



รายงานวิจัย

เรื่อง

การดัดแปรผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์
และซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยใช้วิธีทางเคมีสีเขียว

Modification of Cotton Fabric Dyeing Natural Dye Using Chitosan,
ZnO and Ag Nanoparticles by Green Chemistry Methods

ผศ.ดร.สุตกมล ลาโสภา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

มิถุนายน พ.ศ. 2560

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

รายงานวิจัย

เรื่อง

การดัดแปรผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์
และซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยใช้วิธีทางเคมีสีเขียว

Modification of Cotton Fabric Dyeing Natural Dye Using Chitosan,
ZnO and Ag Nanoparticles by Green Chemistry Methods

ผศ.ดร.สุดกมล ลาโสภา

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร
จากงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558
มิถุนายน พ.ศ. 2560
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

ชื่อโครงการวิจัย การดัดแปรผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติด้วยไคโตซาน ชิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโน
โดยใช้วิธีทางเคมีสีเขียว

ผู้ทำวิจัย ผศ.ดร.สุดกมล ลาโสภา

ปีการศึกษา 2558

บทคัดย่อ

การปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติด้วยไคโตซาน ชิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโนด้วยวิธีทางเคมีสีเขียว ไคโตซานสกัดได้จากเปลือกกุ้งขาว *Litopenaeus vannamei*. ชิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโน เตรียมโดยใช้สารสกัดธรรมชาติจากพืชท้องถิ่นเป็นสารรีดิวซ์ และยืนยันสารที่สังเคราะห์ได้ด้วยโครงสร้าง หมู่ฟังก์ชัน และสัณฐานวิทยา โดยใช้เอกซ์เรย์ ดิฟแฟรกชัน ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี และสแกนนิ่ง อิเล็กตรอน สเปกโทรสโกปี ตามลำดับ ไคโตซานมีเปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิลเป็น 79.47 ชิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยที่คำนวณจากเอกซ์เรย์ ดิฟแฟรกชันด้วยสมการของ Debye-Scherrer มีค่าเท่ากับ 112.8 และ 143.0 นาโนเมตร ตามลำดับ สารสังเคราะห์ทางชีวภาพของไคโตซาน ชิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโนนำมาปรับปรุงผ้าฝ้ายที่ 60 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ภายใต้การสั่นด้วยคลื่นเสียงจากนั้นบ่มที่ 150 องศาเซลเซียส คุณสมบัติการย้อมผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารสังเคราะห์ทางชีวภาพพบว่าความเข้มสี การยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* การป้องกันแสงยูวี ความคงทนของสีต่อแสงแดด และการซักล้าง ให้ผลใกล้เคียงกับเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารสังเคราะห์ทางเคมีชนิดเดียวกัน นอกจากนั้นศึกษาการใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงของผ้าฝ้าย พบว่าเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน และชิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และเมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนให้ผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงดังกล่าวเมื่อไม่ใช้สารเชื่อมโยง

TITLE Modification of Cotton Fabric Dyeing Natural Dye Using Chitosan, ZnO and Ag Nanoparticles by Green Chemistry Methods

AUTHOR Prof Dr Sudkamon Lasopha

YEAR 2015

ABSTRACT

Modification of cotton fabric dyeing natural dye with chitosan (CS), zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) and silver nanoparticles (Ag NPs) are prepared with help of green chemistry method. CS was extracted from white shrimp shell *Litopenaeus vannamei*. ZnO NPs and Ag NPs were prepared using the natural extract of local plant as the reducing agent. The structural, functional and morphological analysis of these synthesis results were confirmed by X-ray diffraction, UV spectra analysis and scanning electron microscopy, respectively. The CS obtained showed 79.47% degree of deacetylation. The ZnO NPs and Ag NPs average particle size was calculate as 112.8 nm and 143.0 nm, respectively considering XRD data by Debye-Scherrer's formula. The biosynthesized CS, ZnO NPs and Ag NPs were modified on the cotton fabric at 60°C for 30 minutes under ultrasonic technique and cure at 150°C. The dyeing properties of the modified cotton fabric with biosynthesized product was discussed. The results indicated that the color intensity (K/S), antibacterial activity *Staphylococcus aureus*, UV protection properties, the color fastness of sunlight and color fastness to washing as well as in comparison with chemical synthesized product. In the addition, the study of polyethylene glycol (PEG) and polyethyleneimine (PEI) as crosslinking agent in the modification of cotton fabric, it was show that addition of PEG as crosslink agent of cotton-CS and cotton-ZnO NPs and PEI as crosslink agent of cotton-Ag NPs provided better properties when compare with these modified cotton fabric without crosslink agent.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ในการวิจัย และขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ที่ทุ่มเทกำลังกายและใจในการทำวิจัย และขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ให้การอุปการะอบรมเลี้ยงดู ตลอดจนส่งเสริมการศึกษา และให้กำลังใจเป็นอย่างดี ขอขอบคุณลูก ๆ ที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณเจ้าของเอกสาร หนังสือ ตำรา และงานวิจัยทุกท่านที่ผู้วิจัยศึกษาค้นคว้า ได้นำมาอ้างอิงในการวิจัย จนกระทั่งงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ท้ายนี้ขอขอบคุณ ผู้ที่เกี่ยวข้องในการให้ทุนสนับสนุนการวิจัยสำหรับบุคลากรมหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนครประจำปีงบประมาณ 2558 ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัยในครั้งนี้

สุดกมล ลาโสภา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ ภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อ ภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญ	(4)
สารบัญตาราง	(6)
สารบัญภาพ	(9)

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผ้าฝ้าย	3
2.2 สีย้อมธรรมชาติ	4
2.3 สารปรับปรุง	9
2.4 สารเชื่อมโยง	19
2.5 ทฤษฎีการย้อมสี	20
2.6 วิธีในการย้อมสีธรรมชาติ	21
2.7 ปัจจัยที่สำคัญในการย้อมสี	22
2.8 แบคทีเรีย	22
2.9 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	23
2.10 การทดสอบสมบัติผ้าฝ้าย	26
2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	32

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุ และสารเคมี	38
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	40
3.2.1 การเตรียมตัวอย่างในการทดลอง	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2.2 การสังเคราะห์สารปรับปรุง	41
3.2.3 การทดสอบสมบัติของสารปรับปรุง	45
3.2.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงและการย้อมสีธรรมชาติ	46
3.2.5 การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงชนิดต่าง ๆ	48
3.2.6 การทดสอบสมบัติผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง	50
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 การสังเคราะห์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์	52
4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้าย และการย้อมสีธรรมชาติ	78
4.3 การปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุง และการพิสูจน์เอกลักษณ์	88
4.4 ทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายหลังปรับปรุงย้อมสีธรรมชาติ	134
4.5 ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง	143
4.6 ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนอินมีนเป็นสารเชื่อมโยง	149
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ	
5.1 การสังเคราะห์สารปรับปรุงและตรวจสอบเอกลักษณ์	154
5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้าย	155
5.3 การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงและสารเชื่อมโยง และทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง	156
บรรณานุกรม	168
ประวัตินักวิจัย	171

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ความแตกต่างของสีเทียบกับอัตราความคงทนของสี	30
2.2 อัตราความคงทนของสี	31
4.1 ผลการสกัดไคโตซาน	53
4.2 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของไคโตซาน	56
4.3 ลักษณะทางกายภาพของไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต	57
4.4 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของไคซานและไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต	60
4.5 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ	65
4.6 แสดงหมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	69
4.7 แสดงหมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของสารสกัดจากพืชก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต	73
4.8 ความเข้มข้นของสารปรับปรุงและสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	88
4.9 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยไคโตซานและไคโตซาน คอมโพสิต	92
4.10 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ	97
4.11 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	101
4.12 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วย Ag อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ	105
4.13 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	109
4.14 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-พอลิเอทิลีนไกลคอล	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.15 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยดิวทิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และดิวทิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนไกลคอล	120
4.16 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยดิวทิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนไกลคอล	126
4.17 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	132
4.18 ความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน โคโตซาน-ดิวทิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสี น้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	134
4.19 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรีโซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน โคโตซาน-ดิวทิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	135
4.20 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปื้อนติดสีบนผ้าขาวของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย โคโตซาน โคโตซาน-ดิวทิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	135
4.21 ความคงทนของสีต่อแสงของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน โคโตซาน-ดิวทิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	136
4.22 ความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุง ดิวทิงค์ออกไซด์สังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจาก เส้นใยมะพร้าวแก่	138
4.23 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรีโซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยดิวทิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางชีวภาพ	138
4.24 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปื้อนติดสีบนผ้าขาวของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย ดิวทิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	139
4.25 ความคงทนของสีต่อแสงแดดของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยดิวทิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางชีวภาพ ย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	139
4.26 ความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยดิวทิงค์ออกไซด์สังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจาก เส้นใยมะพร้าวแก่	140
4.27 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรีโซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยดิวทิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางเคมี	141

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.28 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปื้อนติดสีบนผ้าขาวของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	142
4.29 ความคงทนของสีต่อแสงแดดของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางชีวภาพ ย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	142
4.30 ผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วย CS, ZnO NPs, CS-ZnO NPs เมื่อใช้และไม่ใช้ PEG น้ำย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	144
4.31 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรีซอนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโน เมื่อใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนเอมีน	144
4.32 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรีซอนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโน เมื่อใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนเอมีนก่อนและหลังการซักล้าง	145
4.33 ความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าฝ้ายที่ผ่าน การปรับปรุงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	146
4.34 การเปื้อนติดสีบนผ้าขาวผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	146
4.35 ความคงทนของสีต่อแสงแดดของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	147
4.36 % ความแตกต่างของความเข้มสี โทนสี ความสว่าง และความสดสีของสีของตัวอย่าง ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยวิธีต่าง ๆ	149
4.37 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยรีซอนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อใช้ พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง	150
4.38 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการตกติดสีบนผ้าขาว Multifiberของผ้าฝ้ายที่ผ่าน การปรับปรุงย้อมด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงย้อม สีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	151
4.39 ความคงทนของสีต่อแสงแดดของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงย้อมด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	152
5.1 ร้อยละผลผลิตและขนาดอนุภาคของสารปรับปรุง	154
5.2 ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้าย ความเข้มสี ความสว่าง ความสดสี โทนสี ของผ้าฝ้าย ที่ผ่านการปรับปรุงต่าง ๆ	156
5.3 การยับยั้งแบคทีเรีย ความคงทนต่อการซักล้างและแสงแดด และการป้องกันแสงยูวีของผ้า ฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงต่าง ๆ	158

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส	3
2.2 โครงสร้างของแทนนิน	5
2.3 เส้นใยมะพร้าวแก่	6
2.4 ต้นนนทรีและเปลือกแก่ของต้นนนทรี	7
2.5 ลักษณะโครงสร้างโมเลกุลของคลอโรฟิลล์	7
2.6 ลักษณะสเปกตรัมดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์เอ บี และแคโรทีนอยด์	8
2.7 ต้นสาบเสือ และใบสาบเสือ	9
2.8 ต้นเพกา และเปลือกต้นเพกาปั่นละเอียด	10
2.9 โครงสร้างของไคโตซาน	11
2.10 กุ้งขาว	14
2.11 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และพิกัดเตตระฮีดรัลของ $Zn^{2+}-O^{2-}$	16
2.12 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนไกลคอล	19
2.13 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนอิมิน	20
2.14 โครงสร้างของแบคทีเรีย	23
2.15 หลักการทำงานของเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์	24
2.16 หลักการทำงานของเครื่อง FT-IR spectrometer	24
2.17 หลักการทำงานของเครื่อง Scanning Electron Microscope	25
2.18 หลักการทำงานของเครื่องเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟร็กโทสโกปี (X-ray Diffractoscopy)	26
2.19 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ	27
2.20 Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV- 1800	27
4.1 กราฟแสดงการไตเตรตค้นหา %DD	53
4.2 อินฟราเรด สเปกตรัมของไคโตซาน	55
4.3 XRD pettern ของไคโตซานมาตรฐาน ไคติน และไคโตซานสังเคราะห์	56
4.4 อินฟราเรด สเปกตรัมของไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต	59
4.5 XRD pettern ของซิงค์ออกไซด์ ไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์คอมโพสิต	61
4.6 พื้นผิวของไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต	62
4.7 น้ำหนักตะกอนซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ	63
4.8 สเปกตรัมอินฟราเรดของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน	64
4.9 การดูดกลืนแสงของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ	66

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ภาพพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน	66
4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน	67
4.12 สเปกตรัมอินฟราเรดของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน	68
4.13 XRD pattern ของ ZnO NPs	69
4.14 พื้นผิวของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน	70
4.15 น้ำหนักตะกอนซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ	71
4.16 อินฟราเรด สเปกตรัมก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต	72
4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ	74
4.18 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ที่เวลาต่าง ๆ	74
4.19 แสดงพื้นผิวของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ทางชีวภาพ	75
4.20 อินฟราเรดสเปกตรัมของซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์เคมี	76
4.21 ยูวี สเปกตรัมของซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	76
4.22 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้	77
4.23 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายย้อมสีโทนสีน้ำตาล	79
4.24 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายย้อมสีโทนสีเขียว	80
4.25 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ	81
4.26 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน	82
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ	83
4.28 ปริมาณแทนนินและอนุกรมในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยน้ำย้อมจากเส้นใยมะพร้าวแก่ โดยใช้เทคนิคการสั่นด้วยคลื่นเสียง	84
4.29 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยเทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง ในเวลาต่าง ๆ	84
4.30 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงที่ปริมาณต่าง ๆ	85
4.31 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงที่ปริมาณต่าง ๆ	86

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.32 สีผ้าฝ้ายหลังย้อมจากเส้นใยมะพร้าวแก่เมื่อไม่ใช้สารช่วยยึดติดและใช้สารช่วยยึดติดทางชีวภาพ	87
4.33 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตที่เตรียมโดยวิธีต่าง ๆ	89
4.34 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต	92
4.35 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต	94
4.36 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพเปรียบเทียบกับที่ไม่ปรับปรุง	95
4.37 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ	96
4.38 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่าน และผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน	98
4.39 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	98
4.40 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	100
4.41 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	102
4.42 การเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมี	103
4.43 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ	104
4.44 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์ อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ	105
4.45 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่าน และที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน	106
4.46 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	107

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.47 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	108
4.48 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี	110
4.49 การเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมี	110
4.50 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซานเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล	111
4.51 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และพอลิเอทิลีนไกลคอล	113
4.52 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน	115
4.53 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานที่ไม่ใช้และใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล	116
4.54 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานเมื่อไม่ใช้และใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล	117
4.55 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล	118
4.56 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล	119
4.57 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่าน และที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs	121
4.58 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs-PEG และ ZnO NPs	122
4.59 พื้นผิวของผ้าฝ้ายไม่ผ่าน และผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs และ ZnO NPs-PEG	123
4.60 ปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และผ่านการปรับปรุงด้วย CS- ZnO NPs และ CS-ZnO NPs –PEG	124
4.61 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วย CS-PEG, ZnO nano-PEG และ CS-ZnO nano-PEG	126
4.62 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG, ZnO nano-PEG และ CS-ZnO nano-PEG	128

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.63 ภาพพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG, ZnO NPs-PEG และ CS-ZnO NPs-PEG	129
4.64 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงด้วย CS และ ZnO NPs	130
4.65 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงด้วย Ag NPs Ag NPs-PEI	130
4.66 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วย Ag NPs	131
4.67 ภาพพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุง Ag NPs, PEI และ Ag NPs-PEI	133
4.68 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	137
4.69 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	140
4.70 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	143
4.71 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงเมื่อมีพอลิเอทิลีนเอมีนเป็นสารเชื่อมโยงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่	148
4.72 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อมีและไม่มีพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง	152
5.1 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ไคโตซาน-สีย้อม	159
5.2 แผนภาพแสดงการเคลือบของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนบนเส้นใยเซลลูโลสโดยวิธีการสั่นแบบคลื่นเสียง	160
5.3 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน-สีย้อม	161
5.4 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์-สีย้อม	162
5.5 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ซิลเวอร์อนุภาคนาโน-สีย้อม	163
5.6 พันธะระหว่างไคโตซานกับพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นต่ำและความเข้มข้นสูง	164
5.7 พันธะในระบบที่มี ZnO-PEG ในตัวทำละลายน้ำ และพันธะไฮโดรเจนระหว่าง Zn(OH)_2 กับ PEG และอันตรกิริยาของไอออนระหว่างของ PEG กับ H_2O	165
5.8 โมเดลแสดงการผลึกกันด้วยแรงทางไฟฟ้า	165
5.9 แผนภาพอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ซิลเวอร์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนอิมิน-สีย้อม	166

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ประเทศไทยกำลังก้าวเข้าสู่การเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียนการแข่งขันด้านอุตสาหกรรมสิ่งทอและเครื่องนุ่งห่มมีความสำคัญ กอปรกับโลกที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วทำให้วิถีคิดและความเป็นอยู่ของคนรุ่นใหม่ห่างไกลจากความเป็นธรรมชาติมากขึ้น ความต้องการสิ่งที่เป็นธรรมชาติจึงเป็นกระแสหลักของทุกธุรกิจ ส่งผลให้ธุรกิจผ้าฝ้ายอมสีที่เน้นแนวคิด Eco-friendly (ย้อมสีธรรมชาติ) ได้รับความนิยมและมีความโดดเด่น เนื่องจากการย้อมสีธรรมชาติเป็นเสน่ห์ของภูมิปัญญาไทยที่สืบทอดกันมาแต่อดีต แหล่งวัตถุดิบสีธรรมชาติหาได้ง่ายในท้องถิ่น ผู้สวมใส่จะไม่เกิดอาการแพ้ และของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ผ้าฝ้ายอมสีธรรมชาติเป็นสินค้าที่สร้างชื่อเสียงให้จังหวัดสกลนคร และจังหวัดอื่น ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นอย่างมาก แต่ด้วยผ้าฝ้ายอมสีธรรมชาติมีข้อด้อยกล่าวคือให้เฉดสีอ่อน ไม่สามารถควบคุมให้ได้เฉดสีตามต้องการ มีความคงทนของสีต่อแสง การซัก และการขัดถูน้อย ดังนั้นจึงมีนักวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสนใจศึกษาการปรับปรุงผ้าฝ้ายอมสีธรรมชาติ ซึ่งสรุปได้เป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ 1 การใช้สารช่วยยึดติดทำให้ผ้าฝ้ายอมสีติดสีธรรมชาติได้ดีขึ้น ความทนทานของสีต่อแสง การซัก ล้างยังดีเท่าที่ควร และผ้าฝ้ายอมสีธรรมชาติจะเกิดการซีดจางได้ง่าย แนวทางที่ 2 การปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้ายด้วยสารอินทรีย์ เช่น ไคโตซาน และสารอนินทรีย์ เช่น โลหะอนุภาคนาโน สามารถแก้ปัญหาได้ดีกว่าแนวทางแรก และยังสามารถช่วยเพิ่มสมบัติพิเศษบางประการให้กับผ้าฝ้ายได้ แต่ด้วยเทคนิคในการปรับปรุงพื้นผิวมีประสิทธิภาพไม่ดีทำให้ต้องใช้สารเคมีราคาแพงจำนวนมาก อีกทั้งผลิตภัณฑ์และของเสียที่จะเกิดขึ้นไม่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

นักวิจัยให้ความสนใจในการพัฒนาวิธีการปรับปรุงผ้าฝ้ายอมสีธรรมชาติ ดังนั้นจึงเลือกวิจัยการใช้สารปรับปรุงที่สังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีทางเคมีสีเขียวเปรียบเทียบกับวิธีทางเคมี ศึกษาเทคนิคในการปรับปรุง ร่วมกับการใช้สารเชื่อมโยง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุง ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการย้อมสีธรรมชาติ โดยมุ่งเน้นการแก้ไขปัญหาผ้าฝ้ายอมสีธรรมชาติในเรื่องของเฉดสี ความคงทนของสี และเพื่อเพิ่มจุดเด่นให้กับผ้าฝ้ายอมสีธรรมชาติในเรื่องของการต้านแบคทีเรีย การป้องกันรังสียูวี ความคงทนต่อการดึง การกระแทก และการระบายอากาศ อีกทั้งมุ่งเน้นการนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงในชุมชน นักวิจัยคาดหวังงานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางหนึ่งในการเพิ่มมูลค่า สร้างความหลากหลายให้เกิดขึ้น กับผลิตภัณฑ์นอกเหนือจากการสวมใส่ เช่นการนำไปใช้ทำเฟอร์นิเจอร์ ตลอดจนความสามารถในการแข่งขันกับกลุ่มอาเซียน

1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อสังเคราะห์สารปรับปรุง ได้แก่ ไคโตซาน ชิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโน ด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (ทางชีวภาพ) เปรียบเทียบกับวิธีทางเคมี และตรวจสอบเอกลักษณ์ของสารปรับปรุงสังเคราะห์
- 2) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุง และสารเชื่อมโยงย้อมของสีธรรมชาติ
- 3) เพื่อศึกษาสารปรับปรุงและสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน ชิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโน และยืนยันผลการปรับปรุง
- 4) เพื่อทดสอบสมบัติบางประการของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงย้อมสีธรรมชาติ

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่

ส่วนที่ 1 การสังเคราะห์สารปรับปรุง

- 1) การสังเคราะห์ไคโตซานจากเปลือกกุ้ง
- 2) การสังเคราะห์ชิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโน ทางชีวภาพ และทางเคมี
- 3) ตรวจสอบเอกลักษณ์เพื่อยืนยันสมบัติของสารสังเคราะห์

ส่วนที่ 2 การปรับปรุงผ้าฝ้าย

- 1) สารปรับปรุงผ้าฝ้าย 3 ชนิด คือไคโตซาน ชิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโน
- 2) วิธีการ และสภาวะในการปรับปรุงผ้าฝ้าย
- 3) ทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง

ส่วนที่ 3 ผ้าฝ้ายหลังปรับปรุงย้อมสีธรรมชาติ

- 1) สีธรรมชาติ ได้แก่ พืชที่ให้โทนสีเขียว และสีน้ำตาล โทนสีละ 2 ตัวอย่าง
- 2) วิธีการย้อม และเทคนิคในการย้อม
- 3) ทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายหลังปรับปรุงย้อมสีธรรมชาติ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) มีผลิตภัณฑ์ผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติที่มีคุณสมบัติพิเศษสร้างความหลากหลายในการใช้งาน เกิดขึ้นกับชุมชนในจังหวัดสกลนคร
- 2) สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่ให้ชาวบ้าน ส่งเสริมอุตสาหกรรมในระดับท้องถิ่น และระดับประเทศ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

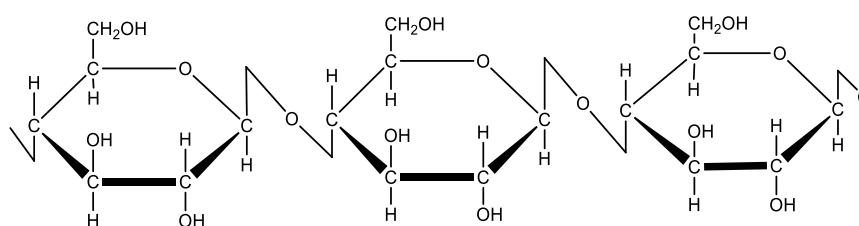
งานวิจัยศึกษาการปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติโดยใช้สารปรับปรุงของไคโตซาน ซึ่งค็อกไกไซด์ อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโน และใช้สารเชื่อมโยงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงผ้าฝ้าย ย้อมสีธรรมชาติ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยนำเสนอในหัวข้อ ผ้าฝ้าย สีย้อมธรรมชาติ สารปรับปรุง สารเชื่อมโยง วิธีในการย้อมสีธรรมชาติ ปัจจัยที่สำคัญในการย้อมสี หลักการทำงานของเครื่องมือ และการทดสอบสมบัติของผ้าฝ้าย

2.1 ผ้าฝ้าย

2.1.1 ลักษณะทั่วไป

ชื่อไทย ฝ้าย ชื่อสามัญ cotton ชื่อวิทยาศาสตร์ *Gossypium spp* ชื่อพฤกษศาสตร์ *Gossypium hirsutum* L. ชื่อวงศ์ MALVACEAE ฝ้ายเป็นต้นพุ่มเตี้ย ๆ สูงประมาณ 2-5 ฟุตเป็นไม้ล้มลุก เมื่อดอกฝ้ายบานและแก่กลายเป็นผล ใยฝ้ายจะเริ่มงอกออกจากเมล็ดฝ้าย ผลฝ้ายแก่จัดจะแตกเป็นปุยสีขาวพร้อมที่จะเก็บเกี่ยวได้ ฝ้ายที่เก็บแล้วจะนำไปหีบเอาปุยฝ้ายออกจากเมล็ดและเปลือก เครื่องจะช่วยแยกหรือเขย่าเอาสิ่งสกปรกออกไปฝ้ายที่ผ่านการคัดเลือกแล้วจะนำถูกมาปั่นเป็นด้าย และทอเป็นผืนผ้าซึ่งมีลักษณะพิเศษหลายประการ คือนุ่มสบายมือ สามารถดูดซึมได้ดี ติดสีง่าย มีความแข็งแรง จึงนิยมนำมาเย็บเป็นเสื้อผ้า และเครื่องใช้สอยต่าง ๆ ได้ดี

ฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลส ซึ่งเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งเกิดจากกลูโคส ยึดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนมีสูตรเป็น $(C_6H_{10}O_5)_n$ โครงสร้างทางเคมีของเซลลูโลสมีความสำคัญต่อคุณสมบัติของเส้นใย ในโมเลกุลของเซลลูโลสจะเกิดจากหน่วยโมเลกุลซ้ำยึดจับกันเป็นสายยาว หน่วยโมเลกุลซ้ำคือ เซลโลไบโอส เกิดจากปฏิกิริยาของกลูโคส 2 โมเลกุลยึดเกาะกันด้วยพันธะ $-C-O-C-$ ในโมเลกุลเซลลูโลสจะมีหมู่ไฮดรอกซิล ($-OH$) อยู่มากมายจะทำหน้าที่ดึงดูดน้ำ หรือเกิดปฏิกิริยากับหมู่ธาตุอื่น ๆ การจัดเรียงตัวกันของโมเลกุลเซลลูโลสมีความเป็นระเบียบค่อนข้างมากคือร้อยละ 85-95 และระหว่างสายโมเลกุลจะมีการยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจนเป็นระยะ ๆ ซึ่งมีผลทำให้เส้นใยเซลลูโลสมีความเหนียว และแข็งแรงค่อนข้างสูง



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส

2.1.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย

สีของเส้นใยฝ้ายปกติมีสีขาว มีความเงามันเล็กน้อย เนื่องจากมีไขเป็นองค์ประกอบรูปร่างแบนเหมือนริบบิ้นที่พันกันเป็นเกลียวประมาณ 40 – 200 รอบต่อเซนติเมตร ทำให้ผิวเส้นใยไม่เรียบ มีความเหนียวปานกลาง และเมื่อผ่านกระบวนการเมอร์เซอไรเซชันจะมีความเหนียวทนต่อแรงดึงได้ถึง 8000 – 12000 ปอนด์/นิ้ว โดยมีการคืนตัวได้น้อย ส่วนความยืดหยุ่นของฝ้ายดีกว่าผ้าลินินแต่น้อยกว่าไหม และขนสัตว์ ทนความร้อนได้ดี สามารถรีดได้ที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียส

2.1.3 สมบัติทางเคมี

ฝ้ายมีความคงทนต่อสารฟอกขาวทุกชนิด รวมไปถึงเมื่อถูกกรดแก่ เช่น กรดเกลือ กรดซัลฟิวริก ใยฝ้ายจะเป็นสารเหนียวหนืดหรือเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดไนตริกจะได้เซลลูโลส ไนเตรตซึ่งเป็นวัตถุระเบิด กรดอ่อน เช่น กรดซิตริก กรดอะซิติกจะไม่ทำลายผ้าฝ้าย ส่วนสารที่เป็นตัวออกซิไดส์อย่างแรง เช่น ด่างทับทิม โซเดียมไฮโปคลอไรด์ สามารถเปลี่ยนผ้าฝ้ายเป็นออกซีเซลลูโลสที่มีความเหนียวลดลง ดังนั้นการซักผ้าฝ้ายที่ใช้ซักฟอกมากเกินไปอาจจะทำให้ผ้าฝ้ายขาดง่ายและเมื่อโดนแสงแดด รังสีอัลตราไวโอเลต แสงแดดสามารถทำให้เซลลูโลสในผ้าฝ้ายเปลี่ยนเป็นออกซีเซลลูโลสได้

2.1.4 สมบัติทางชีวภาพ

ฝ้ายที่อยู่ในสภาพเปียกชื้น และอับจะไม่ทนต่อเชื้อเห็ดรา ราดำจะขึ้นบนผ้าฝ้ายได้ง่ายทำให้เกิดจุดดำฝังแน่นในเส้นใย แบคทีเรียจะทำให้เสื้อผ้าที่หมักแช่ไว้นาน ๆ มีกลิ่นเหม็น และเปื่อยขาดได้ง่าย ตัวมอด ตัวด้วงไม่กัดกินฝ้ายแต่แมลงบางชนิด เช่น ตัวสามง่าม (Silverfish) จะชอบกัดกินฝ้าย โดยเฉพาะผ้าที่ลงแป้ง

2.2 สีย้อมธรรมชาติ

สีธรรมชาติคือสีที่สกัดได้จากวัตถุดิบที่มาจาก พืช สัตว์ และแร่ธาตุต่าง ๆ ซึ่งเกิดขึ้นจากกระบวนการตามธรรมชาติ แหล่งวัตถุดิบของสีธรรมชาติสามารถหาได้จากต้นไม้ ใบไม้ และจากบางส่วนของสัตว์หลายชนิด วัสดุแต่ละชนิดที่นำมาสกัดทำสีย้อมผ้าจากธรรมชาติ มีการติดสี และความคงทนต่อการซักถูหรือแสงไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบภายในของพืช และเส้นใยของผ้าที่นำมาใช้ย้อม จึงมีการใช้สารประกอบต่าง ๆ มาเป็นตัวช่วยในการทำให้เส้นใย ดูดซับสีให้สีเกาะเส้นใยได้แน่นขึ้น มีความทนทานต่อแสง และการซักถูเพิ่มขึ้น ซึ่งเรียกว่า สารช่วยย้อม และสารช่วยให้สีติด สารเหล่านี้นอกจากจะเป็นตัวจับย้อมสีและเพิ่มการติดสีในเส้นใยแล้วยังช่วยเปลี่ยนเฉดสีให้เข้มจาง หรือสดใส สว่างขึ้นได้ทีนิยมใช้กัน ได้แก่ น้ำปูนใส น้ำต่าง (น้ำขี้เถ้า) กรด (น้ำมะนาว น้ำมะขามเปียก น้ำใบ/ผักสัปปะย) น้ำบาดาล น้ำโคลน (บ่อที่มีน้ำขังตลอดปี) ส่วนสารช่วยให้สีติด ได้แก่ สารฟาด (พืชที่มีรสฝาดและขม) โปรตีนจากน้ำอ้วเหลียง และเกลือแกง เป็นต้น การย้อมสีธรรมชาติสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตนเอง สามารถถ่ายทอดให้แก่คนรุ่นหลังเป็นภูมิปัญญาของท้องถิ่น ทำให้เห็นคุณค่าและรู้จักใช้ประโยชน์ เพื่อการผลิตที่ยั่งยืนต่อไป

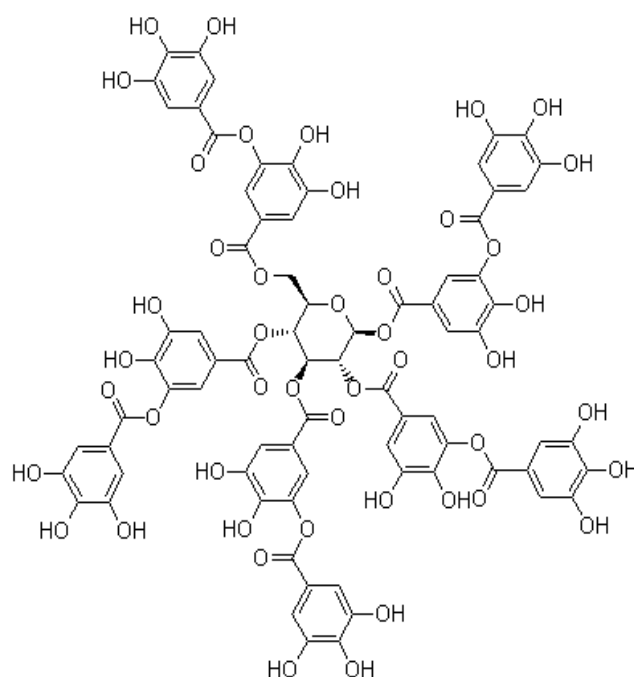
2.2.1 สัณนิษฐานของโตนินน้ำตาล

โตนินน้ำตาล มีองค์ประกอบหลัก คือ แทนนิน

แทนนิน (tannin) มีสูตรโมเลกุลคือ $C_{75}H_{52}O_{46}$ เป็นสารสีน้ำตาลแดง เป็นสารพอลิฟีนอล (polyphenol) ที่มีโมเลกุลใหญ่และมีโครงสร้างซับซ้อน เป็นกรดอ่อน ประกอบด้วย gallic acid จำนวน 9 โมเลกุล และ น้ำตาลกลูโคส จำนวน 1 โมเลกุล แบ่งออกเป็น 2 ชนิดได้แก่

1) คอนเดนส์แทนนิน (condensed tannins) หรือ proanthocyanidine เป็นพอลิเมอร์ของกลุ่มสาร flavonoid ตั้งแต่สองตัวขึ้นไปเชื่อมต่อกันด้วยพันธะระหว่าง คาร์บอนกับคาร์บอน เช่น procyanidin B-1, epicatechin tetramer เป็นต้น

2) กลุ่มไฮโดรไลเซเบิลแทนนิน (hydrolysable tannin) มีโครงสร้างที่มีหมู่ไฮดรอกซิลมาก ตัวแทนมักเป็นน้ำตาลกลูโคส หมู่ไฮดรอกซิลบางตำแหน่งเชื่อมต่อกันด้วยพันธะ ester กับ gallic acid ได้เป็น Gallo tannins หรือเชื่อมต่อกับ hexahydroxydiphenic acid ได้เป็น ellagitannins เช่น 1,2,3,4,6-pentagalloyl- β -D-glucose, agrimonic acid เป็นต้น



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของแทนนิน

สารประกอบแทนนินจะทำปฏิกิริยากับโปรตีนทำให้ตกตะกอนออกจากน้ำพบได้ในพืชที่มีรสฝาด ใช้เป็นยาฝาดสมาน ยาแก้ท้องเสีย มีฤทธิ์ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ช่วยรักษาแผลไหม้ ใช้ในอุตสาหกรรมฟอกหนัง สมุนไพรที่มีแทนนิน เช่น เปลือกทับทิม เปลือกอบเชย และใบฝรั่ง เป็นต้น สูตรโครงสร้าง ดังภาพที่ 2.2

งานวิจัยศึกษาสัณฐานชาติโทมนสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ และเปลือกต้นนนทรี

2.2.1.1 มะพร้าว

ชื่อสามัญ Coconut ชื่อวิทยาศาสตร์ *Cocos nucifera* Linn. ชื่อวงศ์ PALMAE ชื่อพื้นเมือง ดุง (จันทบุรี) เอ็ดดุง (เพชรบูรณ์) โพล (กาญจนบุรี) คอสำ (แม่ฮ่องสอน) พรวัว (นครศรีธรรมราช)

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นไม้ยืนต้น สูง 7 - 10 เมตร ผลมีลักษณะเป็นรูปทรงกลมหรือรูปรี มีขนาดยาว 8 - 14 นิ้ว เส้นผ่านศูนย์กลาง 8 - 9.5 นิ้ว เปลือกนอกเรียบเกลี้ยง ผลอ่อนมีสีเขียวเมื่อผลแก่สีน้ำตาล เปลือกชั้นกลางเป็นเส้นใยนุ่ม ชั้นในจะแข็งเป็นกะลา ชั้นต่อไปเป็นเนื้อผลมีสีขาวขุ่น และภายในมีน้ำใสมีรสจืดหรือรสหวาน ส่วนที่ให้สีคือ เส้นใยมะพร้าวแก่ซึ่งให้สีน้ำตาลแดง มีลักษณะเป็นเส้นใยนุ่ม เปลือกที่นำมาต้องเป็นเปลือกที่แก่เต็มที่ มีสีน้ำตาล ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 เส้นใยมะพร้าวแก่

2.2.1.2 นนทรี

ชื่อสามัญ Yellow flamboyant ชื่อวิทยาศาสตร์ *Peltophorum ferrugineum* Benth. ชื่อวงศ์ CAESALPINIACEAE ชื่อพื้นเมือง กระถินป่า กระถินแดง (ตราด) สารเงิน (แม่ฮ่องสอน) อะราง ราง ตาเซ็ก คางฮง

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์เป็นไม้ต้นขนาดกลาง สูง 10 - 20 เมตร ผลัดใบ แต่ไม่ผลัดพร้อมกันทั้งต้น เรือนยอดรูปทรงกลมหรือรูปไข่ ทรงพุ่มแน่นทึบ ลำต้นค่อนข้างตรง แตกกิ่งก้านต่ำที่ความสูง 2 - 3 เมตร กิ่งอ่อนมีขนสีน้ำตาลแดง ดังภาพที่ 2.4

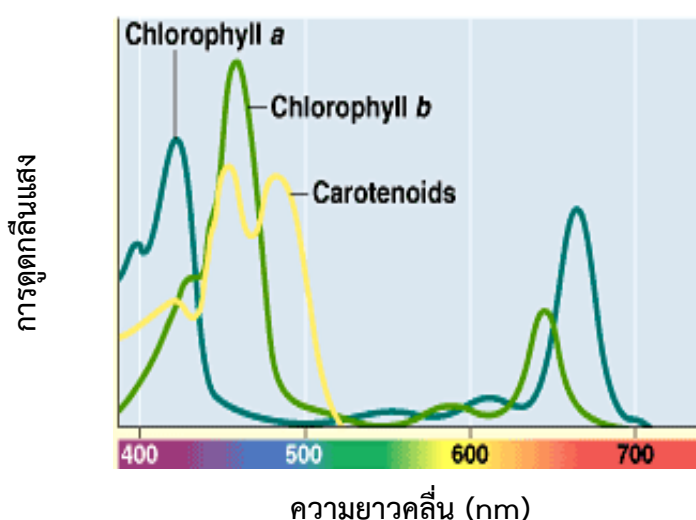
2) ส่วนหางของคลอโรฟิลล์มีลักษณะเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบ 20 อะตอม มีความยาวประมาณ 2 อังสตรอม

คลอโรฟิลล์ดูดกลืนแสงได้ดีในช่วงคลื่นของแสงสีฟ้าและสีแดง แต่ดูดกลืนช่วงแสงสีเหลืองและเขียวได้น้อย ดังนั้นเมื่อได้รับแสงจะดูดกลืนแสงสีฟ้าและสีแดงไว้ ส่วนแสงสีเขียวที่ไม่ได้ดูดกลืนจึงสะท้อนออกมาทำให้เห็นคลอโรฟิลล์มีสีเขียว ในธรรมชาติมีคลอโรฟิลล์อยู่หลายชนิดด้วยกันซึ่งแต่ละชนิดมีโครงสร้างหลักที่เหมือนกันคือ วงแหวนไพโรล 4 วง แต่โซ่ข้างของคลอโรฟิลล์แต่ละชนิดจะมีลักษณะที่ต่างกันออกไป เช่น คลอโรฟิลล์เอ (Chlorophyll a) และคลอโรฟิลล์บี (Chlorophyll b) มีโครงสร้างโมเลกุลที่ต่างกันเพียงตำแหน่งเดียวเท่านั้น นั่นคือ ที่วงแหวนไพโรล วงที่สองของคลอโรฟิลล์เอ มีโซ่ข้างเป็นหมู่เมทิล (CH_3) ส่วนของคลอโรฟิลล์บี เป็นหมู่อัลดีไฮด์ ($-\text{CHO}$) ซึ่งการที่โครงสร้างที่ต่างกันนี้ทำให้มีคุณสมบัติแตกต่างกัน รวมทั้งคุณสมบัติการดูดกลืนแสงก็ต่างกันด้วย และทำให้คลอโรฟิลล์ทั้งสองชนิดนี้มีสีต่างกันเล็กน้อย โดยที่คลอโรฟิลล์เอ มีสีเขียวเข้ม ส่วนคลอโรฟิลล์บี มีสีเขียวอ่อน

การดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์

คลอโรฟิลล์มีสีเขียวมีความหมายว่าเมื่อแสงที่ไม่มีสีหรือแสงที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่าไปกระทบมันจะเกิดการดูดแสงสีอื่น ๆ ไว้ จนกระทั่งแสงที่ทะลุ และสะท้อนออกมาสู่ตาเรามองเห็นเป็นสีเขียว กรณีนี้ แสงที่คลอโรฟิลล์ดูดไว้มากจะเป็นแสงสีน้ำเงินและสีแดง ทำให้เราเห็นสีเขียว แครโรทีนอยด์จะสามารถดูดสีน้ำเงินได้มาก และดูดสีอื่น ๆ ได้น้อย แสงที่ปรากฏแก่ตาเราจึงเป็นสีส้มค่อนข้างแดง

เครื่องวัดการดูดกลืนแสงใช้วัดความสามารถในการดูดกลืนแสงของสารละลาย คลอโรฟิลล์ โดยจะสามารถวัดการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ เห็นปรากฏเป็นสเปกตรัม แสดงการดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์และแครโรทีนอยด์ในภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ลักษณะสเปกตรัมดูดกลืนแสงของคลอโรฟิลล์เอ บี และแครโรทีนอยด์

จากสเปกตรัมที่เห็น และแถบสีที่กำกับไว้ข้างล่าง จะเห็นว่าคลอโรฟิลล์ดูดแสงที่ความยาวคลื่น 400 - 500 นาโนเมตรซึ่งเป็นแถบของสีน้ำเงิน และที่ประมาณ 660 นาโนเมตร และยังมีสเปกตรัมเล็ก ๆ

ที่ตำแหน่งอื่น ๆ อีก ส่วนคลอโรฟิลล์บี ถึงแม้ว่าปรากฏต่อ สายตาเป็นสีเขียวเหมือนคลอโรฟิลล์เอ แต่จะมีสเปกตรัมใหญ่ที่ 470 นาโนเมตรและ 640 นาโนเมตรและมีสเปกตรัม เล็กอื่น ๆ ที่มีอัตราส่วนและตำแหน่งต่างจากของคลอโรฟิลล์เอ ดังนั้นถ้ามีคลอโรฟิลล์เอ และบิสมกัน ลักษณะของสเปกตรัมเป็นผลรวมของคลอโรฟิลล์เอ และบิสมสัดส่วนความเข้มข้นของแต่ละตัว สำหรับสเปกตรัมของแคโรทีนอยด์ ก็เป็นในทำนองเดียวกัน คือ มีสเปกตรัมใหญ่อยู่ที่ 420 นาโนเมตร 470 นาโนเมตร และ 500 นาโนเมตร และไม่มีพื้นที่ อื่น ๆ เลย ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าสารนี้เป็นแคโรทีนอยด์ นอกจากนี้ความสูงของสเปกตรัม ยังบอกได้ว่ามีสารมากหรือน้อยด้วย

การคำนวณหาปริมาณของคลอโรฟิลล์เอ คลอโรฟิลล์บี และคลอโรฟิลล์ทั้งหมด ดังสมการ

$$\text{คลอโรฟิลล์ทั้งหมด} = 17.3 A_{646} + 7.18 A_{663} \text{ mg/L}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์เอ} = 12.21 A_{663} - 2.81 A_{646} \text{ mg/L}$$

$$\text{คลอโรฟิลล์บี} = 20.13 A_{646} - 503 A_{663} \text{ mg/L}$$

เมื่อ A_{646} , A_{663} คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 646 และ 663 นาโนเมตร ตามลำดับ

งานวิจัยนี้ศึกษาสัณฐานชาติโทนสีเขียวจากใบสาบเสือและเปลือกต้นเพกา

2.2.2.1 สาบเสือ

ชื่อสามัญ Bitter bush ชื่อวิทยาศาสตร์ *Chromolaena odorata* L. ชื่อวงศ์ ASTERACEAE ชื่อพื้นเมือง ใบหญ้าขี้ หญาดอกขาว หญ้าฝรั่งเศส

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ เป็นไม้ล้มลุก แตกกิ่งก้านสาขามากมายจนดูเป็นทรงพุ่ม ลำต้นและกิ่งก้านปกคลุม ด้วยขนอ่อนนุ่ม ก้านและใบเมื่อขยี้จะมีกลิ่นแรงคล้ายสาบเสือ มีลำต้น สูง 1 - 2 เมตร ใบเดี่ยว รูปรีค่อนข้างเป็นสามเหลี่ยม ขอบใบ หยัก ปลายใบแหลม ฐานใบกว้าง สีเขียวอ่อน เส้นใบเห็นชัดเจน 3 เส้น ส่วนที่ให้สี คือ ใบของต้นสาบเสือ ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 ต้นสาบเสือ และใบสาบเสือ

2.2.2.2 เพกา

ชื่อสามัญ Broken Bones Tree ชื่อวิทยาศาสตร์ *Oroxylum indicum* (L.) ชื่อวงศ์ Bignoniaceae ชื่อพื้นเมือง มะลิติไม้ มะลิ้นไม้ ลิติไม้ ลิ้นฟ้า

ลักษณะทางพฤกษศาสตร์ : ไม้ต้น สูง 3 - 12 เมตรแตกกิ่งก้านน้อย ใบประกอบแบบขนนกสามชั้น ขนาดใหญ่ เรียงตรงข้ามรวมกันอยู่บริเวณปลายกิ่ง ใบย่อยรูปไข่หรือรูปไข่แกมวงรี กว้าง 4 - 8 ซม. ยาว 6 - 12 ซม. ดอกช่อ ออกที่ปลายยอดก้านช่อดอกยาว ดอกย่อยขนาดใหญ่กลีบดอกสีนวลแกมเขียว โคนกลีบเป็นหลอดสีม่วงแดง หนาแน่น บานกลางคืน ผลเป็นฝัก รูปดาบ เมื่อแก่จะแตก ภายในเมล็ดแบน สีขาว มีปีกบางโปร่งแสง ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ต้นเพกา และเปลือกต้นเพกาปั่นละเอียด

2.3 สารปรับปรุง

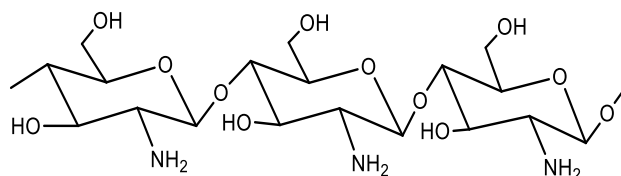
สารปรับปรุง หมายถึงสารที่ได้จากธรรมชาติหรือสังเคราะห์ขึ้นเพื่อนำมาใช้ปรับปรุงผ้าฝ้ายให้มีสมบัติทางกายภาพ และทางเคมีที่ดีขึ้น สารปรับปรุงที่เลือกใช้งานวิจัย ได้แก่ ไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์นาโน

2.3.1 ไคโตซาน

ไคโตซาน (β -1,4- glucosamine) มีสูตรทั่วไป คือ $C_6H_{11}NO_4$ ประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 44.7 ไฮโดรเจนร้อยละ 6.8 และไนโตรเจนร้อยละ 8.7 เป็นพอลิแซ็กคาไรด์สายตรง ดังภาพที่ 2.9 เป็นอนุพันธ์ของไคติน ได้มาจากการกำจัดหมู่อะซิทิล (deacetylation) ของไคติน โดยหมู่อะซิทิลของไคตินถูกแทนที่ด้วยอะตอมของไฮโดรเจนกลายเป็นหมู่เอมิโน ($-NH_2$) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 และจากการหายไปของหมู่อะซิทิล ทำให้ไคโตซานมีส่วนของโมเลกุลที่พร้อมจำทำปฏิกิริยาอว่องไวอยู่หลายหมู่ เช่น หมู่เอมิโนคาร์บอนตำแหน่งที่ 2 หมู่แอลกอฮอล์ตรงคาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และหมู่แอลกอฮอล์ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 ดังนั้นเพราะเหตุนี้จึงทำให้ไคโตซานถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวาง โดยหน้าที่การทำงานขึ้นอยู่กับโครงสร้างทางเคมี และการสร้างโมเลกุลของไคโตซาน ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับการกำจัดหมู่

อะซีทิลโดยคิดเป็นร้อยละ (%DD) ถ้าการกำจัดหมู่อะซีทิลเกินกว่า 50% ขึ้นไปโคโตซานนั้นสามารถทำปฏิกิริยากับกรดอินทรีย์ได้

โคโตซานจัดเป็นพอลิเมอร์ชีวภาพที่มีประสิทธิภาพสูง มีคุณสมบัติเป็น cationic substance เป็นสารย่อยสลายได้ทางชีวภาพ ไม่เป็นสารพิษ นอกจากนี้โคโตซานยังมีฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลายวัตถุประสงค์ ทั้งในด้านการแพทย์ เวชสำอาง สิ่งทอ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมอาหาร วิศวกรรมชีวภาพ รวมถึงการบำบัดน้ำเสีย และการบำบัดโลหะหนักในน้ำ



ภาพที่ 2.9 โครงสร้างของโคโตซาน

กระบวนการผลิตไคตินและโคโตซาน

กระบวนการผลิตไคตินและโคโตซานมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งวิธีทางเคมีและทางชีวภาพซึ่งในระดับอุตสาหกรรมอาหารทะเลแช่แข็ง เช่นเปลือกกุ้ง หัวกุ้ง กระดองปู และแกนหมึก โดยสมบัติทางเคมีและทางฟิสิกส์ของไคตินและโคโตซานที่มีความหลากหลายขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ และกรรมวิธีการผลิต การผลิตไคติน และโคโตซานประกอบด้วยหลักการทำงานที่สำคัญ 3 ขั้นตอน ดังนี้

1) กระบวนการกำจัดโปรตีน (deproteination)

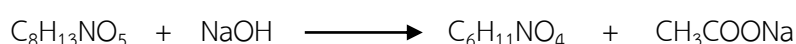
โดยการนำวัตถุดิบ ได้แก่เปลือกกุ้ง เปลือกปู มาทำปฏิกิริยากับโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1-10% และอุณหภูมิที่ใช้ประมาณ 65-100 °C ส่วนระยะเวลาขึ้นกับวิธี และสภาวะในการกำจัดโปรตีน ในกระบวนการนี้โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกกำจัดออกไปจากวัตถุดิบทำให้ไขมันบางส่วนและรงควัตถุบางชนิดมีโอกาสดูกำจัดออกไปด้วย

2) กระบวนการกำจัดเกลือแร่ (demineralization)

โดยการนำวัตถุดิบที่ผ่านการกำจัดโปรตีนแล้ว มาทำปฏิกิริยากับสารละลายเจือจางของกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิห้อง ทำให้เกลือแร่ส่วนใหญ่ ได้แก่ หินปูน (CaCO_3) ถูกเปลี่ยนเป็นเกลือที่ละลายน้ำ (CaCl_2) และแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์ และพร้อมกันนี้ก็จะทำให้บางส่วนของรงควัตถุ และโปรตีนที่ละลายได้ในกรดถูกกำจัดออกไปด้วย สารผลิตภัณฑ์ที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ ไคติน

3) การกำจัดหมู่อะซีทิล (deacetylation)

เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่ใช้ในการกำจัดหรือลดหมู่อะซีทิล เพื่อให้เกิดเป็นโคโตซานซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นของหมู่เอมีโนบนโมเลกุลของไคติน ดังสมการ



หมู่เอมิโนเมื่อปริมาณของหมู่เอมิโนที่ถูกกำจัดไปมากกว่า 60% ขึ้นไป สารโคโตซานที่ได้สามารถละลายได้ในกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น กรดอะซิติก กรดแลคติก เป็นต้น

คุณสมบัติทางกายภาพของโคตินและโคโตซาน

1) การละลาย

โคโตซานไม่ละลายน้ำ ด่าง และตัวทำละลายอินทรีย์ แต่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายที่เป็นกรดอินทรีย์บางชนิด เช่น กรดไนตริก และกรดไฮโดรคลอริก แต่ภายใต้อุณหภูมิสูงอาจมีตะกอนสีขาวคล้ายเจลเกิดขึ้น

2) ระดับการกำจัดหมู่เอมิโน

ระดับการกำจัดหมู่เอมิโนเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นโคติน และโคโตซาน เนื่องจากโคตินและโคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่รวมกันของ N-acetyl-D-glucosamine มากกว่าระดับการกำจัดหมู่เอมิโนต่ำจะแสดงสมบัติเด่นของโคติน ถ้าสัดส่วนของ D-glucosamine มากกว่าระดับการกำจัดหมู่เอมิโนสูงจะแสดงสมบัติเด่นของโคโตซาน

3) การจับตัว

โคโตซานเป็นตัวสร้างตะกอนและตัวตกตะกอนที่ดี เนื่องจากการมีหมู่เอมิโนจำนวนมากที่แตกตัวเป็นประจุบวก และจับกับสารที่เป็นประจุลบได้ เช่น โปรตีน สีย้อม และพอลิเมอร์ นอกจากนี้โคโตซานยังจับกับโลหะได้โดยไนโตรเจนของหมู่เอมิโนของโคโตซานจะทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนทำให้อิออนของโลหะสร้างพันธะเชิงซ้อนกับหมู่เอมิโนได้ และหมู่เอมิโนของโคโตซานมีประสิทธิภาพในการจับกับอิออนของโลหะได้ดีกว่าหมู่เอมิโนในโคติน ดังนั้นโคโตซานที่มีระดับการกำจัดหมู่เอมิโนสูงจะมีอัตราการดูดซับหรือสามารถในการจับอิออนของโลหะสูง ความสามารถในการดูดซับโลหะของโคโตซานขึ้นอยู่กับความเป็นผลึกและความสามารถในการดูดน้ำของโคโตซานด้วย

4) การเสื่อมสลาย

การเสื่อมสลายของสายโซ่โมเลกุลของโคโตซานเนื่องจากกรดเป็นแบบสุ่ม ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ โอลิโกเมอร์ขนาดต่าง ๆ และมอนอเมอร์ ขึ้นอยู่กับสภาวะที่ใช้ เช่น ชนิดของกรด เวลา อุณหภูมิ ชนิดของพันธะ ชนิดของพอลิเมอร์ โดยโคตินจะสามารถต้านทานการเสื่อมสลายได้ดีกว่าโคโตซาน การเสื่อมสลายโดยต่าง สายโซ่โมเลกุลของพอลิแซ็กคาไรด์ในต่างจะเริ่มจากปลายสุดของสายโซ่โมเลกุล ส่วนการเสื่อมสลายโดยความร้อนจะมีผลต่อสมบัติของโคโตซาน จากงานวิจัยพบว่าความร้อนจากเตาเป็นความร้อนแบบแห้งที่อุณหภูมิ 115°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง หลังการอบที่อุณหภูมิมากกว่าหรือเท่ากับ 120°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

5) ความสามารถในการเกิดปฏิกิริยา

ไคโตซานประกอบด้วย 3 หมู่ฟังก์ชันที่มีความไวต่อการเกิดปฏิกิริยาก็คือ กรดอะมิโนที่คาร์บอน ตำแหน่งที่ 2 หมู่ primary alcohol ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 6 และหมู่ secondary alcohol ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 3 การปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของทั้ง 3 หมู่ฟังก์ชันสามารถก่อให้เกิดวัสดุในการใช้งานที่แตกต่างกัน

ประโยชน์ในการใช้ไคติน และไคโตซาน

1) ด้านการเกษตร

การวิจัยนำไคติน และไคโตซานมาใช้ในการเพิ่มผลผลิตทางการเกษตร ทั้งพืชและสัตว์ การใช้ไคโตซานให้ผลดีในแง่ของการเป็นสารธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยลดความเสี่ยงของเกษตรกรต่อการได้รับสารพิษจากปุ๋ย และสารปราบศัตรูพืช ไคโตซานช่วยในการเพิ่มผลผลิต ยืดอายุการเก็บรักษาพืชผลทางการเกษตร ใช้เป็นสารปรับสภาพดินในการเพาะปลูก ใช้ในการเคลือบเมล็ดพืช เป็นต้น

2) ด้านเส้นใยและสิ่งทอ

ไคตินและไคโตซานสามารถนำไปใช้ผลิตเป็นเส้นใยและเส้นด้าย เป็นสารตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ นอกจากนี้ยังใช้เคลือบลงบนเส้นใยหรือเส้นด้าย นำมาพัฒนาสารตกแต่งเพื่อป้องกันเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความไว และสร้างพันธะที่แข็งแรงกับเส้นใย โดยการสังเคราะห์สาร NMA/GTMAC-Chitosan ทำได้โดยนำไคโตซาน มาทำปฏิกิริยากับ glycidyltrimethyl ammoniumchloride เพื่อให้ได้ GTMAC-Chitosan แล้วนำมาทำปฏิกิริยากับ N-methylolacrylamide เพื่อให้ได้สารที่ต้องการโดยคาดว่าสารนี้สามารถสร้างพันธะโควาเลนต์กับเซลลูโลสได้

3) ด้านอาหาร

จากสมบัติของไคโตซานจากการยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ เช่นแบคทีเรีย เชื้อรา สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการถนอมอาหารได้ เช่นในการเก็บรักษาเนื้อปลา พบว่าไคโตซานจากเปลือกกุ้งที่มีระดับการกำจัดหมู่อะซีทิลสูง ๆ 95-98 % DD มีประสิทธิภาพในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ และสามารถยืดอายุการเก็บรักษาได้นานจาก 5 วันเป็น 9 วัน นอกจากนี้ยังมีการนำไปใช้เป็นเครื่องปรุงอาหาร เช่น ซีอิ๊ว เป็นต้น ไคโตซานยังถูกนำมาใช้เป็นสารเติมแต่งในกระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่มหลายชนิดและสามารถนำมาขึ้นรูปเป็นแผ่นฟิล์มได้ จึงมีการผลิตเพื่อนำมาทำเป็นฟิล์มห่อหุ้มเพื่อถนอมอาหาร

4) ด้านบำบัดน้ำ

ไคโตซานมีประจุบวก และเป็นพอลิเมอร์ผสมของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ซึ่งสามารถดักจับ ดูดซับไขมัน และโลหะหนักต่าง ๆ ได้ เช่น สารหนู แคดเมียม ทองแดง ตะกั่วปรอท สังกะสี และนิกเกิล เป็นต้น จากการศึกษาที่ผ่านมาไคโตซานมีประสิทธิภาพในการใช้เป็นสารตกตะกอนทางชีวภาพ การบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร เป็นต้น

5) เครื่องสำอาง

ไคโตซานเป็นสารประเภท non-toxic polyelectrolyte ที่มีประโยชน์ต่อการประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เพราะประจุบวกของหมู่แอมโมเนียม ($-NH_4^+$) บนโครงสร้างของไคโตซานมีความว่องไวต่อการจับกับผิวหนังและเส้นผม โปรตีน ไขมัน ประกอบด้วยสารและ mucopolysaccharides ที่มีประจุลบได้เป็นอย่างดี ไคโตซานที่เคลือบอยู่จะก่อตัวเป็นฟิล์มบาง ๆ พร้อมกับดูดความชื้นไขมันเอาไว้ จึงช่วยรักษาความชุ่มชื้น และความยืดหยุ่นให้แก่ผิวหนัง เส้นผม นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มความเงางามให้แก่เส้นผมด้วย ปัจจุบันผลิตภัณฑ์เครื่องสำอางมีส่วนผสมของสารไคติน-ไคโตซาน ได้แก่ ครีม โลชั่นบำรุงผิว แชมพู แป้ง ยาทาเล็บ ยาสีฟัน และมอยส์เจอไรเซอร์ เป็นต้น

6) ด้านการแพทย์และเภสัชกรรม

ไคติน-ไคโตซานเป็นสารธรรมชาติที่มีความเข้ากันได้กับเนื้อเยื่อและเซลล์ของร่างกายสามารถรับประทานได้ และย่อยสลายตามธรรมชาติโดยไม่มีพิษต่อร่างกาย จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่ให้ความสนใจเกี่ยวกับการนำสารไคติน-ไคโตซานมาประยุกต์ใช้ทางการแพทย์ และเภสัชกรรม เช่น ใช้ในวัสดุทดแทนกระดูก ใช้ทาง Tissue Engineering ใช้เป็นวัสดุปิดปากแผล ใช้ทางระบบนำส่งยา ใช้เป็นสารป้องกันการจับตัวเป็นก้อนของเลือด ละลายสารห้ามเลือด เป็นต้น

ในงานวิจัยสังเคราะห์ไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว กุ้งขาวชื่อวิทยาศาสตร์ *Litopenaeus vannamei* ชื่อวงศ์ PENAEIDAE มีลักษณะมีลำตัวขาวใส ขามีสีขาวยาวหางสีแดง (อนันต์ บุญปาน และคณะ, 2550) ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 กุ้งขาว

2.3.2 วัสดุนาโน

วัสดุ คือวัสดุที่มีอย่างน้อยหนึ่งมิติถูกจำกัดอยู่ในช่วง 1 ถึง 100 นาโนเมตร ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนภายในวัสดุหรือโครงสร้างนาโนแตกต่างไปจากวัสดุก้อนใหญ่ (Bulk Materials) โดยที่สามารถแบ่งวัสดุและโครงสร้างนาโนออกเป็นดังนี้

1) ระบบศูนย์มิติ (Zero Dimensional (0D) System) คือ วัสดุหรือโครงสร้างที่มีมิติทางกายภาพ ทั้งสามมิติอยู่ในช่วงนาโนเมตร เช่น กลุ่มก้อนของโลหะที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตร

2) ระบบหนึ่งมิติ (One Dimensional (1D) System) คือ วัสดุหรือโครงสร้างที่มีมิติทางกายภาพสองมิติอยู่ในช่วงนาโนเมตร มิติที่เหลือไม่ถูกจำกัดขนาด ยกตัวอย่างเช่น ลวดนาโน (Nanowires) หรือ ท่อนาโนคาร์บอน (Carbon Nanotubes) ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ในระดับนาโนเมตรแต่มีความยาวของท่ออยู่ในระดับไมโครเมตรหรือมิลลิเมตร

3) ระบบสองมิติ (Two Dimensional (2D) System) คือ วัสดุหรือโครงสร้างที่มีมิติทางกายภาพหนึ่งมิติถูกจำกัดอยู่ในช่วงนาโนเมตรแต่มิติที่เหลือสองมิติไม่ถูกจำกัดขนาด ตัวอย่างเช่น ฟิล์มบางในระดับนาโน (Nano Thin Film) ที่เกิดจากการประกอบตัวเองของอะตอมหรือโมเลกุล เป็นต้น วัสดุหรือโครงสร้างที่มีระดับมิติต่ำจะมีสถานะอิเล็กทรอนิกส์ที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่องจะมีค่าจำเพาะเท่านั้น เรียกว่า ควอนไทเซชัน (Quantization) ซึ่งการเกิดควอนไทเซชันของอิเล็กทรอนิกส์จะนำไปสู่การเกิดสมบัติใหม่และปรากฏการณ์ใหม่ เช่น การแสดงผลของปรากฏการณ์ทางควอนตัมที่ถูกกักขังไว้ (Quantum Confinement Effects) อิทธิพลอิเล็กตรอนเดี่ยว (Single Electron Effect) การปิดกั้นแรงระหว่างประจุไฟฟ้า (Coulomb Blockade) การกักขังเอ็กซิตรอน (Exciton Confinement) ปรากฏการณ์ขยับเคลื่อนของสเปกตรัม (Spectrum Shift) ควอนไทเซชันของโฟนอน (Phonon Quantization) เป็นต้น

การสังเคราะห์วัสดุในระดับนาโน การสังเคราะห์วัสดุนาโน หรืออนุภาคนาโน สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ

1) การสังเคราะห์จากการทำปฏิกิริยาในสถานะก๊าซ (Gas Condensation Synthesis) การสังเคราะห์วัสดุนาโนด้วยวิธีนี้เป็นการเปลี่ยนอะตอมหรือโมเลกุลที่จะนำมารวมกันเป็นกลุ่ม ก้อนหรือเป็นอนุภาคนาโนให้อยู่ในสถานะก๊าซหรือไอก่อนที่จะทำให้เกิดการรวมตัวกัน ควบแน่น และ เกิดการจับตัวเป็นกลุ่มก้อนอะตอม กลุ่มอะตอมที่จับตัวกันจะถูกเก็บรวบรวมในบริเวณที่เรียกว่า “Cold Finger” ซึ่งเป็นอุปกรณ์รูปทรงกระบอก และถูกหล่อให้เย็นด้วยแก๊สไนโตรเจนทำให้ไอของอะตอมกลายเป็นสถานะของเหลว โดยอนุภาคนาโนที่ได้จะมีสัดส่วนเช่นเดียวกับสัดส่วนขององค์ประกอบในสารตั้งต้น

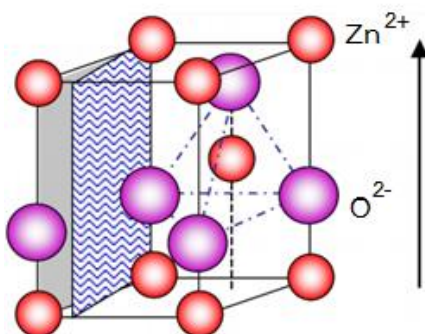
2) การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยการย่ออนุภาคขนาดใหญ่ ให้มีขนาดอนุภาคนาโนโดยการทำปฏิกิริยาในสถานะของแข็ง วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ผงหรืออนุภาคนาโนด้วยวิธีทางกล (Mechanic Alloying) โดยจะเริ่มต้นจากสารตั้งต้นที่มีสถานะของแข็งแล้วบดย่อยขนาดของสารตั้งต้นด้วยลูกบด โดยที่ลูกบดจะทำให้เกิดการลดขนาดของอนุภาคของสารตั้งต้นจากขนาดมิลลิเมตรไปเป็นขนาดนาโนเมตร

3) วิธีการสังเคราะห์จากการทำปฏิกิริยาในสถานะของเหลว เตรียมได้จากการตกตะกอนของ สารตั้งต้นในของเหลว ซึ่งอนุภาคนาโนจะสามารถตกตะกอนได้จากสารละลายของสารตั้งต้น ทั้งนี้จะต้องควบคุมขนาดของอนุภาคนาโนไม่ให้มีขนาดใหญ่เกินไป และการขยายตัวของอนุภาคขึ้นอยู่กับอัตราการทำให้เย็นตัวของอนุภาคนั้น ๆ

ซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำมีค่าระดับพลังงาน 3.37 อิเล็กตรอนโวลต์ มีโครงสร้างเฮกซะโกนอล เรียกว่า wurtzite คือเป็นโครงสร้างสมมาตรที่ไม่มีอะตอมกลาง และลักษณะผิวมีขั้ว โดยมีแลตทิซพารามิเตอร์ที่ $a=0.3296$ และ $c=0.52065$ นาโนเมตร โครงสร้างออกไซด์เกิดจากการยึดเกาะกันของอะตอมโลหะ (ประจุบวก) กับอะตอมออกซิเจน (ประจุลบ) ด้วยพันธะไอออนิก โดยอะตอมออกซิเจนเรียงตัวอัดกันแน่นชิดมากที่สุดแบบ hexagonal close packing เกิดช่องว่างเตตระฮีดรอล โดยมีอะตอมของโลหะแทรกอยู่ในช่องว่างเพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนช่องที่มีอยู่ทั้งหมด หรือแบบ hole โคออร์ดิเนตกับไอออนลบ และไอออนชนิดหนึ่งจะถูกล้อมรอบตรงข้ามเป็นแบบเตตระฮีดรอล มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 4:4

โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ประกอบด้วยระนาบของเตตระฮีดรอลที่เชื่อมระหว่าง $Zn^{2+}-O^{2-}$ เรียงเป็นชั้นๆ เป็นโครงสร้างแบบไม่สมมาตร (ภาพที่ 2.11) นอกจากนี้ซิงค์ออกไซด์ยังมีลักษณะเฉพาะที่สำคัญคือ มีทั้งระนาบที่มีขั้ว และระนาบที่ไม่มีขั้ว ระนาบที่มีขั้วจะอยู่ที่ฐานของผลึกเฮกซะโกนซิงค์ออกไซด์ โดยระนาบที่เป็นขั้วบวกจะมีซิงค์ไอออนที่ปลาย (Zn^{2+} (0001)) และระนาบที่มีขั้วลบจะเป็นระนาบที่มีออกซิเจน ที่ปลาย (O^{2-} (0001)) ทำให้ซิงค์ออกไซด์มีไดโพล และเป็นสารที่เกิดโพลาไรซ์ได้เอง (spontaneous polarization)



ภาพที่ 2.11 โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์ (ZnO) และพิกัดเตตระฮีดรอลของ $Zn^{2+}-O^{2-}$

ซิงค์ออกไซด์ เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากมีสมบัติในช่วงกว้างคือสามารถใช้วิธีเติมสารอื่นเพื่อปรับโครงสร้างระดับจุลภาค และโครงสร้างแถบพลังงานให้ได้สมบัติตามที่ต้องการตั้งแต่ตัวนำไปถึงฉนวนไฟฟ้าได้ ซิงค์ออกไซด์สามารถสังเคราะห์ให้มีโครงสร้างต่าง ๆ ในระดับนาโนเมตรได้ง่าย จึงมีการนำไปใช้งานในระดับนาโนของซิงค์ออกไซด์ที่หลากหลาย

การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างในระดับนาโนที่หลากหลาย ได้แก่ แผงเส้นลวดนาโนที่มีความเป็นระเบียบ (highly ordered arrays) โครงสร้างเหมือนกับหอคอย (tower-like structure) แผงนาโน (nano rods) สปริงนาโน (nano springs) หวีนาโน (nano combs) และวงแหวน (nano rings) โครงสร้างเหล่านี้สามารถเลือกและควบคุมได้ด้วยการสังเคราะห์ วิธีการสังเคราะห์มี 3 วิธี ได้แก่

1) กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล หรือการใช้ระบบน้ำ 2) การตกเคลือบด้วยไอเคมี (chemical vapor deposition) และ 3) การเคลือบด้วยไฟฟ้า (electro deposition)

ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย ด้านรังสียูวี และสามารถทำความสะอาดตัวเองจึงนิยมนำมาตกแต่งวัสดุสิ่งทอ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ที่ทนความร้อน และความดันสูง มีกลไกยับยั้งหลายวิธี ตัวอย่างเช่น ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีประจุบวกจับกับผิวของแบคทีเรียที่มีประจุลบด้วยแรงทางประจุทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียมีช่องว่าง ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสามารถเข้าไปทำลายเซลล์ ซีและขัดขวางกระบวนการส่งผ่านอิเล็กตรอนของชั้นแมนเบรน เมื่อกิจกรรมภายในเซลล์ของแบคทีเรียถูกทำลายจึงทำให้แบคทีเรียตายลงในที่สุด

กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

ซิงค์ออกไซด์ มีสมบัติเป็นสารต้านแบคทีเรีย โดยซิงค์ออกไซด์ จะเป็น photocatalyst จะสามารถทำลายแบคทีเรียหรือไวรัส โดยซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์มีผลต่อการยับยั้งแบคทีเรีย ถ้าซิงค์ออกไซด์มีอนุภาคขนาดเล็กจะสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดีกว่า เนื่องจากการยับยั้งแบคทีเรียขึ้นกับพื้นผิว และความเข้มข้นของสาร ส่วนลักษณะผลึกและรูปร่างของอนุภาคจะมีผลกระทบน้อยมาก ถ้ามีความเข้มข้นของสารสูงและมีพื้นที่ผิวมา จึงทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียที่ดี การ treatment ด้วยซิงค์ออกไซด์ที่อุณหภูมิสูง จะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียลดลง กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของนาโนซิงค์ออกไซด์ใช้หลักการโฟโตคะตะลิสต์ (Photocatalytic) โดยมีกลไกคือเมื่อแสงทำปฏิกิริยากับซิงค์ออกไซด์จะทำให้อิเล็กตรอนขึ้นไปยังสถานะกระตุ้น (excited state : e^-) และเกิดช่องว่างของอิเล็กตรอน (hole : h^+) ที่บริเวณของสถานะเดิม (ground state)

เมื่อ h^+ ทำปฏิกิริยากับน้ำ ได้ hydroxyl radicals กับไฮโดรเจนไอออน ส่วนอิเล็กตรอนจะทำปฏิกิริยากับก๊าซออกซิเจน ได้ superoxide radical anion และทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนไอออน ได้ hydrogen superoxide และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องระหว่าง hydrogen superoxide กับไฮโดรเจนไอออนและอิเล็กตรอน ได้ hydrogen peroxide โดยพบว่า hydrogen peroxide จะผ่านเข้าไปในผนังเซลล์ของแบคทีเรียทำให้เกิดอันตรกริยากับ organic materials จนเกิดการเสื่อมสลายและฆ่าแบคทีเรียได้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ

2.3.3 ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต เป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบทางเคมีหรือโครงสร้างที่แตกต่างกัน ตั้งแต่สองชนิดขึ้นไปมาผสมกัน ซึ่งสมบัติของคอมโพสิตขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของวัสดุเริ่มต้นแต่ละชนิด และลักษณะของเฟสที่กระจายตัว โดยทั่วไปแล้วคอมโพสิตจะประกอบด้วยวัสดุตัวหนึ่งที่ทำหน้าที่

เป็นเนื้อหลักหรือเมทริกซ์ (matrix) และวัสดุที่ทำหน้าที่เป็นเฟสที่กระจายตัวอยู่ (dispersed phase) ในเมทริกซ์

ในงานวิจัยสังเคราะห์ ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ซึ่งเป็นสารคอมโพสิตที่มีไคโตซานเป็นเมทริกซ์ และมีซิงค์ออกไซด์เป็นเฟสกระจายตัวในเมทริกซ์

2.3.4 อนุภาคซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

อนุภาคซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการเปลี่ยนขนาดอนุภาคซิงค์ ออกไซด์ให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับอนุภาคนาโนเมตร มีลักษณะเป็นผงอนุภาคละเอียดมีขนาดอนุภาคเล็กระดับนาโนเมตร (10^{-9} เมตร) มีความบริสุทธิ์สูง มีสีขาว ซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่ใช้ยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial agent) ตามธรรมชาติและไม่มีความเป็นพิษ นอกจากฆ่าแบคทีเรียแล้วยังช่วยป้องกัน และยับยั้งแบคทีเรียในระยะเริ่มแรก ลดโอกาสการเปลี่ยนรูปของแบคทีเรีย เนื่องจากเหตุผลนี้ ซิงค์ออกไซด์จึงเป็นสารที่สำคัญสารหนึ่งในการเป็นยาต้านแบคทีเรีย ยิ่งไปกว่านั้นจากการศึกษาพบว่าเมื่อผ่านกระบวนการที่ทำให้ซิงค์ออกไซด์มีอนุภาคเล็กลงในระดับนาโนเมตร จะทำให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียได้อย่างดีมาก โดยไม่จำเป็นต้องใช้แสงอัลตราไวโอเลต (UV) ในการเร่งปฏิกิริยา

2.3.4 ซิลเวอร์อนุภาคนาโน

ซิลเวอร์อนุภาคนาโนเป็นอนุภาคเล็กระดับนาโน หรือ 10^{-9} เท่า ทำให้ไปเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับเชื้อโรคทำให้คุณสมบัติในการขจัดเชื้อโรคเพิ่มประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเดิมหลายร้อยเท่า เมื่อซิลเวอร์อนุภาคนาโนสัมผัสกับเชื้อโรคจะไปเกาะที่ผนังเซลล์และแทรกเข้าไปภายในและจะไปเกาะกับเอนไซม์ ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการเพิ่มจำนวนและการเจริญของเชื้อโรค ทำให้เชื้อโรคตาย ซิลเวอร์อนุภาคนาโนสามารถต่อต้านแบคทีเรียได้ดี อาศัย 3 กลไก ดังนี้

- 1) ซิลเวอร์อนุภาคนาโนในช่วง 1 – 10 นาโนเมตร จับกับผิวหน้าของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียและรบกวนการทำงานของระดับเซลล์ของแบคทีเรีย เช่น การขนส่งสารเข้าออกจากเซลล์และการหายใจ
- 2) ซิลเวอร์อนุภาคนาโนสามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียและรบกวนการทำงานของระดับโมเลกุล โดยจับกับสารที่มีกำมะถันและฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ เช่น ดีเอ็นเอ
- 3) ซิลเวอร์อนุภาคนาโนเกิดการสลายตัวและปลดปล่อยซิลเวอร์ไอออน เนื่องจากซิลเวอร์อนุภาคนาโนมีขนาดเล็ก และมีเป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถปลดปล่อยซิลเวอร์ไอออนออกมาด้วยความเข้มข้นสูง สามารถฆ่าแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว

เทคโนโลยีนาโนซิลเวอร์ได้นำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์อุปโภคบริโภคต่างๆ อุปกรณ์ทางการแพทย์ เครื่องใช้ไฟฟ้า โดยนำไปเคลือบผนังตู้เย็นป้องกันเชื้อโรค ตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ใช้ซิลเวอร์อนุภาคนาโน เช่น

- 1) กลุ่มสิ่งทอ ใช้ซิลเวอร์อนุภาคนาโนในการกำจัดกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ในเสื้อผ้า จากการศึกษาพบว่า การผสมซิลเวอร์อนุภาคนาโนลงไปในเนื้อผ้า เมื่อมีการใช้งานและผ่านการซักไประยะหนึ่ง ซิลเวอร์อนุภาคนาโนจะมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์พวก E.coli และ Staphylococcus aureus ได้ 100 เปอร์เซ็นต์

ในการผสมซิลเวอร์นาโนลงไปในเนื้อผ้ามักใช้อัตราส่วนของซิลเวอร์นาโน 1 ส่วนต่อเส้นใยผ้า 1 ล้านส่วน ซึ่งถือว่าเป็นปริมาณที่เล็กน้อยมาก แต่เพียงแค่นี้ก็มากพอที่จะหยุดยั้งการเจริญของเชื้อโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยังช่วยระงับกลิ่นเหม็นอีกด้วย

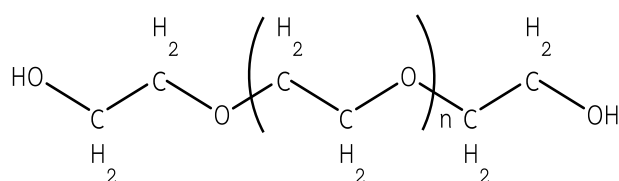
2) เครื่องใช้ไฟฟ้า ใช้ซิลเวอร์นาโนในการผลิตตู้เย็น พบว่าสามารถช่วยรักษาความเย็น และช่วยยืดอายุของอาหารที่เก็บในตู้เย็น นอกจากนี้ยังมีการใช้ซิลเวอร์นาโนในการผลิตผงซักฟอก เนื่องจากพบว่าซิลเวอร์นาโนสามารถกำจัดเชื้อโรคได้เป็นอย่างดี

2.4 สารเชื่อมโยง

สารเชื่อมโยง หมายถึงสารช่วยยึดเกาะการเชื่อมระหว่างโครงสร้างของผ้าฝ้ายกับสารปรับปรุงเป็นตัวช่วยในการเพิ่มความคงทนของสีต่อแสง การขัดถู และการซักล้าง งานวิจัยนี้เลือกศึกษาสารเชื่อมโยงคือ พอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิเอทิลีนอิมีน

2.4.1 พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG)

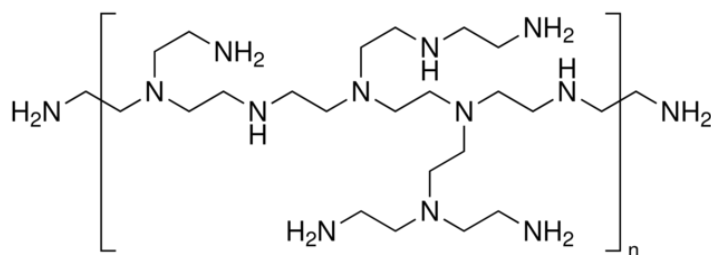
พอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นพอลิเมอร์ที่มีกิ่งก้านสาขาน้อย มีการเคลื่อนตัวได้ค่อนข้างอิสระ จึงมีโอกาสในการเกิดการเชื่อมต่อกับโมเลกุลอื่นได้ดี มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำมีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง และมีสถานะเป็นของแข็งเมื่อน้ำหนักโมเลกุลสูง ความหนืด และจุดเยือกแข็งของพอลิเอทิลีนไกลคอล จะเพิ่มขึ้นตามน้ำหนักโมเลกุล พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพอลิเมอร์ละลายน้ำได้ดี แม้ว่าอุณหภูมิของสารละลายจะลดลงเข้าใกล้ 0 องศาเซลเซียส พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพอลิเมอร์ที่มีขั้วสูงสามารถละลายได้ในเมทานอล เบนซีน และไดคลอโรมีเทน แต่ไม่ละลายในไดเอทิลอีเทอร์ และเฮกเซน ทำให้พอลิเอทิลีนไกลคอล เมื่อรวมกับโมเลกุลที่มีความไม่ชอบน้ำจะได้ผลิตภัณฑ์ที่สามารถลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ โครงสร้างทางเคมีของพอลิเอทิลีนไกลคอลได้แสดงดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนไกลคอล

2.4.2 พอลิเอทิลีนอิมีน (Polyethyleneimine, PEI)

พอลิเอทิลีนอิมีนเป็นพอลิเมอร์ที่มีละลายน้ำได้ และมีหมู่เอมีนเป็นองค์ประกอบ มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูง แสดงโครงสร้างดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 โครงสร้างของพอลิเอทิลีนอิมีน

2.5 ทฤษฎีการย้อมสี

กระบวนการย้อมสีจะเกิดขึ้นในขณะที่เส้นใยหรือสิ่งทออยู่ในน้ำสีหรือน้ำที่มีอนุภาคของสีแขวนลอยอยู่ การที่อนุภาคของสีติดเส้นใยได้จะต้องมีแรงยึดเหนี่ยว ทำหน้าที่ระหว่างโมเลกุลสีให้ติดอยู่กับเส้นใย ซึ่งแรงยึดเหนี่ยวนี้นี้จะมีค่ามากกว่าแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลสีกับน้ำ การติดสีในเส้นใยจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความสามารถที่โมเลกุลสีจะแทรกซึมเข้าไปในเส้นใยได้ และการเกิดปฏิกิริยาระหว่างหมู่ฟังก์ชันของเส้นใยกับโมเลกุลของสี และเส้นใยนั้น การติดสีไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนไป

เมื่อโมเลกุลของสีซึมผ่านเข้าไปในเส้นใยแล้ว จะต้องมีย่านางบางอย่างมาแยกตัวสีออกจากน้ำ และเกาะติดเส้นใย สีโมเลกุลใหม่ที่อยู่ในน้ำย้อมภายนอกเส้นใยจะซึมเข้าไปแทนที่เส้นใยทำให้ภายในเส้นใยมีโมเลกุลสีเข้าไปรวมตัวกันมากขึ้น สีจะเข้มมากขึ้นตามลำดับเส้นใยจะดูดติดสีไว้เป็นปริมาณเท่าใดขึ้นอยู่กับ การย้อมติดสีและเส้นใยนั้น ๆ

การย้อมสีเป็นการรวมสี และเส้นใยให้คงทนอยู่อย่างถาวรการย้อมสีจะเกิดขึ้นได้เมื่อสีอยู่ในลักษณะของสารละลาย และนำวัสดุลงย้อมเพื่อให้สีซึมเข้าสู่เส้นใย สีที่ซึมเข้าสู่เส้นใยจะคงทนอยู่ในเส้นใยโดยอาศัยกลไกการติดสีเส้นใยโดยเกิดพันธะทางเคมี เมื่อโมเลกุลของสีแทรกซึม และการกระจายตัวเข้าสู่โมเลกุลของเส้นใยจะเกิดพันธะต่าง ๆ ดังนี้

2.5.1 พันธะไอออนิก เป็นแรงดึงดูดที่เกิดจากความแตกต่าง ระหว่างประจุไฟฟ้าของสีและเส้นใย เช่นการย้อมติดระหว่างโมเลกุลของเส้นใยที่มีประจุลบกับโมเลกุลของสีที่มีประจุบวก

2.5.2 พันธะไฮโดรเจน เป็นแรงดึงดูดระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนกับอะตอมของไนโตรเจน ออกซิเจน หรือฟลูออรีน ไฮโดรเจนในหมู่ OH จะยึดอย่างหลวม ๆ กับอะตอมอื่นได้ เช่นการยึดตัวของไฮโดรเจนกับออกซิเจนทั้งภายในโมเลกุล และระหว่างโมเลกุลของน้ำทำให้มีจุดหลอมเหลว และจุดเดือดสูง เส้นใยและสีเกือบทุกชนิดมีหมู่ OH อยู่จำนวนมาก โดยเฉพาะในเซลลูโลสทำให้สามารถดูดสีได้มาก

2.5.3 แรงแวนเดอร์วาลส์ เป็นแรงที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติเป็นแรงที่ทำให้อะตอม และโมเลกุลเข้ามายึดติดกันตัวเอง โมเลกุลของเส้นใยและสีย้อมมีเอกลักษณ์พิเศษ ทำให้เกิดแรงแวนเดอร์วาลส์ยึดติดกัน

2.5.4 พันธะโคเวเลนต์ เป็นพันธะทางเคมีที่ค่อนข้างแข็งแรงมีการใช้อิเล็กตรอนร่วมกันสีย้อมสามารถย้อมติดเส้นใยโดยพันธะโคเวเลนต์ได้ดีกว่าพันธะชนิดอื่นที่ได้กล่าวมา ทำให้แยกตัวออกจากกันได้

ยาก ซึ่งปฏิกิริยาเกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาระหว่างอะตอมของสีหนึ่ง หรือสองอะตอมที่อยู่ในโมเลกุลของสีย้อม กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส

สีย้อมธรรมชาติเป็นสารละลายเมื่อละลายในน้ำจะกระจายตัว ซึ่งน้ำเป็นตัวพาสีเข้าสู่เส้นใย และสีสามารถอยู่บนเส้นใยโดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีของเส้นใยเปลี่ยน กลไกในการย้อมสีมี 3 ขั้นตอนดังนี้

1) สีติดติดที่ผิวของเส้นใย เมื่อนำเส้นใยใส่ลงน้ำสี โมเลกุลของสีที่ละลายอยู่จะเคลื่อนที่เกาะติดรอบ ๆ ผิวเส้นใย

2) สีซึมเข้าสู่เส้นใย โมเลกุลของสีที่เกาะอยู่รอบ ๆ ผิวเส้นใยจะแทรกซึมเข้าสู่ช่องว่างในเส้นใยการเพิ่มอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้โมเลกุลของสีซึมเข้าสู่เส้นใยได้รวดเร็วขึ้น สีซึมเข้าสู่เส้นใยจนถึงจุดอิ่มตัวซึ่งทั้งในเส้นใยและน้ำสีมีศักยภาพทางเคมีเท่ากัน

3) สีติดทนอยู่ในเส้นใย โมเลกุลสีที่ซึมเข้าสู่เส้นใยติดทนอยู่ในเส้นใยโดยกลไกทางกายภาพและทางเคมี สีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นสีสามารถเคลื่อนย้ายออกจากเส้นใยได้หากมีการซักล้าง การย้อมสีธรรมชาติต้องใช้สารช่วยยึดติดเพื่อให้สีติดอยู่บนเส้นใยโดยโมเลกุลของสารช่วยยึดติดจะเข้าไปรวมตัวกับโมเลกุลของสีทำให้โมเลกุลใหญ่ขึ้น จึงไม่สามารถเคลื่อนย้ายออกจากเส้นใยได้ ทำให้เกิดความคงทนต่อการซักดีขึ้น

2.6 วิธีในการย้อมสีธรรมชาติ

2.6.1 การย้อมโดยตรง (Direct dyeing)

สีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ละลายน้ำได้ วิธีการย้อมโดยตรงโมเลกุลของสีจะสามารถเกิดพันธะกับเส้นใยได้ โดยอาศัยหมู่ฟังก์ชันของโมเลกุลของเส้นใยกับโมเลกุล กรณีที่เส้นใยเป็นเซลลูโลส เช่นฝ้ายจะมีหมู่ไฮดรอกซิลอยู่มากจึงสามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของสีได้โดยตรง ดังนั้นการย้อมโดยตรงเป็นวิธีที่ติดสีง่าย แต่มีความคงทนต่ำ ได้สีไม่สดใส

2.6.2 การย้อมแบบแวต (Vat dyeing)

สารให้สีที่ย้อมวิธีนี้มักเป็นสารที่ไม่ละลายน้ำ ดังนั้นขั้นตอนแรกของการย้อมแบบนี้จึงต้องทำให้สีนั้นละลายน้ำเสียก่อนโดยอาศัยปฏิกิริยารีดักชัน ซึ่งจะได้สารที่เรียกว่าลิวโค (Leuco) จากนั้นจึงนำเส้นใยลงย้อม เมื่อสีเข้าสู่เส้นใยแล้วจึงเปลี่ยนให้สีกลับมาอยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำได้อีกครั้งโดยปฏิกิริยาออกซิเดชัน ตัวอย่างของกลุ่มสีนี้ได้แก่ สีอินดิโกที่ได้จากใบคราม

2.6.3 วิธีในการย้อมโดยใช้สารช่วยติด (Mordant dyeing)

การย้อมโดยสารช่วยติดนี้จะช่วยให้สีธรรมชาติสามารถยึดเกาะกับเส้นใยได้ดีขึ้น โดยสารช่วยยึดติดที่มักเป็นสารประกอบออกไซด์ของโลหะ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในการย้อมแบบนี้คือ โลหะของสารช่วยยึดติดจะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนของสีกับเส้นใย สีธรรมชาติส่วนใหญ่ไม่มีความสามารถในการยึดเกาะกับเส้นใยได้เอง แต่จะต้องอาศัยสารช่วยติดในการย้อมซึ่งจะทำหน้าที่ในการช่วยให้สีสามารถเกาะยึดกับเส้นใย ทำให้ความคงทนของสีโดยเฉพาะต่อการซักและต่อแสงดีขึ้น อย่างไรก็ตามการใช้สารช่วยติดบางชนิดอาจมีผลทำให้สีย้อมธรรมชาติเปลี่ยนไปจากเดิม

2.7 ปัจจัยที่สำคัญในการยอมสื

2.7.1 อัตราเร็วแห่งการยอมสื

อัตราการซึมของโมเลกุลสืเข้าไปในเส้นใยอย่างเชื่องช้าขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่างของโมเลกุลของสื ความหนาแน่นของเส้นใยชนิดต่าง ๆ จะทำให้การยอมสืเป็นไปอย่างเชื่องช้า และมักจะใช้เวลายอมนานกว่าจะยอมสืได้ถึงขั้นสมบูรณ์ (คือติดสืเสมอทั้งแกนกลางของเส้นใย) เส้นใยบางชนิดจะมีโครงสร้างโมเลกุลที่แน่นมากยากแก่การแทรกซึมของสื อาจจะต้องใช้เวลายอมหลายชั่วโมงหรืออาจเป็นสัปดาห์

2.7.2 อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อการยอมสื

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่มีต่อการยอมสื โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิในการยอมสูงขึ้นจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยสรุป 2 แนวทางคือ

- 1) เพิ่มความเร็วในช่วงแรกของการยอม สืจะเข้าไปในเส้นใยในระยะเวลาอันสั้น
- 2) ทำให้มีการกระจายตัวของสืดี คือเพิ่มความเร็วในการกระจายตัวของสืจากส่วนที่ติดสื

หนาแน่น (ส่วนพื้นผิวหน้าเส้นใย) ไปยังที่มีสือยู่บางกว่า (แกนกลางของเส้นใย)

2.7.3 อิทธิพลของสารช่วยยอม

สืที่ละลายน้ำได้สามารถซึมเข้าไปในเส้นใยได้ค่อนข้างช้าและตกตะกอนได้ง่าย จำเป็นต้องเติมสารช่วยยอมลงไปบนเส้นใยเพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น ย่อมให้สืทนทานติดสืได้สม่ำเสมอ

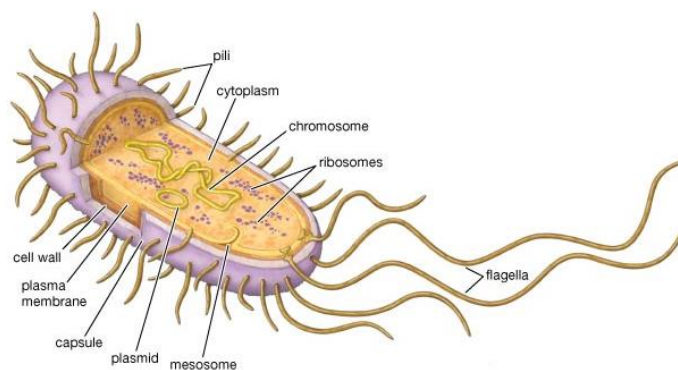
2.8 แบคทีเรีย

แบคทีเรียมีขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3-2 ไมโครเมตร โดยมีโครงสร้างดังภาพที่ 2.14 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1) Cell envelope เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ปกป้องเซลล์ ทำให้เซลล์มีรูปร่างแตกต่างกันไป ได้แก่ส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ผนังเซลล์ (cell wall) และไกลโคคาลิกซ์ (glycocalyx) ซึ่งเป็นเปลือกนอกพวกแคปซูล (capsule) หรือสารเมือก (slime layers)

2) Protoplasm เป็นของเหลว (cell protoplasm) ภายในประกอบด้วยออร์แกเนลล์ (organelle) หลายชนิด ได้แก่ไรโบโซม (ribosome) และนิวคลีโออยด์ (nucleoid)

3) Appendages เป็นส่วนที่ยื่นออกจากเซลล์ ทำหน้าที่เคลื่อนที่ เช่น แฟลเจลลัม (flagella) และพิมเบรีย (fimbriae) หรือพิล (pili) ซึ่งอาจมีหรือไม่มีก็ได้



ภาพที่ 2.14 โครงสร้างของแบคทีเรีย

แบคทีเรียที่มักพบบนเสื้อผ้ามีทั้งแบคทีเรียแกรมบวก และแกรมลบ ได้แก่ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*

Staphylococcus aureus เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปร่างกลมมักพบอยู่เดี่ยว ๆ หรือเป็นคู่ เนื่องจากการแบ่งตัวมีมากกว่าหนึ่งระนาบทำให้มีลักษณะเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในสภาพที่มีออกซิเจนจะสร้างกรด แต่ไม่สร้างแก๊สภายใต้สภาพที่ไม่มีออกซิเจน มีการสร้างเอนไซม์ และสารพิษที่ขับออกนอกเซลล์ อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตเท่ากับ 35-40 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตได้ดีในที่มีเกลือแกง 15 เปอร์เซ็นต์ จึงพบตามผิวหนังและรูขุมขนจึงมีโอกาสที่จะสะสมบนเสื้อผ้า เมื่อ *Staphylococcus aureus* เข้าไปในร่างกายจะไปสร้างสารพิษเอนโทโรทอกซิน โดยสารพิษนี้ทำให้เกิดอาการอาเจียน ปวดท้อง และอ่อนเพลีย

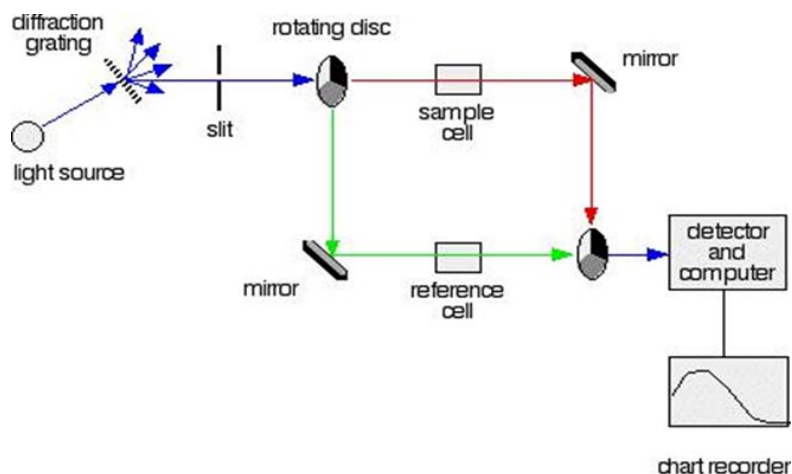
Escherichia coli เป็นแบคทีเรียแกรมลบมีรูปร่างเป็นท่อนสั้น ๆ ขนาด 1-2 ไมโครเมตรไม่สร้างสปอร์เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต 37-41 องศาเซลเซียสเป็นแบคทีเรียที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ดี สามารถมีชีวิตอยู่ตามเสื้อผ้า และในฝุ่นละอองได้หลายวัน *Escherichia coli* เป็นแบคทีเรียก่อโรคทางเดินอาหารทำให้ท้องร่วง กระเพาะปัสสาวะอักเสบ และเยื่อหุ้มสมองอักเสบ

2.9 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

2.9.1 เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-VIS Spectrophotometer)

ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่สามารถทำการวิเคราะห์ได้ทั้งเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ เป็นการวัดค่าการดูดกลืนแสงของสารอินทรีย์ที่อยู่ในช่วงอัลตราไวโอเล็ต และวิสิเบิล ช่วงความยาวคลื่นประมาณ 190–800 นาโนเมตรของสารอินทรีย์ สารประกอบเชิงซ้อน หรือสารอนินทรีย์ทั้งที่มีสี และไม่มีสี การดูดกลืนรังสี UV-Vis ได้ สารแต่ละตัวจะแสดงสเปกตรัมเฉพาะ เมื่อโมเลกุลของสารตัวอย่างถูกฉายด้วยแสงที่มีพลังงานเหมาะสมจะทำให้อิเล็กตรอนภายในอะตอมเกิดการดูดกลืนแสง แล้วเปลี่ยนสถานะไปอยู่ในชั้นที่มีระดับพลังงานสูงกว่า เมื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านหรือสะท้อนมาจากตัวอย่างเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่ความยาวคลื่นค่าต่าง ๆ ตามกฎของ Beer-Lambert ค่าการ

ดูดกลืนแสงของสารจะแปรผันกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง เกิดจากการดูดกลืนแสงของสีย้อมอิเล็กตรอนในพันธะคู่ สามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมที่แตกต่างกันในช่วงความยาวคลื่นช่วง 400 - 700 นาโนเมตร ดังนั้นจึงใช้เทคนิคนี้ในระบุชนิดและปริมาณของสารต่าง ๆ ที่มีอยู่ในตัวอย่างได้



ภาพที่ 2.15 หลักการทำงานของเครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

2.9.2 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer)

เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ ตรวจสอบโครงสร้างของสาร โดยการวัดการดูดกลืนรังสีที่อยู่ในช่วงอินฟราเรด ที่อยู่ในช่วงเลขคลื่นประมาณ $12,800 - 10 \text{ cm}^{-1}$ สามารถวิเคราะห์ตัวอย่างได้ทั้งสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ การวิเคราะห์โครงสร้างของสารอาศัยการดูดกลืนแสงที่ความถี่ต่าง ๆ ที่แตกต่างกันของแต่ละโมเลกุล กล่าวคือเมื่อโมเลกุลของสารดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเข้าไปจะทำให้พันธะในโมเลกุลเกิดการสั่น และการหมุนทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง โมเลกุลจะดูดกลืนรังสีอินฟราเรดเมื่อความถี่ของรังสีอินฟราเรดเท่ากับความถี่การสั่นของโมเลกุลของสาร แสดงหลักการทำงานของเครื่อง FT-IR spectrometer ดังภาพที่ 2.16

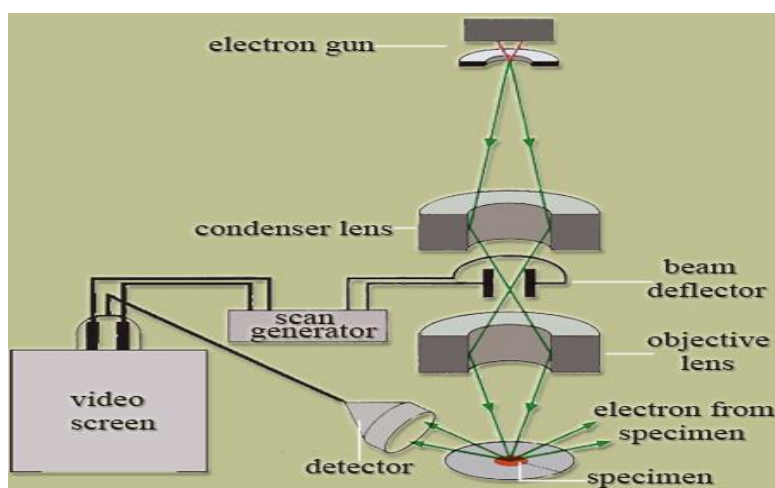


ภาพที่ 2.16 หลักการทำงานของเครื่อง FT-IR spectrometer

2.9.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

สแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนที่มีกำลังขยายสูงสุดประมาณ 10 นาโนเมตร การสร้างภาพทำได้โดยการตรวจวัดอิเล็กตรอนที่สะท้อนจากพื้นผิวหน้าของตัวอย่างที่ทำการสำรวจ ซึ่งภาพที่ได้จากเครื่อง SEM จะเป็นภาพ 3 มิติ ดังนั้นเครื่อง SEM จึงถูกนำมาใช้ในการศึกษา สันฐาน และรายละเอียดของลักษณะพื้นผิวของตัวอย่าง เช่น ลักษณะพื้นผิวด้านนอกของเนื้อเยื่อ และ เซลล์หน้าตัดของโลหะและวัสดุเป็นต้น

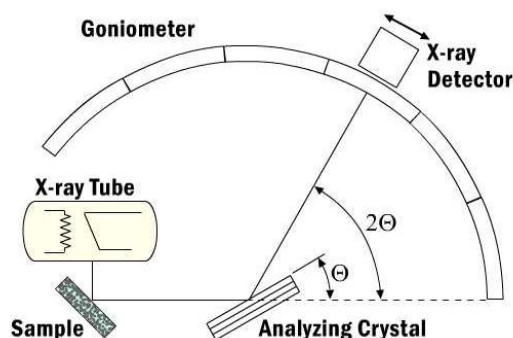
หลักการของ SEM จะประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน ซึ่งทำหน้าที่ปลดปล่อย อิเล็กตรอนออกมา โดยกลุ่มอิเล็กตรอนที่ได้จากแหล่งกำเนิดจะถูกเร่งด้วยสนามไฟฟ้า จากนั้นกลุ่ม อิเล็กตรอนจะผ่านเลนส์รวบรวมรังสี เพื่อให้กลุ่มอิเล็กตรอนกลายเป็นลำอิเล็กตรอน ชี้นำงานจะเกิด อันตรกิริยาได้สัญญาณแบบต่าง ๆ ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็น สัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์หรือ x-ray สัญญาณแต่ละชนิดจะถูกจับโดยดีเทคเตอร์ และแปลงผลเป็น สัญญาณทางไฟฟ้า แสดงดังภาพที่ 2.17



ภาพที่ 2.17 หลักการทำงานของเครื่อง Scanning Electron Microscope

2.9.4 เอ็กซเรย์ดิฟแฟร็กโทสโกปี (X-ray Diffractroscopy)

เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ หรือ X-ray Diffractometer (XRD) เป็นเครื่องมือที่ใช้ ในการวิเคราะห์สมบัติของวัสดุ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ โดยสามารถทำการวิเคราะห์ได้ ทั้งสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง และนำมาใช้ศึกษารายละเอียดเกี่ยวกับโครงสร้างผลึกของสาร ตัวอย่าง ผลึกของตัวอย่างแต่ละชนิด จะมีขนาดของ Unit Cell ไม่เท่ากันทำให้ Pattern ของการเลี้ยวเบน รังสีเอกซ์ ไม่เท่ากัน ทำให้สามารถหาความสัมพันธ์ของสารประกอบต่าง ๆ กับ Pattern การเลี้ยวเบนของ รังสีเอกซ์ได้ ซึ่งจะทำให้ทราบว่าในตัวอย่างนั้น ๆ มีสารประกอบอะไรบ้าง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์ของ XRD ยังสามารถคำนวณหาปริมาณขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในตัวอย่าง, คำนวณหาขนาดอนุภาคของ แต่ละ Unit cell แสดงดังภาพ 2.18 ความเครียดของตัวอย่าง ค่าความเป็นผลึกของตัวอย่างได้อีกด้วย



ภาพที่ 2.18 หลักการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทสโกปี (X-ray Diffractoscopy)

2.10 การทดสอบสมบัติของผ้าฝ้าย

2.10.1 การวัดสีระบบ CIE Lab

Commission International de l'Eclairage หรือ (CIE) ได้พัฒนาระบบสีจนเป็นระบบที่ยอมรับ และใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือระบบ L^* - a^* - b^* ซึ่งเป็นระบบการบรรยายสีแบบ 3 มิติ โดยที่แกน L^* จะบรรยายถึงความสว่าง (lightness) จากค่า $+L^*$ แสดงถึงสีขาวจนไปถึง $-L^*$ แสดงถึงสีดำ แกน a^* จะบรรยายแกนจากสีเขียว ($-a^*$) ไปจนถึงแดง ($+a^*$) ส่วนแกน b^* จะบรรยายถึงแกนสีจากน้ำเงิน ($-b^*$) ไปถึงเหลือง ($+b^*$) ลักษณะการบรรยายสีของ CIE แสดงได้ดังภาพที่ 2.19 นอกจากนี้ในระบบ CIELAB ได้เชื่อมค่า a^* และค่า b^* เข้ากับ Hue และ Chroma โดยกำหนดค่าสีอีก ค่า คือ chroma (C^*)

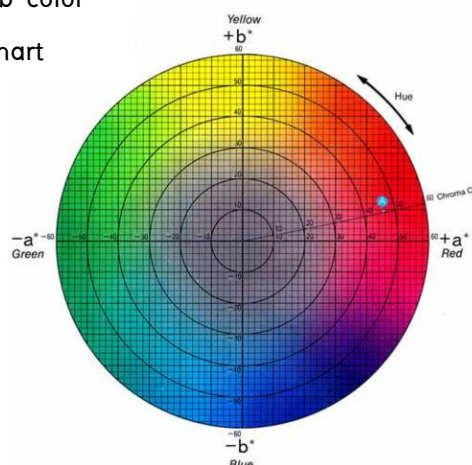
ส่วน Chroma คือค่าความสดใของสีที่มีความสว่างหนึ่ง ๆ Chroma จะได้จากความยาวเส้นตรงจากจุดกำเนิดที่ $a^* = h^* = 0$ ไปยังตำแหน่งของตัวอย่าง C^* คำนวณได้ดังสมการ

$$\text{โดย } C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2}$$

โดยทั่วไปในการระบุสีของวัตถุสีในระบบ CIELAB มักระบุด้วยค่า L^*C^* และ h^* มากกว่า $L^* a^* b^*$ เนื่องจากจะทำให้เข้าใจ และทราบลักษณะของสีได้ใกล้เคียงกับที่ตามนุษย์มองเห็น และอุปกรณ์วัดสีที่นิยมใช้ในปัจจุบันคือ spectrophotometer อุปกรณ์ดังกล่าวจะใช้แสงจากแหล่งประดิษฐ์ (illuminant) คือแสงที่แต่งความเข้มแสง (intensity) หรืออุณหภูมิของสี (color temperature) และตัวอย่างของแหล่งประดิษฐ์แสงได้แก่ D65 – แสงเที่ยงวัน (noon daylight) A – แสงส้มจากหลอดทั้งสแตน C – แสงกลางวันเฉลี่ย (average daylight) CWF – แสงขาวเย็นจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ (cooled white fluorescent)

L*a*b*color

chart



ภาพที่ 2.19 การบรรยายสีในระบบ CIE Lab มองในระนาบ 2 มิติ



ภาพที่ 2.20 Spectrophotometer ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV- 1800

2.10.2 ความเข้มของสีของวัสดุ

ความเข้มของสีของวัสดุเป็นการวัดความเข้มของสีของวัสดุโดยวัดค่า R (Reflectance) ของวัสดุต่อแสงซึ่งถ้าแสงสะท้อนออกหมดค่า R จะเท่ากับ 1 และถ้าแสงดูดกลืนหมดค่า R จะเท่ากับ 0 โดยที่ความสัมพันธ์ของค่า R จะมีผลต่อความเข้มสีคือค่า K/S โดยที่ค่า K เป็น Absorption coefficient ของวัสดุ และ S เป็น Scattering coefficient ของวัสดุซึ่งทั้ง K และ S ไม่สามารถวัดได้โดยตรงแต่สามารถที่จะหาอัตราส่วนของ K และ S เป็นค่า K/S (หรือเป็นค่าบอกความเข้มของสีเมื่อเทียบกับค่าการดูดกลืนแสงของสารละลาย ค่า K/S ของวัสดุที่บีกจะมีค่าคล้าย ๆ กับค่า Absorbance ของสารละลาย) โดยที่ใช้ซอฟต์แวร์ในการเทียบสีโดยอาศัยพื้นฐานทางคณิตศาสตร์จากสมการของ the Kubelka-Munk สมการนี้ใช้กับตัวอย่างที่ทึบแสง เช่น วัสดุสิ่งทอ

$$K/S = [(1-R)^2]/2R$$

ถ้าตัวอย่างมี reflectance of 20 % ที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร สามารถคำนวณค่า K/S ได้ดังนี้

$$K/S = (1 - 0.2)^2 / 2(0.2) = 1.6$$

2.10.3 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรียสแตปฟีโลคอคคัส ออเรียส (*staphylococcus aureus*) โดยใช้เทคนิค paper disc diffusion

การทดสอบวิธีนี้จะอาศัยหลักการแพร่ของสารที่เติมลงบนกระดาษกรองสารจะแพร่ออกไปจากกระดาษกรอง ซึ่งความเข้มข้นของสารที่แพร่ออกไปก็จะลดลงเรื่อย ๆ ผลการยับยั้งจุลินทรีย์วัดได้จากขนาดของเคลียร์โซนในที่เกิดรอบ ๆ แผ่นกระดาษกรอง เชื้อ *staphylococcus aureus* ไม่เคลื่อนที่ไม่สร้างสปอร์ ลักษณะโคโลนีกลม ขอบเรียบ นูน มีสีครีมเหลือง ส้ม และสามารถเจริญเติบโตได้ที่อุณหภูมิ 6 - 46 °C โดยมีช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 - 37 °C ทนความร้อน ที่ 60 °C นาน 30 นาที สามารถสร้างสารพิษที่อุณหภูมิมากกว่า 10 °C ค่าพีเอชที่สามารถเจริญได้อยู่ในช่วง 4.0 - 10.0 โดยมีช่วงที่เหมาะสมคือ 7.0 - 7.5 และสามารถทนเกลือได้ 18 - 20 % แหล่งที่อยู่ธรรมชาติของเชื้อจะอยู่ตามผิวหนังของมนุษย์เมื่อสะสมบนเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม อาจก่อให้เกิดกลิ่นไม่พึงประสงค์ และโรคผิวหนัง

2.10.4 การป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (Ultraviolet Radiation)

รังสีอัลตราไวโอเลต หรือ แสงยูวี (Ultraviolet) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เช่นเดียวกับคลื่นวิทยุ รังสีเอ็กซ์ รังสีแกมมา แสงแดด หรือ แสงสว่าง ก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเช่นกัน แต่มีช่วงความยาวคลื่นที่ตามนุษย์สามารถรับรู้ความรู้สึกได้ ทำให้สามารถมองเห็นสิ่งต่าง ๆ ได้เราจึงเรียกว่า แสงสว่าง แสงยูวีแบ่งเป็น 3 ช่วงที่มีผลกระทบกับผิวหนังของมนุษย์

1) UV-A ช่วงความยาวคลื่น 315 – 400 nm เป็นช่วงความยาวคลื่นที่มีพลังงานต่ำที่สุดของแสง UV ซึ่งจะส่งผลกระทบทำให้ผิวหนังมีสีน้ำตาล (Sun tanning) แต่เนื่องจากเป็นคลื่นที่อยู่ใกล้กับแสงที่ตามองเห็น จึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Near UV สามารถทะลุเข้าไปทำลายเซลล์ผิวหนังแท้เป็นสาเหตุผลกระทบในระยะยาวต่อผิว และเป็นตัวทำลายคอลลาเจน ที่ทำให้ผิวหนังขาดความยืดหยุ่นเหี่ยวย่น และเกิดริ้วรอย

2) UV-B ช่วงความยาวคลื่น 280 – 315 nm จะทะลุเข้าไปทำลายผิวชั้นหนังแท้เป็นสาเหตุหลักของอาการผิวไหม้ หรือการอักเสบบนผิวหนัง และยังเป็นตัวทำลาย DNA ในเซลล์ผิวอันเป็นสาเหตุของมะเร็งผิวหนัง

3) UV-C ช่วงความยาวคลื่น 200 – 280 nm ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าแสงยูวีทั้งสองชนิดแรก

2.10.5 การทดสอบความคงทนของสี

ค่าความคงทนของสีธรรมชาติได้แก่ ความคงทนต่อการซักล้าง และความคงทนต่อแสงแดด เป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการย้อมสีธรรมชาติดังนั้นผู้ผลิตจึงจำเป็นต้องทดสอบให้รู้แน่ชัดว่าวัตถุดิบ

ธรรมชาติชนิดใดมีค่าความคงทนอยู่ในขั้นมาตรฐานเหมาะที่จะนำมาใช้ ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบความคงทนของสี ได้แก่ค่าความคงทนต่อการซักล้าง และค่าความคงทนต่อแสง

1) ค่าความคงทนต่อการซักล้าง

ในระดับมาตรฐานสากลค่าความคงทนต่อการซักล้าง (WF) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1-5 โดย WF.1 จะมีค่าความคงทนต่อการซักล้างต่ำ และ WF.5.จะมีค่าความคงทนสูงสุด โดยทั่วไปผลิตภัณฑ์ที่มีค่าความคงทนต่อการซักล้างอยู่ในเกณฑ์ดี จะต้องมีความคงทนต่อการซักล้างไม่ต่ำกว่า 4 การประเมินค่าความคงทนต่อการซักล้างใช้เกรย์สเกลสำหรับประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงสี และสำหรับการประเมินค่าการเปลี่ยนสี

2) ค่าความคงทนต่อแสง

ในระดับสากล ค่าความคงทนต่อแสง (LF) จะอยู่ระหว่าง 1 - 8 โดย LF 1 จะมีค่าความคงทนต่อการซักล้างต่ำ และ LF 8 จะมี ค่าความคงทนต่อแสงสูงสุด สำหรับค่าความคงทนต่อแสงของผลิตภัณฑ์ผ้าย้อมสีธรรมชาติที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปจะอยู่ที่ระดับ 4-5 ขึ้นไป

การประเมินผล

(1) การประเมินผลการทดสอบขั้นต้น เมื่อสีของชิ้นทดสอบเริ่มเปลี่ยนแปลงให้บันทึกที่ระดับของผ้าสีมาตรฐานที่เปลี่ยนสีเท่ากับชิ้นทดสอบไว้ หรือเมื่อผ้ามาตรฐาน 3 เริ่มเปลี่ยนสีเท่ากับการเปลี่ยนสีของชิ้นทดสอบโดยเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนแปลงของผ้ามาตรฐาน 1, 2 และ 3 ต่อจากนั้นให้ผึ่งชิ้นทดสอบต่อไป

(2) การประเมินผลการทดสอบขั้นสุดท้าย เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบกับผ้ามาตรฐาน ความคงทนต่อแสงของชิ้นทดสอบคือระดับของผ้ามาตรฐานที่มีการเปลี่ยนแปลงสีเท่ากัน ถ้าชิ้นทดสอบแสดงการเปลี่ยนแปลงสีอยู่ระหว่างผ้าสีมาตรฐานสองระดับ ให้รายงานผลเป็นค่าระหว่างสีมาตรฐานทั้งสอง เช่นความคงทนของสีเป็น 3 ถึง 4 หมายถึง ชิ้นทดสอบนี้มีความคงทนไม่ถึงระดับ 4 แต่มีความคงทนมากกว่าระดับ 3

(3) ถ้าชิ้นทดสอบจางกว่าผ้าสีมาตรฐาน 1 ให้รายงานเป็นระดับ 1

(4) ถ้าชิ้นทดสอบมีความคงทนของสีเป็นระดับ 4 หรือมากกว่า ให้สังเกตจากการประเมินผลในขั้นต้น ถ้าในการประเมินผลในขั้นต้น ปรากฏว่าการเปลี่ยนแปลงสีของชิ้นทดสอบเท่ากับ 3 หรือต่ำกว่าให้บันทึกไว้ในวงเล็บ ตัวอย่างเช่น ชิ้นทดสอบมีความคงทนเป็น 6 (3) แสดงว่าชิ้นทดสอบเปลี่ยนสีไปน้อยมากเมื่อผ้าสีมาตรฐาน 3 เริ่มเปลี่ยนสี แต่เมื่อผึ่งแสงแดดต่อไปสีจะค่อยจางไปเท่ากับมาตรฐาน 6

การรายงานผล

ให้รายงานค่าของอัตราความคงทนของสีต่อแสง ถ้าค่านี้เท่ากับ 4 หรือสูงกว่าและในการประเมินผลขั้นต้นได้ค่าเท่ากับ 3 หรือต่ำกว่าให้ใส่ค่าจากการประเมินผลข้างต้นไว้ในวงเล็บด้วย

3) การใช้เกรย์สเกล

(1) เกรย์สเกลสำหรับประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงสี

ขอข่าย มาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 14-2518 เล่ม 14 กำหนดการใช้เกรย์สเกล สำหรับประเมินค่าการเปลี่ยนแปลงสีของสิ่งทอ ในการทดสอบหาอัตราความคงทนของสี

(2) หลักการทดสอบ

เกรย์สเกล ประกอบด้วยแถบสีเทา 5 คู่ แต่ละคู่ใช้แทนค่าความแตกต่างของสีที่วัดด้วยสายตาเป็นลำดับกันไป ความแตกต่างนี้เทียบได้กับอัตราความคงทนของสี ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ความแตกต่างของสีเทียบกับอัตราความคงทนของสี

ความแตกต่างของสี หน่วย N.B.S.	อัตราความคงทนของสี
0 ± 0.2	5
1.5 ± 0.2	4
3.0 ± 0.2	3
6.0 ± 0.5	2
12.0 ± 1.0	1

(2.1) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 แทนโดยใช้แถบสีที่เหมือนกัน 2 แถบวางข้างกัน แถบสีกลางซึ่งมีค่าสะท้อนแสงร้อยละ 12 ± 1.0 ความแตกต่างของสีเป็น 0

(2.2) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 แทนโดยแถบสีอ้างอิงที่เหมือนกับที่ใช้ใน ข้อ 2 เข้าคู่กับแถบสีเทาเป็นกลางที่อ่อนกว่า ความแตกต่างของทุกคู่ที่มองด้วยสายตาเรียงเป็นขั้นเรขาคณิตของความแตกต่างของสี ดังตารางข้างต้น

(2.3) การใช้เกรย์สเกล วางชิ้นส่วนเดิมของสิ่งทอ (original - textile) กับชิ้นทดสอบที่ทดสอบแล้วเคียงข้างกันบนพื้นราบเดียวกัน และในทิศทางเดียวกันด้วย จากนั้นนำเกรย์สเกลมาวางข้าง ๆ บนพื้นราบเดียวกัน สภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นควรเป็นสีเทาซึ่งมีความสว่างน้อยกว่าแถบสีที่เข้มที่สุด เล็กน้อย จำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการรบกวนที่เกิดจากแสงสีด้านหลังของสิ่งทอ ให้ใช้ชิ้นส่วนเดิมของสิ่งทอ 2 ชิ้น หรือมากกว่าวางรองไว้ใต้ทั้งชิ้นทดสอบและชิ้นส่วนเดิมจากนั้นส่องพื้นผิวนี้ด้วยแสงจากทิศเหนือ หรือแหล่งกำเนิดแสงที่มีความเข้มของการส่องสว่าง 540 ลักซ์ (50 ลูเมนต่อตารางฟุต) หรือมากกว่านี้ แสงที่ส่องบนพื้นผิวนี้ควรทำมุม 45 องศาโดยประมาณ โดยทิศทางของการทดลองต้องตั้งฉากกับพื้นผิว เปรียบเทียบความแตกต่างที่เห็นระหว่างชิ้นทดสอบ และชิ้นส่วนเดิมด้วยเกรย์สเกลอัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบคือ ตัวเลขของเกรย์สเกลซึ่งสอดคล้องกับความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบกับชิ้นส่วนเดิม ถ้าชิ้นทดสอบมีค่าอยู่ระหว่างเกรย์สเกล 2 แถบ ประเมินว่ามีค่าอยู่ระหว่าง 2 ระดับนั้น เช่น 3-4 หรือ 4-3 (2 อัตราที่เหมือนกัน) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 หมายความว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างชิ้นทดสอบและชิ้นส่วนเดิมนั้น

(3) เกรย์สเกลสำหรับประเมินค่าการตกติดสี

ขอขยาย มาตรฐาน มอก. 121 เล่ม 14 - 2518 เล่ม 14 กำหนด การใช้เกรย์สเกล สำหรับ ประเมินค่าการเปลี่ยนสีของสิ่งทอไม่ย้อมสีในการทดสอบหาอัตราความคงทนของสี

(4) หลักการทดสอบ

เกรย์สเกลประกอบด้วยแถบสีขาว 1 คู่ และแถบสีเทา และขาว 4 คู่ แต่ละคู่ใช้แทนค่า ความแตกต่างของสีที่วัดด้วยสายตาเป็นลำดับกันไปความแตกต่างนี้เทียบได้กับอัตราความคงทนของสี ดัง ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราความคงทนของสี

ความแตกต่างของสี หน่วย N.B.S.	อัตราความคงทนของสี
0 ± 0.2	5
4.0 ± 0.3	4
8.0 ± 0.5	3
16.0 ± 1.0	2
32.0 ± 2.0	1

(4.1) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 แทนโดยใช้แถบสีขาวที่เหมือนกัน 2 แถบ วาง เคียงกัน มีค่าการสะท้อนแสงไม่น้อยกว่าร้อยละ 85

(4.2) อัตราความคงทนของสีระดับ 4 จนถึง 1 แทนโดยใช้แถบสีขาวอ้างอิงที่เหมือนกับ ข้างต้นเข้าคู่กับแถบสีเทาเป็นกลาง ความแตกต่างของทุกคู่ที่มองด้วยสายตาเรียงเป็นขั้นทางเรขาคณิตของ ความแตกต่างของสี ดังแสดงในตารางที่ 2.2

(4.3) การใช้เกรย์สเกล วางชิ้นส่วนของสิ่งทอไม่ย้อมสี และไม่เปื้อนสี กับชิ้นทดสอบที่ ทดสอบแล้วเคียงข้างกันบนพื้นราบเดียวกัน และในทิศทางเดียวกัน จากนั้นนำเกรย์สเกลมาวางข้าง ๆ บน พื้นราบเดียวกัน สภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นควรเป็นสีเทา ซึ่งมีความสว่างน้อยกว่าแถบสีที่เข้มที่สุดของเกรย์สเกล สำหรับประเมินค่าการเปลี่ยนสีนั้นเล็กน้อย ถ้าจำเป็นต้องหลีกเลี่ยงการรบกวนที่เกิดจากแสงสี ด้านหลังของสิ่งทอให้ใช้ชิ้นส่วนของสิ่งทอไม่ย้อมสี และไม่เปื้อนสี 2 ชิ้น หรือมากกว่าวางรองไว้ข้างใต้ทั้ง ชิ้นทดสอบ และชิ้นส่วนของสิ่งทอไม่ย้อมสี และไม่เปื้อนสี จากนั้นส่องพื้นผิวนี้ด้วยแสงจากทิศเหนือหรือ แห่ลงกำเนิดแสงที่มีความเข้มของการส่องสว่าง 540 ลักซ์ (50 ลูเมนต่อตารางฟุต) หรือมากกว่านี้ แสงที่ ส่องบนพื้นผิวนี้ควรทำมุม 45 องศาโดยประมาณ โดยทิศทางของการมองต้องตั้งฉากกับพื้นผิวเปรียบเทียบ ความแตกต่างที่เห็นระหว่างชิ้นทดสอบและชิ้นส่วนเดิมของสิ่งทอไม่ย้อมสีด้วยความแตกต่างที่แทนด้วยเกรย์สเกล อัตราความคงทนของสีของชิ้นทดสอบคือตัวเลขของเกรย์สเกล ซึ่งจะสอดคล้องกับความแตกต่าง ระหว่างชิ้นทดสอบกับชิ้นส่วนเดิมถ้าชิ้นทดสอบมีค่าอยู่ระหว่างเกรย์สเกล 2 แถบ ให้ประเมินว่าค่าอยู่

ระหว่าง 2 ระดับนั้นเช่น 3 - 4 หรือ 4-3 (2 อัตรานี้เหมือนกัน) อัตราความคงทนของสีระดับ 5 หมายความว่าไม่มีความแตกต่างระหว่างชั้นทดสอบ และชั้นส่วนเดิม

2.11 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผ้าฝ้ายเป็นผ้าทอจากเส้นใยธรรมชาติซึ่งเนื้อผ้าสวมใส่สบาย นุ่มเนียน ย้อมติดสีง่าย แต่ผ้าฝ้ายก็มีข้อด้อยหลายประการ เช่นไม่ทนต่อแสงแดด เมื่ออยู่ในที่อับชื้นขึ้นราได้ง่าย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยจำนวนมากสนใจที่จะปรับปรุงคุณภาพผ้าฝ้ายด้วยสารเคมี เพื่อให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติที่ดีขึ้น โดยสารเคมีส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ เช่น poly (N-vinyl-2-pyrrolidone) ไคโตซาน และ mono chloro triazinyl- β -cyclodextrin เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้สารอนินทรีย์ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วย เช่น ซิลเวอร์อนุภาคนาโน ซิลิกาอนุภาคนาโน และ ไททาเนียมไดออกไซด์ เป็นต้น

งานวิจัยนี้ได้เลือกปรับปรุงพื้นผิวผ้าฝ้ายโดยสังเคราะห์สารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โดยมีมุ่งเน้นให้กระบวนการปรับปรุงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม จากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงมาย้อมสีธรรมชาติ ในการย้อมสีธรรมชาติศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการย้อม ตรวจสอบสมบัติของผ้าหลังย้อมสีธรรมชาติ และเพื่อให้งานวิจัยได้บรรลุในทุกข้อจุดประสงค์ ผู้วิจัยจึงมีการตรวจสอบเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ดังนี้

2.11.1 การสังเคราะห์สารปรับปรุง

Ali Hebeish, S. Sharaf, A. Farouk. (2013) สังเคราะห์ไคโตซานอนุภาคนาโนในรูปแบบของสารแขวนลอยจากปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันของไคโตซานกับเมทิลเมทาไครเลตโดยมี $K_2S_2O_8$ เป็นสารริเริ่ม จากนั้นนำมาทำให้เกิดการเชื่อมโยงกับผ้าฝ้ายพบว่าช่วยในการปรับปรุงสมบัติด้านการดูดซับสี เสถียรภาพทางความร้อน ความสามารถในการต้านแบคทีเรีย และเมื่อปรับปรุงด้วยสารละลาย $CuSO_4$ และ 3-glycidyloxypropyl trimethoxysilane (GPTMS) จะเพิ่มสมบัติการป้องกันแสงยูวี

A.K. Mittal, Y. Chisti and U.C. Banejee. (2013) สังเคราะห์โลหะอนุภาคนาโนโดยใช้สารสกัดจากพืช พบว่าสารสกัดจากพืชสามารถรีดิวซ์โลหะไอออนไปเป็นโลหะได้อย่างรวดเร็ว ที่อุณหภูมิและความดันห้อง

A.M. Awwad, N.M. Salem and A.O. Abdeen. (2013) สังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยใช้สารสกัดจากใบ carob (*Ceratonia siliqua*) และศึกษาฤทธิ์การต้านแบคทีเรีย พบว่าสารสกัดจากใบ carob มีความเหมาะสมในการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนภายใน 2 นาทีที่สภาวะมาตรฐาน ให้ซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 18 นาโนเมตร ผลการศึกษายืนยันจาก XRD, FT-IR, UV-Visible spectroscopy และ SEM พบว่าซิลเวอร์อนุภาคนาโนมีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย E-coli

F. Banu, Ezhilarasan, Arumugam and Sahadevan. (2011) สังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนจากผักเสี้ยนผี (*cleome viscosa*) โดยนำสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดใส่ลงในสารสกัดผักเสี้ยนผีจะเกิดการรีดักชันของซิลเวอร์ไอออนไปเป็นผลึกซิลเวอร์อนุภาคนาโนอย่างรวดเร็ว ยืนยันลักษณะได้จาก UV-Visible spectrophotometer, FT-IR, XRD, XRF, TEM และ SEM

M.G. Guzman, J. Dille and S. Godet. (2009) สังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนผ่านปฏิกิริยารีดักชันโดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรตเป็นสารตั้งต้นและไฮดรอกซีนเป็นตัวรีดิวซ์ การสร้างซิลเวอร์อนุภาคนาโน ถูกติดตามโดยใช้ UV-Visible spectroscopy สเปกตรัมแสดงค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 418-420 นาโนเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของซิลเวอร์อนุภาคนาโนประมาณ 60 นาโนเมตร

V. Ilic, Z. Saponjic, V. Vodnik, B. Potkonjak, P. Jovancic and J. Nedeljkovic. (2009) สังเคราะห์ colloidal silver nanoparticles โดยใช้ซิลเวอร์ไนเตรตเป็นสารตั้งต้น และโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์ จากนั้นเคลือบบนผ้าคอตตอล พบว่าความเข้มข้นของ colloidal silver nanoparticles 10 ppm มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียที่ดี

Yadav A. (2006) ศึกษาการเคลือบ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนบนผ้าคอตตอล โดยเตรียม ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน จากปฏิกิริยาระหว่างซิงค์ไนเตรตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีน้ำแข็งเป็นสเทบิลไลเซอร์ อนุภาคนาโนมีขนาดเฉลี่ย 40 นาโนเมตร ถูกเคลือบบนผ้าคอตตอลโดยมีอะไคลิกเป็นสารช่วยยึด พบว่าผ้าคอตตอลที่เคลือบด้วย 2% ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สามารถป้องกันรังสี UV ได้ 75% การซึมผ่านได้ของอากาศ ความคงทนต่อการซัก การขัดถู สมบัติในการต้านแบคทีเรียมีเพิ่มมากขึ้นกว่าผ้าที่ไม่ได้เคลือบอนุภาคนาโน

2.10.2 การปรับปรุงผ้าฝ้าย

K. Rajendran and T. Sivalingam. (2013) ปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยโคโตซาน-ZnO คอมโพสิต เพื่อเพิ่มสมบัติการต้านแบคทีเรีย และเสถียรภาพทางความร้อน การเตรียมโคโตซาน-ZnO คอมโพสิต ใช้วิธี hydrothermal โดยใช้โคโตซานเกรดการค้า ซิงค์ไนเตรต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถทำได้โดยตรง ทำได้ง่าย ได้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อนำไป ใช้ปรับปรุงผ้าฝ้ายพบว่า โคโตซาน-ZnO คอมโพสิตถูกเชื่อมโยงไปบนผ้าคอตตอล ให้ความเสถียรต่อความร้อนสูงกว่าการใช้โคโตซานเพียงสารเดียว และยังมีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียอีกด้วย

L. Fang, X. Zhang and D. Sun (2013) ปรับปรุงผ้าคอตตอลด้วยอะคริลาไมด์ ผ่านปฏิกิริยาการเติมแบบ Michael ปฏิกิริยาการสลายตัวของ Hoffman พบว่าเมื่อย้อมสีรีแอกทีฟ ประเภทกลุ่ม vinyl-sulfone ให้การติดสีดีกว่า มีสมบัติความคงทนของสี ความทนทานต่อแรงเสียดสีมากกว่าผ้าคอตตอลที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

M.M.G. Fouda, M.R. El-Aassar and S.S. Al-Deyab. (2013) เตรียมซิลเวอร์อนุภาคนาโน (AgNPs) โดยใช้คาร์บอกซีโคโตซาน (CMCTS) ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้งสารรีดิวซ์และสารเพิ่มเสถียรภาพได้ AgNPs ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12-18 นาโนเมตร ยืนยันผลการทดลองจาก UV-Visible spectroscopy และ TEM จากนั้นนำมาผสมกับพอลิเอทิลีนออกไซด์ (PEO) โดยใช้กระบวนการ electrospinning ให้ผลิตภัณฑ์เส้นใยนาโน CMCTS-PEO-AgNPs ที่มีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยอนุภาคนาโนที่ไม่ใช่ AgNPs และเมื่อใช้ AgNPs เพียงสารเดียว

K. Juntarapun and C. Satirapipathkul. (2012) ศึกษาเคลือบเส้นใยคอตตอลด้วยโคโตซาน กรดแทนนิก และร่วมกันระหว่างโคโตซาน-กรดแทนนิก พบว่าเส้นใยที่ผ่านการเคลือบจะให้

สมบัติในการต้านแบคทีเรียดีเมื่อใช้ร่วมกับเปอร็อกไซด์ กรดแทนนิกให้สมบัติการต้านแบคทีเรียดีกว่า ไคโตซาน ส่วนการใช้ไคโตซาน-กรดแทนนิกร่วมกับเปอร็อกไซด์ให้สมบัติในการต้านแบคทีเรียดีที่สุด

M. Sundraraian, A. Rukmani, R. Rajiv Gandhi and S. Vigneshwaran (2012) ปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดสีของขมิ้นชัน โดยใช้ไคโตซานเตรียมได้จากเปลือกปู และเชื่อมโยงกับเส้นใยโดยใช้กรดซิดิก และโซเดียมไฮโปฟอสไฟต์ที่ 110 องศาเซลเซียส พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงให้การดูดซึมของสี ค่า K/S และความคงทนต่อการซักล้างดีขึ้น

M. Sundrarajan, R.R. Gandhi, A. Rukmani and S. Selvam. (2012) การปรับปรุงผ้าคอตตอนโดยใช้ β -cyclodextrin และไคโตซาน และตรวจสอบผลการปรับปรุงโดยการการย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติ พบว่าผ้าคอตตอนที่ถูกปรับปรุงให้การยึดติดสีเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะปรับปรุงด้วยไคโตซาน

S. Selvam, R.R. Gandhi, J. Suresh, S. Gowri, S. Ravikumar and M. Sundrarajan. (2012) สังเคราะห์ sulfated- β -cyclodextrin (sb-ed) ปฏิกริยาซัลโฟเนชันของ- β -cyclodextrin และ sulfated polymer จากนั้นเชื่อมโยงไปบนผ้าคอตตอน โดยใช้ ethylene diaminetetraacetic acid เป็นสารเชื่อมโยง ZnO, TiO₂ และ Ag อนุภาคนาโนถูกเตรียมและตรวจสอบเอกลักษณ์ด้วย XRD, UV, DLS, SEM และ PSA จากนั้นนำอนุภาคนาโนไปเคลือบบนผ้าคอตตอนที่ผ่านการเชื่อมโยงจากขั้นต้น ศึกษาการเชื่อมโยงและการเคลือบโดยใช้ FT-IR และ SEM การศึกษาฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรีย พบว่าสามารถใช้ในการต้านแบคทีเรียชนิด EE-Coli และ S. aureus ได้

V.R. Giri Dev, J. Venugopal, S. Sudha, G. Deepika and S. Ramakrishna (2009) พบว่า ไคโตซานที่เคลือบบนเส้นใยขนสัตว์จะช่วยต้านแบคทีเรีย และช่วยในการยึดติดสีเฮนน่า ผลของไคโตซานที่มีต่อกระบวนการย้อมบนเส้นใยขนสัตว์ยืนยันได้จากค่า K/S

Zhao-Tie Liu (2008) ปรับปรุงเส้นใยไหม โดยใช้ฮิพคัลโรไฮดรินทำปฏิกิริยากับไฮดรอกซิบนเส้นใยไหม เพื่อทำหน้าที่ในการเชื่อมโยงเอทิลีนไดเอมีน ตรวจสอบลักษณะเส้นใยด้วย FTIR, XRD, SEM, TGA และวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนด้วย elemental analysis พบว่าเส้นใยที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีสมบัติเหมือนเดิม แต่มีความเป็นผลึกลดลง พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงเส้นใยคือ ความเข้มข้นของเอทิลีนไดเอมีน 0.75 โมลต่อลิตร อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 5 ชั่วโมง จากนั้นย้อมเส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงแล้วด้วยสีรีเอกทีฟ ภายใต้สารละลายในสภาวะเบส พบว่าหมู่ฟังก์ชันของสีรีเอกทีฟเกิดปฏิกิริยากับหมู่รีเอกทีฟของเส้นใยไหมที่ผ่านการปรับปรุงแล้วทำให้ย้อมติดสีดีขึ้น และค่า K/S เพิ่มขึ้น

K. Ghule, A.V. Ghule, Bo-JJung Chen and Yong-Chien Ling. (2006) ศึกษาการเคลือบ ZnO อนุภาคนาโนบนกระดาษ โดยใช้ ultrasonic ยืนยันผลการทดลองจากการวิเคราะห์พื้นผิวด้วยเทคนิค SEM

K.F. El-tahlawy, M.A. El-bendary, A.G. Elhendawy and S.M. Hudson. (2005) ศึกษาการเคลือบผ้าคอตตอนด้วยไคโตซาน โดยใช้สารเชื่อมโยงที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ butane tetracarboxylic acid (BTCA) และ Arcofic NEC (low formaldehyde content) พบว่าการใช้สาร

เชื่อมโยง BTCA ให้สมบัติในการต้านทานแบคทีเรียได้ดีกว่าการใช้สารเชื่อมโยง Arcofic NEC ซึ่งการต้านทานแบคทีเรียที่ดีที่สุดคือผ้าคอตตอลถูกเคลือบด้วยไคโตซาน 0.5-0.75% โดยน้ำหนัก ทำการ cure ที่ 160 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2-3 นาที

ศศิธร โนนสังข์และสุตาพร ตั้งควนิช (2555) ศึกษาสมบัติของเส้นไหมด้วยซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนย้อมด้วยสีธรรมชาติแบบผงจากใบสาบเสือโดยใช้สารช่วยกระจายตัวเป็นสารอะคริลิก และสารพอลิเอเทอร์ฟอสเฟต พบว่าเส้นไหมที่เคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะคริลิกให้ค่าความเข้มสีสูงสุดเมื่อใช้สารส้อมเป็นสารช่วยยึดติด มีความสว่างสูงสุดเมื่อใช้มะขามเปียกเป็นสารช่วยยึดติด และเส้นไหมที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนในสารพอลิเอเทอร์ฟอสเฟต ให้ค่าความเข้มสีสูงสุดเมื่อใช้สนิมเหล็กเป็นสารช่วยยึดติด และมีความสว่างสูงสุดเมื่อใช้สารส้อมเป็นสารช่วยยึดติด และเส้นไหมที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนในสารอะคริลิก และพอลิเอเทอร์ฟอสเฟต ให้ค่าความคงทนของสีต่อแสงในระดับดี และค่าความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับดี เมื่อใช้สนิมเหล็กและจุนสีเป็นสารช่วยยึดติด ตามลำดับ

ยุวันดา เอี่ยมเผ่าจีน และบุญณมา ศิริพันธ์โนน (2554) ศึกษาการปลูกซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด พื้นผิวถูกปรับปรุงให้มีประจุเป็นบวกด้วย 3-Chloro-2-hydroxypropyl trimethylammonium chloride (CHTAC) จากนั้นแช่ใน $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ แล้วทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ได้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ตรึงบนผ้าฝ้าย และเมื่อตรวจสอบคุณสมบัติผ้าฝ้ายหลังปรับปรุงพบว่าสมบัติการป้องกันรังสียูวี สูงกว่าผ้าฝ้ายก่อนปรับปรุง

2.11.3 การย้อมสีธรรมชาติบนผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง

N.A. Ibrahim, A.R.El-Gamal, M. Gouda and F. Mahrous (2010) เพิ่มสมบัติของเส้นใยคอตตอลในการป้องกันแสงยูวี และการต้านแบคทีเรีย โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการย้อม และสมบัติของสารที่ปรับปรุง ได้แก่โครงสร้างของเส้นใย ชนิด และความเข้มข้นของสารช่วยยึดติด และเปอร์เซ็นต์ของสารสกัดสีจากธรรมชาติ พบว่าการใช้สารช่วยยึดติดเป็นโลหะไอออนจะสามารถเพิ่มสมบัติการป้องกันแสงยูวี โดยเฉพาะการย้อมซ้ำมากกว่า 20 ครั้ง และมีสมบัติการต้านแบคทีเรียได้ โดยการย้อมแบบย้อมก่อนย้อมสีจะให้ผลที่ดีที่สุด

M.M. Kamel, R.M. El-Shishtawy, B.M. Youssef and H. Mashaly. (2007) การย้อมผ้าคอตตอลที่ทำให้มีประจุบวก (cationised cotton fabrics) ด้วยสีจากครั่งโดยศึกษาเทคนิคการย้อมแบบดั้งเดิม กับการใช้ ultrasonic สภาวะที่ศึกษาได้แก่ พีเอชของน้ำย้อม ความเข้มข้นของเกลือ ultrasonic power เวลา และอุณหภูมิในการย้อม พบว่า ค่าความเข้มสีบนผ้าที่ย้อมด้วยเทคนิค ultrasonic ให้สีที่เข้มกว่าใช้เทคนิคแบบดั้งเดิมที่มีการให้ความร้อน

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ (2547) ศึกษาการตกแต่งไคโตซานลงบนผ้าฝ้ายช่วยให้การดูดซับสีย้อมที่สกัดได้จากเปลือกมังคุดดีขึ้น มีผลทำให้ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีเปลือกมังคุดมีค่าความเข้มของสีมากกว่าของผ้าที่ย้อมด้วยสีเปลือกมังคุดที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยไคโตซาน นอกจากนี้สมบัติความคงทนของสีต่อแสงและความคงทนของสีต่อการซักล้างที่ย้อมด้วยสีเปลือกมังคุดที่ตกแต่งด้วยไคโตซานดีกว่าสมบัติทั้งสองของ

ผ้าที่ไม่ได้ตกแต่งด้วยไคโตซาน การใช้สารช่วยยึดติด และวิธีการใช้สารช่วยยึดติดมีผลกระทบโดยตรงต่อ เหนือและ ความเข้มข้นของสีย้อมบนผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีย้อมสีเปลือกมังคุด ทั้งของผ้าฝ้ายที่ตกแต่ง และผ้าฝ้ายที่ไม่ตกแต่งด้วยไคโตซานแตกต่างกันออกไป การใช้สารช่วยยึดติดทำให้ผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติที่มีเหนียว หลากหลาย ซึ่งเป็นลักษณะพิเศษของสีธรรมชาติที่ไม่พบในสีสังเคราะห์ นอกจากนี้การใช้สารช่วยยึดติดยัง ช่วยปรับปรุงสมบัติความคงทนของสีต่อแสงและการซักของผ้า ทั้งที่ตกแต่งด้วยไคโตซานและไม่ได้ตกแต่งด้วยไคโตซานให้ดีขึ้นกว่าของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีย้อมสีเปลือกมังคุดที่ไม่ได้ใช้สารช่วยยึดติด

เพียงพลอย ศรีแนน และ ศิริพงษ์ สุวรรณไตร (2556) ศึกษาไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์ นำมาเคลือบบนผ้าฝ้ายในสภาวะต่าง ๆ เวลาในการสั่นด้วยคลื่นเสียง 20, 60 นาที อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส ความเข้มข้นของไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์ 0.2, 5 เปอร์เซ็นต์น้ำหนักต่อปริมาตร แล้วนำไปย้อม สีนํ้าตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์ให้สีเข้มกว่าผ้า ฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

ศศิธร โนนสังข์ (2555) ได้ศึกษาการพัฒนาสมบัติของเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ ย้อมด้วยสีธรรมชาติแบบผงที่สกัดจากใบสาบเสือ สารช่วยกระจายตัวนาโนซิงค์ออกไซด์คือสารอะคริลิก และสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟต เคลือบเส้นไหมด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก จากนั้นนำ เส้นไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะคริลิก และสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟตมาย้อมด้วยสี ย้อมธรรมชาติ แบบผงจากใบสาบเสือ พบว่าค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุดของสีย้อมแบบผงจากใบสาบเสือ มีค่า 348.26 นาโนเมตรเส้นไหมที่เคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะคริลิกให้ค่าความเข้มข้นสีสูงสุด เท่ากับ 6.08 เมื่อเติมสารส้มเป็นสารช่วยติดและมีค่าความสว่างสูงสุดเท่ากับ 68.20 เมื่อเติมมะขามเปียก เป็นสารช่วยติด ส่วนเส้นไหมที่เคลือบนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟตให้ค่าความเข้มข้นสีสูงสุด เท่ากับ 6.04 เมื่อเติมสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติด และมีค่าความสว่างสูงสุดเท่ากับ 67.33 เมื่อเติมสารส้ม เป็นสารช่วยติด เส้นไหมเคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะคริลิกและสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟตมีค่า ความคงทนของสีต่อแสงในระดับดีเมื่อมีสนิมเหล็กเป็นสารช่วยติดสี เส้นไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยนาโนซิงค์ออกไซด์ในสารอะคริลิก และสารพอลิอีเทอร์ฟอสเฟตมีค่าความคงทนของสีต่อการซักอยู่ในระดับดี เมื่อเติมจุนสีเป็นสารช่วยติดสี

C.Colleoni, M.R. Massafra, G. Rosace (2012) ศึกษาสมบัติและลักษณะของเส้นใย ฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยไฮดรอกไซด์ TiO_2 ที่ใช้ และไม่ใช้ PEG เป็นสารเชื่อมโยง พบว่า PEG ทำให้เกิดการ เชื่อมโยงระหว่างอนุภาคกับเส้นใยฝ้ายกับไฮดรอกไซด์ TiO_2 มากขึ้น ส่งผลให้สังเกตเห็นสภาพพื้นผิวของ เส้นใยฝ้ายมีพื้นผิวเรียบขึ้น

Khaled F. El-tahlawy และคณะ (2005) ศึกษาฤทธิ์ต้านจุลชีพของผ้าฝ้ายที่ได้รับการ ปรับปรุงด้วยไคโตซานที่มีสารเชื่อมโยง สารเชื่อมโยง 2 ชนิด คือ BTCA และ Arcofix NEC แสดงให้เห็น ว่าฤทธิ์ต้านจุลชีพ ต่อด้านเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน ที่มี BTCA มีฤทธิ์ต้าน จุลชีพมากกว่าผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานที่มี Arcofix NEC

K. Rajendran and T. Sivalingam (2013) ปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต เพิ่มสมบัติการต้านแบคทีเรีย และเสถียรภาพทางความร้อน การเตรียมไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ใช้วิธี hydrothermal โดยใช้ไคโตซานเกรดการค้า ซิงค์ไนเตรต และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถทำได้โดยตรง ทำได้ง่ายได้ผลิตภัณฑ์จำนวนมากที่อุณหภูมิต่ำ และเมื่อนำไปปรับปรุงผ้าฝ้าย พบว่าไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ถูกเชื่อมโยงไปบนผ้าฝ้าย ให้ความเสถียรต่อความร้อนสูงกว่าการใช้ไคโตซานเพียงสารเดียว และยังมีฤทธิ์ในการต้านแบคทีเรียอีกด้วย

Rabia Almas Araina และคณะ (2013) ศึกษาสมบัติการต้านแบคทีเรียและลักษณะของผ้าฝ้ายที่ได้รับการปรับปรุงด้วยไคโตซาน/AgCl-TiO₂ จากนั้นตรวจสอบประสิทธิภาพของฤทธิ์การต้านแบคทีเรียกับเชื้อ Staphylococcus aureus และ Escherichia coli ที่มีผลต่อผ้าฝ้ายพบว่าการรวมกันของ ไคโตซาน/AgCl-TiO₂ มีฤทธิ์ต้านแบคทีเรียได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ด้วยไคโตซาน AgCl-TiO₂

V.R. Giri Dev และคณะ (2009) การปรับปรุงผ้าขนสัตว์ด้วยไคโตซานในการย้อมสี และยับยั้งจุลชีพจากสีย้อมเฮนนา สารไคโตซานที่ใช้ปรับปรุงผ้าขนสัตว์จะช่วยเพิ่มการดูดซับสีย้อม และการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย พบว่าผ้าขนสัตว์ที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับสี ยับยั้งจุลชีพแล้วยังดูดซับเหงื่อ และทนต่อการซักล้างอีกด้วย

Yangshuo Liu, H (2012) ศึกษาลักษณะและสมบัติต้านแบคทีเรียด้วยไคโตซาน/PEG/ZnO/Ag nanocomposites การเตรียมอนุภาคนาโนสำหรับใช้งานทางชีวเคมีการแพทย์ เป็นการรักษาบาดแผล โดยผสมไฮโดรเจลลงไปทำให้องค์ประกอบของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เปลี่ยนแปลง โดยการวิเคราะห์ตัวอย่างด้วย x-ray และ SEM ไคโตซาน/PEG/ZnO/Ag nanocomposites แสดงให้เห็นว่ามีอาการบวมที่ไวต่อความเป็นกรดต่าง และมีการนำไปทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่า ไคโตซาน/PEG/ZnO/Ag composites มีประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียสูงกว่า ไคโตซาน/PEG และไคโตซาน/PEG/ZnO/Ag nanocomposites

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาสารเชื่อมโยง เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ โดยจะมีวิธีการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุ และสารเคมี

3.1.1 เครื่องมือ

- 1) เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-Visible Spectrophotometer)
รุ่น UV-1601 ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- 2) เครื่องอินฟราเรดสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Infrared Spectrophotometer)
รุ่น FTIR-8900 ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- 3) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ (X-Ray Diffractometer) รุ่น XRD 6100 2kW
ยี่ห้อ Shimadzu ประเทศญี่ปุ่น
- 4) เครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี (Scanning Electron Microscope)
รุ่น JSM – 5800LV ยี่ห้อ JEOL ประเทศอังกฤษ
- 5) เครื่องวัดความเข้มสี (Color flex spectrophotometer) รุ่น Mini scan XE plus
ยี่ห้อ Hunterlab ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 6) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Digital Balance) รุ่น AG245
ยี่ห้อ Mettler Toledo ประเทศสวิตเซอร์แลนด์
- 7) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (Water bath) ยี่ห้อ Memmert ประเทศเยอรมัน
- 8) ตู้อบ (Hot air oven) ยี่ห้อ Memmert ประเทศญี่ปุ่น
- 9) เครื่องสั่นแบบคลื่นเสียง (Ultrasonics) ยี่ห้อ Elma ประเทศเยอรมัน
- 10) เครื่องกวนแม่เหล็ก (Hotplate With Magnetic Stirrers)
ยี่ห้อ Ceramag Migi IKA worus ประเทศสหรัฐอเมริกา
- 11) เครื่องวัดพีเอช (pH meter) ยี่ห้อ Denver Instrument ประเทศไทย
- 12) เตาให้ความร้อน (Hot plate) ยี่ห้อ Schott ประเทศเยอรมัน
- 13) เครื่องดูดควัน (Hoods) ยี่ห้อ Toplab ประเทศไทย
- 14) หม้อนึ่งความดันไอน้ำ (Autoclave Electrical) รุ่น HVE-50 ยี่ห้อ Hirayama ประเทศญี่ปุ่น
- 15) ตู้บ่มเชื้อ อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ยี่ห้อ Hirayama ประเทศญี่ปุ่น

3.1.2 อุปกรณ์

- 1) ปีกเกอร์ (Beaker)
- 2) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask)
- 3) ขวดวัดปริมาตร (Volumetric flask)
- 4) ปิเปต (Pipette)
- 5) ไมโครปิเปต (Micropipette)
- 6) คิวเวท (Cuvette)
- 7) กระบอกตวง (Graduated cylinder)
- 8) หลอดหยด (Dropper)
- 9) แท่งแก้วคน (Stirring rod)
- 10) โกร่งบด (Mortar)
- 11) ลูกยาง (Bubble)
- 12) ขวดน้ำกลั่น (Wash bottle)
- 13) ลูกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร
- 14) เกรย์สเกลสำหรับประเมินการเปลี่ยนสี (Grey scale for color change)
- 15) เกรย์สเกลสำหรับการประเมินการตกติดสี (Grey Scale for Staining)
- 16) แปรงทำความสะอาดเครื่องแก้ว (Test tube brush)
- 17) อะลูมิเนียมฟอยล์ (Aluminium foil)
- 18) ตะกร้าพลาสติก (Plastic Basket)

3.1.3 สารเคมี และวัสดุ

- 1) กรดอะซิติก (Acetic acid) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 2) แอมโมเนียม ไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 3) โซเดียมคาร์บอเนต (Sodium bicarbonate) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 5) ไคโตซาน (Chitosan from crab shells) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Fiuka
- 6) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (Zinc oxide Nano) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Aldrich
- 7) พอลิเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol) น้ำหนักโมกุล 4000 ชนิด AR grade ยี่ห้อ Ajax
- 8) กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (Conc.HCl) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Aldrich
- 9) ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Aldrich
- 10) ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Aldrich
- 11) ผงซิงค์ออกไซด์ (ZnO powder) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Aldrich
- 12) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Ajax

- 13) ซิลเวอร์ไนเตรท (Silver Nitrate) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Ajax
- 14) เอทิลีนอิมีน (Polyethyleneimine) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Fiuka
- 15) ผงซักฟอก ECE reference detergent WOB ชนิด AR grade ยี่ห้อ Lab Scan
- 16) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium Borohydride) ชนิด AR grade ยี่ห้อ Ajax
- 17) สบู่ (Soap) ยี่ห้อ Sunlight
- 18) ผ้าฝ้าย
- 19) เกรย์สเกล (Grey scale)
- 20) ผ้าขาว Multifiber
- 21) ฝ้ายมาตรฐาน (Blue wool reference 1 - 8)
- 22) ลูกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร
- 23) พืชที่นำมาใช้เตรียมสีย้อม ได้แก่ เส้นใยมะพร้าวแก่ เปลือกต้นนนทรี ใบสาบเสือ และเปลือกต้นเพกา
- 24) พืชท้องถิ่นที่ใช้เป็นสารรีดิวซ์ ได้แก่ ใบผักเสี้ยน ใบแค ใบชะพลู ใบมะรุม ใบคูณ ใบหวดข่า ใบผักตบชวา ใบยอ และใบมะหาด

3.2 วิธีการวิจัย

3.2.1 การเตรียมวัสดุในการทดลอง

3.2.1.1 การกำจัดไขมันของผ้าฝ้าย

- 1) ตัดผ้าฝ้ายยาวประมาณ 2 เมตร ชั่งน้ำหนักให้ได้ประมาณ 375 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- 2) ชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 7.50 กรัม โซเดียมคาร์บอเนต 7.50 กรัม และสบู่ 7.50 กรัม ใส่ลงในหม้อสแตนเลส เติมน้ำกลั่นปริมาตร 7.50 ลิตร นำมาให้ความร้อนที่ 100 องศาเซลเซียส จนกระทั่งสารละลายเดือด
- 3) นำผ้าฝ้ายในข้อที่ 1) ใส่ลงในหม้อสแตนเลส ให้ความร้อนต่ออีก 1 ชั่วโมง จากนั้นนำผ้าฝ้ายไปล้างด้วยน้ำกลั่น 4 - 6 ครั้ง จนน้ำล้างมีพีเอชเป็นกลาง ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส
- 4) ผึ่งลมให้แห้ง เก็บไว้ในถุงซิปล็อค

3.2.1.2 การเตรียมน้ำย้อม

1) การเตรียมน้ำย้อมจากใบสาบเสือ และเปลือกต้นเพกา

1.1) การเตรียมน้ำย้อมจากเปลือกต้นเพกา โดยนำเปลือกต้นเพกา มาล้างทำความสะอาดฟุ้งให้สะอาด น้ำ หั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งมา 900 กรัม ใส่ลงในเครื่องปั่น เติมน้ำกลั่นปริมาตร 3 ลิตร ปั่นที่ความเร็วรอบ 1,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที แล้วกรองด้วยผ้าขาวบาง เติมน้ำย้อมใส่ขวดสีชา เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส

1.2) การเตรียมน้ำย้อมใบสาบเสือ ทำการทดลองเช่นเดียวกันกับข้อ 1)

2) การเตรียมน้ำย้อมจากเส้นใยมะพร้าวแก่ และเปลือกต้นนนทรี

2.1) การเตรียมน้ำย้อมจากเส้นใยมะพร้าวแก่ นำเส้นใยมะพร้าวแก่ตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งมา 100 กรัม เติมน้ำ 3 ลิตรแช่ให้อิ่มตัว เป็นเวลา 30 นาที ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง กรองด้วยผ้าขาวบาง เติมน้ำย้อมใส่ขวดสีชา เก็บที่อุณหภูมิต่ำกว่า 4 องศาเซลเซียส

2.2) การเตรียมน้ำย้อมจากเปลือกนนทรี ทำการทดลองเช่นกันกับข้อ 1) โดยเปลี่ยนจากเส้นใยมะพร้าวแก่เป็นเปลือกต้นนนทรี

3.2.2 การสังเคราะห์สารปรับปรุง

การวิจัยสังเคราะห์สารปรับปรุง ได้แก่ ไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมี จากนั้นนำมาปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ เมื่อไม่ใช้และใช้สารเชื่อมโยง ได้แก่พอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิเอทิลีนอิมิน

3.2.2.1 การสกัดไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาว

- 1) นำเปลือกกุ้งขาวสดมาล้างน้ำให้สะอาด 3-4 ครั้ง ผึ่งลมให้แห้ง
- 2) นำไปอบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ในตู้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 3) บดให้เป็นชิ้นเล็กด้วยโกร่ง และนำมาร่อนผ่านตะแกรงให้มีขนาดเท่ากัน
- 4) นำเปลือกกุ้งที่บดแล้วมาแช่ด้วย 0.1 โมลาร์ กรดไฮโดรคลอริก ที่อัตราส่วน 1:10 (w/v) ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน กรองเอาสารละลายทิ้ง
- 5) นำเปลือกกุ้งจากข้อที่ 4) มาแช่ด้วย 0.1 โมลาร์กรดไฮโดรคลอริก อีกครั้ง ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน นำมากรอง และล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งพีเอชของสารละลายเป็นกลาง ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ในตู้อบ
- 6) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 4% ที่อัตราส่วน 1:20 w/v ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 คืน กรองเอาสารละลายออก
- 7) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 4% ที่อัตราส่วน 1:20 w/v ลงในภาชนะจากข้อที่ 6) นำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ที่อ่างควบคุมอุณหภูมิ เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 8) กรองเอาสารละลายออกล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งพีเอชของสารละลายเป็นกลาง ทดสอบด้วยกระดาษลิตมัส จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ในตู้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง
- 9) เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 50% ที่อัตราส่วน 1:10 w/v แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส บนเตาให้ความร้อน เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง
- 10) ทำเหมือนกับข้อที่ 9) อีกครั้ง แล้วนำมากรอง และล้างด้วยน้ำกลั่นจนพีเอชเป็นกลาง นำไปอบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส ในตู้อบเป็นเวลา 1 ชั่วโมง

11) นำมาทำการกำจัดตรงควัตถุ โดยแช่ใน 95% เอทานอล เป็นเวลา 1 คืน กรอง แล้วอบให้แห้งจะได้ไคโตซาน (CS)

ไคโตซานที่ได้จากการสังเคราะห์ได้นำมาหาปริมาณการกำจัดหมู่อะซิทิล (Degree of deacetylation) ดังนี้

ชั่งไคโตซานมา 0.125 กรัม ละลายใน 0.1 โมลาร์ ไฮโดรคลอริก ปริมาตร 25 มิลลิลิตร และคน ด้วยเครื่องปั่นกวนแม่เหล็ก เป็นเวลา 30 นาที จนกระทั่งสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำไปไทเทรตกับ 0.1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยใช้เทคนิคฟิเอชไตเตรชัน นำไปคำนวณหาปริมาณไคโตซานด้วย สมการ

$$NH_2\% = \frac{(C_1 V_1 - C_2 V_2) \times 0.016}{G \times (100 - w)} \times 100$$

$$\%DD = \frac{NH_2\%}{0.0994\%} \times 100$$

เมื่อ C_1, C_2 คือ ความเข้มข้นของไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ มีหน่วยเป็น โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

V_1, V_2 คือ ปริมาตรของไฮโดรคลอริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ ตามลำดับ มีหน่วยเป็น ลูกบาศก์เซนติเมตร

0.016 คือ น้ำหนักโมเลกุลของ NH_2 ใน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตร ของไฮโดรคลอริก 0.1 โมลต่อ ลูกบาศก์เดซิเมตร

G คือ น้ำหนักสารตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม

W คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น

0.0994 คือ น้ำหนักโมเลกุลของหมู่อะมิโน

3.2.2.2 การสังเคราะห์สารปรับปรุง ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมสารปรับปรุง 3 วิธี ดังนี้

1) ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต จากสารซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต

1.1) ชั่งไคโตซานจากข้อที่ 3.2.2.1 มา 1 กรัม ละลายด้วย 0.1 โมลาร์ กรดอะซิติก ปริมาตร 5 มิลลิลิตร

1.2) เติม 0.1 โมลาร์ ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนด้วย เครื่องกวนแม่เหล็ก 45 นาที ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

1.3) เติม 1.6 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้ ตกตะกอนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

1.4) กรองตะกอนด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ ล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปอบที่ อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสในตู้อบ เวลา 2 ชั่วโมง ได้ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต (CS-ZnO 1)

2) ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพลิตจากสารซิงค์ออกไซด์พาวเดอร์

- 2.1) ชั่งผงซิงค์ออกไซด์มา 1 กรัม ละลายด้วย 1 % กรดอะซิติก ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
- 2.2) เติมไคโตซานลงไปในการละลายข้อที่ 1) 1 กรัม
- 2.3) คนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที เติม 1 โมลาร์ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ทดสอบด้วยฟิเอมิเตอร์จนกระทั่งฟิเอชของสารละลายมีค่าเท่ากับ 10
- 2.4) นำสารละลายไปให้ความร้อน ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 40-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 2.5) กรองเอาสารละลายออกแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น นำไปอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพลิต (CS-ZnO 2)

3) ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพลิต จากสารซิงค์คลอไรด์

- 3.1) นำไคตินมาเติม 15 % ซิงค์คลอไรด์ และ 30 % โซเดียมไฮดรอกไซด์ ในอัตราส่วน 1:1 ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 3.2) กรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศล้างด้วยน้ำกลั่นจนกระทั่งฟิเอชของสารละลายเป็นกลาง
- 3.3) นำไปอบที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ได้ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ (CS-ZnO 3)

3.2.2.3 การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ และทางเคมี

1) การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ

การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางชีวภาพเลือกใช้สารสกัดจากพืชท้องถิ่น 10 ชนิด ได้แก่ ใบผักเสี้ยน ใบแค ใบชะพลู ใบมะรุม ใบคูณ ใบหวดข่า ใบผักตบชวา ใบยอ และใบมะหาด เป็นตัวรีดิวซ์ ทำการทดลองดังนี้

- 1.1) ล้างใบพืชตัวอย่างให้สะอาดด้วยน้ำประปา 3 ครั้ง ทิ้งไว้ให้แห้งนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ ชั่งน้ำหนักให้ได้ 125 กรัม นำไปโครกให้ละเอียด
- 1.2) เทใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง
- 1.3) ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1
- 1.4) เตรียมสารละลายซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต เข้มข้น 1 โมลาร์

1.5) นำสารสกัดพืชและสารละลายซิงค์ไนเตรตเอกซ์ไฮเดรตที่เตรียมมาทำปฏิกิริยากันที่อัตราส่วน 5:1 คนให้เข้ากันด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กนาน 20 นาที แล้วนำมาให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส พร้อมกวนสารตลอดเวลาด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กเวลา 5 ชั่วโมง

1.6) นำสารละลายไปปั่นเหวี่ยงที่ 1,500 รอบต่อนาที เวลา 10 นาที แล้วนำมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 ทิ้งตะกอน

1.7) กวนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสจนสารละลายลดลงเหลือ 1 ใน 5 ส่วน

1.8) กรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42 ล้างตะกอนด้วยเมทานอลและทำให้แห้ง แล้วนำตะกอนที่ได้มาเผาที่ 400 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2) การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางเคมี

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน

2.1) ชั่งซิงค์อะซิเตตไดไฮเดรต 11.0296 กรัม (0.050 โมล) ละลายในน้ำกลั่น 100 มิลลิลิตร

2.2) ปิเปตแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ปริมาตร 15.40 มิลลิลิตร (0.10 โมล) เติมน้ำกลั่น 15.40 มิลลิลิตร

2.3) นำสารละลายที่เตรียมได้ จากข้อ 2.2) ใส่ในบิวเรต จากนั้นค่อย ๆ หยดสารละลายอย่างช้า ๆ ลงในสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ 2.1) ด้วยอัตราการหยดประมาณ 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที จนสารละลายด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กความเร็ว 600 รอบต่อนาที จะได้ตะกอนสีขาววัดค่าพีเอชของสารละลาย

2.4) กรองตะกอนด้วยกระดาษกรอง ล้างตะกอนด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง เพื่อกำจัดไอออนที่ไม่ต้องการออกจากตะกอน

2.5) อบตะกอนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำสารที่ได้มาบดให้ละเอียด

2.6) เผาตะกอนที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง

3.2.2.4 การสังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ และทางเคมี

1) การสังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ

การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์อนุภาคนาโนเลือกใช้พืชท้องถิ่น 10 ชนิด ได้แก่ ใบผักเสี้ยน ใบแค ใบชะพลู ใบมะรุม ใบคูณ ใบหวดข่า ใบผักติ้วขาว ใบยอ และใบมะหาด

1.1) ล้างใบพืชตัวอย่างให้สะอาดด้วยน้ำประปา 3 ครั้ง ทิ้งไว้ให้แห้งนำมาหั่นเป็นชิ้นเล็กๆ ชั่งน้ำหนักให้ได้ 125 กรัม นำไปโครกให้ละเอียด

1.2) เทใส่บีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 250 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

1.3) ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำมากรองด้วยผ้าขาวบาง จากนั้นกรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 รอให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำสารสกัดไปใช้ทันทีหรือเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แต่ไม่ควรเกิน 3 วัน

1.4) นำสารสกัดใบพืชมามา 20 มิลลิลิตร เติมสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตเข้มข้น 0.001 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

1.5) นำไปกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที สังเกตการเปลี่ยนแปลงทุก 30 วินาที ตั้งแต่วินาทีที่ 0 และบันทึกผล

1.6) ตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง จะเกิดตะกอน รินสารละลายทิ้งให้ปริมาตรเหลือประมาณ 50-60 มิลลิลิตร นำไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 1,500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เทสารละลายออกให้เหลือปริมาตรน้อยที่สุด ล้างด้วยน้ำกลั่น และเอทานอล ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ

1.7) ชั่งน้ำหนักตะกอน บันทึกผล

2) การสังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางเคมี

2.1) ละลายซิลเวอร์ไนเทรต 0.017 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร จะได้สารละลายซิลเวอร์ไนเทรตเข้มข้น 0.001 โมลาร์

2.2) ละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.0189 กรัม ในน้ำกลั่นปริมาตร 250 มิลลิลิตร จะได้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์เข้มข้น 0.002 โมลาร์

2.3) ตวงสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ปริมาตร 30 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กอย่างสม่ำเสมอ นำไปวางในภาชนะที่มีน้ำแข็งกวนจนกว่าสารละลายเย็นทั่วถึงกัน

2.4) ค่อย ๆ หยดสารละลายซิลเวอร์ไนเทรตเข้มข้น 0.001 โมลาร์ ปริมาตร 2 มิลลิลิตร ลงในสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่กำลังกวนอยู่โดยใช้ความเร็วประมาณ 1 หยดต่อวินาที และหยุดการกวนทันทีเมื่อการหยดซิลเวอร์ไนเทรตเสร็จสิ้นลง จะได้สารละลายซิลเวอร์อนุภาคนาโน

3.2.3 การทดสอบสมบัติของสารปรับปรุง

3.2.3.1 ทดสอบหาหมู่ฟังก์ชัน ด้วยเครื่องฟลูอริเมทรานสฟอร์ม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

นำผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง มาตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แล้วนำไปอบที่ 100 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง จากนั้น ชั่งผ้าฝ้ายที่อบ 0.001 กรัม มาบดรวมกับ KBr 0.1 กรัม นำไปอัดเม็ด แล้วนำไปวัดค่าความส่งผ่านของแสง (%T) ด้วยเครื่องฟลูอริเมทรานสฟอร์ม สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

3.2.3.2 ทาองค์ประกอบของสารด้วยเทคนิค เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน

นำผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง มาตัดเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.4 เซนติเมตร วางบนแผ่นโลหะบาง วัสดุฟิล์มบางที่เคลือบบนกระจกสไลด์ โดยใช้หลักการเลี้ยวเบนของรังสี

เอ็กซ์ ที่ตกกระทบบนผ้าตัวอย่างที่มุมต่าง ๆ ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน เพื่อระบุองค์ประกอบของสารตัวอย่าง ที่ศูนย์เทอร์โมอิเล็กทริก มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

3.2.3.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

นำผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง มาตัดขนาด 1 x1 เซนติเมตร นำมาเคลือบด้วยทองคำ จากนั้นนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.3.4 ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์

นำตัวอย่างสารสกัดจากพืช (พิสูจน์เอกลักษณ์ของอนุภาคซึ่งคือออกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโน) มา 20 มิลลิลิตร เติมน้ำละลายซิลเวอร์ในเทรตเข้มข้น 0.001 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที นำมาสแกนหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในช่วงความยาวคลื่น 300-700 นาโนเมตร

3.2.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงและการย้อมสีธรรมชาติ

3.2.4.1 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

- 1) นำซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ปริมาณ 0.5 กรัม (ความเข้มข้น 1% w/v) ใส่ลงในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร กวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็ก นาน 20 นาที
- 2) เติมน้ำแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ที่ละลายจนกระทั่งพีเอชเท่ากับ 8 ทดสอบด้วยเครื่องวัดพีเอช
- 3) นำผ้าฝ้ายที่กำลังจัดไขมันออกแล้วหนัก 1 กรัม ใส่ลงในสารละลายในข้อ 2) นำมาสั่นด้วยเครื่องสั่นแบบคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- 4) นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นนำไปต้มโดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที นำผ้าออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ผึ่งลมให้แห้ง
- 5) นำผ้าฝ้ายในข้อที่ 4) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ใบที่ 1 ขนาด 125 มิลลิลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตร
- 6) ใส่น้ำย้อมปริมาตร 50 มิลลิลิตร ในขวดรูปชมพู่ใบที่ 2 ขนาด 125 มิลลิลิตร
- 7) นำขวดรูปชมพู่ในข้อที่ 5) และ 6) แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
- 8) นำผ้าฝ้ายลงย้อมในน้ำย้อมนาน 30 นาทีที่กลับผ้าฝ้ายทุก ๆ 10 นาทีเอาผ้าขึ้นจากน้ำย้อม ตั้ทิ้งไว้ให้พองหมาด แล้วล้างผ้าฝ้ายด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างไม่มีสี ผึ่งลมให้แห้ง
- 9) ปิเปตน้ำย้อมในข้อที่ 8) ปริมาตร 0.2 มิลลิลิตร ด้วยไมโครปิเปต ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง ยูวี-

วิธีเบิล สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 281.5 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณหาปริมาณแทนนิน โดยใช้สมการเส้นตรง $y = 0.0104x - 0.263$ (เพียพลอย และ ศิริพงษ์. 2556) และปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้าย โดยใช้สมการ $q = (C_0 - C) \frac{V}{W}$

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ ให้ทำการทดลองดังข้างต้น โดยศึกษาสภาวะของเทคนิคในการปรับปรุงผ้าฝ้ายก่อน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาใช้ในการศึกษาสภาวะต่าง ๆ ต่อไป สภาวะที่ศึกษามี ดังนี้

- เทคนิคในการปรับปรุง คือ การสั่นแบบคลื่นเสียง การปั่นกวาดด้วยเครื่องแม่เหล็กไฟฟ้า และการแช่แบบดั้งเดิม
- ปริมาณอนุภาคซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.25, 0.5, 0.75 และ 1.0 กรัม
- เวลาในการปรับปรุงที่ 5, 10, 20 และ 30 นาที
- อุณหภูมิในการปรับปรุงที่ 30, 40, 50, และ 70 องศาเซลเซียส

3.2.4.2 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

3.2.4.2.1 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซานเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

1) ซังผ้าฝ้ายหนักประมาณ 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2) เตรียมไคโตซานหนัก 0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) ละลายด้วย 2% v/v ของกรดอะซิติก ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 0.01 กรัม (ความเข้มข้น 0.02% w/v) แล้วนำไปสั่นด้วยคลื่นเสียงด้วยเครื่องสั่นแบบคลื่นเสียงเป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยในการละลาย

3) ใส่ผ้าฝ้ายในข้อที่ 1) ลงในสารละลายข้อที่ 2) แล้วนำไปสั่นด้วยคลื่นเสียงเป็นเวลา 30 นาที

4) นำผ้าฝ้ายออกจากขวดรูปชมพู่ แล้วอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที นำผ้าออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็นแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ผึ่งลมให้แห้ง

5) ทำเช่นเดียวกับหัวข้อ 3.3.3.1 ในข้อที่ 5) ถึงข้อที่ 9) โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล จาก 0.01 กรัม เป็น 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กรัม ตามลำดับ

3.2.4.2.2 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

ทำการทดลองในทำนองเดียวกันกับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง โดยเปลี่ยนสารปรับปรุงจากไคโตซานเป็นซิงค์ออกไซด์หนัก

0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตรและหยด NH_4OH ที่ละหยดจน ฟิเอชเท่ากับ 8 ทดสอบด้วยเครื่องวัดพีเอช

3.2.4.2.3 สถานะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อใช้เอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง

ทำการทดลองในทำนองเดียวกันกับการศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง โดยเปลี่ยนสารปรับปรุงจากไคโตซานเป็นซิลเวอร์ อนุภาคนาโนหนัก 0.002 กรัม (ความเข้มข้น 0.004% w/v) ในน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตรและหยด NH_4OH ที่ละหยด จนฟิเอชเท่ากับ 8 ทดสอบด้วยเครื่องวัดพีเอช โดยเปลี่ยนแปลงปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลที่น้ำหนักต่าง ๆ คือ 0.1, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 และ 4.0 มิลลิลิตร ตามลำดับ (ความเข้มข้นเป็น 0.2, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0 และ 8.0% w/v ตามลำดับ)

3.2.5 การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงชนิดต่าง ๆ

1) ซังผ้าฝ้ายหนักประมาณ 1 กรัม ด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

2) เตรียมสารปรับปรุงแต่ละชนิด ดังนี้

2.1) ไคโตซาน เตรียมโดยชั่งไคโตซานหนัก 0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) ละลายด้วย 2% v/v ของกรดอะซิติกปริมาตร 50 มิลลิลิตร

2.2) ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต เตรียมโดยชั่งไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต หนัก 0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) ละลายด้วย 2% v/v ของกรดอะซิติกปริมาตร 50 มิลลิลิตรแล้วเติมอะไโคโนไตร ปริมาตร 4 มิลลิลิตร

2.3) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมี เตรียมโดยชั่ง ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนหนัก 0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิลิตร และหยด NH_4OH ที่ละหยด จนฟิเอชเท่ากับ 8 ทดสอบด้วยเครื่องวัดพีเอช

2.4) ซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมี : ชั่งซิลเวอร์อนุภาคนาโนหนัก 0.002 กรัม (ความเข้มข้น 0.004% w/v) ละลายด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตรและหยด NH_4OH ที่ละหยด จนฟิเอชเท่ากับ 8 ทดสอบด้วยเครื่องวัดพีเอช

2.5) ไคโตซานเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง โดยเตรียมไคโตซานหนัก 0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) ละลายด้วย 2% v/v ของกรดอะซิติกปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วเติม พอลิเอทิลีนไกลคอล 0.1 กรัม (ความเข้มข้น 0.2% w/v)

2.6) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง โดยชั่ง ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนหนัก 0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) ละลายด้วยน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิลิตรและหยด NH_4OH ที่ละหยด จนฟิเอชเท่ากับ 8 ทดสอบด้วยเครื่องวัดพีเอช แล้วเติมพอลิเอทิลีน ไกลคอล 0.1 กรัม (ความเข้มข้น 0.2% w/v)

2.7) โคโตะซานร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง เตรียมโดยโคโตะซานหนัก 0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) ละลายด้วย 2% v/v ของกรดอะซิติกปริมาตร 50 มิลลิตร และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนหนัก 0.2 กรัม (ความเข้มข้น 0.4% w/v) แล้วเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล 0.1 กรัม (ความเข้มข้น 0.2% w/v)

2.8) ซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อใช้เอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง โดยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนหนัก 0.002 กรัม (ความเข้มข้น 0.004% w/v) ละลายด้วยน้ำกลั่นปริมาตร 50 มิลลิตร และหยด NH_4OH ทีละหยด จนพีเอชเท่ากับ 8 ทดสอบด้วยเครื่องวัดพีเอช แล้วเติมเอทิลีนอิมิน 0.1 มิลลิตร ความเข้มข้น 0.2% w/v)

3) นำไปสั่นด้วยคลื่นเสียง เป็นเวลา 20 นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เพื่อช่วยในการละลาย

4) ใส่ผ้าฝ้ายในข้อที่ 1) ลงในสารละลายข้อที่ 3) แล้วนำไปสั่นด้วยคลื่นเสียงที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

5) นำผ้าฝ้ายออกจากขวดรูปชมพู่ แล้วอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที จากนั้นนำไปต้ม โดยเพิ่มอุณหภูมิเป็น 150 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที นำผ้าออกจากตู้อบทิ้งไว้ให้เย็น แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น ผึ่งลมให้แห้ง

6) นำผ้าฝ้ายในข้อที่ 5) ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ใบที่ 1 ขนาด 125 มิลลิตร จากนั้นเติมน้ำกลั่น ปริมาตร 50 มิลลิตร

7) นำน้ำย้อมปริมาตร 50 มิลลิตร ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ใบที่ 2 ขนาด 125 มิลลิตร

8) นำขวดรูปชมพู่ในข้อที่ 6) และ 7) แช่ในอ่างควบคุมอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที

9) นำผ้าฝ้ายลงย้อมในน้ำย้อม นาน 30 นาที กลับผ้าฝ้ายทุก ๆ 10 นาที เอาผ้าขึ้นจากน้ำย้อม ตึงทิ้งไว้ให้พอหมาด แล้วล้างผ้าฝ้ายด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างไม่มีสี ผึ่งลมให้แห้ง

10) ปิเปตน้ำย้อมในข้อที่ 8) ปริมาตร 0.2 มิลลิตร ด้วยไมโครปิเปตลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 50 มิลลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น วัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 281.5 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณหาปริมาณแทนนิน โดยใช้สมการเส้นตรง $y = 0.0104x - 0.263$ (เพียงพลอย และศิริพงษ์. 2556) และคำนวณหาปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายโดยใช้สมการ $q = (C_0 - C) \frac{V}{W}$

11) ทำการทดลอง ซ้ำ 2 ครั้งตั้งแต่ข้อที่ 1) - 9) และทำการทดลองเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ยังไม่ได้ปรับปรุง

3.2.6 การทดสอบสมบัติผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง

3.2.6.1 การทดสอบความเข้มของสี (K/S) ความสว่าง (L*) ความสดใส (C*) และ โทนสี (a*, b*) ของผ้าฝ้าย

ตัดตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงย้อมสีธรรมชาติขนาด 9×9 เซนติเมตร วางลงบนกระดาษแข็งสีขาวขนาดเดียวกับผ้าฝ้ายจริงผ้าด้วยเทปใส จากนั้นวัดผ้าฝ้ายตัวอย่างด้วย เครื่องวัดสี เทียบกับผ้าฝ้ายสีขาวที่ไม่ได้ย้อมสี

3.2.6.2 การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*

การทดสอบในงานวิจัยนี้ใช้วิธีทดสอบเชิงคุณภาพ เป็นการแสดงผลการทดสอบว่า สารที่ใช้ทดสอบมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้หรือไม่ โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณโซนใสของการยับยั้ง เรียกวิธีนี้ว่า Disc diffusion method มีวิธีการทดลองดังนี้

- 1) ตัดตัวอย่างผ้าฝ้ายเป็นแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร
- 2) นำเพลท และปิเปต ออบที่ 150 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที
- 3) ทำการเลี้ยงเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ ชั่ง beef 0.3 และ peptone 0.5 กรัม ตามลำดับ ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร ปิเปตอาหารเลี้ยงเชื้อใส่หลอดทดลองหลอดละ 10 มิลลิลิตร นำไปฆ่าเชื้อโดย autoclave ที่ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 ปอนด์ 15 นาที จากนั้นใช้ loop เผลาไฟรอให้เย็นแล้วแตะเชื้อจาก stock ใส่ในอาหารที่เตรียมไว้ นำไปเข้าตูบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 4) ทำการเตรียมอาหารของแบคทีเรียที่มีลักษณะเป็นวุ้นโดยใช้อาหารสำเร็จ ชั่ง Agar 4.5 กรัม ต้มในน้ำกลั่น ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำอาหารเลี้ยงเชื้อมาทำให้เย็นในอ่างควบคุมอุณหภูมิที่ 50 - 56 องศาเซลเซียส แล้วเทลงในจานเลี้ยงเชื้อให้มีปริมาตรประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ปล่อยให้เย็น
- 5) นำเชื้อในข้อที่ 3) เกลี่ยลงในจานอาหารในข้อที่ 4)
- 6) นำผ้าฝ้ายตัวอย่างในข้อที่ 1) วางบนจานอาหารในข้อที่ 5) จากนั้นบ่มเชื้อในตูบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 7) วัดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณโซนใส (เคลียร์โซน) ที่เกิดขึ้นรอบ ๆ ตัวอย่างผ้าฝ้าย ถ้ามีบริเวณดังกล่าวแสดงว่าสารที่ต้องการทดสอบสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ และถ้าไม่มีบริเวณโซนใสแสดงว่าสารที่ต้องการทดสอบไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้
- 8) ทำการทดลองซ้ำตามข้อที่ 1) - 7) 2 ซ้ำ

3.2.6.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อแสงแดด มาตรฐาน ISO 105 - B02 : 1994

- 1) ตัดผ้าตัวอย่าง และผ้าบลูจูลมาตรฐาน L₁-L₈ขนาด 1.5 × 4.5 เซนติเมตร
- 2) นำผ้าตัวอย่างมาวางเรียงกันบนกระดาษแข็งเลือกใช้ด้านที่มีสีเทา และผ้าบลูจูลมาตรฐาน L₁ - L₈ ทำเช่นเดียวกัน กับผ้าตัวอย่าง
- 3) ปิดแผ่นทึบแสงด้านซ้ายของตัวอย่าง และผ้าบลูจูลมาตรฐาน L₁ - L₈

4) วางลงแผนสำหรับวางผ้าตัวอย่าง และผ้าบลูมาตรฐาน $L_1 - L_8$ ผึ่งแสงแดด โดยไม่มีเงาที่เกิดจากสิ่งรอบ ๆ ตกบนชิ้นทดสอบ มีแผ่นแก้วปิดเพื่อป้องกันฝุ่นและน้ำค้างโดยวางห่างจากชิ้นทดสอบไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตร และให้มีการระบายอากาศอย่างเพียงพอ

5) อาบแสงแดดจนกระทั่งผ้าบลูมาตรฐาน L_4 หรือ L_3 ส่วนที่โดนแสงและไม่โดนแสงมีค่าเปลี่ยนแปลงสีเท่ากับระดับ 4 - 5 ของ Grey Scale

6) วางผ้าตัวอย่าง และผ้าบลูมาตรฐาน $L_1 - L_8$ ในห้องมืดที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง แล้วทำการประเมินผลโดยใช้ Grey Scale สำหรับประเมินการเปลี่ยนสี

3.2.6.4 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง มาตรฐาน ISO 105 - C06 : 1994

1) ตัดชิ้นทดสอบขนาด 10×4 เซนติเมตร 1 ชิ้น และผ้าขาว Multifiber ขนาด 10×4 เซนติเมตร 2 ชิ้น

2) เย็บด้านสั้นด้านใดด้านหนึ่ง โดยหันหน้าผ้าขาว Multifiber เข้าหาผ้าตัวอย่าง

3) เตรียมสารละลาย 4 กรัม/ลิตร ของผงซักฟอก

4) ตวงสารละลาย 150 มิลลิลิตร ใส่บีกเกอร์พลาสติก

5) ใส่ชิ้นทดสอบลูกเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร 10 ลูกลงในสารละลายแล้วคน 45 นาที ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้ Magnetic stirrer

6) นำชิ้นทดสอบออกจากบีกเกอร์พลาสติก แล้วนำไปล้างน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที จำนวน 2 ครั้ง

7) ผึ่งให้แห้งโดยให้ชิ้นทดสอบและผ้าประกบแยกออกจากกัน ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส

8) ประเมินผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับ Grey Scale สำหรับการประเมินการตกติดสี

3.2.6.5 การป้องกันรังสียูวี

1) นำผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่าน และผ่านการปรับปรุง ตัดให้มีขนาดประมาณ 1×4 เซนติเมตร

2) นำไปวัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่น 200 - 400 นาโนเมตร โดยเลือกใช้โหมด % transmittance

บทที่ 4

ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงผ้าฝ้ายโดยใช้สารปรับปรุง และการใช้สารเชื่อมโยง ย้อมสีธรรมชาติ ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1) การสังเคราะห์สารปรับปรุง ได้แก่ ไคโตซาน (CS) ไคโตซาน – ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต (CS-ZnO) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ (ZnO NPs biosyn.) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี (ZnO NPs chem.syn.) ซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ (Ag NPs biosyn.) และซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี (Ag NPs chem.syn.) และการพิสูจน์เอกลักษณ์

2) ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงย้อมสีธรรมชาติโทนสีน้ำตาล และโทนสีเขียว

3) การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุง และสารปรับปรุงร่วมกับสารเชื่อมโยง ได้แก่ พอลิเอทิลีนเอมีน (PEG) และพอลิเอทิลีนอิมีน (PEI) และการพิสูจน์เอกลักษณ์ผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง

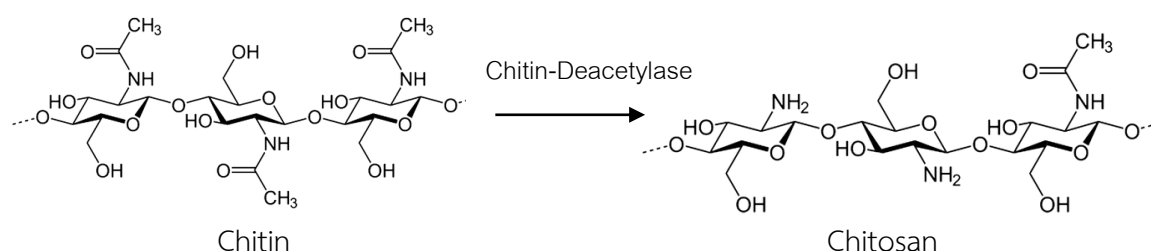
4) ทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายหลังปรับปรุงย้อมสีธรรมชาติ ได้แก่ ความเข้มสี ความสว่าง ความสดสี โทนสี ความทนทานของสีต่อแสงแดด และการซักล้าง การต้านแสงยูวี และการต้านแบคทีเรีย

4.1 การสังเคราะห์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์

4.1.1 การสังเคราะห์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซาน

4.1.1.1 การสังเคราะห์ไคโตซาน

การสังเคราะห์ไคโตซานในงานวิจัยนี้ใช้เปลือกกุ้งขาวให้ผลิตภัณฑ์เริ่มต้นเป็นไคติน จากนั้นนำมากำจัดหมู่อะซิไทลได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็น ไคโตซาน ดังสมการด้านล่าง และผลการสังเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.1 พบว่าไคโตซานที่สกัดได้ คิดเป็นค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.2350 กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง

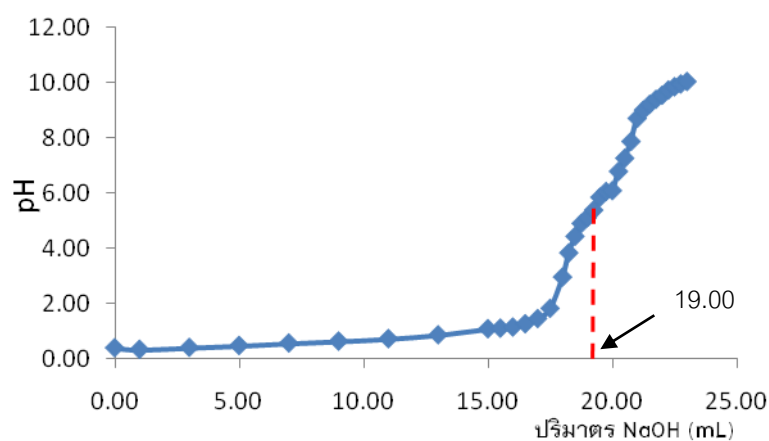


ตารางที่ 4.1 ผลการสกัดโคโคซาน

สารผลิตภัณฑ์	ลักษณะทางกายภาพ	น้ำหนักผลิตภัณฑ์ (กรัมต่อกรัมน้ำหนักแห้ง)		
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	เฉลี่ย
โคติน	เกล็ดหยาบสีส้มแดง	0.3282	0.3980	0.3631
โคโคซาน	เกล็ดละเอียดสีขาวแกมน้ำตาลอ่อน	0.2250	0.2450	0.2350

4.1.1.2 การหาเปอร์เซ็นต์โคโคซานที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งขาว

เปอร์เซ็นต์โคโคซานที่สกัดได้จากเปลือกกุ้งขาว หาได้จากเปอร์เซ็นต์การกำจัดหมู่อะซิทิล (%DD) จากโคติน ในการวิจัยนี้ใช้วิธีพีเอช ไตเตรชัน แสดงผลดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงการไตเตรชันหา %DD

จากกราฟพบว่าจุดยุติของโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่ทำปฏิกิริยาพอดีกับสารตัวอย่างมีปริมาตรเป็น 19.00 มิลลิลิตร จากนั้นนำไปคำนวณหา Degree of deacetylation (%DD) โดยใช้สมการ

$$\text{NH}_2\% = \frac{(C_1 V_1 - C_2 V_2) \times 0.016}{G \times (100 - w)} \times 100$$

$$\%DD = \frac{\text{NH}_2\%}{0.0994\%} \times 100$$

เมื่อ C_1 คือ ความเข้มข้นของไฮโดรคลอริก หน่วยเป็นโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

C_2 คือ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ หน่วยเป็นโมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

V_1 คือ ปริมาตรของไฮโดรคลอริก มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

V_2 คือ ปริมาตรโซเดียมไฮดรอกไซด์ มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

- 0.016 คือ น้ำหนักโมเลกุล NH_2 ใน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรของไฮโดรคลอริก 0.1 โมลต่อลูกบาศก์เดซิเมตร
- G คือ น้ำหนักสารตัวอย่าง มีหน่วยเป็นกรัม
- W คือ เปอร์เซ็นต์ความชื้น
- 0.0994 คือ น้ำหนักโมเลกุลของหมู่อะมิโน

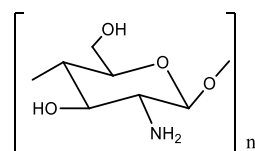
%DD เป็นตัวบ่งชี้ความเป็นไคติน-ไคโตซาน เนื่องจากไคติน-ไคโตซานเป็นโคพอลิเมอร์ระหว่างสองมอนอเมอร์ของ N-acetyl-D-glucosamine และ D-glucosamine ถ้าสัดส่วนที่อยู่ร่วมกันของมอนอเมอร์แรกมากกว่า คือค่า degree of deacetylation ต่ำ จะแสดงสมบัติเด่นของไคติน แต่ถ้าสัดส่วนของมอนอเมอร์ที่สองมากกว่า คือค่า degree of deacetylation สูง จะแสดงสมบัติเด่นของไคโตซาน จากผลการทดลองการสังเคราะห์ไคโตซานจากเปลือกกุ้งขาวให้ค่า %DD เท่ากับ 79.474 หมายความว่าไคโตซานที่มี degree of deacetylation สูง แสดงว่ามีสมบัติเด่นเป็นไคโตซาน

4.1.1.3 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซาน

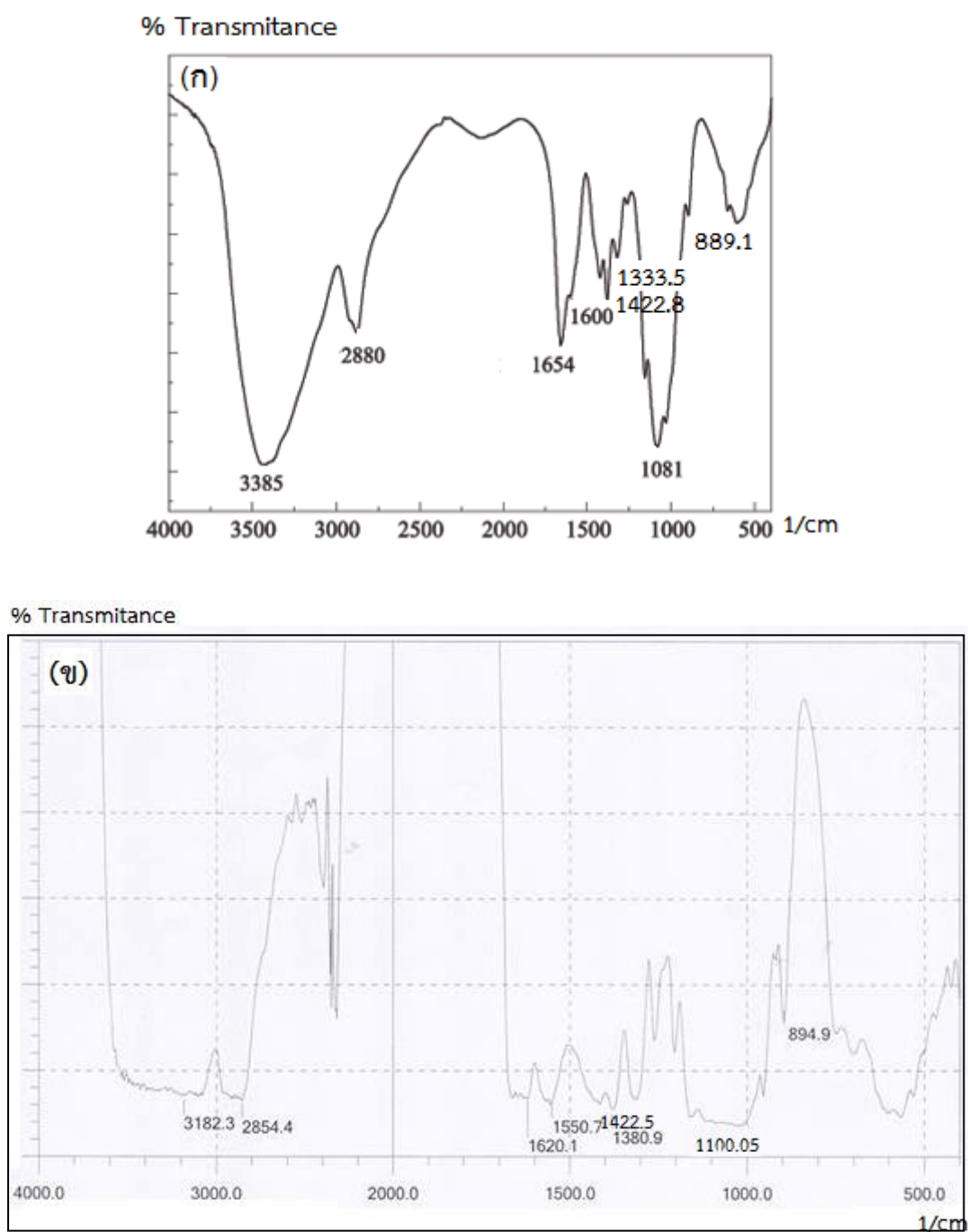
เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี และเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน นำมาในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซาน แสดงดังภาพที่ 4.2 ตามลำดับ

4.1.1.3.1 เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี

เมื่อนำไคโตซานที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี เทียบกับไคโตซานในงานวิจัยของ Luciano Vitali และคณะ ดังภาพที่ 4.2



โครงสร้างของไคโตซาน



ภาพที่ 4.2 อินฟราเรด สเปกตรัมของโคโคชัน

(ก) CS (Luciano Vitali และคณะ) (ข) CS syn.

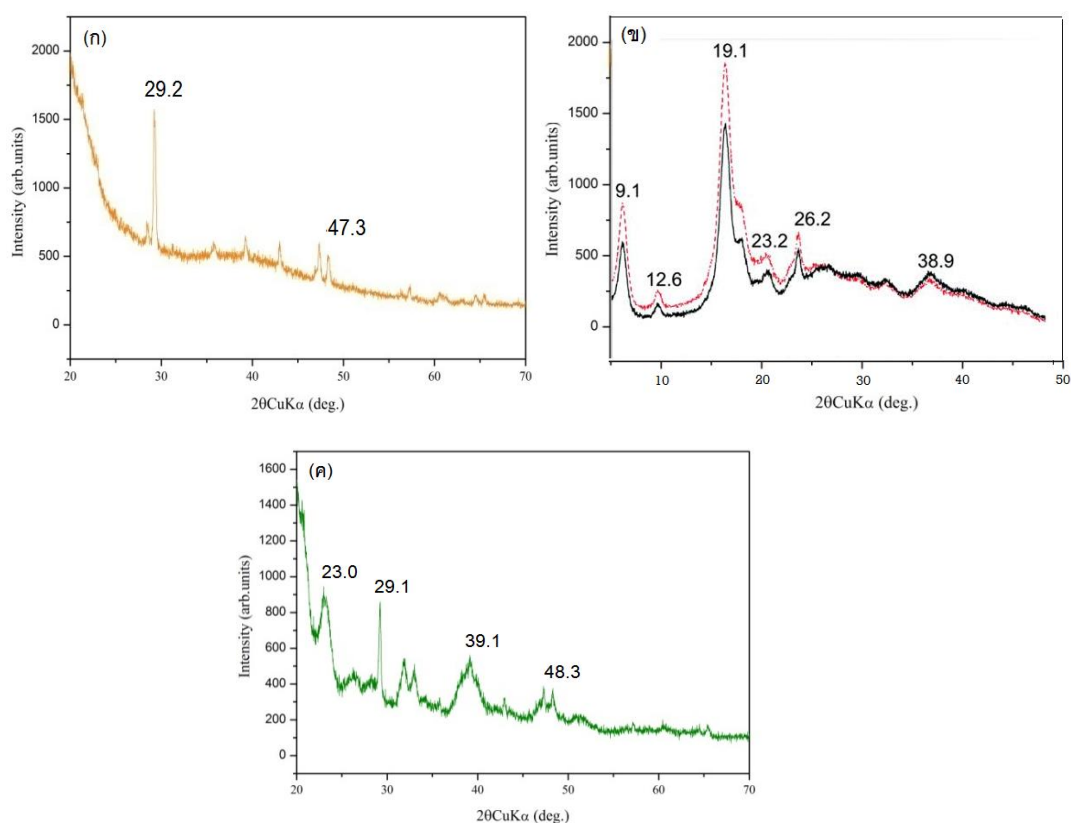
จากภาพที่ 4.2 พบว่าโคโคชันที่สังเคราะห์ได้จากเปลือกกุ้งขาวปรากฏพิกในลักษณะเดียวกับโคโคชันในงานวิจัยของ Luciano Vitali และคณะ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของไคโตซาน

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1})	
	ไคโตซานในงานวิจัยของ Luciano Vitali และคณะ	ไคโตซานสังเคราะห์
Amine NH symmetric vibration	3385	3182.3
C-H symmetry vibration	2880	2854.4
C=O stretching vibration	1654	1620.1
N-H stretching vibration	1600	1550.7
CH-OH stretching vibration	1422.8	1422.5
CH ₂ -OH stretching vibration	1333.5	1380.9
C-O stretching vibration	1081, 889.1	1100.5, 894.9

4.1.1.3.2 เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

เมื่อนำไคโตซานที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน กับไคโตซานจากบริษัท Sigma และไคตินในงานวิจัยของ Xi Chen ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 XRD pattern ของไคโตซานมาตรฐาน ไคติน และไคโตซานสังเคราะห์

(ก).ไคโตซานจากบริษัท Sigma

(ข) ไคติน (Xi Chen และคณะ)

(ค) ไคโตซานสังเคราะห์

จากภาพที่ 4.3 พบว่าไคโตซานสังเคราะห์จากเปลือกกุ้งขาว (ภาพที่ 4.3 (ค)) ปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 29.1° และ 48.3° สอดคล้องกับพิกของไคโตซานจากบริษัท Sigma (ภาพที่ 4.3 (ก)) และพิกที่ตำแหน่ง 23.0° และ 39.1° สอดคล้องกับพิกของไคติน (ภาพที่ 4.3 (ข)) แสดงว่าไคโตซานที่สังเคราะห์ได้มีทั้งไคโตซานและไคตินเป็นองค์ประกอบ

4.1.2 การสังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

4.1.2.1 การสังเคราะห์ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

การสังเคราะห์ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ในงานวิจัยนี้ใช้ไคโตซานที่สังเคราะห์ได้จากข้อ 4.1.1.1 กับสารตั้งต้นในการเกิดซิงค์ออกไซด์ 3 ชนิดได้แก่ ซิงค์ไนเตรตเฮกซะไฮเดรต ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) ผงซิงค์ออกไซด์ (ZnO powder) และซิงค์คลอไรด์ (ZnCl_2) ผลการทดลองแสดงลักษณะทางกายภาพ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ลักษณะทางกายภาพของไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

ตัวอย่าง	สารตั้งต้น	ลักษณะทางกายภาพ
CS	เปลือกกุ้งขาว	เกล็ดละเอียดสีขาวแกมน้ำตาลอ่อน
CS-ZnO 1	ไคโตซาน+ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	ผงสีขาวแกมน้ำตาลอ่อน
CS-ZnO 2	ไคโตซาน+ZnO powder	ผงละเอียดสีขาว
CS-ZnO 3	ไคโตซาน+ ZnCl_2	ผงละเอียดสีน้ำตาลอ่อนค่อนข้างแดง

จากตารางที่ 4.3 พบว่าไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ที่สังเคราะห์ได้จากสารตั้งต้นชนิดต่าง ๆ ให้ลักษณะของผลิตภัณฑ์เป็นผงละเอียดสีขาวถึงสีน้ำตาลอ่อน

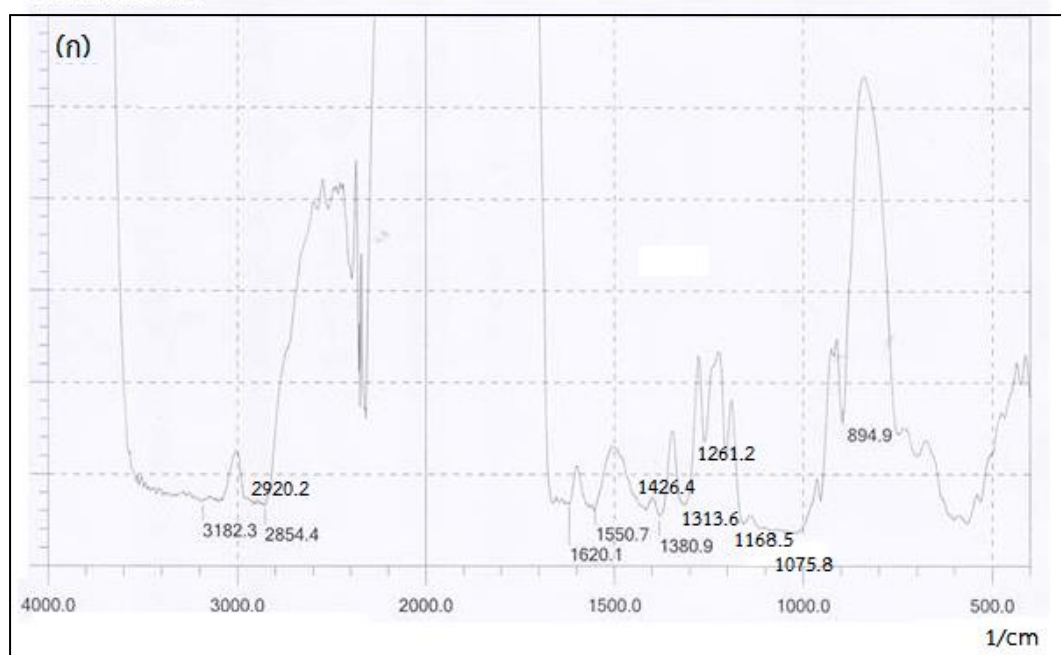
4.1.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

การทดลองใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี เอ็กซ์เรย์-ดิฟแฟรกชัน และสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต แสดงดังภาพที่ 4.4

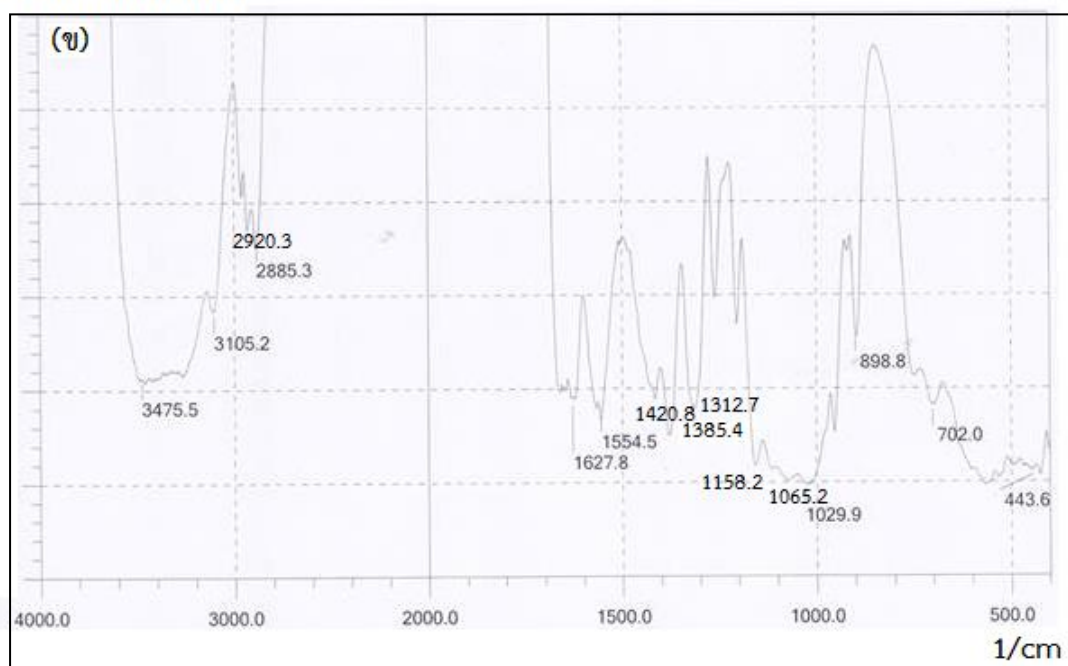
4.1.2.2.1 เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี

เมื่อนำไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตที่สังเคราะห์ได้ทั้ง 3 ชนิดมาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี เทียบกับไคโตซาน แสดงดังภาพที่ 4.4

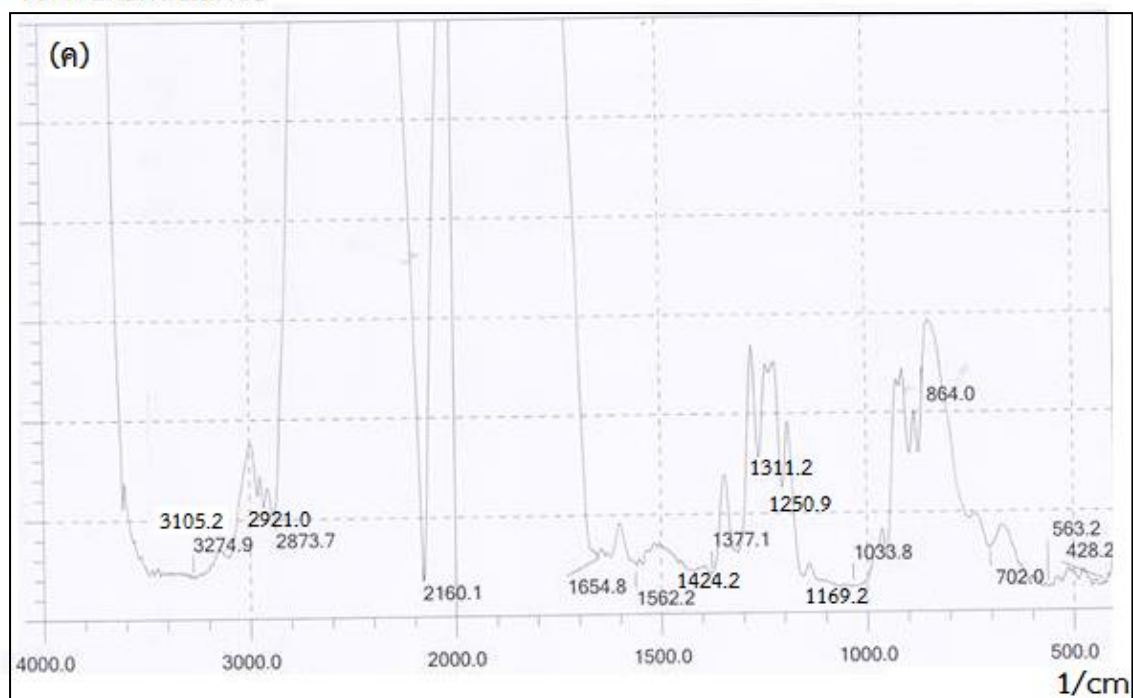
% Transmittance



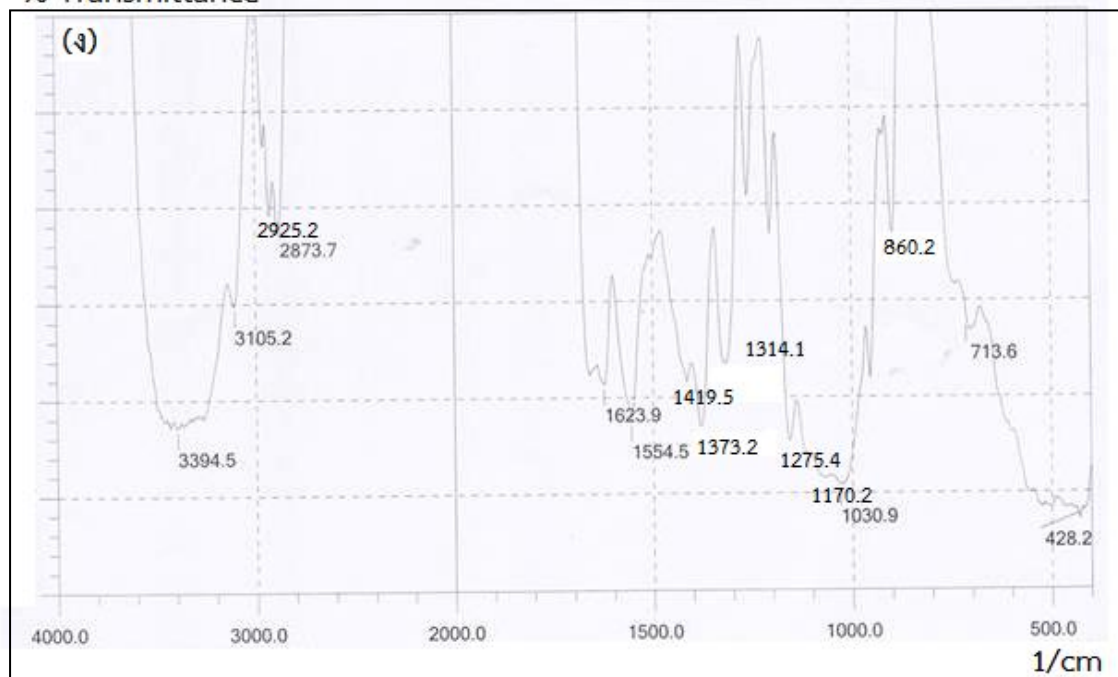
% Transmittance



% Transmittance



% Transmittance



ภาพที่ 4.4 อินฟราเรด สเปกตรัมของไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

(ก) CS (ข) CS-ZnO 1 (ค) CS-ZnO 2 และ (ง) CS-ZnO 3

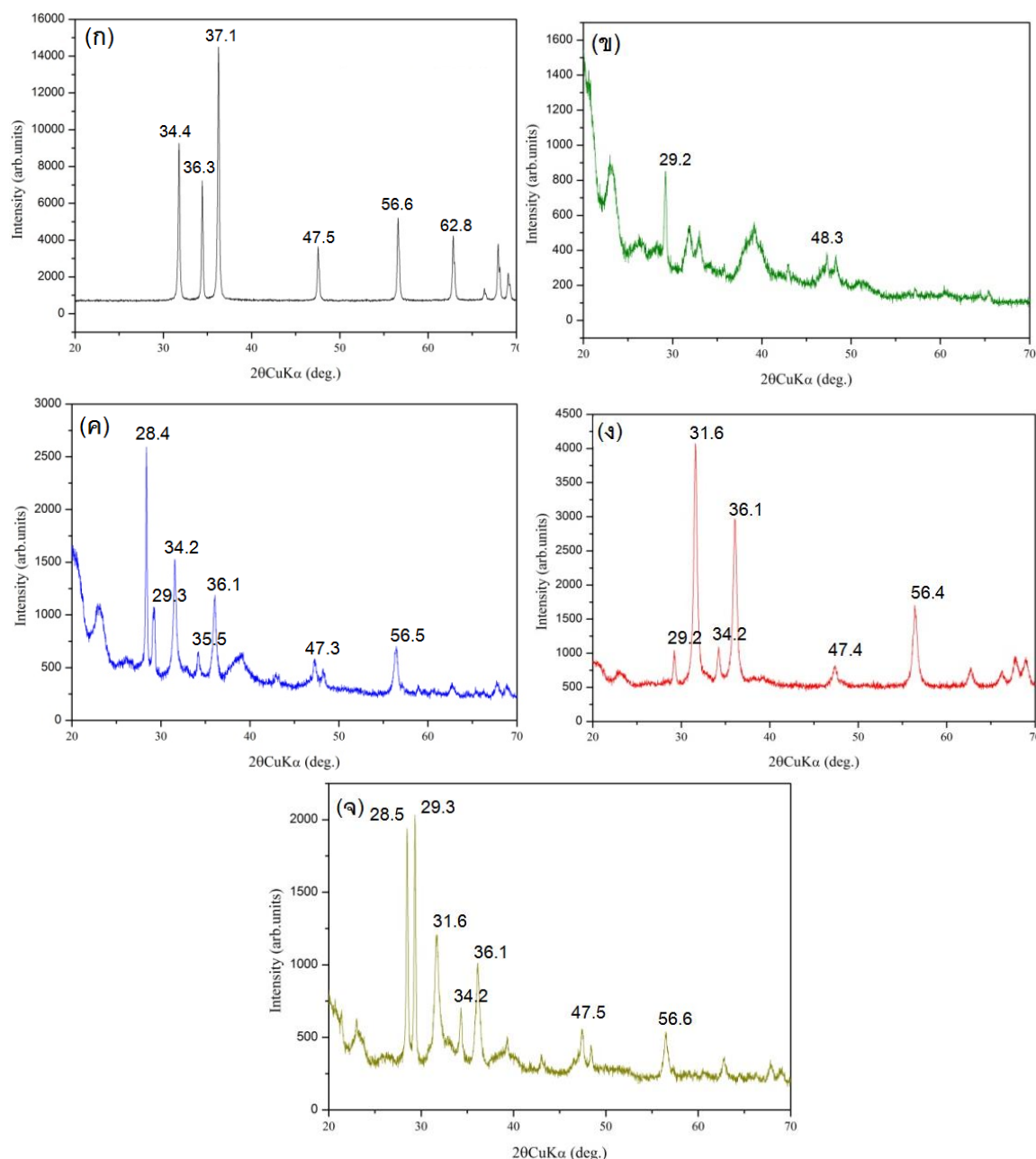
ตารางที่ 4.4 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของไคโตซานและ
ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1})			
	CS	CS-ZnO 1	CS-ZnO 2	CS-ZnO 3
O-H stretching vibration overlapped to the N-H	3182.3	3105.2	3105.2	3105.2
asymmetric stretching vibration of C-H	2920.2	2920.3	2921.0	2925.2
symmetryic stretching vibration of C-H	2854.4	2885.3	2873.7	2873.7
-C=O secondary amide stretching vibration	1620.1	1627.8	1654.8	1623.9
-C=O protonated amide stretching vibration	1550.7	1554.5	1562.2	1554.5
C-H vibration	1426.4, 1380.9	1420.8, 1385.4	1424.2, 1377.1	1419.5, 1373.2
CH ₃ tertiary amide stretching vibration	1313.6	1312.7	1311.2	1314.1
C-O-H stretching vibration	1261.2	1275.1	1250.9	1275.4
asymmetric stretching vibration of C-O-C and symmetric vibration of C-O-C	1168.5, 1075.8	1158.2, 1065.2, 1029.9	1169.2, 1033.8	1170.2, 1075.8, 1030.9
C-H wagging	894.9	898.8	864.0	860.2
Zn-O stretching vibration	-	443.6	428.2	428.2

จากตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของไคโตซานกับไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต พบว่าลักษณะพีก ตำแหน่งความยาวคลื่น และค่า %T ในแต่ละหมู่ฟังก์ชันมีความแตกต่างกัน โดยที่ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตจะปรากฏพีกของ Zn-O stretching ที่ $428.2\text{--}443.6\text{ cm}^{-1}$ ซึ่งยืนยันได้ว่าสารที่สังเคราะห์ได้เป็นไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ผลการทดลองสอดคล้องกับ K.Rajendran and T.Sivalingam .2013 และ S.Anondhavelu and S.Thambidurai. 2010

4.1.2.2.2 เทคนิคเอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน

เมื่อนำไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน เทียบกับไคโตซานจากบริษัท Sigma แสดงดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 XRD pattern ของซิงค์ออกไซด์ ไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์คอมโพสิต

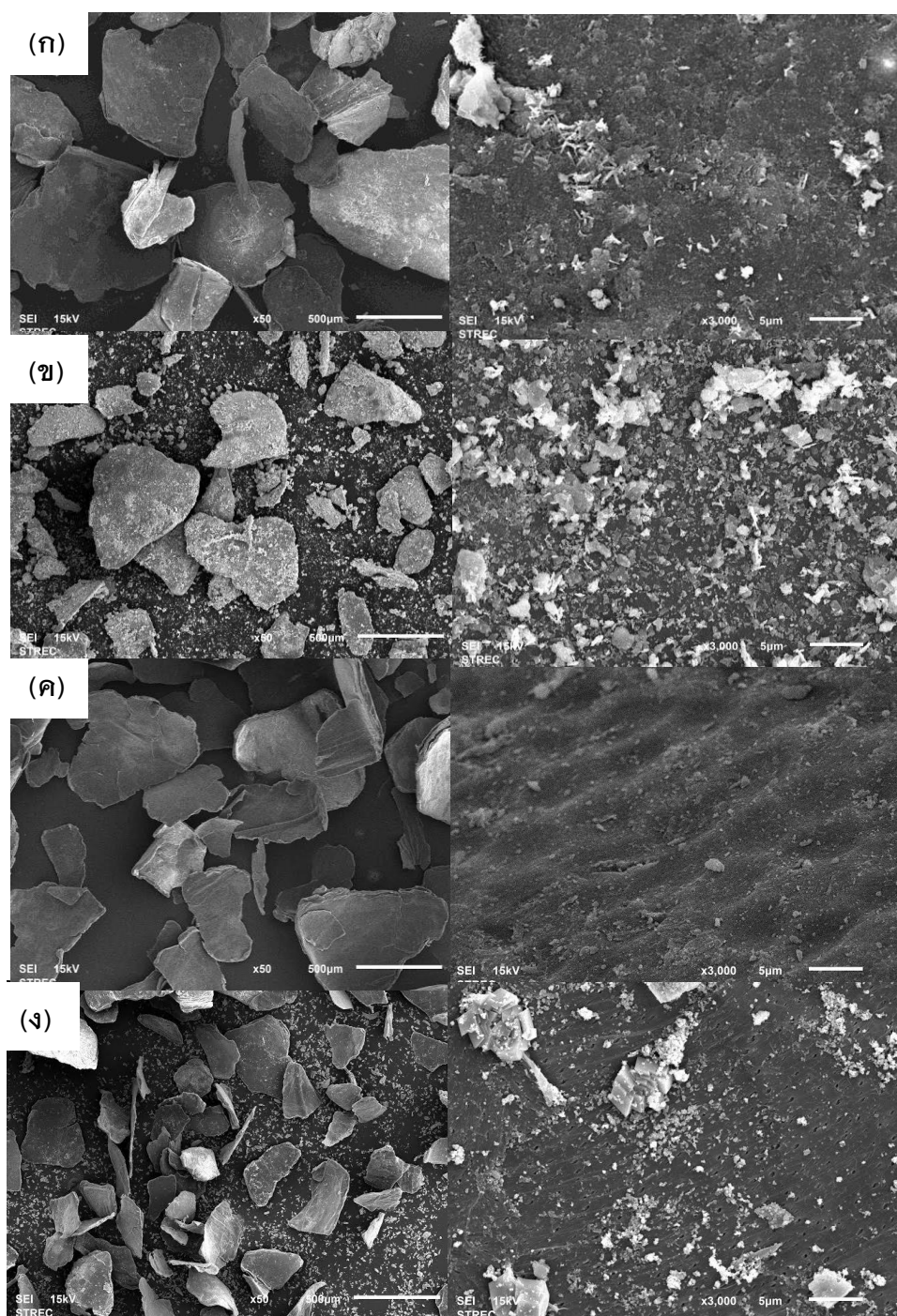
(ก) ZnO มาตรฐาน (ข) CS (ค) CS-ZnO 1 (ง) CS-ZnO 2 และ (จ) CS-ZnO 3

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ที่สังเคราะห์ได้ มีองค์ประกอบของสาร ไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์ ยืนยันได้จากผล XRD pattern เพื่อเปรียบเทียบกับผล XRD pattern ของ ซิงค์ออกไซด์ (ภาพที่ 4.5 (ก) ZnO) และ ไคโตซาน (ภาพที่ 4.5 (ข) CS) ดังนี้ CS-ZnO 1 ภาพที่ 4.5 (ค) พบว่าปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 29.2° และ 47.3° เป็นพิกของไคโตซาน และปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 31.5° , 34.2° , 36.1° , 47.3° และ 56.5° เป็นพิกของซิงค์ออกไซด์ CS-ZnO 2 ภาพที่ 4.5 (ง) พบว่าปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 29.2° และ 47.4° เป็นพิกของไคโตซาน และปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 31.6° , 34.2° , 36.1° , 47.4° และ 56.4° เป็นพิกของซิงค์ออกไซด์ CS-ZnO 3 ภาพที่ 4.5 (จ) พบว่าปรากฏพิกที่ตำแหน่ง 29.3° และ

47.4° เป็นพีกของไคโตซาน และปรากฏพีกที่ตำแหน่ง 31.6° , 34.2° , 36.1° , 47.5° และ 56.6° เป็นพีกของซิงค์ออกไซด์

4.1.2.2.3 เทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี (SEM)

เมื่อนำไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ที่สังเคราะห์ได้มาวิเคราะห์พื้นผิวของอนุภาคด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี แสดงดังภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 พื้นผิวของไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ช้ำย กำลังขยาย 50 เท่า

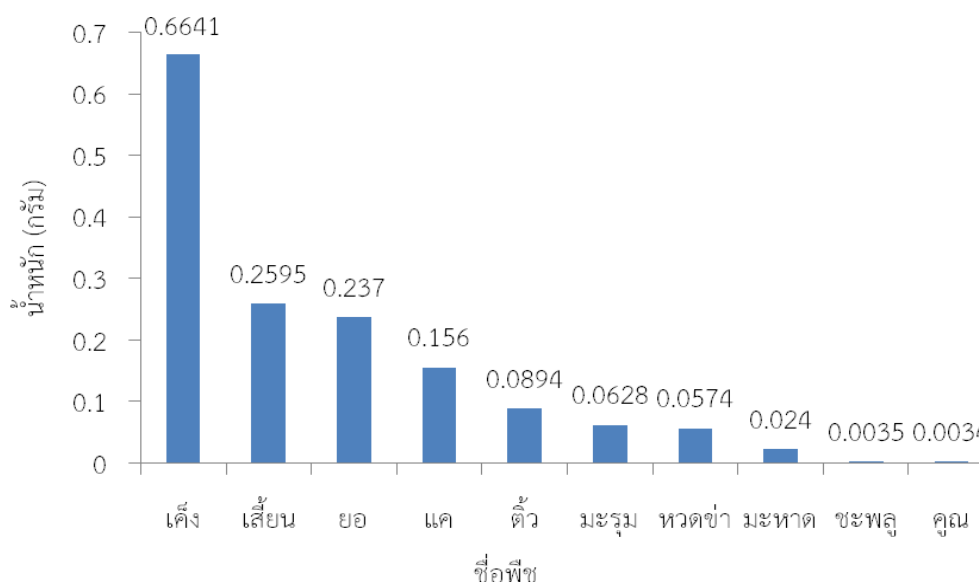
ขวา กำลังขยาย 3,000 เท่า (ก) CS (ข) CS-ZnO 1 (ค) CS-ZnO 2 และ (ง) CS-ZnO 3

จากภาพที่ 4.6 พบว่าพื้นผิวของไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ของ CS-ZnO 1 และ CS-ZnO 3 มีลักษณะของเกล็ดสีขาวกระจายอยู่บนพื้นผิวของไคโตซานจำนวนมาก ในขณะที่ CS-ZnO 2 มีลักษณะพื้นผิวที่เรียบมีเกล็ดสีขาวกระจายอยู่บนพื้นผิวน้อย

4.1.2 การสังเคราะห์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ และทางเคมี

4.1.2.1 การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ

การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ โดยใช้สารสกัดจากพืช 10 ชนิด ปริมาตร 200 มิลลิลิตร เป็นตัวรีดิวซ์ $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 40 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 5:1) นำหนักตะกอนซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ แสดงดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 น้ำหนักตะกอนซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากการทดลอง พบว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการใช้สารสกัดจากพืชแต่ละชนิดเป็นสารรีดิวซ์มีลักษณะเป็นตะกอนสีเทา และสารสกัดจากใบเค็งเป็นสารรีดิวซ์ให้ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมากที่สุด เท่ากับ 0.6641 กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิต เท่ากับ 0.56 รองลงมาคือใบผักเลี่ยน ใบยอ ใบแค ใบตั้ว ใบมะรุม ใบหวดข่า ใบมะหาด ใบชะพลู และใบคุณ ตามลำดับ

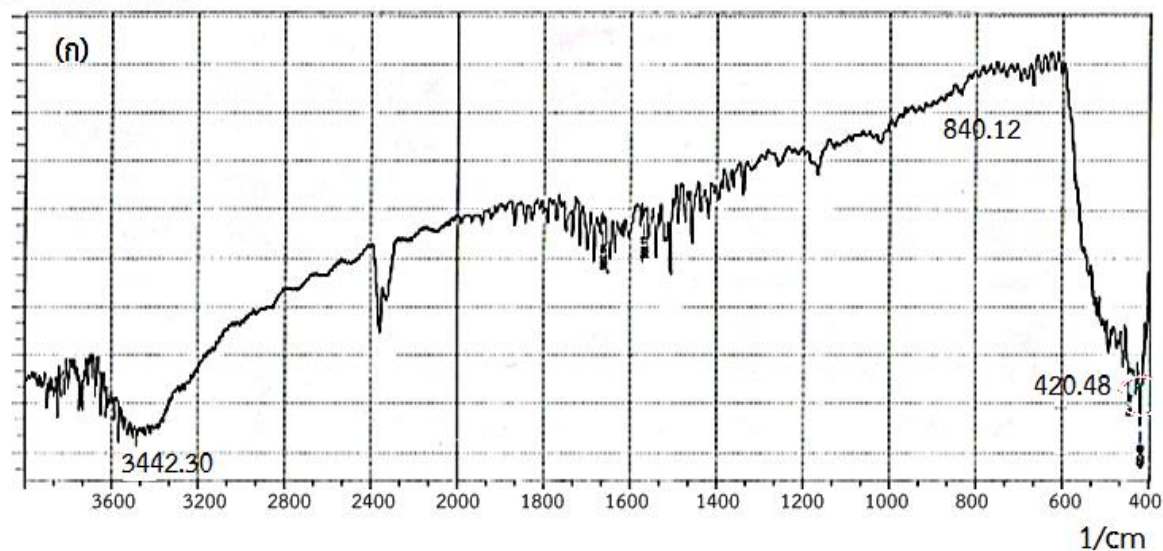
4.1.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ

การทดลองใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี และสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน แสดงดังภาพที่ 4.8, 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ

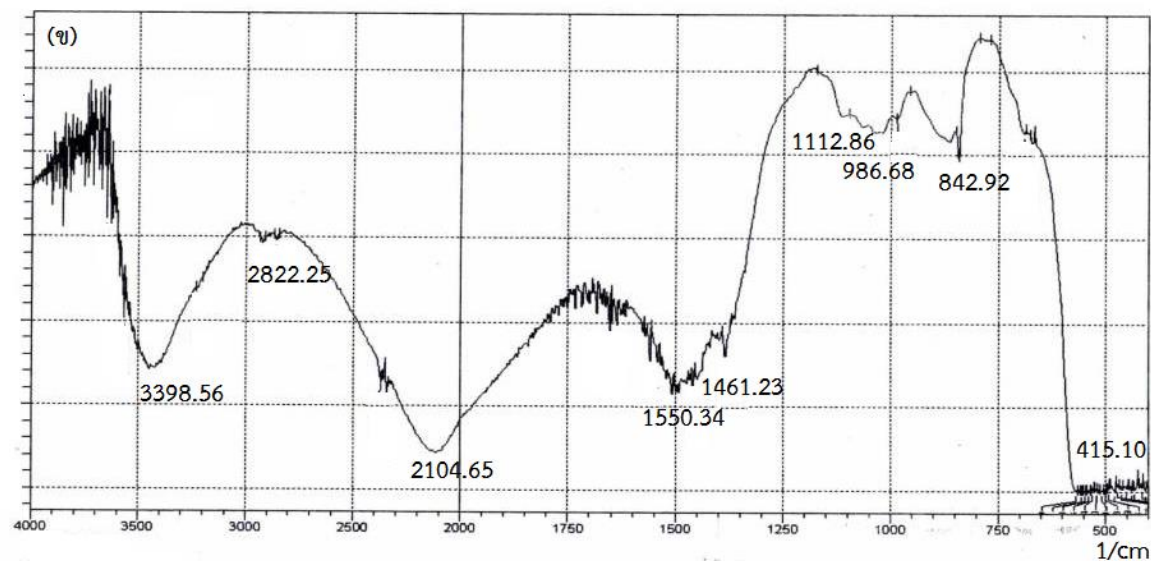
(1) เทคนิคฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี

เมื่อนำซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ทางชีวภาพ มาวิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันด้วยเทคนิคฟูรีเยร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี เทียบกับโคโดซานจากบริษัท Aldrich แสดงดังภาพที่ 4.8

% Transmittance



% Transmittance



ภาพที่ 4.8 สเปกตรัมอินฟราเรดของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

(ก) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนบริษัท Aldrich (ข) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.8 เมื่อเปรียบเทียบอินฟราเรด สเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ กับสเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนจากบริษัท Aldrich ดังตารางที่ 4.5

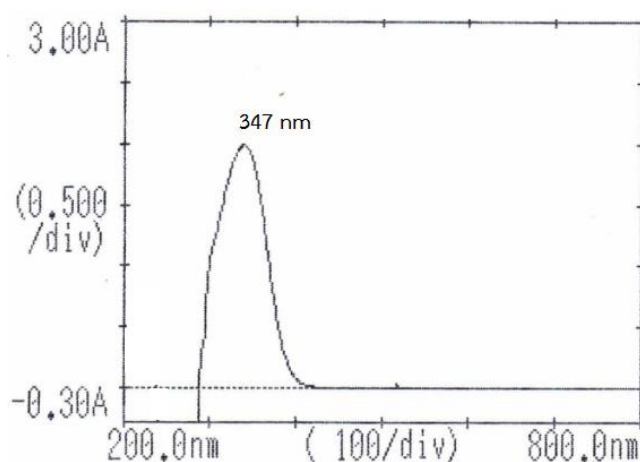
ตารางที่ 4.5 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของซิงค์ออกไซด์
อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1})	
	ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนบริษัท Aldrich	ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ
O-H stretching vibration	3442.30	3398.56
$\text{C}\equiv\text{C}$ stretching vibration	-	28822.25
Aromatic-CH-O stretching	-	2104.65
C=C stretching vibration in aromatic ring and C=O stretching in polyphenols	-	1550.34
C-N stretching vibration of amide-I in protein	-	1461.23
C-O stretching vibration in amino acid	-	1112.86
C-C stretching vibration	-	986.68
Coordination Zn	840.12	842.92
Zn-O stretching vibration	420.48	415.10

อินฟราเรดสเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ปรากฏพีก Coordination Zn และ Zn-O stretching ที่ตำแหน่ง 842.92 cm^{-1} และ 415.10 cm^{-1} ตามลำดับ ังเป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนบริษัท Aldrich โดยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพจะปรากฏหมู่ฟังก์ชันของสารอินทรีย์ปะปนอยู่ด้วย ผลการทดลองสอดคล้องกับ GunalanSangeetha, SivarajRajeshwari และ RajendranVenckatesh: 2011 A.ChinnammalJanaki et al :2014 และ KaruppaiyaVimala et al : 2013

(2) เทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี

เตรียมซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพในตัวทำละลายน้ำที่ความเข้มข้น $0.06 \text{ \% (w/v)}$ จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังภาพที่ 4.9

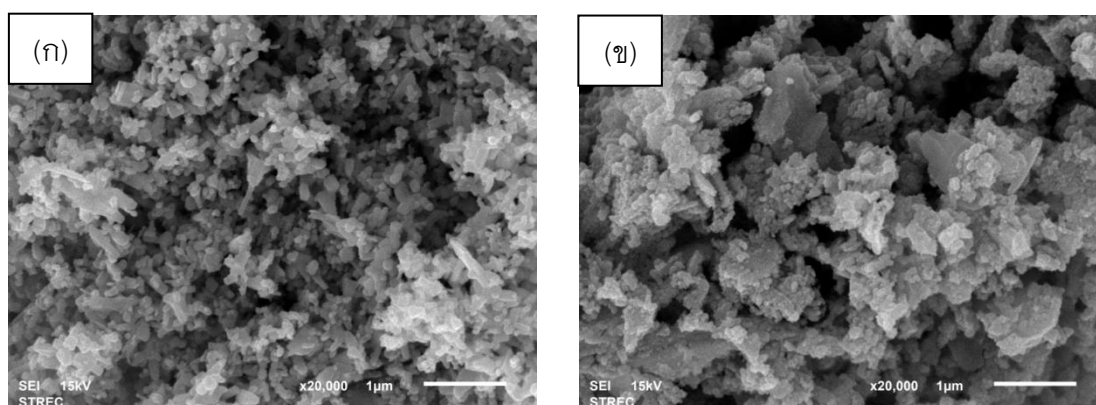


ภาพที่ 4.9 การดูดกลืนแสงของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.9 พบว่า ปรากฏฟีกของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่มีความยาวคลื่น 347 นาโนเมตร สอดคล้อง กับผลการทดลองของ Karuppaiya Vimalaa, Shenbagamoorthy Sundarraja, Manickam Paulpandia และ Srinivasan Vengatesanc :2014

(3) เทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี

เมื่อนำซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพมาวิเคราะห์พื้นผิวของอนุภาคด้วยเทคนิค สแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี แสดงดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 ภาพพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนกำลังขยาย 1000 เท่า

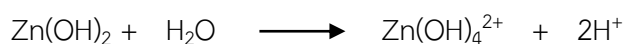
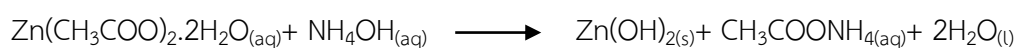
(ก) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (ข) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.10 (ข) พบว่าอนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพมีลักษณะเป็นก้อนกลม มีการจับกันของอนุภาคเป็นกลุ่มใหญ่ และมีอนุภาคนาโนขนาดเล็กกระจายตัวอยู่เล็กน้อย ในขณะที่อนุภาค ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีลักษณะเป็นแท่ง และเป็นทรงกลมกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอ (ภาพที่ 4.10 (ก)) และจากการใช้โปรแกรม Image J ในการวัดขนาดอนุภาคของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

พบว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 112.8 นาโนเมตร ซึ่งแสดงว่ามีอนุภาคใหญ่กว่าระดับนาโนเล็กน้อย (1-100 นาโนเมตร)

4.1.2.3 การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางเคมี

ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์โดยวิธีทางเคมีจาก $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ NH_4OH แสดงได้ดังสมการ



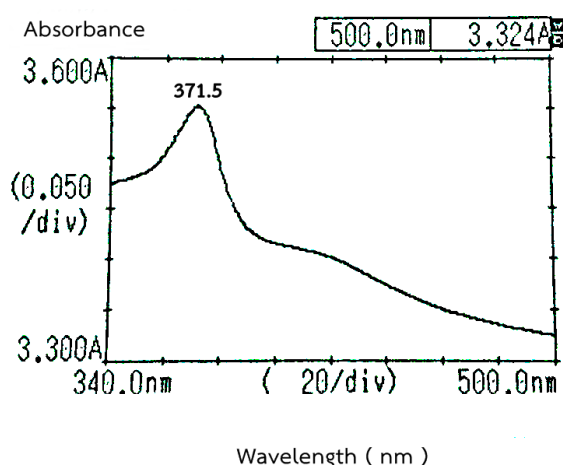
จากการทดลอง พบว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางเคมี มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีเทา มีร้อยละผลผลิต เท่ากับ 44.38

4.1.2.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้นำมาพิสูจน์เอกลักษณ์ โดยใช้เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน และเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี

4.1.2.4.1 เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี

เตรียมซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ในตัวทำละลายน้ำที่ความเข้มข้น 0.06 % (w/v) จากนั้นนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังภาพที่ 4.11

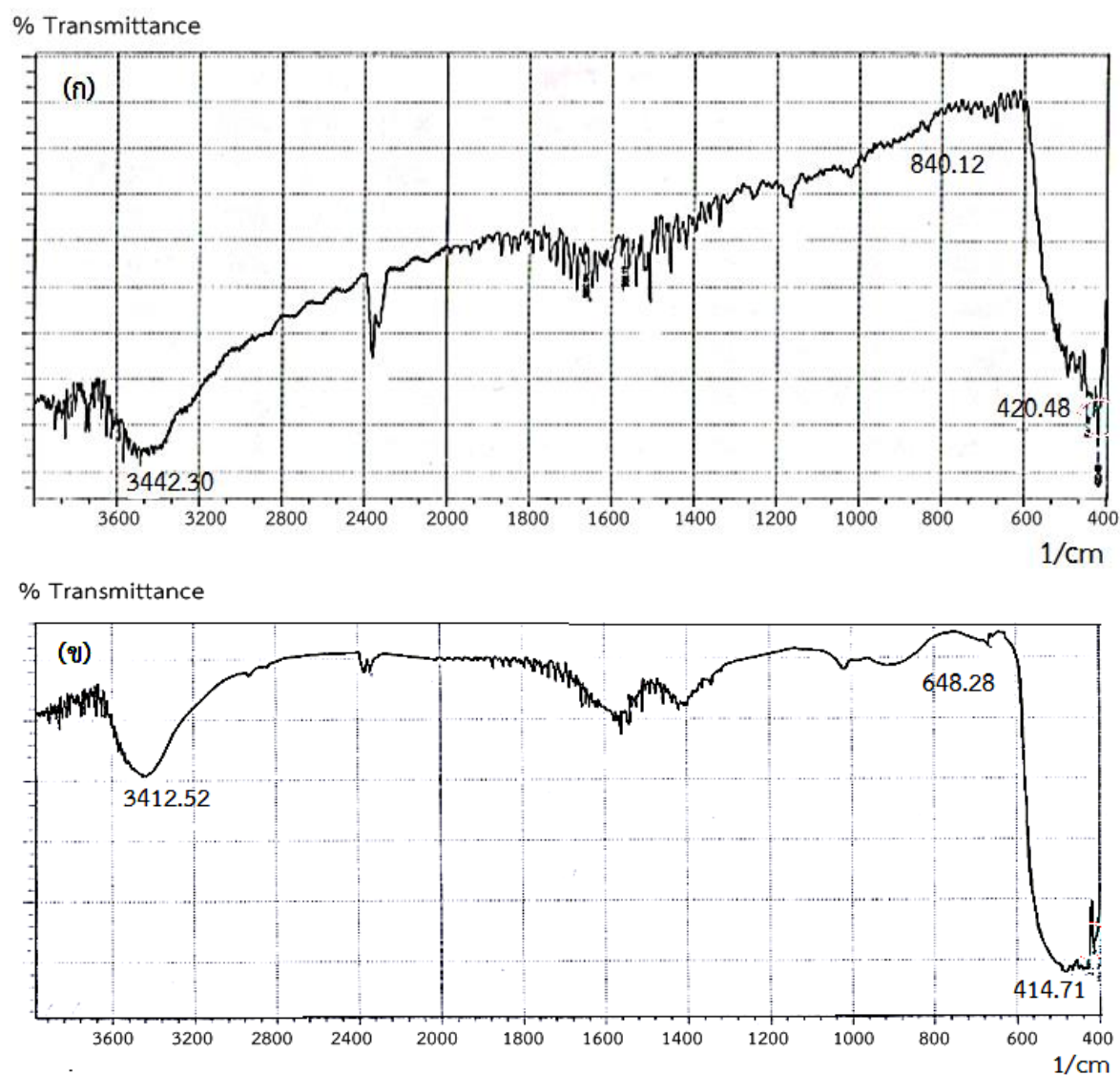


ภาพที่ 4.11 ค่าการดูดกลืนแสงของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

จากภาพที่ 4.11 ปรากฏพีคที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 371.5 นาโนเมตรเกิดจากการดูดกลืนแสงของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สอดคล้องกับผลการทดลองของ Ki-Jong Kim. et al. :2015

4.1.2.4.2 เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี

จากผลการตรวจวิเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรโตโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.12 สเปกตรัมอินฟราเรดของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

(ก) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนบริษัท Aldrich (ข) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

จากภาพที่ 4.12 เมื่อเปรียบเทียบอินฟราเรด สเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี กับสเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนจากบริษัท Aldrich ดังตารางที่ 4.6

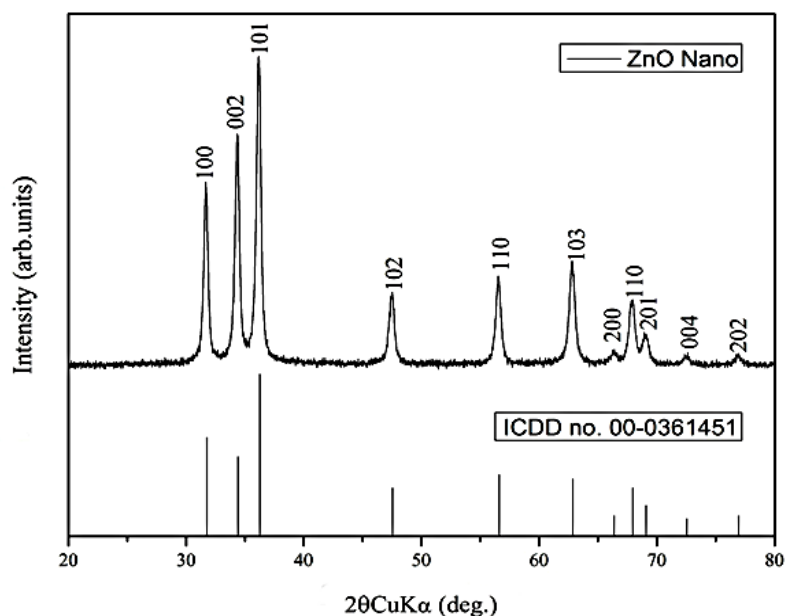
ตารางที่ 4.6 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของซิงค์ออกไซด์
อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1})	
	ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน บริษัท Aldrich	ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางเคมี
O-H stretching vibration	3442.30	3412.52
Coordination Zn	840.12	648.28
Zn-O bond	420.48	414.71

จากตารางที่ 4.6 และภาพที่ 4.12 พบว่าอินฟราเรดสเปกตรัมของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี ปรากฏฟีกของ Zn-O stretching ที่ตำแหน่ง 414.71 cm^{-1} ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนบริษัท Aldrich และสอดคล้องกับของ I. Latif et al : 2015

4.1.2.4.3 เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

จากการตรวจสอบเฟสซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโต-มิเตอร์เปรียบเทียบกับฐานข้อมูลมาตรฐาน ICDD แสดงผลดังภาพที่ 4.13

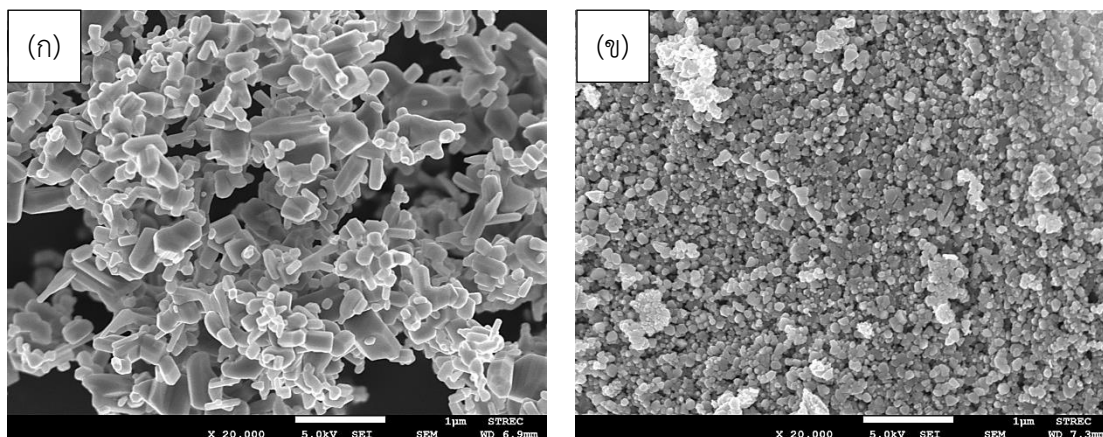


ภาพที่ 4.13 XRD pattern ของ ZnO NPs

จากภาพที่ 4.13 การวิเคราะห์ผลด้วยเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันได้ปรากฏฟีก 2θ ที่ตำแหน่ง 31.72° , 34.38° , 36.16° , 47.52° , 56.52° , 62.78° , 67.94° , 68.04° , 72.62° และ 76.74° มีรูปแบบของฟีกที่สอดคล้องกับฐานข้อมูล ICDD ของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน โครงสร้างแบบเฮกซะโกนอล หมายเลข 00-0361451 และเมื่อให้สมการ Debye-scherrer คำนวณขนาดอนุภาค พบว่า ซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 26.05 นาโนเมตร ซึ่งเป็นอนุภาคระดับนาโนเมตร (1-100 นาโนเมตร)

4.1.2.4.4 เทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี

จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ ด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปีได้ แสดงผลดังภาพที่ 4.14



ภาพที่ 4.14 พื้นผิวของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนกำลังขยาย 20,000 เท่า

(ก) อนุภาคซิงค์ออกไซด์มาตรฐาน (ข) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ทางชีวภาพ

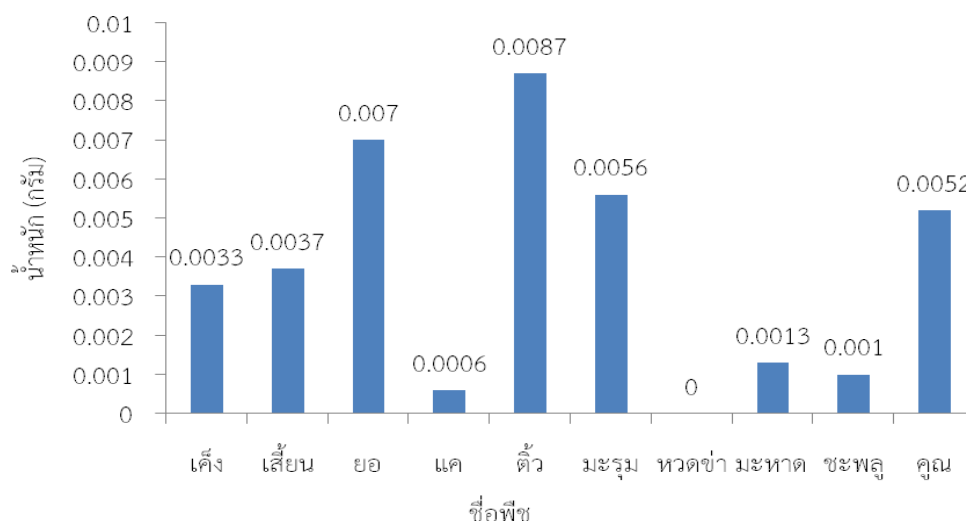
จากภาพที่ 4.14 แสดงพื้นผิวของอนุภาคซิงค์ออกไซด์มาตรฐาน (ก) มีลักษณะเป็นแท่ง และมีการเกาะกลุ่มกัน ส่วนซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ทางชีวภาพ (สารสกัดจากใบเตย) (ข) มีลักษณะเป็นรูปทรงกลมกระจายตัวกันอย่างสม่ำเสมอและมีการเกาะกลุ่มกันเล็กน้อย และเมื่อใช้โปรแกรม ImageJ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยได้เท่ากับ 112.8 นาโนเมตร

สรุปผลจากการสังเคราะห์ และพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ และทางเคมี พบว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพเป็นของแข็งสีดำ รูปร่างเป็นรูปแท่ง และทรงกลม มีผลผลิตร้อยละเท่ากับ 0.56 ขนาดอนุภาคเท่ากับ 112.8 นาโนเมตร และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางเคมีเป็นผงละเอียดสีเทา รูปร่างเป็นทรงกลม มีผลผลิตร้อยละเท่ากับ 44.38 มีขนาดอนุภาคเท่ากับ 26.05 นาโนเมตร และผลจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟกชัน และเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปีสามารถยืนยันได้ว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพเป็นซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคนาโนเล็กน้อย และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางเคมีเป็นซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนจริง

4.1.3 การสังเคราะห์ และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพและทางเคมี

4.1.3.1 การสังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ

การสังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ โดยใช้สารสกัดจากพืช 10 ชนิด เป็นตัวรีดิวซ์ AgNO_3 เข้มข้น 0.001 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร น้ำหนักตะกอนซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ได้ แสดงดังภาพที่ 4.15

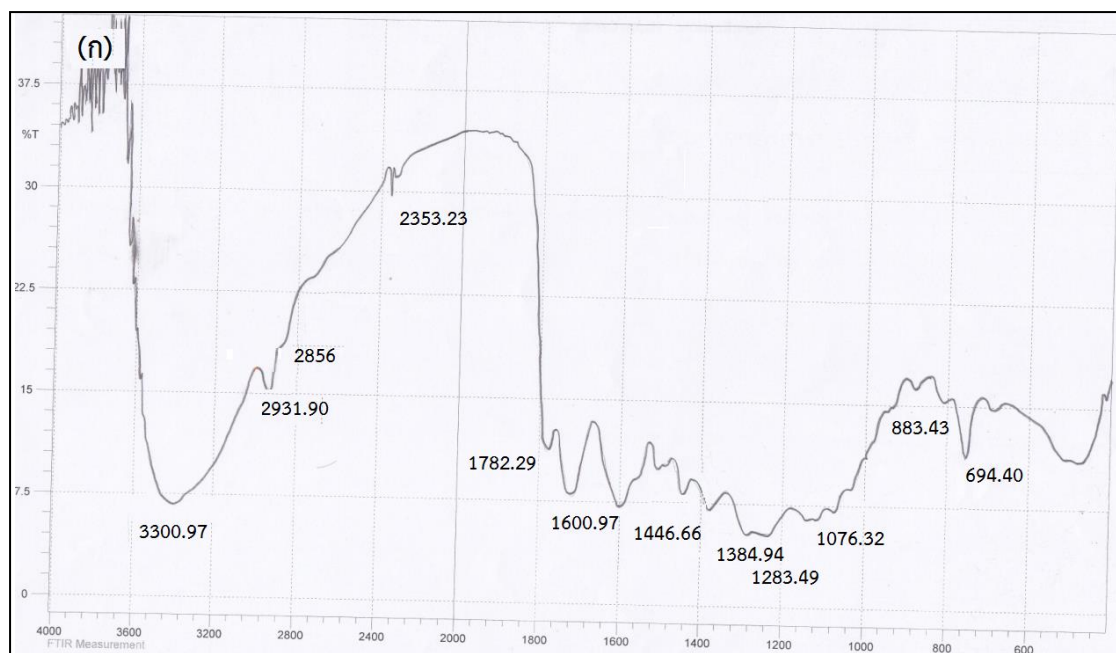


ภาพที่ 4.15 น้ำหนักตะกอนซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากการทดลอง พบว่าซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการใช้สารสกัดจากพืช แต่ละชนิดเป็นสารรีดิวซ์มีลักษณะเป็นตะกอนสีดำ สารสกัดจากใบตั้วมีประสิทธิภาพในการรีดิวซ์ให้ซิลเวอร์ออกไซด์อนุภาคนาโนมากที่สุด เท่ากับ 0.0087 กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิต เท่ากับ 51.22 รองลงมาคือยอ มะรุม คุณ ผักเลี่ยน เค็ง มะหาด ชะพลู และแค ตามลำดับ ส่วน หวดข่าไม่สามารถรีดิวซ์ให้ซิลเวอร์อนุภาคนาโนได้

4.1.3.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

การทดลองใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.16) ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.17) และสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี (ภาพที่ 4.18) ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิลเวอร์อนุภาคนาโนแสดงดังนี้



ภาพที่ 4.16 อินฟราเรด สเปกตรัมก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต

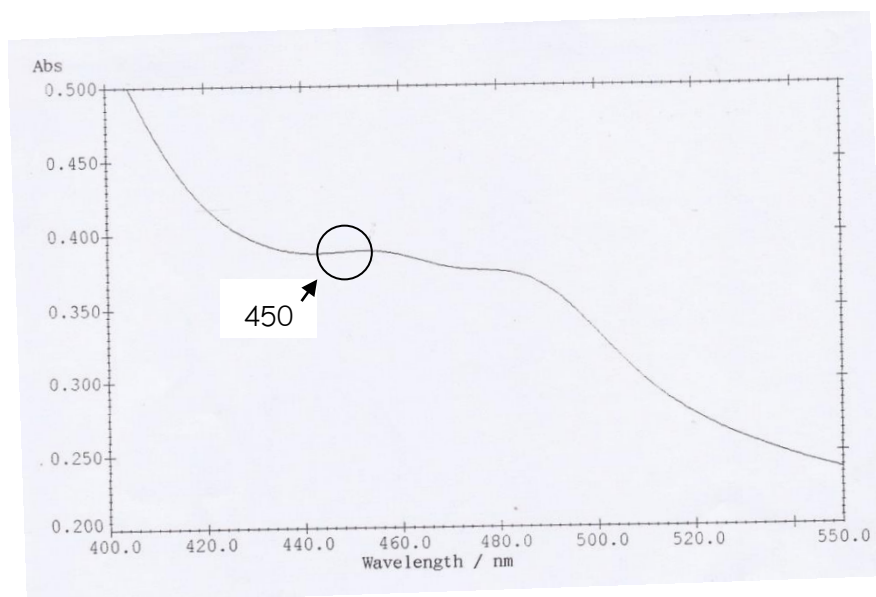
(ก) สารสกัดจากพืชก่อนทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต

(ข) สารสกัดจากพืชหลังทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต

ตารางที่ 4.7 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของสารสกัดจากพืช ก่อนและหลังทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต

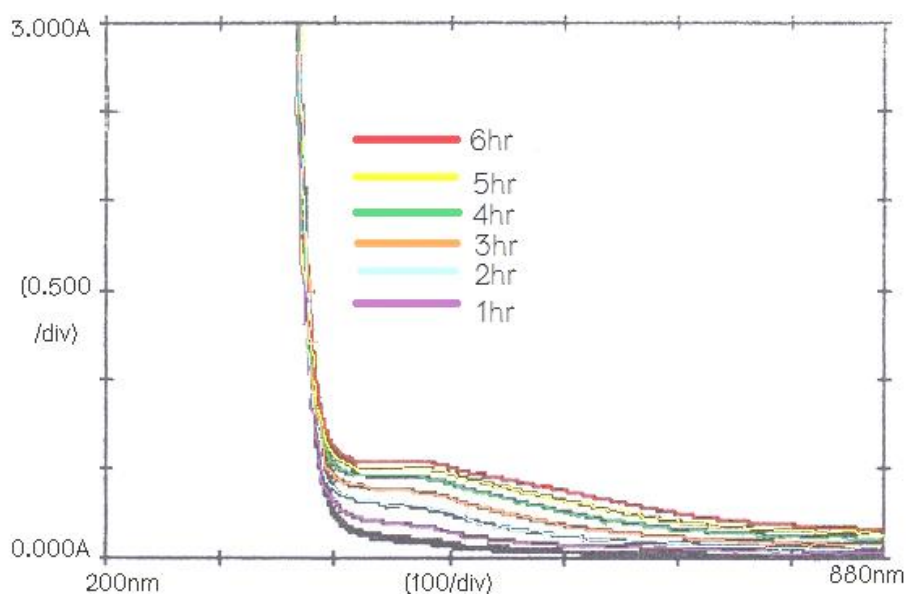
หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1})	
	สารสกัดจากพืชก่อนทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต	สารสกัดจากพืชหลังทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต
O-H stretching vibration ของแอลกอฮอล์ และฟีนอล	3300.97	3350.32
C-H stretching vibration ของอะโรมาติก	2931.90, 2856	2920.32
C-N stretching vibration of primary amine group of protein	2353.23	2357.09
C-C stretching vibration (non-conjugate)	1782.29	-
C-N stretching vibration of amide-I in protein	1600.97	1631.83
N-H stretch vibration in amide linkages of the proteins	1446.66	1454.38
C-N like amine or C-O like phenol group N=O symmetry stretching vibration of nitro compound	1384.94	-
N-H และ C-N (amines) stretch vibration of proteins	1076.32	1076.32
C-N stretching vibration of amines	1283.49	1261.49
Out-of-plane bonding vibration of -OH and C-H groups	883.43-694.40	817.85-651.96

เมื่อเปรียบเทียบสเปกตรัมของสารสกัดจากพืชก่อนและหลังการทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงความยาวคลื่นของหมู่ฟังก์ชัน แสดงว่าสารสกัดจากพืชเข้าไปทำปฏิกิริยากับซิลเวอร์ไนเตรต



ภาพที่ 4.17 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ

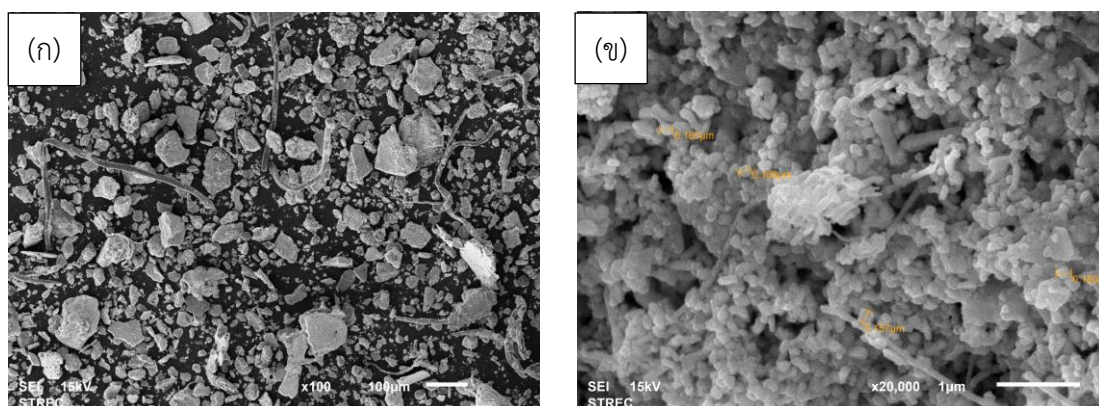
จากภาพที่ 4.17 พบว่าซิลเวอร์อนุภาคนาโนให้สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงที่ 450 นาโนเมตร สอดคล้องกับผลการทดลองของ R.Geethalakshmi and D.V.L. sarada ที่ให้สเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ 410-450 นาโนเมตร และจากการติดตามค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 450 นาโนเมตร ที่ชั่วโมงที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 แสดงผลดังภาพที่ 4.18



ภาพที่ 4.18 สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้เป็นเวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4.18 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์อนุภาคนาโน ที่ 450 นาโนเมตร มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาในการสังเคราะห์เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น การรีดิวซ์ AgNO_3 แล้วให้ผลิตภัณฑ์ของซิลเวอร์ออกไซด์อนุภาคนาโนจะมีมากขึ้นด้วย

จากการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ทางชีวภาพ ด้วยเครื่องสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปได้ผลดังภาพที่ 4.19



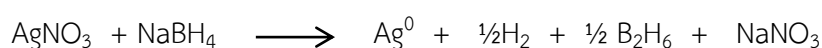
ภาพที่ 4.19 แสดงพื้นผิวของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ทางชีวภาพ

(ก) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนกำลังขยาย 100 เท่า (ข) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนกำลังขยาย 2,000 เท่า

จากภาพที่ 4.19 แสดงพื้นผิวของอนุภาคซิลเวอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ทางชีวภาพที่กำลังขยาย 100 เท่า ภาพที่ 4.19 (ก) พบการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอเป็นกลุ่ม ๆ มี 2 ขนาด กลุ่มที่มีขนาดใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 84,210 นาโนเมตร และกลุ่มที่มีขนาดเล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 31,990 นาโนเมตร และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเป็น 20,000 เท่า ภาพที่ 4.19 (ข) พบว่ามีอนุภาคลักษณะเป็นรูปร่าง และทรงกลมจับตัวกันอยู่ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยด้วยโปรแกรม Image J ได้เท่ากับ 143 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอนุภาคระดับนาโนเมตร (1-100 นาโนเมตร)

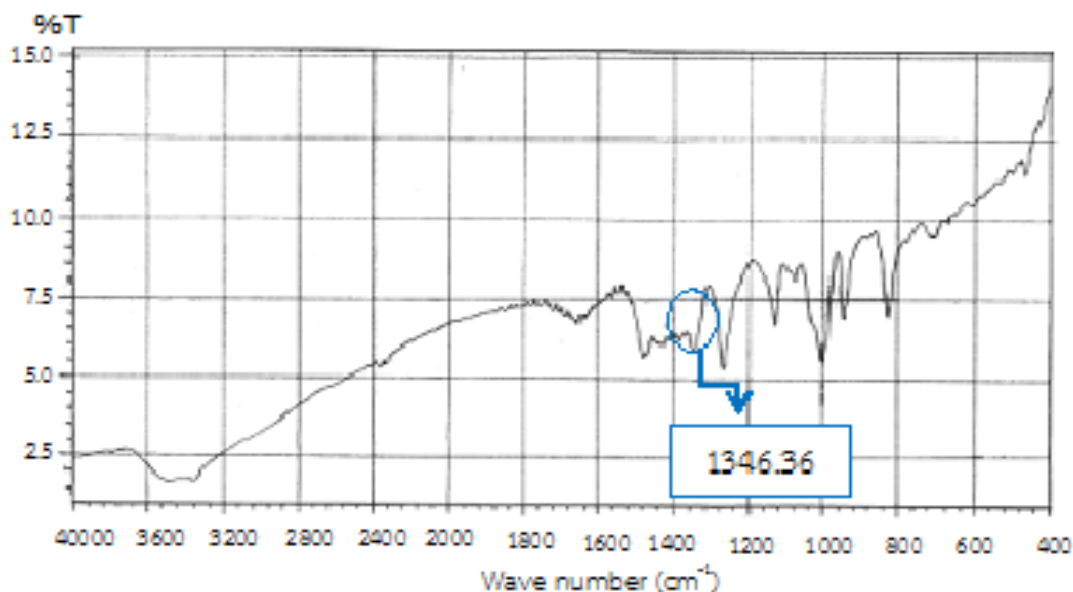
4.1.3.3 การสังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางเคมี

ซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้จากการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) เป็นตัวรีดิวซ์ซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ผลิตภัณฑ์ที่ได้หนัก 3.8527 กรัม คิดเป็นร้อยละผลผลิตเท่ากับ 31.00 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้น แสดงได้ดังนี้



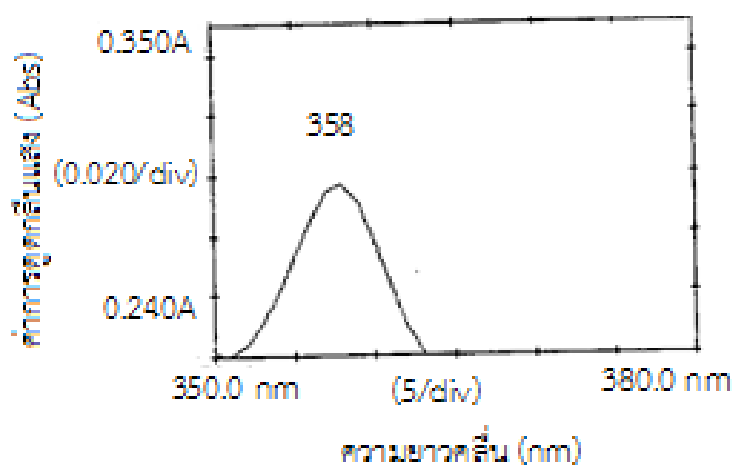
4.1.3.4 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางเคมี

การทดลองใช้เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.20) ยูวี-วิสิเบิล สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.21) และเทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน (ภาพที่ 4.22) ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางเคมี



ภาพที่ 4.20 อินฟราเรดสเปกตรัมของซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์เคมี

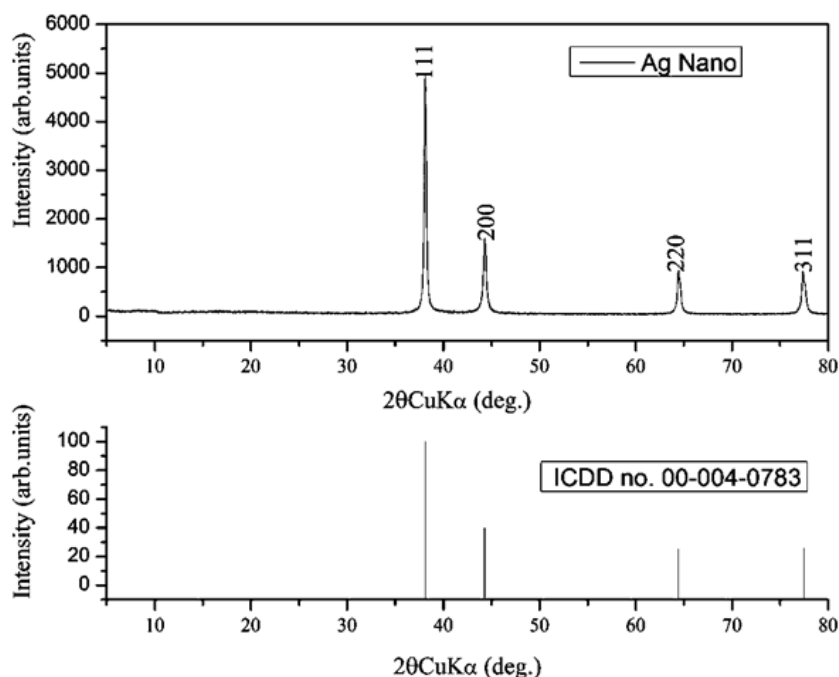
สเปกตรัมของซิลเวอร์อนุภาคนาโนปรากฏพีก N-O Stretching ที่ 1346.36 cm^{-1} ของ NaNO_3 (Foil A. Miller et al., June 7, 1952) เป็นการยืนยันการเกิดปฏิกิริยาระหว่างโซเดียมโบโรไฮไดรด์กับซิลเวอร์ไนเตรต ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจะมีผลิตภัณฑ์ของโลหะซิลเวอร์เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.21 ยูวี-วิสิเบิล สเปกตรัมของซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

เมื่อนำซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมีไปทดสอบการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรมิเตอร์ พบว่า ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 358 นาโนเมตร ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของเนศรา แก้วคง (2014) แสดงตำแหน่งการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ 350-550 นาโนเมตร กล่าวคือถ้าซิลเวอร์อนุภาคนาโนมีขนาดเล็ก ซึ่งเล็กกว่าความยาวคลื่นแสงที่ตกกระทบ จะทำให้เกิดปรากฏการณ์ เซอร์เฟซพลาสมอน เรโซแนนซ์ (Surface Plasmon Resonance : SPR) ทำให้ซิลเวอร์อนุภาคนาโนดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสั้น

เซอร์เฟสพลาสมอน เรโซแนนซ์ เป็นคลื่นความหนาแน่นของประจุที่เกิดจากการสั่นของอิเล็กตรอนอิสระที่มีลักษณะการสั่นพร้อมเพียงกันเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นบริเวณรอยต่อของโลหะซิลเวอร์และสารละลาย โดยที่ขนาดยอคคลื่นและความกว้างของสเปกตรัม พลาสมอน เรโซแนนซ์ ของวัสดุต่าง ๆ จะขึ้นอยู่กับขนาด รูปร่าง และสภาพแวดล้อมซิลเวอร์นาโนมีขนาดอนุภาคเล็ก



ภาพที่ 4.22 เอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชันของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้

จากภาพที่ 4.22 พบว่าสเปกตรัมของซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ตำแหน่ง 2θ ปรากฏพีกหลักที่ plane (111) เท่ากับ 38.12° plane (200) เท่ากับ 44.30° plane (220) เท่ากับ 64.44° และ plane (311) เท่ากับ 77.38° จากพีกที่เกิดขึ้นยืนยันได้ว่าเป็นซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิง ICDD หมายเลข 00-004-0783 และสามารถคำนวณขนาดผลึกเฉลี่ยคำนวณได้โดยใช้สมการของ Debye-Seherrer ดังสมการ

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta}$$

เมื่อ D คือ ขนาดผลึกเฉลี่ยของอนุภาคนาโน

K คือ Geometric Factor (0.9)

λ คือความยาวคลื่นของ X-ray Radiation Source

พบว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 61.94 นาโนเมตรแสดงว่าสารที่สังเคราะห์ได้เป็นสารอนุภาคนาโนจริง

สรุปผลจากการสังเคราะห์และพิสูจน์เอกลักษณ์ของซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ และทางเคมี พบว่าซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ เป็นตะกอนสีดำ อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม มีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 51.22 ขนาดอนุภาคเท่ากับ 143 นาโนเมตร ซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีมีร้อยละผลผลิตเท่ากับ 31.00 ขนาดอนุภาคเท่ากับ 61.94 นาโนเมตร และผลจากการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย เทคนิคยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรสโกปี เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี เทคนิคเอกซเรย์ ดิฟแฟกชัน และเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปีสามารถยืนยันได้ว่าซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพเป็นอนุภาคซิลเวอร์ที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคนาโนเล็กน้อย และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีเป็นซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนจริง

4.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้าย และการย้อมสีธรรมชาติ

ในงานวิจัยได้เลือกสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้าย ได้แก่ เทคนิค ปริมาณสารปรับปรุง อนุภูมิ และเวลา โดยสารปรับปรุงที่เลือกใช้ในการศึกษาคือ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน จากนั้นย้อมสี น้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ผลการทดลองที่ได้จะนำไปใช้กับการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงชนิดอื่น ๆ และในกรณีการใช้สารปรับปรุงร่วมกับสารเชื่อมโยง ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล พอลิเอทิลีนอิมิน ได้ศึกษาปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้าย ผลการทดลองแสดงได้ดังนี้

4.2.1 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุง

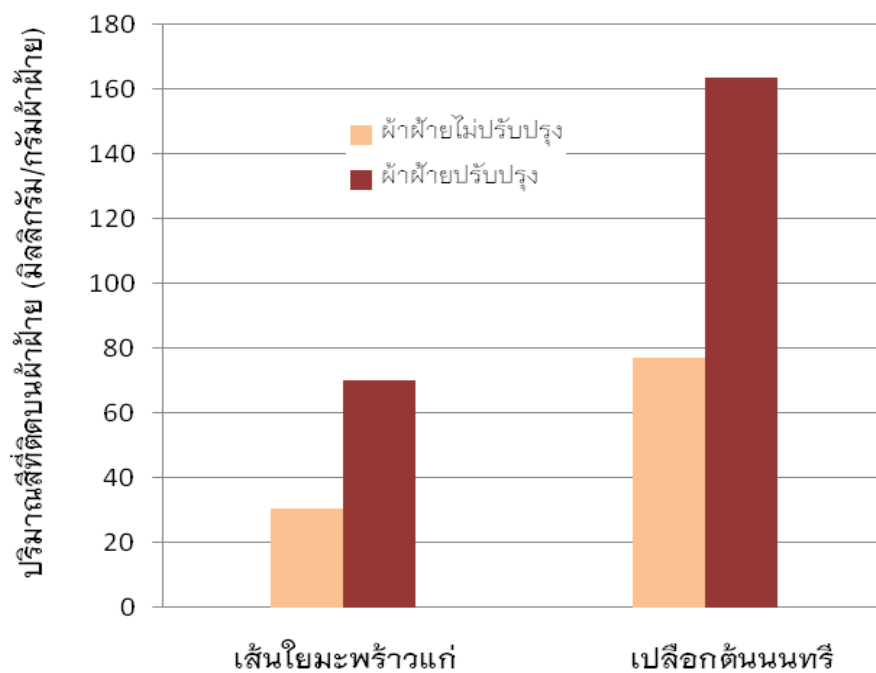
สภาวะต่าง ๆ ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุง ในงานวิจัยเลือกศึกษาสารปรับปรุง คือซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สีย้อม โทนสีน้ำตาล ได้แก่สีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ และสีน้ำตาลจากต้นนนทรี และโทนสีเขียว ได้แก่ สีเขียวจากใบสบเสื่อ และสีเขียวจากต้นเปลือกเพกา สภาวะในการปรับปรุงผ้าฝ้าย คือ เทคนิค ปริมาณซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน พีเอช อนุภูมิ และเวลา แสดงผลการทดลอง ดังนี้

4.2.1.1 สีย้อมโทนสีน้ำตาล และโทนสีเขียว

การศึกษาสีย้อมโทนสีน้ำตาล ได้แก่สีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ และสีน้ำตาลจากต้นนนทรี และโทนสีเขียว ได้แก่ สีเขียวจากใบสบเสื่อ และสีเขียวจากต้นเปลือกเพกา ในการย้อมผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ความเข้มข้น 0.10 %(w/v)ภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าฝ้ายต่อสารละลาย 1 : 50 (กรัม : มิลลิลิตร) เวลา 30 นาที อนุภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง

1) สีย้อมโทนสีน้ำตาล

จากการศึกษาปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนย้อมสีย้อมโทนสีน้ำตาล ได้แก่ เส้นใยมะพร้าวแก่ และเปลือกต้นนนทรี เทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง ดังภาพที่ 4.23

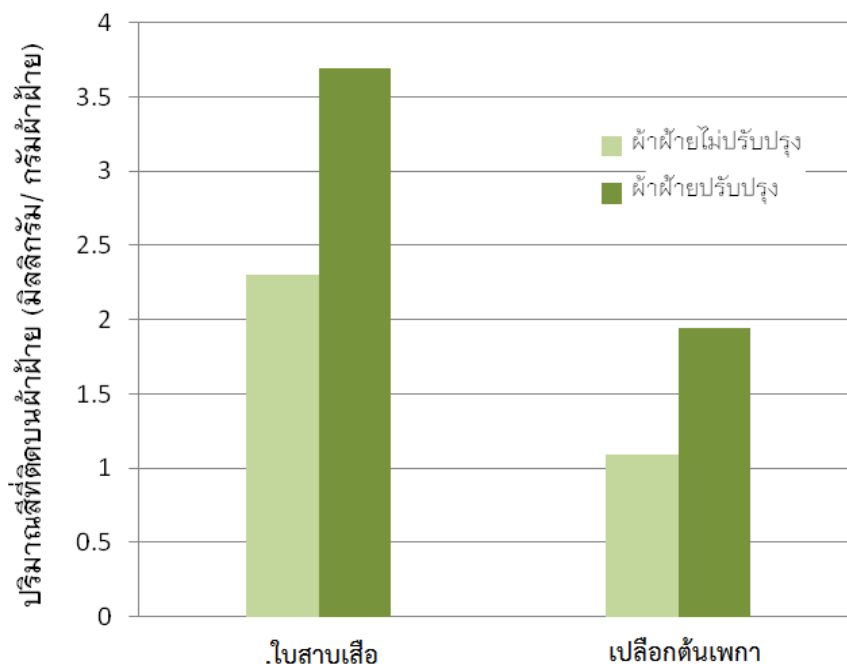


ภาพที่ 4.23 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายย้อมสีโทนสีน้ำตาล

จากภาพที่ 4.23 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนย้อมสีโทนสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ และเปลือกต้นนนทรี ให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 56.70 และ 52.92 ตามลำดับ และสีย้อมจากเปลือกต้นนนทรีให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าสีย้อมจากเส้นใยมะพร้าวแก่

2) สีโทนสีเขียว

จากการศึกษาปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนย้อมสีย้อมโทนสีเขียว ได้แก่ ใบสาบเสือ และเปลือกต้นเพกา เทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง ดังภาพที่ 4.24



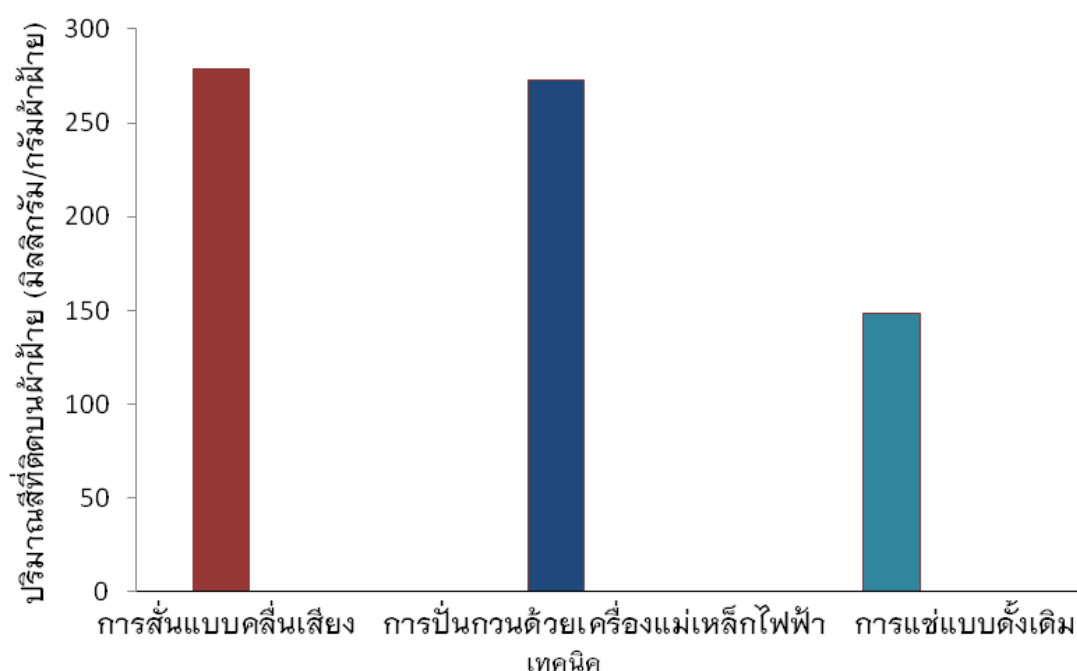
ภาพที่ 4.24 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายย้อมสีโทนสีเขียว

จากภาพที่ 4.24 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนย้อมสีโทนสีเขียว จากใบสาบเสือ และเปลือกต้นเพกา ให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงคิดเป็นร้อยละ 37.67 และ 43.98 ตามลำดับ และสีจากใบสาบเสือ ให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าสีย้อมจากเปลือกต้นเพกา

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนย้อมสีน้ำตาล และโทนสีเขียว มีปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และสีโทนสีน้ำตาลมีค่าปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าสีโทนสีเขียว และเมื่อพิจารณาผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงย้อมสีน้ำตาล พบว่าสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ให้สีที่ติดบนผ้าฝ้ายมีความสม่ำเสมอมากกว่าสีน้ำตาลจากเปลือกต้นนนทรี อีกทั้งเส้นใยมะพร้าวแก่เป็นวัสดุที่เหลือใช้ หาได้ง่าย และไม่ทำลายต้นไม้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงตัดสินใจเลือกใช้ย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ในการทดลองในขั้นตอนต่อไป

เทคนิคในการปรับปรุง

การศึกษาเทคนิคที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายที่มีผลต่อปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้าย คือ เทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง การปั่นกววนด้วยเครื่องกววนแม่เหล็กไฟฟ้า และการแช่แบบดั้งเดิม ภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าฝ้ายต่อสารละลาย 1 : 50 (กรัม : มิลลิลิตร) ที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.5 กรัม เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แสดงผลดังภาพที่ 4.25

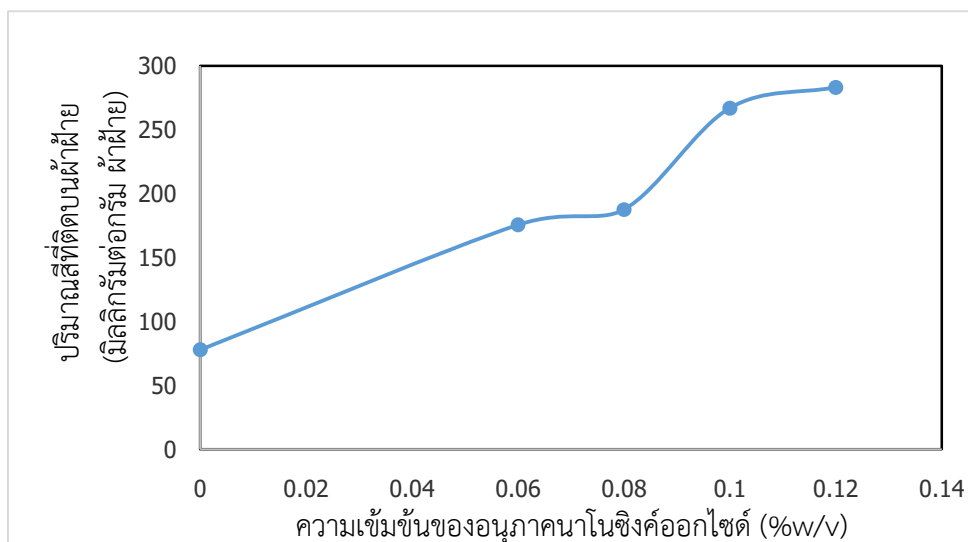


ภาพที่ 4.25 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.25 พบว่าผ้าฝ้ายที่ใช้เทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียงมีปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าเทคนิคการปั่นกวนด้วยเครื่องมือหลักไฟฟ้าเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับเทคนิคการแช่แบบดั้งเดิมพบว่าให้ค่าปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายน้อยที่สุด ดังนั้นในการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในพารามิเตอร์อื่นนั้น จะใช้การปรับปรุงผ้าฝ้ายโดยการสั่นด้วยคลื่นเสียง

4.2.1.2 ปริมาณซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

การศึกษาปริมาณซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายที่มีผลต่อปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้าย คือ 0.03, 0.04, 0.50 และ 0.60 กรัม หรือที่ความเข้มข้น 0.06, 0.08, 0.10 และ 0.12 % (w/v) ภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าฝ้ายต่อสารละลาย 1 : 50 (กรัม : มิลลิลิตร) เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง แสดงผลดังภาพที่ 4.26

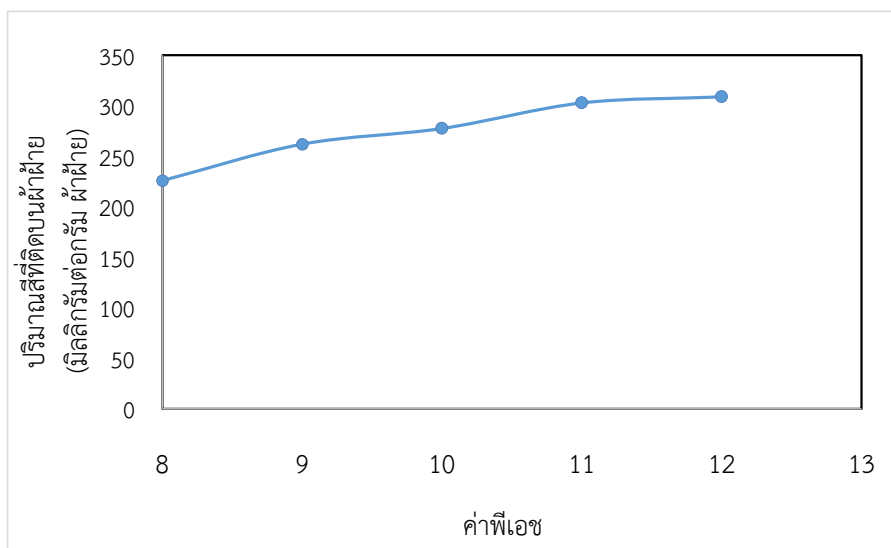


ภาพที่ 4.26 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยคลอรีนอนุภาคนาโน

จากภาพที่ 4.26 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยคลอรีนอนุภาคนาโนทุกความเข้มข้น มีปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง ความเข้มข้นของคลอรีนอนุภาคนาโน 0.12%(w/v)มีปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายมากที่สุดเท่ากับ 295.98 มิลลิกรัมต่อกรัมผ้าฝ้าย รองลงมาคือความเข้มข้นของคลอรีนอนุภาคนาโนเท่ากับ 0.10, 0.08, 0.06 %(w/v)และไม่ปรับปรุงตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ความเข้มข้นของคลอรีนอนุภาคนาโนที่ 0.10 %(w/v)เนื่องจากที่ความเข้มข้นดังกล่าวให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับที่ 0.12 %(w/v)

4.2.1.3 พีเอช

การศึกษาพีเอชที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยคลอรีนอนุภาคนาโนที่มีผลต่อปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้าย คือ พีเอช 8, 9, 10, 11 และ 12 ภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าฝ้ายต่อสารละลาย 1 : 50 (กรัม : มิลลิลิตร) เป็นเวลา 30 นาที อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง แสดงผลดังภาพที่ 4.27

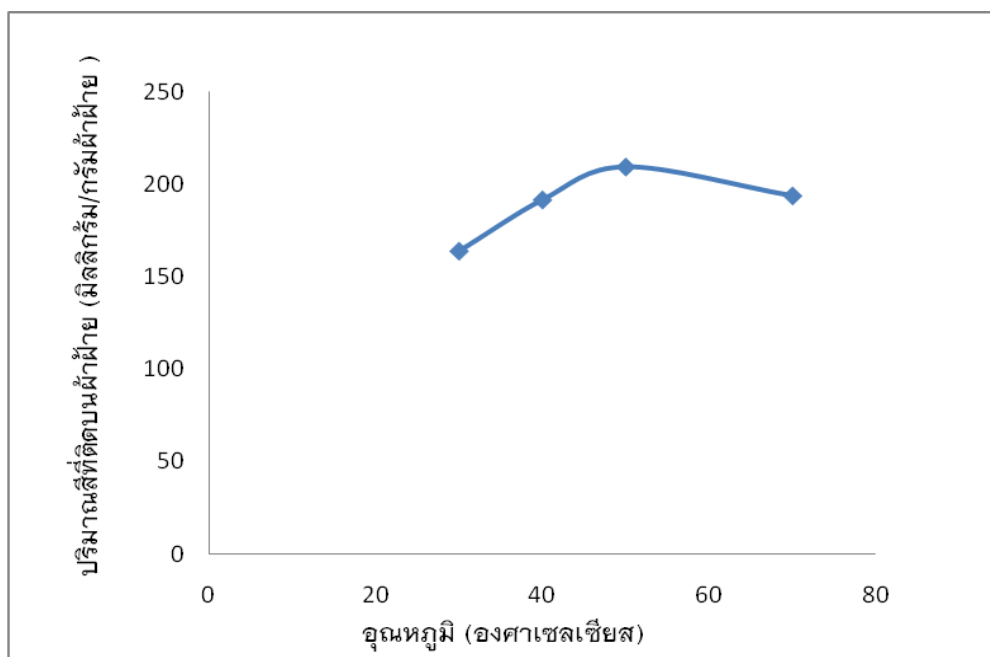


ภาพที่ 4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพีเอชกับปริมาณสีน้ำตาสีที่ติดบนผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ

จากตารางที่ 4.27 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่พีเอช 8- 12 มีปริมาณสีน้ำตาสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากขึ้นเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้น

4.2.1.4 อุนหภูมิ

การศึกษาอุนหภูมิที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายที่มีผลต่อปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้าย คือ 30, 40, 50 และ 70 องศาเซลเซียส ภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าฝ้ายต่อสารละลาย 1 : 50 (กรัม : มิลลิลิตร) เป็นเวลา 30 นาที ด้วยเทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง ที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.5 กรัม แสดงผลดังภาพที่ 4.28

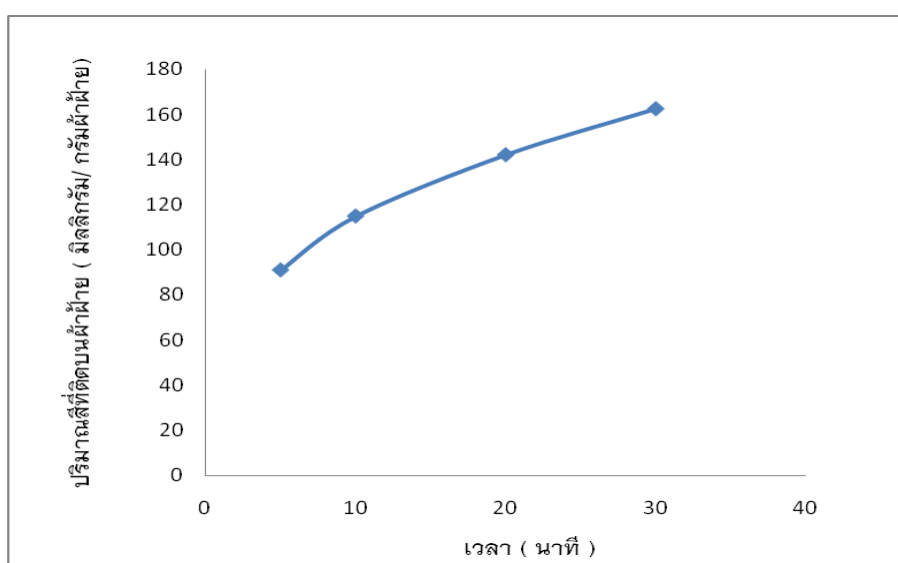


ภาพที่ 4.28 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนอุณหภูมิต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.28 พบว่าที่อุณหภูมิในช่วง 30-50 องศาเซลเซียส มีปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และที่อุณหภูมิมากกว่า 50 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมีแนวโน้มลดลง

4.2.1.5 เวลา

การศึกษาเวลาที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายที่มีผลต่อปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้าย คือ 5, 10, 20 และ 30 นาที ภายใต้อัตราส่วนน้ำหนักผ้าฝ้ายต่อสารละลาย 1 : 50 (กรัม : มิลลิลิตร) ที่ปริมาณซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.5 กรัม อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ด้วยเทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง ดังภาพที่ 4.29



ภาพที่ 4.29 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนด้วยเทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง ในเวลาต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.29 พบว่าเมื่อเพิ่มเวลาในการสั่นแบบคลื่นเสียง ในช่วงเวลา 10 นาทีขึ้นไปปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

สรุปการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน คือ ปริมาณซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนความเข้มข้น 0.1 % (w/v) พีเอช 8-12 อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เวลา 30 นาที ด้วยเทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง

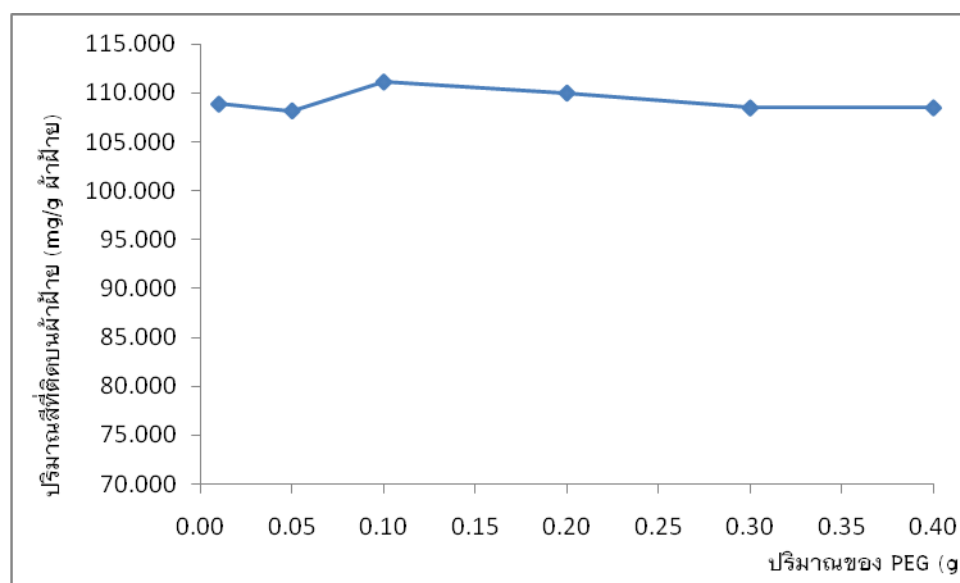
4.2.2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายเมื่อใช้สารเชื่อมโยงร่วมกับสารปรับปรุง

ในงานวิจัยศึกษาปริมาณสารเชื่อมโยงที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายโดยศึกษาสารเชื่อมโยง 2 ชนิด ได้แก่ พอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิเอทิลีนอิมิน ดังนี้

- 1) ปริมาณสารเชื่อมโยงเอทิลีนไกลคอลที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายร่วมกับไคโตซาน
- 2) ปริมาณสารเชื่อมโยงเอทิลีนไกลคอลที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน
- 3) ปริมาณสารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนอิมินที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้ายร่วมกับซิลเวอร์อนุภาคนาโน

4.2.2.1 ปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงร่วมกับไคโตซาน

ปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอล 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กรัม ใช้เป็นสารเชื่อมโยงสำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน 0.2 กรัม ใน 2% (v/v) ของกรดอะซิติก ปริมาตร 50 mL แสดงปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายต่อปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอล ดังภาพที่ 4.30



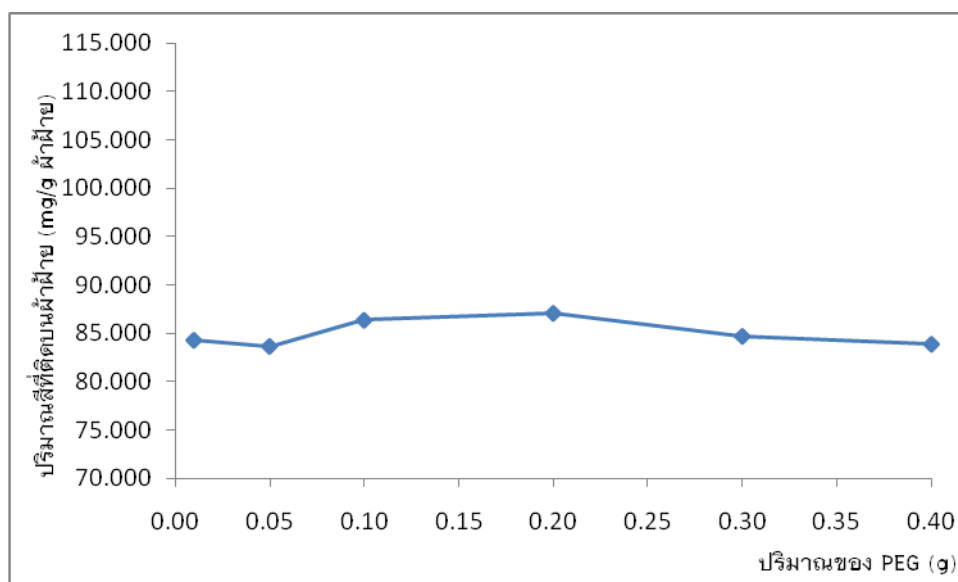
ภาพที่ 4.30 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.30 พบว่าปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอล 0.1 กรัมให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากที่สุด และมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลมากกว่า 0.3 กรัม

4.2.2.2 ปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงร่วมกับซิงค์ออกไซด์

อนุภาคนาโน

ปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอล 0.01, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 กรัมใช้เป็นสารเชื่อมโยงสำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน 0.2 กรัมในน้ำกลั่น 50 mL ปรับ pH เท่ากับ 8 ด้วย NH_4OH ภายใต้การสั่นด้วยคลื่นเสียง 20 นาที่ ที่ 30 องศาเซลเซียส การเชื่อมโยง 5 นาที่ ที่ 150 องศาเซลเซียส แสดงปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายต่อปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอล ดังภาพที่ 4.31



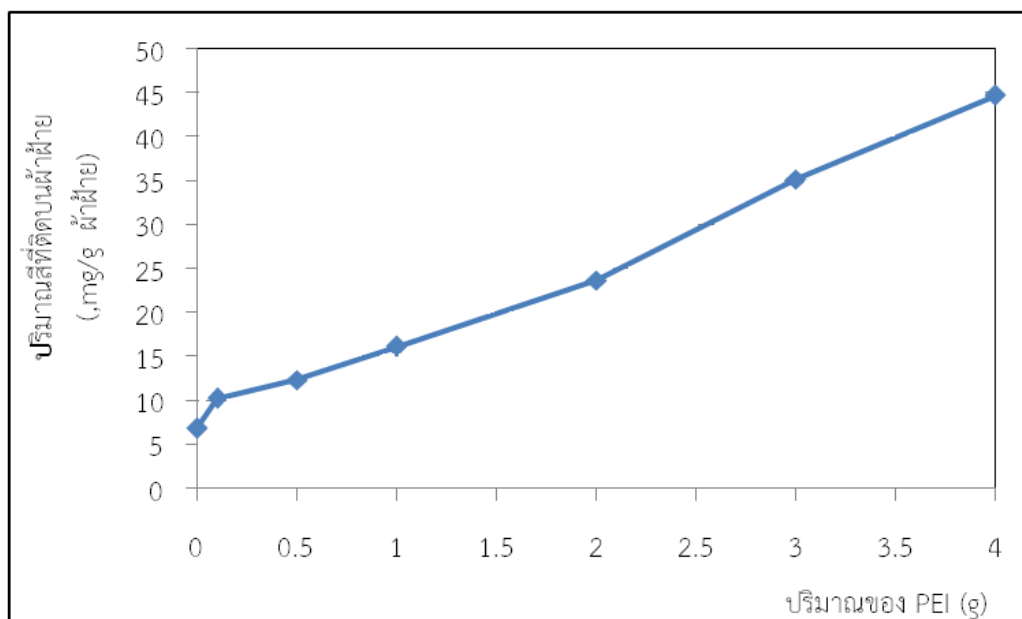
ภาพที่ 4.31 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.31 พบว่าปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอล 0.2 กรัมให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากที่สุด และมีค่าลดลงเล็กน้อย เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลเพิ่มขึ้น และเริ่มคงที่เมื่อปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลมากกว่า 0.3 กรัม

4.2.2.2 ปริมาณของพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงร่วมกับซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโน

ปริมาณพอลิเอทิลีนอิมิน 0.1, 0.5, 1, 2, 3 และ 4 กรัม ใช้เป็นสารเชื่อมโยงสำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงซิลเวอร์ 0.002 กรัม ในน้ำกลั่น 50 mL ปรับ pH = 8 ด้วย NH_4OH ภายใต้การสั่น

ด้วยคลื่นเสียง 20 นาที่ ที่ 30 องศาเซลเซียส การเชื่อมโยง 5 นาที่ ที่ 150 องศาเซลเซียส แสดงปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายต่อปริมาณของพอลิเอทิลีนอิมิน



ภาพที่ 4.32 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมิน เป็นสารเชื่อมโยงที่ปริมาณต่าง ๆ

จากภาพที่ 4.32 พบว่าปริมาณของพอลิเอทิลีนพอลิเอทิลีนอิมินเพิ่มมากขึ้นปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายเพิ่มมากขึ้นด้วย ในการทดลองจะเลือกใช้ปริมาณพอลิเอทิลีนอิมินที่ 0.1 กรัมหรือที่ความเข้มข้น 0.2 % (v/v) เนื่องจากที่ปริมาณสารดังกล่าวจะทำให้การยัดติดสีบนผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และเป็นความเข้มข้นที่ต่ำสุด

สรุปผลการศึกษาสถานะที่เหมาะสม ดังนี้

การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุง และสารปรับปรุงร่วมกับสารเชื่อมโยงทุกชนิด ทำภายใต้สถานะเดียวกัน คือใช้เทคนิคการสั่นด้วยคลื่นเสียง ภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที โดยจะใช้สารปรับปรุง และสารเชื่อมโยงในปริมาณที่แตกต่างกัน ดังนี้

ตารางที่ 4.8 ความเข้มข้นของสารปรับปรุงและสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

สารปรับปรุง/สารเชื่อมโยง	ความเข้มข้นของสาร
ไคโตซาน	1% (w/v)
ไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต	1% (w/v)
ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพและทางเคมี	0.1% (w/v)
ซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพและทางเคมี	0.002 % v/v
ไคโตซาน-พอลิเอทิลีนไกลคอล	
- ไคโตซาน	0.4% (w/v)
- พอลิเอทิลีนไกลคอล	0.2% (w/v)
ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนไกลคอล	
- ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน	2% (w/v)
- พอลิเอทิลีนไกลคอล	0.4% (w/v)
ซิลเวอร์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนอิมิน	
- ซิลเวอร์อนุภาคนาโน	0.004 % v/v
- พอลิเอทิลีนอิมิน	0.2 % v/v

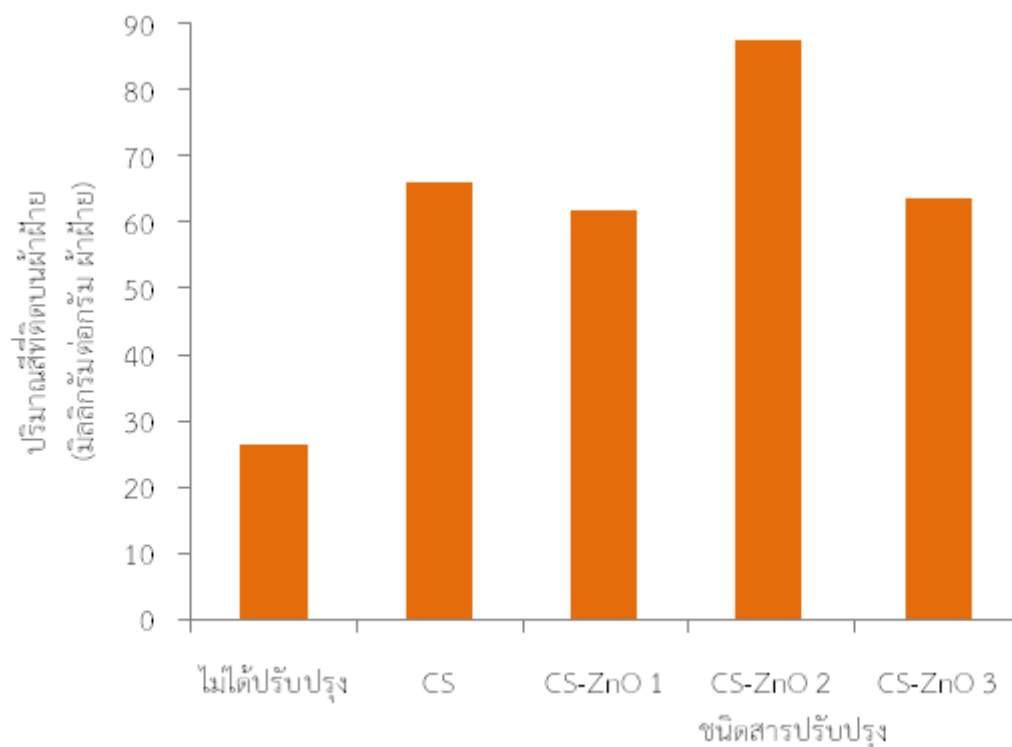
4.3 การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุง และการพิสูจน์เอกลักษณ์

4.3.1 การปรับปรุง และการพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

4.3.1.1 การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ แสดงดังภาพที่

4.33

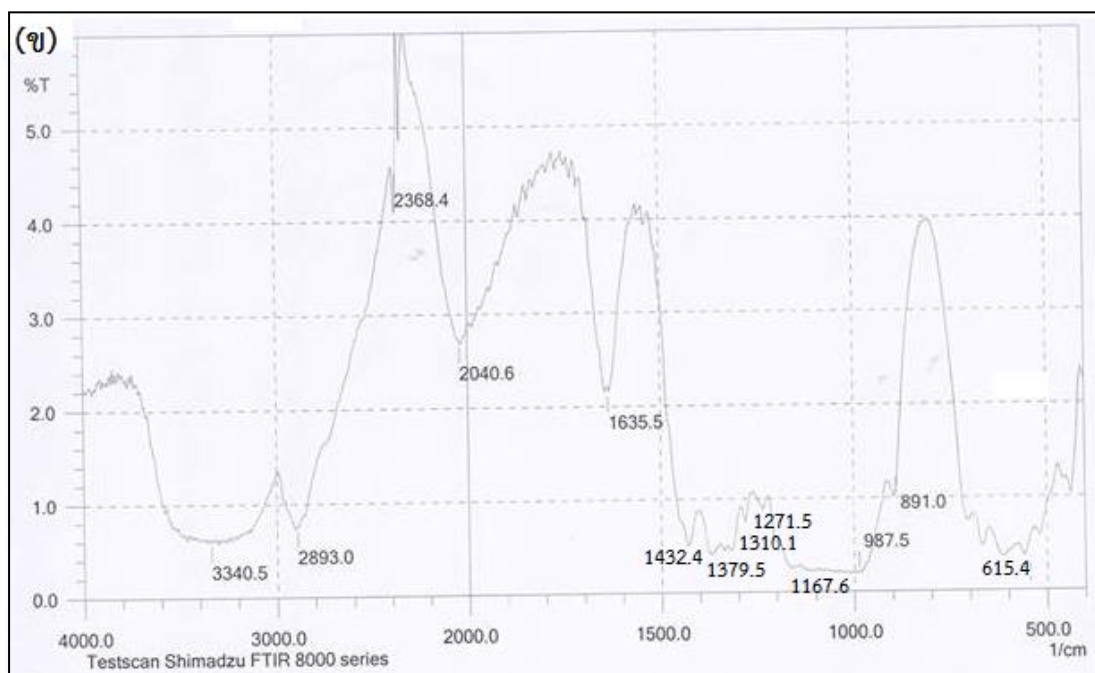
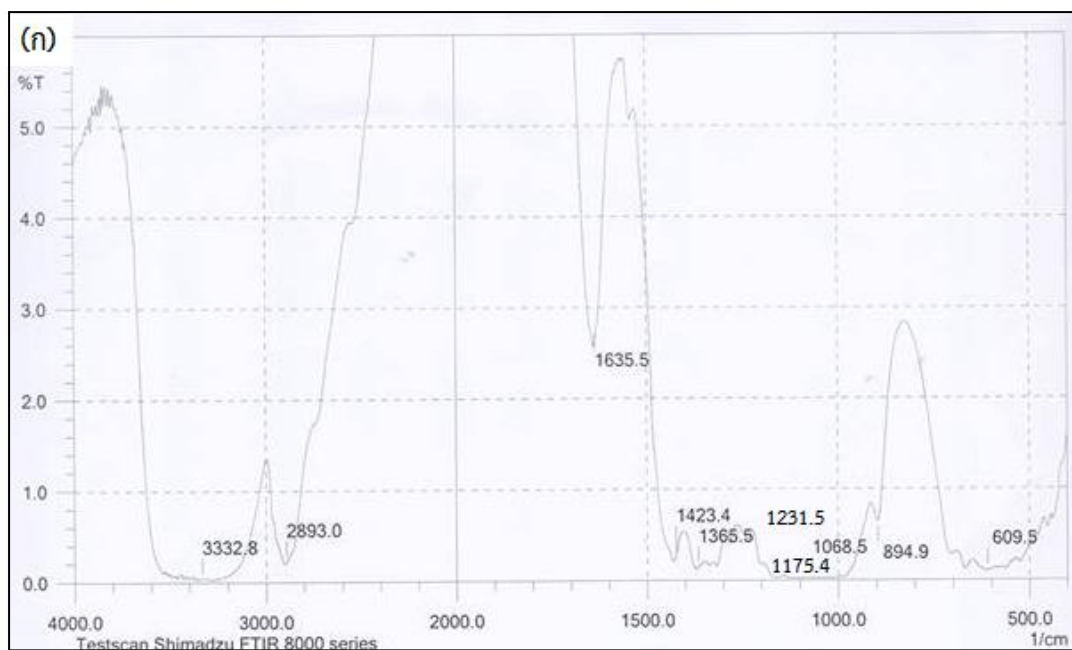


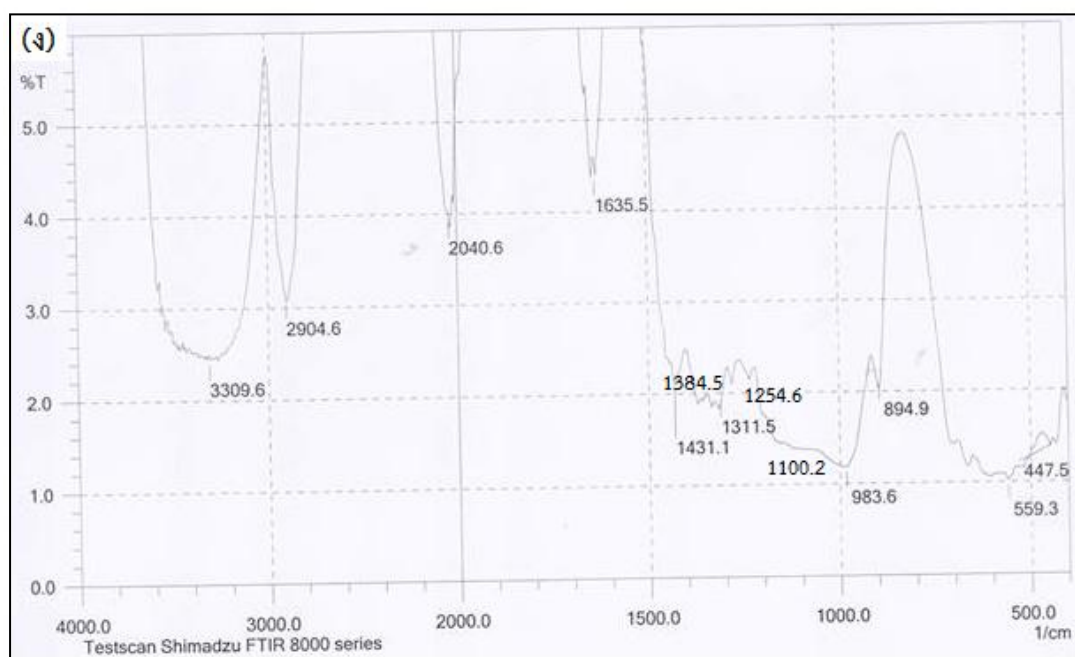
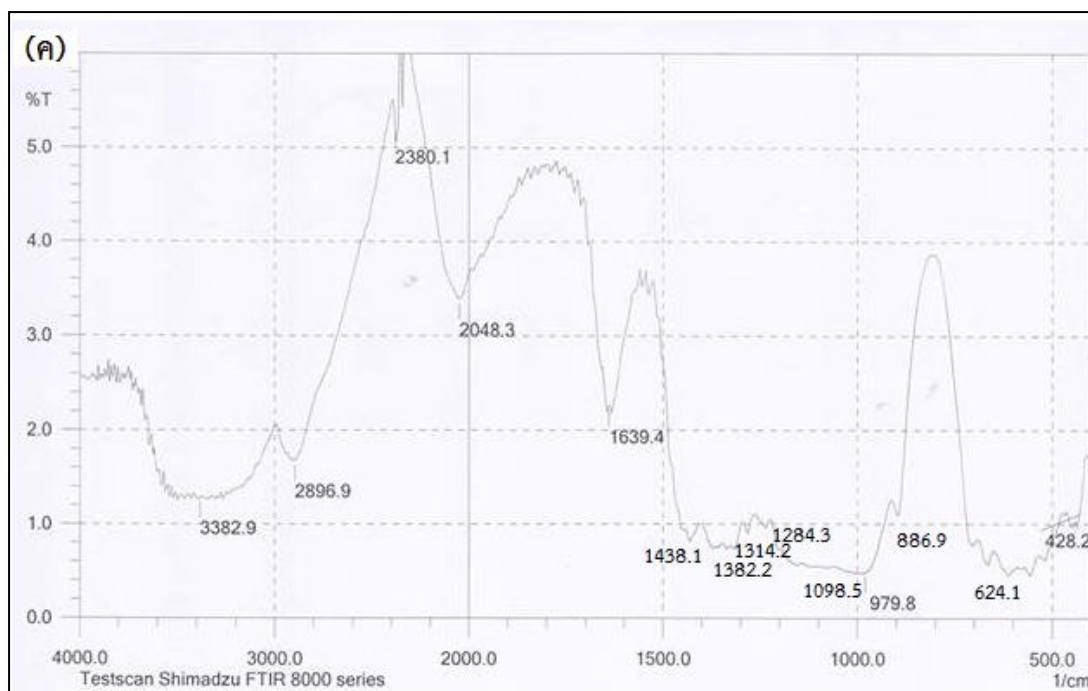
ภาพที่ 4.33 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ที่เตรียมโดยวิธีต่าง ๆ

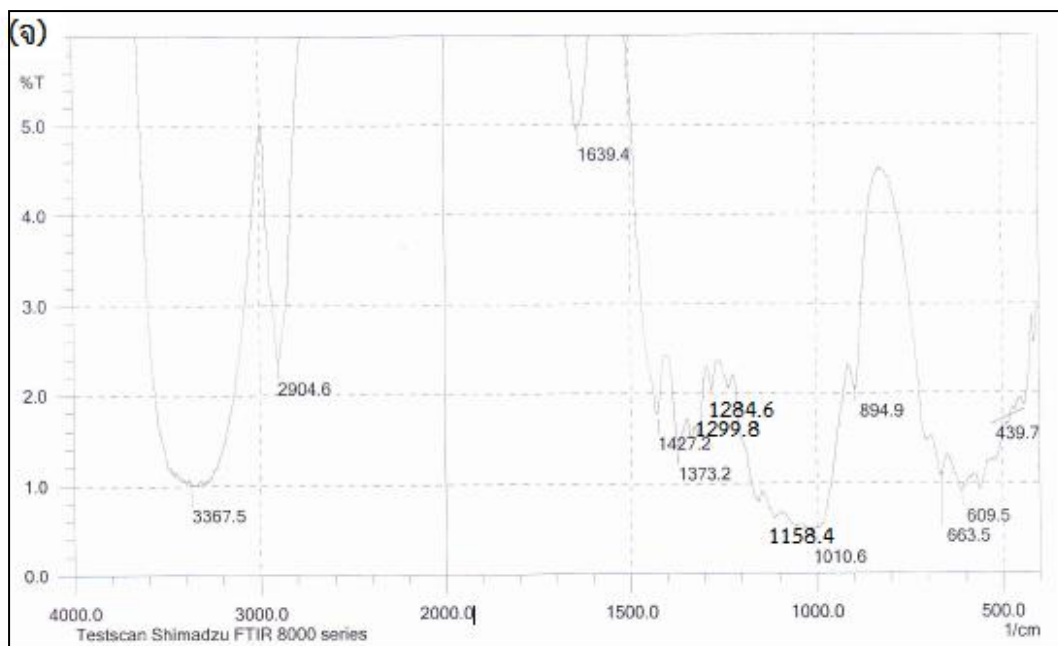
จากภาพที่ 4.33 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ให้ค่าปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2 ให้ค่าปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS, CS-ZnO 1 และ CS-ZnO 3 ตามลำดับ ทั้งนี้ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS, CS-ZnO 1 และ CS-ZnO 3 ให้ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้ายที่ใกล้เคียงกัน

4.3.1.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

เทคนิคที่ใช้ในการพิสูจน์เอกลักษณ์ ได้แก่ ฟลูออโรสแกนฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.34) และสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโกปี (ภาพที่ 4.35) ยืนยันผลการปรับปรุง ดังนี้







ภาพที่ 4.34 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

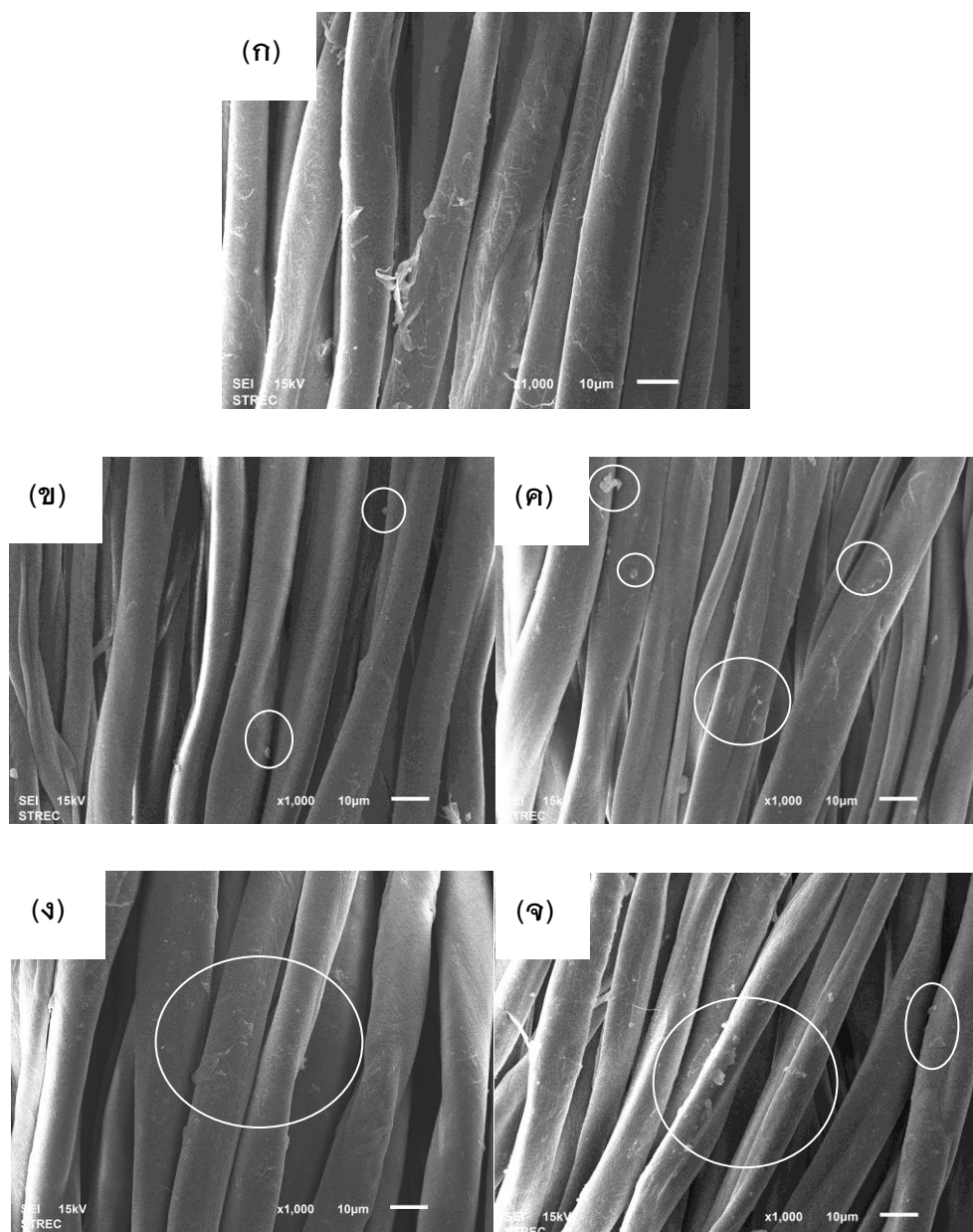
- (ก) ผ้าฝ้ายที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ไคโตซาน (CS)
 (ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 1 (ง) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2
 (จ) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 3

จากภาพที่ 4.34 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ พบว่าฟีกมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งความยาวคลื่น และ ค่า%T ในแต่ละหมู่ฟังก์ชัน เมื่อเทียบกับอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซานและไคโตซาน คอมโพสิต

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง				
	ไม่ ปรับปรุง	CS	CS-ZnO 1	CS-ZnO 2	CS-ZnO 3
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส	3332.8	3340.5	3352.9	3369.6	3367.5
Aromatic- -OH ของแทนนิน					
O-H stretching vibration overlapped to the N-H ของไคโตซาน	-				

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง				
	ไม่ปรับปรุง	CS	CS-ZnO 1	CS-ZnO 2	CS-ZnO 3
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน	2893.0	2893.0	2896.9	2904.6	2904.6
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของไคโตซาน	-				
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของแทนนิน	1635.5	1635.5	1639.4	1635.5	1639.4
-C=O secondary amide stretching vibration ของไคโตซาน	-				
Aromatic -C-C stretching ของแทนนิน	1425.4	1432.4	1438.1	1431.1	1427.2
C-H bending (deformation stretching) ของเซลลูโลส	1365.5	1379.5	1382.2	1384.5	1373.2
OH in-plane bending ของเซลลูโลส	1313.9	1310.1	1314.2	1311.5	1299.8
CH ₃ tertiary amide stretching vibration ของไคโตซาน	-				
CH deformation stretching ของเซลลูโลส	1231.5	1271.5	1284.3	1254.6	1284.6
C-O-H stretching vibration ของไคโตซาน	-				
Asymmetric bridge C-O-C stretching ของเซลลูโลส	1068.5	1167.6	1098.5	1100.2	1158.4
Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน					
asymmetric stretching vibration of C-O-C and symmetric vibration of C-O-C ของไคโตซาน	-				
C-O stretching vibration of the ring COH, COC and CH ₂ OH ของไคโตซาน	-	987.5	979.8	983.6	1010.6
C-O stretching ของเซลลูโลส	894.9	891.0	886.9	894.9	894.9
C-H wagging ของไคโตซาน	-				
Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	609.5	615.4	624.1	559.3	609.5
Zn-O stretching	-	-	428.2	447.5	439.2



ภาพที่ 4.35 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

- (ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง
- (ข) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS
- (ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 1
- (ง) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2
- (จ) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 3

จากภาพที่ 4.35 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน (ภาพที่ 4.35 (ข)) และผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ทั้ง 3 ชนิด (ภาพที่ 4.35 (ค) (ง) และ (จ)) มีพื้นผิวเรียบกว่า

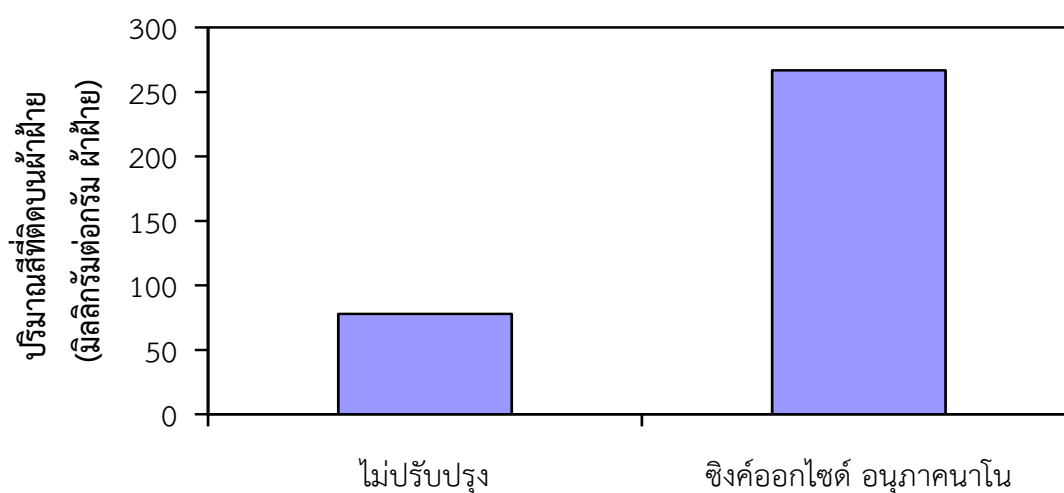
ผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง โดยผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยโคโตซานจะมีพื้นผิวที่เรียบมากกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2, CS-ZnO 1 และ CS-ZnO 3 ตามลำดับ อีกทั้งผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 1 และ CS-ZnO 3 ยังมีสารขนาดเล็กเกาะบนพื้นผิวของผ้าฝ้ายด้วย

4.3.2 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางชีวภาพและทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

4.3.2.1 การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางชีวภาพ

4.3.2.1.1 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางชีวภาพ

ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยด้วย ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ แสดงดังภาพที่ 4.36



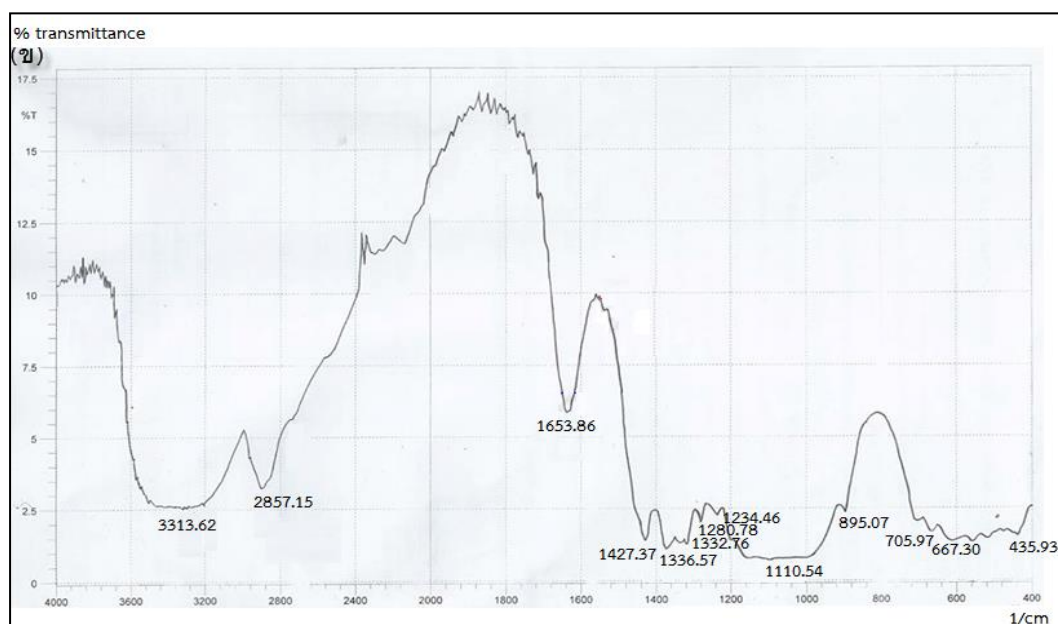
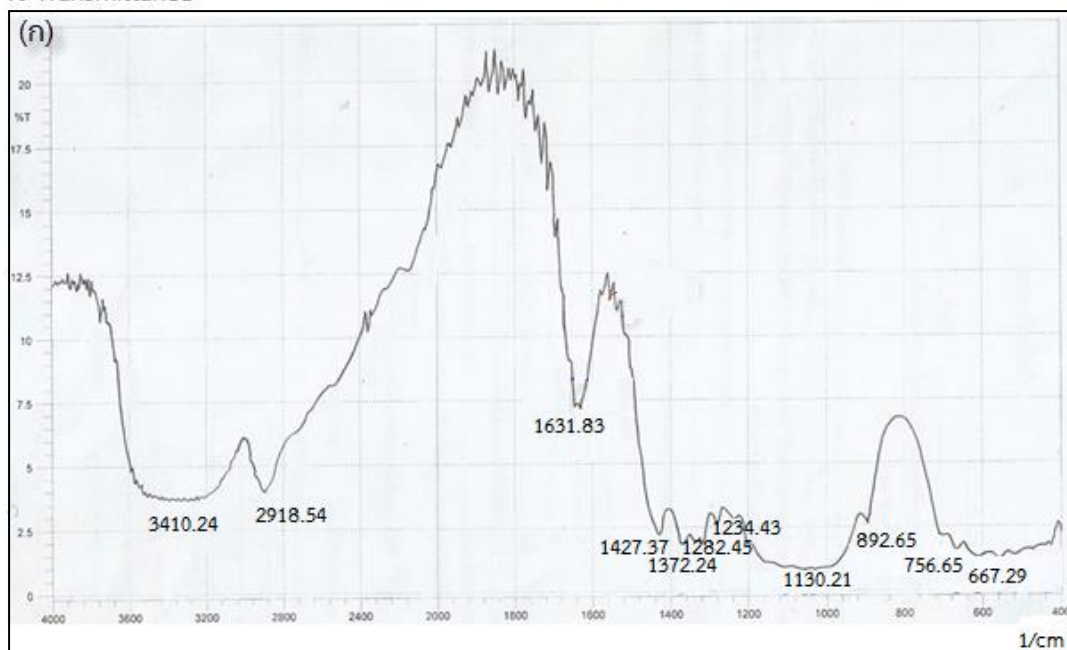
ภาพที่ 4.36 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพเปรียบเทียบกับที่ไม่ปรับปรุง

จากภาพที่ 4.36 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ให้ค่าปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

4.3.2.1.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางชีวภาพ

เทคนิคที่ใช้ ได้แก่ ฟลูออเรสเซนซ์ฟลูออโรสโคปี (ภาพที่ 4.37) และเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี (ภาพที่ 4.38) ยืนยันผลการปรับปรุง ดังนี้

% Transmittance



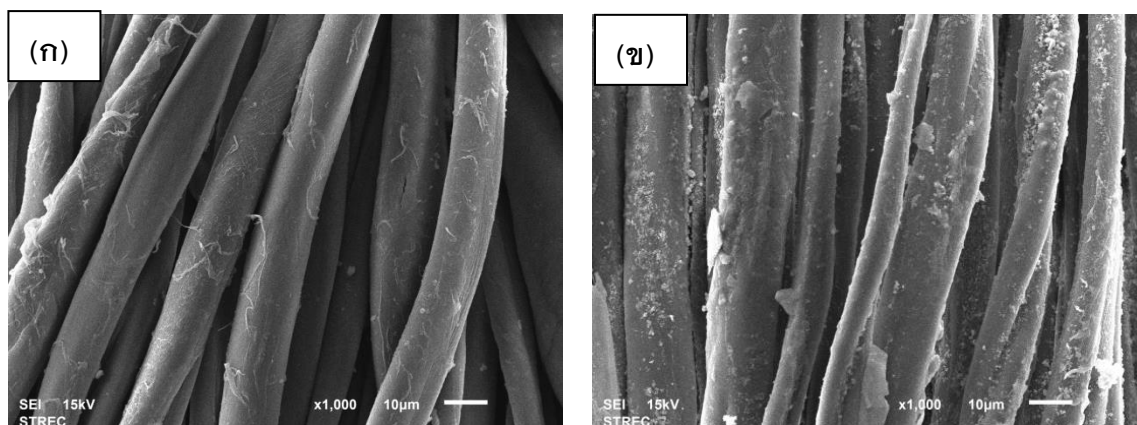
ภาพที่ 4.37 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์
อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ
(ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง
(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.37 พบว่าอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ Zn-O และปรากฏการเปลี่ยนแปลงของความยาวคลื่นที่ให้ค่าร้อยละของการส่องผ่านสูงสุดในหมู่ฟังก์ชันเซลลูโลส (ผ้า

ฝ้าย) และหมู่ฟังก์ชันของแทนนิน (น้ำย้อมสีน้ำตาล) เมื่อเทียบกับอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ รายละเอียดดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง	
	ไม่ปรับปรุง	ZnO อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางชีวภาพ
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -OH stretching vibration ของแทนนิน	3410.24	3313.62
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน	2918.54	2857.15
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของแทนนิน	1631.83	1653.86
Aromatic -C-C stretching ของแทนนิน	1427.37	1427.37
C-H bending (deformation stretching) ของ เซลลูโลส	1372.24	1336.57
OH in-plane bending ของเซลลูโลส	1313.95	1332.76
CH deformation stretching ของเซลลูโลส	1282.45	1280.78
OH in-plane bending ของเซลลูโลส	1234.43	1234.46
Asymmetric bridge C-O-C stretching ของ เซลลูโลส Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	1130.21	1110.54
C-O stretching ของเซลลูโลส	892.65	895.07
C=C stretching in benzene rings ของ แทนนิน	756.24	705.97
Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	667.29	667.30
Zn-O stretching	-	435.93



ภาพที่ 4.38 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่าน และผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

สังเคราะห์ทางชีวภาพ

(ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

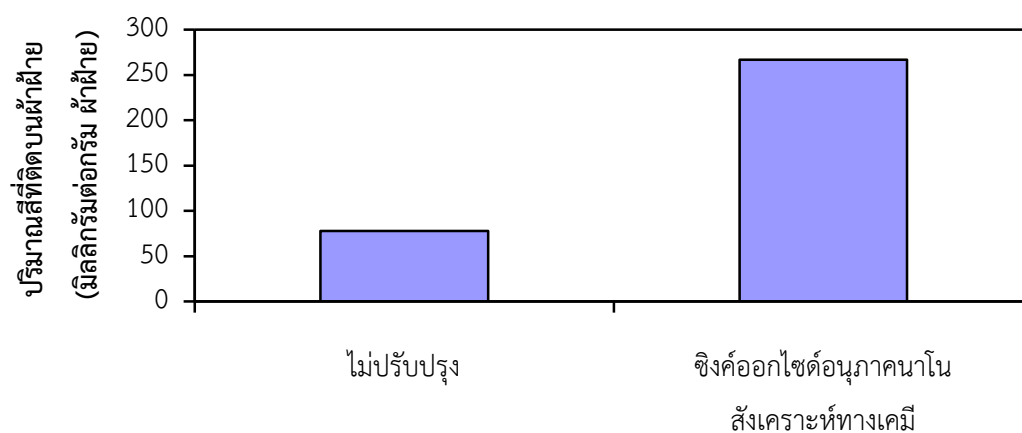
(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.38 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (ข) มีพื้นผิวค่อนข้างขรุขระมีสารขนาดเล็กเกาะติดบนพื้นผิวผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (ก)

4.3.2.2 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

4.3.2.2.1 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงกับที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นไหมมะพร้าวแก่ ดังภาพที่ 4.39



ภาพที่ 4.39 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

จากภาพที่ 4.39 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ทางเคมี ให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง

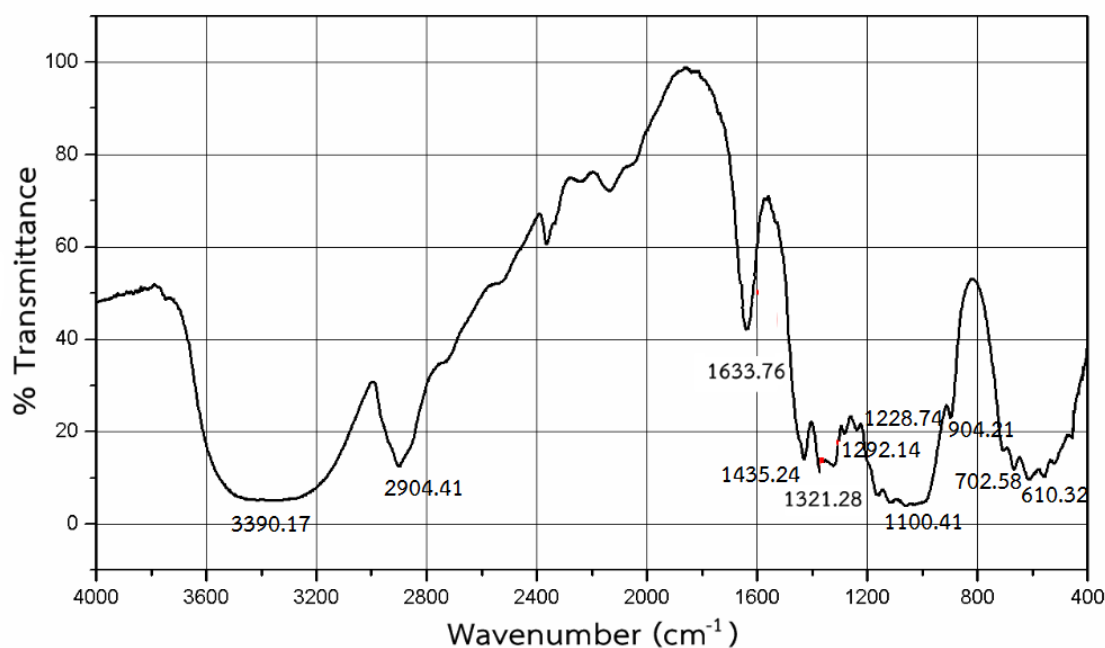
4.3.2.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

เทคนิคที่ใช้ ได้แก่ ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี และเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโกปี ยืนยันผลการปรับปรุง ดังนี้

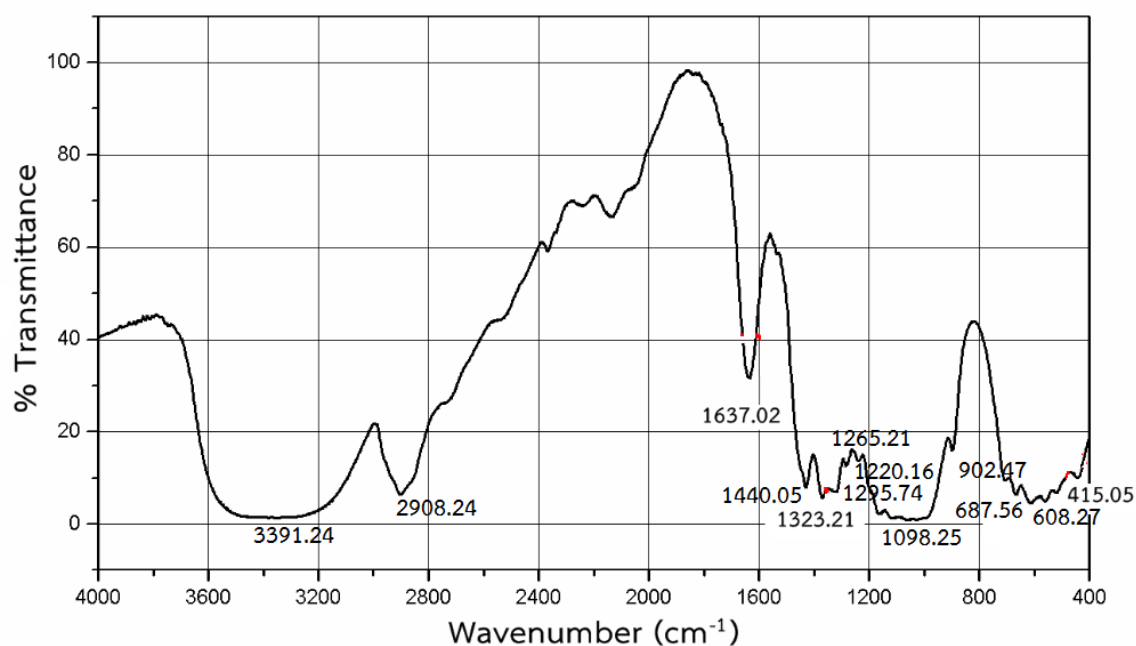
1) เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี

จากการตรวจวิเคราะห์ผ้าฝ้ายก่อนและหลังปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้ผลดังภาพที่ 4.40

(ก)



(ข)



ภาพที่ 4.40 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

(ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

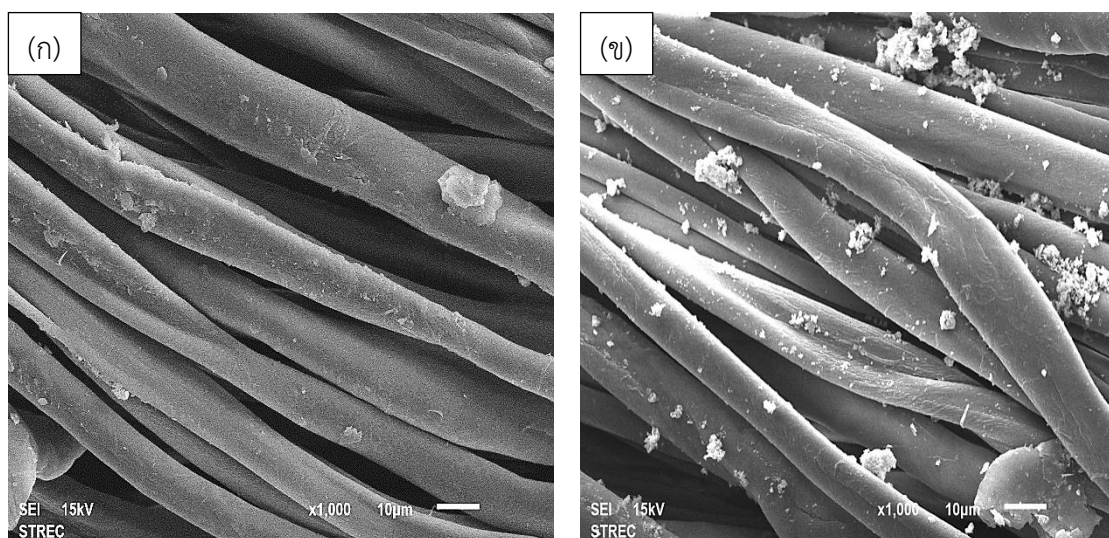
(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

จากภาพที่ 4.40 พบว่าอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ปรากฏหมู่ฟังก์ชันของ Zn-O และปรากฏการเปลี่ยนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ให้ค่าร้อยละของการส่องผ่านในหมู่ฟังก์ชันเซลลูโลส (ผ้าฝ้าย) และหมู่ฟังก์ชันของแทนนิน (น้ำย้อมสีน้ำตาล) เมื่อเทียบกับอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ รายละเอียดดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง	
	ไม่ปรับปรุง	ZnO อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางเคมี
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -OH stretching vibration ของแทนนิน	3390.17	3391.24
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน	2904.41	2908.24
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของแทนนิน	1633.76	1637.02
Aromatic -C-C stretching vibration ของแทนนิน	1435.24	1440.05
C-H bending (deformation stretching) ของเซลลูโลส	1321.28	1323.21
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1313.95	1295.74
CH deformation stretching vibration ของเซลลูโลส	1292.14	1265.21
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1228.74	1220.16
Asymmetric bridge C-O-C stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	1100.41	1098.25
C-O stretching vibration ของเซลลูโลส	904.21	902.47
C=C stretching vibration in benzene rings ของแทนนิน	702.58	687.56
Aromatic -C-O stretching vibration ของแทนนิน	610.32	608.27
Zn-O stretching vibration	-	415.05

จากการตรวจวิเคราะห์ผ้าฝ้ายก่อนและหลังปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี ดังภาพที่ 4.41



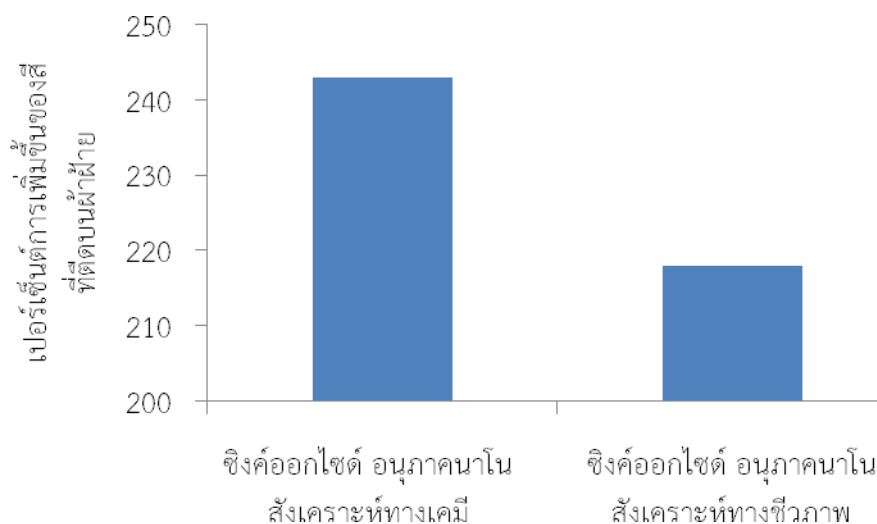
ภาพที่ 4.41 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

(ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

จากภาพที่ 4.41 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี มีสารขนาดเล็กเกาะบนพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายจำนวนมากเมื่อเทียบกับพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

สรุปเปรียบเทียบการผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพและทางเคมี พบว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์จากทั้ง 2 วิธีสามารถปรับปรุงผ้าฝ้าย (ยืนยันผลการปรับปรุงได้จาก FT-IR และ SEM) ให้มีคุณสมบัติในการย้อมติดสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ได้ พิจารณาได้จากปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่เพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 4.42



ภาพที่ 4.42 การเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมี

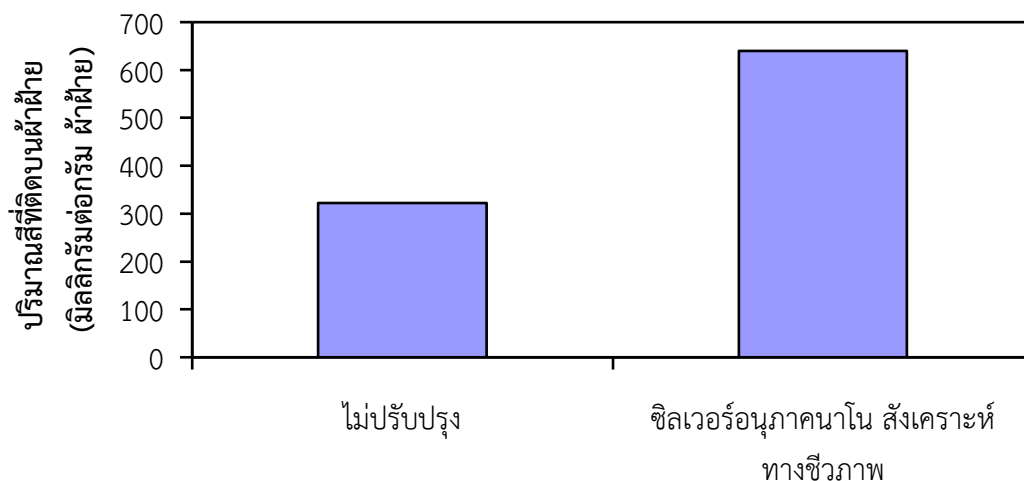
จากภาพที่ 4.42 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี ให้ปริมาณการเพิ่มของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 242.86 และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ให้ปริมาณการเพิ่มของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายคิดเป็นร้อยละ 217.95

4.3.3 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพและทางเคมี

4.3.3.1 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

4.3.3.1.1 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ

ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงกับที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ดังภาพที่ 4.43



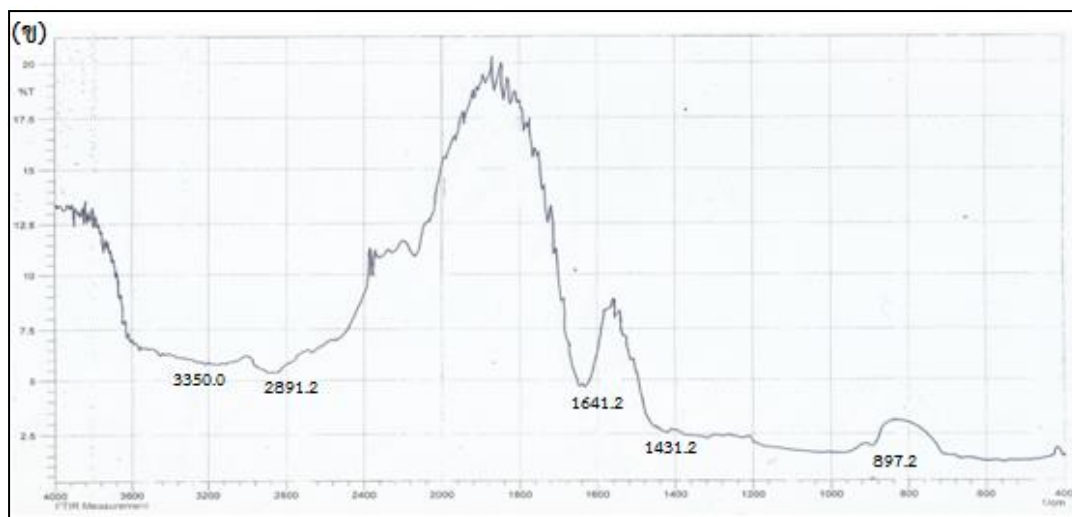
ภาพที่ 4.43 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.43 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง

4.3.3.1.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

เทคนิคที่ใช้ ได้แก่ ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.44) และเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโกปี (ภาพที่ 4.45) ยืนยันผลการปรับปรุง ดังนี้





ภาพที่ 4.44 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์ อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ
 (ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง
 (ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

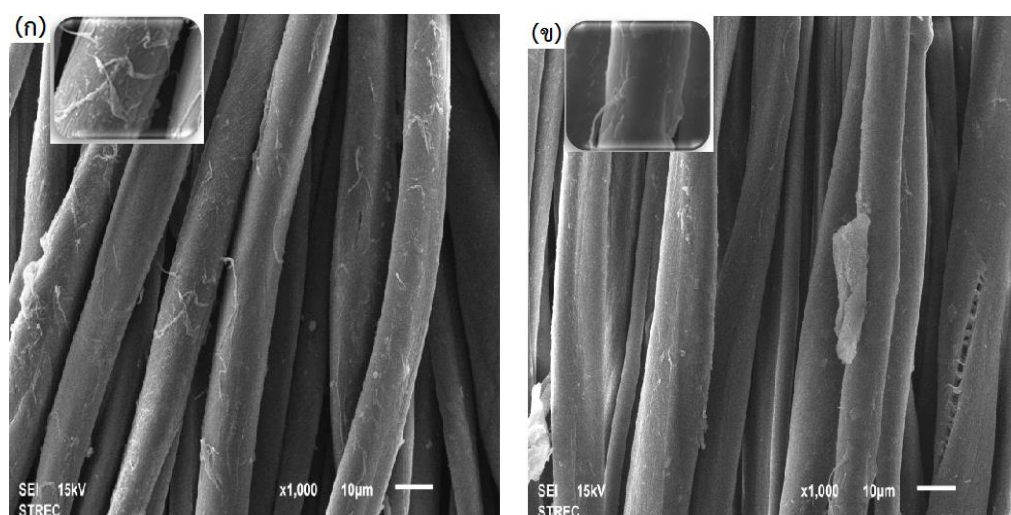
จากภาพที่ 4.44 พบว่าอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ พบว่าปรากฏการเปลี่ยนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ให้ค่าร้อยละของการส่องผ่านในหมู่ฟังก์ชัน C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน และ C-O ของเซลลูโลสเมื่อเทียบกับอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง รายละเอียดดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วย Ag อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง	
	ไม่ปรับปรุง	Ag อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -OH stretching vibration ของแทนนิน	3350.0	3350.0
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน	2901.1	2891.2
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของแทนนิน	1641.2	-
Aromatic -C-C stretching vibration ของแทนนิน	1431.2	1431.2

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง	
	ไม่ปรับปรุง	Ag อนุภาคนาโนสังเคราะห์ ทางชีวภาพ
C-H bending (deformation stretching) ของ เซลลูโลส	1378.5	-
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1314.2	-
CH deformation stretching vibration ของ เซลลูโลส	1291.7	-
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1235.2	-
Asymmetric bridge C-O-C stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	1102.0	-
C-O stretching vibration ของเซลลูโลส	901.2	897.2
C=C stretching vibration in benzene rings ของ แทนนิน	695.8	-
Aromatic -C-O stretching vibration ของแทนนิน	609.5	-

จากการตรวจวิเคราะห์ผ้าฝ้ายก่อนและหลังปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ได้ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ด้วยเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี ดังภาพที่ 4.45



ภาพที่ 4.45 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่าน และที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน
ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า

(ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

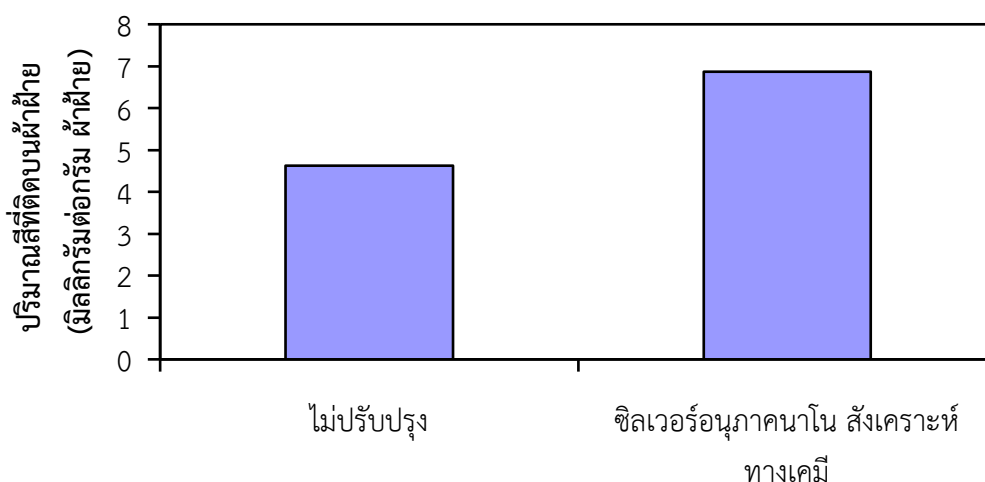
(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.45 พบว่าพื้นผิวเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์นาโน สังเคราะห์ทางชีวภาพ ภาพที่ 4.45 (ข) มีผิวเรียบมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ภาพที่ 4.45 (ก)

4.3.3.2 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

4.3.3.2.1 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงกับที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์ อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี แสดงดังภาพที่ 4.46

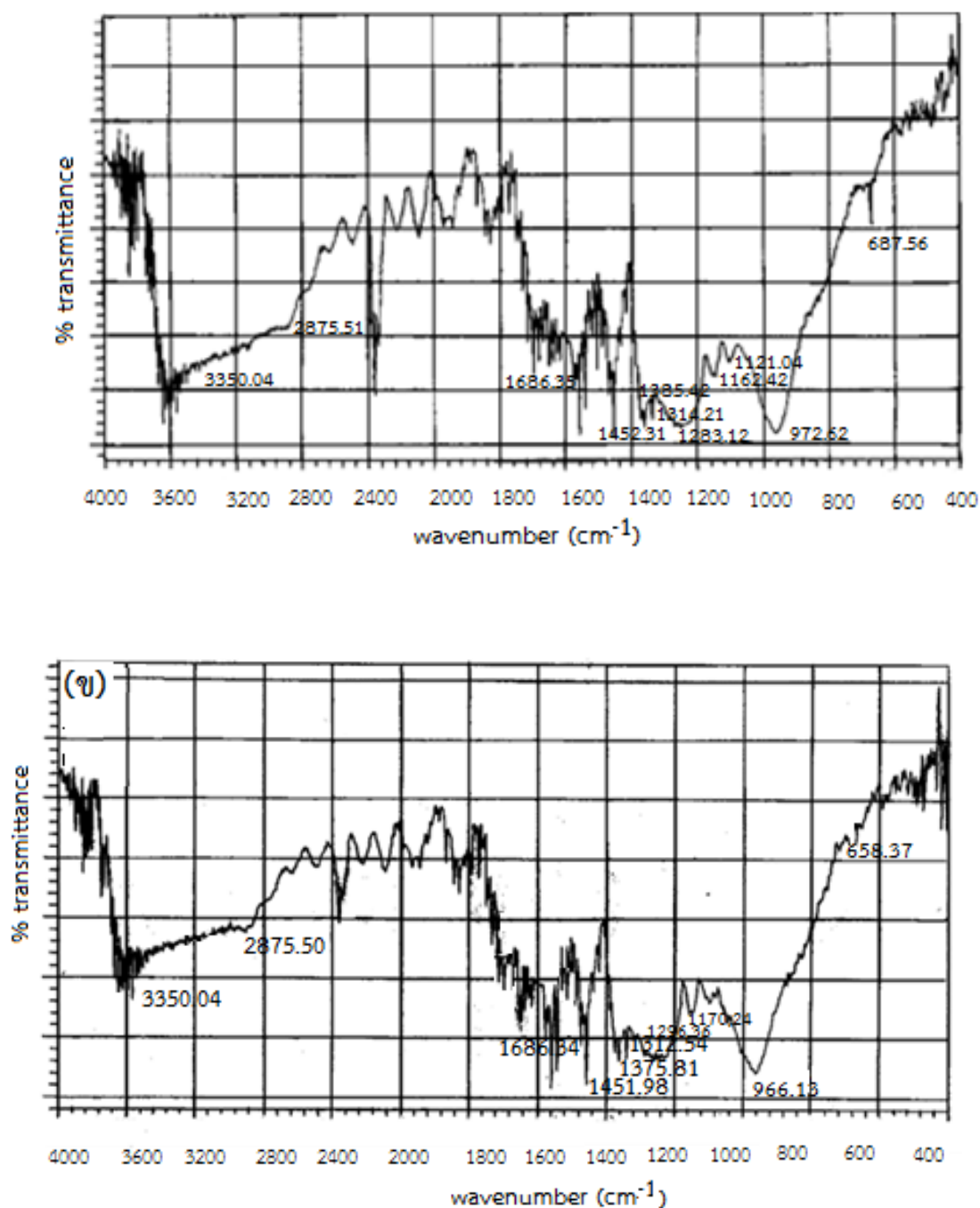


ภาพที่ 4.46 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

จากภาพที่ 4.46 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี ให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง

4.3.3.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมี

เทคนิคที่ใช้ ได้แก่ ฟลูออโรสโคปอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.47) และเทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอน ไมโครสโคปี ยี่ (ภาพที่ 4.48) นยันผลการปรับปรุง ดังนี้

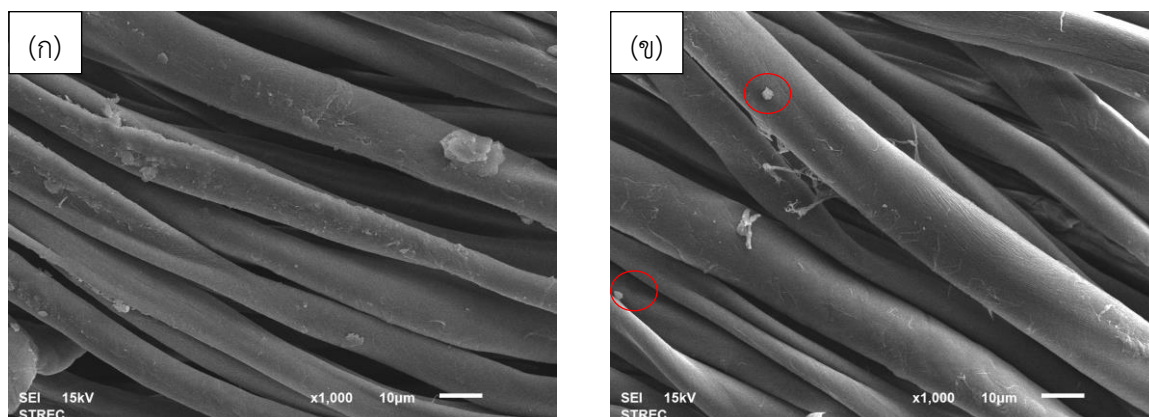


ภาพที่ 4.47 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านและที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์ อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี
 (ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง
 (ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

จากภาพที่ 4.47 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาล (แทนนิน) เปรียบเทียบกับอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง พบว่าการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ดังตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง	
	ไม่ปรับปรุง	Ag อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางเคมี
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -OH stretching vibration ของแทนนิน	3350.04	3350.04
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน	2875.51	2875.50
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของแทนนิน	1686.35	1686.84
Aromatic -C-C stretching vibration ของแทนนิน	1452.31	1451.98
C-H bending (deformation stretching) ของ เซลลูโลส	1385.42	1375.81
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1314.21	1312.54
CH deformation stretching vibration ของ เซลลูโลส	1283.12	1296.36
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1162.42	1170.24
Asymmetric bridge C-O-C stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	1121.04	1102.19
C-O stretching vibration ของเซลลูโลส	972.62	966.13
C=C stretching vibration in benzene rings ของ แทนนิน	687.56	658.47



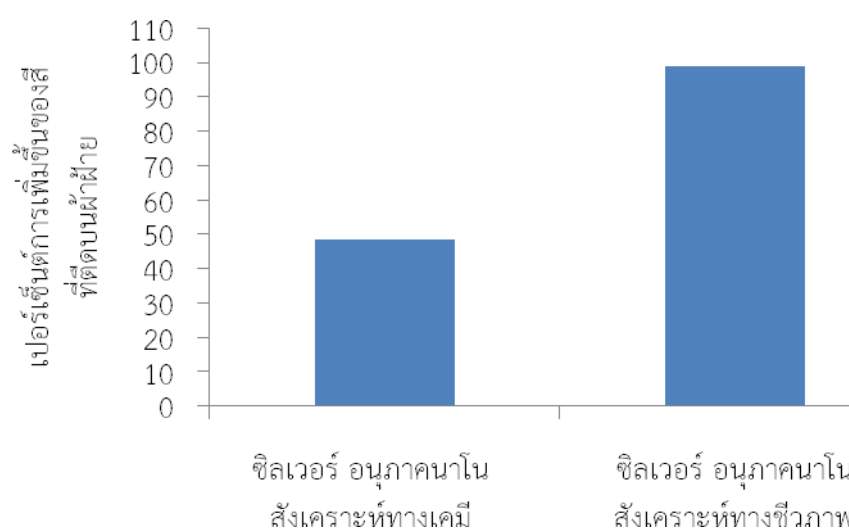
ภาพที่ 4.48 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

(ก) ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

จากภาพที่ 4.48 พบว่าพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี เรียกว่า และมีสารขนาดเล็กเกาะบนพื้นผิวของเส้นใยฝ้าย เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง

สรุปเปรียบเทียบการผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพและทางเคมี พบว่าซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์จากทั้ง 2 วิธีสามารถปรับปรุงผ้าฝ้าย (ยืนยันผลการปรับปรุงได้จาก FT-IR และ SEM) ให้มีคุณสมบัติในการยึดติดสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ได้ พิจารณาได้จากปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่เพิ่มสูงขึ้น ดังภาพที่ 4.49



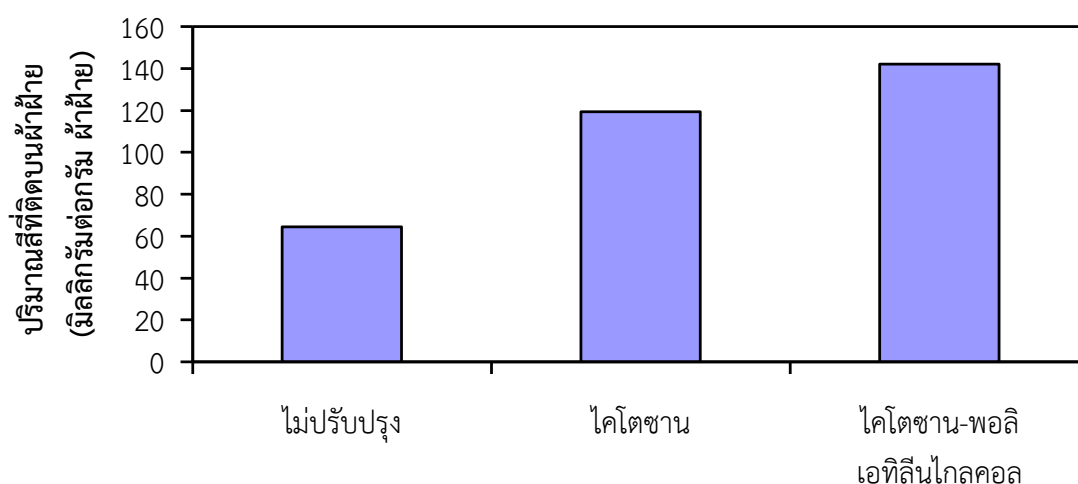
ภาพที่ 4.49 การเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมี

จากภาพที่ 4.49 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ให้ปริมาณการเพิ่มของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 98.94 และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี ให้ปริมาณการเพิ่มของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายคิดเป็นร้อยละ 48.38

4.3.3 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

4.3.3.1 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

4.3.3.1.1 ปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

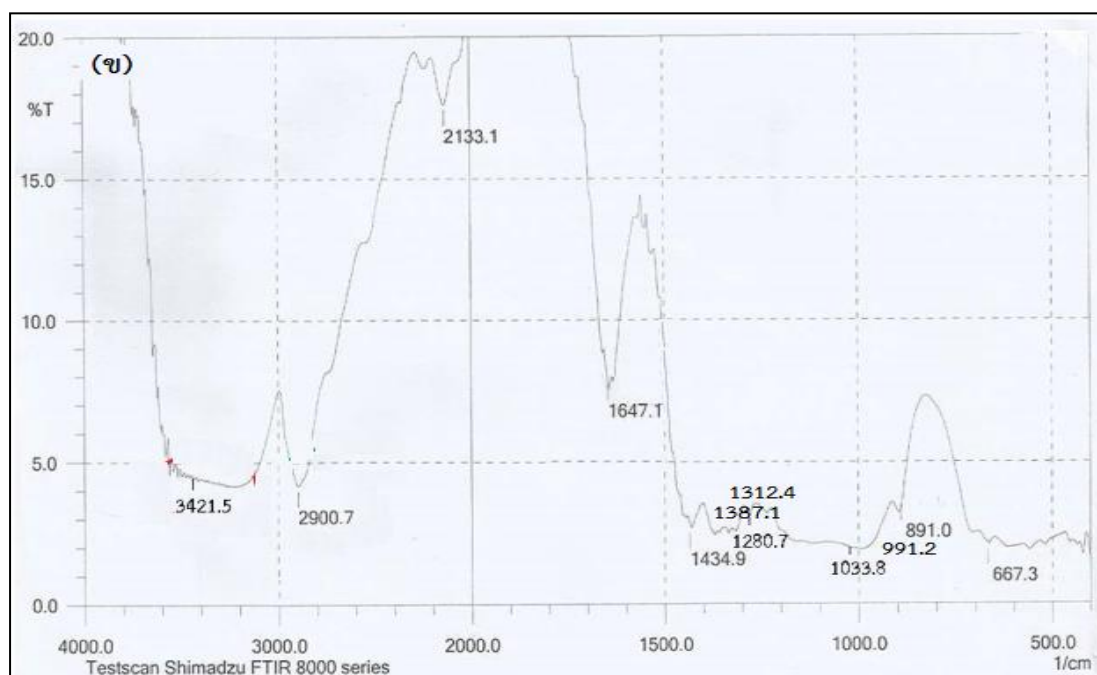
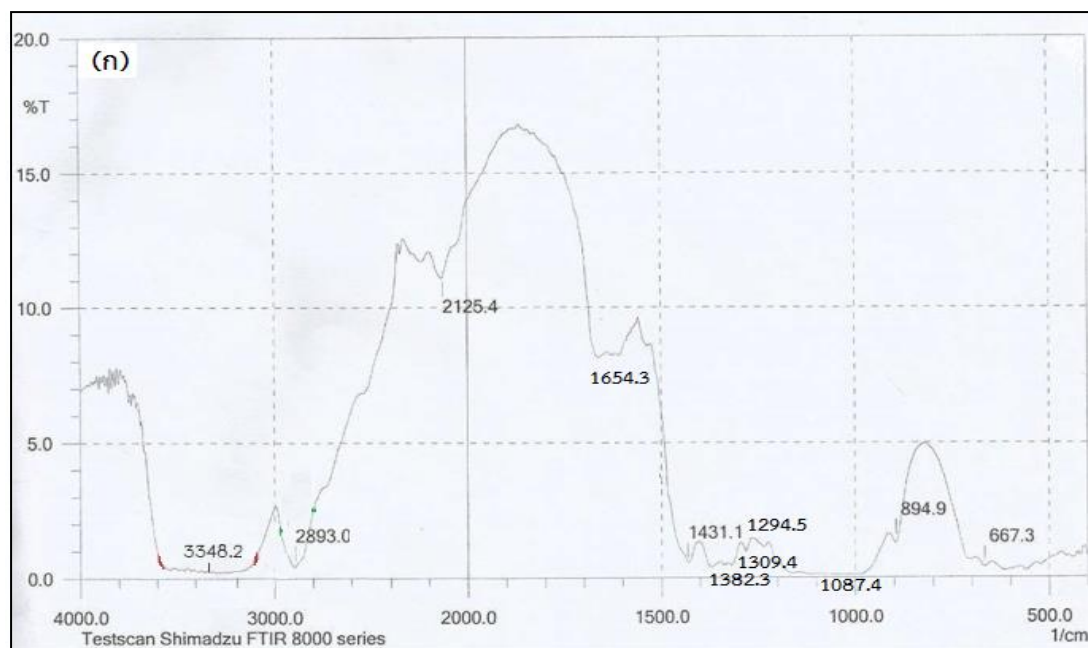


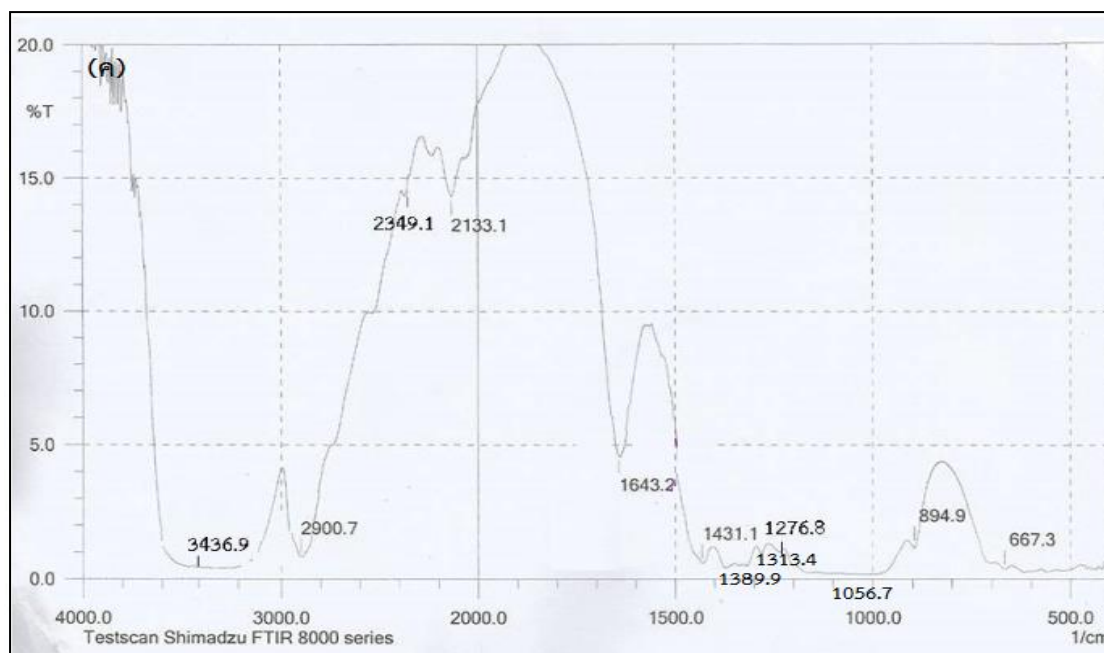
ภาพที่ 4.50 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซานเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล

จากภาพที่ 4.50 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล ให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงตามลำดับ

4.3.3.1.2 พิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล

เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.51) เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (ภาพที่ 4.52-4.53) และ สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี (ภาพที่ 4.54) ดังนี้





ภาพที่ 4.51 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน

และพอลิเอทิลีนไกลคอล

(ก) ผ้าฝ้ายไม่ปรับปรุง

(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS

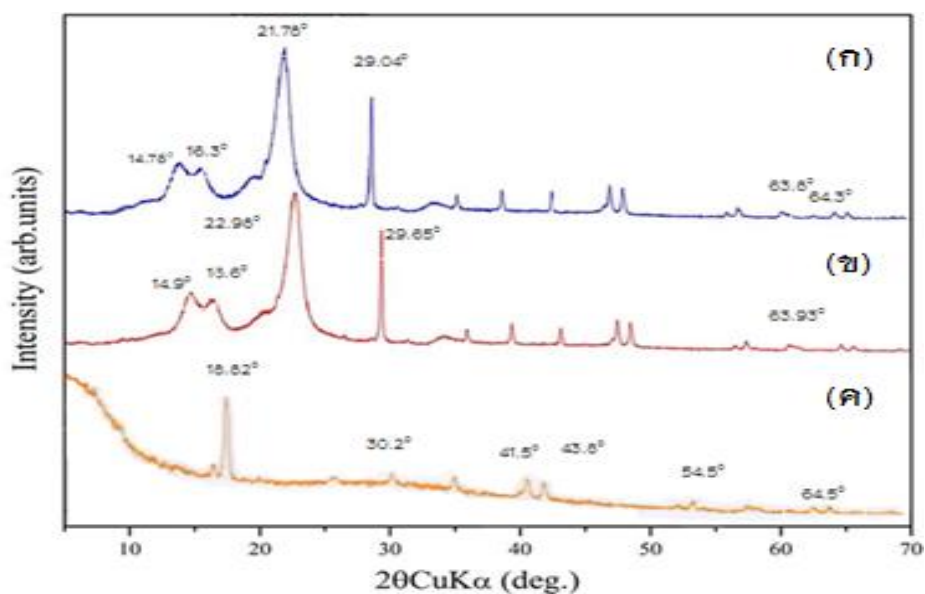
(ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG

ตารางที่ 4.14 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-พอลิเอทิลีนไกลคอล

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง		
	ไม่ปรับปรุง	ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน	ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน- พอลิเอทิลีนไกลคอล
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic- -OH ของแทนนิน	3348.2	3421.5	3436.9
O-H stretching vibration overlapped to the N-H ของไคโตซาน	-		
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน	2893.0	2900.7	2900.7
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของไคโตซาน	-		

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง		
	ไม่ปรับปรุง	ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน	ปรับปรุงด้วย ไคโตซาน- พอลิเอทิลีนไกลคอล
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของ แทนนิน	1654.3	1647.1	1643.2
-C=O secondary amide stretching vibration ของไค โตซาน	-		
Aromatic -C-C stretching ของแทนนิน	1431.1	1434.9	1431.1
C-H bending (deformation stretching) ของเซลลูโลส	1382.3	1387.1	1389.9
OH in-plane bending ของเซลลูโลส	1309.4	1312.4	1313.4
CH ₃ tertiary amide stretching vibrationของไคโตซาน			
CH deformation stretching ของเซลลูโลส	1294.5	1280.7	1276.8
C-O-H stretching vibration ของไคโตซาน	-		
Asymmetric bridge C-O-C stretching ของเซลลูโลส Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	1087.4	1033.8	1056.7
asymmetric stretching vibration of C-O-C and symmetric vibration of C-O-C ของไคโตซาน	-		
C-O stretching vibration of the ring COH, COC and CH ₂ OH ของไคโตซาน	-	991.2	-
C-O stretching ของเซลลูโลส	894.9	891.0	894.9
C-H wagging ของไคโตซาน	-		
Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	667.3	667.3	667.3

จากภาพที่ 4.51 เมื่อเปรียบเทียบอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน เมื่อใช้และไม่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง กับผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง พบว่าเกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ร้อยละการส่องผ่านสูงสุดดังตารางที่ 4.16 นอกจากนั้นยังปรากฏฟีกของ N-H bending ที่ตำแหน่ง 1647.1 cm^{-1} และ 1643.2 cm^{-1} ซึ่งเป็นฟีกของไคโตซาน



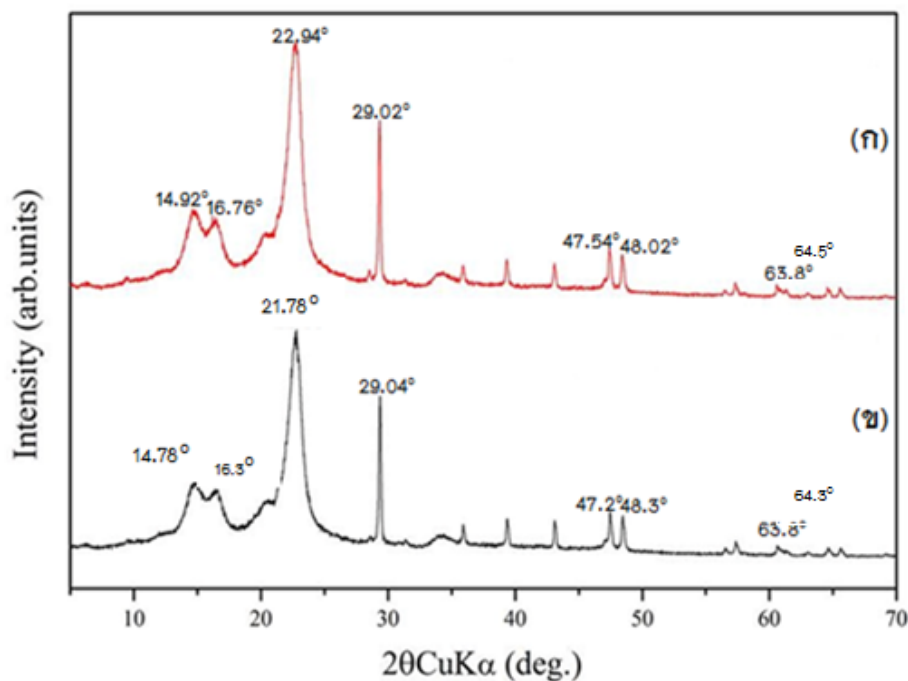
ภาพที่ 4.52 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน

(ก) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS

(ข) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

(ค) สเปกตรัมมาตรฐานของ CS

จากภาพที่ 4.52 สเปกตรัมผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง (ข) พบว่ามีพิกที่เกิดขึ้น คือ 14.9°, 16.6°, 22.98°, 29.65° และ 63.93° ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน (ก) พบว่าเกิดการ Shift ที่ตำแหน่ง 2θ เป็น 14.76°, 16.3°, 21.76°, 29.04° และ 63.8° ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบพิกที่ตำแหน่ง 2θ คือ 64.32° ซึ่งเป็นพิกของไคโตซานด้วย

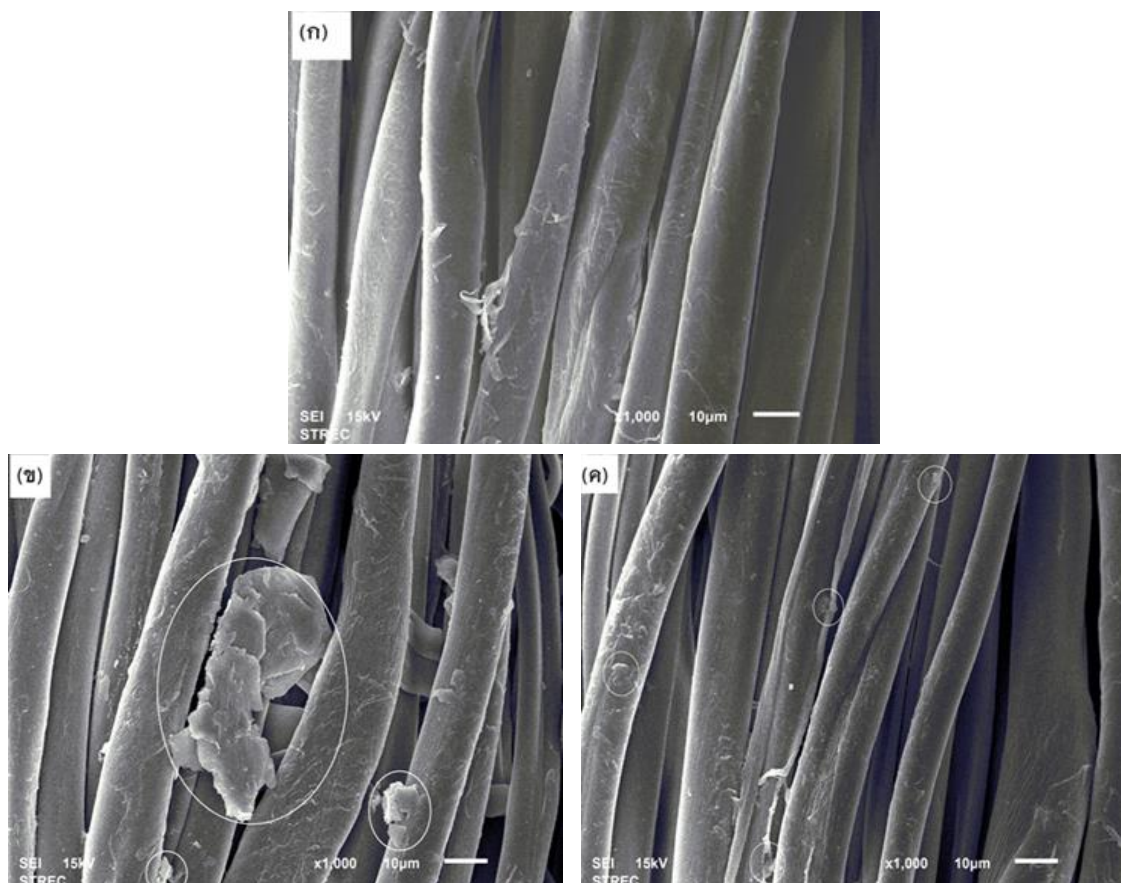


ภาพที่ 4.53 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานที่ไม่ใช้และใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล

(ก) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG

(ข) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS

จากภาพที่ 4.53 สเปกตรัมผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน (ข) พบว่ามีพีคเกิดขึ้นที่ 2θ ตำแหน่ง คือ 14.78° , 16.3° , 21.78° , 29.04° , 47.2° , 48.3° และ 64.3° ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง (ก) พบว่าเกิดการ Shift ที่ตำแหน่ง 2θ เป็น 14.92° , 16.76° , 22.94° , 29.02° , 47.54° , 48.02° และ 64.5° ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Yangshuo Liu, Hyung-II Kim. (2012).



ภาพที่ 4.54 พื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานเมื่อไม่ใช้และใช้

พอลิเอทิลีนไกลคอล กำลังขยาย 1,000 เท่า

(ก) ผ้าฝ้ายที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง

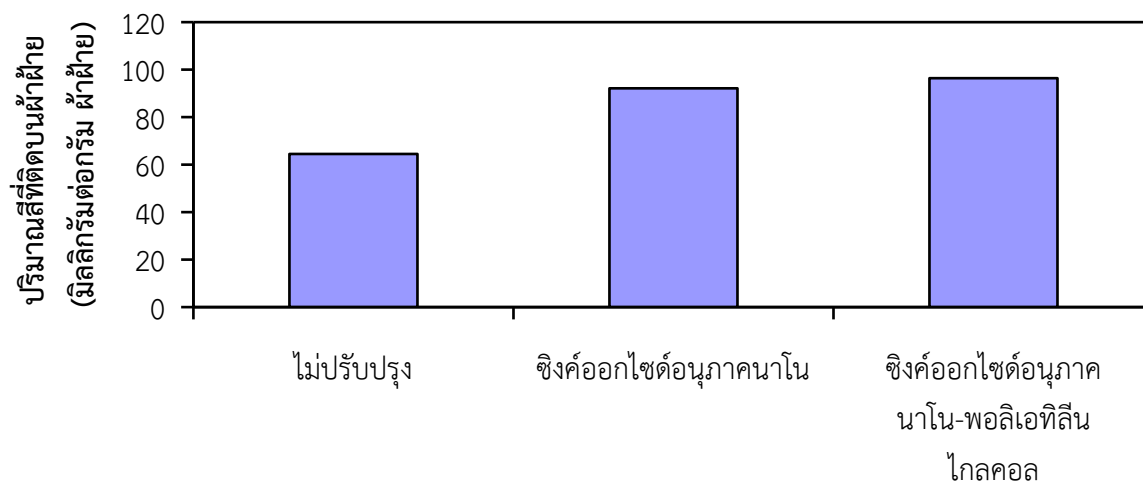
(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS

(ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG

จากภาพที่ 4.54 พบว่าพื้นผิวของเส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไม่เรียบมีลักษณะเป็นคลื่น มีสารขนาดค่อนข้างใหญ่เกาะติดของสารบนพื้นผิวของเส้นใยชัดเจน ในขณะที่เส้นใยฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล มีพื้นผิวที่เรียบกว่า มีสารขนาดเล็กเกาะติดบนพื้นผิวของเส้นใยเล็กน้อย เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ทั้งนี้เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอล ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคของเส้นใยฝ้ายกับ ไคโตซานมากขึ้นส่งผลให้สังเกตเห็นสภาพพื้นผิวของเส้นใยเรียบขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัยของ C.Colleoni, M.R. Massafra, G. Rosace. (2012)

4.3.3.2 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์
อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

4.3.3.2.1 ปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน เมื่อใช้
พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

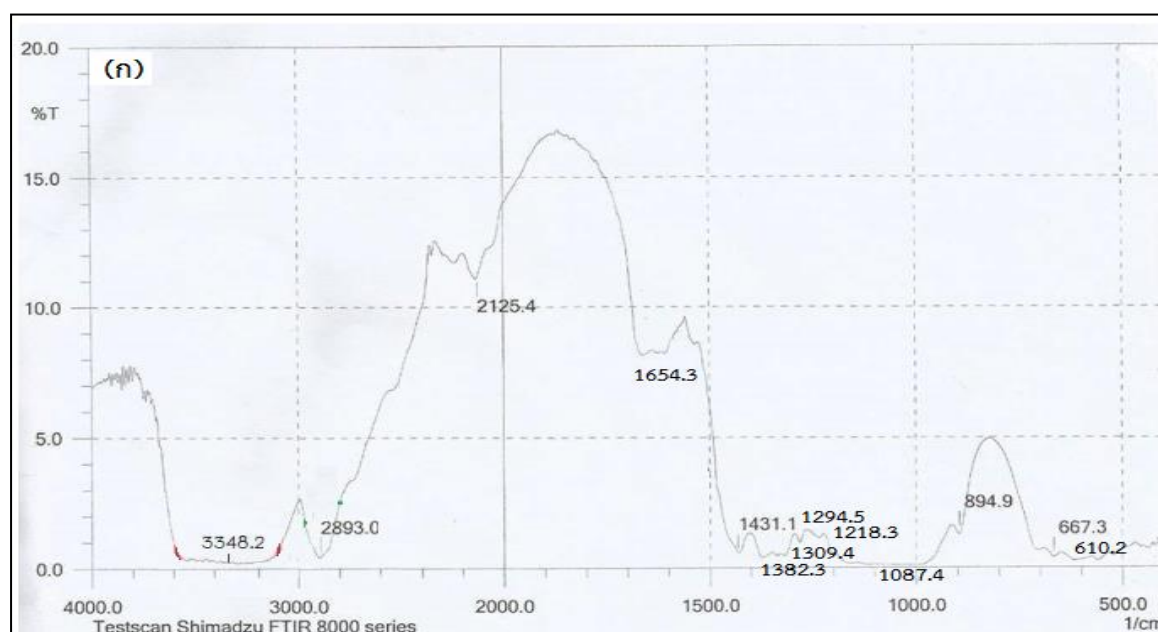


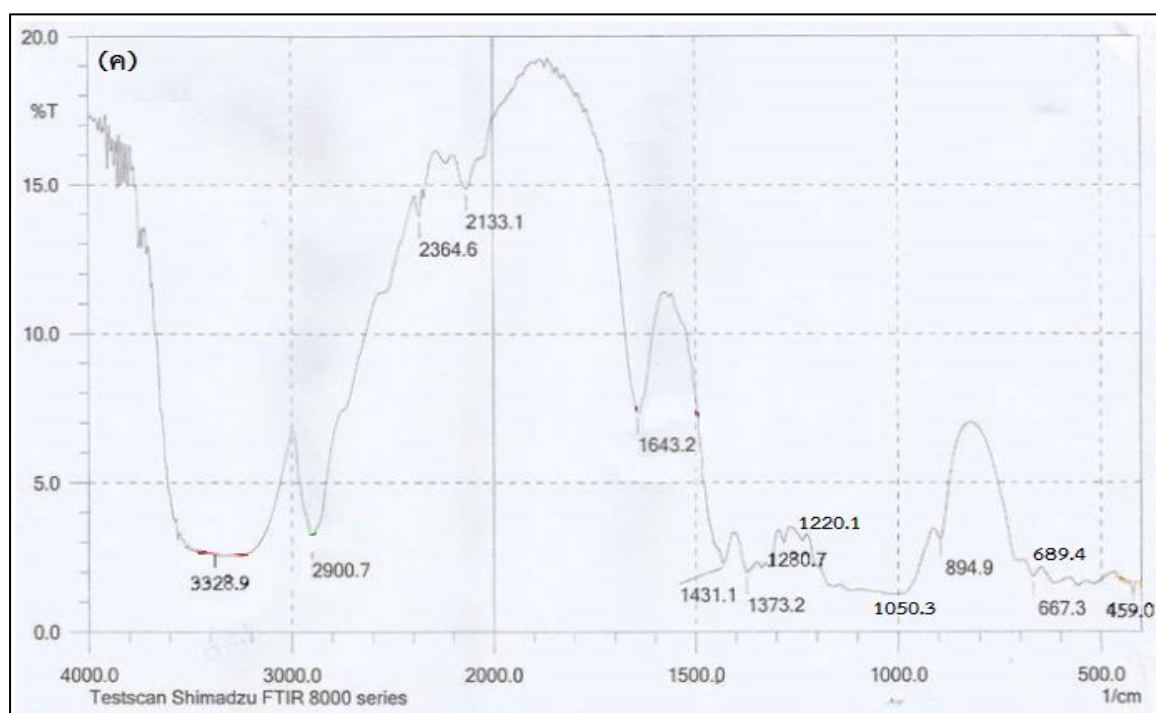
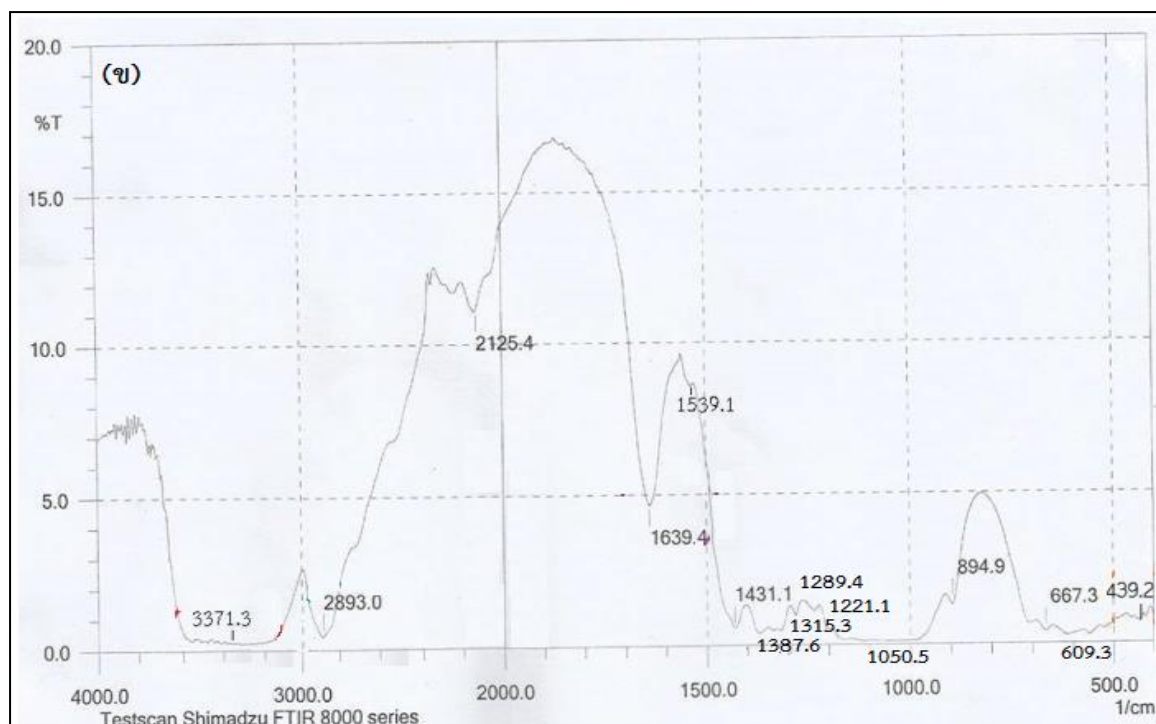
ภาพที่ 4.55 ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล

จากภาพที่ 4.55 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล ให้ปริมาณสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง ตามลำดับ

4.3.3.2.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล

เทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.56) เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (ภาพที่ 4.57-4.58) และ สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี (ภาพที่ 4.59) ดังนี้





ภาพที่ 4.56 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ ออกไซด์ อนุภาคนาโน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล

(ก) ผ้าฝ้ายที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง

(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs

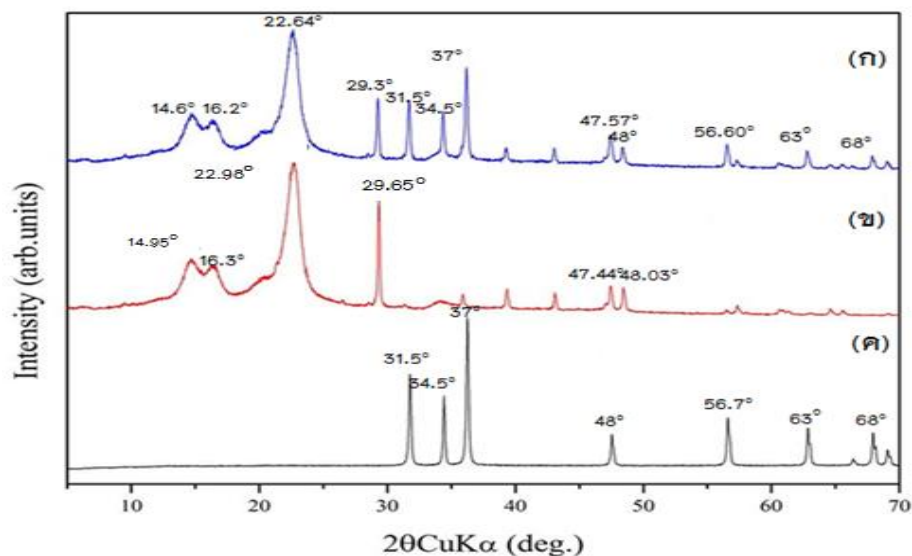
(ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs-PEG

ตารางที่ 4.15 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนไกลคอล

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นในที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง		
	ไม่ ปรับปรุง	ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโน ยี่ห้อ Aldrich	ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโน-พอลิ เอทิลีนไกลคอล
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -OH stretching vibration ของแทนนิน	3348.2	3371.3	3328.9
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน	2893.0	2893.0	2900.7
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของแทนนิน	1654.3	1639.4	1643.2
Aromatic -C-C stretching vibration ของแทนนิน	1431.1	1431.1	1431.1
C-H bending (deformation stretching) ของเซลลูโลส	1382.3	1387.6	1373.2
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1309.4	1315.3	-
CH deformation stretching vibration ของเซลลูโลส	1294.5	1289.4	1280.7
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1218.3	1221.1	1220.1
Asymmetric bridge C-O-C stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	1087.4	1050.5	1050.3
C-O stretching vibration ของเซลลูโลส	894.9	894.9	894.9
C=C stretching vibration in benzene rings ของแทนนิน	667.3	667.3	689.4
Aromatic -C-O stretching vibration ของแทนนิน	610.2	609.3	667.3
Zn-O stretching vibration	-	439.2	469.0

จากภาพที่ 4.56 เมื่อเปรียบเทียบอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์นาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง กับอินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง พบว่าเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของความยาวคลื่นที่ร้อยละการส่องผ่านสูงสุดดังตารางที่ 4.17

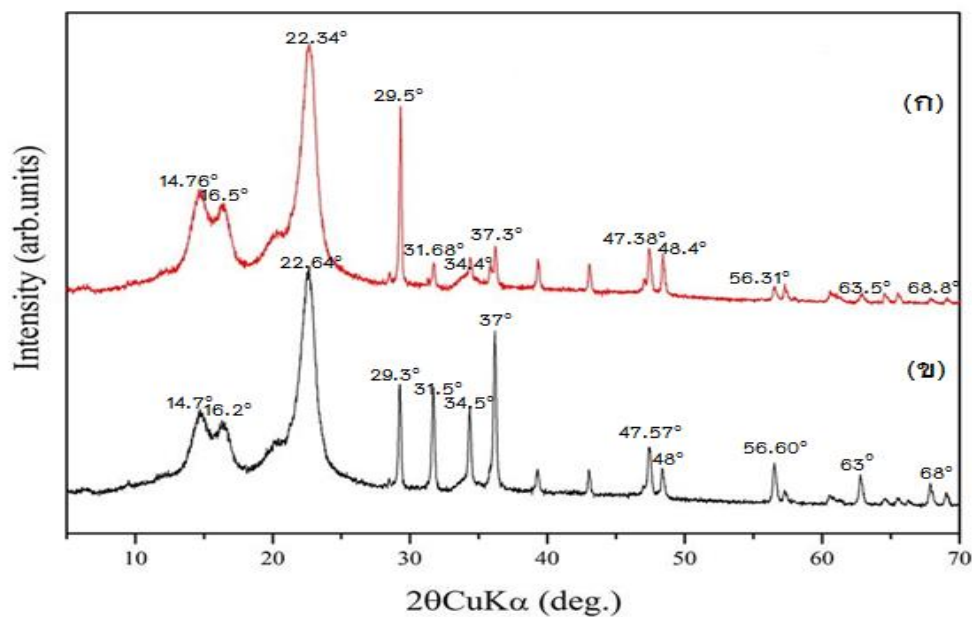
นอกจากนั้นยังปรากฏพีคของ Zn-O Stretching ที่ตำแหน่ง 439.2 cm^{-1} และ 459.0 cm^{-1} ซึ่งเป็นพีคของ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สอดคล้องกับงานวิจัยของ K. Ghule, A.V. Ghule, Bo-JJung Chen และ Yong-Chien Ling : 2006



ภาพที่ 4.57 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs

- (ก) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs
- (ข) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง
- (ค) สเปกตรัมมาตรฐานของ ZnO NPs

จากภาพที่ 4.57 สเปกตรัมผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง พบว่ามีพีคเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ คือ 14.95° , 16.30° , 22.98° , 29.65° , 47.44° และ 48.03° เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์นาโนเกิดการ Shift ของพีคที่ตำแหน่ง 2θ เป็น 14.60° , 16.20° , 22.64° , 29.30° , 47.57° และ 48.00° ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบพีค ที่ตำแหน่ง 2θ คือ 31.50° , 34.50° , 37.00° , 63.00° และ 68.00° ตามลำดับ ซึ่งเป็นพีคของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

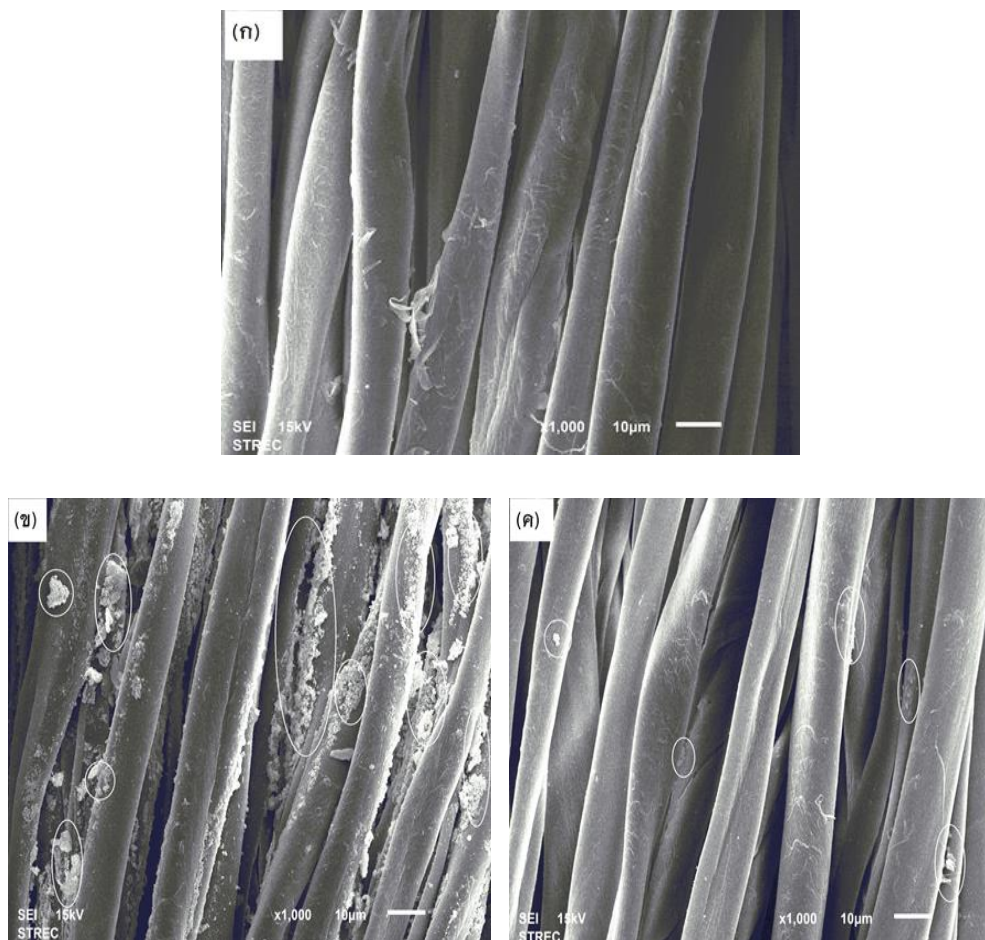


ภาพที่ 4.58 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs-PEG และ ZnO NPs

(ก) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs-PEG

(ข) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs

จากภาพที่ 4.58 สเปกตรัมผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน พบว่ามีพีคเกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 2θ คือ 14.7° 16.2° 22.64° 29.3° 31.5° 34.5° 37° 47.57° 48° 56.60° และ 63° 68° ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าเกิดการ Shift เป็น 14.76° 16.5° 22.34° 29.5° 31.68° 34.2° 37.3° 47.38° 48.4° 56.31° 63.5° และ 68.8° ตามลำดับ Yangshuo Liu, Hyung-II Kim. (2012).



ภาพที่ 4.59 พื้นผิวของผ้าฝ้ายไม่ผ่าน และผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs และZnO NPs-PEG

(ก) ผ้าฝ้ายที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง

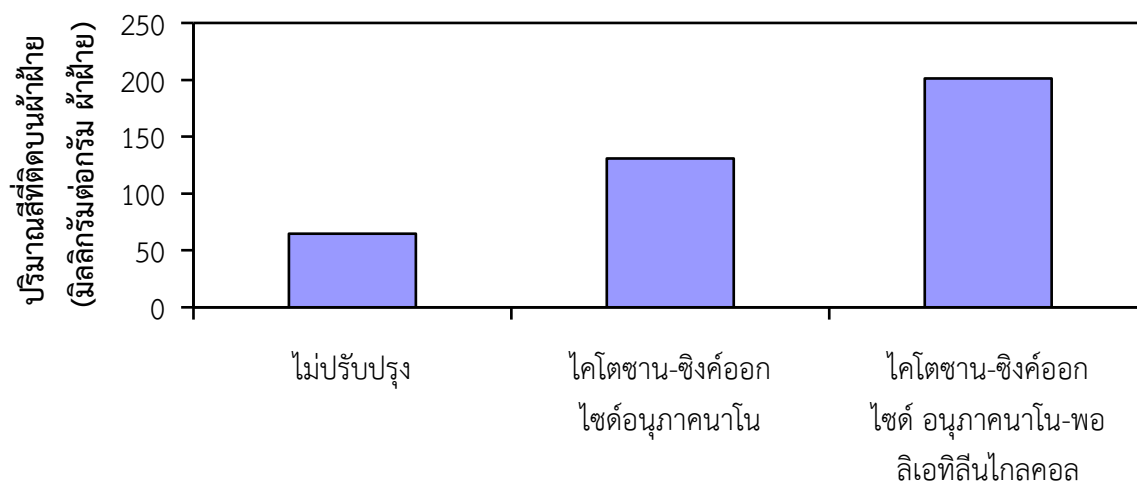
(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO nano

(ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO nano-PEG

จากภาพที่ 4.59 พบว่าเส้นใยผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงมีผิวขรุขระ และปรากฏการเกาะติดของสารบนพื้นผิวของเส้นใยชัดเจน ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าพื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้ายมีผิวขรุขระน้อยลง และไม่ปรากฏการเกาะติดของสารบนพื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้าย เนื่องจากพอลิเอทิลีนไกลคอล ทำให้เกิดการเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคของเส้นใยผ้าฝ้ายกับ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน มากขึ้นส่งผลให้สังเกตเห็นสภาพพื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้ายเรียบขึ้น C.Colleoni, M.R. Massafra, G. Rosace. (2012).

4.3.3.4 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานร่วมกับ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

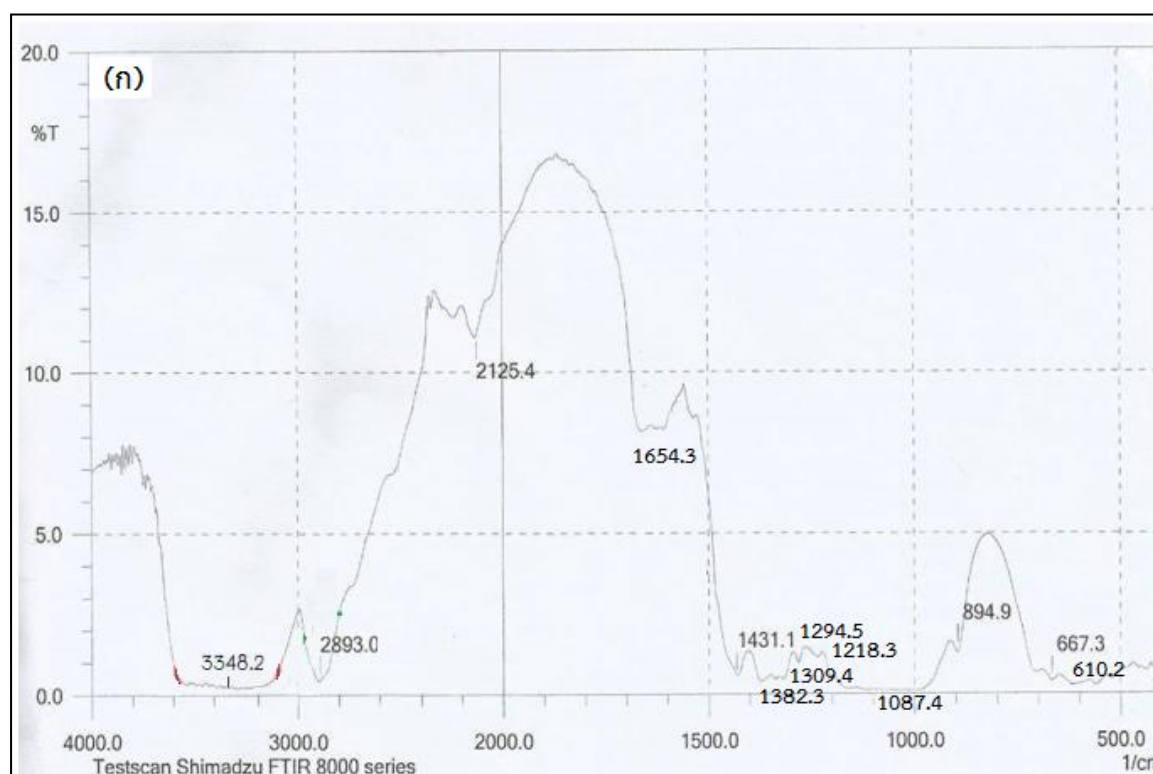
4.3.3.4.1 ปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานร่วมกับ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

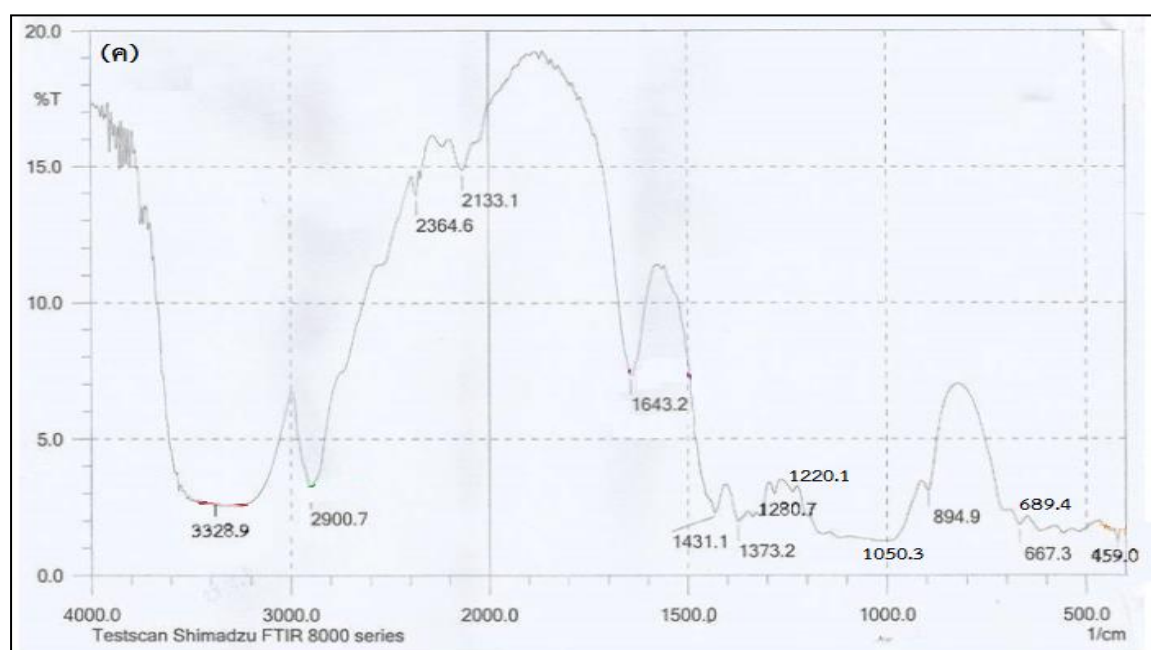
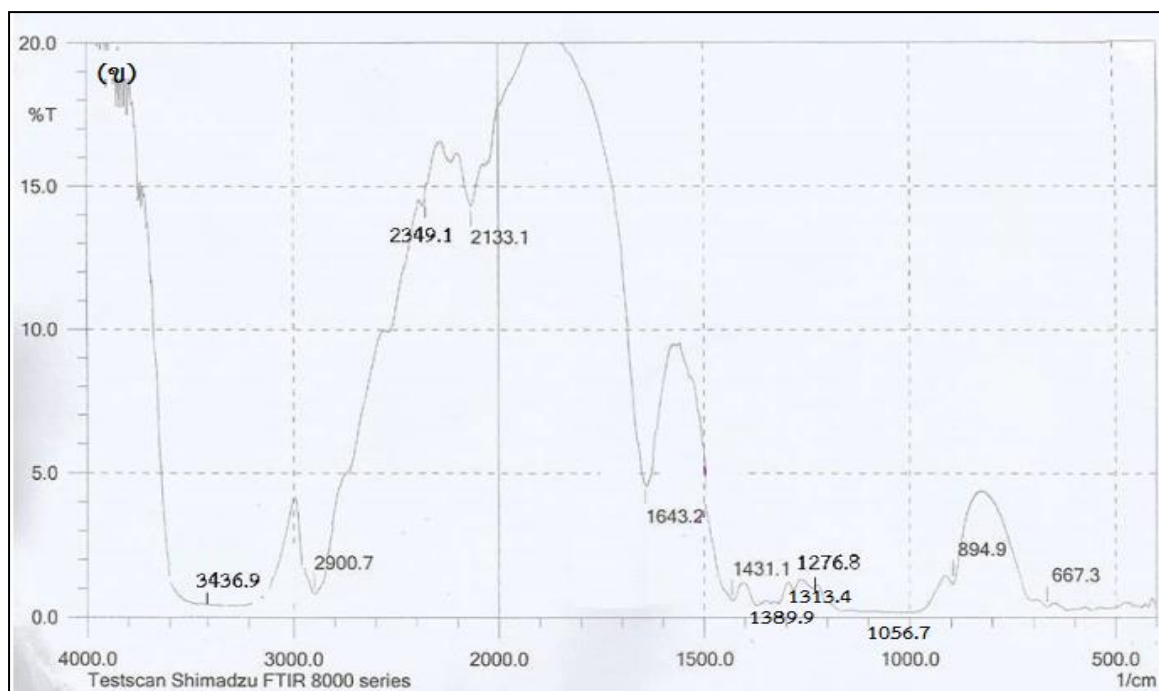


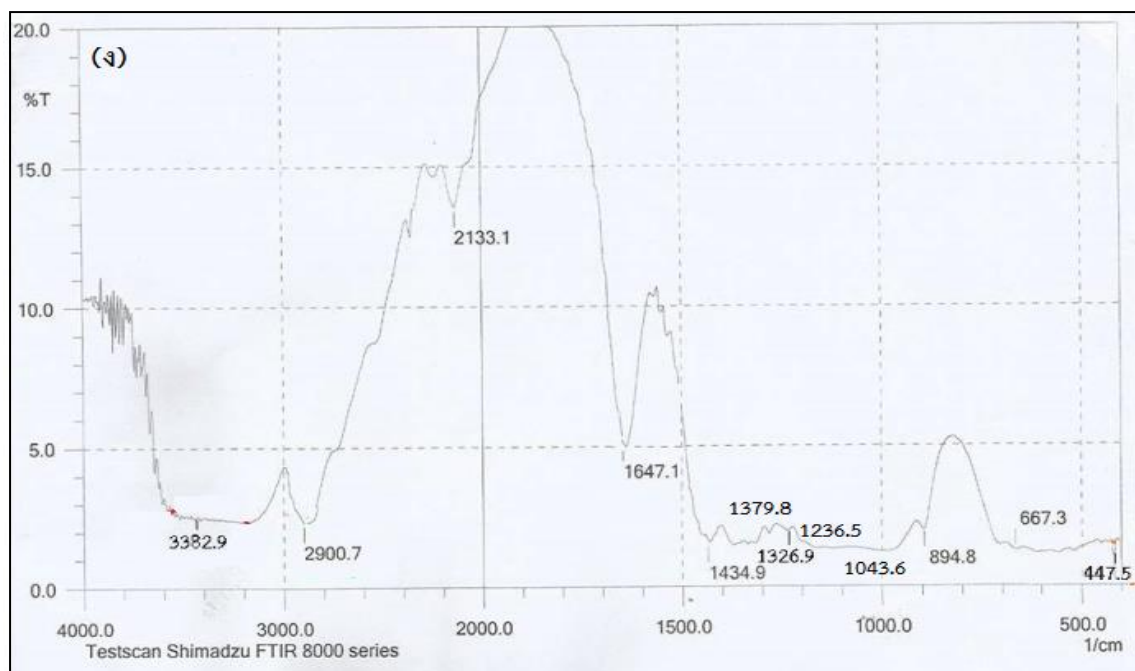
ภาพที่ 4.60 ปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO NPs, และ CS-ZnO NPs-PEG

4.3.3.4.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

เทคนิคฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด สเปกโทรสโกปี (ภาพที่ 4.61) เอ็กซเรย์ดิฟแฟรกชัน (ภาพที่ 4.62) และ สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี (ภาพที่ 4.63) ดังนี้







ภาพที่ 4.61 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วย CS-PEG, ZnO NPs-PEG และ CS-ZnO NPs-PEG

(ก) ผ้าฝ้ายไม่ปรับปรุง

(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG

(ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs-PEG

(ง) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO NPs-PEG

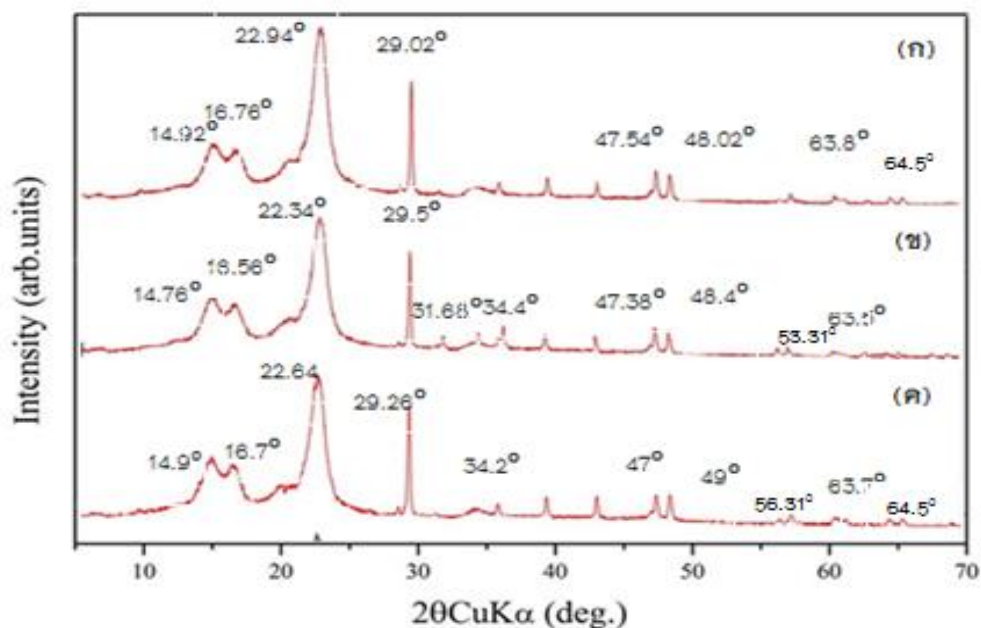
จากภาพที่ 4.61 เมื่อเปรียบเทียบอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง กับอินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุง ทั้งไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล เป็นสารเชื่อมโยง พบว่าเกิดการเปลี่ยนตำแหน่งของ ความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนไกลคอล

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm ⁻¹) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง			
	ไม่ ปรับปรุง	CS-PEG	ZnO-PEG	CS-ZnO- PEG
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส	3348.2	3436.9	3328.9	3382.9
Aromatic- -OH ของแทนนิน				
O-H stretching vibration overlapped to the N-H ของไคโตซาน	-			

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่าน (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง			
	ไม่ ปรับปรุง	CS-PEG	ZnO-PEG	CS-ZnO- PEG
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส และแทนนิน	2893.0	2900.7	2900.7	2900.7
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของไคโตซาน	-			
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของแทนนิน	1654.3	1643.2	1643.2	11647.1
-C=O secondary amide stretching vibration ของไคโตซาน	-			
Aromatic -C-C stretching ของแทนนิน	1431.1	1431.1	1431.1	1434.9
C-H bending (deformation stretching) ของเซลลูโลส	1382.3	1389.9	1373.2	1379.8
OH in-plane bending ของเซลลูโลส	1309.4	1313.4	-	1326.9
CH ₃ tertiary amide stretching vibration ของไคโตซาน	-			
CH deformation stretching ของเซลลูโลส	1294.5	1276.8	1280.7	1236.5
C-O-H stretching vibration ของไคโตซาน	-			
Asymmetric bridge C-O-C stretching ของเซลลูโลส	1087.4	1056.7	1050.3	1043.6
Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน				
asymmetric stretching vibration of C-O-C and symmetric vibration of C-O-C ของไคโตซาน	-			
C-O stretching ของเซลลูโลส	894.9	894.9	894.9	894.8
C-H wagging ของไคโตซาน	-			
Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	610.2	667.3	667.3	667.3
Zn-O stretching	-	-	469.0	447.5

2) เทคนิคเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน



ภาพที่ 4.62 XRD pattern ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG, ZnO NPs-PEG

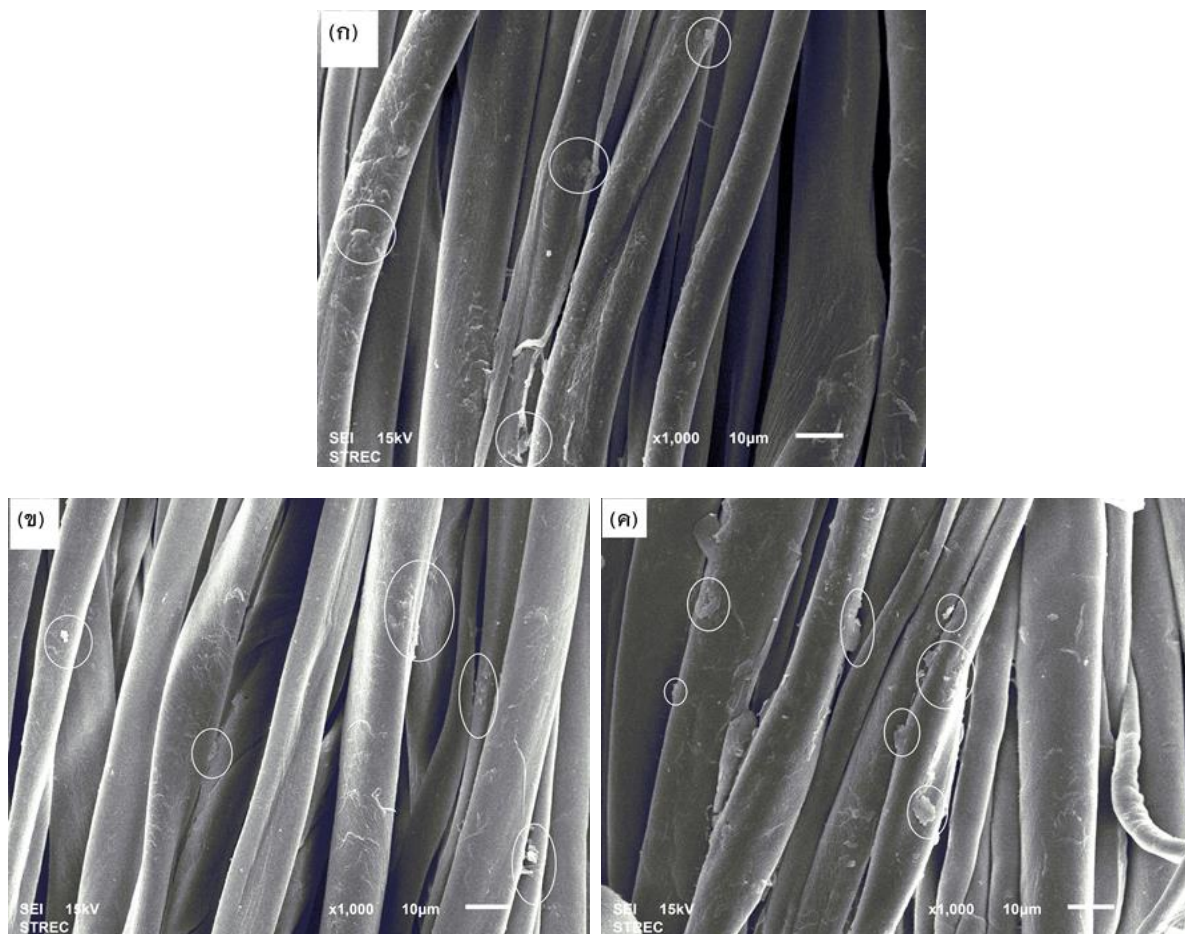
และ CS-ZnO NPs-PEG

(ก) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG

(ข) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs-PEG

(ค) สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย

จากภาพที่ 4.62 สเปกตรัมผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน (ก) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (ข) เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าพิกที่ตำแหน่ง 64.5° ซึ่งเป็นพิกของไคโตซาน และที่ตำแหน่ง 56.31° เป็นพิกของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงทั้งไคโตซานและซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง (ค) พบว่ามีพิกปรากฏที่ตำแหน่ง 64.5° และ 56.31° เป็นพิกของไคโตซานและซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนตามลำดับ



ภาพที่ 4.63 ภาพพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG, ZnO NPs-PEG และ CS-ZnO NPs-PEG

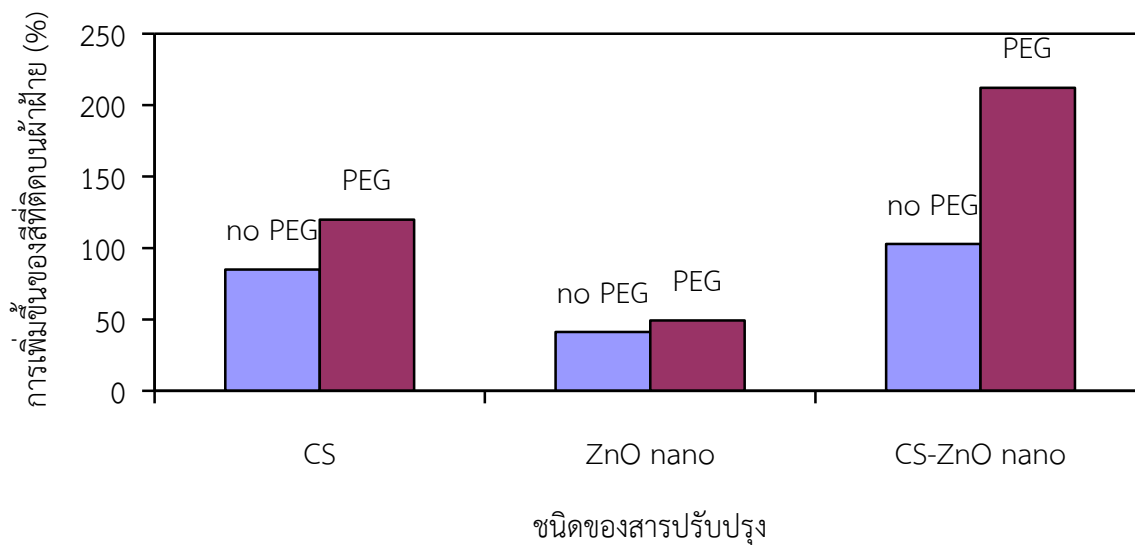
(ก) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-PEG

(ข) ผ้าฝ้ายที่ยังผ่านการปรับปรุงด้วย ZnO NPs-PEG

(ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO NPs-PEG

ภาพที่ 4.63 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง (ค) มีพื้นผิวก่อนข้างขรุขระและมีการเกาะติดของสารบนพื้นผิวเส้นใยผ้าฝ้ายมากกว่าเส้นใยผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง (ก และ ข) เนื่องจาก (ค) มีปริมาณพอลิเอทิลีนไกลคอลไม่เพียงพอที่จะช่วยในการเชื่อมโยงระหว่างอนุภาคของไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน กับเส้นใยผ้า C.Colleoni, M.R. Massafra, G. Rosace. (2012).

สรุปเปรียบเทียบการผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยงของพอลิเอทิลีนเอมีน ยืนยันผลการปรับปรุงได้จาก FT-IR และ SEM



ภาพที่ 4.64 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงด้วย CS และ ZnO NPs

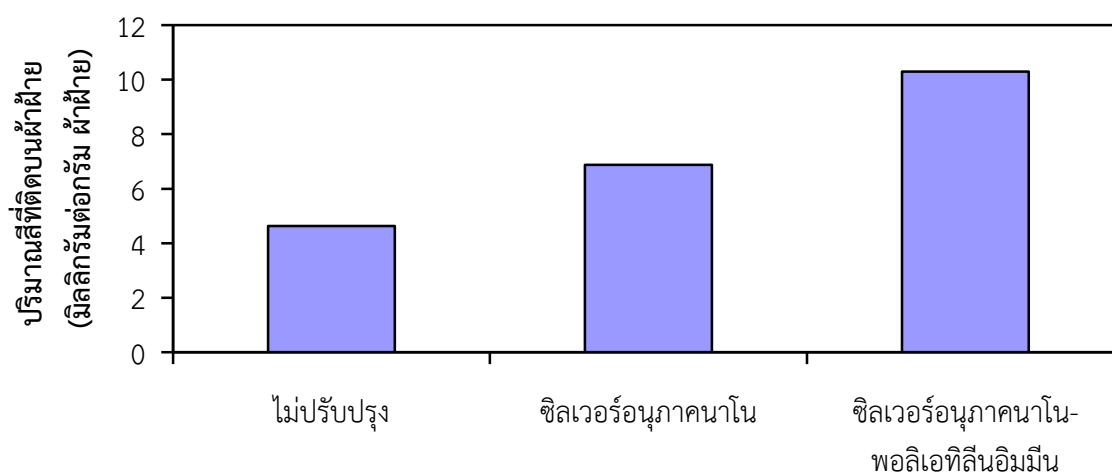
เมื่อใช้สารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนไดอามีนร่วมกับการใช้สารปรับปรุงของไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนพบว่าการเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายมากที่สุดคือการใช้ไคโตซานร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน คิดเป็น 212.15 % รองลงมาคือไคโตซาน คิดเป็น 119.96 % และ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน คิดเป็น 49.39 % ตามลำดับ

4.3.3.5 การปรับปรุง และพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์

อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไดอามีนเป็นสารเชื่อมโยง

4.3.3.5.1 ปริมาณสีน้ำตาลที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงร่วมกับ

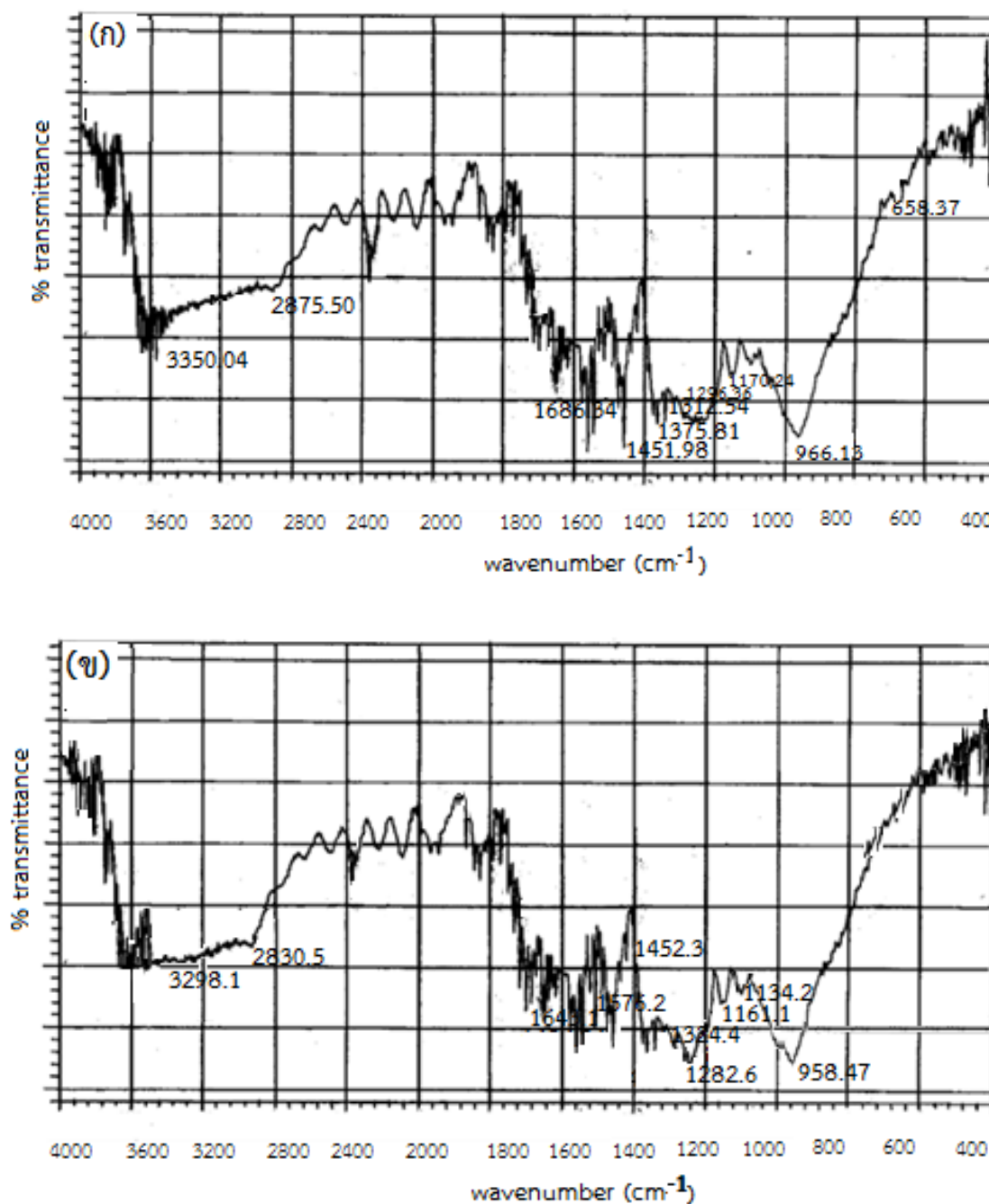
ซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไดอามีนเป็นสารเชื่อมโยง



ภาพที่ 4.65 เปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของสีที่ติดบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงด้วย Ag NPs, Ag NPs-PEI

4.3.3.5.2 การพิสูจน์เอกลักษณ์ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน
ร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

(1) เทคนิคฟูเรียร์ทรานฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโทรสโกปี



ภาพที่ 4.66 อินฟราเรด สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วย Ag NPs

(ก) ผ้าฝ้ายไม่ปรับปรุง

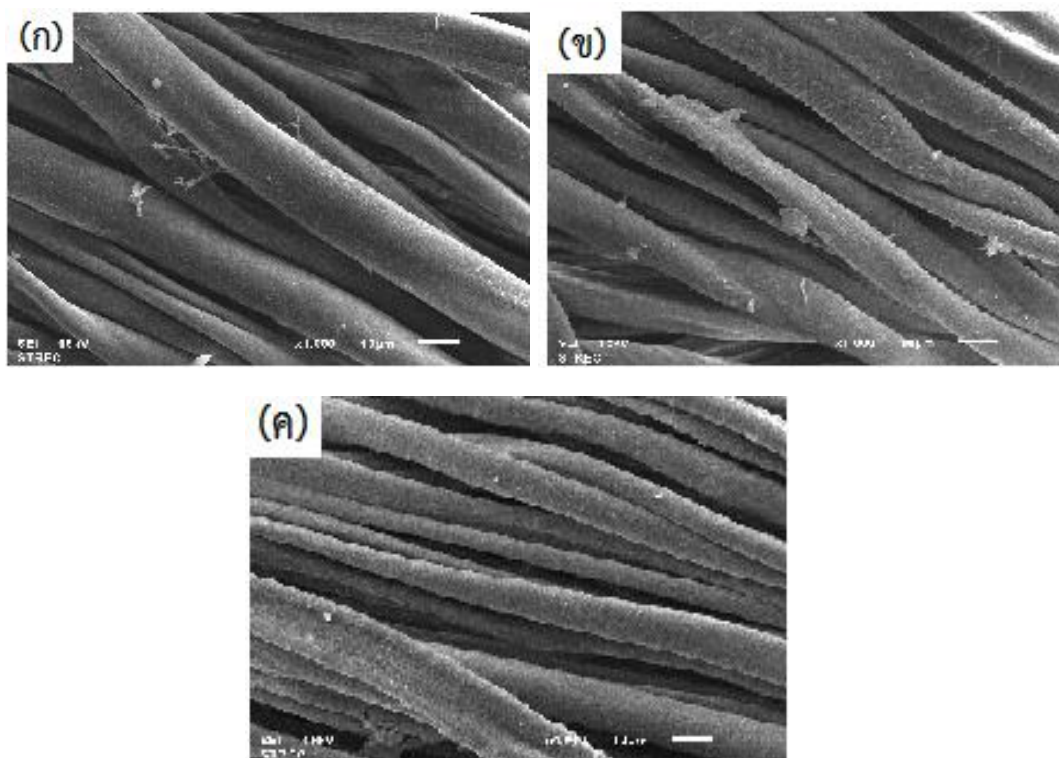
(ข) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย Ag NPs

จากภาพที่ 4.66 อินฟราเรดสเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนย้อมสีน้ำตาล (แทนนิน) เปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนย้อมสีน้ำตาล พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงของหมู่ฟังก์ชันที่สำคัญ ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 หมู่ฟังก์ชันที่สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสงที่ร้อยละการส่องผ่านของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

หมู่ฟังก์ชัน	ความยาวคลื่นในการดูดกลืนแสงอินฟราเรด (cm^{-1}) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงและปรับปรุง	
	Ag อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางเคมี	Ag อนุภาคนาโน- พอลิเอทิลีนอิมมิมิน
O-H stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -OH stretching vibration ของแทนนิน	3350.04	3298.1
N-H stretching vibration ของพอลิเอทิลีนอิมมิมิน	-	
asymmetric and symmetric stretching vibration of C-H ของเซลลูโลส แทนนิน และพอลิ เอทิลีนอิมมิมิน	2875.50	2830.5
C=O stretching vibration of carbonyl groups ของแทนนิน	1686.84	1643.1
-N-H bending vibration ของพอลิเอทิลีนอิมมิมิน	-	1576.2
Aromatic -C-C stretching vibration ของแทนนิน	1451.98	1452.3
C-H bending (deformation stretching) ของ เซลลูโลส	1375.81	-
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส	1312.54	1324.4
CH deformation stretching vibration ของ เซลลูโลส	1296.36	1282.6
OH in-plane bending vibration ของเซลลูโลส และพอลิเอทิลีนอิมมิมิน	1170.24	1161.1
Asymmetric bridge C-O-C stretching vibration ของเซลลูโลส Aromatic -C-O stretching ของแทนนิน	1102.19	1134.2
C-O stretching vibration ของเซลลูโลส	966.13	958.47
C=C stretching vibration in benzene rings ของ แทนนิน	658.47	-

(2) เทคนิคสแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโคปี



ภาพที่ 4.67 ภาพพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุง Ag NPs, PEI และ Ag NPs-PEI

- (ก) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย Ag NPs
- (ข) ผ้าฝ้ายที่ยังผ่านการปรับปรุงด้วย PEI
- (ค) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย Ag NPs-PEI

ภาพที่ 4.67 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนร่วมกับการใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง (ค) มีพื้นผิวเรียบกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงซิลเวอร์อนุภาคนาโน และพอลิเอทิลีนอิมินเพียงชนิดเดียว (ก และ ข ตามลำดับ) และยังสังเกตเห็นอนุภาคกลมขนาดเล็กในปริมาณเล็กน้อยกระจายตัวบนพื้นผิวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนร่วมกับการใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง

สรุปการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยงของพอลิเอทิลีนอิมิน (ยืนยันผลการปรับปรุงได้จาก FT-IR และ SEM) พบว่าการใช้สารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนอิมินจะช่วยให้การติดสับบนผ้าฝ้ายเพิ่มมากขึ้น

4.4 ทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายหลังปรับปรุงย้อมสีธรรมชาติ

4.4.1 สมบัติของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต

4.4.1.1 ความเข้มของสีของผ้าฝ้าย

ผลการทดสอบความเข้ม ความสว่าง และความสดใของสี ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ย้อมสีโทนสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ แสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	K/S	L*	a*	b*	C
ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง	0.7617	71.61	11.19	15.69	185.70
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS	1.0949	67.54	12.34	17.56	230.31
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-ZnO 1	0.9500	69.74	11.87	17.73	227.62
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2	1.8763	70.25	11.86	16.75	210.61
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-ZnO 3	0.95 84	69.49	12.24	17.56	229.09

จากตารางที่ 4.18 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงทุกตัวอย่างมีความเข้มสี (K/S) ใกล้เคียงกัน และมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงมีความสว่างของสีมากกว่าแต่มีความสดใของสีน้อยกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงทุกตัวอย่าง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ทั้ง 3 ชนิด มีความสว่างของสีมากกว่าแต่มีความสดใของสีน้อยกว่าผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงทุกตัวอย่าง และผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง มีความเป็นสีแดง (a^*) และสีเหลือง (b^*) ใกล้เคียงกัน

ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุง มีความสว่างของสี (L^*) ใกล้เคียงกัน ยกเว้นผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2 ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS, CS-ZnO 1 และ CS-ZnO 2 มีค่าความสดใของสี (C) ใกล้เคียงกัน ยกเว้นผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 3 มีค่าความสดใมากที่สุด

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงทุกตัวอย่าง และผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง มีความเป็นสีแดง (a^*) สีเหลือง (b^*) ใกล้เคียงกัน

4.1.3 สมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

สมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยจะนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบด้วยวิธี paper disc diffusion โดยวัดขนาดของเคลียร์โซนที่เกิดขึ้นในงานเพาะเชื้อ แสดงดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเคลียร์โซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้ายผ่านการปรับปรุง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเคลียร์โซน	
	สารปรับปรุง	ผ้าฝ้ายผ่านการปรับปรุง
CS	ไม่เกิดเคลียร์โซน	ไม่เกิดเคลียร์โซน
CS-ZnO 1	ไม่เกิดเคลียร์โซน	ไม่เกิดเคลียร์โซน
CS-ZnO 2	10 มิลลิเมตร	15 มิลลิเมตร
CS-ZnO 3	ไม่เกิดเคลียร์โซน	ไม่เกิดเคลียร์โซน

จากตารางที่ 4.19 พบว่าสารปรับปรุงของ CS-ZnO 2 และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2 เกิดเคลียร์โซนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง เท่ากับ 10 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงว่ามีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย ในขณะที่สารปรับปรุง และผ้าฝ้ายผ่านการปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงชนิดอื่น ไม่เกิดเคลียร์โซน แสดงว่าไม่มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย

4.1.4 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปื้อนติดสี

ในการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปื้อนติดสีบนผ้าขาวของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ย้อมสีโทนน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่เทียบกับเกรย์สเกล ผลแสดงดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปื้อนติดสีบนผ้าขาวของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	ความคงทนของสีต่อการซักล้าง	การเปื้อนติดสีบนผ้าขาว Multifiber					
		อะซีเทรต	คอตตอล	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
ผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง	4	5	5	5	5	5	5
ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย CS	4/5	5	5	5	5	5	5
ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย CS-ZnO 1	4/5	5	5	5	5	5	5
ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2	4/5	5	5	5	5	5	5
ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย CS-ZnO 3	4/5	5	5	5	5	5	5

จากตารางที่ 4.20 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ทุกตัวอย่างมีความคงทนต่อการซักล้าง ระดับ 4/5 มากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง ซึ่งมีความคงทนต่อการซักล้าง ระดับ 4 และผ้าฝ้ายทุกตัวอย่างไม่มีการเปื้อนติดสีบนผ้าขาว Multifiber ทุกชนิด คืออยู่ในระดับ 5

4.1.5 ความคงทนของสีต่อแสงแดด

ในการทดสอบความคงทนของสีต่อแสงของผ้าที่ผ่านการปรับปรุง และผ้าที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง โดยเทียบกับเกรย์สเกล ผลแสดงดังตารางที่ 4.21

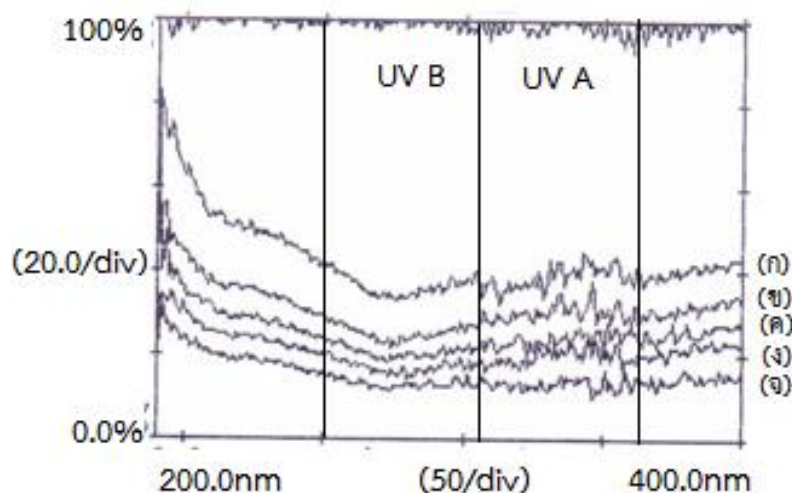
ตารางที่ 4.21 ความคงทนของสีต่อแสงของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	ความคงทนของสีต่อแสงแดด
ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง	4
ผ้าฝ้ายปรับปรุง CS	4/5
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-ZnO 1	4/5
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2	4/5
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-ZnO 3	4/5

ตารางที่ 4.21 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ มีความคงทนของสีต่อแสงระดับ 4/5 มากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง ซึ่งมีความคงทนของสีต่อแสงระดับ 4

4.1.6 สมบัติการป้องกันรังสียูวี

ทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวี โดยวัดค่า %Transmittance ได้ผลภาพที่ 4.68



ภาพที่ 4.68 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

- | | |
|---------------------------------|---------------------------------|
| (ก) ผ้าที่ไม่ได้ปรับปรุง | (ข) ผ้าที่ปรับปรุงด้วย CS-ZnO 1 |
| (ค) ผ้าที่ปรับปรุงด้วย CS | (ง) ผ้าที่ปรับปรุงด้วย CS-ZnO 3 |
| (จ) ผ้าที่ปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2 | |

จากภาพที่ 4.68 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต ย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ มีค่า% transmittance ต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS-ZnO 2 มีค่า% transmittance ต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วย CS, CS-ZnO 1 และ CS-ZnO 3 จึงมีสมบัติการป้องกันรังสียูวีได้ดี

4.4.2 สมบัติของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

4.4.2.1 ความเข้มของสีของผ้าฝ้าย

ผลการทดสอบความเข้ม ความสว่าง และความสดใสของสี ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ แสดงดังตารางที่ 4.22 และ 4.23 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.22 ความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุง ซิงค์ออกไซด์สังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	K/S	L*	a*	b*	c
ไม่ปรับปรุง	2.614	69.340	12.623	14.273	181.53
ปรับปรุง	3.021	61.761	12.670	17.245	228.96

จากตารางที่ 4.22 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนให้ค่า K/Sสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

ค่าความสว่าง (L*) และค่าความสดสี (C) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนพบว่าค่าความสว่างมีค่าใกล้เคียงหรือลดลงเล็กน้อย ค่าความสดสีของสี พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีค่าความเป็นสีแดงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย (a*) ความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (b*) สีของผ้าฝ้ายมีแนวโน้มไปในทางสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับค่า a* และ b*เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

4.4.2.2 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

สมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยจะนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบด้วยวิธี paper disc diffusion โดยวัดขนาดของเคลียร์โซนที่เกิดขึ้นในงานเพาะเชื้อ แสดงดังตารางที่ 4.23

ตารางที่ 4.23 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเคลียร์โซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ

ผ้าฝ้าย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเคลียร์โซน
ไม่ปรับปรุง	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ปรับปรุงด้วย ZnO NPs	1.90 มิลลิเมตร

จากตารางที่ 4.23 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเกิดเคลียร์โซนมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 1.90 มิลลิเมตร แต่ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงไม่เกิดเคลียร์โซน แสดงว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีสมบัติการต้านแบคทีเรีย

4.4.2.3 ความคงทนของสีต่อการซักล้างและการแป้นดัดสี

จากการศึกษาความคงทนของสีต่อการซักล้างบนผ้าฝ้ายที่ย้อมสีธรรมชาติ ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปื้อนติดสีบนผ้าขาวของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	ความคงทนของสีต่อการซักล้าง	การเปื้อนติดสีบนผ้าขาว Multifiber					
		อะซิเตรต	คอตตอล	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
ไม่ปรับปรุง	4/5	5	5	5	5	5	5
ปรับปรุง	3/4	5	5	5	5	5	5

การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง พบว่าผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ให้ความคงทนมีค่ามากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และผ้าฝ้ายย้อมสีน้ำตาลทั้งที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนไม่มีการเปื้อนติดสีบนผ้าขาวทุกชนิดของเส้นใย

4.4.2.4 ความคงทนของสีต่อแสงแดด

จากการศึกษาความคงทนของสีต่อแสงแดด โดยเปรียบเทียบกับผ้าสีมาตรฐานบลูวู แสดงผลดังตารางที่ 4.25

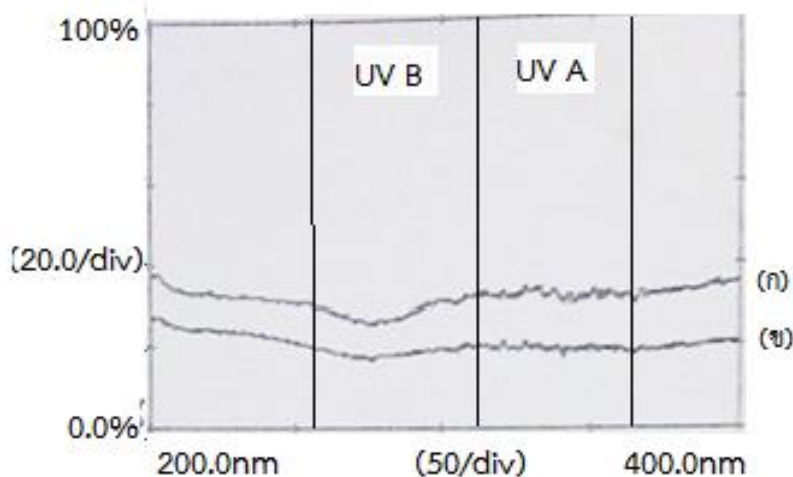
ตารางที่ 4.25 ความคงทนของสีต่อแสงแดดของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	ความคงทนของสีต่อแสงแดด
ไม่ปรับปรุง	3/4
ปรับปรุงด้วย ZnO NPs	4

จากตารางที่ 4.25 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ให้ความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับ 4 ซึ่งมีค่ามากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง

4.4.6 การป้องกันรังสียูวี

จากการศึกษาการป้องกันยูวีของผ้าฝ้าย โดยวัดค่า % Transmittance ในช่วงความยาวคลื่น 200 - 400 นาโนเมตร แสดงผลดังภาพที่ 4.69



ภาพที่ 4.69 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

(ก) ผ้าที่ไม่ได้ปรับปรุง (ข) ผ้าที่ปรับปรุงด้วย ZnO NPs สังเคราะห์ทางชีวภาพ

จากภาพที่ 4.69 พบว่าใช้ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนปรับปรุงผ้าฝ้ายแล้วทำให้ %Transmittance ในช่วงรังสียูวีบี (ความยาวคลื่น 250-315 นาโนเมตร) และช่วงรังสียูวีเอ (ความยาวคลื่น 315-370 นาโนเมตร) ต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง แสดงว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน มีสมบัติการป้องกันรังสียูวีเอและยูวีบีได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง

4.4.2 สมบัติของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

4.4.2.1 ความเข้มของสีของผ้าฝ้าย

ผลการทดสอบความเข้ม ความสว่าง และความสดใของสี ของผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ แสดงดังตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 ความเข้มสีของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์สังเคราะห์ทางเคมีย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	K/S	L*	a*	b*	C
ไม่ปรับปรุง	17.46	48.32	1.73	-11.57	9.21
ZnO NPs 0.06%(w/v)	27.66	29.20	6.64	7.39	22.88
ZnO NPs 0.08%(w/v)	28.47	29.00	6.32	7.32	23.34
ZnO NPs 0.10%(w/v)	28.54	30.50	6.59	7.33	22.92
ZnO NPs 0.12%(w/v)	29.64	28.90	5.78	6.69	22.46

จากตารางที่ 4.26 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทุกความเข้มข้น ให้ค่า K/S สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มสี (K/S) กับความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน พบว่าความเข้มข้นของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเพิ่มขึ้นทุก 1% w/v ความเข้มสีเพิ่มขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 33 ค่าความสว่าง (L^*) และค่าความสดสี (C) ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนพบว่าค่าความสว่างมีค่าลดลง คิดเป็นร้อยละ 1.46 เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงค่าความสดสีของสี พบว่า มีค่าเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.37 เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 54.14 และ 8.02 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

4.4.2.2 การทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

สมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* โดยนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบด้วยวิธี paper disc diffusion วัดขนาดของเคลียร์โซนที่เกิดขึ้นในจานเพาะเชื้อ ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเคลียร์โซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี

ผ้าฝ้าย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ของเคลียร์โซน
ไม่ปรับปรุง	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ZnO NPs	1.33 มิลลิเมตร
ปรับปรุงด้วย ZnO NPs	1.15 มิลลิเมตร

จากตารางที่ 4.27 พบว่าผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนและอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เกิดเคลียร์โซน มีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 1.15 มิลลิเมตร และ 1.33 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงไม่เกิดเคลียร์โซน แสดงว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus*

4.4.2.3 ความคงทนของสีต่อการซักล้างและการเปื้อนติดสี

การศึกษาความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปื้อนติดสีบนผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติ ให้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการเปลี่ยนสีบนผ้าขาวของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วย ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	ความคงทนของสีต่อการซักล้าง	การเปลี่ยนสีบนผ้าขาว Multifiber					
		อะซิเตรต	คอตตอล	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
ไม่ปรับปรุง	1/2	5	5	5	5	5	5
ปรับปรุง	4	5	5	5	5	5	5

การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง พบว่าผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ให้ความคงทนมีค่ามากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ปรับปรุง และผ้าฝ้ายย้อมสีน้ำตาลทั้งที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนไม่มีการเปลี่ยนสีบนผ้าขาวทุกชนิดของเส้นใย

4.4.2.4 ความคงทนของสีต่อแสงแดด

จากการศึกษาความคงทนของสีต่อแสงแดด โดยเปรียบเทียบกับผ้าสีมาตรฐานบลูจู แสดงผลดังตารางที่ 4.29

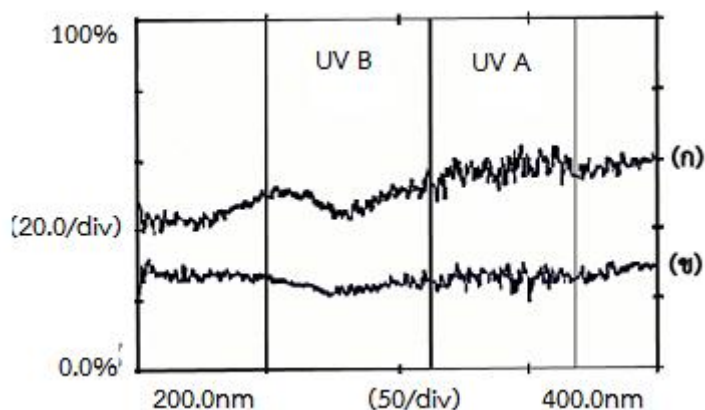
ตารางที่ 4.29 ความคงทนของสีต่อแสงแดดของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ ย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	ความคงทนของสีต่อแสงแดด
ไม่ปรับปรุง	3/4
ปรับปรุงด้วย ZnO NPs (chemsyn.)	4

จากตารางที่ 4.29 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน ให้ความคงทนสีต่อการซักล้างมีค่ามากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุงเมื่อทำการซักล้าง 3 ครั้ง พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงให้ความคงทนของสีลดลงเมื่อจำนวนครั้งในการซักล้างมากขึ้น

4.4.6 การป้องกันรังสียูวี

จากการศึกษาการป้องกันยูวีของผ้าฝ้าย โดยวัดค่า % Transmittance ในช่วงความยาวคลื่น 200 - 400 นาโนเมตร แสดงผลดังภาพที่ 4.70



ภาพที่ 4.70 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

(ก) ผ้าที่ไม่ได้ปรับปรุง (ข) ผ้าที่ปรับปรุงด้วย ZnO NPs สังเคราะห์ทางเคมี

จากภาพที่ 4.70 พบว่าเมื่อใช้ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมีปรับปรุงผ้าฝ้ายแล้ว ทำให้ %Transmittance ในช่วงรังสียูวีบี (ความยาวคลื่น 250-315 นาโนเมตร) และช่วงรังสียูวีเอ (ความยาวคลื่น 315-370 นาโนเมตร) ต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงแสดงว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทางเคมีมีสมบัติการป้องกันรังสียูวีเอและยูวีบีได้ดีกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการปรับปรุง

4.5 ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง

การทดสอบสมบัติผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และไคโตซานร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงย้อมสีโทนสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ได้แก่ การทดสอบความเข้มของสีผ้าฝ้าย การต้านแบคทีเรีย ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการตกติดสีบนผ้าขาว Multifiber ความคงทนของสีต่อแสงแดด และการป้องกันรังสียูวี

4.5.1 ความเข้มของสีผ้าฝ้าย

ผลการทดสอบความเข้มของสีผ้าฝ้าย ได้แก่ ค่าความเข้มสี (K/S) ค่าความสว่าง (L^*) และความสดใสของสี (C) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วยไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงแสดงดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง และปรับปรุงด้วย CS, ZnO NPs, CS-ZnO NPs เมื่อใช้และไม่ใช้ PEG น้ำย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	K/S	L*	a*	b*	C
ผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง	0.879	69.490	12.308	15.452	194.194
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS	1.620	60.282	12.522	15.218	195.125
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-PEG	1.632	61.078	13.114	16.870	228.28
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย ZnO NPs	0.904	67.706	11.706	14.202	169.364
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย ZnO NPs-PEG	0.940	68.677	11.818	15.108	183.958
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-ZnO NPs	1.503	62.143	13.243	16.668	226.60
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย CS-ZnO NPs	2.297	56.850	14.796	18.539	281.308

จากตารางที่ 4.30 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าให้ค่า K/S สูงกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซานร่วมกับ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

ค่าความสว่าง (L*) และค่าความสดสี (C) ของผ้าฝ้ายเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าค่าความสว่างมีค่าใกล้เคียงหรือเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ค่าความสดสีของสีพบว่ามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับไม่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล

ค่าความเป็นสีแดงหรือสีเขียว (a*) ค่าความเป็นสีเหลืองหรือน้ำเงิน (b*) ของผ้าฝ้ายเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าให้โทนสีแดง และสีเขียวมากกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล

4.5.2 การต้านเชื้อแบคทีเรีย

จากการศึกษาการทดสอบการต้านแบคทีเรีย ด้วยเทคนิค paper disc diffusion โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* แสดงผลจากขนาดของเคลียร์โซนที่เกิดขึ้นในจานเพาะเชื้อ

ตารางที่ 4.31 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเคลียร์โซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนเอมีน

ผ้าฝ้ายผ่านการปรับปรุง	เส้นผ่านศูนย์กลางของเคลียร์โซน (มิลลิเมตร)/ความเข้มข้นของ PEG (w/v)				
	0	0.1	0.2	0.3	0.4
CS	6.3	9.0	9.6	9.0	9.6
ZnO NPs	6.5	9.0	7.0	9.0	8.0
CS-ZnO NPs	6.0	9.0	-	-	-

จากตารางที่ 4.31 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน เกิดเคลียร์โซนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.3 มิลลิเมตร และเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 9 - 9.6 มิลลิเมตร

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เกิดเคลียร์โซน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.5 มิลลิเมตร และเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 7-9 มิลลิเมตร

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เกิดเคลียร์โซนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร เมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9 มิลลิเมตร ในการเกิดเคลียร์โซน แสดงถึงการมีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง ยังคงสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

ตารางที่ 4.32 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเคลียร์โซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน เมื่อใช้และไม่ใช้สารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนเอมีนก่อนและหลังการซักล้าง

ผ้าฝ้าย	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเคลียร์โซน (มิลลิเมตร)	
	ไม่ผ่านการซักล้าง	ผ่านการซักล้าง 5 ครั้ง
ไม่ปรับปรุง	ไม่เกิดเคลียร์โซน	ไม่เกิดเคลียร์โซน
CS	6.3	ไม่เกิดเคลียร์โซน
CS-PEG 0.1% (w/v)	9.0	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ZnO NPs	6.5	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ZnO NPs-PEG 0.1% (w/v)	9.0	ไม่เกิดเคลียร์โซน
CS-ZnO NPs	6.0	5.0
CS-ZnO NPs-PEG 0.1% (w/v)	9.0	5.6

จากตารางที่ 4.32 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงที่ผ่านการซักล้าง 5 ครั้ง ไม่เกิดเคลียร์โซนในขณะที่ผ้าฝ้ายผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน ที่ผ่านการซักล้าง 5 ครั้ง เกิดเคลียร์โซนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร และเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง เกิดเคลียร์โซนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 5.6 มิลลิเมตร

4.5.3 ความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการตกติดบนผ้าขาว Multifiber

จากการศึกษาความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการตกติดบนผ้าขาว Multifiber ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และไคโตซานร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้ และไม่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง ดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุง
ย้อมโชนสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ผ้าฝ้าย	ความคงทนของสีต่อการซักล้าง / จำนวนครั้ง				
	1	2	3	4	5
ไม่ปรับปรุง	4	3/4	3	2/3	2
CS	4/5	4	4	3/4	3
CS-PEG 0.1% (w/v)	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
ZnO NPs	4/5	4	4	3/4	3
ZnO NPs-PEG 0.1% (w/v)	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5
CS-ZnO NPs	4/5	4	3/4	3	2/3
CS-ZnO NPs-PEG 0.1% (w/v)	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5

จากตารางที่ 4.33 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง พบว่าความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับ 4/5 ซึ่งมากกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงเมื่อไม่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล คืออยู่ในระดับ 4 ในทุกตัวอย่าง

การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง พบว่าการซักล้างครั้งที่ 1 ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง ให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้างเท่ากัน คือ 4/5 แต่เมื่อที่ผ่านการซักล้างในครั้งที่ 2 ถึง ครั้งที่ 5 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงเมื่อมีพอลิเอทิลีนไกลคอล ให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 4/5 เหมือนกับการซักล้างครั้งที่ 1 ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุง ให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้างลดลงเรื่อย ๆ ตามจำนวนครั้งในการซักล้าง

ตารางที่ 4.34 การเปื้อนติดสีบนผ้าขาวผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

การปรับปรุงผ้าฝ้าย	การเปื้อนติดสีบนผ้าขาว Multifiber					
	อะซิเตรต	คอตตอล	ไนลอน	พอลิเอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
ผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง	5	5	5	5	5	5
CS	5	5	5	5	5	5
CS-PEG	5	5	5	5	5	5
ZnO nano	5	5	5	5	5	5
ZnO nano-PEG	5	5	5	5	5	5
CS-ZnO nano	5	5	5	5	5	5
CS-ZnO nano-PEG	5	5	5	5	5	5

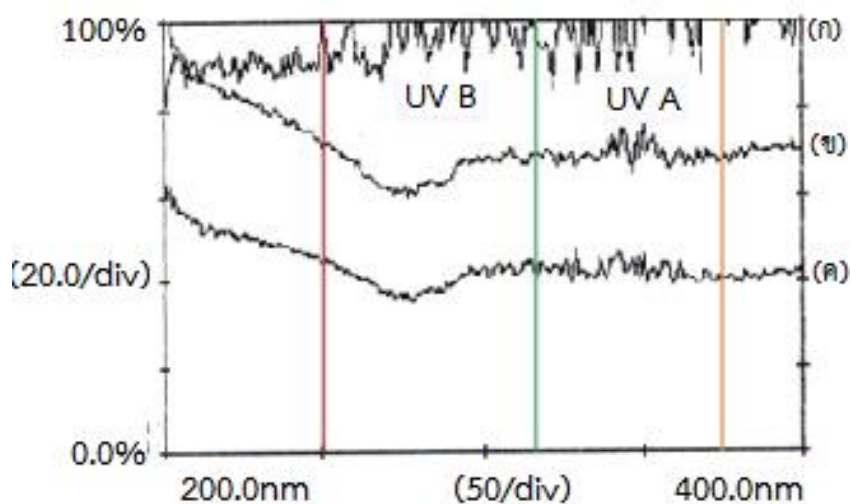
จากตารางที่ 4.34 พบว่าผ้าฝ้ายย้อมสีน้ำตาลทั้งที่ไม่ปรับปรุง ปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโน และเมื่อใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลไม่มีการตกติดสีบนผ้าขาวทุกชนิดของเส้นใย

ตารางที่ 4.35 ความคงทนของสีต่อแสงแดดของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

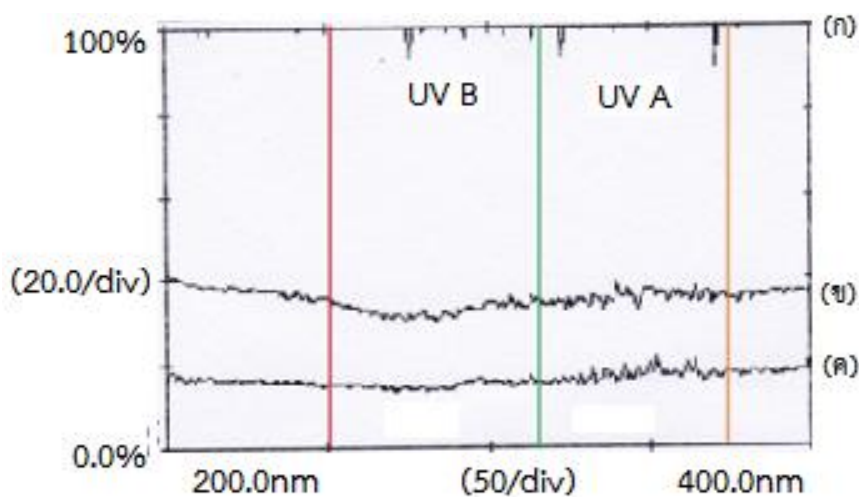
ผ้าฝ้าย	ความคงทนของสีต่อแสงแดด
ไม่ปรับปรุง	3/4
CS	4
CS-PEG 0.1% (w/v)	4/5
ZnO NPs 0.1% (w/v)	4
ZnO NPs-PEG	4/5
CS-ZnO NPs	4
CS-ZnO NPs-PEG 0.1% (w/v)	4/5

4.5.5 การป้องกันแสงยูวี

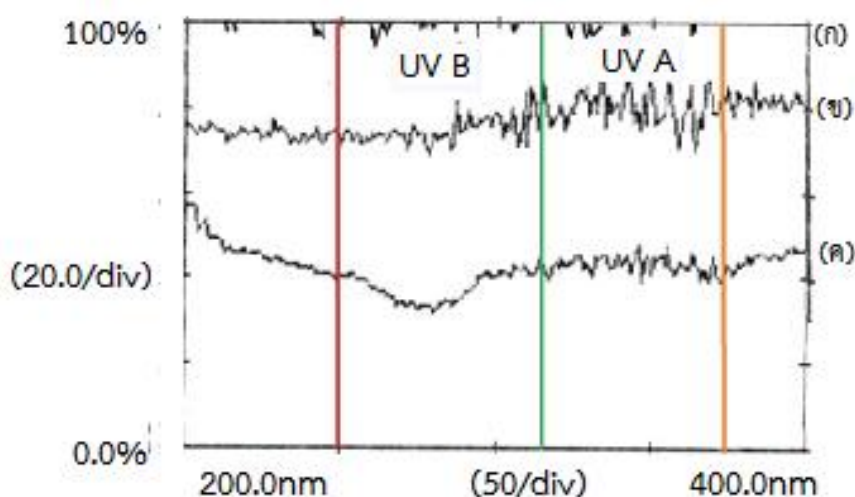
ทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้าย โดยวัดค่า %Transmittance ในช่วงความยาวคลื่น 200 - 400 นาโนเมตร ได้ผลดังภาพที่ 4.71



(ก) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยไคโตซานย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่



(ก) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่



(ค) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยโคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ภาพที่ 4.71 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงเมื่อมีพอลิเอทิลีนเอมีนเป็นสารเชื่อมโยงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

(ก) ผ้าฝ้ายไม่ปรับปรุง

(ข) ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วยสารปรับปรุง

(ค) ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วยสารปรับปรุงเมื่อมีพอลิเอทิลีนเอมีนเป็นสารเชื่อมโยง

จากภาพที่ 4.71 พบว่าเมื่อมีพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยงทำให้ %Transmittance ในช่วงแสงยูวีบี (ความยาวคลื่น 250 - 315 nm) และช่วงของยูวีเอ (ความยาวคลื่น 315 - 370 nm) ต่ำกว่าผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงและผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโคโตซาน ร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน แสดงว่าผ้าฝ้ายที่มีพอลิเอทิลีนไกลคอลมีสมบัติการป้องกันรังสียูวีได้ดีกว่า เมื่อไม่มีพอลิเอทิลีนไกลคอล

4.6 ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง

การทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ ได้แก่ การทดสอบความเข้มของสีผ้าฝ้าย การต้านแบคทีเรีย ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการตกติดสีบนผ้าขาว Multifiber ความคงทนของสีต่อแสงแดด และการป้องกันรังสียูวี

4.6.1 ความเข้มของสีผ้าฝ้าย

ผลการทดสอบความเข้มของสีผ้าฝ้าย ได้แก่ ค่าความเข้มสี (K/S) ค่าความสว่าง (L^*) และความสดใสของสี (C) ของผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุง และผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงแสดงดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 % ความแตกต่างของความเข้มสี โทนสี ความสว่าง และความสดใสของสีของตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยวิธีต่าง ๆ

ผ้าฝ้าย	K/S	L^*	a^*	b^*	C
ผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง	13.42	40.54	6.31	6.59	25.25
Ag nano	15.23	41.88	6.93	6.17	25.07
PEI(0.2%)	23.75	34.20	6.82	6.35	24.83
Ag nano-PEI(0.2%)	26.10	31.27	7.06	10.01	26.54

จากตารางที่ 4.25 เมื่อเปรียบเทียบผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยมี พอลิเอทิลีนอิมินเข้มข้น 0.2 % v/v เป็นสารเชื่อมโยงกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนพบว่า ค่าความเข้มสี (K/S) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 71.37เปอร์เซ็นต์ค่าความสว่าง (L^*) ลดลงคิดเป็น 25.33 เปอร์เซ็นต์ค่าความสดใสของสี (C) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 5.86 เปอร์เซ็นต์ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 1.88 เปอร์เซ็นต์ และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)เพิ่มขึ้น[8] คิดเป็น 62.24 เปอร์เซ็นต์เมื่อเปรียบเทียบผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยมีพอลิเอทิลีนอิมินเข้มข้น 0.2 % v/v เป็นสารเชื่อมโยงกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนอิมินเพียงอย่างเดียว พบว่า ค่าความเข้มสี (K/S) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 9.89 เปอร์เซ็นต์ค่าความสว่าง (L^*) ลดลงคิดเป็น 8.57 เปอร์เซ็นต์ค่าความสดใสของสี (C) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 6.89 เปอร์เซ็นต์ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 3.52 เปอร์เซ็นต์และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*)เพิ่มขึ้นคิดเป็น 57.64 เปอร์เซ็นต์และเมื่อเปรียบเทียบผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยมีพอลิเอทิลีนอิมินเข้มข้น 0.2 %V/Vเป็นสารเชื่อมโยงกับผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง พบว่า ค่าความเข้มสี (K/S) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 94.49 เปอร์เซ็นต์ค่าความสว่าง (L^*) ลดลงคิดเป็น 22.87 เปอร์เซ็นต์ค่าความสดใสของสี (C) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 5.11 เปอร์เซ็นต์ค่าความเป็นสีแดง (a^*) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 11.89 เปอร์เซ็นต์และค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้นคิดเป็น 51.90 เปอร์เซ็นต์แสดงให้ เห็นว่าการใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงส่งผลเด่นชัดในส่วนของความเข้มสีที่เพิ่มขึ้น และความสว่างสีลดลง

4.6.2 การต้านเชื้อแบคทีเรีย

จากการศึกษาการทดสอบการต้านแบคทีเรีย ด้วยเทคนิค paper disc diffusion โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* แสดงผลจากขนาดของเคลียร์โซนที่เกิดขึ้นในงานเพาะเชื้อ

ตารางที่ 4.37 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเคลียร์โซนของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง

ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลางของเคลียร์โซน (มิลลิเมตร)
ซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้ (0.38 % (w/v))	13 มิลลิเมตร
ผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs (0.004 % (w/v))	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย PEI (0.2% v/v)	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs-PEI (0.2% v/v)	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs-PEI (1% v/v)	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs-PEI (2% v/v)	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs-PEI (4% v/v)	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs-PEI (6% v/v)	ไม่เกิดเคลียร์โซน
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs-PE (8% v/v)	ไม่เกิดเคลียร์โซน

จากตารางที่ 4.26 พบว่า สารนาโนซิลเวอร์ที่ได้จากการสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น 0.38% (w/v) เกิดเคลียร์โซนมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร เมื่อนำซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้น 0.04% (w/v) ไปปรับปรุงผ้าฝ้าย พบว่าทั้งผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนและผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ร่วมกับพอลิเอทิลีนอิมินที่ทุกความเข้มข้นไม่เกิดเคลียร์โซน

4.6.3 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการตกติดสีบนผ้าขาว Multifiber

จากการศึกษาความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการตกติดบนผ้าขาว Multifiber ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และไคโตซานร่วมกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเมื่อใช้ และไม่ใช้พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารเชื่อมโยง ดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และการตกติดสีบนผ้าขาว Multifiber ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงย้อมด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

การปรับปรุง ผ้าฝ้าย	ความ คงทนของ สีต่อการ ซักล้าง	การตกติดสีบนผ้าขาว Multifiber					
		อะซิเตรต	คอตตอล	ไนลอน	พอลิ เอสเตอร์	อะคริลิก	ขนสัตว์
ไม่ปรับปรุง	3/4	5	5	5	5	5	5
Ag NPs (0.004 % (w/v))	4	5	5	5	5	5	5
PEI (0.2% v/v)	4/5	5	5	5	5	5	5
Ag NPs-PEI (0.2% v/v)	4/5	5	5	5	5	5	5
Ag NPs-PEI(1% v/v)	4/5	5	5	5	5	5	5
Ag NPs-PEI (2% v/v)	4/5	5	5	5	5	5	5
Ag NPs-PEI (4% v/v)	4/5	5	5	5	5	5	5
Ag NPs-PEI(6% v/v)	4/5	5	5	5	5	5	5
Ag NPs-PEI(8% v/v)	4/5	5	5	5	5	5	5

จากตารางที่ 4.38 พบว่า ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยมีพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงที่ทุกความเข้มข้นและผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนอิมินมีความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 4/5 (ดีเลิศ) ซึ่งมีค่าความคงทนของสีต่อการซักล้างสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนมีความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 4(ดีมาก)และผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงมีความคงทนของสีต่อการซักล้างอยู่ในระดับ 3/4 (ดี) และผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงทุกกรณี และผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงย้อมโทนสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ พบว่า ไม่มีการตกติดสีบนผ้าขาวทุกชนิดของเส้นใย

4.6.4 ความคงทนของสีต่อแสงแดด

จากการศึกษาความคงทนของสีต่อแสงแดด ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนเมื่อใช้และไม่ใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง ดังตารางที่ 4.39

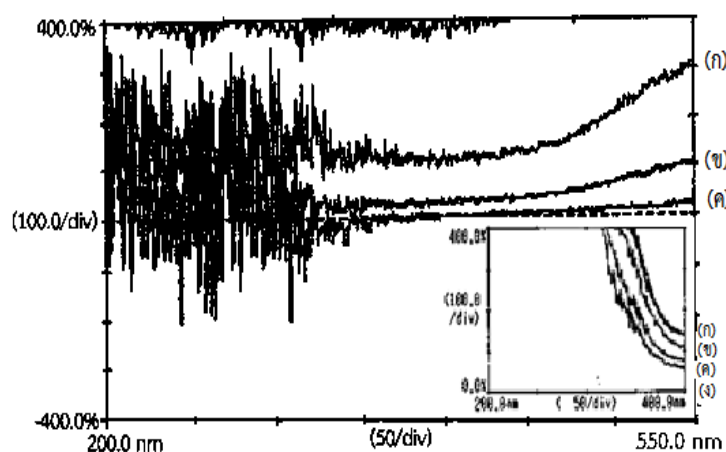
ตารางที่ 4.39 ความคงทนของสีต่อแสงแดดของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์นาโนโดยมีพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่เมื่อใช้พอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่

ตัวอย่าง	ความคงทนของสีต่อแสงแดด
ผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุง	4
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs (0.004 % (w/v))	4
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย PEI (0.2% v/v)	4
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs -PEI(0.2% v/v)	4
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs -PEI(1% v/v)	4
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs -PEI(2% v/v)	4/5
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs -PEI(4% v/v)	4/5
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs -PEI(6% v/v)	4/5
ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย Ag NPs -PEI(8% v/v)	4/5

จากตารางที่ 4.39 พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์นาโนโดยมีพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงที่ความเข้มข้น 2-8% ให้ความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับ 4/5(ดีเลิศ) ซึ่งมีความคงทนของสีต่อแสงแดดสูงกว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์นาโนโดยมีพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยงที่ความเข้มข้น 0.2%, 1% ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์นาโน ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนอิมิน และผ้าฝ้ายที่ไม่ปรับปรุงซึ่งมีความคงทนของสีต่อแสงแดดอยู่ในระดับ 4 (ดีมาก)

4.6.5 การป้องกันแสงยูวี

ทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวีของผ้าฝ้าย โดยวัดค่า %Transmittance ในช่วงความยาวคลื่น 200 - 400 นาโนเมตร ได้ผลแสดงดังภาพที่ 4.72



ภาพที่ 4.72 %Transmittance สเปกตรัมของผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์นาโนเมื่อมีและไม่มีพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง

- (ก) ผ้าฝ้ายไม่ปรับปรุง
- (ข) ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน
- (ค) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนอิมิน
- (ง) ผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยมีพอลิเอทิลีนอิมิน (0.2%) เป็นสารเชื่อมโยง

จากภาพที่ 4.72 (ภาพใหญ่) พบว่า ที่ความยาวคลื่น 200-550 นาโนเมตร และภาพที่ 4.72 (ภาพเล็ก) ที่ช่วงความยาวคลื่น 200-400 นาโนเมตร ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนโดยมีพอลิเอทิลีนอิมินเป็นสารเชื่อมโยง ให้ %Transmittance ต่ำ กว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยพอลิเอทิลีนอิมิน ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนและผ้าฝ้ายที่ไม่ผ่านการปรับปรุงตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยการปรับปรุงผ้าฝ้ายโดยใช้สารปรับปรุง และสารเชื่อมโยง ย้อมสีธรรมชาติ สรุปและอภิปรายผลการทดลองตามจุดประสงค์ ดังนี้

5.1 การสังเคราะห์สารปรับปรุงและตรวจสอบเอกลักษณ์

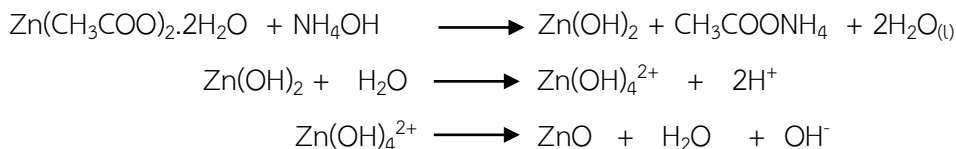
สารปรับปรุงที่สังเคราะห์ในงานวิจัยมี 6 ชนิด ได้แก่ ไคโตซาน (CS syn.) ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต (CS syn.-ZnO(Aldrich) composite) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ (ZnO NPs biosyn.) ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี (ZnO NPs chemsyn.) ซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ (Ag NPs biosyn.) และซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี (Ag NPs chemsyn.) แสดงผลการสังเคราะห์ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ร้อยละผลผลิตและขนาดอนุภาคของสารปรับปรุง

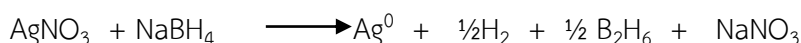
สารปรับปรุง	ร้อยละผลผลิต	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)
CS (syn.)	23.50	-
ZnO NPs biosyn	5.58	112.80
ZnO NPs chemsyn.	44.38	26.05
Ag NPs biosyn	51.22	143.00
Ag NPs chemsyn.	31.00	61.94

จากตารางที่ 5.1 พบว่าการสังเคราะห์ไคโตซานจากเปลือกกุ้งขามีร้อยละผลผลิต 23.50 และมีค่า %DD เท่ากับ 79.47 แสดงว่าเปลือกกุ้งขาวเป็นวัตถุดิบในการสังเคราะห์ไคโตซานที่แสดงสมบัติเด่นของไคโตซานได้ และการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ ให้ผลผลิตร้อยละ 5.58 และ 51.22 ตามลำดับ โดยการสังเคราะห์ใช้สารสกัดจากพืชเป็นสารรีดิวซ์ทำให้อนุภาคของโลหะมีขนาดเล็กลง อธิบายได้ว่าสารสกัดจากพืชมีส่วนประกอบของโมเลกุลอนุมูลอิสระ เช่น สารประกอบฟีนอลิก สารประกอบไนโตรเจน วิตามิน และน้ำตาลรีดิวซ์ เป็นต้น [10] ซึ่งสารดังกล่าวจะมีหมู่ไฮดรอกซิล และคาร์บอกซิลิก ที่ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ (reducing agents) และสารรักษาเสถียรภาพ (stabilizing agents) ในการสังเคราะห์ให้อนุภาคนาโนที่มีขนาดอนุภาคใหญ่กว่าอนุภาคระดับนาโนเมตรเล็กน้อย [6] ส่วนการสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางเคมี ให้ผลผลิตร้อยละ 44.38 และ 31.00 ตามลำดับ การสังเคราะห์ใช้วิธีการทำปฏิกิริยาในสถานะของเหลว คือ

ซึ่งค็อกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์จาก $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ NH_4OH ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นดังสมการ [23]



และการสังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางเคมีใช้ปฏิกริยารีดักชันสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต AgNO_3 ที่ละลายน้ำแตกตัวเป็น Ag^+ และ NO_3^- และ NaBH_4 จะปรีดิวิซ์ Ag^+ ให้กลายเป็น Ag^0 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นแสดงดังสมการ [14]



ซึ่งจากการทำปฏิกริยาในสถานะของเหลวดังสมการข้างต้น ส่งผลให้สารอนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตรจริง

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการสังเคราะห์ค็อกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโนทางชีวภาพ และทางเคมีพบว่าอนุภาคนาโนทั้งสองชนิดที่สังเคราะห์ทางชีวภาพมีขนาดใหญ่อกว่าอนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี เนื่องมาจากการสังเคราะห์ทางเคมีใช้สารรีดิวิซ์ที่มีประสิทธิภาพในการรีดิวิซ์มากกว่า ทั้งสารสกัดจากพืชยังมีสารอื่นนอกเหนือจากสารรีดิวิซ์ที่อาจจะเกิดการขัดขวางการทำงานของสารรีดิวิซ์ได้ นอกจากนี้สภาวะที่สังเคราะห์ ได้แก่ พีเอช ความเสถียรของไอออน การเกาะกลุ่มกันของอนุภาค ก็มีผลต่อขนาดของการสังเคราะห์ด้วยเช่นกัน

5.2 สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุงผ้าฝ้าย

สารปรับปรุงที่สังเคราะห์ได้ในข้อที่ 5.1 จะถูกนำมาใช้ในการปรับปรุงผ้าฝ้าย ทั้งที่ไม่ใช้และใช้สารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิพอลิเอทิลีนอิมิน สภาวะที่เหมาะสมในการปรับปรุง คือ การใช้เทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียง อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และเวลา 30 นาที

อภิปรายได้ว่าการใช้เทคนิคการสั่นแบบคลื่นเสียงให้ผลประสิทธิภาพในการปรับปรุงผ้าฝ้ายดีที่สุด เนื่องจากการสั่นด้วยคลื่นเสียงส่งผลให้อนุภาคเคลื่อนที่สัมผัสกับผ้าฝ้ายได้มากขึ้น อนุภาคจึงแทรกซึมเข้าไปในรูพรุนของผ้าฝ้ายเกิดอันตรกิริยากับโมเลกุลของเซลลูโลสได้ดีขึ้นที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส อาจจะเป็นพลังงานที่เหมาะสมที่ทำให้อนุภาคเคลื่อนที่เข้าใกล้กันได้เร็วขึ้น อย่างไรก็ตามผลการทดลองให้ผลไม่แตกต่างกันนัก เวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 30 นาที เพราะถ้าใช้เวลามากกว่านี้ประสิทธิภาพในการปรับปรุงผ้าฝ้ายจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลง เนื่องจากการเกิดอันตรกิริยาระหว่างสารปรับปรุงและ/หรือสารเชื่อมโยงบนผ้าฝ้ายที่ค่อนข้างแข็งแรง และอาจจะเกิดการยึดเกาะกันเป็นชั้น จะทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องการหลุดออกของสารปรับปรุง แต่เมื่อเวลานานขึ้นพื้นผิวบนผ้าฝ้ายก็จะมีน้อยลงด้วย

สภาวะที่เหมาะสมในกรณีใช้สารปรับปรุงของค็อกไซด์ และซิลเวอร์อนุภาคนาโน เมื่อไม่มี โคโตซานร่วมด้วย พบว่าพีเอชที่เหมาะสม คือ 8-12 เนื่องจากสภาวะของสารละลายที่เป็นเบสสามารถเร่งการเกิดปฏิกริยาการเกิดอนุภาคนาโนได้ดี [5]

5.3 การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงและสารเชื่อมโยง และทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง

การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงและสารเชื่อมโยงเกิดขึ้นได้จริงยืนยันผลการปรับปรุงจากด้วยฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรด สเปกโทรสโกปี, เอกซเรย์ดิฟแฟกชัน สแกนนิ่งอิเล็กตรอนไมโครสโกปี และผลการทดสอบสมบัติของผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง ได้แก่ความเข้มสี ความสว่าง ความสดใส โทนสี การต้านแบคทีเรีย ความคงทนของสีต่อแสงแดด ความคงทนของสีต่อการซักล้างและการตกติดผ้าขาว และการต้านแสงยูวี แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้าย ความเข้มสี ความสว่าง ความสดใส โทนสี ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงต่าง ๆ

ผ้าฝ้าย	ปริมาณสีที่เพิ่มขึ้น (%)	ร้อยละของการเปลี่ยนแปลง				
		K/S	L*	C	a*	b*
เปรียบเทียบกับสารปรับปรุงสังเคราะห์						
CS (syn.)	71.61	43.74	-5.68	24.02	10.28	11.92
CS(syn)-ZnO(Aldrich) composite	95.37	65.68	-1.90	13.41	5.99	6.76
ZnO NPs (biosyn.)	217.95	48.64	-10.93	26.13	0.372	20.82
ZnO NPs (chemsyn.)	242.86	63.46	-36.88	148.86	280.82	-163.35
Ag NPs (biosyn.) *** 0.004% (w/v)	98.94	18.49	-6.11	8.01	-0.72	14.38
Ag NPs (chemsyn.) *** 0.004% (w/v)	48.38	4.21	3.31	-0.71	9.83	-6.37
เปรียบเทียบการปรับปรุงผ้าฝ้ายเมื่อไม่ใช้และใช้สารเชื่อมโยง						
CS(Sigma)	84.83	84.30	-13.25	0.48	1.74	-1.51
CS(Sigma)-PEG	119.96	85.67	-12.11	17.55	6.55	9.18
ZnO NPs (Aldrich)	42.80	40.46	-2.57	-12.79	-4.89	-8.09
ZnO NPs (Aldrich)-PEG	49.39	50.63	-1.17	-5.27	-3.98	-2.23
CS(Sigma)-ZnO NPs (Aldrich)	102.91	70.99	-10.57	16.69	7.60	7.87
CS(Sigma)-ZnO NPs (Aldrich)-PEG	212.15	161.32	-18.19	44.86	20.21	19.98
Ag NPs (chemsyn.) *** 0.004% (w/v)	48.38	43.29	3.31	-0.71	9.83	-6.37
Ag NPs (chemsyn.)-PEI*** 0.004% (w/v)	122.25	94.49	-22.87	5.11	11.89	51.90

จากตารางสามารถสรุปผลการปรับปรุงผ้าฝ้ายที่มีต่อเปอร์เซ็นต์ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้ายที่เพิ่มขึ้นและความเข้มสี (K/S) ได้ดังนี้

การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงเพียงชนิดเดียว ได้แก่ ไคโตซาน (CS syn.) ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพและทางเคมี (ZnO NPs biosyn. and chemsyn.) และซิลเวอร์ อนุภาคนาโน สังเคราะห์ทางชีวภาพและทางเคมี (Ag NPs biosyn. and chemsyn.) พบว่า การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทั้งที่สังเคราะห์ทางเคมี และทางชีวภาพให้ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้ายและความเข้มสีเพิ่มขึ้นมากที่สุด ตามลำดับ และซิลเวอร์อนุภาคนาโน ทั้งที่สังเคราะห์ทางเคมี และทางชีวภาพให้ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้ายและความเข้มสีน้อยที่สุด ตามลำดับ อภิปรายได้ว่าซิงค์ อนุภาคนาโนที่ใช้ในการปรับปรุงผ้าฝ้ายมีความเข้มข้นน้อย เนื่องจากซิลเวอร์อนุภาคนาโนละลายได้ในตัวทำละลายที่สถานะของการทดลองน้อยมาก

การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงสอง หรือมากกว่าสองชนิด คือ การใช้สารปรับปรุงร่วมกัน คือไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิต (CS-ZnO composite) และไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน (CS-ZnO NPs) และการใช้สารปรับปรุงร่วมกับสารเชื่อมโยง ได้แก่ ไคโตซาน-พอลิเอทิลีนไกลคอล (CS-PEG) ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนไกลคอล (CS-ZnO NPs-PEG) และซิลเวอร์ อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีน อิมิน (Ag NPs-PEI) พบว่าการใช้สารปรับปรุงร่วมกันสองชนิดให้ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้าย และความเข้มสีเพิ่มมากขึ้นกว่าการใช้สารปรับปรุงเพียงชนิดเดียว และเมื่อมีสารเชื่อมโยงร่วมด้วยจะให้ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้าย และความเข้มสีเพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาความสว่าง (L^*) ความสดสี (C) และโทนสี (a^*, b^*) พบว่า การใช้สารปรับปรุง และการใช้สารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่ทำให้ค่าความสว่างของผ้าฝ้ายย้อมสีน้ำตาลลดลง ความสดสีของเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะสารปรับปรุงของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี อย่างไรก็ตามการใช้สารปรับปรุงและสารเชื่อมโยงในบางตัวอย่างทำให้ค่าความสดสีลดลงแต่ไม่เด่นชัดมากนัก ส่วนโทนสี พบว่าการใช้สารปรับปรุงไคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน ให้ค่าความเป็นสีแดงและค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีสารปรับปรุงยกเว้นซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน และซิลเวอร์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางเคมี ให้ค่าความเป็นสีเหลืองลดลง และเมื่อใช้สารเชื่อมโยงทั้งพอลิเอทิลีนไกลคอล และพอลิเอทิลีนอิมินจะส่งผลให้ผ้าฝ้ายมีค่าความเป็นสีแดง และค่าความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีสารเชื่อมโยง

ตารางที่ 5.3 การยับยั้งแบคทีเรีย ความคงทนต่อการซักล้างและแสงแดด และการป้องกันแสงยูวีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงต่าง ๆ

ผ้าฝ้ายปรับปรุงด้วย	สมบัติผ้าฝ้ายหลังปรับปรุง			
	เส้นผ่านศูนย์กลางของโซนาไร (mm)	ความคงทนของสีต่อการซักล้าง	ความคงทนของสีต่อแสงแดด	การป้องกันรังสียูวี
เปรียบเทียบกับสารปรับปรุงสังเคราะห์				
CS (syn.)	6.30	4/5	4/5	+
CS(syn.)-ZnO(Aldrich) composite	15.00	4/5	4/5	++
ZnO NPs (biosyn.)	1.90	3/4	4	++
ZnO NPs (chemsyn.)	1.15	4	4	++
Ag NPs (biosyn.)	0.7	4/5	4/5	+
Ag NPs (chemsyn.)	ไม่มี	4	4	+
เปรียบเทียบการปรับปรุงผ้าฝ้ายเมื่อไม่ใช้และใช้สารเชื่อมโยง				
CS(Sigma)	6.30	4/5	4	+
CS(Sigma)-PEG	9.00	4/5	4/5	++
ZnO NPs (Aldrich)	6.50	4/5	4	++
ZnO NPs (Aldrich)-PEG	9.00	4/5	4/5	+++
CS(Sigma)-ZnO NPs (Aldrich)	6.00	4/5	4	++
CS(Sigma)-ZnO NPs (Aldrich)-PEG	9.00	4/5	4/5	+++
Ag NPs (chemsyn.)	ไม่มี	4	4	+
Ag NPs (chemsyn.)-PEI	ไม่มี	4/5	4/5	++

+ หมายถึงมีสมบัติป้องกันแสงยูวีได้ดีกว่าผ้าฝ้ายไม่ปรับปรุง

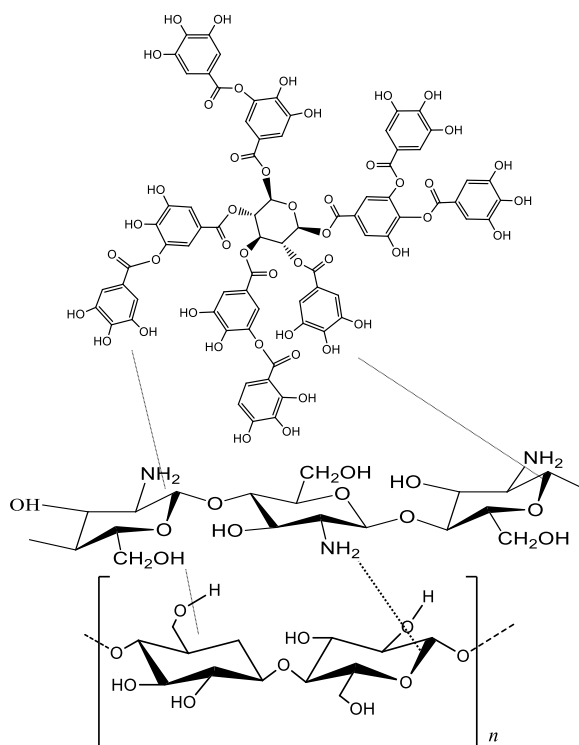
ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยโคโตซาน ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมีมีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย ในขณะที่ผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโน ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรียเนื่องจากความเข้มข้นของซิลเวอร์อนุภาคนาโนบนผ้าฝ้ายมีน้อย ยกเว้นผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่สังเคราะห์ทางชีวภาพ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีสารต้านอนุมูลอิสระของสารสกัดจากพืชที่ทำหน้าที่เป็นสารรีดิวซ์ในการสังเคราะห์ซิลเวอร์อนุภาคนาโนตกค้างอยู่ เป็นเหตุให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียเพิ่มขึ้น และเมื่อใช้สารเชื่อมโยงพอลิเอทิลีนไกลคอลร่วมกับสารปรับปรุง พบว่าผ้าฝ้ายหลังปรับปรุงยังคงมีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย และมีแนวโน้มจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งเพิ่มมากขึ้นด้วย

ความคงทนของสีต่อการซักล้าง และแสงแดด และการป้องกันแสงยูวีมีแนวโน้มเป็นไปได้ในทิศทางเดียวกัน คือผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยไคโตซาน ซึ่งคอกซ์ไฮโดรนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมี และซิลเวอร์นาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมีให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง แสงแดด และการป้องกันแสงยูวีมากกว่าเมื่อไม่ปรับปรุง เมื่อใช้สารปรับปรุงมากกว่าสองชนิด และการใช้สารเชื่อมโยงร่วมกับสารปรับปรุงทั้งพอลิเอทิลีนไกลคอล พอลิเอทิลีนอิมิน พบว่าให้ค่าความคงทนของสีต่อการซักล้าง แสงแดด และการป้องกันแสงยูวีเพิ่มมากขึ้น

งานวิจัยนี้ได้อภิปรายผลการวิจัยการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยสารปรับปรุงร่วมกับการใช้สารเชื่อมโยงที่ส่งผลให้ปริมาณสีที่ยึดติดบนผ้าฝ้าย ความเข้มสี ความคงทนต่อแสงแดดและการซักล้างเพิ่มขึ้น ดังนี้

ไคโตซานในการปรับปรุงผ้าฝ้าย

ไคโตซานเกิดการเชื่อมโยงกับเซลลูโลสของผ้าฝ้ายด้วยพันธะไฮโดรเจนผ่านหมู่ไฮดรอกซิล [22] โครงสร้างของไคโตซานกับเซลลูโลสคล้ายคลึงกันมาก ดังนั้นการเคลือบไคโตซานบนผ้าฝ้ายจะไม่ทำให้โครงสร้างเซลลูโลสของผ้าฝ้ายเปลี่ยนแปลงไป แต่จะไปทำให้ช่องว่างบนเส้นใยเซลลูโลสของผ้าฝ้ายกว้างขึ้น อีกทั้งสารละลายไคโตซานในสภาวะกรด หมู่อะมิโนในโครงสร้างของไคโตซานจะถูก protonated ได้เป็น cationic amine group (NH_3^+) มีความหนาแน่นของประจุบวกสูง สามารถจับกับประจุของสีย้อม (สารแทนนินในเส้นใยมะพร้าวแก่) ที่ผิวได้ดี [19] แสดงได้ดังภาพที่ 5.1

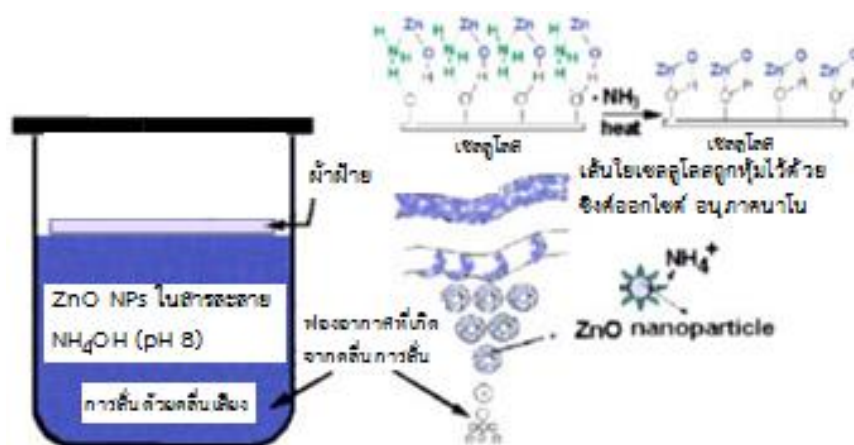


ภาพที่ 5.1 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ไคโตซาน-สีย้อม

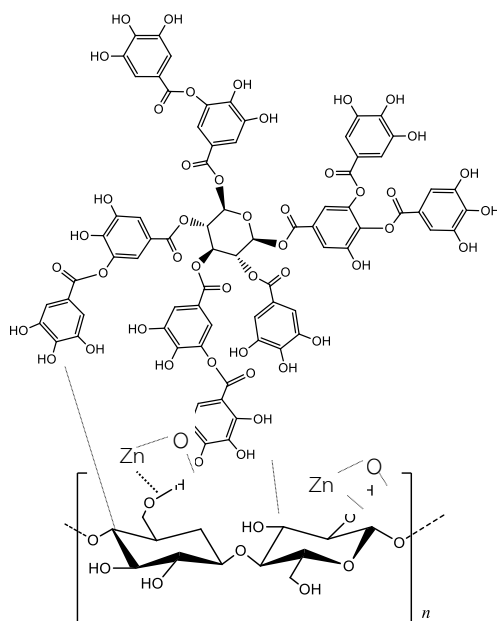
ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนสังเคราะห์ทางชีวภาพและทางเคมีในการปรับปรุงผ้าฝ้าย

การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนภายใต้การสั่นด้วยคลื่นเสียง มีกลไกดังนี้ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนกระจายตัวอยู่ในสารละลายเบสของแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ พีเอช 8 พลังงานการสั่นด้วยคลื่นเสียงทำให้เกิดฟองอากาศ ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนกระจายตัวได้ดีในสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ทำให้เกิดอันตรกิริยาระหว่างกันของอะตอมออกซิเจน และซิงค์ของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน กับไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิล (เซลลูโลส) และไนโตรเจนของแอมโมเนียมไอออน ตามลำดับ จากนั้นเมื่อให้ความร้อนก็จะมีผลสูญเสียโมเลกุลของแอมโมเนียออกไปทำให้บนพื้นผิวของเซลลูโลสมีการเกาะกันของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนที่ตำแหน่งของออกซิเจน และไฮโดรเจนของหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส ดังภาพที่ 5.2 และเมื่อย้อมสี โมเลกุลของสีจะสามารถแทรกตัวเข้ามาเกิดอันตรกิริยาได้ง่ายและมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบซิงค์ออกไซด์สังเคราะห์ทางชีวภาพ และทางเคมีพบว่าซิงค์ออกไซด์สังเคราะห์ทางเคมีมีการปนเปื้อนในปริมาณต่ำ และมีขนาดเล็กกว่าทำให้มีประสิทธิภาพในการเกาะจับสีย้อมได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์ทางชีวภาพเป็นแนวทางเลือกในการนำไปใช้แทนการสังเคราะห์ด้วยสารเคมี



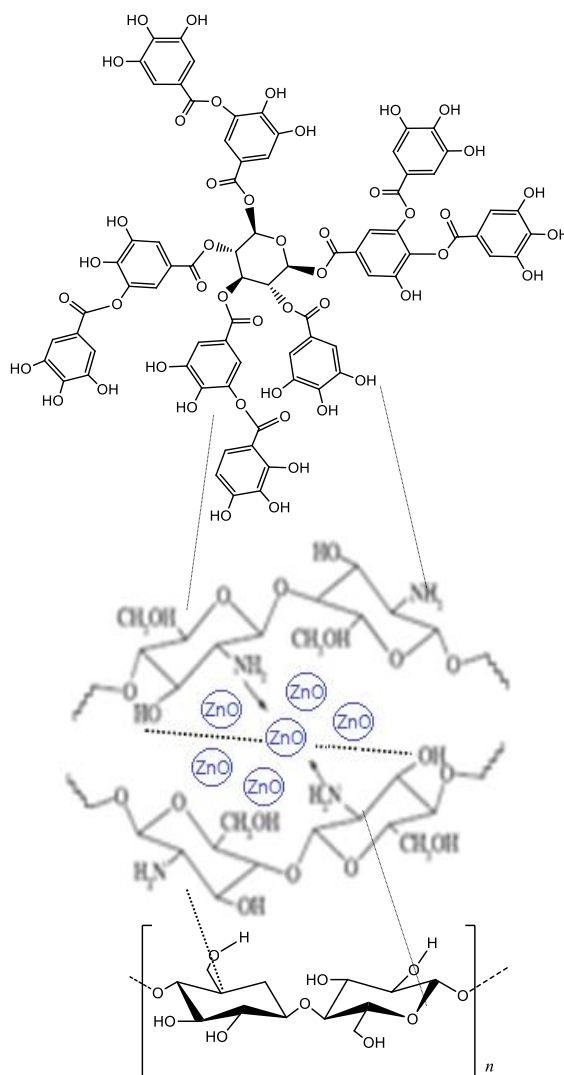
ภาพที่ 5.2 แผนภาพแสดงการเคลือบของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนบนเส้นใยเซลลูโลสโดยวิธีการสั่นแบบคลื่นเสียง [5]



ภาพที่ 5.3 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน-สีย้อม

ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ คอมโพสิตในการปรับปรุงผ้าฝ้าย

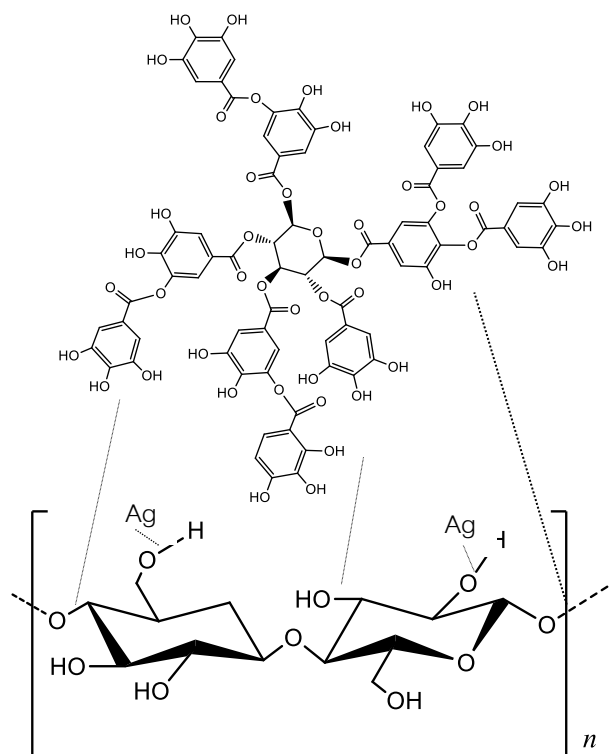
ไคโตซานมีพอลิเมอร์ที่ภายในสายโซ่มีวงแหวนขนาดใหญ่จำนวนมาก ดังนั้นจึงมีพันธะไฮโดรเจนทั้งภายในสายโซ่และระหว่างสายโซ่ของ $-OH$ และ $-NH_2$ ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการหมุนและการเคลื่อนไหว ดังนั้นเมื่อเติมซิงค์ออกไซด์เข้าไปส่งผลให้พันธะระหว่างสายโซ่อ่อนแอลง และมีการสร้างพันธะใหม่ระหว่างไคโตซานกับซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนซึ่งมีขนาดเล็ก ทำให้สายโซ่ของไคโตซานหมุนและเคลื่อนไหวได้ง่ายขึ้น [16] ทำให้โมเลกุลของสีย้อม (สารแทนนินในเส้นใยมะพร้าวแก่) ยึดติดได้ดีขึ้นด้วย แสดงดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ไคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์-สีย้อม

ซิลเวอร์อนุภาคนาโนในการปรับปรุงผ้าฝ้าย

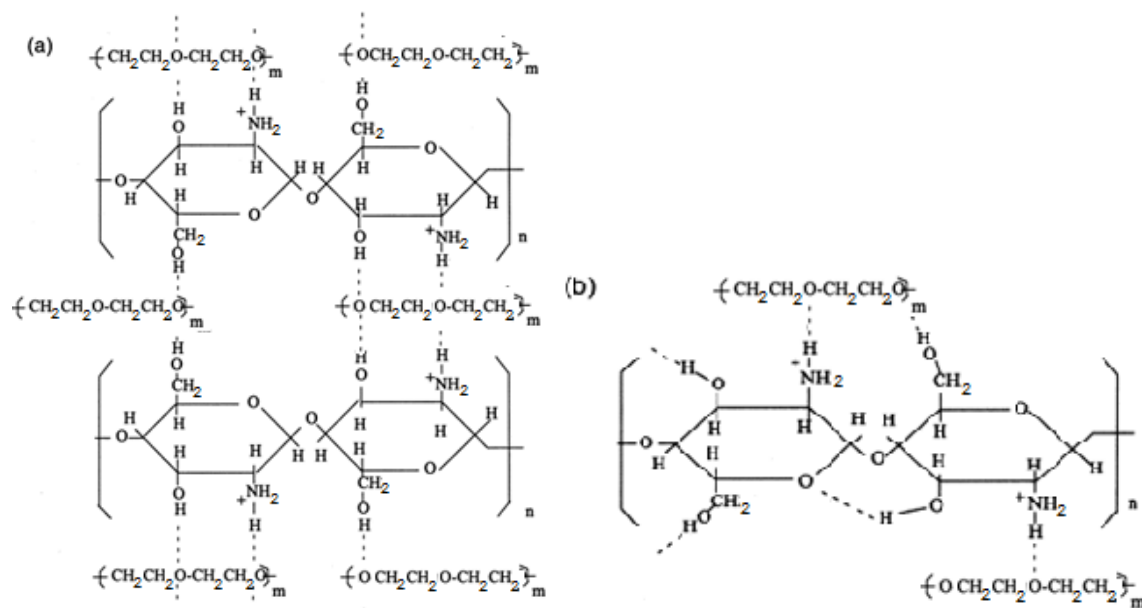
โครงสร้างโมเลกุลเซลลูโลสของผ้าฝ้ายมีหมู่ไฮดรอกซิล เกิดอันตรกิริยากับซิลเวอร์อนุภาคนาโน และสีย้อมได้ ดังภาพที่ 5.5



ภาพที่ 5.5 แผนภาพแสดงการเกิดอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ซิลเวอร์อนุภาคนาโน-สีย้อม

พอลิเอทิลีนเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซาน

การเติมพอลิเอทิลีนเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยไคโตซานมีอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างไคโตซานต่อซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็น 0.4 : 0.2% (w/v) สามารถอธิบายผลการวิจัยที่คาดว่าจะเป็นไปได้ 2 กรณีคือ 1) พอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการเพิ่มช่องว่างหรือรูพรุนของผ้าฝ้ายให้กว้างขึ้น และมีความสม่ำเสมอของช่องว่างโมเลกุลของสีย้อมจึงเข้าไปยิดเกาะได้มาก ขนาดช่องว่างที่พอเหมาะมีส่วนช่วยในการยิดเกาะของสีย้อมอย่างต่อเนื่อง ขณะที่การเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลมากเกินไปถึงแม้จะทำให้มีช่องว่างของผ้าฝ้ายมากแต่ขนาดช่องว่างกว้างมากทำให้อนุภาคของสีย้อมไม่ยิดเกาะหรือยิดเกาะน้อย เมื่อไม่เติมพอลิเอทิลีนไกลคอลจำนวนและความกว้างช่องว่างของผ้าฝ้ายไม่เพิ่มขึ้น การยิดเกาะของสีย้อมจึงไม่มากเท่ากับการใช้พอลิเอทิลีนไกลคอล และ 2) เมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอลความเข้มข้นมากมีโอกาสทำให้เกิดพันธะหรืออันตรกิริยาระหว่าง CS กับ PEG เปลี่ยนแปลงไปดังภาพ 5.6 (a) ซึ่งพบว่าความเข้มข้นของพอลิเอทิลีนไกลคอลน้อยสามารถเกิดพันธะหรืออันตรกิริยากับไคโตซานได้มากกว่าและยังคงมีอะตอมที่มีอิเล็กตรอนคู่โดดเดี่ยวดังภาพที่ 5.6(b) ขณะที่เมื่อมีพอลิเอทิลีนมากการเกิดพันธะหรืออันตรกิริยากับไคโตซานมีน้อยและยังเกิดในลักษณะของการปิดวง ดังนั้นผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงเมื่อมีการเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล มากจึงยิดติดกับโมเลกุลของสีย้อมได้น้อยกว่า [7]



พอลิเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นต่ำ

พอลิเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นสูง

ภาพที่ 5.6 พันธะระหว่างไคโตซานกับพอลิเอทิลีนไกลคอลที่ความเข้มข้นต่ำและความเข้มข้นสูง

พอลิเอทิลีนเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน

การเติมพอลิเอทิลีนเป็นสารเชื่อมโยงในการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน มีอัตราส่วนที่เหมาะสมของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนต่อพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็น 2 : 0.4% w/v สามารถอธิบายผลการวิจัยที่คาดว่าจะเป็นไปได้คือพอลิเอทิลีนไกลคอลจะทำหน้าที่ในการป้องกันหรือขัดขวางการรวมตัวกันของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนทำให้ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนมีประสิทธิภาพในการทำงานเต็มที่

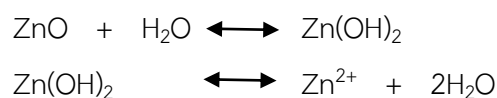
การรวมตัวของซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน สามารถเกิดขึ้นได้ด้วยเหตุผลดังนี้

1) ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเกิดการรวมตัวกับอนุภาคนาโนอื่นที่มีพลังงานพื้นผิวสูง ในตัวทำละลายอินทรีย์

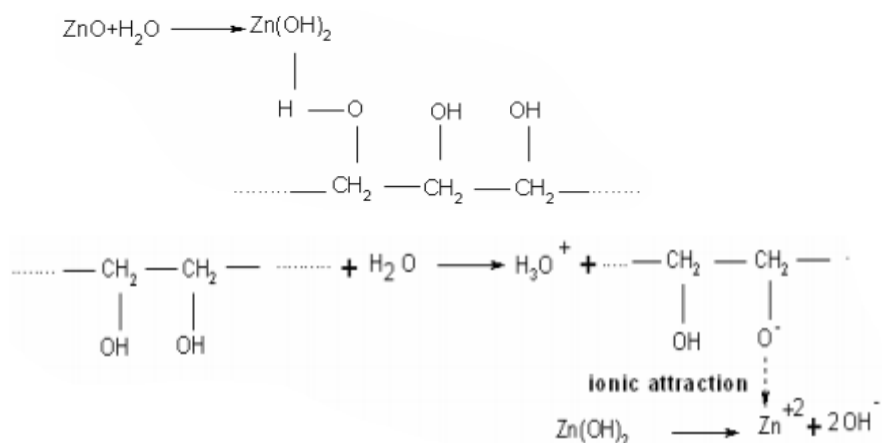
2) ซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเกิดการสร้างพันธะกันเองของ Zn-O-Zn ในตัวทำละลายน้ำ

การทำหน้าที่ของพอลิเอทิลีนไกลคอลในระบบการปรับปรุงผ้าฝ้ายต่าง แสดงได้ดังนี้

การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วย ZnO-PEG อธิบายได้ว่าซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนในน้ำ เกิดสมการ 2 สมการพร้อมกัน ดังนี้

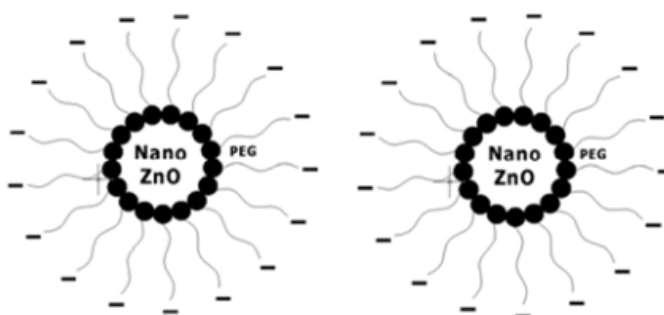


และเมื่อเติมพอลิเอทิลีนไกลคอล ในตัวทำละลายที่เป็นน้ำจะเกิดพันธะไฮโดรเจนระหว่าง Zn(OH)_2 กับ PEG และเกิดอันตรกิริยาของไอออน (ionic attraction) ระหว่างของ PEG กับ H_2O ดังภาพที่ 5.7



ภาพที่ 5.7 พันธะในระบบที่มี ZnO-PEG ในตัวทำละลายน้ำ และพันธะไฮโดรเจนระหว่าง Zn(OH)_2 กับ PEG และอันตรกิริยาของไอออนระหว่างของ PEG กับ H_2O

จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นข้างต้น ปลายสายโซ่พอลิเอทิลีนไกลคอลลงจะเกิดการผลักกันทำให้ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนซึ่งเกิดพันธะหรือเกิดอันตรกิริยาอยู่กับพอลิเอทิลีนไกลคอลอยู่ห่างกัน ดังภาพที่ 5.8



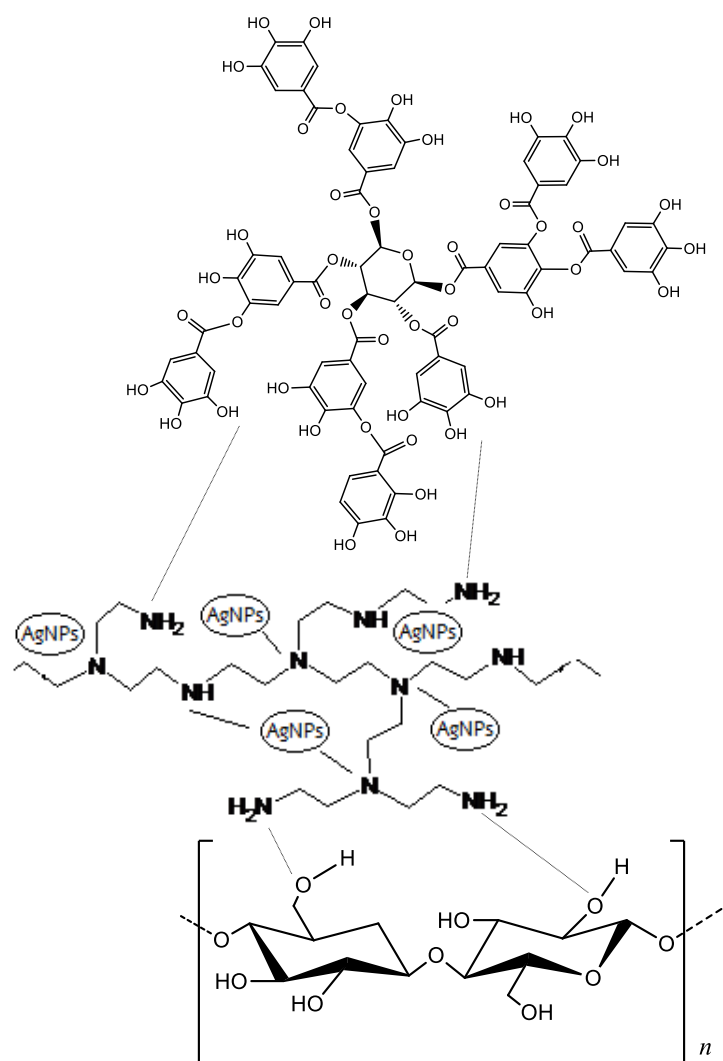
ภาพที่ 5.8 โมเดลแสดงการผลักกันด้วยแรงทางไฟฟ้า [9]

แต่ด้วยพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการเพิ่มช่องว่างหรือรูพรุนของผ้าฝ้ายให้กว้างขึ้น และมีความสม่ำเสมอของช่องว่าง ดังกล่าวไว้แล้วข้างต้น ดังนั้นโมเลกุลของสีย้อมจึงยังคงไปยึดเกาะกับผ้าฝ้ายได้มากถึงแม้ว่าจะมีการผลักกันของไอออนลบระหว่างพอลิเอทิลีนไกลคอลกับสีย้อม(สารแทนนินในเส้นใยมะพร้าวแก่)

ในการพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมของพอลิเอทิลีนไกลคอลต่อไคโตซานมากกว่าปริมาณของพอลิเอทิลีนไกลคอลต่อซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโน อภิปรายได้ว่าทั้งไคโตซาน และพอลิเอทิลีนไกลคอลเป็นพอลิเมอร์ที่มีสายโซ่ยาวมีน้ำหนักโมเลกุลมาก ดังนั้นในการเกิดพันธะจึงใช้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ซิงค์ออกไซด์อนุภาคนาโนเป็นอะตอมขนาดเล็กระดับนาโนมีพื้นที่สัมผัสมาก ดังนั้นในการเกิดพันธะหรืออันตรกิริยากับพอลิเอทิลีนไกลคอล จึงต้องใช้ในปริมาณที่มากกว่า

ซิลเวอร์อนุภาคนาโนร่วมกับพอลิเอทิลีนอิมินปรับปรุงผ้าฝ้าย

โมเลกุลของพอลิเอทิลีนอิมินมีกลุ่มอะมิโนจำนวนมากในสายโซ่สามารถสร้างพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์กับซิลเวอร์อนุภาคนาโน และเป็นสารลดแรงตึงผิวช่วยให้เกิดกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอขัดขวางการรวมเป็นกลุ่มของซิลเวอร์อนุภาคนาโน นอกจากนี้พอลิเอทิลีนอิมินยังทำหน้าที่ยิดเกาะระหว่างสีย้อมกับผ้าฝ้าย โดยยิดเกาะกันด้วยพันธะไฮโดรเจนระหว่างอะตอมของไฮโดรเจนของเซลลูโลสกับอะตอมของออกซิเจนของแทนนิน (สารให้สีน้ำตาลจากเส้นใยมะพร้าวแก่) มีพลังงานในการยิดเกาะ เท่ากับ 51.838 kcal/mol ซึ่งจะมีค่าพลังงานที่มากกว่าการยิดเกาะกันของแทนนินกับเซลลูโลสโดยตรง ดังภาพที่ 5.9



ภาพที่ 5.9 แผนภาพอันตรกิริยาระหว่าง ผ้าฝ้าย-ซิลเวอร์อนุภาคนาโน-พอลิเอทิลีนอิมิน-สีย้อม [16]

อธิบายการเกิดกลไกในการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารปรับปรุง และเมื่อใช้สารเชื่อมโยงร่วมด้วย ดังนี้

ซิงค์ออกไซด์ มีกลไกในการยับยั้งแบคทีเรียเป็นผลมาจากกระบวนการ photocatalysis ซึ่งซิงค์ออกไซด์เมื่อได้รับแสง (พลังงาน 3.37 eV) ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้นจากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบตัวนำทำให้เกิดสภาวะการขาดอิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ เรียกว่า โฮล (h^+) เมื่อโฮลทำปฏิกิริยากับ OH^- บนพื้นผิวของซิงค์ ออกไซด์ เกิดเป็นอนุมูลอิสระของไฮดรอกซิล ซูเปอร์ออกไซด์ แอนไอออน และอนุมูลอิสระของเปอร์ไฮดรอกซิล ซึ่งอนุมูลอิสระเหล่านี้เป็นตัวออกซิไดส์ที่แรง ทำลายเซลล์ของแบคทีเรีย นำไปสู่การทำลายโครงสร้างภายใน และในที่สุดแบคทีเรียก็จะตาย [16]

โคโคซาน มีกลไกในการยับยั้งแบคทีเรียคือเกิดปฏิกิริยาระหว่างโคโคซานที่มีประจุบวกมากกับประจุลบบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย ยับยั้งการเกิดเมตาบอริซึมของเซลล์ หรือไปยับยั้งการทำงานของ mRNA ทำให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียชะงักลง หรือกรณีที่โคโคซานสายสั้น ๆ จะมีสมบัติในการเคลื่อนที่ผ่านพลังงานเซลล์เข้าไปจับกับสารโพลีเมอร์ที่อยู่ในเซลล์แบคทีเรีย ซึ่งมีผลต่อปฏิกิริยาในเซลล์ ทำให้การสังเคราะห์สารต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรียหยุดลง

ซิลเวอร์ มีกลไกในการยับยั้งแบคทีเรียคือซิลเวอร์อนุภาคนาโนในสารละลายน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นซิลเวอร์ ไอออนซึ่งมีประจุบวกเข้าไปจับกับหมู่ซัลเฟอร์ที่มีประจุลบของโปรตีนบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย การจับกันทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียเกิดช่องว่าง ทำให้ของเหลวภายในเซลล์ไหลออกจากแบคทีเรีย ส่งผลให้แบคทีเรียตายในที่สุด หรือไปจับกับดีเอ็นเอ และอาร์เอ็นเอของแบคทีเรียจึงไม่สามารถแบ่งตัวได้ ทำให้แบคทีเรียตาย

ดังนั้นการผ้าฝ้ายที่มีสารปรับปรุงมากกว่า 1 ชนิดเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย

บรรณานุกรม

- [1] เณศรา แก้วคง. 2557. **การพัฒนาผ้ายับยั้งแบคทีเรียบนวัสดุสิ่งทอ**. ปรินญาวิทยาสาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเคมีนวัตกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- [2] ปณิธาน สุระยศ. 2552. **ผลของสารช่วยยึดติดต่อความคงทนของสีและการดูดซับสีย้อมธรรมชาติที่สกัดจากผลมะกอกคัตบนเส้นด้ายฝ้าย**. ปรินญาวิทยาสาสตรมหาบัณฑิต. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [3] ยูวันดา เอี่ยมเผ่าจีน และ ปุณมา ศิริพันธ์โนน. 2552. **การปลูกอนุภาคซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายที่ปรับปรุงด้วยพอลิเอสไธลีนซัลโฟนิคแอซิดและสมบัติการป้องกันรังสียูวี**. **วารสารวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น** 39(3): 459-465.
- [4] อภิวัฒน์ เพ็ชรสหาย, เขมฤทัย ถามะพัฒน์, และนพดล นันทวงศ์. 2559. **การสังเคราะห์คอลลอยด์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมสำหรับการตรวจวัด โดยใช้พื้นผิวขยายสัญญาณรามาน**. **วารสารวิจัยราชภัฏพระนคร**.
- [5] Abeer, M. A. 2016. Incorporation of nano-metal particles with paper matrices. **Interdisciplinary Journal of Chemistry** 1(2): 36-46.
- [6] Vilchis-Nestor, A.R., Sanchez-Mendieta,V., Camacho-López, M.A.,Gómez-Espinosa, R.M., Camacho-López, M.A. and Arenas-Alatorre, J.A. 2008. Solventless synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using Camellia sinensis extract. **Materials Letters** 62: 3103- 3105.
- [7] Colleoni, C., Massafra, M.R. and Rosace G. 2012. Photocatalytic properties and optical characterization of cotton fabric coated via sol-gel with non-crystalline TiO₂ modified with poly(ethylene glycol). **Surface & Coatings Technology** 207: 79-88.
- [8] Yadav, A. and Vigneshwaran, I.B. 2006. Functional finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles. **Mater. Sci.** 29: 641-645.
- [9] Nabiyouni, G., Barati, A. and Saadat, M. 2011. Surface Adsorption of Polyethylene Glycol and Polyvinyl Alcohol with Variable Molecular Weights on Zinc Oxide Nanoparticles. **Iranian Journal of Chemical Engineering**. 8: 1.
- [10] H.A. Salam, P. Rajiv, M. Kamaraj, P. Jagadeeswaran, S. Gunalan and R. Sivaraj. 2012. **Plants: Green route for nanoparticle synthesis**. *Int. Res. J. Biol. Sci.* 1,85-90.

- [11] Dhineshababu, I.N.R. and Rajendran, V. 2015. Antibacterial activity of hybrid chitosan– cupric oxide nanoparticles on cotton fabric. **Nanobiotechnology. IET Nanobiotechnol** 1–7.
- [12] Khaled, F., El-tahlawy, Magda, A., El-bendary, Adel, Elhendawy, G. Samuel and Hudson, M. 2005. The antimicrobial activity of cotton fabrics treated with different crosslinking agents and chitosan. **Carbohydrate Polymers**, 60: 421–430.
- [13] Chandrika, K.R., Mayi, P.K. and Kumar, R.V.S.S.N.R. 2012. Role of nanoparticles in enhancing the antibacterial activity of antibiotics. **Asian. J. Pharm. Clin. Res.** 5: 97-99.
- [14] Mavani, K. and Shah, M. 2013. Synthesis of Silver Nanoparticles by using Sodium Borohydride as a Reducing Agent. **International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)** 2.
- [15] Rajendran, K. and Sivalingam, T. 2013. Industrial method of cotton fabric finishing with chitosan-ZnO composite for anti-bacterial and thermal stability. **Industrial crops and products**. 47: 160-167.
- [16] Li-Hua Li, Jian-Cheng Deng, Hui-Ren Deng, Zi-Ling Liu and Ling Xin. 2010. Synthesis and characterization of chitosan/ZnO nanoparticle composite membranes. **Carbohydrate Research**. 345: 994–998.
- [17] Zahrana, M.K., Hanan B. A. and El-Rafie, M.H. 2014. Surface modification of cotton fabrics for antibacterial application by coating with AgNPs–alginate composite. **Carbohydrate Polymers** 108: 145–152.
- [18] Araina, R. A., Khatri, Z., Memon M. H. and Ick-Soo, K. 2013. Antibacterial property and characterization of cotton fabric treated with chitosan/AgCl–TiO₂ colloid. **Carbohydrate Polymers** 96: 326– 331.
- [19] Goy, R. C., de Britto, D. and Assis, O.B. G. A review of the antimicrobial activity of chitosan. *Polímeros* Print version ISSN 0104-1428 On-line version ISSN 1678-5169.
- [20] Pelgrift, R.Y. and Friedman, A.J. 2013. Nanotechnology as a therapeutics tool to combat microbial resistance. **Adv. Drug Deliv. Rev.** 65: 1803-815.
- [21] Bhuiyan, M.A.R. Abu Shaid, M.M., Bashar, P.H. and Hannan, M.A. 2013. A Novel Approach of Dyeing Jute Fiber with Reactive Dye after Treating with Chitosan. **Open Journal of Organic Polymer Materials** 3: 87-91.

- [22] Bajpai, S.K., Chand, N. and Ahujaa, S. 2015. Investigation of curcumin release from chitosan/cellulose micro crystals (CMC) antimicrobial films. **International Journal of Biological Macromolecules**. 79: 440–448.
- [23] Phanichphant, S. and Ounnunkad, S. 2011. **Antimicrobial Nanomaterials in the Textile**. Industry Materials Science Research Center and Department of Chemistry, Faculty of Science Chiang Mai University, Chiang Mai, Thailand.
- [24] Giri Dev, V.R., Venugopal, J., Sudha, S., Deepika. G. and Ramakrishna, S. 2009. Dyeing and antimicrobial characteristics of Chitosan treated wool fabrics with henna dye. **Carbohydrate polymers** 75: 646-650.
- [25] Jiang, W.H., and Han, S.J. 1999. **The interactions of chitosan–poly(ethylene glycol) in the presence of added salt in water: viscosity effect**. **European Polymer Journal**. 35: 2079-2085.
- [26] Liu, Y. and Kim, H. 2012. Characterization and antibacterial properties of genipin-crosslinked chitosan/poly(ethyleneglycol)/ZnO/Ag nanocomposites. **Carbohydrate Polymers** 89: 111–116.
- [27] Song, Z. H., Cui, Y., Zhu, W., Du, K. and Yao, S. 2014. Porous Spherical Cellulose Carrier Modified with Polyethyleneimine and Its Adsorption for Cr(III) and Fe(III) from Aqueous Solutions. **Chinese Journal of Chemical Engineering** 22:984–990.

- 2552 ปริมาณยาฆ่าแมลงที่พบในบริเวณอ่าวนครศรีธรรมราช (วช.)
- 2556 การพัฒนากระบวนการย้อมสีธรรมชาติบนเส้นใยฝ้ายเพื่อสร้างบทเรียนประกอบ
รายวิชาเคมีสีย้อมและการย้อมสี (วช.)
- 2558 การปรับปรุงผ้าฝ้ายย้อมสีธรรมชาติด้วยโคโตะซาน ซิงค์ออกไซด์ และซิลเวอร์นาโนภาคนาโนโดยใช้
วิธีทางเคมีสีเขียว (วช.)
- 2560 การพัฒนาผ้าย้อมครามจังหวัดสกลนครสู่ตลาดโลก (วช.)