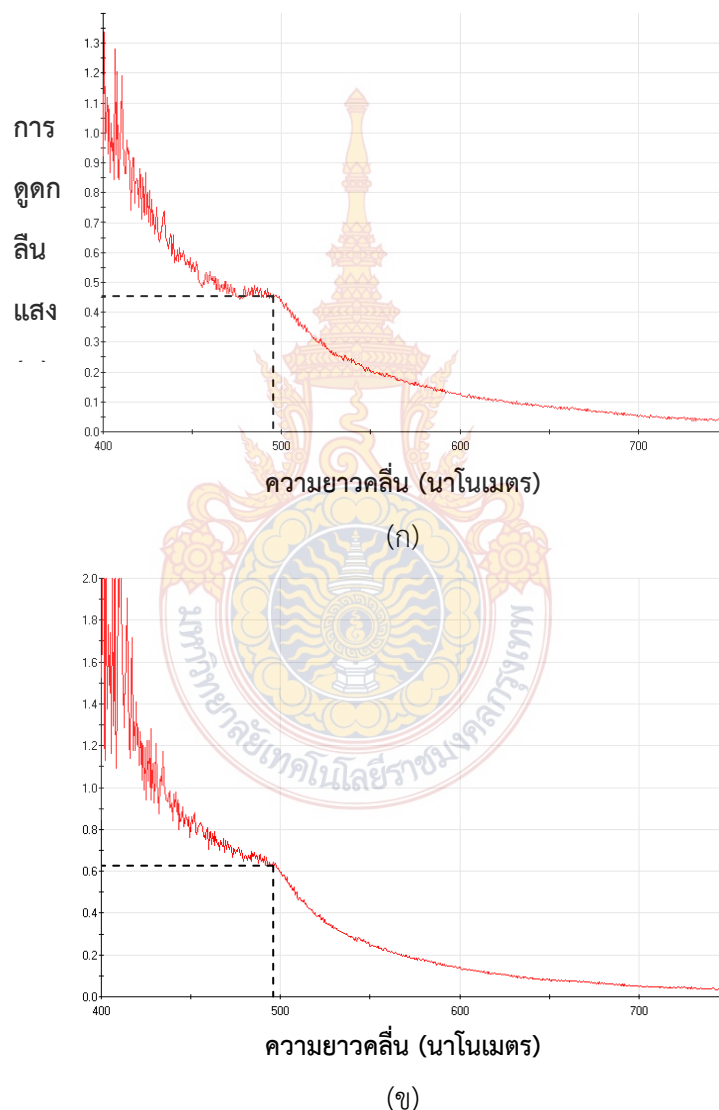


บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 ผลของความเข้มข้นของน้ำย้อมจากกากใบชาต่อค่าการดูดกลืนแสง

เตรียมน้ำย้อมจากกากใบชาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.50 และ 1.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เพื่อตรวจสอบหาความยาวคลื่นที่มีค่าดูดกลืนแสงสูงสุด ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 4.1

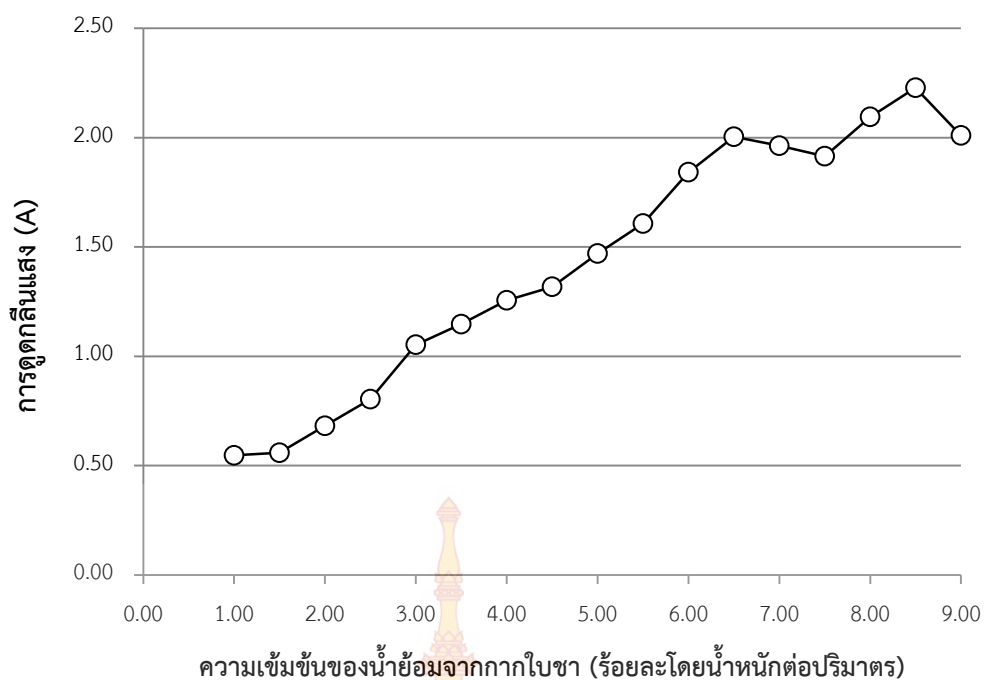


ภาพที่ 4.1 ช่วงความยาวคลื่นที่มีค่าดูดกลืนแสงของน้ำย้อมจากกากใบชา (ก) ความเข้มข้นร้อยละ 0.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร (ข) ความเข้มข้นร้อยละ 1.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

จากผลการทดลองในภาพที่ 4.1 พบว่า น้ำย้อมจากกากใบชาที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.50 และ 1.50 มีค่าการดูดกลืนแสงที่เสถียรและมีค่าสูงสุดที่ความยาวคลื่น 496 นาโนเมตร ดังนั้นจึงใช้ความยาวคลื่นที่ 496 นาโนเมตร ในการตรวจสอบค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมจากกากใบชาที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ผลการทดลองในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ที่ความยาวคลื่น 496 นาโนเมตร

ความเข้มข้นของน้ำย้อมจากกากใบชา (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	ค่าการดูดกลืนแสง ที่ 496 นาโนเมตร
1.00	0.547
1.50	0.559
2.00	0.682
2.50	0.804
3.00	1.053
3.50	1.147
4.00	1.256
4.50	1.318
5.00	1.470
5.50	1.607
6.00	1.842
6.50	2.004
7.00	1.963
7.50	1.915
8.00	2.095
8.50	2.228
9.00	2.010



ภาพที่ 4.2 การดูดกลืนแสงของน้ำจากอากาศที่ความยาวคลื่น 496 นาโนเมตร

ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำจากอากาศเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เมื่อความเข้มข้นของน้ำจากอากาศเพิ่มขึ้น (ภาพที่ 4.2) อย่างไรก็ตาม เมื่อตั้งน้ำจากอากาศให้เย็น น้ำจากอากาศที่ความเข้มข้นร้อยละ 4.00 - 9.00 เกิดการตกตะกอนขึ้น จึงอาจส่งผลต่อความแม่นยำของการวัดสีบนผิวเมื่อนำน้ำจากอากาศไปย้อมได้ ดังนั้น การวิจัยนี้จึงเลือกความเข้มข้นของน้ำจากอากาศที่ร้อยละ 3.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เนื่องจากเป็นความเข้มข้นของสีย้อมสูงที่สุดที่ไม่เกิดการตกตะกอน

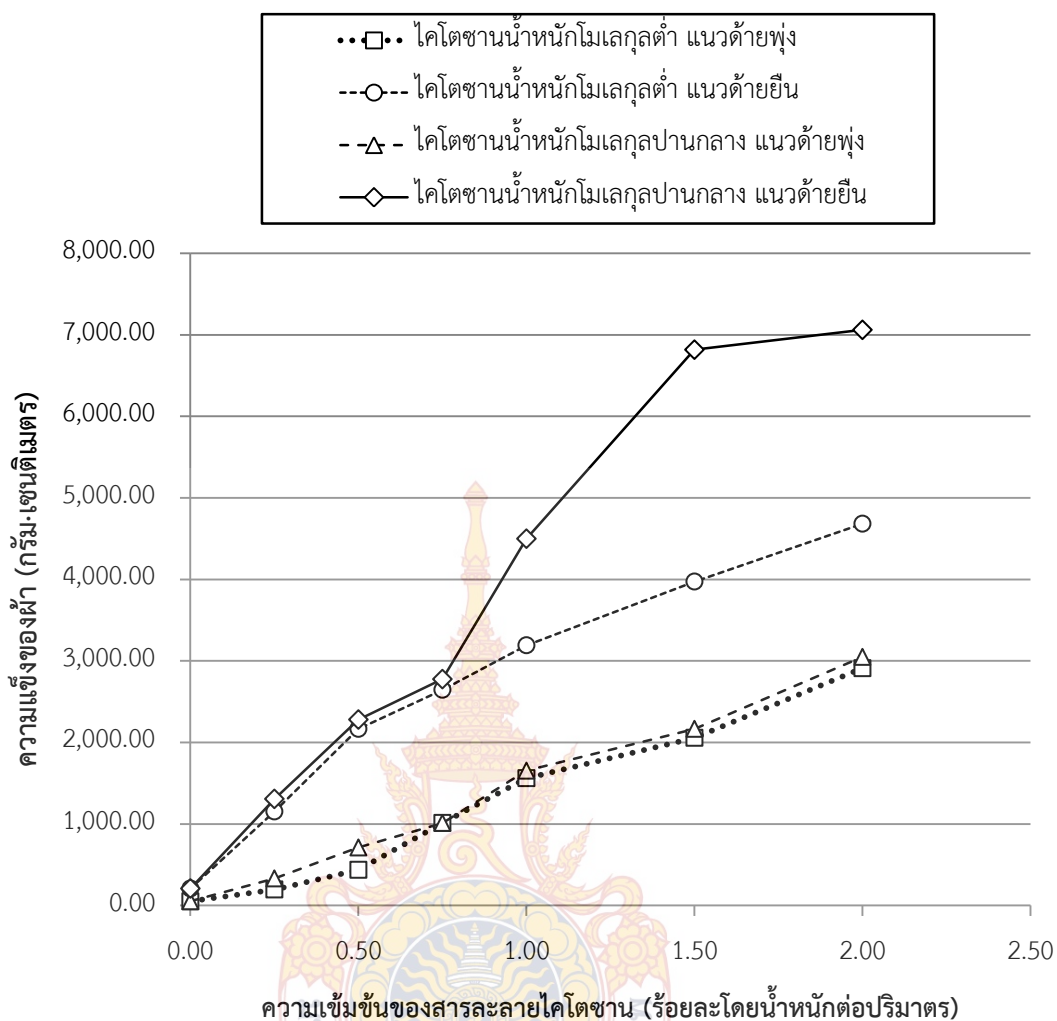
4.2 สมบัติของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน

4.2.1 ความแข็งแรงของผ้า

วัดค่าความแข็งแรงของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.25 - 2.00 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งแรงของผ้า

ความเข้มข้นของ สารละลายไคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนัก ต่อปริมาตร)	ค่าความแข็งแรงของผ้า (กรัม-เซนติเมตร)			
	ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ		ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	
	แนวด้ายพุ่ง	แนวด้ายยืน	แนวด้ายพุ่ง	แนวด้ายยืน
0	49.99 ± 6.41	206.78 ± 16.54	49.99 ± 6.41	206.78 ± 16.54
0.25	195.09 ± 16.74	1152.44 ± 15.43	330.68 ± 17.17	1305.90 ± 20.03
0.50	436.27 ± 17.55	2165.74 ± 22.47	710.40 ± 18.88	2279.70 ± 15.25
0.75	1011.49 ± 26.97	2645.44 ± 23.04	1011.48 ± 19.05	2775.52 ± 15.30
1.00	1560.75 ± 19.12	3191.21 ± 15.20	1652.53 ± 10.25	4497.98 ± 21.99
1.50	2055.64 ± 16.77	3972.81 ± 21.44	2165.74 ± 16.69	6816.78 ± 16.66
2.00	2909.80 ± 31.25	4682.81 ± 12.63	3048.33 ± 18.20	7060.22 ± 16.26



ภาพที่ 4.3 ความแข็งแรงของผ้า

ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีความแข็งแรงของผ้าต่ำกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน เนื่องจากไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ เมื่อเคลือบสารละลายไคโตซานบนผ้า ไคโตซานจะเกิดเป็นฟิล์มขึ้นบนเส้นใยจึงทำให้ผ้ามีความแข็งแรงมากขึ้น อย่างไรก็ตาม ความแข็งแรงของผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานยังขึ้นอยู่กับน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานที่ใช้ด้วยซึ่งจากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และภาพที่ 4.3 พบว่า ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีความแข็งแรงของผ้าต่ำกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง ทั้งนี้เนื่องจากไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความยาวของสายโซ่พอลิเมอร์ที่สั้นกว่า ความหนืดของสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงต่ำกว่าความหนืดของสารละลายไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง ณ ความ

เข้มข้นของสารละลายไคโตซานเท่ากัน ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำสามารถซึมเข้าไปในเส้นใยได้ดีกว่าจึงเกิดฟิล์มบนพื้นผิวผ้าน้อยกว่า ดังนั้นผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำจึงมีความแข็งแรงน้อยกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

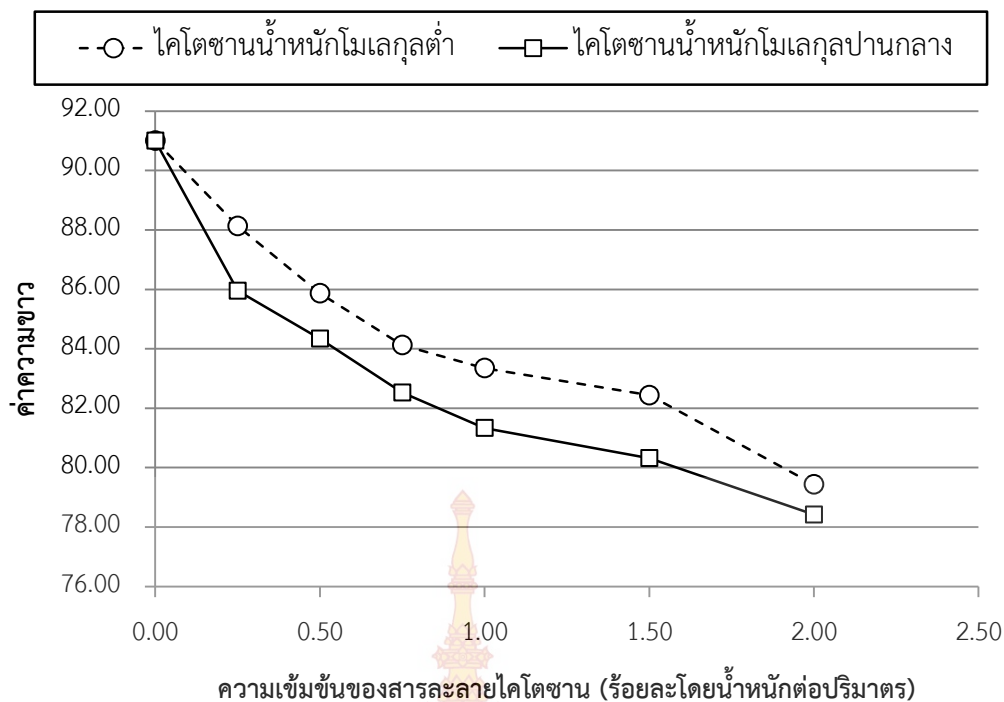
ในกรณีผลของความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานนั้น พบว่า ค่าความแข็งแรงของผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากสายโซ่โมเลกุลในสารละลายสามารถพันกันได้มากขึ้น ความหนืดของสารละลายจึงสูงขึ้น สารละลายจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้น้อยลงแต่จะติดบนเส้นใยมากขึ้น จึงเกิดเป็นฟิล์มบนพื้นผิวผ้ามากขึ้น ผ้าจึงมีความแข็งแรงกระด้างมากขึ้น (Suitcharit, C. *et al.*, 2010; Habibie, S. *et al.*, 2016)

4.2.2 ความขาวของผ้า

ตรวจสอบความขาวของผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ซึ่งผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

ตารางที่ 4.3 ค่าความขาวของผ้า

ความเข้มข้นของ สารละลายไคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	ความขาวของผ้า (Whiteness)	
	ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ	ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง
0	91.00 ± 0.00	91.00 ± 0.00
0.25	88.13 ± 1.24	85.95 ± 1.26
0.50	85.87 ± 1.26	84.34 ± 1.29
0.75	84.13 ± 1.56	82.53 ± 0.68
1.00	83.35 ± 0.69	81.34 ± 0.77
1.50	82.44 ± 1.80	80.32 ± 0.79
2.00	79.44 ± 1.17	78.42 ± 0.82



ภาพที่ 4.4 ความนุ่มของผ้า

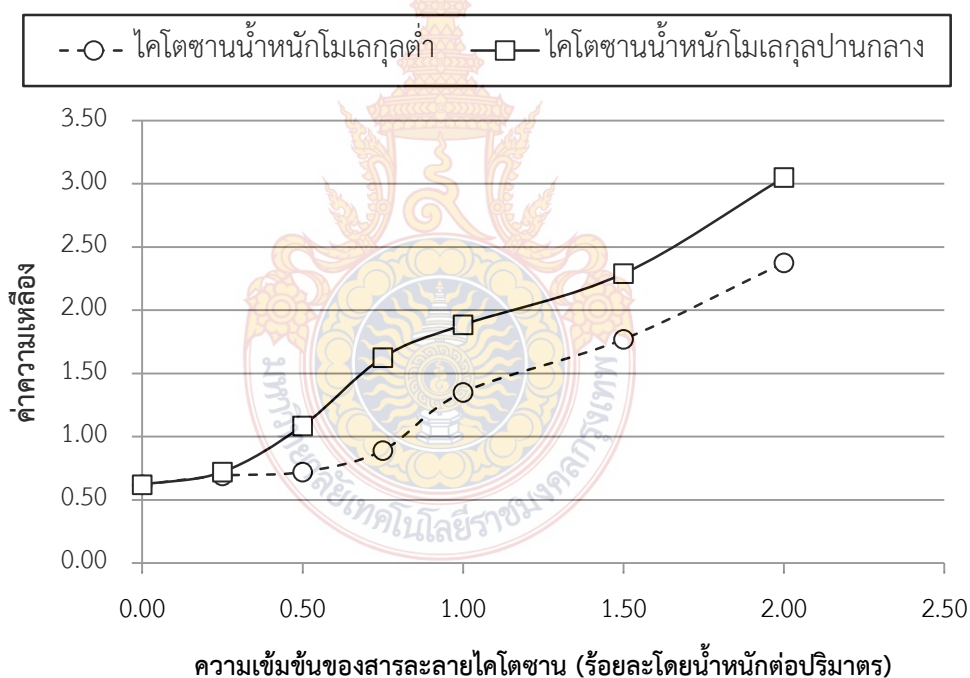
เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีฤทธิ์กัดกร่อน ดังนั้น การใช้ความเข้มข้นของสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สูงขึ้นในการปรับปรุงผ้าทำให้ผ้ามีความนุ่มลดลง (Chairat, M. *et al.*, 2015) และผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่ำ มีค่าความนุ่มสูงกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นปานกลาง เนื่องจากไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่ำมีสายโซ่ที่สั้นกว่าจึงสามารถซึมเข้าไปในเส้นใยได้ดีกว่า เกิดเป็นฟิล์มบนพื้นผิวน้อยกว่า ผ้าจึงมีความนุ่มมากกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นปานกลาง

4.2.3 ความเหนียวของผ้า

วัดค่าความเหนียวของผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ความเข้มข้นต่ำ และปานกลางที่ความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้เครื่องรีเฟลกแทนซ์สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.4 และภาพที่ 4.5

ตารางที่ 4.4 ค่าความเหลืองของผ้า

ความเข้มข้นของ สารละลายไคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)	ความเหลืองของผ้า (Yellowness)	
	ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ	ไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง
0	0.62 ± 0.00	0.62 ± 0.00
0.25	0.69 ± 0.03	0.72 ± 0.01
0.50	0.72 ± 0.01	1.09 ± 0.04
0.75	0.89 ± 0.01	1.63 ± 0.02
1.00	1.35 ± 0.03	1.89 ± 0.02
1.50	1.77 ± 0.03	2.29 ± 0.03
2.00	2.38 ± 0.02	3.05 ± 0.03



ภาพที่ 4.5 ความเหลืองของผ้า

ค่าความเหลืองของผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีทิศทางตรงกันข้ามกับผลค่าความขาว กล่าวคือ ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีค่าความเหลืองสูงขึ้น เมื่อใช้ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานสูงขึ้น และผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางมีค่าความเหลืองสูงกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน

เนื่องจากผ้าฝ้ายมีการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลต่างกัน ซึ่งทั้งความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลส่งผลโดยตรงต่อสีและผิวสัมผัสของผ้ายืดที่กล่าวไปแล้วข้างต้น ดังนั้นการเลือกใช้สภาวะในการปรับปรุงผ้าฝ้ายจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในงานวิจัยนี้ เลือกใช้สารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เนื่องจาก ณ ความเข้มข้นนี้ ผ้ายังไม่มีความแข็งมาก อีกทั้งปริมาณไคโตซานที่ใช้ก็ยังไม่ส่งผลกระทบต่อความเหลืองและความขาวมากเช่นกัน และใช้ความเข้มข้นนี้ทั้งกรณีไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางเพื่อเปรียบเทียบผลของการย้อมผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานทั้งสองชนิด ณ ความเข้มข้นเดียวกัน

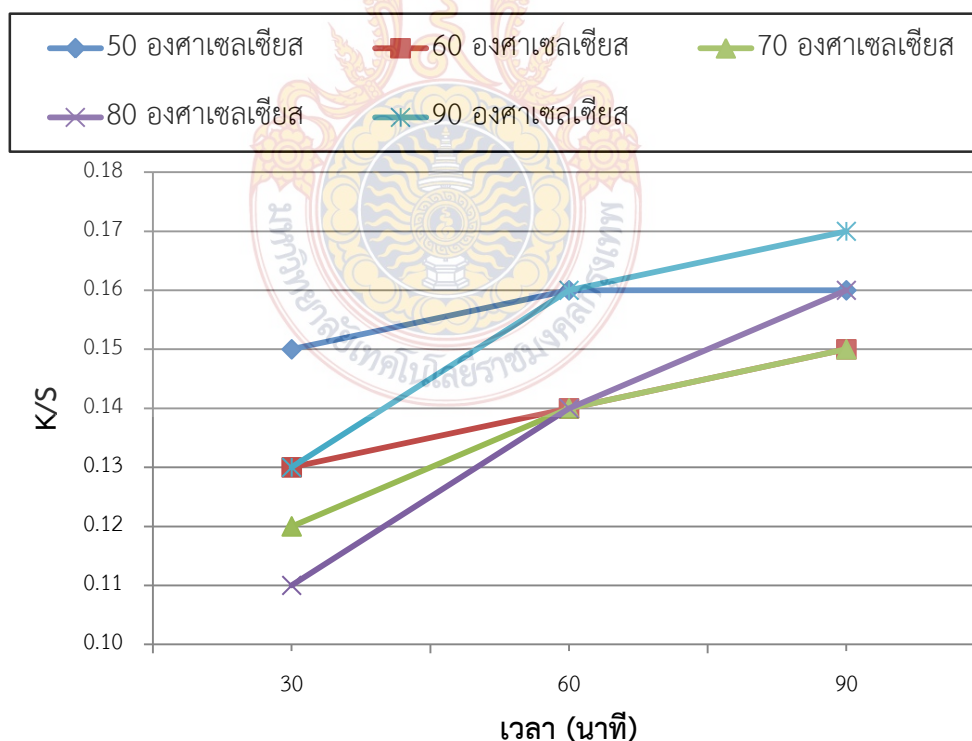


4.3 ผลของอุณหภูมิและเวลาต่อการย้อมสีจากกากใบชาบนผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน

ย้อมผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานด้วยน้ำย้อมจากกากใบชา ความเข้มข้นร้อยละ 3.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยใช้อุณหภูมิและเวลาต่างกัน ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.5 - 4.7 และภาพที่ 4.6 - 4.8

ตารางที่ 4.5 ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน

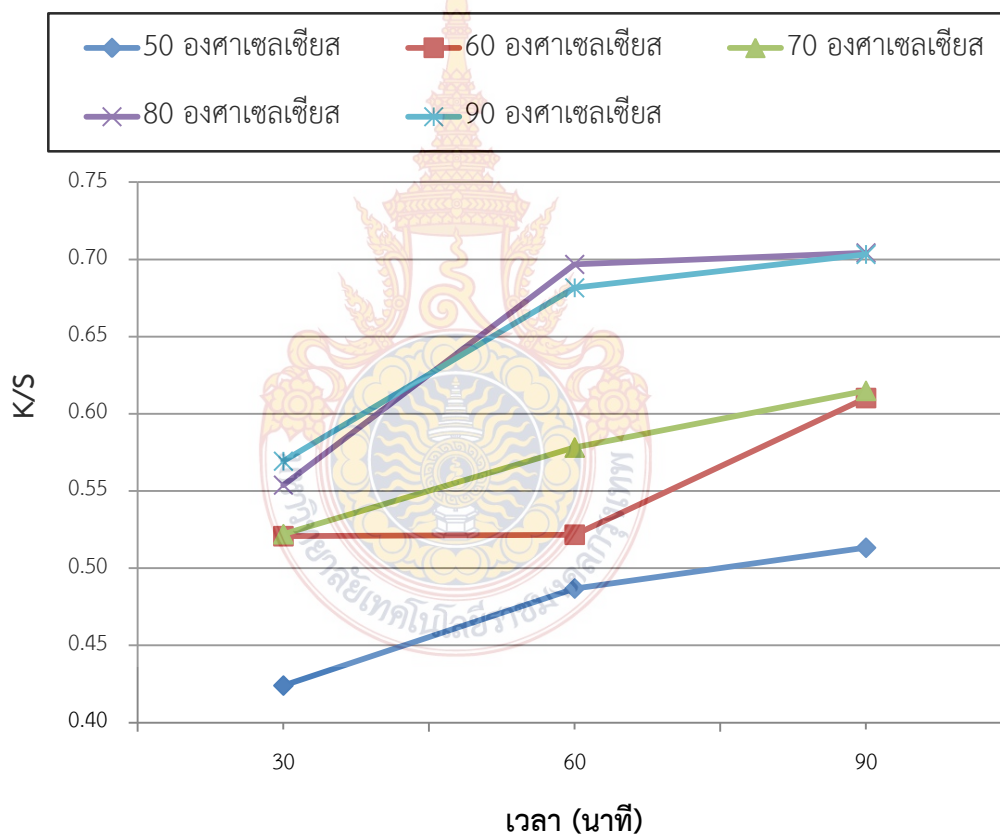
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S)		
	30 นาที	60 นาที	90 นาที
50	0.15	0.16	0.16
60	0.13	0.14	0.15
70	0.12	0.14	0.15
80	0.11	0.14	0.16
90	0.13	0.16	0.17



ภาพที่ 4.6 ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน

ตารางที่ 4.6 ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

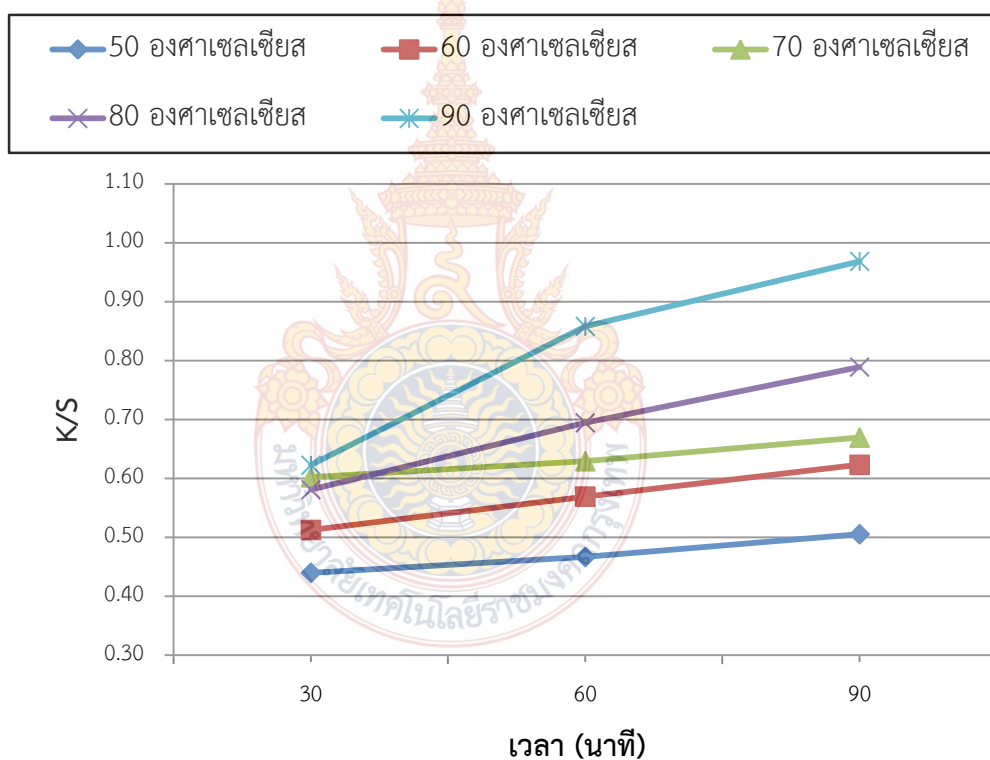
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S)		
	30 นาที	60 นาที	90 นาที
50	0.42 ± 0.02	0.49 ± 0.01	0.51 ± 0.03
60	0.52 ± 0.00	0.52 ± 0.01	0.61 ± 0.06
70	0.52 ± 0.02	0.58 ± 0.03	0.61 ± 0.01
80	0.55 ± 0.02	0.70 ± 0.02	0.70 ± 0.02
90	0.57 ± 0.01	0.68 ± 0.04	0.70 ± 0.04



ภาพที่ 4.7 ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ

ตารางที่ 4.7 ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลางที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S)		
	30 นาที	60 นาที	90 นาที
50	0.44 ± 0.01	0.47 ± 0.02	0.51 ± 0.02
60	0.51 ± 0.00	0.57 ± 0.04	0.62 ± 0.05
70	0.60 ± 0.06	0.63 ± 0.05	0.67 ± 0.07
80	0.58 ± 0.03	0.69 ± 0.02	0.79 ± 0.06
90	0.62 ± 0.02	0.86 ± 0.07	0.97 ± 0.01



ภาพที่ 4.8 ค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) บนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลาง (ตารางที่ 4.6–4.7 และภาพที่ 4.7–4.8) มีค่าความเข้มของสีเฉลี่ย (K/S) สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน (ตารางที่ 4.5 และภาพที่ 4.6) ทั้งนี้เนื่องจากผ้าฝ้ายเมื่ออยู่ในน้ำจะมีประจุเป็นลบ และสีย้อมก็มีประจุลบเช่นเดียวกัน จึงเกิดการผลักกัน สีจึงติดบนผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงได้น้อย ส่วนไคโตซานมีหมู่อะมิโนซึ่งทำให้ผ้าเป็นประจุเป็นบวก สีย้อมซึ่งมีประจุลบจึงติดบนผ้าที่ผ่านการปรับปรุงได้ดีขึ้น กล่าวคือ ไคโตซานช่วยปรับปรุงความสามารถในการยึดติดสีย้อมของผ้า (dye affinity) (Rippon, J.A., 2008; Kim, S.H., 2006)

เมื่อพิจารณาถึงด้านอุณหภูมิและเวลาในการย้อม พบว่า โดยรวมแล้ว อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการย้อมมากขึ้น ส่งผลให้ค่าความเข้มของสีสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้นสีจึงมีความว่องไวมากขึ้น ทำให้สีดูดซึม (exhaustion) เข้าเส้นใยมากขึ้น แต่การใช้อุณหภูมิในการย้อมสูง ต้องใช้เวลาในการย้อมที่เหมาะสมด้วย เนื่องจากการใช้อุณหภูมิสูงทำให้สีเคลื่อนตัวได้เร็ว สีจึงติดผ้าอย่างรวดเร็ว ถ้าใช้เวลาในการย้อมน้อย ผ้าอาจเกิดความไม่สม่ำเสมอได้ ดังนั้นเวลาที่ใช้การย้อมที่นานขึ้นจะช่วยทำให้ผ้าติดสีสม่ำเสมอมากขึ้น (Paul, D. *et al.*, 2017; Abdel-Zaher, N.A., 2018)

เมื่อเปรียบเทียบการปรับปรุงผ้าด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลาง พบว่า ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่าความเข้มของสีเฉลี่ยต่ำกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง เหตุผลหนึ่งที่น่าจะเป็นไปได้ คือ ไคโตซานที่น้ำหนักโมเลกุลต่ำมีการยึดติด (affinity) ต่ำกว่า เนื่องจากโมเลกุลมีขนาดเล็กกว่า (Suitcharit, C. *et al.*, 2011)

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้อุณหภูมิและเวลาในการย้อมที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที เพราะเป็นสภาวะที่ทำให้ความเข้มของสีของผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยสีจากกากใบชาสูงสุด

4.4 ความคงทนของสีต่อการซัก

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ย้อมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที มาทดสอบความคงทนของสีต่อการซักและประเมินผลการทดสอบ โดยผลการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบแสดงในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 ส่วนการติดเปื้อนบนผ้ามีลติไฟเบอร์แสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.10

ตารางที่ 4.8 ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อการซัก

ตัวอย่าง	ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อความคงทนต่อการซัก
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	1
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ	3
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	2-3



ภาพที่ 4.9 ความคงทนการเปลี่ยนแปลงของสีต่อการซัก (ก) ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

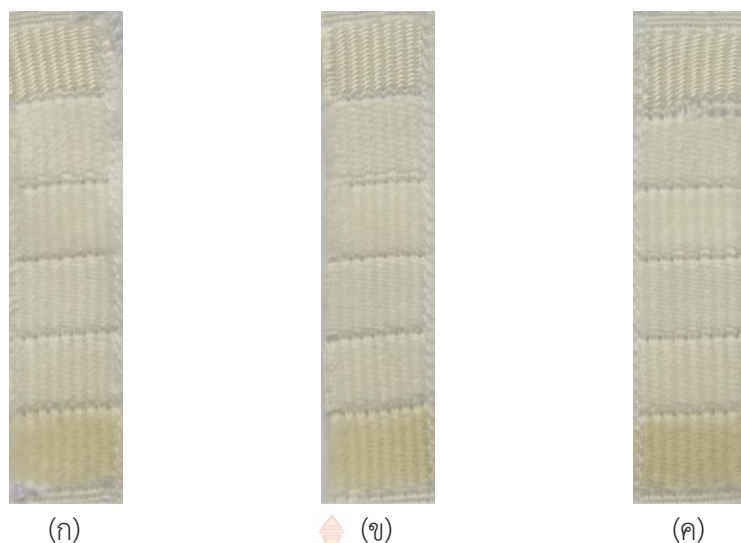
ประเมินผลทดสอบการเปลี่ยนแปลงของสี มี 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี คือ ดีที่สุด (excellent)
- ระดับ 4 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (very good)
- ระดับ 3 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีปานกลาง คือ ดี (good)
- ระดับ 2 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีมาก คือ แย่ (fairly poor)
- ระดับ 1 หมายถึง มีการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (poor)

ค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบ (color change) ในตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 พบว่า ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสีมากที่สุด คือ ระดับ 1 ส่วนผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีค่าการเปลี่ยนแปลงของสี อยู่ในระดับ 2-3 ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงของสีน้อยกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ทั้งนี้เนื่องจากไคโตซานช่วยปรับปรุงการยึดติดของสีบนผ้าให้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลาง พบว่า ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีค่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบน้อยกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง อาจเนื่องมาจากไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีโมเลกุลขนาดเล็ก จึงแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้ดีกว่า ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบจึงน้อยกว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

ตารางที่ 4.9 ระดับการติดเปื้อนของสีบนผ้ามีลติไฟเบอร์ต่อการซัก

ตัวอย่าง	ระดับการติดเปื้อน					
	แอซีเทต	ฝ้าย	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	5	4-5	5	5	5	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ	5	4-5	5	5	5	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	5	4-5	5	5	5	5



ภาพที่ 4.10 ผ้ามัลติไฟเบอร์หลังการซัก (ก) ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

ประเมินผลทดสอบการติดเปื้อนของสี มี 5 ระดับ ดังนี้

- ระดับ 5 หมายถึง ไม่มีการติดเปื้อนของสี คือ ดีที่สุด (excellent)
- ระดับ 4 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีเล็กน้อย คือ ดีมาก (very good)
- ระดับ 3 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีปานกลาง คือ ดี (good)
- ระดับ 2 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมาก คือ แย่ (fairly poor)
- ระดับ 1 หมายถึง มีการติดเปื้อนของสีมากที่สุด คือ แย่ที่สุด (poor)

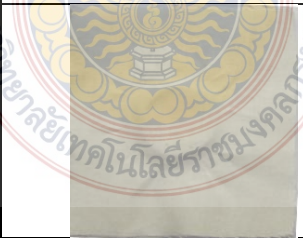
ผลการทดสอบในด้านการติดเปื้อนสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์ (color staining) แสดงในตารางที่ 4.9 และภาพที่ 4.10 พบว่า ผ้าที่ผ่านการย้อมด้วยสีจากกากใบชามีผลการย้อมที่ดี กล่าวคือ ไม่มีการติดเปื้อนหรือมีการติดเปื้อนบนผ้ามัลติไฟเบอร์เล็กน้อย โดยเส้นใยฝ้ายเป็นเส้นใยชนิดเดียวที่มีการติดเปื้อน ซึ่งมีระดับการติดเปื้อนที่ระดับ 4-5 ส่วนเส้นใยอื่น เช่น แอซีเตต ไนลอน พอลิเอสเตอร์ อะคริลิก และขนสัตว์ ไม่มีการติดเปื้อนบนผ้ามัลติไฟเบอร์

4.5 ความคงทนของสีต่อการขัดถู

สำหรับวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมหรือผ่านการพิมพ์มาพบว่ามีอนุภาคของสีที่ย้อมที่ไม่ยึดติดกับวัสดุสิ่งทออยู่บนพื้นผิววัสดุสิ่งทอนั้น ๆ ซึ่งอนุภาคของสีเหล่านี้ถูกขัดถูออกได้ง่ายบนพื้นผิวของผู้สวมใส่หรือผ้าอื่น ๆ ที่มาสัมผัสกับวัสดุสิ่งทอเหล่านี้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาความคงทนของสีต่อการขัดถูของวัสดุสิ่งทอที่ผ่านการย้อมหรือผ่านการพิมพ์ (Kumar, K.S., 2013)

ในการทดลองนี้ นำผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ย้อมด้วยกากใบชาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที มาทดสอบความคงทนของสีต่อการขัดถูและประเมินผลการทดสอบ โดยประเมินผลการติดเปื้อนบนผ้า white AATCC textile blotting paper ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.10 – 4.12

ตารางที่ 4.10 ผ้า white AATCC textile blotting paper หลังการขัดถูกับผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน

สถานะ	แนวซ้าย	แนวซ้าย
สถานะแห้ง (dry)		
	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5
สถานะเปียก (wet)		
	ค่าการติดเปื้อนของสี 4	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5

ตารางที่ 4.11 ผ้า white AATCC textile blotting paper หลังจากการขัดถูกับผ้าที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมลต่ำ

สภาวะ	แนวซ้าย	แนวขวา
สภาวะแห้ง (dry)		
	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5
สภาวะเปียก (wet)		
	ค่าการติดเปื้อนของสี 4	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5

ตารางที่ 4.12 ผ้า white AATCC textile blotting paper หลังจากการขัดถูกับผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

สภาวะ	แนวซ้าย	แนวขวา
สภาวะแห้ง (dry)		
	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5
สภาวะเปียก (wet)		
	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5	ค่าการติดเปื้อนของสี 4-5

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.10 – 4.12 พบว่า ทั้งผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีความคงทนของสีต่อการขูดถูใกล้เคียงกัน โดยมีความคงทนของสีต่อการขูดถูในระดับดีมาก คือ ระดับที่ 4-5 และการขูดถูในสภาวะเปียกมีค่าความคงทนของสีต่อการขูดถูน้อยกว่าผ้าในสภาวะแห้ง

การขูดถูในสภาวะแห้ง ตัวอย่างที่มีสีเกิดการขูดถูทำให้อนุภาคของสีที่ไม่ยึดติดกับวัสดุสิ่งทอหลุดออกและยึดติดกับพื้นผิวของเส้นใยของผ้าที่ใช้ขูดถู (crocking cloth) ความเข้มข้นของสีเริ่มต้นยิ่งสูง ส่งผลให้การติดเปื้อน (stain) ยิ่งสูง สำหรับการขูดถูในสภาวะเปียก พบว่า สีย้อมที่ไม่ยึดติดกับวัสดุสิ่งทอจะละลายในน้ำและจะเคลื่อนที่ไปยังผ้าทดสอบ ดังนั้นผลการทดลองพบว่ามีค่าความคงทนต่อการขูดถูในสภาวะเปียกต่ำ ในสภาวะการขูดถูแบบเปียกพบว่า มีการเคลื่อนย้ายของทั้งสีและเส้นใยสั้นที่มีสี (colored short fibers) ไปยังผ้าที่ใช้ขูดถู (Kumar, K.S., 2013)

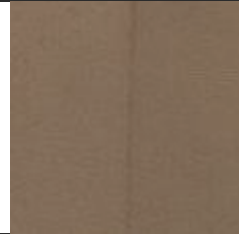
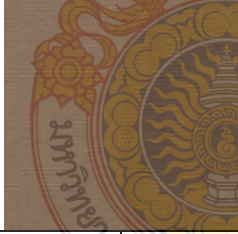
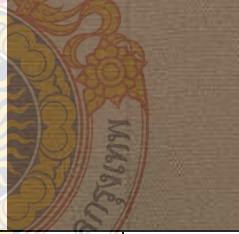
4.6 ความคงทนของสีต่อความร้อน

ทดสอบความคงทนของสีต่อความร้อนของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ย้อมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที ประเมินผลการเปลี่ยนแปลงสีบนชิ้นทดสอบแสดงในตารางที่ 4.13-4.14 ผลการติดเปื้อนบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมแสดงในตารางที่ 4.15-4.16 ส่วนผลของผ้ามัลติไฟเบอร์แสดงในตารางที่ 4.17-4.18

ตารางที่ 4.13 ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อความร้อน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อความร้อน
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	150	5
	180	5
	200	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ	150	4-5
	180	5
	200	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	150	4-5
	180	5
	200	5

ตารางที่ 4.14 ผลการเปลี่ยนแปลงสีของผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานต่อความร้อน

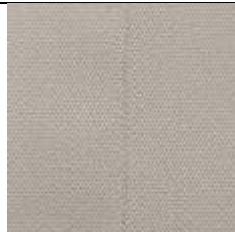
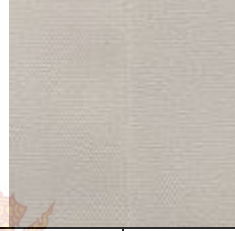
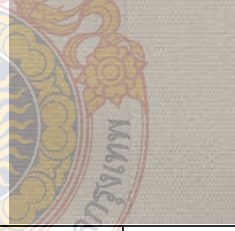
ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
	150		180		200	
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง						
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ						
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง						
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ

ตารางที่ 4.15 ระดับการติดเปื้อนบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมที่ประกบติดกับผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานต่อความร้อน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ระดับการติดเปื้อนบนผ้าต่อความร้อน
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	150	5
	180	5
	200	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ	150	4-5
	180	4-5
	200	4-5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	150	3-4
	180	4-5
	200	4-5



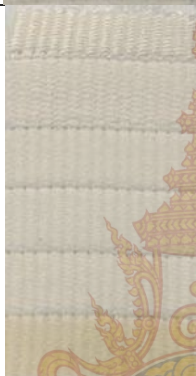
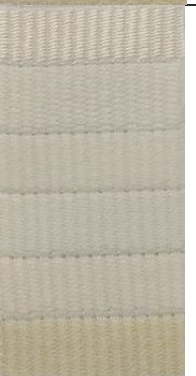
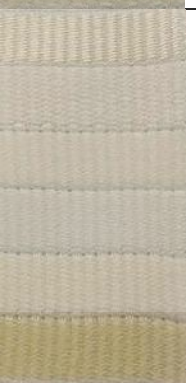
ตารางที่ 4.16 ผลการติดเปื้อนของผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมที่ประกบติดกับผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานต่อความร้อน

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
	150		180		200	
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง						
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ						
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง						
	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ	ก่อนการทดสอบ	หลังการทดสอบ

ตารางที่ 4.17 ระดับการติดเปื้อนบนผ้ามัลติไฟเบอร์ที่ประกบติดกับผ้าที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานต่อความร้อน

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ตัวอย่าง	ระดับการติดเปื้อน					
		แอซีเทต	ฝ้าย	ไนลอน	พอลิ เอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
150	ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	5	5	5	5	5	5
	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ	5	5	5	5	5	5
	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วย สารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	5	5	5	5	5	5
180	ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	4-5	5	5	5	5	4-5
	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ	5	5	5	5	5	4-5
	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วย สารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	5	5	5	5	5	4-5
200	ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	2-3	5	5	5	3	3-4
	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุง ด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ	4-5	5	5	5	5	4-5
	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วย สารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	4-5	5	5	5	4-5	4-5

ตารางที่ 4.18 ผ้ามัลติไฟเบอร์หลังการทดสอบที่อุณหภูมิต่าง ๆ

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	150	180	200
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง			
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ			
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง			

ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานทั้งน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลางมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อความร้อนสูงกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานเล็กน้อยและการใช้อุณหภูมิในการทดสอบสูงขึ้นส่งผลให้ผ้ามีการเปลี่ยนแปลงสีมากขึ้น เนื่องจากไคโตซานช่วยปรับปรุงการยึดติดของสีต่อผ้าทำให้ผ้ามีความคงทนได้ดีกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานและอุณหภูมิมีผลต่อการเคลื่อนที่ของสี (migration) ซึ่งอุณหภูมิสูงมีผลให้โมเลกุลของสีเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ ดังนั้น ผ้าที่ผ่านการทดสอบด้านความคงทนต่อความร้อนที่อุณหภูมิ 180 และ 200 องศาเซลเซียส จึงมีการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบมากกว่าผ้าที่ผ่านการทดสอบโดยใช้อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.13-4.14) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาถึงระดับการติดเปื้อนบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อม พบว่า การใช้อุณหภูมิสูงในการทดสอบ (180 และ 200 องศาเซลเซียส) มีระดับการติดเปื้อนที่สูงกว่าผ้าที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ (150 องศาเซลเซียส) เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง โมเลกุลของสีมีการเคลื่อนที่ได้เร็วกว่า สีของชิ้นทดสอบก็มีการเปลี่ยนแปลงมากกว่า สีจึงมีการเคลื่อนที่มาติดกับผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมที่ประกบติดกับชิ้นทดสอบที่ผ่านการย้อมมากกว่าผ้าที่ผ่านการทดสอบที่อุณหภูมิต่ำกว่า คือ ที่ 150 องศาเซลเซียส (ตารางที่ 4.15-4.16)

ในด้านการติดเปื้อนบนผ้ามัลติไฟเบอร์ (ตารางที่ 4.17-4.18) พบว่าไม่มีการติดเปื้อนบนผ้ามัลติไฟเบอร์จากการใช้อุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียสในการทดสอบความคงทนต่อความร้อน แต่เมื่อใช้อุณหภูมิที่สูงขึ้น (180 และ 200 องศาเซลเซียส) พบว่า มีการติดเปื้อนบนผ้ามากขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีผลให้โมเลกุลของสีเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าการใช้อุณหภูมิต่ำ สีจึงมาติดที่ผ้ามัลติไฟเบอร์ได้มากกว่า (Sharma, S.K., 2015)

4.7 ความคงทนของสีต่อการจัดเก็บ

ทดสอบความคงทนของสีต่อการจัดเก็บของผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ย้อมที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที และประเมินผลการติดเปื้อนบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อม ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.19 และภาพที่ 4.11 ส่วนความคงทนของสีต่อการจัดเก็บของผ้ามัลติไฟเบอร์แสดงในตารางที่ 4.20 และภาพที่ 4.12

ตารางที่ 4.19 ระดับการติดเปื้อนของสียบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมต่อการจัดเก็บ

ตัวอย่าง	ระดับการติดเปื้อนของสียบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมต่อการจัดเก็บ
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	3
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักร้อยมิลลิกรัมต่อกรัม	4-5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักร้อยมิลลิกรัมต่อกรัม	4-5

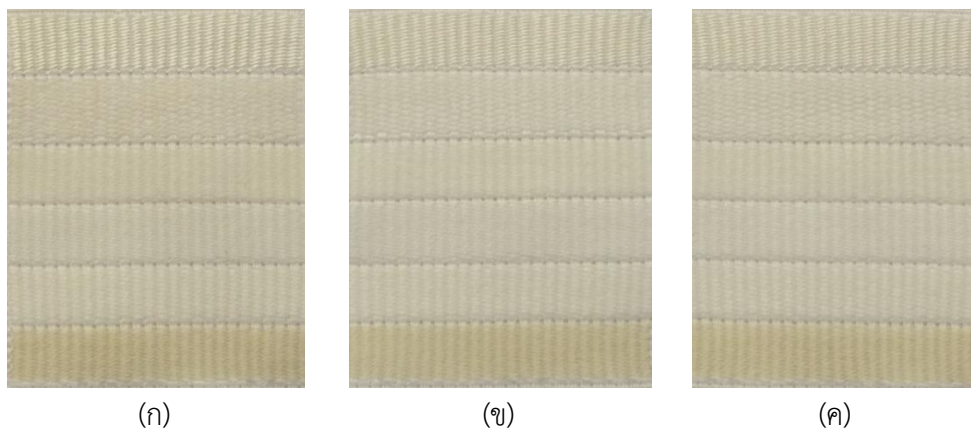


ก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ ก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ ก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ
(ก) (ข) (ค)

ภาพที่ 4.11 การติดเปื้อนของผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมต่อการจัดเก็บ (ก) ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง
(ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักร้อยมิลลิกรัมต่อกรัม (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วย
สารละลายไคโตซานน้ำหนักร้อยมิลลิกรัมต่อกรัม

ตารางที่ 4.20 ระดับการติดเปื้อนของสียบนผ้าแม่พิมพ์ต่อการจัดเก็บ

ตัวอย่าง	ระดับการติดเปื้อน					
	แอซีเทต	ฝ้าย	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	5	5	5	5	5	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักร้อยมิลลิกรัมต่อกรัม	5	5	5	5	5	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักร้อยมิลลิกรัมต่อกรัม	5	5	5	5	5	5



ภาพที่ 4.12 ผลการติดเปื้อนของสียบนผ้ามัลติไฟเบอร์ต่อการจัดเก็บ (ก) ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

จากตารางที่ 4.19 – 4.20 และภาพที่ 4.11 – 4.12 พบว่า ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานทั้งน้ำหนักโมเลกุลต่ำและปานกลางมีระดับการติดเปื้อนบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมดีกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ส่วนระดับการติดเปื้อนบนผ้ามัลติไฟเบอร์ พบว่าไม่มีการติดเปื้อนบนผ้ามัลติไฟเบอร์ในทุก ๆ ชิ้นทดสอบ เนื่องจากไคโตซานช่วยให้สียติดกับผ้าได้ดีขึ้น ดังนั้น ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานจึงมีความคงทนของสีต่อการจัดเก็บได้ดีกว่าผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน

4.8 ความคงทนของสีต่อน้ำ

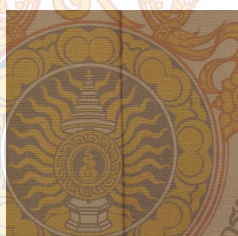
นำผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานที่ย้อมด้วยกากใบชาที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที มาทดสอบความคงทนของสีต่อน้ำและประเมินผลทดสอบการเปลี่ยนแปลงสีบนชิ้นทดสอบแสดงในตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.13 และประเมินการติดเปื้อนของผ้ามัลติไฟเบอร์แสดงในตารางที่ 4.22 และภาพที่ 4.14

ตารางที่ 4.21 ระดับการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบต่อน้ำ

ตัวอย่าง	ระดับการติดเปื้อนของสีบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมต่อการจัดเก็บ
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	3-4
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลต่ำ	3-4
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน น้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	4



ก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ
(ก)



ก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ
(ข)



ก่อนการทดสอบ หลังการทดสอบ
(ค)

ภาพที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลงของสีต่อน้ำ (ก) ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

ตารางที่ 4.22 การติดเปื้อนของสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์ต่อน้ำ

ตัวอย่าง	ระดับการติดเปื้อน					
	แอซีเทต	ฝ้าย	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
ผ้าไม่ผ่านการปรับปรุง	5	5	5	5	5	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ	5	5	5	5	5	5
ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง	5	5	5	5	5	5



(ก)



(ข)



(ค)

ภาพที่ 4.14 ผลการติดเปื้อนของสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์ต่อน้ำ (ก) ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (ค) ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง

จากตารางที่ 4.21 และภาพที่ 4.13 ผ้าที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีการเปลี่ยนแปลงของสีในระดับดี คือ ระดับ 3-4 เนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางพาสีที่เกาะบนผิวเส้นใยออกไป โดยมีแรงกดทับส่งผลให้สีออกจากเส้นใย ส่วนผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางมีการเปลี่ยนแปลงของสีในระดับดีมาก คือ ระดับ 4 ส่วนการประเมินการติดเปื้อนของสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์ไม่มีการติดเปื้อนของสี (ตารางที่ 4.22 และภาพที่ 4.14) เนื่องจากในสภาวะของการทดสอบไม่มีผลต่อการติดเปื้อนของสี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ ศึกษาการติดสีจากใบชาบนผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน โดยศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นและน้ำหนักโมเลกุลของไคโตซานต่อสมบัติของผ้าและต่อการย้อม จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ ดังนี้

1) สภาพที่เหมาะสมในการย้อมสีจากกากใบชา คือ น้ำย้อมจากกากใบชาความเข้มข้นร้อยละ 3.50 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

2) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานให้ความเข้มของสีสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางให้ความเข้มของสีสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ ณ ความเข้มข้นของสารละลายไคโตซานเท่ากัน

3) ผลจากการทดสอบความคงทนของสี

3.1) ความคงทนของสีต่อการซัก พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีดีกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีต่ำที่สุด นอกจากนี้ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ไม่มีการติดเปื้อนของสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์และผ้าที่ไม่ผ่านการย้อม

3.2) ความคงทนของสีต่อการขัดถู พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ไม่มีการติดเปื้อนของสีบนผ้า white AATCC textile blotting paper

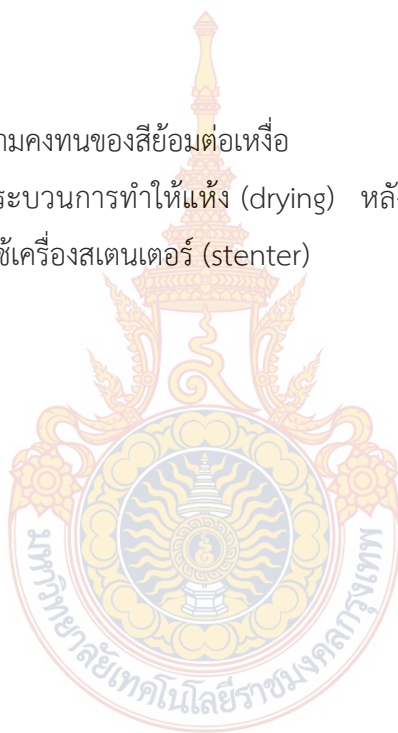
3.3) ความคงทนของสีต่อความร้อน พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง มีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ มีระดับการติดเปื้อนของสีต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางและผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานมีระดับการติดเปื้อนของสีสูงที่สุด

3.4) ความคงทนของสีต่อการจัดเก็บ พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง มีระดับการติดเปื้อนของสีบนผ้าที่ไม่ผ่านการย้อมต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานและผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานไม่มีการติดเปื้อนของสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์

3.5) ความคงทนของสีต่อน้ำ พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลางมีความคงทนต่อการเปลี่ยนแปลงของสีดีกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำและผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน ส่วนการติดเปื้อนของสีบนผ้ามัลติไฟเบอร์ ผ้าฝ้ายที่ผ่านและไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานไม่มีการติดเปื้อนของสี

5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาสมบัติความคงทนของสีย้อมต่อเหงื่อ
- 2) ควรปรับปรุงกระบวนการทำให้แห้ง (drying) หลังการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารละลายไคโตซาน โดยใช้เครื่องสเตนเดอร์ (stenter)



บรรณานุกรม

“10 ประโยชน์จากกากใบชาและถุงชา”. 2015. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://www.coffeeandtealover.com/2015/03/10benefits-of-tea-bag-and-leaf/> (วันที่สืบค้น 4 ธันวาคม 2561).

เทียนศักดิ์ เมฆพรรณโอกาส. 2539. **เคมีของสีธรรมชาติและการย้อม**. วารสารวิทยาศาสตร์

50(3): 155-161

“ไคตินและไคโตซานคือวัสดุประเภทใด มีสมบัติอย่างไร”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://old.mtec.or.th/academic-services/mtec-question-answer/171-%E0%B9%84%E0%B8%84%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%99%E0%B9%81%E0%B8%A5%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%84%E0%B9%82%E0%B8%95%E0%B8%B%E0%B8%B2%E0%B8%99%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%A7%E0%B8%B1%E0%B8%AA%E0%B8%94%E0%B8%B8%E0%B8%9B%E0%B8%A3%E0%B8%B0%E0%B9%80%E0%B8%A0%E0%B8%97%E0%B9%83%E0%B8%94%E0%B8%A1%E0%B8%B5%E0%B8%AA%E0%B8%A1%E0%B8%9A%E0%B8%B1%E0%B8%95%E0%B8%B4%E0%B8%AD%E0%B8%A2%E0%B9%88%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%A3> (วันที่สืบค้น 11 ธันวาคม 2561).

“ข้อดีของการดื่มชาเพื่อสุขภาพ”. 2560. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://www.ochasama.com/%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B8%94%E0%B8%B5%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%94%E0%B8%B7%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%8A%E0%B8%B2/> (วันที่สืบค้น 3 กันยายน 2561).

“ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับสี”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

https://www.novabizz.com/CDC/Interior/Interior_Colour01.htm (วันที่สืบค้น 14 ธันวาคม 2561).

จุไรรัตน์ เกิดดอนแฝก. 2556. “ชา”ใน **สมุนไพรลดไขมันในเลือด 140 ชนิด**. หน้า 81-82.

กรุงเทพฯ: ปณิศา เกิดดอนแฝก.

“ชา สรรพคุณและประโยชน์ของชา ใบชา น้ำชา 36 ข้อ ! (Tea)”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:

<https://medthai.com/%E0%B8%8A%E0%B8%B2/> (วันที่สืบค้น 4 ธันวาคม 2561).

- ณัฐพล พุกชาโรจนกุล. 2559. “ชาคืออะไร?”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<http://blognatthapon.blogspot.com/> (วันที่สืบค้น 4 ธันวาคม 2561).
- ธีรพงษ์ เทพภรณ์, 2012. “เรื่อนำรู้เกี่ยวกับชา”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<http://archive.mfu.ac.th/school/agro2012/node/284> (วันที่สืบค้น 4 ธันวาคม 2561).
- “น้ำมันเมล็ดชา”. 2559. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก: <https://www.jeban.com/topic/212105>
 (วันที่สืบค้น 3 กันยายน 2561).
- “ฝ้าย สรรพคุณและประโยชน์ของต้นฝ้าย”. 2560. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<https://medthai.com/%E0%B8%9D%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A2/> (วันที่
 สืบค้น 13 ธันวาคม 2561).
- พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และ นิธิยา รัตนพานนท์. 2556. Tannin / แทนนิน. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2376/tannin-แทนนิน>. (วันที่
 สืบค้น 22 กันยายน 2557).
- “รูปโครงสร้างโคไโตซาน”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<https://sites.google.com/site/applicationofchitosan/khxmuk-khxng-khi-to-san-1/rup-khomgsrang-khi-to-san> (วันที่สืบค้น 11 ธันวาคม 2561).
- “ลักษณะของต้นชา”. ม.ป.ป. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<https://deeplyoceanlife.wordpress.com/%E0%B8%A5%E0%B8%B1%E0%B8%81%E0%B8%A9%E0%B8%93%E0%B8%B0%E0%B8%82%E0%B8%AD%E0%B8%87%E0%B8%95%E0%B9%89%E0%B8%99%E0%B8%8A%E0%B8%B2/> (วันที่สืบค้น 4 ธันวาคม 2561).
- วรรณิ ศรีนุตตระกูล. ม.ป.ป. “จากเปลือกกุ้งและกระดองปูสู่โคไโตซาน”. [ออนไลน์] เข้าถึงได้จาก:
<http://www0.tint.or.th/nkc/nkc53/content/nstkc53-062.html> (วันที่สืบค้น 11 ธันวาคม 2561).
- ศรันยา คุณะดิลก. 2557. เอกสารประกอบการสอน วิชาเทคโนโลยีสีย้อมธรรมชาติ.
 ภาควิชา วิศวกรรมศาสตร์ คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน,
 กรุงเทพฯ.
- สายลม สัมพันธ์เวชโสภา และคณะ. 2552. “เรื่อนำรู้เกี่ยวกับชา ตอนที่ 1: สายพันธุ์ชา”. [ออนไลน์]
 เข้าถึงได้จาก: <http://www.mfu.ac.th/school/agro2012/node/284> (วันที่สืบค้น 21
 กันยายน 2557).
- อัจฉราพร ไสละสุต. 2539. ความรู้เรื่องผ้า. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สร้างสรรค์วิชาการ.

- Abdel-Zaher, N.A. (2018). Study the effect of different dyeing conditions of extracted natural dye from leaves of neem on silk fabrics. **Journal of Chemical Metrology**. 12(1): 34-58.
- Bhuiyan, M.A.R., Shaid, A., and Khan, M.A. (2014). Cationization of cotton fiber by chitosan and its dyeing with reactive dye without salt. **Chemical and Materials Engineering**. 2(4): 96-100.
- Cayless, M.A. and Marsden, A.M. 1983. **Lamp and lighting: a manual of lamps and lighting**. 3rd.ed. Arnold, London
- Chairat, M. et al. (2015). Effect of additives on the dyeing of cotton yarn with the aqueous extract of *Combretum latifolium* Blume stems. **Coloration Technology**. 131(4): 310-315.
- “Classification of dyes”. 2011. [online] Retrieved from: <https://textInfo.wordpress.com/2011/12/04/classification-of-dyes/> (Accessed 4 December 2018).
- Gupta, D. and Haile, A. (2007). Multifunctional properties of cotton fabric treated with chitosan and carboxymethyl chitosan. **Carbohydrate Polymers**. 69: 164-171.
- Habibie, S. *et al.* (2016). The effect of chitosan on physical and mechanical properties of paper. **Journal of Chemical Engineering and Materials Science**. 7(1): 1-10.
- Kim, S.H. (2006) Dyeing characteristic and UV protection property of green tea dyed cotton fabrics-focusing on the effect of chitosan mordanting condition. **Fibers and Polymers**. 7(3): 255-261.
- Kumar, K.S. 2013. “Factors affecting the rubbing fastness of textile materials”. [online] Retrieved from: <http://textilelearner.blogspot.com/2013/12/factors-affecting-rubbing-fastness-of.html> (Accessed 7 January 2018).
- Matthews, L., 2018. “How to tea-dye lace and thread for a vintage look”. [online] Retrieved from: <https://www.linda-matthews.com/how-to-tea-dye-lace-and-thread-for-a-vintage-look/> (Accessed 4 December 2018).
- Paul, D. *et al.* (2017). Effect of temperature on dyeing cotton knitted fabrics with reactive dyes. **Journal of Scientific and Engineering Research**. 4(12): 388-393.
- Ren, F. *et al.* (2016). Effect of dye bath pH on dyeing and functional properties of wool fabric dyed with tea extract. **Dyes and Pigments**. 134: 334-341.

- Rippon, J.A. (2008). Improving the dye coverage of immature cotton fibres by treatment with chitosan. **Coloration Technology**. 100(10): 298-303.
- Sharma, S.K. (2015). **Green chemistry for dyes removal from wastewater: research trends and applications**. Scrivener Publishing, Canada.
- Suitcharit, C. *et al.* (2010). Effect of chitosan's molecular weights on mangosteen dye fixation on cotton fabric. **Journal of Metals, Materials and Minerals**. 20(1): 27-31.
- Suitcharit, C. *et al.* (2011). Preparation of depolymerized chitosan and its effect on dyeability of mangosteen dye. **Chiang Mai Journal of Science**. 38(3): 473-484.
- Zhang, Z. *et al.* (2003). Antibacterial properties of cotton fabrics treated with chitosan. **Textile Research Journal**. 73(12): 1103-1106.





ภาคผนวก ก

ค่าความแข็งของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน



ตารางที่ ก-1 ค่าความแข็งของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักร้อยละ 10

ความเข้มข้นของ สารละลายไคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร)	ค่าความแข็งของผ้า (กรัม·เซนติเมตร)							
	แนวด้ายพุ่ง				แนวด้ายยืน			
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0	54.53	45.46	49.99	6.41	195.09	218.48	206.78	16.54
0.25	183.25	206.93	195.09	16.74	1141.53	1163.35	1152.44	15.43
0.50	423.86	448.68	436.27	17.55	2149.85	2181.63	2165.74	22.47
0.75	1030.56	992.42	1011.49	26.97	2661.73	2629.15	2645.44	23.04
1.00	1547.23	1574.27	1560.75	19.12	3180.46	3201.96	3191.21	15.20
1.50	2043.78	2067.50	2055.64	16.77	3987.97	3957.65	3972.81	21.44
2.00	2887.70	2931.90	2909.80	31.25	4691.74	4673.88	4682.81	12.63

ตารางที่ ก-2 ค่าความแข็งของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานน้ำหนักร้อยละ 10

ความเข้มข้นของ สารละลายไคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร)	ค่าความแข็งของผ้า (กรัม·เซนติเมตร)							
	แนวด้ายพุ่ง				แนวด้ายยืน			
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0	54.53	45.46	49.99	6.41	195.09	218.48	206.78	16.54
0.25	318.54	342.82	330.68	17.17	1320.06	1291.74	1305.90	20.03
0.50	723.75	697.05	710.40	18.88	2290.48	2268.92	2279.70	15.25
0.75	1024.95	998.01	1011.48	19.05	2786.34	2764.70	2775.52	15.30
1.00	1645.28	1659.78	1652.53	10.25	4482.43	4513.53	4497.98	21.99
1.50	2153.94	2177.54	2165.74	16.69	6828.56	6805.00	6816.78	16.66
2.00	3035.46	3061.20	3048.33	18.20	7048.72	7071.72	7060.22	16.26

ภาคผนวก ข

ค่าความขาวและความเหลืองของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซาน



ตารางที่ ข-1 ค่าความขาวของผ้า

ความเข้มข้นของ สารละลายไคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร)	ความขาวของผ้า (whiteness)							
	ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ				ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง			
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0	91.00	91.00	91.00	0.00	91.00	91.00	91.00	0.00
0.25	87.25	89.01	88.13	1.24	85.06	86.84	85.95	1.26
0.50	86.76	84.97	85.87	1.26	83.43	85.25	84.34	1.29
0.75	85.23	83.02	84.13	1.56	83.01	82.04	82.53	0.68
1.00	82.86	83.84	83.35	0.69	80.79	81.88	81.34	0.77
1.50	81.16	83.71	82.44	1.80	79.76	80.88	80.32	0.79
2.00	78.61	80.26	79.44	1.17	77.84	79.00	78.42	0.82

ตารางที่ ข-2 ค่าความเหลืองของผ้า

ความเข้มข้นของ สารละลายไคโตซาน (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อ ปริมาตร)	ความเหลืองของผ้า (yellowness)							
	ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ				ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง			
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ค่าเฉลี่ย	S.D.
0	0.62	0.62	0.62	0.00	0.62	0.62	0.62	0.00
0.25	0.67	0.71	0.69	0.03	0.73	0.71	0.72	0.01
0.50	0.73	0.71	0.72	0.01	1.11	1.06	1.09	0.04
0.75	0.90	0.88	0.89	0.01	1.61	1.64	1.63	0.02
1.00	1.37	1.33	1.35	0.03	1.87	1.90	1.89	0.02
1.50	1.75	1.79	1.77	0.03	2.31	2.27	2.29	0.03
2.00	2.39	2.36	2.38	0.02	3.07	3.03	3.05	0.03

ภาคผนวก ค
ค่าการสะท้อนแสงและ K/S ที่ความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ของผ้าย้อมสีจาก
กากใบชา



ตารางที่ ค-1 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	36.85	25.89	26.53	25.28	24.77	24.71	24.48
410	40.88	27.24	27.78	26.51	26.08	25.97	25.67
420	44.24	28.56	28.99	27.68	27.43	27.23	27.09
430	46.47	30.04	30.31	28.96	28.96	28.72	28.66
440	47.66	31.40	31.60	30.20	30.37	30.09	30.06
450	48.64	32.59	32.75	31.30	31.60	31.31	31.35
460	49.58	33.60	33.74	32.26	32.66	32.33	32.43
470	50.68	34.53	34.62	33.14	33.61	33.25	33.41
480	51.80	35.35	35.38	33.90	34.43	34.04	34.24
490	52.89	35.90	35.87	34.41	35.01	34.55	34.76
500	54.58	36.71	36.60	35.13	35.79	35.29	35.55
510	56.64	37.94	37.70	36.21	37.01	36.45	36.78
520	58.75	39.59	39.17	37.67	38.67	38.05	38.46
530	60.89	41.47	40.93	39.37	40.56	39.92	40.39
540	62.73	43.22	42.59	40.99	42.33	41.68	42.19
550	64.52	45.00	44.30	42.67	44.12	43.46	43.98
560	66.16	46.85	46.14	44.45	46.00	45.35	45.88
570	67.69	48.50	47.75	46.02	47.67	47.04	47.55
580	69.20	50.04	49.27	47.52	49.24	48.61	49.14
590	70.81	51.63	50.84	49.05	50.86	50.24	50.74
600	72.32	53.23	52.38	50.64	52.51	51.88	52.40
610	73.78	54.91	54.01	52.27	54.21	53.53	54.10
620	75.25	56.69	55.71	54.03	56.03	55.35	55.92
630	76.68	58.42	57.39	55.75	57.81	57.10	57.69
640	78.06	60.13	59.00	57.44	59.55	58.83	59.43
650	79.31	61.82	60.65	59.17	61.31	60.53	61.20
660	80.16	63.28	62.07	60.67	62.81	61.96	62.72
670	81.24	64.80	63.59	62.31	64.36	63.51	64.30
680	82.37	66.61	65.38	64.19	66.24	65.39	66.11
690	83.31	68.05	66.75	65.63	67.72	66.87	67.49
700	84.13	69.54	68.20	67.16	69.24	68.38	68.96

ตารางที่ ค-2 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.54	1.06	1.02	1.10	1.14	1.15	1.16
410	0.43	0.97	0.94	1.02	1.05	1.06	1.08
420	0.35	0.89	0.87	0.94	0.96	0.97	0.98
430	0.31	0.81	0.80	0.87	0.87	0.88	0.89
440	0.29	0.75	0.74	0.81	0.80	0.81	0.81
450	0.27	0.70	0.69	0.75	0.74	0.75	0.75
460	0.26	0.66	0.65	0.71	0.69	0.71	0.70
470	0.24	0.62	0.62	0.67	0.66	0.67	0.66
480	0.22	0.59	0.59	0.64	0.62	0.64	0.63
490	0.21	0.57	0.57	0.63	0.60	0.62	0.61
500	0.19	0.55	0.55	0.60	0.58	0.59	0.58
510	0.17	0.51	0.51	0.56	0.54	0.55	0.54
520	0.14	0.46	0.47	0.52	0.49	0.50	0.49
530	0.13	0.41	0.43	0.47	0.44	0.45	0.44
540	0.11	0.37	0.39	0.42	0.39	0.41	0.40
550	0.10	0.34	0.35	0.39	0.35	0.37	0.36
560	0.09	0.30	0.31	0.35	0.32	0.33	0.32
570	0.08	0.27	0.29	0.32	0.29	0.30	0.29
580	0.07	0.25	0.26	0.29	0.26	0.27	0.26
590	0.06	0.23	0.24	0.26	0.24	0.25	0.24
600	0.05	0.21	0.22	0.24	0.21	0.22	0.22
610	0.05	0.19	0.20	0.22	0.19	0.20	0.19
620	0.04	0.17	0.18	0.20	0.17	0.18	0.17
630	0.04	0.15	0.16	0.18	0.15	0.16	0.16
640	0.03	0.13	0.14	0.16	0.14	0.14	0.14
650	0.03	0.12	0.13	0.14	0.12	0.13	0.12
660	0.02	0.11	0.12	0.13	0.11	0.12	0.11
670	0.02	0.10	0.10	0.11	0.10	0.10	0.10
680	0.02	0.08	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09
690	0.02	0.08	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08
700	0.01	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.07

ตารางที่ ค-3 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	36.04	23.33	23.44	23.04	23.90	24.66	23.25
410	39.96	24.54	24.61	24.27	25.13	26.03	24.54
420	43.32	25.78	25.96	25.73	26.40	27.37	25.85
430	45.47	27.13	27.33	27.12	27.83	28.75	27.34
440	46.60	28.37	28.55	28.38	29.17	30.03	28.74
450	47.54	29.45	29.62	29.50	30.32	31.12	29.89
460	48.47	30.38	30.56	30.46	31.32	32.09	30.91
470	49.55	31.24	31.46	31.36	31.32	32.99	31.84
480	50.66	32.02	32.28	32.21	31.32	33.80	32.66
490	51.76	32.58	32.90	32.87	31.32	34.41	33.26
500	53.46	33.37	33.78	33.78	31.32	35.28	34.08
510	55.52	34.57	35.13	35.14	31.32	36.55	35.38
520	57.62	36.15	36.89	36.87	31.32	38.19	37.08
530	59.79	37.99	38.88	38.82	31.32	40.05	39.01
540	61.64	39.71	40.73	40.64	31.32	41.80	40.82
550	63.46	41.50	42.60	42.50	31.32	43.59	42.67
560	65.11	43.40	44.58	44.44	31.32	45.45	44.61
570	66.67	45.07	46.32	46.17	31.32	47.11	46.34
580	68.22	46.66	47.97	47.81	31.32	48.67	47.97
590	69.86	48.29	49.67	49.54	31.32	50.29	49.66
600	71.42	49.95	51.37	51.27	31.32	51.91	51.34
610	72.89	51.68	53.13	53.09	31.32	53.60	53.07
620	74.43	53.53	55.02	55.03	31.32	55.39	54.95
630	75.92	55.35	56.85	56.93	31.32	57.16	56.78
640	77.33	57.13	58.67	58.81	31.32	58.90	58.61
650	78.62	58.94	60.47	60.67	31.32	60.63	60.37
660	79.54	60.46	61.97	62.23	31.32	62.11	61.88
670	80.65	62.12	63.58	63.89	31.32	63.68	63.46
680	81.86	64.06	65.53	65.91	31.32	65.54	65.41
690	82.83	65.56	67.10	67.50	31.32	67.01	66.94
700	83.71	67.16	68.68	69.16	31.32	68.51	68.54

ตารางที่ ค-4 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.57	1.26	1.25	1.29	1.27	1.15	1.27
410	0.45	1.16	1.15	1.18	1.16	1.05	1.16
420	0.37	1.07	1.06	1.07	1.06	0.96	1.06
430	0.33	0.98	0.97	0.98	0.97	0.88	0.97
440	0.31	0.90	0.89	0.90	0.88	0.82	0.88
450	0.29	0.85	0.84	0.84	0.82	0.76	0.82
460	0.27	0.80	0.79	0.79	0.77	0.72	0.77
470	0.26	0.76	0.75	0.75	0.73	0.68	0.73
480	0.24	0.72	0.71	0.71	0.69	0.65	0.69
490	0.22	0.70	0.68	0.69	0.67	0.63	0.67
500	0.20	0.67	0.65	0.65	0.64	0.59	0.64
510	0.18	0.62	0.60	0.60	0.59	0.55	0.59
520	0.16	0.56	0.54	0.54	0.53	0.50	0.53
530	0.14	0.51	0.48	0.48	0.48	0.45	0.48
540	0.12	0.46	0.43	0.43	0.43	0.41	0.43
550	0.11	0.41	0.39	0.39	0.39	0.37	0.39
560	0.09	0.37	0.34	0.35	0.34	0.33	0.34
570	0.08	0.33	0.31	0.31	0.31	0.30	0.31
580	0.07	0.30	0.28	0.28	0.28	0.27	0.28
590	0.07	0.28	0.25	0.26	0.26	0.25	0.26
600	0.06	0.25	0.23	0.23	0.23	0.22	0.23
610	0.05	0.23	0.21	0.21	0.20	0.20	0.21
620	0.04	0.20	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
630	0.04	0.18	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
640	0.03	0.16	0.15	0.14	0.14	0.14	0.15
650	0.03	0.14	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
660	0.03	0.13	0.12	0.11	0.12	0.12	0.12
670	0.02	0.12	0.10	0.10	0.11	0.10	0.11
680	0.02	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
690	0.02	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08
700	0.02	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07

ตารางที่ ค-5 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	36.31	22.23	23.20	23.60	21.69	23.89	22.94
410	40.14	23.34	24.41	24.74	22.93	25.14	24.10
420	43.38	24.60	25.56	25.95	24.20	26.42	25.36
430	45.45	25.92	26.79	27.22	25.61	27.83	26.77
440	46.54	27.12	27.95	28.39	26.97	29.14	28.09
450	47.42	28.14	28.98	29.40	28.10	30.30	29.25
460	48.32	29.04	29.89	30.29	29.09	31.28	30.23
470	49.38	29.92	30.74	31.14	30.00	32.15	31.11
480	50.48	30.70	31.49	31.90	30.81	32.92	31.87
490	51.59	31.33	32.08	32.47	31.41	33.43	32.38
500	53.31	32.22	32.86	33.27	32.22	34.21	33.12
510	55.40	33.49	34.04	34.49	33.45	35.37	34.29
520	57.57	35.09	35.57	36.06	35.03	36.91	35.85
530	59.78	36.94	37.33	37.89	36.85	38.68	37.69
540	61.67	38.70	39.03	39.65	38.61	40.39	39.46
550	63.53	40.50	40.78	41.42	40.41	42.18	41.29
560	65.23	42.40	42.64	43.31	42.34	44.07	43.25
570	66.78	44.08	44.26	45.00	44.03	45.76	44.99
580	68.36	45.68	45.84	46.60	45.63	47.33	46.63
590	69.99	47.36	47.44	48.26	47.28	48.95	48.29
600	71.53	49.04	49.07	49.92	48.96	50.60	49.98
610	73.03	50.80	50.77	51.62	50.71	52.31	51.72
620	74.51	52.68	52.59	53.47	52.61	54.14	53.57
630	75.99	54.57	54.40	55.29	54.46	55.95	55.37
640	77.39	56.42	56.19	57.09	56.31	57.70	57.19
650	78.61	58.24	57.99	58.89	58.14	59.48	58.98
660	79.43	59.82	59.54	60.44	59.72	61.01	60.51
670	80.50	61.49	61.18	62.08	61.37	62.61	62.12
680	81.76	63.53	63.15	64.03	63.38	64.52	64.03
690	82.79	65.14	64.70	65.55	64.94	66.01	65.53
700	83.68	66.82	66.35	67.14	66.58	67.57	67.12

ตารางที่ ค-6 ค่า K/S ของผ้าที่ย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.56	1.36	1.27	1.24	1.41	1.21	1.29
410	0.45	1.26	1.17	1.14	1.30	1.11	1.20
420	0.37	1.16	1.08	1.06	1.19	1.02	1.10
430	0.33	1.06	1.00	0.97	1.08	0.94	1.00
440	0.31	0.98	0.93	0.90	0.99	0.86	0.92
450	0.29	0.92	0.87	0.85	0.92	0.80	0.86
460	0.28	0.87	0.82	0.80	0.86	0.75	0.81
470	0.26	0.82	0.78	0.76	0.82	0.72	0.76
480	0.24	0.78	0.75	0.73	0.78	0.68	0.73
490	0.23	0.75	0.72	0.70	0.75	0.66	0.71
500	0.20	0.71	0.69	0.67	0.71	0.63	0.68
510	0.18	0.66	0.64	0.62	0.66	0.59	0.63
520	0.16	0.60	0.58	0.57	0.60	0.54	0.57
530	0.14	0.54	0.53	0.51	0.54	0.49	0.52
540	0.12	0.49	0.48	0.46	0.49	0.44	0.46
550	0.10	0.44	0.43	0.41	0.44	0.40	0.42
560	0.09	0.39	0.39	0.37	0.39	0.35	0.37
570	0.08	0.35	0.35	0.34	0.36	0.32	0.34
580	0.07	0.32	0.32	0.31	0.32	0.29	0.31
590	0.06	0.29	0.29	0.28	0.29	0.27	0.28
600	0.06	0.26	0.26	0.25	0.27	0.24	0.25
610	0.05	0.24	0.24	0.23	0.24	0.22	0.23
620	0.04	0.21	0.21	0.20	0.21	0.19	0.20
630	0.04	0.19	0.19	0.18	0.19	0.17	0.18
640	0.03	0.17	0.17	0.16	0.17	0.16	0.16
650	0.03	0.15	0.15	0.14	0.15	0.14	0.14
660	0.03	0.13	0.14	0.13	0.14	0.12	0.13
670	0.02	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12
680	0.02	0.10	0.11	0.10	0.11	0.10	0.10
690	0.02	0.09	0.10	0.09	0.09	0.09	0.09
700	0.02	0.08	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08

ตารางที่ ค-7 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโคซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโคซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโคซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	38.88	23.15	23.16	23.15	22.62	23.28	22.62
410	43.16	24.37	24.27	24.37	23.76	24.41	23.76
420	46.88	25.61	25.55	25.61	25.11	25.67	25.11
430	49.17	26.91	26.81	26.91	26.45	26.96	26.45
440	50.37	28.07	27.96	28.07	27.72	28.16	27.72
450	51.29	29.10	28.98	29.10	28.82	29.22	28.82
460	52.24	30.01	29.88	30.01	29.81	30.17	29.81
470	53.37	30.88	30.74	30.88	30.76	31.07	30.76
480	54.56	31.67	31.56	31.67	31.66	31.92	31.66
490	55.70	32.29	32.18	32.29	32.34	32.55	32.34
500	57.47	33.12	33.00	33.12	33.22	33.41	33.22
510	59.62	34.25	34.16	34.25	34.51	34.58	34.51
520	61.72	35.63	35.61	35.63	36.11	36.06	36.11
530	63.79	37.23	37.25	37.25	37.90	37.71	37.90
540	65.48	38.70	38.76	38.76	39.52	39.21	39.21
550	67.13	40.15	40.27	40.27	41.15	40.71	40.71
560	68.57	41.75	41.88	41.88	42.84	42.30	42.30
570	69.92	43.15	43.31	43.31	44.37	43.72	43.72
580	71.32	44.54	44.71	44.71	45.86	45.10	45.10
590	72.79	46.01	46.22	46.22	47.42	46.58	46.58
600	74.19	47.51	47.74	47.74	49.01	48.11	48.11
610	75.52	49.10	49.35	49.35	50.71	49.74	49.74
620	76.88	50.83	51.09	51.09	52.56	51.49	51.49
630	78.21	52.54	52.81	52.81	54.34	53.25	53.25
640	79.54	54.23	54.55	54.55	56.16	55.00	55.00
650	80.70	55.99	56.33	56.33	57.99	56.82	56.82
660	81.46	57.51	57.89	57.89	59.57	58.36	58.36
670	82.45	59.10	59.52	59.10	61.23	60.01	60.01
680	83.54	61.04	61.46	61.04	63.19	61.98	61.98
690	84.47	62.59	62.99	62.59	64.76	63.55	63.55
700	85.21	64.23	64.63	64.23	66.40	65.22	65.22

ตารางที่ ค-8 ค่า K/S ของฝ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.48	1.28	1.27	1.28	1.32	1.26	1.32
410	0.37	1.17	1.18	1.17	1.22	1.17	1.22
420	0.30	1.08	1.08	1.08	1.12	1.08	1.12
430	0.26	0.99	1.00	0.99	1.02	0.99	1.02
440	0.24	0.92	0.93	0.92	0.94	0.92	0.94
450	0.23	0.86	0.87	0.86	0.88	0.86	0.88
460	0.22	0.82	0.82	0.82	0.83	0.81	0.83
470	0.20	0.77	0.78	0.77	0.78	0.76	0.78
480	0.19	0.74	0.74	0.74	0.74	0.73	0.74
490	0.18	0.71	0.71	0.71	0.71	0.70	0.71
500	0.16	0.68	0.68	0.68	0.67	0.66	0.67
510	0.14	0.63	0.63	0.63	0.62	0.62	0.62
520	0.12	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57
530	0.10	0.53	0.53	0.53	0.51	0.51	0.51
540	0.09	0.49	0.48	0.48	0.46	0.47	0.47
550	0.08	0.45	0.44	0.44	0.42	0.43	0.43
560	0.07	0.41	0.40	0.40	0.38	0.39	0.39
570	0.06	0.37	0.37	0.37	0.35	0.36	0.36
580	0.06	0.35	0.34	0.34	0.32	0.33	0.33
590	0.05	0.32	0.31	0.31	0.29	0.31	0.31
600	0.04	0.29	0.29	0.29	0.27	0.28	0.28
610	0.04	0.26	0.26	0.26	0.24	0.25	0.25
620	0.03	0.24	0.23	0.23	0.21	0.23	0.23
630	0.03	0.21	0.21	0.21	0.19	0.21	0.21
640	0.03	0.19	0.19	0.19	0.17	0.18	0.18
650	0.02	0.17	0.17	0.17	0.15	0.16	0.16
660	0.02	0.16	0.15	0.15	0.14	0.15	0.15
670	0.02	0.14	0.14	0.14	0.12	0.13	0.13
680	0.02	0.12	0.12	0.12	0.11	0.12	0.12
690	0.01	0.11	0.11	0.11	0.10	0.10	0.10
700	0.01	0.10	0.10	0.10	0.09	0.09	0.09

ตารางที่ ค-9 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	38.00	22.82	22.48	22.60	20.50	21.62	21.70
410	42.01	24.08	23.64	23.73	21.54	22.81	22.85
420	45.55	25.46	25.03	24.94	22.75	24.27	24.24
430	47.90	26.88	26.43	26.20	24.03	25.73	25.64
440	49.16	28.11	27.69	27.40	25.19	27.01	26.89
450	50.17	29.15	28.71	28.39	26.21	28.07	27.95
460	51.16	30.06	29.61	29.26	27.09	29.00	28.88
470	52.29	30.91	30.45	30.10	27.94	29.89	29.74
480	53.40	31.74	31.26	30.85	28.74	30.73	30.56
490	54.42	32.37	31.90	31.43	29.36	31.42	31.22
500	56.06	33.27	32.82	32.21	30.19	32.37	32.12
510	58.11	34.53	34.11	33.42	31.39	33.67	33.37
520	60.17	36.09	35.70	35.00	32.85	35.23	34.91
530	62.25	37.82	37.45	36.77	34.54	36.94	36.62
540	63.96	39.43	39.10	38.39	36.09	38.54	38.22
550	65.63	41.08	40.76	40.05	37.67	40.16	39.80
560	67.13	42.83	42.54	41.84	39.36	41.86	41.52
570	68.51	44.39	44.11	43.42	40.85	43.38	43.02
580	69.97	45.92	45.65	44.96	42.31	44.89	44.49
590	71.50	47.51	47.25	46.55	43.87	46.50	46.07
600	72.91	49.11	48.86	48.15	45.48	48.11	47.68
610	74.26	50.76	50.50	49.82	47.16	49.83	49.36
620	75.68	52.59	52.29	51.63	48.99	51.67	51.20
630	77.07	54.35	54.05	53.41	50.83	53.53	53.03
640	78.39	56.11	55.81	55.16	52.68	55.38	54.86
650	79.49	57.83	57.52	56.88	54.55	57.23	56.73
660	80.14	59.26	58.98	58.34	56.22	58.80	58.31
670	81.11	60.82	60.56	59.93	57.96	60.51	60.03
680	82.39	62.87	62.56	61.94	60.04	62.63	62.07
690	83.47	64.52	64.19	63.57	61.72	64.32	63.69
700	84.36	66.22	65.86	65.27	63.49	66.06	65.42

ตารางที่ ค-10 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.51	1.31	1.34	1.33	1.54	1.42	1.41
410	0.40	1.20	1.23	1.23	1.43	1.31	1.30
420	0.33	1.09	1.12	1.13	1.31	1.18	1.18
430	0.28	0.99	1.02	1.04	1.20	1.07	1.08
440	0.26	0.92	0.94	0.96	1.11	0.99	0.99
450	0.25	0.86	0.89	0.90	1.04	0.92	0.93
460	0.23	0.81	0.84	0.86	0.98	0.87	0.88
470	0.22	0.77	0.79	0.81	0.93	0.82	0.83
480	0.20	0.73	0.76	0.77	0.88	0.78	0.79
490	0.19	0.71	0.73	0.75	0.85	0.75	0.76
500	0.17	0.67	0.69	0.71	0.81	0.71	0.72
510	0.15	0.62	0.64	0.66	0.75	0.65	0.67
520	0.13	0.57	0.58	0.60	0.69	0.60	0.61
530	0.11	0.51	0.52	0.54	0.62	0.54	0.55
540	0.10	0.47	0.47	0.49	0.57	0.49	0.50
550	0.09	0.42	0.43	0.45	0.52	0.45	0.46
560	0.08	0.38	0.39	0.40	0.47	0.40	0.41
570	0.07	0.35	0.35	0.37	0.43	0.37	0.38
580	0.06	0.32	0.32	0.34	0.39	0.34	0.35
590	0.06	0.29	0.29	0.31	0.36	0.31	0.32
600	0.05	0.26	0.27	0.28	0.33	0.28	0.29
610	0.04	0.24	0.24	0.25	0.30	0.25	0.26
620	0.04	0.21	0.22	0.23	0.27	0.23	0.23
630	0.03	0.19	0.20	0.20	0.24	0.20	0.21
640	0.03	0.17	0.17	0.18	0.21	0.18	0.19
650	0.03	0.15	0.16	0.16	0.19	0.16	0.17
660	0.02	0.14	0.14	0.15	0.17	0.14	0.15
670	0.02	0.13	0.13	0.13	0.15	0.13	0.13
680	0.02	0.11	0.11	0.12	0.13	0.11	0.12
690	0.02	0.10	0.10	0.10	0.12	0.10	0.10
700	0.01	0.09	0.09	0.09	0.10	0.09	0.09

ตารางที่ ค-11 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	36.81	18.97	21.40	21.01	18.92	21.38	21.02
410	40.57	20.01	22.55	22.13	19.95	22.45	22.01
420	43.88	21.31	23.84	23.48	21.20	23.63	23.23
430	46.06	22.61	25.20	24.93	22.52	24.89	24.52
440	47.24	23.77	26.39	26.17	23.71	26.07	25.73
450	48.17	24.71	27.38	27.16	24.69	27.08	26.75
460	49.10	25.52	28.22	28.03	25.57	27.95	27.66
470	50.15	26.29	29.01	28.83	26.37	28.73	28.46
480	51.20	27.03	29.75	29.55	27.12	29.44	29.19
490	52.21	27.65	30.33	30.12	27.70	29.93	29.76
500	53.80	28.50	31.18	30.96	28.52	30.67	30.54
510	55.73	29.72	32.34	32.18	29.70	31.72	31.71
520	57.72	31.24	33.78	33.79	31.18	33.12	33.25
530	59.80	32.97	35.41	35.56	32.83	34.72	35.02
540	61.54	34.59	36.97	37.23	34.39	36.23	36.65
550	63.24	36.23	38.55	38.95	35.97	37.80	38.32
560	64.80	38.01	40.28	40.80	37.66	39.48	40.13
570	66.26	39.63	41.82	42.44	39.18	40.99	41.72
580	67.80	41.19	43.34	44.06	40.69	42.46	43.26
590	69.45	42.83	44.90	45.70	42.25	43.99	44.87
600	71.00	44.49	46.47	47.38	43.88	45.55	46.51
610	72.44	46.23	48.13	49.11	45.59	47.21	48.21
620	73.94	48.12	49.95	51.00	47.48	49.01	50.04
630	75.49	49.98	51.76	52.83	49.36	50.81	51.85
640	76.95	51.90	53.53	54.67	51.27	52.61	53.65
650	78.16	53.77	55.28	56.46	53.20	54.40	55.44
660	78.95	55.38	56.69	57.98	54.84	55.92	56.93
670	80.04	57.10	58.25	59.58	56.61	57.56	58.53
680	81.46	59.26	60.43	61.68	58.78	59.61	60.58
690	82.68	61.02	62.26	63.38	60.53	61.27	62.24
700	83.65	62.86	64.08	65.15	62.38	63.00	63.94

ตารางที่ ค-12 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.54	1.73	1.44	1.48	1.74	1.45	1.48
410	0.44	1.60	1.33	1.37	1.61	1.34	1.38
420	0.36	1.45	1.22	1.25	1.46	1.23	1.27
430	0.32	1.32	1.11	1.13	1.33	1.13	1.16
440	0.29	1.22	1.03	1.04	1.23	1.05	1.07
450	0.28	1.15	0.96	0.98	1.15	0.98	1.00
460	0.26	1.09	0.91	0.92	1.08	0.93	0.95
470	0.25	1.03	0.87	0.88	1.03	0.88	0.90
480	0.23	0.98	0.83	0.84	0.98	0.85	0.86
490	0.22	0.95	0.80	0.81	0.94	0.82	0.83
500	0.20	0.90	0.76	0.77	0.90	0.78	0.79
510	0.18	0.83	0.71	0.71	0.83	0.73	0.74
520	0.15	0.76	0.65	0.65	0.76	0.68	0.67
530	0.14	0.68	0.59	0.58	0.69	0.61	0.60
540	0.12	0.62	0.54	0.53	0.63	0.56	0.55
550	0.11	0.56	0.49	0.48	0.57	0.51	0.50
560	0.10	0.51	0.44	0.43	0.52	0.46	0.45
570	0.09	0.46	0.40	0.39	0.47	0.42	0.41
580	0.08	0.42	0.37	0.36	0.43	0.39	0.37
590	0.07	0.38	0.34	0.32	0.39	0.36	0.34
600	0.06	0.35	0.31	0.29	0.36	0.33	0.31
610	0.05	0.31	0.28	0.26	0.32	0.30	0.28
620	0.05	0.28	0.25	0.24	0.29	0.27	0.25
630	0.04	0.25	0.22	0.21	0.26	0.24	0.22
640	0.03	0.22	0.20	0.19	0.23	0.21	0.20
650	0.03	0.20	0.18	0.17	0.21	0.19	0.18
660	0.03	0.18	0.17	0.15	0.19	0.17	0.16
670	0.02	0.16	0.15	0.14	0.17	0.16	0.15
680	0.02	0.14	0.13	0.12	0.14	0.14	0.13
690	0.02	0.12	0.11	0.11	0.13	0.12	0.11
700	0.02	0.11	0.10	0.09	0.11	0.11	0.10

ตารางที่ ค-13 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	40.48	22.42	23.80	22.94	20.39	20.23	22.41
410	44.57	23.58	24.94	24.08	21.35	21.32	23.69
420	48.37	24.92	26.14	25.38	22.48	22.56	24.98
430	50.83	26.28	27.40	26.66	23.71	23.92	26.33
440	52.15	27.53	28.60	27.89	24.87	25.17	27.59
450	53.21	28.59	29.63	28.89	25.86	26.23	28.63
460	54.23	29.52	30.55	29.81	26.73	27.16	29.56
470	55.35	30.40	31.39	30.68	27.52	28.02	30.45
480	56.40	31.18	32.14	31.45	28.23	28.77	31.25
490	57.37	31.77	32.65	32.03	28.72	29.32	31.85
500	58.94	32.60	33.41	32.83	29.41	30.07	32.66
510	60.80	33.74	34.51	33.91	30.41	31.17	33.82
520	62.68	35.15	35.92	35.26	31.71	32.59	35.23
530	64.62	36.77	37.55	36.80	33.21	34.20	36.83
540	66.20	38.29	39.08	38.25	34.66	35.73	38.31
550	67.76	39.84	40.67	39.74	36.12	37.25	39.85
560	69.11	41.49	42.37	41.35	37.72	38.91	41.47
570	70.39	42.95	43.89	42.76	39.12	40.37	42.93
580	71.70	44.41	45.35	44.16	40.54	41.81	44.36
590	73.10	45.91	46.85	45.67	42.00	43.34	45.85
600	74.43	47.49	48.41	47.24	43.52	44.92	47.38
610	75.70	49.16	50.01	48.90	45.16	46.59	49.02
620	77.01	50.97	51.75	50.72	46.95	48.43	50.80
630	78.36	52.77	53.43	52.52	48.76	50.27	52.56
640	79.64	54.57	55.12	54.36	50.59	52.14	54.35
650	80.73	56.40	56.85	56.24	52.49	54.03	56.19
660	81.44	58.03	58.36	57.91	54.19	55.76	57.83
670	82.45	59.72	59.98	59.64	55.98	57.50	59.54
680	83.57	61.68	61.82	61.66	58.00	59.55	61.51
690	84.47	63.23	63.31	63.21	59.57	61.17	63.03
700	85.24	64.92	64.89	64.92	61.33	62.92	64.69

ตารางที่ ค-14 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.44	1.34	1.22	1.29	1.55	1.57	1.34
410	0.34	1.24	1.13	1.20	1.45	1.45	1.23
420	0.28	1.13	1.04	1.10	1.34	1.33	1.13
430	0.24	1.03	0.96	1.01	1.23	1.21	1.03
440	0.22	0.95	0.89	0.93	1.13	1.11	0.95
450	0.21	0.89	0.84	0.88	1.06	1.04	0.89
460	0.19	0.84	0.79	0.83	1.00	0.98	0.84
470	0.18	0.80	0.75	0.78	0.95	0.92	0.79
480	0.17	0.76	0.72	0.75	0.91	0.88	0.76
490	0.16	0.73	0.69	0.72	0.88	0.85	0.73
500	0.14	0.70	0.66	0.69	0.85	0.81	0.69
510	0.13	0.65	0.62	0.64	0.80	0.76	0.65
520	0.11	0.60	0.57	0.59	0.74	0.70	0.60
530	0.10	0.54	0.52	0.54	0.67	0.63	0.54
540	0.09	0.50	0.47	0.50	0.62	0.58	0.50
550	0.08	0.45	0.43	0.46	0.56	0.53	0.45
560	0.07	0.41	0.39	0.42	0.51	0.48	0.41
570	0.06	0.38	0.36	0.38	0.47	0.44	0.38
580	0.06	0.35	0.33	0.35	0.44	0.40	0.35
590	0.05	0.32	0.30	0.32	0.40	0.37	0.32
600	0.04	0.29	0.27	0.29	0.37	0.34	0.29
610	0.04	0.26	0.25	0.27	0.33	0.31	0.27
620	0.03	0.24	0.22	0.24	0.30	0.27	0.24
630	0.03	0.21	0.20	0.21	0.27	0.25	0.21
640	0.03	0.19	0.18	0.19	0.24	0.22	0.19
650	0.02	0.17	0.16	0.17	0.22	0.20	0.17
660	0.02	0.15	0.15	0.15	0.19	0.18	0.15
670	0.02	0.14	0.13	0.14	0.17	0.16	0.14
680	0.02	0.12	0.12	0.12	0.15	0.14	0.12
690	0.01	0.11	0.11	0.11	0.14	0.12	0.11
700	0.01	0.09	0.09	0.09	0.12	0.11	0.10

ตารางที่ ค-15 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	37.80	21.80	22.36	21.00	21.12	19.46	21.20
410	41.79	23.00	23.61	22.17	22.15	20.44	22.36
420	45.31	24.22	24.86	23.34	23.42	21.61	23.48
430	47.58	25.58	26.16	24.64	24.76	22.80	24.70
440	48.80	26.83	27.35	25.87	25.97	23.90	25.85
450	49.76	27.81	28.35	26.84	26.97	24.84	26.82
460	50.68	28.69	29.19	27.70	27.85	25.66	27.67
470	51.74	29.46	29.97	28.45	28.66	26.43	28.44
480	52.77	30.13	30.66	29.12	29.38	27.13	29.13
490	53.78	30.61	31.22	29.60	29.93	27.69	29.62
500	55.39	31.36	31.99	30.34	30.74	28.45	30.36
510	57.29	32.38	33.03	31.33	31.80	29.46	31.44
520	59.21	33.66	34.36	32.59	33.15	30.69	32.83
530	61.19	35.18	35.88	34.06	34.70	32.14	34.44
540	62.85	36.65	37.37	35.50	36.20	33.53	36.00
550	64.51	38.21	38.91	37.02	37.77	34.95	37.60
560	65.98	39.91	40.59	38.68	39.46	36.51	39.33
570	67.35	41.41	42.09	40.17	40.97	37.90	40.88
580	68.83	42.87	43.54	41.60	42.44	39.29	42.38
590	70.38	44.39	45.07	43.10	43.98	40.75	43.95
600	71.86	45.95	46.64	44.63	45.57	42.32	45.55
610	73.24	47.58	48.29	46.25	47.22	43.99	47.24
620	74.68	49.36	50.08	48.05	49.04	45.84	49.09
630	76.17	51.12	51.87	49.81	50.85	47.70	50.92
640	77.60	52.89	53.66	51.60	52.68	49.62	52.77
650	78.83	54.69	55.49	53.41	54.56	51.64	54.65
660	79.62	56.21	57.11	55.00	56.19	53.47	56.30
670	80.72	57.86	58.85	56.72	57.95	55.35	58.05
680	81.99	59.95	60.87	58.80	59.97	57.50	60.09
690	83.09	61.60	62.49	60.47	61.59	59.20	61.73
700	84.00	63.36	64.22	62.26	63.31	61.05	63.46

ตารางที่ ค-16 ค่า K/S ของผ้าที่ย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.51	1.40	1.35	1.49	1.47	1.67	1.46
410	0.41	1.29	1.24	1.37	1.37	1.55	1.35
420	0.33	1.19	1.14	1.26	1.25	1.42	1.25
430	0.29	1.08	1.04	1.15	1.14	1.31	1.15
440	0.27	1.00	0.96	1.06	1.06	1.21	1.06
450	0.25	0.94	0.91	1.00	0.99	1.14	1.00
460	0.24	0.89	0.86	0.94	0.93	1.08	0.95
470	0.23	0.84	0.82	0.90	0.89	1.02	0.90
480	0.21	0.81	0.78	0.86	0.85	0.98	0.86
490	0.20	0.79	0.76	0.84	0.82	0.94	0.84
500	0.18	0.75	0.72	0.80	0.78	0.90	0.80
510	0.16	0.71	0.68	0.75	0.73	0.84	0.75
520	0.14	0.65	0.63	0.70	0.67	0.78	0.69
530	0.12	0.60	0.57	0.64	0.61	0.72	0.62
540	0.11	0.55	0.52	0.59	0.56	0.66	0.57
550	0.10	0.50	0.48	0.54	0.51	0.61	0.52
560	0.09	0.45	0.43	0.49	0.46	0.55	0.47
570	0.08	0.41	0.40	0.45	0.43	0.51	0.43
580	0.07	0.38	0.37	0.41	0.39	0.47	0.39
590	0.06	0.35	0.33	0.38	0.36	0.43	0.36
600	0.06	0.32	0.31	0.34	0.33	0.39	0.33
610	0.05	0.29	0.28	0.31	0.29	0.36	0.29
620	0.04	0.26	0.25	0.28	0.26	0.32	0.26
630	0.04	0.23	0.22	0.25	0.24	0.29	0.24
640	0.03	0.21	0.20	0.23	0.21	0.26	0.21
650	0.03	0.19	0.18	0.20	0.19	0.23	0.19
660	0.03	0.17	0.16	0.18	0.17	0.20	0.17
670	0.02	0.15	0.14	0.17	0.15	0.18	0.15
680	0.02	0.13	0.13	0.14	0.13	0.16	0.13
690	0.02	0.12	0.11	0.13	0.12	0.14	0.12
700	0.02	0.11	0.10	0.11	0.11	0.12	0.11

ตารางที่ ค-17 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโคซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโคซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโคซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	37.66	21.02	20.90	20.92	20.59	20.44	17.83
410	41.55	22.04	21.98	21.96	21.68	21.54	18.73
420	45.04	23.32	23.05	23.22	22.84	22.72	19.93
430	47.32	24.62	24.22	24.43	24.13	24.02	21.19
440	48.44	25.77	25.35	25.56	25.36	25.21	22.38
450	49.29	26.66	26.29	26.47	26.35	26.21	23.30
460	50.15	27.45	27.09	27.26	27.17	27.02	24.07
470	51.16	28.17	27.82	27.98	27.89	27.77	24.80
480	52.14	28.81	28.43	28.63	28.51	28.41	25.45
490	53.11	29.30	28.86	29.12	28.94	28.87	25.96
500	54.68	30.05	29.53	29.88	29.63	29.59	26.70
510	56.59	31.16	30.53	30.97	30.65	30.64	27.80
520	58.54	32.56	31.90	32.40	32.03	32.02	29.22
530	60.54	34.18	33.51	34.01	33.63	33.61	30.88
540	62.23	35.75	35.07	35.61	35.19	35.17	32.48
550	63.93	37.38	36.72	37.27	36.83	36.78	34.14
560	65.44	39.19	38.58	39.08	38.64	38.56	35.94
570	66.87	40.81	40.20	40.69	40.26	40.15	37.55
580	68.42	42.36	41.79	42.26	41.81	41.67	39.11
590	70.00	43.94	43.38	43.85	43.39	43.23	40.73
600	71.48	45.57	45.00	45.48	45.00	44.84	42.37
610	72.85	47.26	46.68	47.17	46.69	46.51	44.11
620	74.29	49.09	48.50	49.01	48.52	48.31	46.01
630	75.75	50.90	50.29	50.84	50.34	50.13	47.92
640	77.17	52.73	52.08	52.65	52.16	51.96	49.85
650	78.35	54.55	53.85	54.47	53.96	53.78	51.80
660	79.06	56.14	55.40	56.08	55.50	55.36	53.49
670	80.11	57.85	57.04	57.78	57.18	57.07	55.30
680	81.52	59.91	59.05	59.83	59.27	59.13	57.49
690	82.73	61.57	60.65	61.46	60.94	60.79	59.24
700	83.71	63.33	62.34	63.21	62.69	62.57	61.10

ตารางที่ ค-18 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.52	1.48	1.50	1.49	1.53	1.55	1.89
410	0.41	1.38	1.38	1.39	1.41	1.43	1.76
420	0.34	1.26	1.28	1.27	1.30	1.31	1.61
430	0.29	1.15	1.19	1.17	1.19	1.20	1.47
440	0.27	1.07	1.10	1.08	1.10	1.11	1.35
450	0.26	1.01	1.03	1.02	1.03	1.04	1.26
460	0.25	0.96	0.98	0.97	0.98	0.99	1.20
470	0.23	0.92	0.94	0.93	0.93	0.94	1.14
480	0.22	0.88	0.90	0.89	0.90	0.90	1.09
490	0.21	0.85	0.88	0.86	0.87	0.88	1.06
500	0.19	0.81	0.84	0.82	0.84	0.84	1.01
510	0.17	0.76	0.79	0.77	0.78	0.79	0.94
520	0.15	0.70	0.73	0.71	0.72	0.72	0.86
530	0.13	0.63	0.66	0.64	0.65	0.66	0.77
540	0.11	0.58	0.60	0.58	0.60	0.60	0.70
550	0.10	0.52	0.55	0.53	0.54	0.54	0.64
560	0.09	0.47	0.49	0.47	0.49	0.49	0.57
570	0.08	0.43	0.44	0.43	0.44	0.45	0.52
580	0.07	0.39	0.41	0.39	0.40	0.41	0.47
590	0.06	0.36	0.37	0.36	0.37	0.37	0.43
600	0.06	0.33	0.34	0.33	0.34	0.34	0.39
610	0.05	0.29	0.30	0.30	0.30	0.31	0.35
620	0.04	0.26	0.27	0.27	0.27	0.28	0.32
630	0.04	0.24	0.25	0.24	0.24	0.25	0.28
640	0.03	0.21	0.22	0.21	0.22	0.22	0.25
650	0.03	0.19	0.20	0.19	0.20	0.20	0.22
660	0.03	0.17	0.18	0.17	0.18	0.18	0.20
670	0.02	0.15	0.16	0.15	0.16	0.16	0.18
680	0.02	0.13	0.14	0.13	0.14	0.14	0.16
690	0.02	0.12	0.13	0.12	0.13	0.13	0.14
700	0.02	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.12

ตารางที่ ค-19 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	41.93	21.26	21.74	22.04	20.55	21.13	21.41
410	45.88	22.30	23.00	23.21	21.57	22.27	22.63
420	49.50	23.59	24.38	24.60	22.84	23.66	23.92
430	51.89	24.93	25.88	26.13	24.20	25.19	25.41
440	53.16	26.21	27.31	27.48	25.41	26.64	26.77
450	54.18	27.20	28.44	28.58	26.39	27.79	27.86
460	55.18	28.07	29.38	29.49	27.22	28.75	28.76
470	56.24	28.88	30.25	30.30	28.00	29.62	29.60
480	57.28	29.63	31.03	31.03	28.68	30.37	30.35
490	58.20	30.19	31.62	31.61	29.23	30.94	30.91
500	59.71	31.01	32.43	32.42	30.00	31.74	31.73
510	61.44	32.11	33.59	33.54	31.08	32.87	32.86
520	63.21	33.53	35.05	34.95	32.48	34.32	34.28
530	65.03	35.19	36.73	36.58	34.11	36.01	35.92
540	66.53	36.81	38.35	38.16	35.70	37.65	37.50
550	68.05	38.48	40.05	39.80	37.34	39.36	39.16
560	69.35	40.26	41.87	41.59	39.13	41.19	40.95
570	70.58	41.88	43.48	43.17	40.71	42.81	42.54
580	71.86	43.43	45.02	44.69	42.23	44.37	44.05
590	73.21	44.99	46.59	46.24	43.79	45.97	45.61
600	74.43	46.59	48.18	47.80	45.38	47.58	47.18
610	75.59	48.27	49.83	49.41	47.02	49.25	48.82
620	76.85	50.09	51.61	51.14	48.84	51.07	50.61
630	78.14	51.86	53.36	52.87	50.61	52.84	52.37
640	79.31	53.65	55.12	54.58	52.40	54.60	54.11
650	80.22	55.46	56.85	56.25	54.20	56.41	55.88
660	80.68	57.01	58.37	57.63	55.74	57.92	57.37
670	81.64	58.67	59.94	59.13	57.40	59.53	58.99
680	82.91	60.67	61.94	61.20	59.46	61.53	60.97
690	84.00	62.29	63.53	62.87	61.12	63.13	62.59
700	84.87	63.98	65.19	64.58	62.86	64.81	64.30

ตารางที่ ค-20 ค่า K/S ของผ้าที่ย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.40	1.46	1.41	1.38	1.54	1.47	1.44
410	0.32	1.35	1.29	1.27	1.43	1.36	1.32
420	0.26	1.24	1.17	1.16	1.30	1.23	1.21
430	0.22	1.13	1.06	1.04	1.19	1.11	1.09
440	0.21	1.04	0.97	0.96	1.09	1.01	1.00
450	0.19	0.97	0.90	0.89	1.03	0.94	0.93
460	0.18	0.92	0.85	0.84	0.97	0.88	0.88
470	0.17	0.88	0.80	0.80	0.93	0.84	0.84
480	0.16	0.84	0.77	0.77	0.89	0.80	0.80
490	0.15	0.81	0.74	0.74	0.86	0.77	0.77
500	0.14	0.77	0.70	0.70	0.82	0.73	0.73
510	0.12	0.72	0.66	0.66	0.76	0.69	0.69
520	0.11	0.66	0.60	0.61	0.70	0.63	0.63
530	0.09	0.60	0.54	0.55	0.64	0.57	0.57
540	0.08	0.54	0.50	0.50	0.58	0.52	0.52
550	0.08	0.49	0.45	0.46	0.53	0.47	0.47
560	0.07	0.44	0.40	0.41	0.47	0.42	0.43
570	0.06	0.40	0.37	0.37	0.43	0.38	0.39
580	0.06	0.37	0.34	0.34	0.40	0.35	0.36
590	0.05	0.34	0.31	0.31	0.36	0.32	0.32
600	0.04	0.31	0.28	0.29	0.33	0.29	0.30
610	0.04	0.28	0.25	0.26	0.30	0.26	0.27
620	0.03	0.25	0.23	0.23	0.27	0.23	0.24
630	0.03	0.22	0.20	0.21	0.24	0.21	0.22
640	0.03	0.20	0.18	0.19	0.22	0.19	0.19
650	0.02	0.18	0.16	0.17	0.19	0.17	0.17
660	0.02	0.16	0.15	0.16	0.18	0.15	0.16
670	0.02	0.15	0.13	0.14	0.16	0.14	0.14
680	0.02	0.13	0.12	0.12	0.14	0.12	0.12
690	0.02	0.11	0.10	0.11	0.12	0.11	0.11
700	0.01	0.10	0.09	0.10	0.11	0.10	0.10

ตารางที่ ค-21 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	39.40	20.29	19.18	19.88	19.18	20.04	19.14
410	43.09	21.33	20.13	20.78	20.13	21.09	20.16
420	46.42	22.48	21.35	21.83	21.35	22.18	21.30
430	48.59	23.71	22.67	22.95	22.67	23.47	22.56
440	49.78	24.85	23.90	23.99	23.90	24.69	23.72
450	50.72	25.77	24.85	24.85	24.85	25.68	24.67
460	51.64	26.53	25.66	25.61	25.66	26.49	25.47
470	52.68	27.21	26.38	26.29	26.38	27.21	26.21
480	53.61	27.82	27.01	26.91	27.01	27.80	26.85
490	54.52	28.26	27.48	27.35	27.48	28.22	27.32
500	55.99	28.96	28.18	28.00	28.18	28.86	28.03
510	57.71	29.85	29.13	28.84	29.13	29.69	28.99
520	59.44	30.95	30.33	29.89	30.33	30.83	30.19
530	61.29	32.23	31.75	31.13	31.75	32.23	31.62
540	62.88	33.52	33.17	32.40	33.17	33.64	33.04
550	64.45	34.90	34.62	33.73	34.62	35.14	34.52
560	65.86	36.41	36.23	35.24	36.23	36.81	36.16
570	67.17	37.76	37.66	36.57	37.66	38.29	37.61
580	68.57	39.08	39.06	37.89	39.06	39.71	39.03
590	70.03	40.46	40.51	39.27	40.51	41.17	40.50
600	71.38	41.88	42.02	40.70	42.02	42.65	42.02
610	72.67	43.37	43.61	42.25	43.61	44.19	43.61
620	74.02	45.04	45.38	43.97	45.38	45.89	45.37
630	75.41	46.70	47.15	45.70	47.15	47.58	47.13
640	76.72	48.43	48.94	47.47	48.94	49.30	48.93
650	77.78	50.15	50.81	49.35	50.81	51.03	50.78
660	78.42	51.68	52.46	51.02	52.46	52.55	52.42
670	79.43	53.36	54.23	52.80	54.23	54.16	54.17
680	80.83	55.44	56.30	54.87	56.30	56.14	56.23
690	82.05	57.12	57.95	56.52	57.95	57.72	57.88
700	83.07	58.94	59.75	58.33	59.75	59.43	59.70

ตารางที่ ค-22 ค่า K/S ของผ้าที่ย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.47	1.57	1.70	1.61	1.70	1.60	1.71
410	0.38	1.45	1.58	1.51	1.58	1.48	1.58
420	0.31	1.34	1.45	1.40	1.45	1.37	1.45
430	0.27	1.23	1.32	1.29	1.32	1.25	1.33
440	0.25	1.14	1.21	1.20	1.21	1.15	1.23
450	0.24	1.07	1.14	1.14	1.14	1.08	1.15
460	0.23	1.02	1.08	1.08	1.08	1.02	1.09
470	0.21	0.97	1.03	1.03	1.03	0.97	1.04
480	0.20	0.94	0.99	0.99	0.99	0.94	1.00
490	0.19	0.91	0.96	0.96	0.96	0.91	0.97
500	0.17	0.87	0.92	0.93	0.92	0.88	0.92
510	0.15	0.82	0.86	0.88	0.86	0.83	0.87
520	0.14	0.77	0.80	0.82	0.80	0.78	0.81
530	0.12	0.71	0.73	0.76	0.73	0.71	0.74
540	0.11	0.66	0.67	0.71	0.67	0.65	0.68
550	0.10	0.61	0.62	0.65	0.62	0.60	0.62
560	0.09	0.56	0.56	0.60	0.56	0.54	0.56
570	0.08	0.51	0.52	0.55	0.52	0.50	0.52
580	0.07	0.47	0.48	0.51	0.48	0.46	0.48
590	0.06	0.44	0.44	0.47	0.44	0.42	0.44
600	0.06	0.40	0.40	0.43	0.40	0.39	0.40
610	0.05	0.37	0.36	0.39	0.36	0.35	0.36
620	0.05	0.34	0.33	0.36	0.33	0.32	0.33
630	0.04	0.30	0.30	0.32	0.30	0.29	0.30
640	0.04	0.27	0.27	0.29	0.27	0.26	0.27
650	0.03	0.25	0.24	0.26	0.24	0.23	0.24
660	0.03	0.23	0.22	0.24	0.22	0.21	0.22
670	0.03	0.20	0.19	0.21	0.19	0.19	0.19
680	0.02	0.18	0.17	0.19	0.17	0.17	0.17
690	0.02	0.16	0.15	0.17	0.15	0.15	0.15
700	0.02	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14	0.14

ตารางที่ ค-23 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	37.49	19.85	19.56	18.42	18.42	17.18	17.29
410	41.03	20.86	20.45	19.32	19.32	18.04	18.11
420	44.06	21.97	21.63	20.56	20.56	19.14	19.20
430	46.06	23.20	22.91	21.95	21.95	20.42	20.43
440	47.16	24.35	24.08	23.25	23.25	21.61	21.59
450	48.04	25.26	24.99	24.25	24.25	22.52	22.50
460	48.94	26.01	25.74	25.03	25.03	23.27	23.24
470	49.92	26.68	26.40	25.74	25.74	23.92	23.87
480	50.85	27.27	26.96	26.36	26.36	24.52	24.41
490	51.75	27.70	27.40	26.81	26.81	24.95	24.82
500	53.18	28.38	28.04	27.52	27.52	25.61	25.38
510	54.83	29.30	28.94	28.51	28.51	26.55	26.24
520	56.50	30.49	30.10	29.79	29.79	27.81	27.44
530	58.30	31.94	31.49	31.31	31.31	29.30	28.87
540	59.84	33.38	32.90	32.85	32.85	30.80	30.33
550	61.42	34.93	34.39	34.46	34.46	32.38	31.87
560	62.85	36.65	36.03	36.25	36.25	34.15	33.61
570	64.19	38.15	37.50	37.84	37.84	35.71	35.15
580	65.59	39.61	38.92	39.35	39.35	37.24	36.64
590	67.07	41.11	40.36	40.91	40.91	38.77	38.15
600	68.47	42.63	41.81	42.47	42.47	40.32	39.66
610	69.80	44.21	43.34	44.08	44.08	41.94	41.27
620	71.22	45.96	45.04	45.87	45.87	43.72	43.04
630	72.69	47.70	46.72	47.68	47.68	45.51	44.81
640	74.03	49.45	48.42	49.46	49.46	47.31	46.58
650	75.15	51.21	50.10	51.25	51.25	49.14	48.38
660	75.84	52.73	51.52	52.81	52.81	50.74	49.93
670	76.86	54.42	53.10	54.50	54.50	52.47	51.61
680	78.45	56.51	55.19	56.61	56.61	54.60	53.72
690	79.81	58.18	56.91	58.34	58.34	56.31	55.44
700	80.99	59.98	58.73	60.14	60.14	58.16	57.26

ตารางที่ ค-24 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.52	1.62	1.65	1.81	1.81	2.00	1.98
410	0.42	1.50	1.55	1.68	1.68	1.86	1.85
420	0.36	1.39	1.42	1.53	1.53	1.71	1.70
430	0.32	1.27	1.30	1.39	1.39	1.55	1.55
440	0.30	1.18	1.20	1.27	1.27	1.42	1.42
450	0.28	1.11	1.13	1.18	1.18	1.33	1.33
460	0.27	1.05	1.07	1.12	1.12	1.27	1.27
470	0.25	1.01	1.03	1.07	1.07	1.21	1.21
480	0.24	0.97	0.99	1.03	1.03	1.16	1.17
490	0.22	0.94	0.96	1.00	1.00	1.13	1.14
500	0.21	0.90	0.92	0.95	0.95	1.08	1.10
510	0.19	0.85	0.87	0.90	0.90	1.02	1.04
520	0.17	0.79	0.81	0.83	0.83	0.94	0.96
530	0.15	0.73	0.75	0.75	0.75	0.85	0.88
540	0.13	0.66	0.68	0.69	0.69	0.78	0.80
550	0.12	0.61	0.63	0.62	0.62	0.71	0.73
560	0.11	0.55	0.57	0.56	0.56	0.63	0.66
570	0.10	0.50	0.52	0.51	0.51	0.58	0.60
580	0.09	0.46	0.48	0.47	0.47	0.53	0.55
590	0.08	0.42	0.44	0.43	0.43	0.48	0.50
600	0.07	0.39	0.40	0.39	0.39	0.44	0.46
610	0.07	0.35	0.37	0.35	0.35	0.40	0.42
620	0.06	0.32	0.34	0.32	0.32	0.36	0.38
630	0.05	0.29	0.30	0.29	0.29	0.33	0.34
640	0.05	0.26	0.27	0.26	0.26	0.29	0.31
650	0.04	0.23	0.25	0.23	0.23	0.26	0.28
660	0.04	0.21	0.23	0.21	0.21	0.24	0.25
670	0.03	0.19	0.21	0.19	0.19	0.22	0.23
680	0.03	0.17	0.18	0.17	0.17	0.19	0.20
690	0.03	0.15	0.16	0.15	0.15	0.17	0.18
700	0.02	0.13	0.15	0.13	0.13	0.15	0.16

ตารางที่ ค-25 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	40.61	22.24	21.63	21.29	21.22	19.78	19.89
410	44.14	23.36	22.88	22.32	22.33	20.92	21.01
420	47.33	24.58	24.27	23.73	23.50	22.21	22.21
430	49.44	25.97	25.83	25.26	24.91	23.71	23.59
440	50.69	27.31	27.26	26.68	26.26	25.12	24.90
450	51.72	28.37	28.31	27.76	27.30	26.20	25.92
460	52.66	29.19	29.17	28.61	28.13	27.06	26.75
470	53.72	29.91	29.95	29.37	28.89	27.83	27.50
480	54.66	30.51	30.62	30.02	29.53	28.50	28.15
490	55.47	30.93	31.13	30.50	29.96	29.00	28.63
500	56.85	31.58	31.91	31.24	30.62	29.76	29.37
510	58.45	32.44	32.96	32.26	31.58	30.82	30.45
520	60.10	33.59	34.29	33.58	32.87	32.23	31.88
530	61.86	35.02	35.85	35.15	34.43	33.85	33.55
540	63.33	36.44	37.37	36.67	35.95	35.46	35.18
550	64.84	37.97	38.99	38.31	37.58	37.16	36.89
560	66.19	39.65	40.74	40.08	39.35	39.00	38.75
570	67.43	41.16	42.30	41.65	40.93	40.64	40.42
580	68.71	42.59	43.79	43.18	42.44	42.19	41.99
590	70.03	44.03	45.29	44.68	43.95	43.78	43.58
600	71.28	45.46	46.80	46.21	45.45	45.36	45.16
610	72.47	46.95	48.37	47.79	47.02	47.01	46.81
620	73.76	48.58	50.08	49.49	48.71	48.79	48.58
630	75.04	50.17	51.75	51.19	50.38	50.54	50.33
640	76.19	51.76	53.42	52.87	52.06	52.28	52.07
650	77.12	53.33	55.08	54.55	53.71	54.06	53.81
660	77.70	54.67	56.50	55.99	55.16	55.57	55.34
670	78.65	56.16	58.10	57.59	56.75	57.25	57.00
680	80.00	58.12	60.07	59.57	58.69	59.24	59.00
690	81.16	59.71	61.66	61.17	60.24	60.84	60.62
700	82.23	61.39	63.36	62.88	61.89	62.56	62.36

ตารางที่ ค-26 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.43	1.36	1.42	1.45	1.46	1.63	1.61
410	0.35	1.26	1.30	1.35	1.35	1.49	1.48
420	0.29	1.16	1.18	1.23	1.25	1.36	1.36
430	0.26	1.06	1.06	1.11	1.13	1.23	1.24
440	0.24	0.97	0.97	1.01	1.04	1.12	1.13
450	0.23	0.90	0.91	0.94	0.97	1.04	1.06
460	0.21	0.86	0.86	0.89	0.92	0.98	1.00
470	0.20	0.82	0.82	0.85	0.88	0.94	0.96
480	0.19	0.79	0.79	0.82	0.84	0.90	0.92
490	0.18	0.77	0.76	0.79	0.82	0.87	0.89
500	0.16	0.74	0.73	0.76	0.79	0.83	0.85
510	0.15	0.70	0.68	0.71	0.74	0.78	0.79
520	0.13	0.66	0.63	0.66	0.69	0.71	0.73
530	0.12	0.60	0.57	0.60	0.62	0.65	0.66
540	0.11	0.55	0.52	0.55	0.57	0.59	0.60
550	0.10	0.51	0.48	0.50	0.52	0.53	0.54
560	0.09	0.46	0.43	0.45	0.47	0.48	0.48
570	0.08	0.42	0.39	0.41	0.43	0.43	0.44
580	0.07	0.39	0.36	0.37	0.39	0.40	0.40
590	0.06	0.36	0.33	0.34	0.36	0.36	0.37
600	0.06	0.33	0.30	0.31	0.33	0.33	0.33
610	0.05	0.30	0.28	0.29	0.30	0.30	0.30
620	0.05	0.27	0.25	0.26	0.27	0.27	0.27
630	0.04	0.25	0.22	0.23	0.24	0.24	0.25
640	0.04	0.22	0.20	0.21	0.22	0.22	0.22
650	0.03	0.20	0.18	0.19	0.20	0.20	0.20
660	0.03	0.19	0.17	0.17	0.18	0.18	0.18
670	0.03	0.17	0.15	0.16	0.16	0.16	0.16
680	0.03	0.15	0.13	0.14	0.15	0.14	0.14
690	0.02	0.14	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13
700	0.02	0.12	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11

ตารางที่ ค-27 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	38.41	19.05	20.09	20.52	16.89	17.90	16.01
410	41.46	20.00	21.23	21.64	17.83	18.82	16.87
420	44.13	21.16	22.47	22.84	18.87	19.96	17.93
430	46.00	22.49	23.92	24.19	20.10	21.30	19.09
440	47.18	23.71	25.25	25.46	21.34	22.55	20.19
450	48.26	24.66	26.25	26.43	22.26	23.50	21.03
460	49.23	25.43	27.02	27.22	23.01	24.26	21.73
470	50.23	26.09	27.70	27.87	23.63	24.92	22.36
480	51.15	26.68	28.31	28.47	24.18	25.51	22.93
490	51.93	27.11	28.77	28.91	24.60	25.95	23.39
500	53.13	27.74	29.47	29.61	25.18	26.62	24.04
510	54.53	28.58	30.38	30.47	26.00	27.45	24.86
520	56.02	29.61	31.50	31.53	27.07	28.50	25.92
530	57.68	30.85	32.82	32.78	28.35	29.76	27.16
540	59.14	32.14	34.15	34.05	29.68	31.07	28.41
550	60.63	33.48	35.57	35.40	31.08	32.43	29.73
560	62.08	35.00	37.13	36.89	32.65	33.97	31.22
570	63.37	36.37	38.54	38.24	34.07	35.34	32.57
580	64.67	37.67	39.87	39.53	35.45	36.67	33.89
590	66.03	39.04	41.27	40.86	36.84	38.07	35.26
600	67.40	40.42	42.66	42.24	38.26	39.50	36.69
610	68.74	41.90	44.15	43.70	39.77	41.03	38.23
620	70.17	43.54	45.79	45.32	41.43	42.70	39.92
630	71.59	45.17	47.43	46.93	43.11	44.40	41.64
640	72.90	46.86	49.09	48.57	44.79	46.14	43.46
650	73.99	48.55	50.78	50.27	46.53	47.96	45.37
660	74.78	50.08	52.28	51.79	48.08	49.62	47.15
670	75.93	51.79	53.95	53.50	49.82	51.42	49.05
680	77.44	53.82	55.98	55.49	51.92	53.48	51.20
690	78.73	55.45	57.60	57.06	53.62	55.16	52.94
700	79.92	57.25	59.39	58.82	55.48	57.00	54.86

ตารางที่ ค-28 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.49	1.72	1.59	1.54	2.04	1.88	2.20
410	0.41	1.60	1.46	1.42	1.89	1.75	2.05
420	0.35	1.47	1.34	1.30	1.74	1.60	1.88
430	0.32	1.34	1.21	1.19	1.59	1.45	1.71
440	0.30	1.23	1.11	1.09	1.45	1.33	1.58
450	0.28	1.15	1.04	1.02	1.36	1.25	1.48
460	0.26	1.09	0.99	0.97	1.29	1.18	1.41
470	0.25	1.05	0.94	0.93	1.23	1.13	1.35
480	0.23	1.01	0.91	0.90	1.19	1.09	1.30
490	0.22	0.98	0.88	0.87	1.16	1.06	1.25
500	0.21	0.94	0.84	0.84	1.11	1.01	1.20
510	0.19	0.89	0.80	0.79	1.05	0.96	1.14
520	0.17	0.84	0.74	0.74	0.98	0.90	1.06
530	0.16	0.77	0.69	0.69	0.91	0.83	0.98
540	0.14	0.72	0.63	0.64	0.83	0.76	0.90
550	0.13	0.66	0.58	0.59	0.76	0.70	0.83
560	0.12	0.60	0.53	0.54	0.69	0.64	0.76
570	0.11	0.56	0.49	0.50	0.64	0.59	0.70
580	0.10	0.52	0.45	0.46	0.59	0.55	0.64
590	0.09	0.48	0.42	0.43	0.54	0.50	0.59
600	0.08	0.44	0.39	0.39	0.50	0.46	0.55
610	0.07	0.40	0.35	0.36	0.46	0.42	0.50
620	0.06	0.37	0.32	0.33	0.41	0.38	0.45
630	0.06	0.33	0.29	0.30	0.38	0.35	0.41
640	0.05	0.30	0.26	0.27	0.34	0.31	0.37
650	0.05	0.27	0.24	0.25	0.31	0.28	0.33
660	0.04	0.25	0.22	0.22	0.28	0.26	0.30
670	0.04	0.22	0.20	0.20	0.25	0.23	0.26
680	0.03	0.20	0.17	0.18	0.22	0.20	0.23
690	0.03	0.18	0.16	0.16	0.20	0.18	0.21
700	0.03	0.16	0.14	0.14	0.18	0.16	0.19

ตารางที่ ค-29 ค่าการสะท้อนแสงของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายโคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย โคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	37.42	19.56	20.37	19.08	14.92	15.44	14.92
410	40.52	20.59	21.46	20.05	15.72	16.19	15.72
420	43.24	21.69	22.64	21.09	16.90	17.21	16.90
430	45.04	23.03	24.02	22.36	18.22	18.36	18.22
440	46.22	24.26	25.28	23.58	19.44	19.49	19.44
450	47.21	25.26	26.22	24.48	20.32	20.32	20.32
460	48.13	26.01	26.96	25.22	21.03	21.03	21.03
470	49.10	26.65	27.57	25.83	21.63	21.59	21.63
480	49.96	27.17	28.12	26.33	22.21	22.08	22.21
490	50.75	27.57	28.58	26.73	22.67	22.48	22.67
500	51.97	28.12	29.24	27.29	23.38	23.03	23.38
510	53.43	28.92	30.14	28.08	24.35	23.84	24.35
520	54.99	29.95	31.27	29.11	25.56	24.95	24.95
530	56.71	31.24	32.62	30.40	27.00	26.30	26.30
540	58.22	32.58	33.99	31.72	28.49	27.70	27.70
550	59.78	34.02	35.45	33.15	30.01	29.19	29.19
560	61.24	35.67	37.08	34.77	31.74	30.86	30.86
570	62.58	37.11	38.53	36.20	33.28	32.38	32.38
580	63.92	38.51	39.94	37.60	34.76	33.83	33.83
590	65.31	39.92	41.34	38.98	36.26	35.29	35.29
600	66.65	41.32	42.73	40.37	37.76	36.76	36.76
610	67.96	42.78	44.20	41.83	39.33	38.29	38.29
620	69.39	44.36	45.81	43.43	41.05	39.98	39.98
630	70.81	45.95	47.39	45.03	42.78	41.67	42.78
640	72.10	47.55	48.97	46.63	44.55	43.40	44.55
650	73.12	49.12	50.58	48.24	46.36	45.15	46.36
660	73.81	50.49	51.97	49.65	47.99	46.72	47.99
670	74.92	52.04	53.54	51.23	49.80	48.47	49.80
680	76.52	54.00	55.51	53.23	51.93	50.55	51.93
690	77.91	55.57	57.10	54.87	53.64	52.22	53.64
700	79.19	57.28	58.80	56.63	55.49	54.04	55.49

ตารางที่ ค-30 ค่า K/S ของผ้าย้อมที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายไคโตซานความเข้มข้นร้อยละ 0.75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส นาน 90 นาที

ความยาวคลื่น (นาโนเมตร)	ผ้าที่ไม่ผ่าน การปรับปรุง	ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลต่ำ			ผ้าที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย ไคโตซานน้ำหนักโมเลกุลปานกลาง		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3
400	0.52	1.65	1.56	1.72	2.43	2.32	2.43
410	0.44	1.53	1.44	1.59	2.26	2.17	2.26
420	0.37	1.41	1.32	1.48	2.04	1.99	2.04
430	0.34	1.29	1.20	1.35	1.84	1.82	1.84
440	0.31	1.18	1.10	1.24	1.67	1.66	1.67
450	0.30	1.11	1.04	1.16	1.56	1.56	1.56
460	0.28	1.05	0.99	1.11	1.48	1.48	1.48
470	0.26	1.01	0.95	1.06	1.42	1.42	1.42
480	0.25	0.98	0.92	1.03	1.36	1.37	1.36
490	0.24	0.95	0.89	1.00	1.32	1.34	1.32
500	0.22	0.92	0.86	0.97	1.26	1.29	1.26
510	0.20	0.87	0.81	0.92	1.18	1.22	1.18
520	0.18	0.82	0.76	0.86	1.08	1.13	1.13
530	0.17	0.76	0.70	0.80	0.99	1.03	1.03
540	0.15	0.70	0.64	0.73	0.90	0.94	0.94
550	0.14	0.64	0.59	0.67	0.82	0.86	0.86
560	0.12	0.58	0.53	0.61	0.73	0.77	0.77
570	0.11	0.53	0.49	0.56	0.67	0.71	0.71
580	0.10	0.49	0.45	0.52	0.61	0.65	0.65
590	0.09	0.45	0.42	0.48	0.56	0.59	0.59
600	0.08	0.42	0.38	0.44	0.51	0.54	0.54
610	0.08	0.38	0.35	0.40	0.47	0.50	0.50
620	0.07	0.35	0.32	0.37	0.42	0.45	0.45
630	0.06	0.32	0.29	0.34	0.38	0.41	0.38
640	0.05	0.29	0.27	0.31	0.35	0.37	0.35
650	0.05	0.26	0.24	0.28	0.31	0.33	0.31
660	0.05	0.24	0.22	0.26	0.28	0.30	0.28
670	0.04	0.22	0.20	0.23	0.25	0.27	0.25
680	0.04	0.20	0.18	0.21	0.22	0.24	0.22
690	0.03	0.18	0.16	0.19	0.20	0.22	0.20
700	0.03	0.16	0.14	0.17	0.18	0.20	0.18