ผลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อสมบัติการให้สี การต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหม

นายพรชีวิน บรรจง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF SILVER NANOPARTICLES ON COLORING, ANTIBACTERIAL AND UV PROTECTION PROPERTIES ON SILK FABRICS

Mr. Pornchiwin Banjong

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Applied Polymer Science and Textile Technology
Department of Materials Science
FACULTY OF SCIENCE
Chulalongkorn University
Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อสมบัติการให้สี การต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหม
โดย	นายพรชีวิน บรรจง
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.พรนภา สุจริตวรกุล

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อาจองค์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรนภา สุจริตวรกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พรชีวิน บรรจง : ผลของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อสมบัติการให้สี การต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหม. (EFFECTS OF SILVER NANOPARTICLES ON COLORING, ANTIBACTERIAL AND UV PROTECTION PROPERTIES ON SILK FABRICS) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.พรนภา สุจริตวรกุล

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทูต่อเฉดสี ความสม่ำเสมอของสี ความคงทนของสีต่อการซัก สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี นอกจากนี้ยังศึกษาผลของการใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกและผลของการย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีต่อสมบัติต่าง ๆ ที่ศึกษาด้วยเช่นกัน จากการศึกษาพบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่ให้สมบัติต่าง ๆ ที่ศึกษาบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีดีที่สุดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทูบนผ้าไหมคือ สภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักผ้า อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 อุณหภูมิในการทรีต 90 องศาเซลเซียส ที่เวลาในการทรีต 90 หรือ 120 นาที ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 จากผลการทดลองพบว่าผ้าไหมที่ได้จากการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีเปลี่ยนจากเฉดสีขาวเป็นเฉดสีเทาอ่อนถึงเฉดสีน้ำตาลเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาลเหลืองเข้ม ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรตและอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่ใช้ ถ้าใช้ความเข้มข้นสูงและอัตราส่วนที่สูงจะได้ผ้าไหมที่มีเฉดสีน้ำตาลเข้มเพิ่มมากขึ้น อุณหภูมิและเวลาในการทรีตผ้าไหมก็ช่วยในการเพิ่มเฉดสีให้เข้มขึ้นด้วยเช่นกันและยังช่วยเพิ่มความสม่ำเสมอข องสีบนผ้าไหมด้วย ผลของการซักล้าง 20 ครั้ง พบว่าผ้าไหมที่เกิดจากการให้สีด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีความคงทนของสีต่อการซักล้างที่ต่ำมาก ความสามารถในการป้องกันรังสียูวียังคงรักษาได้ในระดับดี และความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย *S. aureus.* ลดลงมาเหลือประมาณร้อยละ 50 ส่วนผลการใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกและการย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีเพื่อช่วยในการปรับปรุงสมบัติที่ศึกษาให้ดีขึ้น สรุปได้ว่าการย้อมทับด้วยสีแอซิดช่วยปรับปรุงความคงทนของสีต่อการซักล้าง ความสามารถในการป้องกันกันรังสียูวี และสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย *S. aureus.* ได้ดีขึ้นมากกว่าการใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิก แต่วิธีการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเฉดสีของผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีเปลี่ยนเป็นสีเขียวซึ่งเกิดจากการผสมของสี ส่วนการใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกไม่มีผลกระทบต่อเฉดสีบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2564	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....
		ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

6272018123 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY
KEYWORD:

Pornchiwin Banjong : EFFECTS OF SILVER NANOPARTICLES ON COLORING, ANTIBACTERIAL AND UV PROTECTION PROPERTIES ON SILK FABRICS. Advisor: Assoc. Prof. SIRIWAN KITTINAOVARAT, Ph.D. Co-advisor: Assoc. Prof. PORNAPA SUJARIDWORAKUN, Ph.D.

This research studied the effects of different factors used in an in-situ method for forming colored silver nanoparticles (AgNP) on the properties of silk fabric; namely color shading, color strength, relative unlevelness index color fastness to washing, antibacterial and UV protection properties. In addition, improvement with an acrylic binder and post-blue acid dyeing on the mentioned properties of the obtained AgNP-treated silk fabric were also investigated. The results found that the optimum condition for treatment by the in-situ method was 2.0%owf of silver nitrate ($AgNO_3$), $AgNO_3$ to trisodium citrate (TSC) ratio at 1:3, exhaustion treatment at 90°C and time of treatment at 90 min or 120 min at pH 4.0. The results of AgNP-treated silk fabric obtained at the optimum condition showed that the color shading turned from bright white to light yellowish-brown and to deep yellowish-brown depending on the concentration of $AgNO_3$ and the ratio of $AgNO_3$ to TSC. The higher concentration of those two factors, the higher the dark brown shade on the AgNP-treated silk fabric. Moreover, temperature and time of treatment in the in-situ forming method also helped to improve the deepness of color shading and decrease relative unlevelness index of the AgNP-treated silk fabric. After 20 washes, the results showed that the color fastness to washing of AgNP-treated silk fabric was rated low. Antibacterial activity against *S. aureus.* of AgNP-treated silk fabric decreased to 50% of bacterial reduction, but UV protection ability was still in a good level. Improvement with the acrylic binder and post-blue acid dyeing treatments on the AgNP-treated silk fabrics showed that the post-blue acid dyeing treatment improved the color fastness to washing, UV protection, and antibacterial activity against *S. aureus* much better than those of acrylic binder. However, the post-blue acid dyeing treatment affected a shade change on the AgNP-treated silk fabrics, turning from deep yellowish-brown to deep greenish-yellow. On the contrary, the shade change was not detected when using the acrylic binder.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Applied Polymer Science and Textile Technology	Student's Signature .....
Academic Year:	2021	Advisor's Signature .....
		Co-advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องด้วยผู้วิจัยได้รับคำแนะนำ ความช่วยเหลือและแนวทางแก้ไขปัญหา ในงานวิจัยและการเขียนวิทยานิพนธ์จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม รองศาสตราจารย์ ดร.พรนภา สุจริตวรกุล ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบคุณศาสตราจารย์ ดร.ดวงดาว อาจองค์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ และ รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์ ที่สละเวลามาเป็นกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์จนสมบูรณ์

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้ความรู้และสนับสนุนการใช้เครื่องมือ และสถานที่ในการทำงานวิจัย และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการที่ให้ความช่วยเหลือด้านเอกสารธุรการเป็นอย่างดีตลอดการวิจัย

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณบิดา มารดา เพื่อน ๆ พี่ๆ และน้อง ๆ ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ให้สำเร็จ

พรชีวิน บรรจง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฏ

สารบัญรูปภาพ ..... ต

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

บทที่ 2 วารสารปริทรรศน์ 5

2.1 ไหม (Silk) 5

2.1.1 วัฏจักรชีวิตของหนอนไหม 5

2.1.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของเส้นไหม 7

2.1.3 สมบัติทางกายภาพของเส้นไหม 10

2.1.4 สมบัติทางเคมีของเส้นไหม 10

2.1.5 ประโยชน์ของเส้นใยไหมทางด้านสิ่งทอ 11

2.2 อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles) 12

2.2.1 สมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 13

2.2.2 สมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ 14

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3 แนวทางการตกแต่งวัสดุนาโนลงบนสิ่งทอ 16
2.3.1 การทำเส้นใยนาโนคอมโพสิตที่มีสี (Colored nanocomposite fibers) 16
2.3.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีในรูปของสารละลายคอลลอย์ (Colloid solution) 16
2.3.3 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีแบบอินซิทู (In-situ formation) 17
2.4 สีย้อมแอซิด (acid dye) 18
2.4.1 โครงสร้างของสีแอซิด 19
2.4.2 ประเภทของสีแอซิดและการย้อมบนเส้นใยขนสัตว์ 19
2.4.3 สมบัติความคงทนของสีแอซิด 21
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 21
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย 25
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 25
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 26
3.2.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง 26
3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 26
3.3 วิธีการทดลอง 30
3.3.1 กระบวนการทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 30
3.3.2 การผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิกบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 32
3.3.3 กระบวนการย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 32
3.4 การวิเคราะห์ผลและทดสอบสมบัติ 33
3.4.1 การทดสอบสีและความเข้มสี 33
3.4.1.1 การทดสอบสี ระบบสี CIE L*a*b* (CIELAB) 33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.1.2 การทดสอบความเข้มสี (K/S) 34
3.4.2 การทดสอบความสม่ำเสมอของสี (RUI) 34
3.4.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (Color fastness to washing)..... 35
3.4.4 การทดสอบความแข็งแรงของผ้าจากค่าแรงดึงขาด 37
3.4.5 การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าจากค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (Flexural rigidity). 37
3.4.6 การวิเคราะห์พื้นผิวผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 38
3.4.7 การทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี (UV protection)..... 38
3.4.8 การทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย 39
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง 40
4.1 ผลของเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีของผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโน ซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 40
4.1.1 ผลของเฉดสี..... 40
4.1.3 ผลของความสม่ำเสมอของสี (RUI)..... 53
4.2 ผลของค่าพีเอชในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูต่อเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหม..... 59
4.2.1 ผลของเฉดสี..... 59
4.2.2 ผลของความของเข้มสี (K/S)..... 63
4.2.3 ผลของความสม่ำเสมอของสี (RUI)..... 65
4.2.4 ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 68
4.2.5 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังผ่านการซักล้างผ้า 20 รอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้เทคนิค FESEM..... 73
4.2.6 ผลการทดสอบการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ผ่านให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู..... 76

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.7 ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 77

4.3 ผลของเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 80

4.3.1 ผลของเฉดสี 80

4.3.2 ผลของความเข้มของสี (K/S) 82

4.3.3 ผลของความสม่ำเสมอของสี (RUI) 83

4.3.4 ผลการทดสอบความแข็งกระด้างจากค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูทั้งก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 84

4.3.5 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าไหมที่ยังไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วย สารยึดติดชนิดอะคริลิก 86

4.3.6 ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 89

4.3.7 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 20 รอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้เทคนิค FESEM 94

4.3.8 ผลการทดสอบการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ผ่านให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 97

4.3.9 ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 98

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4 ผลของเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีของผ้าไหมที่ผ่านการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 100

4.4.1 ผลของเฉดสี 100

4.4.2 ผลของค่าความเข้มของสี (K/S) 101

4.4.3 ผลของความสม่ำเสมอของสี (RUI) 102

4.4.4 ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 103

4.4.5 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน และผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังการซักล้างผ้า 20 รอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้เทคนิค FESEM 111

4.4.6 ผลการทดสอบการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 115

4.4.7 ผลการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 116

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 119

5.1 สรุปผลการทดลอง 119

5.2 ข้อเสนอแนะ 121

บรรณานุกรม 122

ภาคผนวก ก 126

ภาคผนวก ข 127

ภาคผนวก ค 131

ประวัติผู้เขียน 135

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักกรดอะมิโนของไฟโบรอินและเซริซิน [9] 8

ตารางที่ 2.2 สมบัติของเงิน (Silver) [18] 13

ตารางที่ 2.3 สมบัติของสีแอซิดประเภทต่าง ๆ [23] 20

ตารางที่ 3.1 ปริมาณและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสีย้อมแอซิด 33

ตารางที่ 3.2 ตารางการแปรความหมายของค่า Relative unlevelness index (RUI) [33] 35

ตารางที่ 3.3 ระดับค่าความคงทนของสี 36

ตารางที่ 3.4 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวี [34] 39

ตารางที่ 4.1 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 %owf 41

ตารางที่ 4.2 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 %owf 42

ตารางที่ 4.3 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.5 %owf 43

ตารางที่ 4.4 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.5 %owf 44

ตารางที่ 4.5 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf 46

ตารางที่ 4.6 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf 47

ตารางที่ 4.7 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 %owf 55

ตารางที่ 4.8 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.5 %owf 56

ตารางที่ 4.9 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf 57

ตารางที่ 4.10 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 5.6 และ 8.0 60

ตารางที่ 4.11 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0..... 61

ตารางที่ 4.12 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5.6..... 62

ตารางที่ 4.13 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8.0..... 62

ตารางที่ 4.14 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 66

ตารางที่ 4.15 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5.6 66

ตารางที่ 4.16 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8.0 67

ตารางที่ 4.17 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 69

ตารางที่ 4.18 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 70

ตารางที่ 4.19 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 72

ตารางที่ 4.20 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 81

ตารางที่ 4.21 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 81

ตารางที่ 4.22 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 84

ตารางที่ 4.23 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 86

ตารางที่ 4.24 ค่าแรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 88

ตารางที่ 4.25 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.26 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิที่สภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 91

ตารางที่ 4.27 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 92

ตารางที่ 4.28 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลาย ซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาต่างกัน ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน 3.0 %owf 101

ตารางที่ 4.29 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาต่างกัน ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน 3.0 %owf 101

ตารางที่ 4.30 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาต่างกัน ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน 3.0 %owf 103

ตารางที่ 4.31 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 104

ตารางที่ 4.32 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 105

ตารางที่ 4.33 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.34 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 108

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักผ้าไหมต่อพื้นที่ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D-3776 126

ตารางที่ ข.1 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต 127

ตารางที่ ข.2 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 1 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 128

ตารางที่ ข.3 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 128

ตารางที่ ข.4 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 2 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 129

ตารางที่ ข.5 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 129

ตารางที่ ข.6 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 3 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 130

ตารางที่ ข.7 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 130

ตารางที่ ค.1 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต 131

ตารางที่ ค.2 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 1 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 132

ตารางที่ ค.3 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 132

ตารางที่ ค.4 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 2 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 133

ตารางที่ ค.5 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 133

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.6 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 3 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 134

ตารางที่ ค.7 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 134

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 วัฏจักรชีวิตของหนอนไหม [3] 6

รูปที่ 2.2 ภาพเส้นไหม ภาพ (ก) ภาพภาคตัดขวางและภาพ (ข) ภาพตามยาวของไหม [7] 7

รูปที่ 2.3 ภาพลักษณะของเส้นใยไหมที่เคลือบด้วยกาวไหม [8] 7

รูปที่ 2.4 องค์ประกอบพื้นฐานของกรดอะมิโน 9

รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยไหมส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน [11] 9

รูปที่ 2.6 ลักษณะ Beta-configuration ของไหม [10] 10

รูปที่ 2.7 การเกิดปรากฏการณ์ Localized Surface plasmon Resonance [20] 14

รูปที่ 2.8 กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [21] 15

รูปที่ 2.9 การทำเส้นใยนาโนคอมโพสิตที่มีสี (Colored nanocomposite fibers) 16

รูปที่ 2.10 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีในรูปของสารละลายคอลลอย์ (Colloid solution) 17

รูปที่ 2.11 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีแบบอินซิทู (In-situ formation) 18

รูปที่ 2.12 กลไกการย้อมสีแอซิดบนเส้นใยโปรตีน 18

รูปที่ 2.13 สมบัติของสีแอซิดเปรียบเทียบระหว่างสีแต่ละกลุ่ม [23] 20

รูปที่ 3.1 เครื่องย้อมผ้าแบบ exhaustion ยี่ห้อ Labtec 26

รูปที่ 3.2 เครื่องย้อมผ้าแบบจุ่ม ยี่ห้อ Ugolini 27

รูปที่ 3.3 เครื่องบีบอัด 27

รูปที่ 3.4 เครื่องอบผนึกผ้า ยี่ห้อ Rapid 28

รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบการวัดสีผ้า ยี่ห้อ Macbeth Color-Eye 7000 28

รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างของผ้า ยี่ห้อ SDL Atlas 28

รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้า ยี่ห้อ Tinius Olsen 29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.8 ตู้แสงมาตรฐาน ยี่ห้อ VeriVide 29

รูปที่ 3.9 เครื่อง UV-vis spectrophotometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น LAMBDA 35 30

รูปที่ 3.10 กราฟแสดงกระบวนการทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู..... 31

รูปที่ 3.11 กราฟแสดงกระบวนการสำหรับการย้อมสีแอซิดทับบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู 33

รูปที่ 3.12 เกรย์สเกลสำหรับเทียบสีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการซักล้าง 36

รูปที่ 4.1 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:1 (ก) อัตราส่วน 1:2 (ข) และอัตราส่วน 1:3 (ค) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ซ้าย) และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ขวา) 50

รูปที่ 4.2 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.5 %owf ที่อัตราส่วน 1:1 (ก) อัตราส่วน 1:2 (ข) และอัตราส่วน 1:3 (ค) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ซ้าย) และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ขวา) 51

รูปที่ 4.3 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:1 (ก) อัตราส่วน 1:2 (ข) และอัตราส่วน 1:3 (ค) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ซ้าย) และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ขวา) 53

รูปที่ 4.4 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:1 ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกัน 63

รูปที่ 4.5 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:2 ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกัน 64

รูปที่ 4.6 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:3 ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกัน 64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.7 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 69

รูปที่ 4.8 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 70

รูปที่ 4.9 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิที่สภาวะที่ 3 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 71

รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา) 74

รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 74

รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 75

รูปที่ 4.13 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 76

รูปที่ 4.14 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ก่อนและหลังการซักล้าง 20 รอบ 77

รูปที่ 4.15 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีตที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ก) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ข)..... 78

รูปที่ 4.16 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนการซักล้าง (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{0} (ขวา) และหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-1} (ขวา) .. 79

รูปที่ 4.17 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ ไน

เตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 82

รูปที่ 4.18 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก 83

รูปที่ 4.19 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งในแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง 85

รูปที่ 4.20 ค่าแรงดึงขาด (ซ้าย) และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (ขวา) ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งในแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง 88

รูปที่ 4.21 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 90

รูปที่ 4.22 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 91

รูปที่ 4.23 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 92

รูปที่ 4.24 ภาพแสดงปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารช่วยยึดติดชนิดอะคริลิก และเส้นไหมที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีสีเกาะอยู่บนผิวและระหว่างเส้นใย เมื่อผนึกด้วยสารยึดติดและอบผนึกผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที 93

รูปที่ 4.25 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมหลังผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ขวา) 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.26 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 หลังผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 95

รูปที่ 4.27 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 หลังผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 96

รูปที่ 4.28 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 97

รูปที่ 4.29 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 20 รอบ 98

รูปที่ 4.30 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนการซักล้าง (ก) และหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{0} (ขวา)..... 99

รูปที่ 4.31 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาต่างกันย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน 3.0 %owf 102

รูปที่ 4.32 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 104

รูปที่ 4.33 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 106

รูปที่ 4.34 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 107

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 4.35 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ 108

รูปที่ 4.36 ภาพแสดงปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลสีย้อมแอซิดสีน้ำเงิน และเส้นไหมที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีสีเกาะอยู่บนผิวและระหว่างเส้นใย เมื่อผ่านกระบวนการย้อมที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที 110

รูปที่ 4.37 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 111

รูปที่ 4.38 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 112

รูปที่ 4.39 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 113

รูปที่ 4.40 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)..... 114

รูปที่ 4.41 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน และผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังการซักล้าง 20 รอบ 116

รูปที่ 4.42 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ก่อนการซักล้าง (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{0} (ขวา) และหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ขวา)..... 117

รูปที่ 4.43 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนการซักล้าง (ก) และหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่เวลา 0ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{0} (ขวา)..... 118

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การสังเคราะห์วัสดุนาโนเพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอีกหนึ่งงานวิจัยที่ได้รับความสนใจ ปัจจุบันการผลิตผ้าเพื่อให้มีสมบัติที่พิเศษยังคงต้องผ่านกระบวนการย้อมและการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแบบ 2 ขั้นตอน นอกจากนี้กระบวนการย้อมยังคงต้องใช้สารเคมีและสีย้อมจำนวนมาก และหลังจบการย้อมยังคงมีสารเคมีและสีย้อมที่ตกค้างอยู่ค่อนข้างมาก จึงมีความจำเป็นจะต้องทำการบำบัดสารเคมีและสีย้อมที่ตกค้างก่อนทิ้งลงสิ่งแวดล้อมเพื่อลดผลกระทบต่อระบบนิเวศน์ และแหล่งน้ำ

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles) เป็นอีกหนึ่งในกลุ่มของวัสดุนาโนที่ได้รับความนิยม เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีเอกลักษณ์ที่โดดเด่นที่ทั้งให้สีกับสิ่งทอและการให้สีกับสิ่งทอยังมาพร้อมกับสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย การป้องกันรังสียูวี ความไม่ชอบน้ำซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ สีสันที่เกิดขึ้นของอนุภาคซิลเวอร์นั้นเกิดจากสมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ คือ สมบัติ Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) ส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีสีที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาค ดังนั้นการเพิ่มสมบัติการให้สีที่มาพร้อมกับสมบัติพิเศษในการต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นจึงอาจจะเป็นอีกแนวทางใหม่ที่น่าสนใจสำหรับวงการอุตสาหกรรมสิ่งทอ ซึ่งสมบัติดังกล่าวมาจากสมบัติของตัวอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ทำให้ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยวิธีนี้ไม่จำเป็นต้องนำไปผ่านกระบวนการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอเพื่อเพิ่มสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เส้นใยไหมเป็นหนึ่งในเส้นใยโปรตีนธรรมชาติชนิดหนึ่งที่มีความแข็งแรง ความเหนียว ความเงางามและนุ่มลื่น น้ำหนักเบา และมีรูปลักษณ์ที่สวยงาม ด้วยเหตุนี้ไหมจึงถูกเรียกว่าเป็น “ราชินีแห่งเส้นใย” นอกจากนี้เส้นใยไหมยังดูดซับน้ำและความชื้นได้ดี และย้อมติดสีได้ดี [1] ประเทศไทยนิยมนำเส้นไหมมาทอเป็นผ้าผืนเพื่อใช้สำหรับการตัดเย็บเป็นเครื่องนุ่งห่ม แต่เนื่องด้วยภูมิอากาศในประเทศไทยมีลักษณะเป็นแบบเขตร้อนชื้น ส่งผลทำให้ร่างกายต้องระบายความร้อนออกจากร่างกายโดยการขับเหงื่อออกมาเพื่อรักษาสมดุลของความร้อนในร่างกาย และด้วยสมบัติของเส้นไหมที่ดูดซับน้ำและความชื้นได้ดี ทำให้ผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่มจากไหมดูดซับเหงื่อได้มาก จึงทำให้เอื้อ

ต่อการสะสมและการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และแบคทีเรียบนเนื้อผ้าได้ง่าย ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อผลิตภัณฑ์เครื่องนุ่งห่มจากไหมและเป็นที่มาของกลิ่นไม่พึงประสงค์หรือแม้กระทั่งทำให้เกิดโรคทางผิวหนังได้ ดังนั้นการยับยั้งหรือกำจัดเชื้อแบคทีเรียที่สะสมอยู่บนผ้าให้หมดไปก็จะสามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวข้างต้นได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทูโดยศึกษาปัจจัยจากตัวแปรต่าง ๆเช่น ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่เป็นตัวรีดิวซ์ อุณหภูมิและเวลาการในการทรีตต่อเฉดสีที่จะเกิดขึ้นบนผ้าไหม และคัดเลือกสภาวะที่เหมาะสมในการให้เฉดสีบนผ้าไหมที่สม่ำเสมอในระดับหนึ่งจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทูมาศึกษาผลของค่าพีเอชที่มีผลต่อเฉดสีและความสม่ำเสมอของสีที่เกิดขึ้นบนผ้าไหม เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสมของค่าพีเอชและค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษาแล้วจะนำมาใช้เพื่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนผ้าไหมเพื่อศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องความคงทนของสีต่อการซักล้าง ความแข็งแรง สมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียและสมบัติการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี นอกจากนี้ งานวิจัยยังได้ศึกษาผลการเคลือบสารยึดติดพอลิอะคริกบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีว่าจะมีผลกระทบต่อสมบัติที่จะศึกษาอย่างไรเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีอย่างเดียวที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารยึดติด อีกทั้งยังศึกษาเบื้องต้นสำหรับวิธีการย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีต่อเฉดสีที่เปลี่ยนแปลงไป ความสม่ำเสมอของสี ความคงทนของสีต่อการซัก สมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียและสมบัติการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์และย้อมทับด้วยสีแอซิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาตัวแปรต่าง ๆในการให้สีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูบนผ้าไหม

1.2.2 ศึกษาเฉดสี ความสม่ำเสมอของสี ความคงทนของสีต่อการซัก สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์

1.2.3 ศึกษาผลการใช้สารยึดติดและผลของการย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อเฉดสี ความสม่ำเสมอของสี ความคงทนของสีต่อการซัก สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวี

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 งานวิจัยนี้จะทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู โดยการใช้สารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเป็นตัวรีดิวซ์ และทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

1.3.1.1 ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

1.3.1.2 อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต

1.3.1.3 อุณหภูมิในการทรีต

1.3.1.4 เวลาในการทรีต

1.3.1.5 ค่าพีเอช

1.3.2 การทดสอบและวิเคราะห์ตัวอย่าง

1.3.2.1 ตรวจสอบวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าไหมที่เตรียมได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

1.3.2.2 ทดสอบระบบสี CIEL*a*b* และความเข้มของสี (K/S) บนผ้าไหมที่เตรียมได้ ด้วยเครื่องวัดสี (Color spectrophotometer)

1.3.2.3 ทดสอบความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่เตรียมได้ โดยการคำนวณหาค่า Relative Unlevelness Index (RUI)

1.3.2.4 ทดสอบสมบัติความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมที่เตรียมได้ โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C01

1.3.2.5 ทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่เตรียมได้โดยทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile strength) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D5034

1.3.2.6 ทดสอบสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่เตรียมได้ทดสอบความแข็งกระด้าง (Stiffness) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ ASTM D1388

1.3.2.7 ทดสอบสมบัติการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่เตรียมได้โดยการวัดค่าร้อยละการส่องผ่านของแสง (Transmittance) โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ AATCC 183-2004

1.3.2.8 ทดสอบสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าไหมที่เตรียมได้ โดยใช้มาตรฐานการทดสอบ AATCC 100-2004

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผ้าไหมที่มีสีที่มาพร้อมกับสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีจากการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทู

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
วารสารปริทรรศน์

2.1 ไหม (Silk)

ไหม (Silk) เป็นเส้นใยโปรตีนธรรมชาติที่ผลิตจากหนอนไหมหรือแมลงในอันดับ (Order) Lepidopteran โดยหนอนไหมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ไหมบ้าน (Domestic silkworm) และไหมป่า (Wild silkworm) ซึ่งไหมบ้านจะกินใบหม่อนเป็นอาหาร (Mulberry silkworm) สายพันธุ์ที่นิยมคือ *Bombyx mori.* เรียกว่าไหมหม่อน ส่วนไหมป่าเป็นไหมที่ไม่ได้กินใบหม่อนเป็นอาหาร (Non-mulberry silkworm) สายพันธุ์ที่นิยมคือ *Samia ricini.* เรียกว่าไหมอีรี่ (Eri silkworm) ที่กินใบละหุ่งและใบมันสำปะหลังเป็นอาหาร โดยเส้นไหมหม่อนจะมีลักษณะผิวเรียบ เป็นมันวาว และมีสีขาวนวล ส่วนเส้นไหมอีรี่จะมีลักษณะหยิกงอไม่เรียบ เมื่อสัมผัสจะมีลักษณะเป็นปุ่มปม สีขาวนวลและความเงาปานกลาง [2]

2.1.1 วัฏจักรชีวิตของหนอนไหม [3]

ผีเสื้อไหมมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบสมบูรณ์ (Completely metamorphosis insect) แบ่งออกเป็น 4 ระยะ ดังรูปที่ 2.1

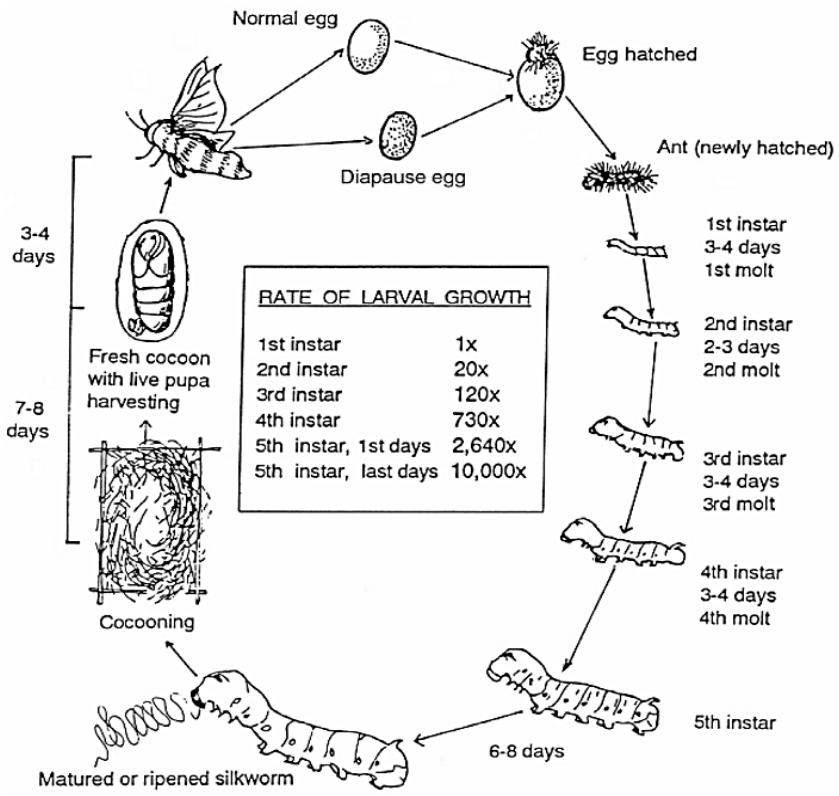
1) ระยะแรกระยะไข่ไหม (eggs) ผีเสื้อกลางคืนตัวเมียจะวางไข่ขนาดเท่าจุดน้ำหมึกในฤดูร้อนหรือต้นฤดูใบไม้ร่วง โดยจะวางไข่บนใบ และลำต้นของพืชอาหาร หลังจากวางไข่แล้วไข่จะอยู่เฉยๆ จนกระทั่งฤดูใบไม้ผลิซึ่งจะมีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ช่วยกระตุ้นให้ไข่ฟักออกมาเป็นตัวภายใน 10-14 วัน ไข่ที่ฟักออกมาใหม่ ๆจะมีสีเหลืองครีม และหลังจากนั้นสองสามวันไข่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ก็จะมีชีวิตอยู่รอดแล้วจะเปลี่ยนจากสีเหลืองครีมเป็นสีเทา

2) ระยะสองระยะหนอนไหม (larvae) โดยตัวไหมเมื่อฟักออกมาจะมีความยาวประมาณ 1/8 นิ้วและมีขนดกมาก หนอนไหมที่อายุน้อย ๆจะกินได้เฉพาะใบหม่อนที่อ่อนนุ่มเท่านั้น และเมื่อหนอนไหมเจริญเติบโตขึ้นก็จะเริ่มกินใบหม่อนที่แข็งได้มากขึ้น ระยะตัวอ่อนจะใช้เวลาประมาณ 27 วัน และหนอนไหมจะผ่านระยะการเจริญเติบโตห้าระยะที่เรียกว่า การเจริญเติบโตหลังระยะตัวอ่อนระหว่างการลอกคราบ (instars) โดยในระหว่างระยะการเจริญเติบโตห้าระยะนั้นหนอนไหมจะมีการลอกคราบซึ่งขนไหมจะค่อย ๆหลุดออกไปในแต่ละระยะจนได้ผิวของหนอนไหมที่มีลักษณะเรียบเนียน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) ระยะสามระยะดักแด้ (pupae) ดักแด้หรือรังไหมเป็นระยะที่ตัวอ่อนจะวนเส้นไหมไว้รอบ ๆ เพื่อป้องกันตัวเองจากสัตว์กินเนื้อ สีของรังไหมแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสิ่งที่ตัวไหมกินเข้าไป ซึ่งจะมีสีตั้งแต่สีขาวไปจนถึงสีเหลืองทอง การลอกคราบครั้งที่สองเกิดขึ้นภายในรังไหม เมื่อตัวอ่อนกลายเป็นดักแด้สีน้ำตาล ดักแด้จะใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์ในการเปลี่ยนรูปร่างเป็นตัวมอดที่โตเต็มวัย หลังจากการลอกคราบครั้งสุดท้ายภายในรังไหมตัวอ่อนจะเปลี่ยนเป็นดักแด้สีน้ำตาล

4) ระยะสี่ระยะผีเสื้อ (moth) เป็นระยะตัวโตเต็มวัยของหนอนไหมทำหน้าที่ผสมพันธุ์และวางไข่โดยจะมีอายุประมาณ 5-7 วัน



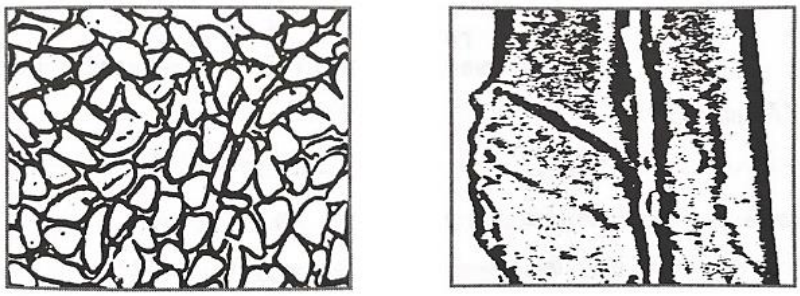
รูปที่ 2.1 วัฏจักรชีวิตของหนอนไหม [3]

2.1.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของเส้นไหม [4, 5]

2.1.2.1 โครงสร้างทางกายภาพของไหม

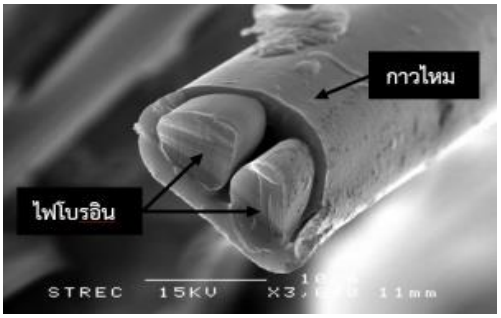
ไหมเป็นเส้นใยยาวต่อเนื่องตลอดเส้น ตัวไหมจะมีต่อมขนาดใหญ่สองต่อมภายในตัวหนอนไหม ซึ่งสามารถสร้างของเหลวโปรตีนที่เรียกว่า ไฟโบรอิน (fibroin) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นใยคู่ เนื่องจากต่อมที่รีดเส้นใยไหมของตัวหนอนไหมมีลักษณะเป็นสองรูคู่กัน และมีของเหลวอีกชนิดคือ เซริซิน (sericin) ซึ่งเรียกว่า กาวไหม เป็นสารที่ทำหน้าที่เชื่อมเส้นใยไฟโบรอินทั้งสองเส้นใน 1 รังไหม (cocoon) ให้ยึดติดกันตลอดความยาวของเส้นใยและป้องกันอันตรายแก่เส้นใย เซริซินเป็นส่วนที่ห่อหุ้มและปิดบังความมันเงาของเส้นใย เซริซินเป็นสารที่มีสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย และนิยมนำไปเป็นส่วนผสมในสบู่และเครื่องสำอาง ปัจจุบันจึงมีวิธีการสกัดเพื่อนำเอาเซริซินออกจากเส้นใยเพื่อนำเอาไปใช้ประโยชน์ต่อไป เส้นใยไหมเมื่อเอาเซราซินออกไปแล้วดังรูปที่ 2.3 จะเห็นเส้นใยไฟโบรอินเป็นเส้นใยสองเส้นที่เรียบสม่ำเสมอ และมีความเงามันทั้งสองเส้น [6]

ภาคตัดขวางของเส้นไหม มีผิวที่ราบเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตามความยาวของเส้นใย พื้นที่หน้าตัดเป็นสามเหลี่ยมมุมมนดังรูปที่ 2.2 [7] ส่งผลทำให้ไหมมีความมันวาว พื้นที่หน้าตัดของเส้นใยไฟโบรอินนั้นไม่คงที่ตลอดความยาวของเส้นใย



(ก) (ข)

รูปที่ 2.2 ภาพเส้นไหม ภาพ (ก) ภาพภาคตัดขวางและภาพ (ข) ภาพตามยาวของไหม [7]



รูปที่ 2.3 ภาพลักษณะของเส้นใยไหมที่เคลือบด้วยกาวไหม [8]

2.1.2.2 โครงสร้างทางเคมีของไหม [7]

เส้นไหมดิบเป็นโปรตีนหรือพอลิเอไมด์ (polyamide) ที่เกิดจากปฏิกิริยาการควบแน่นของกรดแอลฟาแอมิโน โดยทั่วไปแล้วไหมประกอบไปด้วย ไฟโบรอิน (fibroin) ร้อยละ 72-81 โดยน้ำหนัก เซริซิน (sericin) ซึ่งเป็นส่วนของกาวไหมโดยทั่วไปจะมีอยู่ประมาณร้อยละ 19-28 โดยน้ำหนัก นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบอื่น ๆ ได้แก่ ไขมันและขี้ผึ้งประมาณร้อยละ 0.8-1.0 โดยน้ำหนัก สารแต่งสีประมาณร้อยละ 1.0-1.4 โดยน้ำหนักและเถ้า

ส่วนประกอบของธาตุต่าง ๆ ในไฟโบรอิน อาจวิเคราะห์รายละเอียดต่าง ๆ ได้ดังนี้

คาร์บอนร้อยละ	48.00 - 49.00
ไฮโดรเจนร้อยละ	6.40 – 6.51
ไนโตรเจนร้อยละ	17.35 – 18.89
ออกซิเจนร้อยละ	26.00 - 27.90

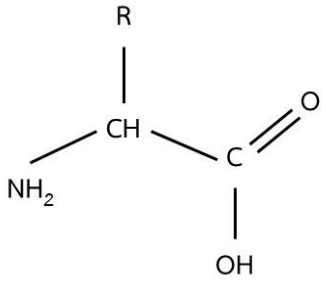
ไหมประกอบด้วยกรดแอมิโนประมาณ 16 ชนิดที่เชื่อมต่อด้วยพันธะเอไมด์หรือพันธะเปปไทด์เป็นสายโซ่โมเลกุลที่ยาวของไหม มีหน่วยที่ซ้ำ ๆกันเรียกว่า กรดแอมิโน (amino acid) ที่รวมอยู่ในเส้นใยไหมรวมเรียกเป็นโปรตีนประเภท ไฟโบรอิน (fibroin) ส่วนใหญ่ประกอบด้วยกรดแอลฟาแอมิโน จากการวิเคราะห์พบว่ามีกรดแอมิโนต่าง ๆ ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างง่าย ๆ ได้แก่ ไกลซีน (glycin) อะลานีน (alanine) เซรีน (serine) และไทโรซีน (tyrosine) [9] โดยโครงสร้างทางเคมีของกรดแอมิโนทั้ง 4 ชนิดนี้แสดงดังตารางที่ 2.1

Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบหลักกรดแอมิโนของไฟโบรอินและเซริซิน [9]

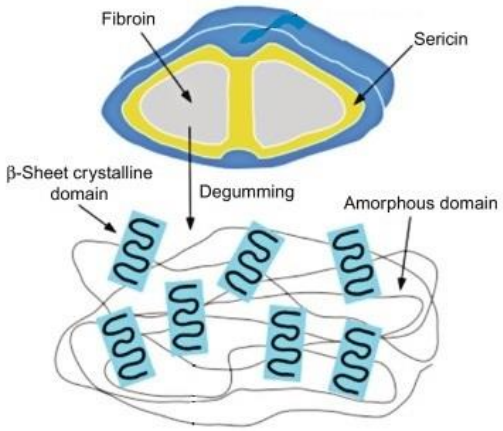
กรดแอมิโน	**หมู่ข้างเคียง** (หมู่ R ในรูปที่ 2.4)	**เซริซิน (%mol)**	**ไฟโบรอิน (%mol)**
ไกลซีน	H -	14.75	45.21
อะลานีน	CH_3 -	4.72	29.16
เซรีน	$CH_2(OH)$ -	34.71	11.26
ไทโรซีน	$OHC_6H_4CH_2$ -	3.35	5.14

จากที่กล่าวมาข้างต้นว่าไฟโบรอินประกอบด้วยกรดแอมิโนต่าง ๆ 16 ชนิด โดยแต่ละชนิดนั้นจะมีองค์ประกอบพื้นฐานดังรูปที่ 2.4 แต่จะเป็นชนิดใดนั้นจะต่างกันที่ “R” ในโครงสร้างพื้นฐานของกรดแอมิโน

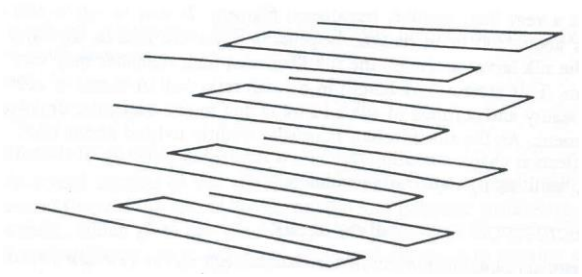


รูปที่ 2.4 องค์ประกอบพื้นฐานของกรดแอมิโน

โครงสร้างเส้นไหม สามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นผลึก (crystalline) และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) แสดงดังรูปที่ 2.5 โดยส่วนที่เป็นผลึกประกอบด้วยแผ่นบีต้า (β-sheet) [10] ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้เส้นไหมมีความแข็งแรง มีความยืดหยุ่นสูงและไม่ละลายน้ำเนื่องจากแผ่นเบต้าแต่ละแผ่นของสายโซ่โมเลกุลจะซ้อนทับกันเป็นลักษณะ Beta-configuration ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals force) แสดงดังรูปที่ 2.6 และส่วนที่เป็นอสัณฐาน (amorphous) มีโครงสร้างเป็นแบบเกลียวสุ่ม (random coil) เป็นส่วนที่ทำให้เส้นใยมีความยืดหยุ่นเป็นโครงสร้างที่ไม่เสถียรและสามารถเปลี่ยนโครงสร้างแบบหนึ่งไปสู่อีกแบบหนึ่งได้เมื่อได้รับความร้อน การยืด แรงทางไฟฟ้า หรือสารละลายที่มีขั้ว เช่น เมทานอล หรือ แอซิโตน [11]



รูปที่ 2.5 ลักษณะโครงสร้างของเส้นใยไหมส่วนที่เป็นผลึกและส่วนที่เป็นอสัณฐาน [11]



รูปที่ 2.6 ลักษณะ Beta-configuration ของไหม [10]

2.1.3 สมบัติทางกายภาพของเส้นไหม [7]

1) ลักษณะภายนอก เส้นไหมที่ผ่านการลอกกาวแล้วจะมีความมันวาวดีมากและมีผิวเรียบแต่ไม่สม่ำเสมอตลอดความยาวเส้นใย

2) ความแข็งแรง (tensile strength) ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงสูงสามารถทนต่อแรงดึงได้ดี โดยเส้นไหมแห้งจะมีความแข็งแรงมากกว่าเส้นไหมเปียก

3) ความยืดหยุ่น ไหมเป็นเส้นใยที่ยืดหยุ่นตัวได้ดีโดยมีร้อยละการยืดตัว (%Elongation) ประมาณร้อยละ 20 – 35 ของความยาวเดิม และสามารถหดกลับคืนได้ถึงร้อยละ 92

4) ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) เส้นไหมที่ไม่ผ่านการลอกกาวมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.3 – 1.4 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

5) การดูดซึมความชื้น เส้นไหมสามารถดูดซึมความชื้นได้ดี โดยมีค่าการดูดซึมความชื้นร้อยละ 11 ทำ ให้สามารถย้อมติดสีได้ดี

6) ความร้อน สามารถทนความร้อนได้ถึง 140 องศาเซลเซียสเมื่อได้รับความร้อนติดต่อกันเป็นระยะเวลาหนึ่ง และจะเกิดการสลายตัวอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 170 องศาเซลเซียส

2.1.4 สมบัติทางเคมีของเส้นไหม [7]

1) การทนต่อความเป็นกรด – ด่าง เส้นไหมสามารถทนต่อกรดในช่วง pH 4-8 ได้ค่อนข้างดี เส้นไหมสามารถทนต่อความเป็นกรดได้ดีกว่าความเป็นด่าง เนื่องจากในสภาวะด่างเส้นไหมจะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส (hydrolysis) ที่พันธะพอลิเปปไทด์จากบริเวณปลายสายโซ่โมเลกุลของไฟโบรอิน ส่งผลให้ไฟโบรอินถูกทำลาย ทำให้ความแข็งแรงของเส้นไหมลดลง

2) แสง เส้นไหมไม่ทนต่อแสงยูวี เมื่อเส้นไหมได้รับแสงยูวีเป็นระยะเวลานานจะทำให้เกิดการสลายตัวของโปรตีน ส่งผลให้ความแข็งแรงและค่าการยืดตัว (elongation) ลดลง อีกทั้งยังทำให้เส้นไหมเปลี่ยนเป็นสีเหลืองอีกด้วย

3) การละลายน้ำ เส้นไหมไม่สามารถละลายน้ำได้ที่อุณหภูมิห้อง เส้นไหมจะสูญเสียความแข็งแรงเมื่อแช่ในน้ำหรือได้รับไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

4) เกลือคลอไรด์ เส้นไหมสามารถถูกทำลายด้วยสารที่มีส่วนผสมของเกลือคลอไรด์ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาดับกลิ่น และน้ำเกลือ

5) สารซักฟอก เส้นไหมสามารถถูกทำลายด้วยสารซักฟอกประเภทออกซิไดส์ เช่น สารซักฟอกกลุ่มโซเดียมไฮโปคลอไรด์ แต่สามารถทนต่อสารซักฟอกประเภทไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์หรือโซเดียมเปอร์บอเรต

6) การย้อมสี เส้นไหมมีความสามารถในการรับสีย้อมได้ดีมาก สามารถย้อมได้ทั้งสีไดเร็กท์ สีรีแอคทีฟ สีแอซิด เป็นต้น

2.1.5 ประโยชน์ของเส้นใยไหมทางด้านสิ่งทอ [6]

เส้นใยไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่ได้จากสัตว์ มนุษย์รู้จักนำเส้นใยไหมมาทำเป็นสิ่งทอตั้งแต่อดีต เนื่องจากไหมเป็นเส้นใยที่มีเอกลักษณ์โดดเด่น เช่น ความเงางาม การระบายอากาศ และความคงทนแข็งแรง จึงทำให้เส้นใยไหมเป็นหนึ่งในเส้นใยสิ่งทอที่มีคุณค่าและมีความสำคัญมากต่ออุตสาหกรรมสิ่งทอ เส้นใยไหมได้รับสมญานามว่าเป็น “ราชินีแห่งเส้นใย” ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ไหมมีราคาแพงและเป็นที่ต้องการของผู้คนจำนวนมาก และมักจะสวมใส่ผ้าไหมกันในงานสำคัญหรืองานเทศกาล แม้ว่าเส้นใยไหมจะมีข้อเสียด้านราคาที่ค่อนข้างสูง เกิดการยับได้ง่าย ซักรีดยาก เกิดความเหลืองเมื่อสัมผัสกับแสงแดดเป็นระยะเวลานาน และเอื้อต่อการสะสมของเชื้อจุลินทรีย์ได้ง่าย แต่ข้อเสียดังกล่าวก็สามารถแก้ไขให้เบาบางลงได้ด้วยการตกแต่งสำเร็จทางเคมี โดยการนำสารเคมีกันยับมาตกแต่งลงบนผ้าไหมเพื่อลดการยับของผ้าไหมการเคลือบด้วยนาโนซิลิกาบนผ้าไหมเพื่อปกป้องรังสียูวีให้แก่ผ้าไหม [12] การเคลือบเส้นใยไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [13] อนุภาคนาโนทอง [14] หรืออนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ [15] เพื่อทำให้ผ้าไหมสามารถต้านทานแบคทีเรียได้ นอกจากนี้ยังมีการนำเส้นใยไหมผสมกับเส้นใยชนิดอื่นเพื่อเป็นการลดต้นทุนการผลิต และเพิ่มสมบัติที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น ตัวอย่างเช่น การประดิษฐ์เป็นเสื้อเกราะกันกระสุนเนื่องจากสมบัติ

ทางกายภาพของไหมมีทั้งความเหนียวและความยืดหยุ่นสูง จึงทำให้มันสามารถรองรับแรงกระแทกและดูดซับแรงได้เป็นอย่างดี โดยใช้วัตถุดิบจากเส้นใยไหมกำหนดให้เส้นด้ายยืนมีจำนวน 32 เส้นต่อนิ้ว ขนาด 455 ดีเนียร์ ที่ค่า tenacity เท่ากับ 120 cN/tex และเส้นด้ายพุ่งมีจำนวน 64 เส้นต่อนิ้ว ที่ค่า tenacity เท่ากับ 400 cN/tex นำมาทอเป็นผืนผ้าตามโครงสร้างลายขัดสานตะกร้า (basket weaving) โดยวางผ้าไหมเรียงชั้นความหนาที่ 30 ชั้น ลักษณะการวางเรียงชั้นผ้าไหมวางสลับเส้นยืนเส้นพุ่ง การเย็บแต่ละชั้นจะวางทิศทางการเย็บลายตารางหมากรุก และเย็บซิกแซ็ก เพื่อลดช่องว่างและเพิ่มความแข็งแรงจนครบ 15 ชั้น จากนั้นจึงนำมารวมกันจนครบ 30 ชั้น และเย็บติดรวมกันด้วยเส้นด้ายยาว ซึ่งพบว่าเสื้อเกราะประจำกายที่ผลิตจากเส้นใยไหมนี้สามารถป้องกันกระสุนได้ อีกทั้งยังสามารถใช้งานได้คล่องตัวอีกด้วยเพราะมีน้ำหนักเบาเมื่อเทียบกับเสื้อเกราะกันกระสุนที่ทำจากวัสดุโลหะ [16] เส้นใยไหมมีสมบัติในการระบายความร้อนได้ดีโดยที่เส้นใยไหมจะดูดซับความร้อนเอาไว้เอง ทำให้ร่างกายรู้สึกสบาย เส้นใยไหมสามารถดูดซับความร้อนเอาไว้ที่ผิวผ้าได้สูงถึง 13-21% รวมทั้งมีการดูดซับน้ำซึ่งไหมดูดซับน้ำได้ดีกว่าฝ้ายถึง 1.5 เท่า ระบายความชื้นได้ดีโดยระบายความชื้นออกได้เร็วกว่าฝ้าย 50% [17] นอกจากมีการนำผ้าไหมมาผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้วยังมีการนำมาใช้ทางด้านเคหะสิ่งทออีกด้วย เช่น ผ้าม่าน ผ้าบุเฟอร์นิเจอร์เป็นต้น

2.2 อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles)

โลหะเงิน (Silver) คือธาตุที่มีหมายเลขอะตอม 47 และมีสัญลักษณ์คือ Ag อยู่ในหมู่ IB ในตารางธาตุเป็นโลหะและโลหะทรานซิชัน มีสีขาว มีสมบัติการนำความร้อนและไฟฟ้าดีมาก สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลากหลาย โดยมีสมบัติแสดงในตารางที่ 2.2

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles) เป็นอีกหนึ่งในกลุ่มของวัสดุนาโนที่ได้รับความนิยม อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นอนุภาคที่มีขนาดระดับนาโนเมตร ตั้งแต่ 0.1 – 100 นาโนเมตร ทำให้มีปริมาณพื้นที่ผิวที่สูงมาก สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายเช่น ทางการแพทย์หรือทางอุตสาหกรรม เนื่องจากสมบัติที่โดดเด่นและเป็นเอกลักษณ์ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพสมบัติการทำงานได้หลากหลายยกตัวอย่างเช่น การให้สี ต้านเชื้อแบคทีเรีย ป้องกันรังสียูวี ความไม่ชอบน้ำและอื่น ๆ

ตารางที่ 2.2 สมบัติของเงิน (Silver) [18]

สมบัติ	
ชื่อ, สัญลักษณ์	เงิน, Ag
อนุกรมเคมี	โลหะทรานซิชัน
หมู่, คาบ, บล็อก	11, 5, d
เลขอะตอม	47
มวลอะตอม	107.870 g/mol
จุดหลอมเหลว	960.8 ℃
จุดเดือด	2210 ℃
ความหนาแน่น	10.5 g/cc ที่ 20 ℃

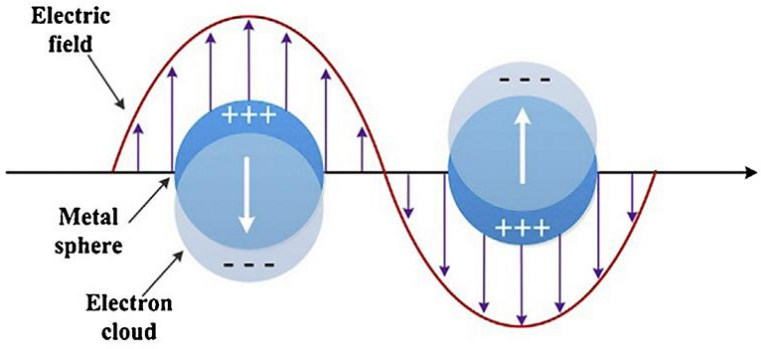
2.2.1 สมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [19, 20]

สมบัติทางแสงที่โดดเด่นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์คือสมบัติ Localized Surface Plasmon Resonance; LSPR ซึ่งเป็นสมบัติเฉพาะตัวของอนุภาคนาโนโลหะเช่น อนุภาคนาโนซิลเวอร์ (Silver nanoparticles) หรืออนุภาคนาโนทอง (Gold nanoparticles) เป็นต้น

สมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนโลหะ เป็นปรากฏการณ์เชิงแสงของอนุภาคนาโนของโลหะเกิดจากการสั่นรวม (Collective oscillation) ของอิเล็กตรอนอิสระที่ผิวของอนุภาคนาโน (Localized Surface Plasmons) ที่บริเวณรอยต่อของอนุภาคนาโนโลหะกับสารไดอิเล็กตริก เช่น อากาศ เมื่ออนุภาคนาโนโลหะมีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสงที่มากระตุ้น สนามแม่เหล็กไฟฟ้าของแสงจะทำให้อิเล็กตรอนของอนุภาคนาโนโลหะเคลื่อนมาที่ผิวของโลหะ โดยที่ประจุลบจะรวมตัวอยู่ที่ด้านหนึ่งของผิวหน้าและประจุบวกจะรวมอยู่ด้านตรงข้าม สภาวะนี้จะทำให้เกิดอิเล็กทริกไดโพลขึ้น (Electric dipole) โดยไดโพลที่เกิดขึ้นจะสร้างสนามไฟฟ้าระหว่างอนุภาคนาโนด้วยกันและสารไดอิเล็กทริก ซึ่งทำหน้าที่เป็นแรงดึงกลับมาที่ตำแหน่งสมดุล (Restoring force) เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายออกจากตำแหน่งสมดุลจะเกิดการสั่นที่ความถี่เรโซแนนซ์ (Plasmonic frequency) โดยทั่วไปจะอยู่ในช่วงยูวีถึงแสงที่มองเห็นได้ ซึ่งเมื่อความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับความถี่ในการสั่นของอิเล็กตรอน จะเกิดปรากฏการณ์ Surface Plasmon Resonance ซึ่งปรากฏการณ์นี้ทำให้เกิดการดูดกลืนแสงที่ความถี่เฉพาะเจาะจงค่าหนึ่ง ๆ ส่งผลให้อนุภาคนาโนโลหะมีสีที่แตกต่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กันออกไปจากโลหะแบบก้อน (Bulk metal) โดยสีที่เกิดขึ้นของอนุภาคนาโนโลหะนั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของอนุภาค แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การเกิดปรากฏการณ์ Localized Surface plasmon Resonance [20]

2.2.2 สมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [21]

กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยการที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์จะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน (O_2) ที่ผิวสัมผัสของเยื้อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย แล้วเกิดการแตกตัวเป็นซิลเวอร์ไอออน (Ag^+) อย่างต่อเนื่องโดยซิลเวอร์ไอออนสามารถมีปฏิกิริยากับเชื้อแบคทีเรียได้ แสดงดังรูปที่ 2.8 ดังต่อไปนี้

1) การหยุดชะงักของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ไซโตพลาสซึม (Disruption of cell wall and cytoplasmic membrane) โดยซิลเวอร์ไอออนที่ถูกปล่อยออกมาจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นจะไปเกาะติดหรือผ่านผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ไซโตพลาสซึม

2) การเปลี่ยนสภาพของไรโบโซม (Denaturation of ribosomes) โดยที่ซิลเวอร์ไอออนจะไปทำลายไรโบโซมและยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีน

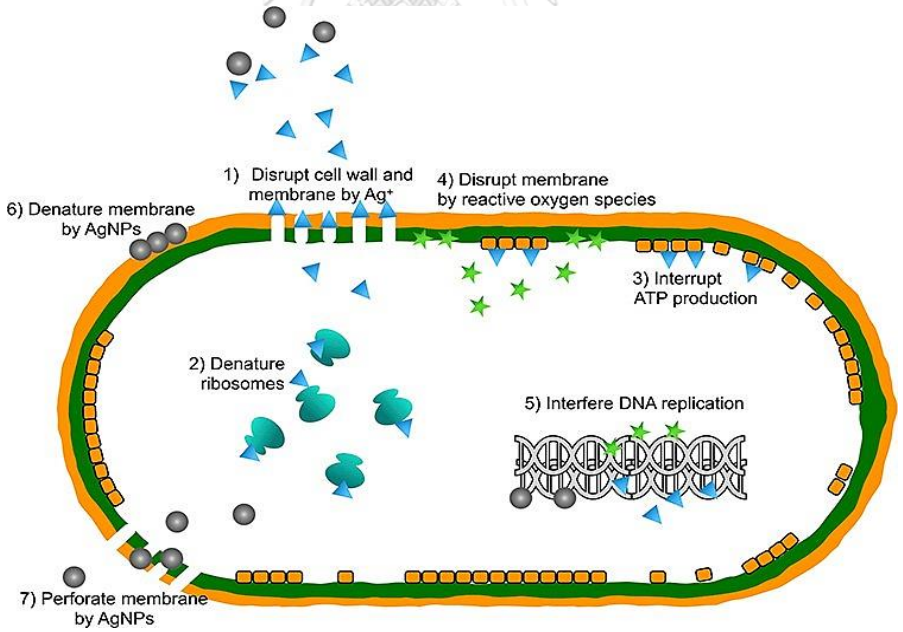
3) การหยุดชะงักของการผลิตอะดีโนซีนไตรฟอสเฟต (Interruption of adenosine triphosphate (ATP) production) โดยส่งผลทำให้การผลิตเอทีพีสิ้นสุดลงเนื่องจากซิลเวอร์ไอออนไปปิดการทำงานของเอนไซม์โปรติเนส ระบบทางเดินหายใจบนเมมเบรนของไซโตพลาสซึม

4) การหยุดชะงักของเมมเบรนโดยชนิดของออกซิเจนที่ไวต่อปฏิกิริยา (Membrane disruption by reactive oxygen species) โดยชนิดของออกซิเจนที่เกิดปฏิกิริยาโดยการแตกของกระบวนการถ่ายทอดอิเล็กตรอน (Electron transport chain) ที่อาจทำให้เกิดการหยุดชะงักของเมมเบรน

5) การรบกวนของการจำลองแบบของกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Interference of deoxyribonucleic acid (DNA) replication): ซิลเวอร์และออกซิเจนที่ทำปฏิกิริยาจะจับกับกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิกและป้องกันการทำซ้ำและการเพิ่มจำนวนของเซลล์

6) การเสื่อมสภาพของเมมเบรน (Denaturation of membrane): อนุภาคนาโนซิลเวอร์จะถูกสะสมในหลุมของผนังเซลล์และทำให้เกิดการเสื่อมสภาพของเมมเบรน

7) การเจาะทะลุของเยื่อหุ้มเซลล์ (Perforation of membrane): อนุภาคนาโนซิลเวอร์จะเคลื่อนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ไซโตพลาสซึมโดยตรงแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรีย และรบกวนการทำงานระดับโมเลกุล โดยจับกับสารที่มีซัลเฟอร์และฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้



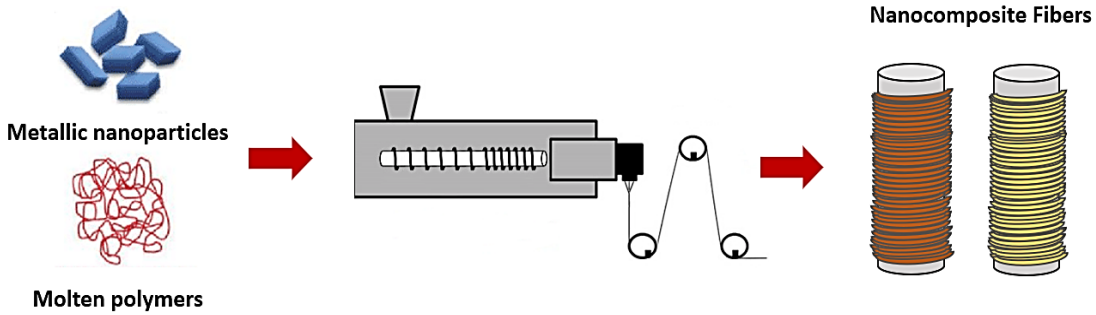
รูปที่ 2.8 กลไกการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [21]

2.3 แนวทางการตกแต่งวัสดุนาโนลงบนสิ่งทอ [22]

อนุภาคนาโนซิลเวอร์ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในการเคลือบเส้นใยต่าง ๆ เช่น ฝ้าย ขนสัตว์ ไหม อะรามิด อะคริลิก ไนลอน วิสโคส และ เป็นต้น เพื่อเพิ่มสมบัติการทำงานที่หลากหลายให้กับสิ่งทอ การตกแต่งวัสดุนาโนลงบนสิ่งทอเพื่อเพิ่มฟังก์ชันการทำงานต่าง ๆให้กับสิ่งทอ มี 3 แนวทาง ดังนี้

2.3.1 การทำเส้นใยนาโนคอมโพสิตที่มีสี (Colored nanocomposite fibers)

โดยการเพิ่มอนุภาคนาโนโลหะลงในพอลิเมอร์หลอมเหลวและปั่นออกมาเป็นเส้นใยดังรูปที่ 2.9 แต่วิธีนี้สามารถใช้ได้สำหรับเส้นใยสังเคราะห์เท่านั้น อย่างไรก็ตามการทำงานร่วมกันระหว่างพอลิเมอร์และอนุภาคนาโนค่อนข้างซับซ้อน เช่น การนำอนุภาคนาโนเข้าสู่พอลิเมอร์หลอมเหลวนั้นจะส่งผลต่อการจัดเรียงตัว พฤติกรรมการไหล ความเป็นผลึก ความเหนียวและสมบัติเชิงกล เป็นต้น

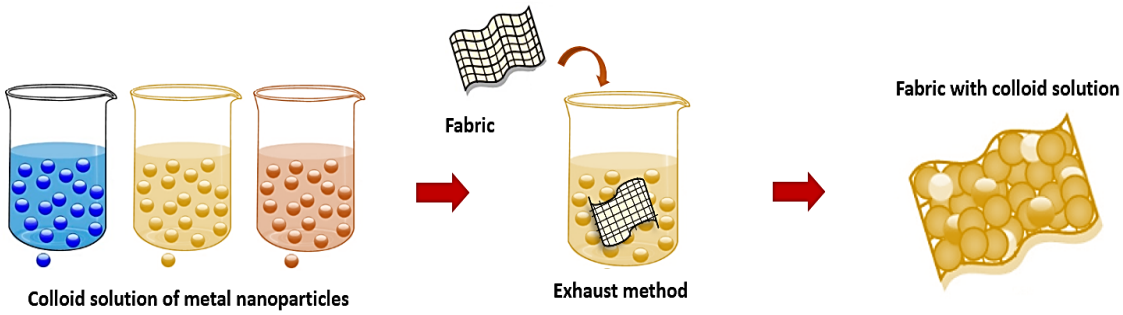


รูปที่ 2.9 การทำเส้นใยนาโนคอมโพสิตที่มีสี (Colored nanocomposite fibers)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีในรูปของสารละลายคอลลอย์ (Colloid solution)

โดยการเตรียมสารละลายซิลเวอร์คอลลอยด์แล้วนำมาตรึงอนุภาคดังกล่าวลงบนพื้นผิวของเส้นใยด้วยขั้นตอนแบบดูดซับ (Exhaust method) ซึ่งคล้ายกับการย้อมสีสิ่งทอทั่วไปดังรูปที่ 2.10 อย่างไรก็ตามการแทรกซึมของอนุภาคนาโนโลหะก็อาจจะมีข้อจำกัดคือ อนุภาคนาโนโลหะจะถูกดูดติดไปที่บริเวณพื้นผิวด้านนอกของเส้นใยส่งผลทำให้ความคงทนของสีต่อการซักไม่ค่อยดีนัก และเหมาะกับเส้นใยมากกว่าผ้าผืน



รูปที่ 2.10 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีในรูปของสารละลายคอลลอย์ (Colloid solution)

2.3.3 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีแบบอินซิทู (In-situ formation)

โดยการทำให้ไอออนของโลหะดูดซับเข้าไปในเส้นใยก่อนและเกิดเป็นอนุภาคนาโนโลหะภายในเส้นใยโดยการใช้ตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสม ซึ่งสารที่ทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนหรือเรียกว่าตัวรีดิวซ์ให้เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นมีค่อนข้างหลากหลายไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ ตัวอย่างเช่น ไฮดราซีน กลูโคส โซเดียมโบโรไฮไดร์ด ไตรโซเดียมซิเตรตและกรดแอสคอร์บิก เป็นต้น โดยการปรากฏสีบนสิ่งทอเป็นตัวบ่งบอกถึงการก่อตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนพื้นผิวของสิ่งทอ ซึ่งกลไกการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูมีด้วยกันหลัก ๆอยู่ 3 ขั้นตอนดังนี้

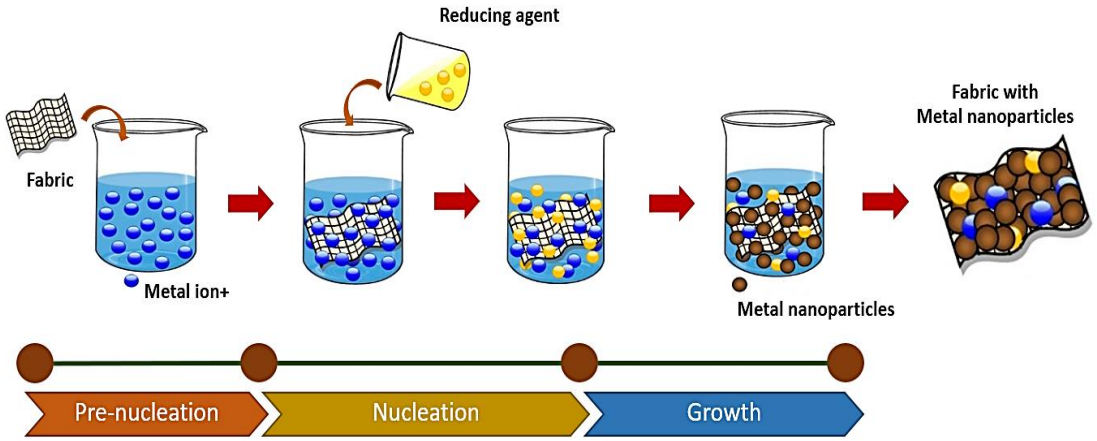
1. ขั้นตอนก่อนการเกิดนิวเคลียส (Pre-nucleation) โดยเกิดขึ้นจากการละลายซิลเวอร์ไนเตรตในน้ำโดยที่ซิลเวอร์ไอออนบวกจะถูกกระจายอยู่ในสารละลาย หลังจากนั้นจะถูกดูดติดบนเส้นใยผ่านการดูดซับทางไฟฟ้า (Electrostatic adsorption) หรือการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion change)

2. ขั้นตอนการเกิดนิวเคลียส (Nucleation) โดยการลดไอออนบวกของซิลเวอร์ (Ag^{+}) ให้กลายเป็นไอออนศูนย์ของซิลเวอร์ (Ag^{0}) ด้วยการเติมสารตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสมลงไป

3. ขั้นตอนการเติบโต (Growth) โดยอนุภาคจะเกิดการเติบโตบนนิวเคลียสและกลายเป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อไป โดยปัจจัยที่ทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์เติบโตบนนิวเคลียสได้นั้น ได้แก่ ชนิดของสารตัวรีดิวซ์ อุณหภูมิ เวลา หรือค่าพีเอชที่ใช้

ดังแสดงในรูปที่ 2.11 โดยการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทูเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ใช้สารเคมีจำนวนมากและสามารถให้การยึดเกาะที่แน่นหนาระหว่างอนุภาคนาโน

โลหะกับเส้นใยมากกว่าวิธีการที่ใช้แบบสารละลายคอลลอยด์ งานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทู

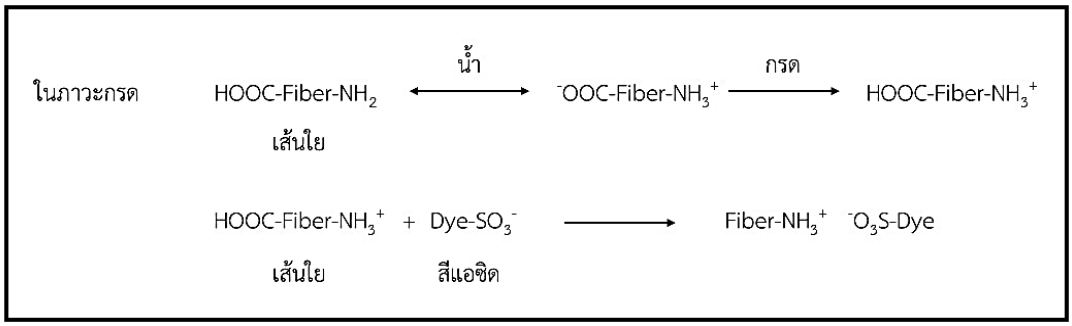


รูปที่ 2.11 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีแบบอินซิทู (In-situ formation)

2.4 สีย้อมแอซิด (acid dye) [23]

สีแอซิดเป็นสีที่ละลายน้ำได้ดี ในโครงสร้างของสีแอซิดประกอบด้วยหมู่ซัลโฟนิก ($-SO_3H$) ซึ่งอยู่ในรูปของเกลือซัลโฟเนต ($-SO_3$) เป็นหมู่แสดงประจุลบบนโมเลกุลของสี หมู่ซัลโฟเนตช่วยให้สีแอซิดมีความสามารถในการละลายน้ำสูงขึ้น และประจุลบจากหมู่ดังกล่าวทำให้โมเลกุลของสีสามารถเกิดพันธะไอออนิกกับหมู่ประจุบวกบนเส้นใย โดยทั่วไปสีแอซิดเป็นสีที่ย้อมในภาวะกรด ซึ่งในภาวะดังกล่าว หมู่อะมิโนในโครงสร้างของเส้นใยจะถูกโปรโตเนตเกิดเป็นหมู่ประจุบวก ($-NH_3^+$) ซึ่งดูดให้โมเลกุลของสีที่มีประจุลบดูดซึมเข้าไปภายในเส้นใยและยึดเหนี่ยวกับเส้นใยด้วยพันธะไอออนิก แสดงดังรูปที่ 2.12

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.12 กลไกการย้อมสีแอซิดบนเส้นใยโปรตีน

นอกจากพันธะไอออนิกแล้วสีแอซิดยังยึดเหนี่ยวกับเส้นใยด้วยแรงกระทำประเภทอื่น ๆ ร่วมด้วยคือ แรงแวนเดอร์วาลส์ แรงไดโพล และพันธะไฮโดรเจน

2.4.1 โครงสร้างของสีแอซิด

สีแอซิดเป็นสีย้อมที่มีเฉดสีหลากหลาย ลักษณะโครงสร้างของสีแอซิดคล้ายคลึงกับสีไดเร็กท์ สีทั้งสองชนิดนี้เป็นสีชนิดที่มีประจุลบแต่มีขนาดโมเลกุลที่แตกต่างกัน สีแอซิดมีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าสีไดเร็กท์ นอกจากนี้ความเป็นระนาบของโมเลกุลก็ใช้เป็นตัวจำแนกสีแอซิดและสีไดเร็กท์ โดยสีแอซิดไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างที่เป็นระนาบ สีแอซิดยึดเกาะกับเส้นใยโปรตีนด้วยพันธะไอออนิก สีแอซิดส่วนใหญ่เป็นสีเอโซที่มีโครงสร้างแบบมอนอเอโซ (mono-azo) หรือบิสเอโซ (bis-azo) รวมประมาณร้อยละ 70 ของสีแอซิดทางการค้า

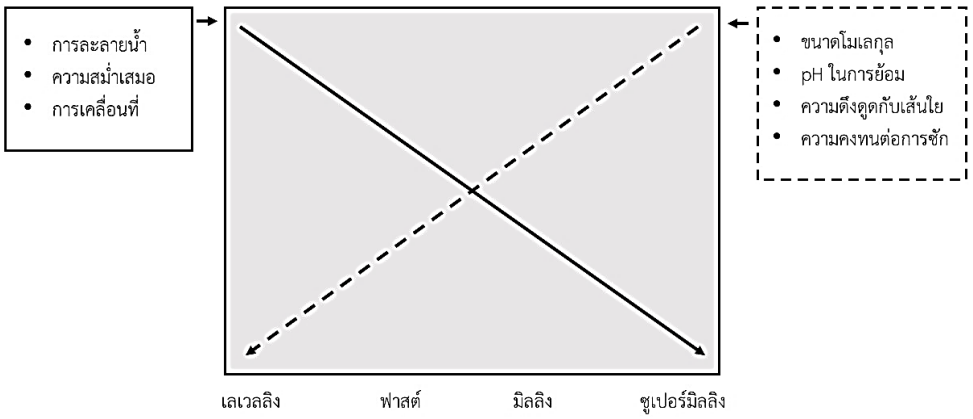
2.4.2 ประเภทของสีแอซิดและการย้อมบนเส้นใยขนสัตว์

ประเภทของสีแอซิดเมื่อจำแนกตามลักษณะสมบัติด้านการย้อมสามารถแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ สีแอซิดเลเวลลิง (levelling acid dyes) สีแอซิดฟาสต์ (fast acid dyes) สีแอซิดมิลลิง (milling acid dyes) และสีแอซิดซูเปอร์มิลลิง (super-milling acid dyes) สมบัติของสีแอซิดแต่ละกลุ่มแสดงในตารางที่ 2.3 ขนาดโมเลกุลของสีมีความสัมพันธ์กับระดับความสามารถในการเคลื่อนที่และความสม่ำเสมอของสีที่ย้อมได้บนเส้นใย รวมทั้งสมบัติด้านความคงทนของสีแสดงดังรูปที่ 2.13 สีแอซิดที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก (น้ำหนักโมเลกุลต่ำ) มีสมบัติการย้อมให้สม่ำเสมอได้ง่ายเนื่องจากมีการเคลื่อนที่กระจายภายในเส้นใยได้ดีกว่าสีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (น้ำหนักโมเลกุลสูง) ดังนั้นสีแอซิดกลุ่มเลเวลลิงจึงย้อมได้ง่าย ส่วนสีกลุ่มมิลลิงและซูเปอร์มิลลิงมีโอกาสเกิดการย้อมที่ไม่สม่ำเสมอได้มาก ในขณะที่สมบัติด้านความคงทนต่อการซักเพิ่มสูงขึ้นตามขนาดโมเลกุลของสี สีแอซิดที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งละลายน้ำได้ต่ำ เมื่ออยู่ในน้ำย้อมมักจะรวมเป็นกลุ่มของโมเลกุลสีและมีความดึงดูดกับเส้นใยสูง จึงสามารถย้อมในภาวะกรดอ่อนถึงกลางได้ แต่สีโมเลกุลขนาดเล็กที่ละลายน้ำได้ดีมีความดึงดูดกับเส้นใยค่อนข้างต่ำจึงจำเป็นต้องย้อมในภาวะที่เป็นกรดสูงกว่า เพื่อดึงดูดให้สีดูดซึมเข้าไปภายในเส้นใย ด้วยสมบัติที่แตกต่างกัน สีแอซิดแต่ละกลุ่มจึงใช้ภาวะในการย้อมแตกต่างกันไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 สมบัติของสีแอซิดประเภทต่าง ๆ [23]

สมบัติของสี	แอซิดเลเวลลิง	แอสิดฟาสต์	แอซิดมิลลิง	แอซิดซูเปอร์มิลลิง
น้ำหนักโมเลกุล	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ความสามารถในการละลายน้ำ	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำมาก
ค่า pH ที่ใช้ในการย้อม	2-4	4-6	5-7	6-7
กรดที่ใช้ในการย้อม	H_2SO_4	CH_3COOH	CH_3COOH หรือ $(NH_4)_2SO_4$	$(NH_4)_2SO_4$
สถานะของสีในน้ำย้อม	โมเลกุลเดี่ยว	กลุ่มของโมเลกุล	กลุ่มของโมเลกุล	กลุ่มของโมเลกุล
การเคลื่อนที่ของสี	สูง	ปานกลาง	ต่ำ	ต่ำมาก
ความคงทนต่อการซัก	ต่ำ-ปานกลาง	ดี	ดีมาก	ดีมาก
ความดึงดูดกับเส้นใย (ที่ pH 6)	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูง



รูปที่ 2.13 สมบัติของสีแอซิดเปรียบเทียบระหว่างสีแต่ละกลุ่ม [23]

2.4.3 สมบัติความคงทนของสีแอซิด

ระดับความคงทนต่อกระบวนการเปียกของสีแอซิดมีความสัมพันธ์กับประเภทสีแอซิด สีที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก มีสมบัติด้านการย้อมดี สม่ำเสมอ แต่มีความดึงดูดกับเส้นใยต่ำ เมื่อย้อมติดเข้าไปในเส้นใยแล้วจึงมีโอกาสหลุดออกมาได้ง่ายกว่าสีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ซึ่งละลายน้ำได้ต่ำกว่า แต่มีความดึงดูดกับเส้นใยสูง ทำให้สีแอซิดกลุ่มโมเลกุลเล็กมีความคงทนต่อการซักต่ำกว่ากลุ่มสีที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่กว่า สมบัติด้านความคงทนต่อแสงของสีแอซิดอยู่ในเกณฑ์ดี

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Roto และ คณะ [24] ศึกษาผลของตัวรีดิวซ์ต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้ตัวรีดิวซ์ต่าง ๆ กันได้แก่ กรดแอสคอร์บิก โซเดียมโบโรไฮไดร์ด ไฮดราซีน โซเดียมซิเตรต และกลูโคส สังเคราะห์ด้วยวิธีทางเคมีรีดักชันในสารละลายพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ ผลการศึกษาพบว่าตัวรีดิวซ์ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกี่ยวข้องกับขนาด รูปร่าง ศักยภาพของซีต้า และเสถียรภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ ช่วงการดูดกลืนแสง SPR จะอยู่ในช่วง 401-433 นาโนเมตร อนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ที่เตรียมโดยใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์มีรูปร่างเป็นทรงกลมสม่ำเสมอ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 20 นาโนเมตรและมีค่าศักยภาพซีต้าที่ -10.4 มิลลิโวลต์ ซึ่งมีเสถียรภาพมากที่สุด โดยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในด้านของเซ็นเซอร์ทางเคมีหรือสารต้านเชื้อแบคทีเรียได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Yerragopu และ คณะ [25] ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้ไตรโซเดียมซิเตรตเป็นตัวรีดิวซ์ เพื่อศึกษาเสถียรภาพและลักษณะเฉพาะของอนุภาคที่สังเคราะห์ขึ้น โดยทำการทดลอง 20 ตัวอย่างที่แตกต่างกันคือ ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต (0.50 1.00 และ 1.50 มิลลิโมลาร์) ความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรต (0.50 1.00 และ 1.50 %w/v) และเวลาต่าง ๆ กัน ทิ้งไว้ 30 วันโดยที่ไม่มีการเติมสารให้เสถียรภาพ พบว่ามีการเปลี่ยนสีของสารละลายจากใสเป็นสีเหลืองอ่อนซึ่งบ่งชี้ถึงการก่อตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ และพบว่าตัวอย่างที่ C_{20} (ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตที่ 1.5 มิลลิโมลาร์ ความเข้มข้นของไตรโซเดียมซิเตรต 1.5 % และเวลาในการปั่นกวน 20 นาที) เป็นตัวที่ดีที่สุด โดยขนาดของอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 22.14 นาโนเมตร อนุภาคเป็นทรงกลมค่าการดูดกลืนแสงเฉลี่ยอยู่ที่ 449.85 นาโนเมตร และค่าศักยภาพซีต้าอยู่ที่ -26.00 มิลลิโวลต์ซึ่งอาจจะสามารถนำตัวแปรต่าง ๆ นี้ไปประยุกต์ใช้ลงบนสิ่งทอได้

Faridul Hasan และคณะ [26] พัฒนาผ้าไนลอนในแง่ของการให้สีและคุณสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยการสังเคราะห์ทางชีวภาพด้วยวิธีแบบอินซิทูของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีไคโตซานเป็นสื่อกลาง ความหลากหลายของสีทำได้โดยการควบคุมความเข้มข้นของสารตั้งต้น ($AgNO_3$) และการใช้กรดแอสคอร์บิก ซึ่งเป็นพารามิเตอร์หลักในการควบคุมรูปร่างและขนาดของอนุภาค ส่วนไคโตซานสามารถทำหน้าที่ในการลดไอออนบวกของซิลเวอร์ (Ag^{+}) ให้เป็นไอออนที่เป็นกลาง (Ag^{0}) รวมถึงทำให้อนุภาคที่สังเคราะห์ขึ้นมีเสถียรภาพบนพื้นผิวผ้าไนลอน

จากผลการวิจัยของ Faridul Hasan และคณะ พบว่าอนุภาคมีขนาดอยู่ในช่วงนาโนเมตร มีรูปร่างเป็นทรงกลมกระจายตัวเป็นเนื้อเดียวกันทั่วพื้นผิว และยึดติดกับเส้นใยอย่างแน่นหนาด้วยแรงระดับโมเลกุลหรือการสร้างโครงข่ายคู่ของไคโตซาน ผ้าไนลอนที่ได้มีความคงทนของสีทั้งต่อแสง การซัก และขัดถูที่ดีเยี่ยม รวมถึงมีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรียโดยมีอัตราการลดลงของแบคทีเรียมากกว่า 88% ต่อทั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* หลังจากผ่านการซักมาแล้ว 20 ครั้ง

Hassan และ Koyama [22] ศึกษาเส้นใยอะคริลิกที่หลากหลายสีจะผ่านการให้สีด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์เตรียมโดยใช้วิธีแบบอินซิทูที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ อัตราส่วนระหว่างซิลเวอร์ต่อไตรโซเดียมซิเตรต ค่า pH และเวลาต่าง ๆ กัน พบว่าเส้นใยอะคริลิกจะเห็นสีที่เกิดขึ้นก็ต่อเมื่อใช้ความเข้มข้นของซิลเวอร์อย่างน้อย 1.5% ต่อน้ำหนักผ้า อัตราส่วนระหว่างซิลเวอร์ต่อไตรโซเดียมซิเตรตอย่างน้อย 1:2 (w/w) และเวลาในการให้สี 120 นาที ซึ่งอนุภาคสีที่เตรียมได้มีความแตกต่างกันไปจากสีเหลืองเป็นสีน้ำตาลถึงสีคราม โดยความเข้มของสีจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของซิลเวอร์ที่เพิ่มขึ้นและอัตราส่วนระหว่างซิลเวอร์ต่อไตรโซเดียมซิเตรตที่เพิ่มขึ้นด้วย เส้นใยอะคริลิกที่ผ่านการให้สีจากการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ที่ให้สีจะมีสมบัติการกันรังสียูวีที่ดี นอกจากนี้สมบัติต้านไฟฟ้าสถิตและสมบัติต้านเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Klebsiella pneumoniae* ได้ดี ถึงแม้จะได้ผ่านการซักล้างถึง 20 ครั้งก็ยังสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ถึง 99%

Ahmed และ คณะ [27] ศึกษาอิทธิพลของการรวมเข้าด้วยกันของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ต่อการย้อมเส้นใยวิสโคสด้วยสีย้อมรีแอคทีฟสีน้ำเงิน อนุภาคนาโนซิลเวอร์ถูกรวมเข้าไปในเส้นใยโดยใช้ไตรโซเดียมซิเตรตเป็นตัวรีดิวซ์ โดยการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน 3 วิธีคือ (1) ให้สีที่ได้จากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนเส้นใยด้วยวิธีการแบบอินซิทูและตามด้วยการย้อมสีรีแอคทีฟทับ (2) ย้อมสีรีแอคทีฟลงบนเส้นใยก่อนและตามด้วยการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทู และ (3) ย้อมสีรีแอคทีฟและสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีพร้อมกันลงบนเส้นใย ผลที่ได้พบว่าสีของเส้นใยที่ผ่านการให้สีจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีแบบอินซิทูให้เฉดสีเหลือง เส้นใยที่ผ่านการย้อมสีรีแอคทีฟได้เฉดสีน้ำเงิน และเมื่อนำสีจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีแบบอินซิทูกับสีรีแอคทีฟมาจัดลำดับขั้นตอนการย้อมที่แตกต่างกัน 3 วิธีดังกล่าวข้างต้น ส่งผลทำให้เฉดสีเปลี่ยนเป็นสีเขียวแกมน้ำเงินและสีเขียว ความคงทนของสีพบว่าวิธีการให้สีด้วยวิธีที่ 1 นั้นมีการปลดปล่อยซิลเวอร์ไอออนที่ต่ำที่สุดอยู่ที่ 0.21กรัม/กิโลกรัม เนื่องจากโมเลกุลของสีย้อมสามารถช่วยในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ภายในเส้นใยและทำให้การชะออกของซิลเวอร์ไอออนลดลง สะท้อนให้เห็นถึงการยึดเกาะที่ดีขึ้นระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเส้นใยเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ

Shahid และ คณะ [28] ศึกษาการให้สีด้วยวิธีที่ง่ายและรวดเร็วของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนผ้าไหมด้วยวิธีการแบบอินซิทู โดยการให้ไอออนเงิน (Ag^{+}) ถูกกระจายเข้าไปในเมทริกซ์ของผ้าไหมผ่านการแช่ในสารละลาย $AgNO_3$ จากนั้นจึงเติมสารละลายแอลกอฮอล์ของกรดเฟอรูลิกซึ่งเป็นโพลีฟีนอลธรรมชาติในการทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ผลที่ได้พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีลักษณะเป็นทรงกลมและการกระจายตัวได้ดีบนผ้า เฉดสีของผ้าที่ได้จะอยู่ในช่วงตั้งแต่สีน้ำตาลครีมอ่อนไปจนถึงสีน้ำตาลทองและสีน้ำตาลเข้ม ขึ้นกับความเข้มข้นของ $AgNO_3$ และกรดเฟอรูลิก ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียที่โดดเด่นโดยมีอัตราการลดลงของแบคทีเรียมากถึง 95% และมีความคงทนต่อการซักที่ดีได้มากถึง 10 ครั้ง ก็ยังคงสามารถยับยั้งเชื้อ *Escherichia coli* ได้ นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันรังสี UV ได้ทั้งในบริเวณ UVA และ UVB ได้อย่างดีเยี่ยมด้วยเช่นกัน

Zhang และ คณะ [29] ศึกษาการใช้สีเชิงซ้อนจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองหรือซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีแบบอินซิทูลงบนผ้าไหมโดยการปรับค่า pH ของสารละลายกรดเตตระคลอโรออริกและซิลเวอร์ไนเตรตไปที่ 3 และ 10 ตามลำดับ ซึ่งผ้าไหมที่ผ่านการให้สีจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนทองที่ให้สีจะได้เฉดสีม่วง และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีจะได้เฉดสีเหลือง จากนั้นทำการย้อมสีรีแอคทีฟทับลงไปโดยใช้แม่สีสามสี ผลที่ได้ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงเฉดสีบนผ้าไหม และจากการย้อมสีรีแอคทีฟทับลงไปนั้นไม่ได้ส่งผลกระทบต่อสมบัติเชิงแสงของอนุภาคนาโนโลหะหรือสัณฐานวิทยาของอนุภาคนาโนโลหะบนพื้นผิวของเส้นใยมากนัก ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีจากการสังเคราะห์ด้วยอนุภาคนาโนทองและซิลเวอร์ที่ให้สีสามารถต้านเชื้อ *Escherichia coli* ได้ถึง 99.96% และ 100% ตามลำดับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

3.1.1 ผ้าไหม เป็นผ้าทอลายขัด (plain wave fabric) ที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว เบอร์เส้นด้ายยืน 20-22/3 ดีเนียร์ จำนวน 96 เส้น/นิ้ว และเบอร์เส้นด้ายพุ่ง 27-29/6 ดีเนียร์ จำนวน 78 เส้น/นิ้ว จากบริษัท เนเชอรัล ณิช ประเทศไทย

3.1.2 สารเคมี

(1) ซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$, silver nitrate, 99.5%) จากบริษัท เอส.เอ็ม.เคมีคอล ซัพพลาย จำกัด ประเทศไทย

(2) ไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต ($Na_3C_6H_5O_7 \cdot 2H_2O$, trisodium citrate 2-hydrate, 99.0%, AR grade) จากบริษัท เอ็มแอนด์พี อิมเป็กซ์ ประเทศไทย

(3) กรดแอซีติก (CH_3COOH, acetic acid glacial, 99.8%, AR grade) จากบริษัท RCI Labscan ประเทศไทย

(4) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH, sodium hydroxide, 97.0%, AR grade) จากบริษัท Ajex Finechem ประเทศออสเตรเลีย

(5) สีแอซิดสีน้ำเงิน (Ciba® ERIONYL® Blue A-R, C.I. Acid Blue 260)

(6) สารกันด่าง (levelling agent)

(7) แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$, ammonium sulfate, AR grade) จากบริษัท Ajex Finechem ประเทศออสเตรเลีย

(8) สารช่วยลดแรงตึงผิว (wetting agent)

(9) สารช่วยผนึกติดชนิดอะคริลิก (acrylic binder) มีชื่อทางการค้าว่า UKAPRINT NF-505 จากบริษัท วีพีซี กรุ๊ป ประเทศไทย

(10) ผงซักฟอกมาตรฐานที่ไม่มีสารเรืองแสง (fluorescent brightening agent)

(11) น้ำปราศจากไอออน (deionized water) หรือน้ำ DI

3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 อุปกรณ์เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลอง

(1) บีกเกอร์

(2) กระบอกตวง

(3) เครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน (magnetic stirrer hot plate)

(4) แท่งแม่เหล็กกวนสาร (magnetic bar)

(5) ปิเปตชนิดตรง (graduated pipette)

(6) pH meter METTLER TOLEDO รุ่น Seven Compact S220

(7) pH electrode METTLER TOLEDO รุ่น InLab Expert Pro – ISM

3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

(1) เครื่องย้อมผ้าแบบ exhaustion

รูปที่ 3.1 เครื่องย้อมผ้าแบบ exhaustion ยี่ห้อ Labtec

(2) เครื่องย้อมผ้าแบบจุ่ม

รูปที่ 3.2 เครื่องย้อมผ้าแบบจุ่ม ยี่ห้อ Ugolini

(3) เครื่องบีบอัด (padder)

รูปที่ 3.3 เครื่องบีบอัด

(4) เครื่องอบผนึกผ้า

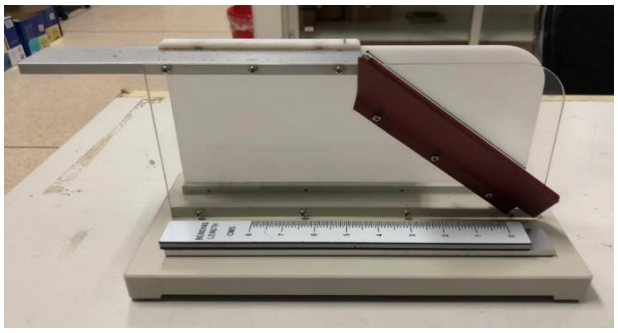
รูปที่ 3.4 เครื่องอบผนึกผ้า ยี่ห้อ Rapid

(5) เครื่องทดสอบการวัดสีผ้า

CHULALONGKORN UNIVERSITY

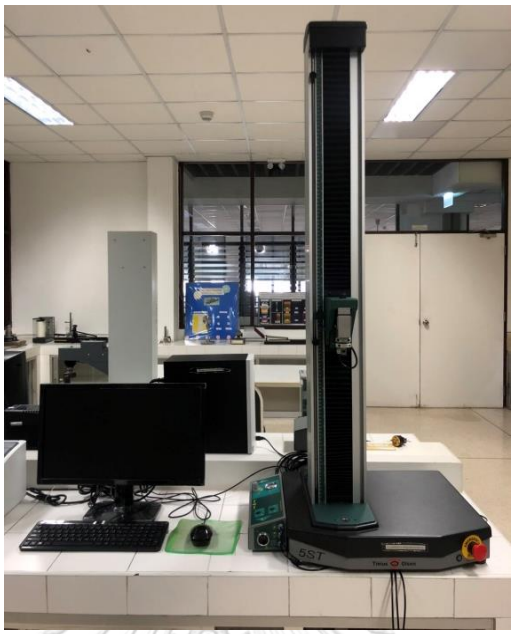
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบการวัดสีผ้า ยี่ห้อ Macbeth Color-Eye 7000

(6) เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างของผ้า



รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างของผ้า ยี่ห้อ SDL Atlas

(7) เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้า



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งแรงของผ้า ยี่ห้อ Tinius Olsen

(8) ตู้แสงมาตรฐานเทียบสี (color assessment cabinet)

รูปที่ 3.8 ตู้แสงมาตรฐาน ยี่ห้อ VeriVide

(9) เครื่องทดสอบค่าร้อยละการส่องผ่านของแสง

รูปที่ 3.9 เครื่อง UV-vis spectrophotometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น LAMBDA 35

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 กระบวนการทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

3.3.1.1 ไม่ปรับค่าพีเอช ณ ค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

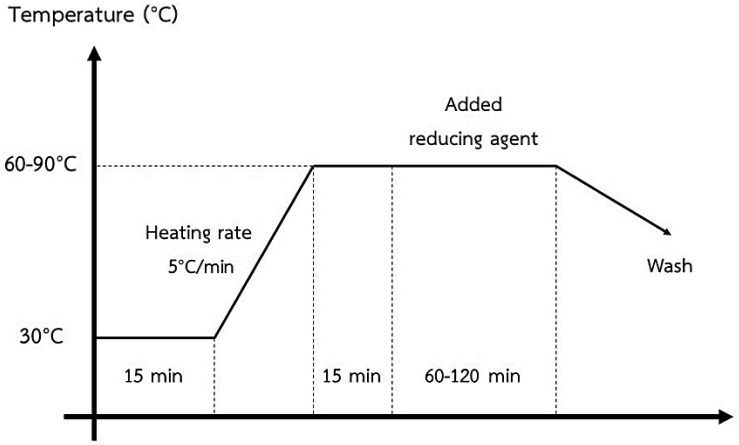
3.3.1.1.1 เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ และเตรียมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์โดยเตรียมไว้เป็นสารละลายสต๊อก (stock solution)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.1.1.2 นำผ้าไหมที่ตัดเตรียมไว้น้ำหนัก 4 กรัม จุ่มแช่ลงในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเปอร์เซ็นต์ที่แตกต่างกันที่ 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเส้นใย (on weight of fabric, %owf) โดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายต่อน้ำหนักผ้า (Liquor Ratio, L:R) เท่ากับ 100:1 จุ่มแช่ลงในกระบอกย้อมที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที

3.3.1.1.3 นำกระบอกย้อมลงเครื่องย้อมแบบจุ่ม ดังรูปที่ 3.2 และทำการย้อมที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 60 และ 90 องศาเซลเซียส เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดแล้วทิ้งไว้ 15 นาที หลังจากนั้นจึงเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตโดยใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่แตกต่างกันคือ 1:1 1:2 และ 1:3 ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (%w/w) จากนั้นให้เวลาในการให้สีที่แตกต่างกันคือ 60 90 และ 120 นาที โดยกราฟแสดงการให้สีแสดงดังรูปที่ 3.10

3.3.1.1.4 เมื่อครบเวลาในการให้สีแล้ว นำผ้ามาล้างน้ำให้สะอาดหลาย ๆ ครั้งด้วยน้ำปราศจากไอออนและนำผ้าไปอบให้แห้งในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.10 กราฟแสดงกระบวนการทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

3.3.1.2 ปรับค่าพีเอชของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

โดยการปรับค่าพีเอชของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตในขั้นตอนนี้ จะเลือกสภาวะตัวแปรที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนผ้าไหมที่มีเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีที่ดีในระดับหนึ่ง นำมาศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของการปรับค่าพีเอชในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

3.3.1.2.1 เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 1.0 เปอร์เซ็นต์ โดยเตรียมไว้เป็นสารละลายสต๊อก (stock solution) โดยค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตจะอยู่ที่ 5.6 หลังจากนั้นทำการปรับค่าพีเอชไปที่ 4.0 โดยการหยดสารละลายกรดแอซีติก (CH_3COOH) เตรียมที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ และปรับค่าพีเอชไปที่ 8.0 โดยการหยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เตรียมที่ความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ทำการวัดค่าพีเอชโดยการใช้เครื่อง pH meter METTLER TOLEDO รุ่น Seven Compact S220

3.3.1.2.2 หลังจากนั้นทำตามขั้นตอนในข้อ 3.3.1.1.2 ถึง 3.3.1.1.4 เช่นเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3.2 การผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิกบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

โดยการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิกในขั้นตอนนี้ จะเลือกสภาวะตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนผ้าไหมที่เหมาะสมที่สุดแล้ว นำมาศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของการใช้สารยึดติดต่อสมบัติที่จะศึกษาต่อไป โดยมีขั้นตอนดังนี้ [30]

3.3.2.1 เตรียมสารละลายสารช่วยผนึกติดชนิดอะคริลิก ชื่อทางการค้า UKAPRINT NF-505 ที่ความเข้มข้น 100 กรัมต่อลิตร

3.3.2.2 นำผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู จุ่มแช่ลงในสารตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้นที่เตรียมได้เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำผ้าไปอัดรีดผ่านลูกกลิ้งคู่ของเครื่องบีบอัด ดังแสดงรูปที่ 3.3 โดยควบคุมปริมาณสารยึดติดบนผ้าให้ได้ประมาณ 70-80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้าแห้ง (%wet pick up)

3.3.2.3 อบผนึกผ้าเพื่อให้สารยึดติดเกาะติดบนผ้า ที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที โดยใช้เครื่องอบผนึกผ้าแสดงดังรูปที่ 3.4

3.3.3 กระบวนการย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

โดยการย้อมทับด้วยสีแอซิดในขั้นตอนนี้ จะเลือกสภาวะตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนผ้าไหมที่เหมาะสมที่สุดแล้ว นำมาศึกษาเพิ่มเติมถึงผลของการย้อมทับด้วยสีแอซิดเปรียบเทียบกับการใช้สารยึดติดบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีต่อสมบัติที่จะศึกษาต่อไป โดยมีขั้นตอนดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

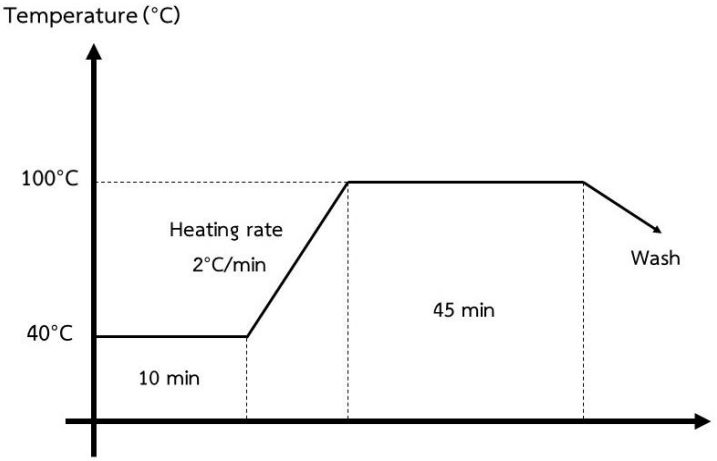
3.3.3.1 เตรียมสีย้อมแอซิดในการย้อมทับบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู โดยเตรียมสีย้อมแอซิดที่ความเข้มข้น 1.0 %stock solution โดยใช้ที่ความเข้มข้น 3.0 %owf และใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายน้ำย้อมต่อน้ำหนักผ้า (Liquor Ratio, L:R) เท่ากับ 20:1 ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.3.3.2 นำผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูมาย้อมโดยใช้เครื่องย้อมแบบ exhaustion ที่อุณหภูมิและเวลาในการย้อมแสดงดังรูปที่ 3.11

3.3.3.3 หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการย้อมแล้วนำมาล้างด้วยน้ำเย็นให้สะอาดและตากให้แห้ง

ตารางที่ 3.1 ปริมาณและสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสีย้อมแอซิด

สารเคมี	ปริมาณที่ใช้
สีแอซิด	3 %owf
แอมโมเนียมซัลเฟต ($(NH_4)_2SO_4$)	10 กรัม/ลิตร
กรดแอซีติก (CH_3COOH)	5 กรัม/ลิตร
สารกันด่าง (levelling agent)	1 กรัม/ลิตร
สารช่วยลดแรงตึงผิว (wetting agent)	1 กรัม/ลิตร



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงกระบวนการสำหรับการย้อมสีแอซิดทับบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4 การวิเคราะห์ผลและทดสอบสมบัติ

3.4.1 การทดสอบสีและความเข้มสี

3.4.1.1 การทดสอบสี ระบบสี CIE L*a*b* *(CIELAB)*

ทดสอบสีด้วยระบบสี CIE L*a*b* หรือ CIELAB โดยการใช้เครื่อง Color-Eye 7000A spectrophotometer ยี่ห้อ Gretag Macbeth แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยที่ตัวอย่างจะถูกวัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} (illuminant D_{65}) ใช้ standard observer ที่ 10° และใช้โหมดวัดการสะท้อนแสงที่รวมความมันเงา (specular included) ซึ่งการวิเคราะห์สีของระบบ CIE L*a*b* นั้นแปรผลค่าออกมามีดังนี้

ค่า L* หมายถึงค่าความสว่างโดยมีค่าตั้งแต่ 0-100 ซึ่ง 0 คือ สีดำ และ 100 คือ สีขาว

ค่า a* หมายถึงเฉดสีจากสีเขียว (-a*) จนถึงสีแดง (+a*)

ค่า b* หมายถึงเฉดสีจากสีน้ำเงิน (-b*) จนถึงสีเหลือง (+b*)

3.4.1.2 การทดสอบความเข้มสี (K/S)

ความเข้มสี (color strength) ในวัสดุสิ่งทอจะใช้เทคนิคการวัดการสะท้อนของแสงที่วิเคราะห์ได้จากค่า K/S ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณจากค่าการสะท้อนแสงตามทฤษฎีของ Kubelka-Munk ดังสมการที่ 3.1 ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่อง Color-Eye 7000A spectrophotometer ยี่ห้อ Gretag Macbeth แสดงดังรูปที่ 3.5 กำหนดความยาวคลื่นในช่วง 360 – 780 นาโนเมตร โดยที่ตัวอย่างจะถูกวัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} (illuminant D_{65}) ใช้ standard observer ที่ 10° และใช้โหมดวัดการสะท้อนแสงที่รวมความมันเงา (specular included)

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} \qquad \text{สมการที่ 3.1}$$

เมื่อ R = ค่าการสะท้อนแสงของชิ้นตัวอย่าง

K = ค่าการดูดกลืนแสงของชิ้นตัวอย่าง

S = ค่าการกระเจิงแสงของชิ้นตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับงานวัสดุสิ่งทอจะถือว่าไม่มีการกระเจิงแสงในวัสดุที่ย้อมติดสี เนื่องจากสีที่ใช้ย้อมจะละลายเข้าไปเป็นเนื้อเดียวกันกับสิ่งทอ ดังนั้นค่า K และ S ของสีและของสิ่งทอจึงเป็นค่าเดียวกัน ซึ่งในกรณีที่ย้อมและเคลือบสิ่งทอด้วยอนุภาค สามารถใช้ K/S ในการวิเคราะห์ความเข้มสีและการเคลือบติดของอนุภาคบนผิวสิ่งทอได้ โดยถ้าค่า K/S มีค่าสูงแสดงว่าสามารถยึดติดอนุภาคได้ดี [31, 32]

3.4.2 การทดสอบความสม่ำเสมอของสี (RUI)

การทดสอบความสม่ำเสมอของสีบนผ้าประเมินผลได้จากค่า Relative unlevelness index (RUI) ซึ่งค่านี้ใช้ในการประเมินความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู รวมถึงผ้าไหมที่ผ่านการย้อมทับด้วยสีแอซิดด้วย โดยค่า RUI สามารถคำนวณหาได้โดยการวัดค่าการสะท้อนแสง

(Reflectance, %R) โดยนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการสะท้อนแสงในแต่ละความยาวคลื่น (S_λ) และหาค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนแสงของจำนวนการวัดความยาวคลื่นแต่ละช่วง (R) ตามสมการที่ 3.2 โดยจะทำการวัดค่าการสะท้อนแสงบนผ้า 20 จุด กำหนดช่วงความยาวคลื่นที่ 400-700 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Color-Eye 7000A spectrophotometer ยี่ห้อ Gretag Macbeth แสดงดังรูปที่ 3.5 โดยที่ตัวอย่างจะถูกวัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} (illuminant D_{65}) ใช้ standard observer ที่ 10° และใช้โหมดวัดการสะท้อนแสงที่รวมความมันเงา (specular included) หลังจากนั้นนำค่าการสะท้อนแสง (reflectance, R) ที่วัดได้มาคำนวณหาค่า RUI ดังสมการที่ 3.2 และทำการประเมินค่าความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏออกมาดังตารางที่ 3.2 [33]

$$\text{RUI} = \sum_{\lambda=400}^{700} S_\lambda / \text{R} \qquad \text{สมการที่ 3.2}$$

เมื่อ S_λ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการสะท้อนแสงในแต่ละความยาวคลื่น

R = ค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนแสงของจำนวนการวัดความยาวคลื่นแต่ละช่วง

ตารางที่ 3.2 ตารางการแปรความหมายของค่า Relative unlevelness index (RUI) [33]

ลักษณะความสม่ำเสมอที่ปรากฏ	RUI
ดีเยี่ยม (ไม่พบความไม่สม่ำเสมอของสี)	< 0.2
ดี (ความไม่สม่ำเสมอของสีเห็นได้เพียงเล็กน้อย)	0.2-0.49
ต่ำ (ความไม่สม่ำเสมอของสีเห็นได้ชัดเจน)	0.5-1.0
ต่ำมาก (ความไม่สม่ำเสมอของสีเห็นได้เด่นชัดมาก)	> 1.0

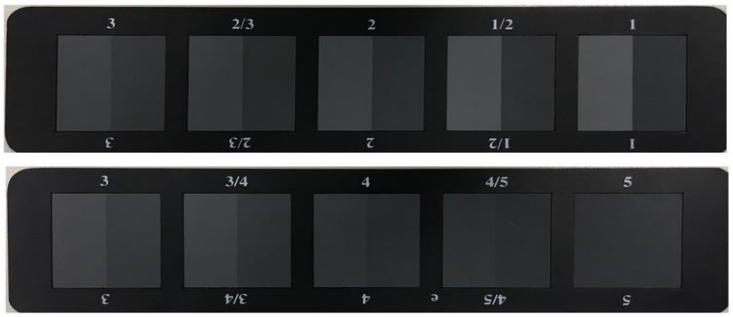
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.4.3 การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้าง (Color fastness to washing)

การทดสอบความคงทนของสีต่อการซักของผ้าไหมหลังผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู และที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดตามมาตรฐานการทดสอบ ISO 105-C01 ซึ่งผ้าควรคงทนต่อการซักล้างด้วยสารซักฟอกอย่างต่ำ 20 รอบการซักตามเกณฑ์ของสิ่งทอที่มีสมบัติพิเศษสำหรับการใช้งานทั่วไป (functional textile for general usages) โดยใช้เครื่องทดสอบการซักดังรูปที่ 3.1 การทดสอบการซักทำได้โดยการเตรียมผ้าทดสอบขนาด 5x10 เซนติเมตร และสารซักฟอกมาตรฐานที่ไม่มีสารเรืองแสง (fluorescent brightening agent) ความเข้มข้น 5 กรัมต่อลิตร นำผ้าและสารซักฟอกมาตรฐานใส่ลงในกระบอกซัก

ที่ปิดได้สนิท โดยมีอัตราส่วนของเหลวต่อวัสดุ (liquor ratio) 50:1 ไม่ต้องใส่ลูกเหล็ก จากนั้นนำเข้าเครื่องซักที่ควบคุมอุณหภูมิอยู่ที่ 40 องศาเซลเซียส ซักเป็นเวลา 30 นาทีเมื่อซักเสร็จ ล้างผ้าด้วยการใส่ในบีกเกอร์ให้น้ำไหลผ่านชิ้นทดสอบเป็นเวลา 1 นาที และตากให้แห้งที่อุณหภูมิห้องหรืออบที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส โดยในส่วนนี้ทำแค่ในเฉพาะผ้าที่ผ่านการซักครั้งที่ 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 และในรอบการซักที่ไม่ได้กล่าวถึงหลังจากซักเสร็จ จึงล้างผ้าให้สารซักฟอกเดิมออกให้สะอาดและจึงเปลี่ยนสารซักฟอกและซักครั้งต่อไป

จากนั้นทำการประเมินผลโดยการวัดค่าความเข้มของสี (K/S) ในการซักครั้งที่ 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 และเปรียบเทียบกับมาตรฐานตัวหนึ่งที่เรียกว่า เกรย์สเกลสำหรับประเมินการเปลี่ยนแปลงของสี (grey scale for assessing change in colour) โดยใช้เกรย์สเกลที่แสดงดังรูปที่ 3.12 เปรียบเทียบความแตกต่างของสีก่อนและหลังการซัก โดยนำตัวอย่างมาเปรียบเทียบในตู้แสงมาตรฐานแสดงดังรูปที่ 3.8 โดยใช้แหล่งกำเนิดแสง D_{65} (illuminant D_{65}) ในการมองเทียบสี ซึ่งระดับความคงทนของสีแสดงดังตารางที่ 3.3



รูปที่ 3.12 เกรย์สเกลสำหรับเทียบสีที่เปลี่ยนแปลงไปหลังผ่านการซักล้าง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.3 ระดับค่าความคงทนของสี

ระดับค่าความคงทนของสี	หมายถึง
5	ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสี
4	สีเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย
3	สีเปลี่ยนแปลงพอสังเกตได้
2	สีเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก
1	สีเปลี่ยนแปลงมาก

3.4.4 การทดสอบความแข็งแรงของผ้าจากค่าแรงดึงขาด

การทดสอบความแข็งแรงของผ้าจากค่าแรงดึงขาดตามมาตรฐาน ASTM D5034 ทำการทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine ยี่ห้อ Tinius Olsen รุ่น 5ST เครื่องทดสอบความแข็งแรงด้านแรงดึงขาด ดังรูปที่ 3.7 ทำการทดสอบโดยตัดชิ้นทดสอบขนาด 100x150 มิลลิเมตร ตามแนวเส้นด้ายยืนและเส้นด้ายพุ่งพร้อมทั้งทำเครื่องหมายลูกศรตามแนวเส้นด้ายยืน การทดสอบใช้อุปกรณ์วัดแรงมาตรฐาน (load cell) ขนาด 5 กิโลนิวตันติดตั้งที่จับยึดชิ้นทดสอบขนาด 2.5x5 เซนติเมตรและตั้งระยะห่างระหว่างที่จับยึดชิ้นทดสอบตัวบนและล่าง (gage length) ห่างกันเป็นระยะ 75 มิลลิเมตร ทดสอบที่ความเร็ว 300 มิลลิเมตรต่อนาที เครื่องจะแสดงค่าแรงดึงที่ทำให้ผ้าขาด (load at break) และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่จุดขาด (%elongation at break)

3.4.5 การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าจากค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (Flexural rigidity)

การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าจากค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งตามมาตรฐานการ ASTM D1388 โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างทำการทดสอบดังรูปที่ 3.6 โดยเตรียมชิ้นผ้าทดสอบขนาด 2.5x20 เซนติเมตร วางชิ้นทดสอบบนพื้นอุปกรณ์ทดสอบโดยจับปลายผ้าชิ้นทดสอบให้วางอยู่ในแนวเส้นเริ่มต้น วางแผ่นน้ำหนักที่ทำด้วยโลหะกดทับผ้า โดยกำหนดให้ตำแหน่งศูนย์บนแผ่นน้ำหนักอยู่ในตำแหน่งเดียวกับปลายผ้าที่ตำแหน่งเริ่มต้น เลื่อนแผ่นกดทับไปตามแนวราบ จากนั้นค่อย ๆ สังเกตปลายผ้าของชิ้นทดสอบ โดยกำหนดสายตาในตำแหน่งที่มองแนวเส้นแถบสีดำในกระจกเงาซ้อนทับกันสนิท สังเกตปลายผ้าของชิ้นทดสอบด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านแตะแถบเส้นสีดำที่มองเห็นซ้อนทับกัน อ่านค่าความยาวของการโค้งงอจากสเกลบนแผ่นน้ำหนัก จากนั้นนำมาคำนวณค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (flexural rigidity) ของแต่ละแนวผ้าตามแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่งจากสมการที่ 3.4

$$G = W \times C^3 \qquad \text{สมการที่ 3.4}$$

เมื่อ G = ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (กรัม•เซนติเมตร)

W = น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)

C = ค่าความยาวโค้งงอ (เซนติเมตร)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.4.6 การวิเคราะห์พื้นผิวผ้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมก่อนและหลังการทรีตอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ผ้าไหมที่ผ่านการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิกและผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิด โดยศึกษาลักษณะการยึดติดและการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนผ้าไหมด้วยเครื่อง Field emission scanning electron microscope (FESEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-7610F, Oxford X-Max 20 ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบ Schottky type field-emission (T-FE) โดยใช้ความต่างศักย์ที่ 2 kV และเคลือบด้วยสารเคลือบนำไฟฟ้า

3.4.7 การทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี (UV protection)

ทดสอบความสามารถในการป้องกันรังสียูวี (UV protection) ตามมาตรฐาน AATCC 183-2004 โดยการตัดผ้าไหมที่เตรียมได้ให้มีขนาด 2 x 2 นิ้ว จากนั้นนำไปวัดค่าร้อยละการส่องผ่านของแสง (Transmittance) ด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometers ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น LAMBDA 35 ดังแสดงรูปที่ 3.9 โดยการใช้โหมด integrating sphere กำหนดความคลื่นช่วง 280–400 นาโนเมตร โดยแบ่งเป็น UV-A ช่วง 315 – 400 นาโนเมตร และ UV-B ช่วง 280 – 315 นาโนเมตร จากนั้นคำนวณค่าความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF (Ultraviolet protection factor) ดังสมการที่ 3.5

$$UPF = \frac{\sum_{280\ nm}^{400\ nm} E\lambda \times S\lambda \times \Delta\lambda}{\sum_{280\ nm}^{400\ nm} E\lambda \times S\lambda \times \Delta\lambda \times T\lambda} \qquad \text{สมการที่ 3.5}$$

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อ $E\lambda$ = ค่าความเข้มรังสีที่มีผลกระทบต่อผิวหนังมนุษย์

$S\lambda$ = ความเข้มแสงเชิงสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์

$T\lambda$ = ค่าการส่องผ่านของแสงผ่านชิ้นตัวอย่างที่สามารถวิเคราะห์ได้

$\Delta\lambda$ = ความยาวคลื่นที่ใช้ทดสอบ (นาโนเมตร)

โดยค่า UPF จะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการป้องกันแสงแดดของวัสดุสิ่งทอ โดยบอกเป็นอัตราส่วนของปริมาณรังสียูวีที่สัมผัสผิวเมื่อมีผ้าทดสอบป้องกันอยู่ต่อปริมาณรังสีที่สัมผัสผิวเมื่อไม่มีผ้าทดสอบ (ปริมาณรังสีได้จากการคำนวณ) ซึ่งการกำหนดค่าความสามารถในการป้องกันรังสีเป็น UPF แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวี [34]

ช่วงค่า UPF	ระดับการป้องกันรังสียูวี	ปริมาณรังสีที่ป้องกันได้
< 15	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้น้อย	< ร้อยละ 93.30
15-24	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี	ร้อยละ 93.30-95.90
25-39	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดีมาก	ร้อยละ 96.00-97.40
40-50, 50+	มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุด	> ร้อยละ 97.40

3.4.8 การทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย

ทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียตามมาตรฐาน AATCC 100 : 2004 โดยการนำผ้าไหมขนาด 5x5 เซนติเมตร ใช้ปริมาณเชื้อในการทดสอบ 0.4 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง โดยทดสอบกับเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* (*S. aureus.*) ที่ผ่านการเจือจางให้ได้จำนวนเชื้อทดสอบตั้งต้นที่ 10^6 CFU/ml จากนั้นทำการเขย่าให้ตัวอย่างสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วดูดสารแขวนลอยแบคทีเรียปริมาตร 100 ไมโครลิตร ถ่ายลงสู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเพาะเชื้อ แล้วเกลี่ยให้ทั่ววุ้นอาหาร แล้วทำการบ่มจานเพาะเชื้อไว้ในตู้บ่มเพาะเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 90 สังเกตการเปลี่ยนแปลงโดยการนับจำนวนโคโลนีที่ยังมีชีวิต เพื่อคำนวณหาร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรียโคโลนีดังสมการที่ 3.6

$$R = \frac{((B-A)\times 100)}{B} \qquad \text{สมการที่ 3.6}$$

เมื่อ R = เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

A = จำนวนของแบคทีเรียหลังการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 24)

B = จำนวนของแบคทีเรียก่อนการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 0)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 ผลของเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีของผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

งานวิจัยได้ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่แตกต่างกันคือ 1.0 1.5 และ 2.0 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักผ้า (%owf) อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่แตกต่างกันคือ 1:1 1:2 และ 1:3 ร้อยละโดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก (%w/w) อุณหภูมิที่แตกต่างกันที่ 60 และ 90 องศาเซลเซียสและเวลาในการให้สีที่แตกต่างกันคือ 60 90 และ 120 นาที ในการทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทูต่อเฉดสี ความเข้มของสี (K/S) และความสม่ำเสมอของสี (RUI) ของผ้าไหม

4.1.1 ผลของเฉดสี

จากผลการทดลองพบว่า ผลของเฉดสีที่รายงานเป็นค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 1.0 %owf และอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่แตกต่างกันคือ 1:1 1:2 และ 1:3 %w/w อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 60 และ 90 องศาเซลเซียสและเวลาในการให้สีที่แตกต่างกันคือ 60 90 และ 120 นาที ได้แสดงในตารางที่ 4.1 ส่วนตัวอย่างเฉดสีของผ้าที่ได้ทรีตด้วยสภาวะดังกล่าวได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.2 ส่วนผลของเฉดสีที่รายงานเป็นค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่เปลี่ยนไปทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 1.5 %owf ได้แสดงในตารางที่ 4.3 และตัวอย่างเฉดสีของผ้าที่ทรีตด้วยสภาวะนี้ได้แสดงในตารางที่ 4.4 และผลของเฉดสีที่รายงานเป็นค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่เปลี่ยนไปทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf แสดงในตารางที่ 4.5 และตัวอย่างเฉดสีของผ้าที่ทรีตด้วยสภาวะนี้ได้แสดงในตารางที่ 4.6 จากผลของค่า CIEL*a*b* และตัวอย่างของเฉดสีของผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่สรุปในตารางที่ 4.1-4.6 สามารถสรุปได้ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.1 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 %owf

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
S-control	86.48	-0.31	2.84
S1-1-60C-60M	78.29	2.32	8.91
S1-1-60C-90M	81.11	1.91	10.34
S1-1-60C-120M	83.48	0.96	8.36
S1-2-60C-60M	81.92	1.09	7.75
S1-2-60C-90M	83.62	0.89	8.97
S1-2-60C-120M	83.82	0.79	8.99
S1-3-60C-60M	83.36	0.53	5.68
S1-3-60C-90M	82.95	0.76	7.85
S1-3-60C-120M	84.02	0.69	8.13
S1-1-90C-60M	80.17	1.11	6.87
S1-1-90C-90M	78.86	1.16	6.84
S1-1-90C-120M	77.89	1.28	6.60
S1-2-90C-60M	79.03	0.99	7.51
S1-2-90C-90M	77.92	1.13	7.06
S1-2-90C-120M	77.81	1.08	7.04
S1-3-90C-60M	78.82	1.26	7.20
S1-3-90C-90M	76.10	1.06	7.26
S1-3-90C-120M	75.54	1.34	7.33

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.2 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 %owf

Temperature (°C)	TSC (%w/w)	Time (minute)		
		60	90	120
60	1			
	2			
	3			
90	1			
	2			
	3			

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.5 %owf

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
S-control	86.48	-0.31	2.84
S1.5-1-60C-60M	81.89	1.75	9.48
S1.5-1-60C-90M	82.32	1.44	9.38
S1.5-1-60C-120M	83.27	0.91	8.89
S1.5-2-60C-60M	82.69	1.23	7.79
S1.5-2-60C-90M	82.33	0.83	8.45
S1.5-2-60C-120M	82.26	1.40	9.42
S1.5-3-60C-60M	82.27	1.04	7.52
S1.5-3-60C-90M	81.42	0.76	8.18
S1.5-3-60C-120M	80.06	0.90	8.92
S1.5-1-90C-60M	78.01	1.66	7.36
S1.5-1-90C-90M	75.56	1.76	7.09
S1.5-1-90C-120M	74.02	1.98	7.10
S1.5-2-90C-60M	76.07	1.90	8.07
S1.5-2-90C-90M	72.95	2.49	8.43
S1.5-2-90C-120M	68.61	3.66	8.64
S1.5-3-90C-60M	73.23	1.78	8.61
S1.5-3-90C-90M	71.33	2.88	8.75
S1.5-3-90C-120M	64.67	3.63	8.86

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.5 %owf

Temperature (°C)	TSC (%w/w)	Time (minute)		
		60	90	120
60	1			
	2			
	3			
90	1			
	2			
	3			

4.1.1.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีตมีสีขาวอมเหลืองเล็กน้อย และเมื่อดูจากค่า CIEL*a*b* มีค่า L* 86.48 ค่า a* -0.31 และ b* 2.84 และเมื่อทำการทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีจะพบว่าผ้าไหมที่ผ่านการทรีตมีค่า CIEL*a*b* ที่เปลี่ยนแปลงและแตกต่างกันออกไปบ้าง เมื่อดูจากตัวอย่างของเฉดสีของผ้าไหมที่ทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 1.0 %owf จะพบว่าเฉดสีที่เห็นเปลี่ยนแปลงจากสีขาวเป็นเทาอ่อน ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 ตัวอย่างเช่น S1-3-90C-120M มีค่า L* 75.54 ค่า a* 1.34 และ b* 7.33 จึงเห็นเฉดสีของผ้าไหมที่ทรีตเป็นสีเทาอ่อน เมื่อความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเปลี่ยนไปที่ 1.5 %owf จะเห็นเฉดสีที่เปลี่ยนแปลงจากสีเทาอ่อนเป็นสีน้ำตาลอ่อน ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งจะมีค่า CIEL*a*b* ที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่นค่า CIEL*a*b* ของตัวอย่างที่ S1.5-3-90C-120M มีค่า L* 64.67 ค่า a* 3.63 และ

b* 8.86 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่า L* ที่น้อยลงแสดงว่าความสว่างน้อยลง และค่า a* และ b* ที่เพิ่มมากขึ้นแสดงว่าเฉดสีจะออกมาโทนเหลืองอมแดงเพิ่มมากขึ้น จึงเห็นเฉดสีของผ้าไหมที่ทรีตเป็นสีน้ำตาลอ่อน ๆ และเมื่อความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตเปลี่ยนไปที่ 2.0 %owf จะเห็นเฉดสีที่เปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลอ่อนเป็นสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 4.6 ยกตัวอย่างเช่น ค่า CIEL*a*b* ของตัวอย่างที่ S2-3-90C-120M มีค่า L* 49.88 ค่า a* 11.36 และ b* 38.34 ซึ่งจะเห็นว่ามีค่า L* ที่น้อยลงไปอีก ส่วนค่า a* และค่า b* ที่เพิ่มมากขึ้นแสดงว่าเฉดสีจะออกมาโทนน้ำตาลอมแดงที่เพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่ายิ่งเราเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตมากขึ้นค่าเฉดสีของผ้าไหมที่ทรีตจะออกมาเป็นสีน้ำตาลมากขึ้น ส่วนค่า CIE L a* b* ก็จะมีค่า L* ที่มีค่าน้อยลงแสดงว่าได้เฉดสีที่เข้มขึ้น ค่า a* เป็นบวกมากขึ้นแสดงว่าเฉดสีออกไปทางสีแดงเพิ่มมากขึ้น และค่า b* เป็นบวกมากขึ้นแสดงว่าเฉดสีออกไปทางสีเหลืองมากขึ้น เมื่อรวมกันระหว่างเหลืองและแดงจึงได้เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเฉดสีน้ำตาล

4.1.1.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต

จากการศึกษาอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่แตกต่างกันคือ 1:1 1:2 และ 1:3 %w/w ส่งผลให้เฉดสีที่เกิดขึ้นมีเฉดสีที่ต่างกันออกไป โดยเปรียบเทียบตัวอย่างเฉดสีที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 1.5 %owf ดังตัวอย่างเฉดสีในตารางที่ 4.4 พบว่าอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่ 1:1 %w/w จะได้เฉดสีเทาอ่อน ๆ แต่เมื่ออัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเปลี่ยนไปที่ 1:3 %w/w จะได้เฉดสีน้ำตาลอ่อน ๆ เกิดขึ้น และถ้ามาดูที่ค่า CIEL*a*b* ในตารางที่ 4.3 เพื่อทำการเปรียบเทียบดังตัวอย่างที่ S1.5-1-90C-120M มีค่า L* 74.02 ค่า a* 1.98 และ b* 7.10 และตัวอย่างที่ S1.5-3-90C-120M มีค่า L* 64.67 ค่า a* 3.63 และ b* 8.86 ซึ่งจะสังเกตเห็นว่าการใช้อัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นของสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่ทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ ส่งผลทำให้ค่า L* ต่ำลง ค่า a* และค่า b* เป็นค่าบวกเพิ่มมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าเฉดสีที่ได้จะออกไปทางสีเหลืองและสีแดงเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 4.5 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
S-control	86.48	-0.31	2.84
S2-1-60C-60M	78.02	3.72	12.80
S2-1-60C-90M	80.45	2.42	11.57
S2-1-60C-120M	80.42	2.03	10.75
S2-2-60C-60M	81.08	1.79	11.61
S2-2-60C-90M	79.76	2.28	12.27
S2-2-60C-120M	79.69	2.18	12.00
S2-3-60C-60M	81.43	1.55	10.81
S2-3-60C-90M	82.14	1.20	10.19
S2-3-60C-120M	80.74	1.57	10.31
S2-1-90C-60M	72.18	2.92	8.25
S2-1-90C-90M	65.99	4.83	10.26
S2-1-90C-120M	61.07	6.78	15.80
S2-2-90C-60M	65.83	5.40	12.60
S2-2-90C-90M	56.31	8.09	26.17
S2-2-90C-120M	53.97	9.10	31.45
S2-3-90C-60M	66.21	5.14	12.10
S2-3-90C-90M	58.49	7.26	22.81
S2-3-90C-120M	49.88	11.36	38.34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.6 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf

Temperature (°C)	TSC (%w/w)	Time (minute)		
		60	90	120
60	1			
	2			
	3			
90	1			
	2			
	3			

4.1.1.3 ผลของอุณหภูมิ

ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ 60 และ 90 องศาเซลเซียสต่อเฉดสีของตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 พบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เฉดสีที่เกิดขึ้นเป็นเฉดสีเทาค่อนข้างอ่อน แต่เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นไปที่ 90 องศาเซลเซียส เฉดสีที่เกิดขึ้นจะเป็นเฉดสีน้ำตาลที่เข้มขึ้นอย่างชัดเจน และถ้าเปรียบเทียบค่า CIEL*a*b* ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ตัวอย่างที่ S2-3-60C-120M มีค่า L* 80.74 ค่า a* 1.57 ค่า b* 10.31 และตัวอย่างที่ S2-3-90C-120M มีค่า L* 49.88 ค่า a* 11.36 ค่า b* 38.34 จากค่า CIEL*a*b* สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นค่า L* มีค่าน้อยลง ค่า a* เป็นบวกเพิ่มมากขึ้นสีที่ได้จะออกโทนสีแดงเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่า b* เป็นบวกเพิ่มมากขึ้นเช่นกันสีที่ได้จะออกโทนสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งหมายถึงว่าเฉดสีที่ได้จะออกไปทางสีเหลืองอมแดงหรือสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการทรีตผ้าไหมสูงขึ้น

4.1.1.4 ผลของเวลา

ผลของเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู คือ 60 90 และ 120 นาทีต่อเฉดสีของตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ตัวอย่างสีที่ใช้เวลาในการทรีต 60 นาที จะได้เฉดสีเทาอมน้ำตาลอ่อน เมื่อเพิ่มเวลาในการทรีตที่ 90 นาที จะได้เฉดสีน้ำตาลอมเหลือง และเมื่อเพิ่มเวลาในการทรีตไปที่ 120 นาที จะได้เฉดสีน้ำตาลเข้มอมเหลืองขึ้น และถ้าเปรียบเทียบค่า CIEL*a*b* ดังแสดงในตารางที่ 4.5 ตัวอย่างที่ S2-3-90C-60M มีค่า L* 66.21 ค่า a* 5.17 ค่า b* 12.10 ตัวอย่างที่ S2-3-90C-90M มีค่า L* 58.49 ค่า a* 7.26 ค่า b* 22.81 และตัวอย่างที่ S2-3-90C-120M มีค่า L* 49.88 ค่า a* 11.36 ค่า b* 38.34 จากค่า CIEL*a*b* สรุปได้ว่าเมื่อเวลาในการทรีตเพิ่มมากขึ้นค่า L* มีค่าน้อยลง ค่า a* เป็นบวกเพิ่มมากขึ้นสีที่ได้จะออกโทนสีแดงเพิ่มมากขึ้น ส่วนค่า b* เป็นบวกเพิ่มมากขึ้นเช่นกันสีที่ได้จะออกโทนสีเหลืองมากขึ้น ซึ่งหมายถึงว่าเฉดสีที่ได้จะออกไปทางสีเหลืองอมแดงหรือสีน้ำตาลมากขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการทรีตผ้าไหมสูงขึ้น

4.1.2 ผลของความเข้มของสี (K/S)

จากผลการทดลองพบว่าค่า K/S ของผ้าไหมที่ทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 1.0 %owf และอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่แตกต่างกันคือ 1:1 1:2 และ 1:3 %w/w อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 60 และ 90 องศาเซลเซียสและเวลาในการทรีตที่แตกต่างกันคือ 60 90 และ 120 นาที แสดงดังรูปที่ 4.1 ส่วนผลของค่า K/S ของผ้าไหมที่ทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 1.5 และ 2.0 %owf แสดงดังรูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ตามลำดับ จากผลการทดลองที่แสดงดังรูปที่ 4.1-4.3 สรุปได้ดังนี้

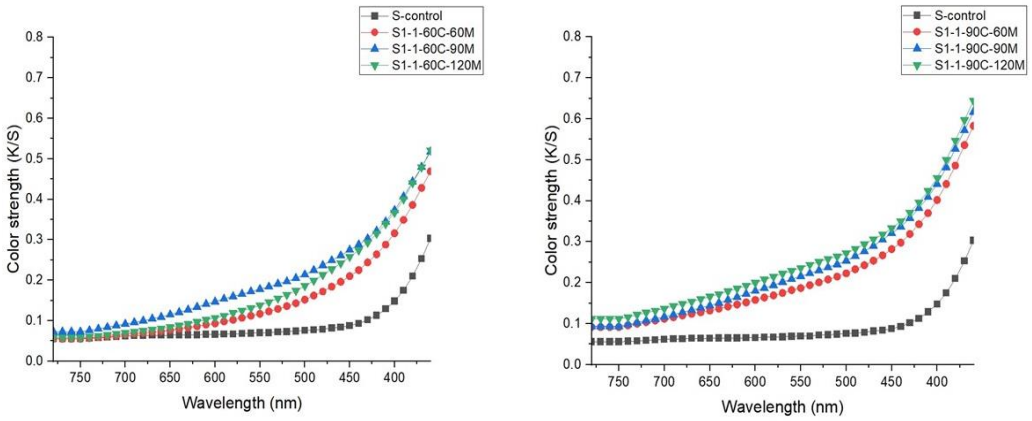
4.1.2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

จากการศึกษาผลของการสังเคราะห์สีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูต่อการให้สีบนผ้าไหม ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ($AgNO_3$) ที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 1.0-2.0 %owf พบว่าจากกราฟที่แสดงดังรูปที่ 4.1-4.2 เส้นกราฟจะเป็นแนวเส้นโค้งขึ้นไปทีละน้อย ซึ่งค่าความเข้มของสีไม่ได้มีความแตกต่างกันมากที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 1.0 และ 1.5 %owf แต่ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf ในรูปที่ 4.3 จะเริ่มเห็นจุดยอดสุดของแนวเส้นโค้งของค่า K/S ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร และค่าความเข้มของสีมีค่าเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตก็เป็นการเพิ่ม Ag^+ มากขึ้น

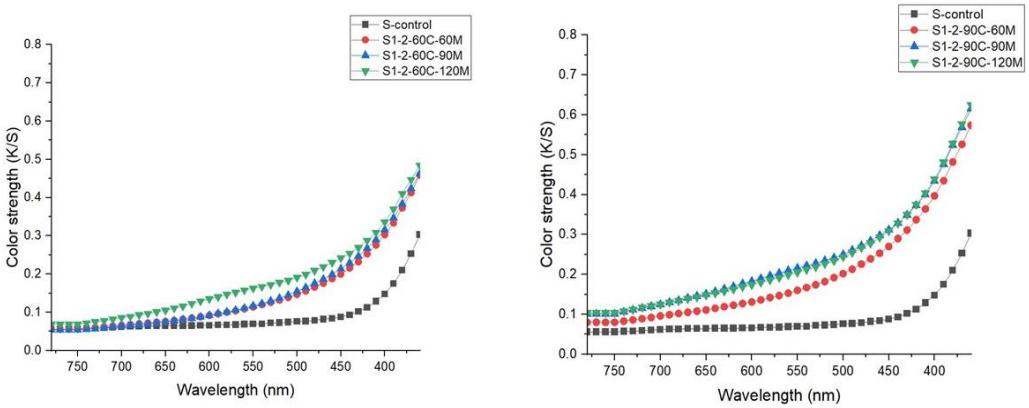
บนผ้าไหม แต่การเปลี่ยน Ag^{+} ให้เป็น Ag^{0} ที่เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ก็จำเป็นต้องอาศัยปัจจัยอื่น ๆ เช่น ตัวรีดิวซ์ เป็นต้น

4.1.2.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต

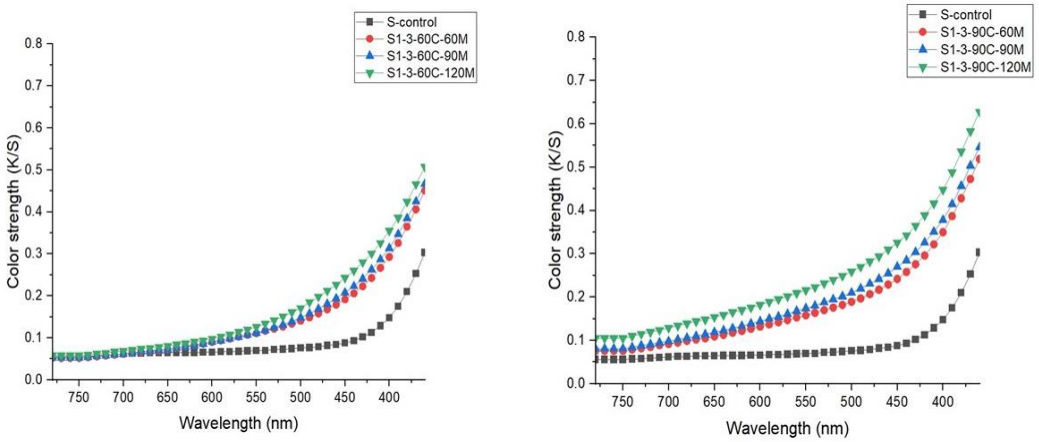
ผลของอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่แตกต่างกันคือ 1:1 1:2 และ 1:3 %w/w ที่มีต่อค่า K/S ก็ให้ผลไปในแนวทางเดียวกันกับผลของความเข้มข้นสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต สรุปคือเมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเพิ่มมากขึ้น เมื่อสังเกตจากเส้นกราฟในรูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นกราฟแนวเส้นโค้ง พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์ต่ำค่า K/S ก็จะต่ำ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์ให้สูงขึ้น ค่า K/S ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน อย่างไรก็ตามถ้าต้องการให้ค่า K/S เพิ่มมากขึ้นไปอีก จำเป็นจะต้องอาศัยปัจจัยอื่นๆเข้ามาช่วย เช่น อุณหภูมิและเวลาในการทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ดังเห็นได้จากกราฟได้รูปที่ 4.3 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและเวลาให้มากขึ้น ค่า K/S จะสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด



(ก)



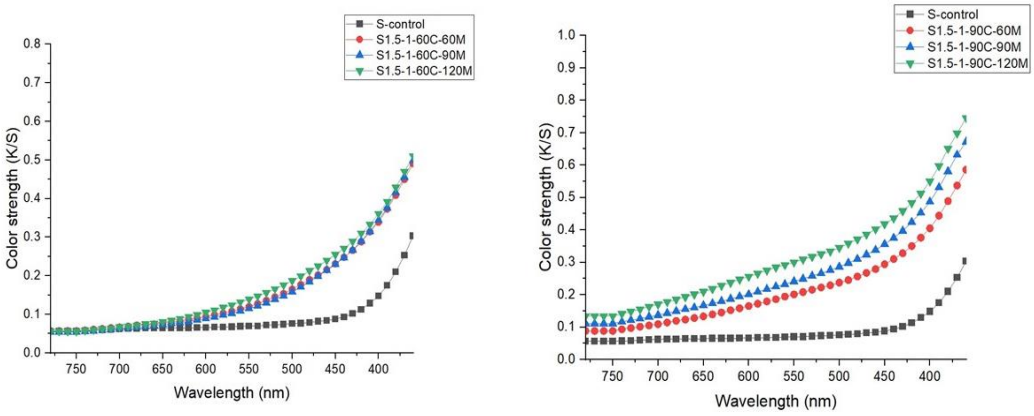
(ข)



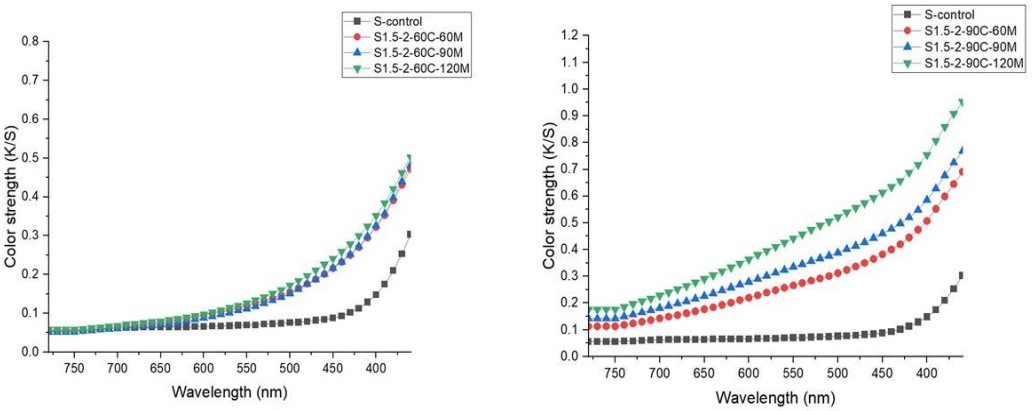
(ค)

รูปที่ 4.1 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:1 (ก) อัตราส่วน 1:2 (ข) และอัตราส่วน 1:3 (ค) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ซ้าย) และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ขวา)

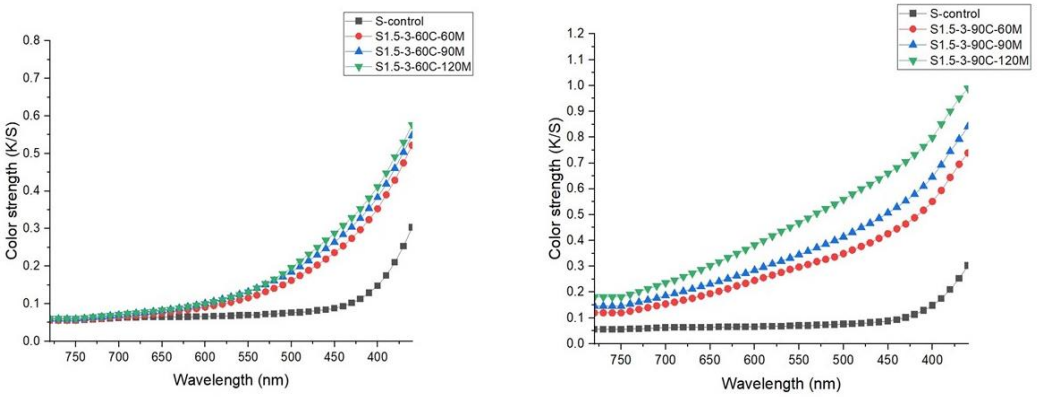
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



(ก)



(ข)



(ค)

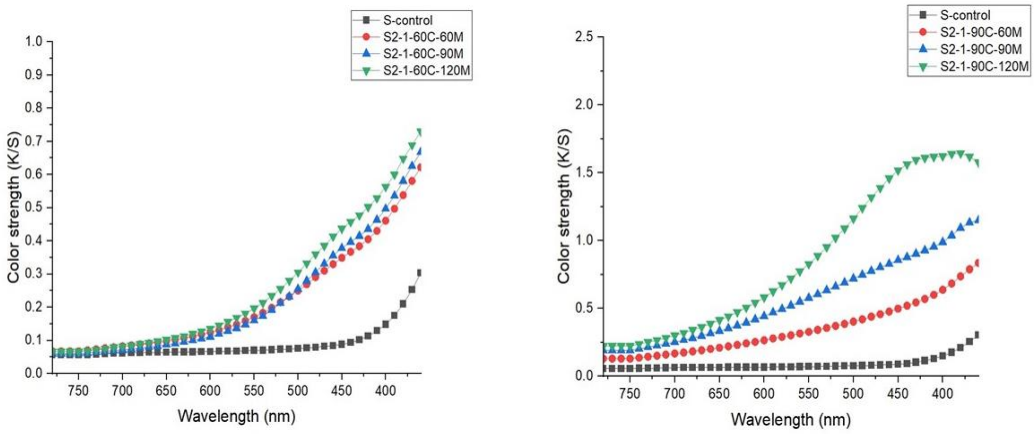
รูปที่ 4.2 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.5 %owf ที่อัตราส่วน 1:1 (ก) อัตราส่วน 1:2 (ข) และอัตราส่วน 1:3 (ค) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ซ้าย) และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ขวา)

4.1.2.3 ผลของอุณหภูมิ

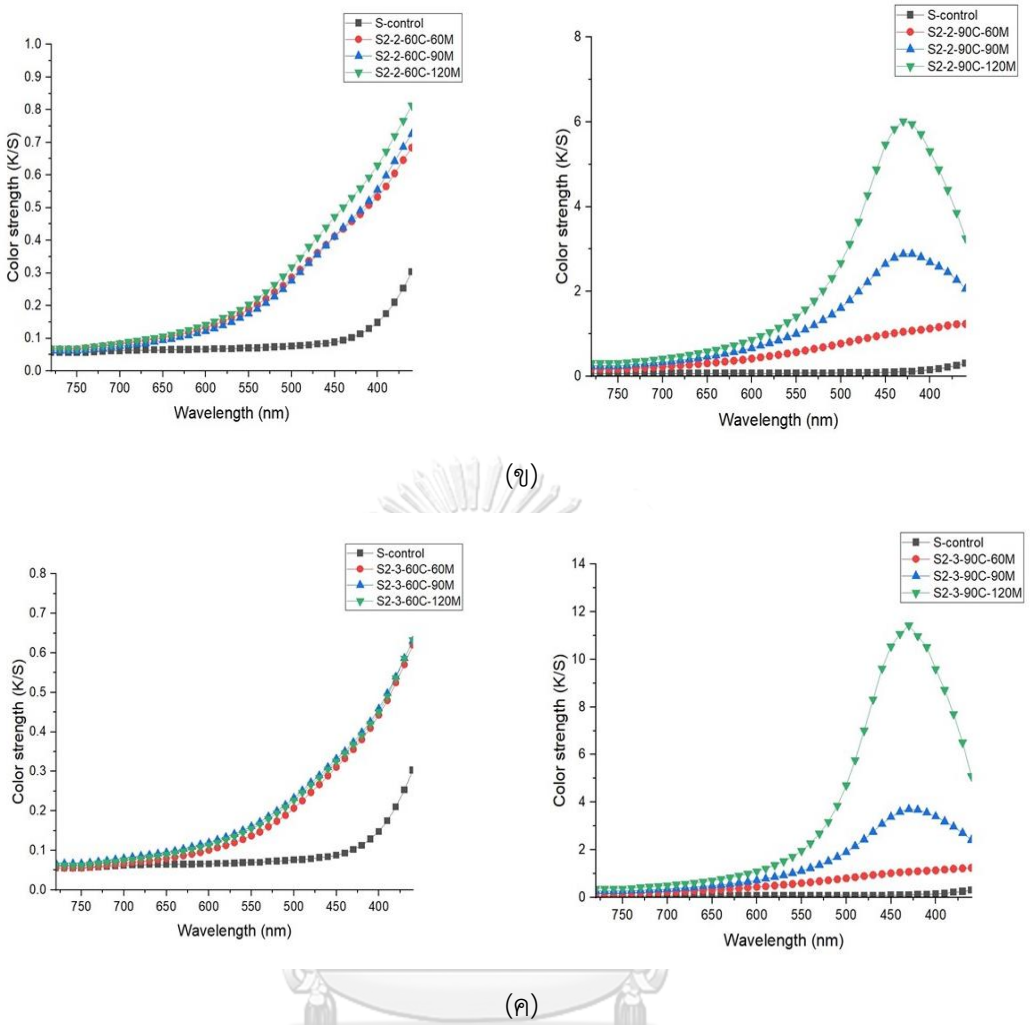
ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่แตกต่างกันที่ 60 และ 90 องศาเซลเซียส พบว่าค่า K/S สูงขึ้นเมื่อเราเพิ่มอุณหภูมิในการทรีตมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ที่อุณหภูมิในการทรีต 60 องศาเซลเซียส ตามรูปกราฟด้านซ้ายมีค่า K/S ต่ำกว่าที่อุณหภูมิในการทรีต 90 องศาเซลเซียส ตามรูปกราฟด้านขวา

4.1.2.4 ผลของเวลา

ผลของเวลาที่ใช้ในการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่แตกต่างกันคือ 60 90 และ 120 นาที พบว่าค่า K/S สูงขึ้นเมื่อเราเพิ่มเวลาในการทรีตที่มากขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf ดังรูปที่ 4.3 รูปกราฟด้านขวา ซึ่งเป็นเวลาในการทรีตที่ 60 นาที มีค่า K/S ที่ต่ำกว่าของเวลาในการทรีตที่ 120 นาที เนื่องจากเวลาที่เพิ่มมากขึ้นการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีอาจเกิดได้มากขึ้น ส่งผลให้ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตมีเฉดสีที่เข้มขึ้น



(ก)



รูปที่ 4.3 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:1 (ก) อัตราส่วน 1:2 (ข) และอัตราส่วน 1:3 (ค) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (ซ้าย) และที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส (ขวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.1.3 ผลของความสม่ำเสมอของสี (RUI)

เมื่อนำผ้าไหมผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูของแต่ละตัวอย่างมาวัดค่าการสะท้องของแสง (%R) ให้ทั่วทั้งผืนตัวอย่าง 20 จุดและนำค่าการสะท้อนของแสง (%R) มาคำนวณหาค่า Relative unlevelness index (RUI) ซึ่งค่านี้สามารถอธิบายความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมได้ตามที่ได้อธิบายแล้วในหัวข้อที่ 3.4.2 ในบทที่ 3 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 1.5 และ 2.0

%owf รายงานค่าดังกล่าวเอาไว้ในตารางที่ 4.7 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ จากผลของค่า RUI ที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

4.1.3.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต

จากการศึกษาพบว่าเมื่อเราใช้ปริมาณความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่เพิ่มขึ้น ณ สภาวะอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต อุณหภูมิและเวลาในการทรีตที่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างที่ S1-1-60C-60M ในตารางที่ 4.7 ตัวอย่างที่ S1.5-1-60C-60M ในตารางที่ 4.8 และตัวอย่างที่ S2-1-60C-60M ในตารางที่ 4.9 ให้ผลของค่า RUI ที่ลดลงจาก 1.07 1.01 และ 0.91 ตามลำดับ ส่งผลทำให้ค่า RUI มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย อาจเป็นเพราะว่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตดูดซับเข้าไปในผ้าไหมได้มากขึ้นเมื่อผ่านขั้นตอนการรีดิวซ์เพื่อเปลี่ยนให้เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีนั้นกระจายไปที่บนตัวผ้าไหมได้มากขึ้น ส่งผลทำให้ค่า RUI มีค่าลดลง ซึ่งแสดงว่าความสม่ำเสมอของสีบนผ้าดีขึ้นบ้าง อย่างไรก็ตาม ความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตไม่เพียงขึ้นอยู่กับปริมาณการดูดซับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่พอเพียงทั่วทั้งผืนผ้าไหมแล้ว ปัจจัยอื่นๆ เช่น อัตราส่วนการใช้สารตัวรีดิวซ์ อุณหภูมิและเวลาในการทรีตก็สำคัญเช่นกัน เพราะได้เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในการเปลี่ยนให้เกิดเป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนผ้าไหม

4.1.3.2 ผลของอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษาพบว่าเมื่อการใช้อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่เพิ่มขึ้น ณ สภาวะที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต อุณหภูมิและเวลาในการทรีตที่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบผลจากในตารางที่ 4.7 ตัวอย่างที่ S1-1-60C-60M ตัวอย่างที่ S1-2-60C-60M และตัวอย่างที่ S1-3-60C-60M ให้ผลของค่า RUI ที่ลดลง 1.07 1.01 และ 0.98 ตามลำดับ แสดงว่าความสม่ำเสมอของสีบนผ้าผ้าดีขึ้นเมื่อเราเพิ่มอัตราส่วนของตัวรีดิวซ์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w จะให้ค่า RUI ที่น้อยกว่าในอัตราส่วนอื่น ๆ ของตัวรีดิวซ์ที่ศึกษา ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อปริมาณความเข้มข้นของตัวรีดิวซ์สูงขึ้นการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีเกิดได้มากขึ้นบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตเห็นสีที่มีความสม่ำเสมอดีขึ้น

ตารางที่ 4.7 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.0 %owf

ตัวอย่าง	RUI	ลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏ
S1-1-60C-60M	1.07	ต่ำมาก
S1-1-60C-90M	1.05	ต่ำมาก
S1-1-60C-120M	0.98	ต่ำ
S1-2-60C-60M	1.01	ต่ำมาก
S1-2-60C-90M	0.91	ต่ำ
S1-2-60C-120M	0.85	ต่ำ
S1-3-60C-60M	0.98	ต่ำ
S1-3-60C-90M	0.88	ต่ำ
S1-3-60C-120M	0.82	ต่ำ
S1-1-90C-60M	0.74	ต่ำ
S1-1-90C-90M	0.51	ต่ำ
S1-1-90C-120M	0.50	ต่ำ
S1-2-90C-60M	0.72	ต่ำ
S1-2-90C-90M	0.66	ต่ำ
S1-2-90C-120M	0.51	ต่ำ
S1-3-90C-60M	0.68	ต่ำ
S1-3-90C-90M	0.57	ต่ำ
S1-3-90C-120M	0.50	ต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.8 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 1.5 %owf

ตัวอย่าง	RUI	ลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏ
S1.5-1-60C-60M	1.01	ต่ำมาก
S1.5-1-60C-90M	0.93	ต่ำ
S1.5-1-60C-120M	0.91	ต่ำ
S1.5-2-60C-60M	0.83	ต่ำ
S1.5-2-60C-90M	0.76	ต่ำ
S1.5-2-60C-120M	0.74	ต่ำ
S1.5-3-60C-60M	0.72	ต่ำ
S1.5-3-60C-90M	0.64	ต่ำ
S1.5-3-60C-120M	0.60	ต่ำ
S1.5-1-90C-60M	0.82	ต่ำ
S1.5-1-90C-90M	0.77	ต่ำ
S1.5-1-90C-120M	0.63	ต่ำ
S1.5-2-90C-60M	0.65	ต่ำ
S1.5-2-90C-90M	0.55	ต่ำ
S1.5-2-90C-120M	0.50	ต่ำ
S1.5-3-90C-60M	0.64	ต่ำ
S1.5-3-90C-90M	0.51	ต่ำ
S1.5-3-90C-120M	0.50	ต่ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.9 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf

ตัวอย่าง	RUI	ลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏ
S2-1-60C-60M	0.91	ต่ำ
S2-1-60C-90M	0.81	ต่ำ
S2-1-60C-120M	0.76	ต่ำ
S2-2-60C-60M	0.90	ต่ำ
S2-2-60C-90M	0.80	ต่ำ
S2-2-60C-120M	0.77	ต่ำ
S2-3-60C-60M	0.83	ต่ำ
S2-3-60C-90M	0.77	ต่ำ
S2-3-60C-120M	0.75	ต่ำ
S2-1-90C-60M	0.80	ต่ำ
S2-1-90C-90M	0.65	ต่ำ
S2-1-90C-120M	0.49	ดี
S2-2-90C-60M	0.68	ต่ำ
S2-2-90C-90M	0.41	ดี
S2-2-90C-120M	0.39	ดี
S2-3-90C-60M	0.51	ต่ำ
S2-3-90C-90M	0.49	ดี
S2-3-90C-120M	0.42	ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1.3.3 ผลของอุณหภูมิ

เมื่ออุณหภูมิในการทรีตเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนเป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี ณ สภาวะที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตและเวลาในการทรีตที่เท่ากัน พบว่าตัวอย่างที่ S2-1-60C-60M และตัวอย่างที่ S2-1-90C-60M ในตารางที่ 4.9 ให้ผลของค่า RUI ที่ 0.91 และ 0.78 ลดลงตามลำดับ แสดงว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นสีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตมีความสม่ำเสมอเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการทรีตเพื่อให้เกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่มีเสถียรภาพและเกิดได้สมบูรณ์ และการกระจายตัวบนผ้าก็ดีขึ้น ส่งผลให้ทำให้สีที่เกิดขึ้นบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตมีความสม่ำเสมอที่ดีขึ้น

4.1.3.4 ผลของเวลา

ผลของการใช้เวลาในการทรีตเพื่อทำให้เกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี ณ สภาวะที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตและอุณหภูมิในการทรีตที่เท่ากัน จากตัวอย่างที่ S2-3-90C-60M ตัวอย่างที่ S2-3-90C-90M และตัวอย่างที่ S2-3-90C-120M ในตารางที่ 4.9 ให้ผลของค่า RUI ที่ 0.51 0.49 และ 0.42 ลดลงตามลำดับ แสดงว่าความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตมีสีที่สม่ำเสมอดีขึ้นเมื่อเวลาที่ใช้ในการทรีตนานขึ้น ซึ่งการใช้เวลาในการทรีตที่นานขึ้นนั้นสามารถช่วยเพิ่มระยะเวลาในการเปลี่ยนให้เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีได้มากขึ้นบนผ้าไหม ส่งผลทำให้ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตมีความสม่ำเสมอของสีที่ดีขึ้น

จากผลของการศึกษาเฉดสี ค่า K/S และค่า RUI บนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูโดยการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต อุณหภูมิและเวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน สรุปได้ว่าตัวแปรทั้งสี่ที่ศึกษามีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันที่จะส่งผลให้ได้เฉดสีที่เข้มและความสม่ำเสมอของสีที่ดีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ต่ำกว่า 2.0 %owf และอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อความเข้มของเฉดสีบนผ้ามากนัก จึงได้ตัดตัวแปรส่วนนี้ออกไป และยังคงเหลือตัวแปรที่จะใช้คือความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่ 1:3 %w/w อุณหภูมิในการทรีต 90 องศาเซลเซียส และเวลาที่ใช้ในการทรีต 60 90 และ 120 นาที ในการศึกษาผลของค่าพีเอชต่อไป

4.2 ผลของค่าพีเอชในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูต่อเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหม

การศึกษาผลกระทบของค่าพีเอชต่อเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ทำโดยปรับค่าพีเอชของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตไปที่ 4.0 และปรับค่าพีเอชของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตขึ้นไปที่ 8.0 โดยสภาวะก่อนปรับค่าพีเอชของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตมีค่าพีเอชที่ 5.6 สภาวะที่ใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู เพื่อศึกษาผลกระทบของค่าพีเอชทำที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่ 1:1 1:2 และ 1:3 %w/w ที่อุณหภูมิในการทรีตที่ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการทรีตที่ 60 90 และ 120 นาที

4.2.1 ผลของเฉดสี

การปรับค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ในสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตก่อนการทรีต ส่งผลทำให้ได้เฉดสีที่ได้ที่เข้มขึ้นกว่าเฉดสีของผ้าที่ทรีตด้วยสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ค่าพีเอช 5.6 และที่ค่าพีเอช 8.0 ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะค่าพีเอช 4.0 ของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตส่งผลทำให้ผ้าไหมดูดซับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตได้ดีกว่าที่สภาวะค่าพีเอชที่ 5.6 และ 8.0 เมื่อผ้าไหมดูดซับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตได้มากขึ้น เมื่อถูกรีดิวซ์ก็จะเกิดการเปลี่ยนแปลงจาก Ag^+ เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตที่สภาวะค่าพีเอชที่ 4.0 มากกว่าผ้าไหมที่ผ่านการทรีตที่สภาวะค่าพีเอชที่ 5.6 และ 8.0

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะค่าพีเอชเท่ากับ 8.0 มีเฉดสีที่อ่อนกว่าเฉดสีบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะค่าพีเอชเท่ากับ 5.6 ทั้งนี้เพราะสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่เป็นด่างที่เกิดจากการปรับค่าพีเอชด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) อาจจะส่งผลทำให้เกิดซิลเวอร์ออกไซด์ (Ag_2O) ที่ตกตะกอนออกมาตามสมการการเกิดปฏิกิริยาที่ 4.1 [35] จึงทำให้ปริมาณของ Ag^+ ถูกดูดซับบนผ้าไหมน้อยลงส่งผลทำให้เกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีบนผ้าไหมที่ลดลงในขั้นตอนการตัวรีดิวซ์ ทำให้เฉดสีซีดจางลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชที่ 4.0 และ 5.6

$$2AgNO_3\ (aq) + 2NaOH\ (aq) \longrightarrow Ag_2O\ (s) + 2NaNO_3\ (aq) + H_2O\ (l) \qquad \text{สมการที่ 4.1}$$

(precipitation)

ตารางที่ 4.10 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 5.6 และ 8.0

pH	TSC (%w/w)	Time (minute)		
		60	90	120
4.0	1			
	2			
	3			
5.6	1			
	2			
	3			
8.0	1			
	2			
	3			

ส่วนผลของเฉดสีที่รายงานเป็นค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf และอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่แตกต่างกันคือ 1:1 1:2 และ 1:3 %w/w อุณหภูมิในการทรีตที่ 90 องศาเซลเซียส เวลาในการทรีตที่แตกต่างกันคือ 60 90 และ 120 นาที และค่าพีเอชที่แตกต่างกันคือ 4.0 5.6 และ 8.0 แสดงในตารางที่ 4.11 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ เมื่อนำเอาตัวอย่างที่ S2-3-90C-60M-pH4.0 ซึ่งมีค่า L* 48.54 ค่า a* 12.57 และ b* 37.11 ในตารางที่ 4.11 ตัวอย่างที่ S2-3-90C-60M-pH5.6 ซึ่งมีค่า L* 66.21 ค่า a* 5.14 และ b* 12.10 ในตารางที่ 4.12

และตัวอย่างที่ S2-3-90C-60M-pH8.0 ซึ่งมีค่า L* 68.59 ค่า a* 5.06 และ b* 8.57 ในตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นว่ายิ่งเราใช้ค่าพีเอชที่สูงขึ้นค่า L* จะสูงขึ้นด้วย ผลของค่า a* เมื่อเปรียบเทียบตัวอย่างเดียวกันมีค่าเท่ากับ 12.57 5.14 และ 5.06 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ายิ่งใช้ค่าพีเอชที่สูงขึ้นค่า a* ลดลง ซึ่งหมายถึงว่าเฉดสีแดงบนผ้าไหมจะลดน้อยลง ส่วนผลผลของค่า b* เมื่อเทียบเทียบกับตัวอย่างเดียวกันมีค่าเท่ากับ 37.11 12.10 และ 8.57 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ายิ่งใช้ค่าพีเอชที่สูงขึ้นค่า b* จะลดลง ซึ่งหมายถึงว่าเฉดสีบนผ้ามีสีเหลืองลดลงนั่นเอง สรุปได้ว่าที่ค่าพีเอช 4.0 การดูดซับ Ag^+ ของผ้าไหมทำได้ดีกว่าที่สภาวะค่าพีเอชอื่น ๆ ทำให้ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตมีเฉดสีที่เกิดจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีนั้นมีสีที่เข้มกว่าของสภาวะการทรีตที่ใช้ค่าพีเอช 5.6 และ 8.0

ตารางที่ 4.11 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
S2-1-90C-60M-pH4.0	71.78	3.16	9.15
S2-1-90C-90M-pH4.0	58.92	7.56	22.42
S2-1-90C-120M-pH4.0	55.85	6.78	27.30
S2-2-90C-60M-pH4.0	66.91	5.37	11.87
S2-2-90C-90M-pH4.0	54.71	9.61	32.91
S2-2-90C-120M-pH4.0	49.65	11.93	38.94
S2-3-90C-60M-pH4.0	48.54	12.57	37.11
S2-3-90C-90M-pH4.0	43.08	15.16	38.08
S2-3-90C-120M-pH4.0	42.03	15.12	39.79

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.12 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5.6

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
S2-1-90C-60M-pH5.6	72.18	2.92	8.25
S2-1-90C-90M-pH5.6	65.99	4.83	10.26
S2-1-90C-120M-pH5.6	61.07	6.78	15.80
S2-2-90C-60M-pH5.6	65.83	5.40	12.60
S2-2-90C-90M-pH5.6	56.31	8.09	26.17
S2-2-90C-120M-pH5.6	53.97	9.10	31.45
S2-3-90C-60M-pH5.6	66.21	5.14	12.10
S2-3-90C-90M-pH5.6	58.49	7.26	22.81
S2-3-90C-120M-pH5.6	49.88	11.36	38.34

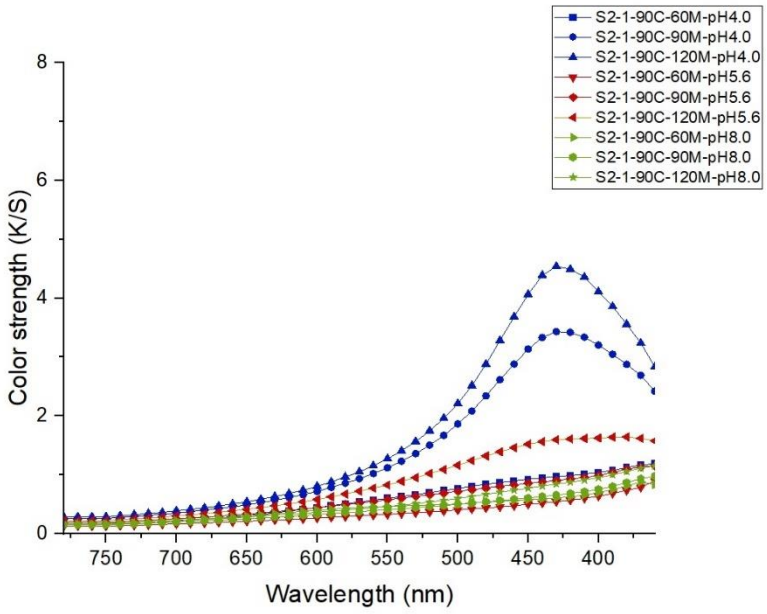
ตารางที่ 4.13 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8.0

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
S2-1-90C-60M-pH8.0	69.19	2.56	5.01
S2-1-90C-90M-pH8.0	67.32	2.59	7.95
S2-1-90C-120M-pH8.0	66.53	3.09	9.61
S2-2-90C-60M-pH8.0	77.95	1.35	7.01
S2-2-90C-90M-pH8.0	73.14	2.49	7.35
S2-2-90C-120M-pH8.0	65.16	5.23	10.29
S2-3-90C-60M-pH8.0	68.59	4.15	8.57
S2-3-90C-90M-pH8.0	66.13	5.06	10.40
S2-3-90C-120M-pH8.0	56.96	7.76	28.91

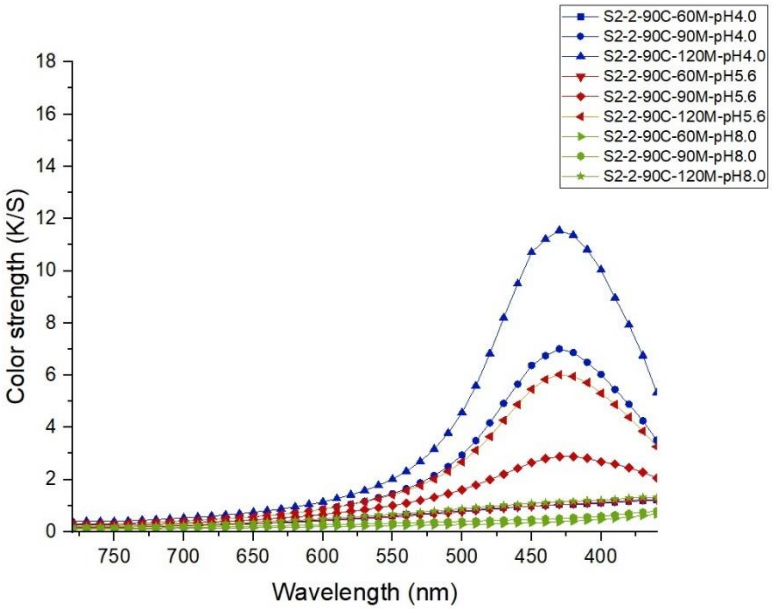
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2.2 ผลของความของเข้มสี (K/S)

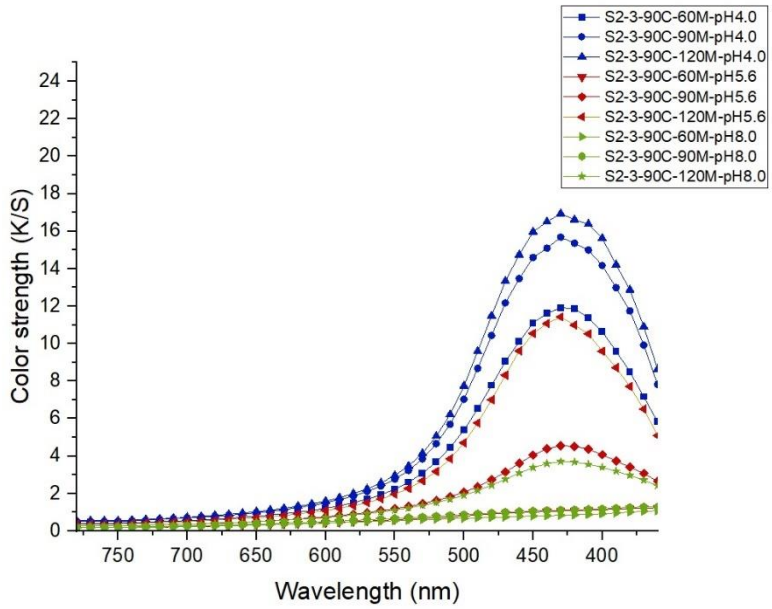
ผลของค่า K/S ที่ค่าพีเอชแตกต่างกันคือ 4.0 5.6 และ 8.0 แสดงดังรูปที่ 4.4 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ ค่า K/S ที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ค่าพีเอช 4.0 กราฟเส้นสีน้ำเงิน จะมีค่า K/S ที่สูงกว่าที่ค่าพีเอช 8.0 กราฟเส้นสีเขียว และที่ค่าพีเอช 5.6 กราฟเส้นสีแดงของทุกอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต เนื่องด้วยที่ค่าพีเอช 4.0 การดูดซับ Ag^{+} ของผ้าไหมทำได้ดีกว่าที่สภาวะค่าพีเอชอื่น ๆ ทำให้ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตมีเฉดสีที่เกิดจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เข้มกว่าของสภาวะการทรีตที่ใช้ค่าพีเอช 5.6 และ 8.0



รูปที่ 4.4 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:1 ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.5 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:2 ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.6 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่อัตราส่วน 1:3 ที่ค่าพีเอชที่แตกต่างกัน

4.2.3 ผลของความสม่ำเสมอของสี (RUI)

ค่า RUI ของผ้าไหมที่ทรีตด้วยค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 5.6 และ 8.0 มีค่า RUI ที่แตกต่างกันออกไปตามที่แสดงเอาไว้ในตารางที่ 4.14 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบผลของค่าพีเอชแล้วที่สภาวะเดียวกันแต่ค่าพีเอชต่างกัน โดยตัวอย่างที่ S2-1-90C-60M-pH4.0 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.78 ในตารางที่ 4.14 ตัวอย่างที่ S2-1-90C-60M-pH5.6 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.80 ในตารางที่ 4.15 และตัวอย่างที่ S2-1-90C-60M-pH8.0 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.98 ในตารางที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่ายิ่งค่าพีเอชสูงขึ้นส่งผลทำให้ค่า RUI สูงขึ้น แสดงถึงความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตแย่ลง และพบว่าความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไม่ได้ขึ้นอยู่กับค่าพีเอชเพียงอย่างเดียว แต่ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตและเวลาในการทรีตด้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบที่ค่าพีเอช 4.0 ที่อัตราส่วนการใช้ตัวรีดิวซ์ที่แตกต่างกันในตารางที่ 4.14 ตัวอย่างที่ S2-1-90C-60M-pH4.0 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.78 ตัวอย่างที่ S2-2-90C-60M-pH4.0 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.65 และตัวอย่างที่ S2-3-90C-60M-pH4.0 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.51 และเมื่อเปรียบเทียบที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ตัวอย่างที่ S2-3-90C-60M-pH4.0 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.51 ตัวอย่างที่ S2-3-90C-90M-pH4.0 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.36 และตัวอย่างที่ S2-3-90C-120M-pH4.0 มีค่า RUI อยู่ที่ 0.32 ผลของค่า RUI ในส่วนของค่าพีเอช 5.6 และ 8.0 มีแนวโน้มของค่า RUI ไปในทางทิศทางเดียวกันกับของค่า RUI ในส่วนของค่าพีเอช 4.0 แสดงในตารางที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ายิ่งใช้อัตราส่วนของตัวรีดิวซ์ที่สูงขึ้นและเวลาในการทรีตนานขึ้นจะส่งผลทำให้ค่า RUI น้อยลง ทั้งนี้เพราะเมื่อผ้าไหมดูดซับ Ag^{+} เข้าไปได้มาก ก็จำเป็นต้องมีปริมาณสารตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสมและเวลาที่นานพอเพื่อเปลี่ยน Ag^{+} ให้เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีสีให้กระจายตัวอยู่บนผ้าไหม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.14 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0

ตัวอย่าง	RUI	ลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏ
S2-1-90C-60M-pH4.0	0.78	ต่ำ
S2-1-90C-90M-pH4.0	071	ต่ำ
S2-1-90C-120M-pH4.0	0.55	ต่ำ
S2-2-90C-60M-pH4.0	0.65	ต่ำ
S2-2-90C-90M-pH4.0	0.55	ต่ำ
S2-2-90C-120M-pH4.0	0.52	ต่ำ
S2-3-90C-60M-pH4.0	0.51	ต่ำ
S2-3-90C-90M-pH4.0	0.36	ดี
S2-3-90C-120M-pH4.0	0.32	ดี

ตารางที่ 4.15 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 5.6

ตัวอย่าง	RUI	ลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏ
S2-1-90C-60M-pH5.6	0.80	ต่ำ
S2-1-90C-90M-pH5.6	0.65	ต่ำ
S2-1-90C-120M-pH5.6	0.49	ดี
S2-2-90C-60M-pH5.6	0.68	ต่ำ
S2-2-90C-90M-pH5.6	0.41	ดี
S2-2-90C-120M-pH5.6	0.39	ดี
S2-3-90C-60M-pH5.6	0.51	ต่ำ
S2-3-90C-90M-pH5.6	0.49	ดี
S2-3-90C-120M-pH5.6	0.42	ดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.16 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf ที่ค่าพีเอชเท่ากับ 8.0

ตัวอย่าง	RUI	ลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏ
S2-1-90C-60M-pH8.0	0.98	ต่ำ
S2-1-90C-90M-pH8.0	0.78	ต่ำ
S2-1-90C-120M-pH8.0	0.64	ต่ำ
S2-2-90C-60M-pH8.0	0.71	ต่ำ
S2-2-90C-90M-pH8.0	0.68	ต่ำ
S2-2-90C-120M-pH8.0	0.52	ต่ำ
S2-3-90C-60M-pH8.0	0.61	ต่ำ
S2-3-90C-90M-pH8.0	0.49	ดี
S2-3-90C-120M-pH8.0	0.45	ดี

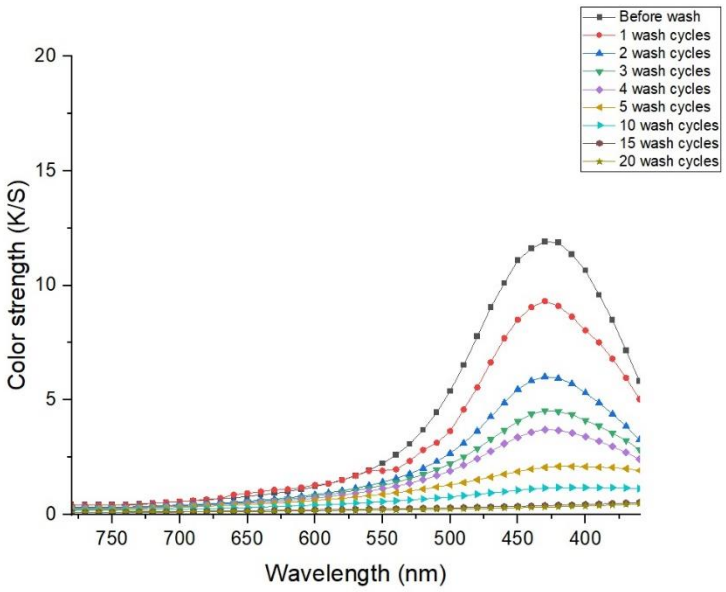
จากผลที่ได้เบื้องต้นของเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี ได้สรุปเลือกสภาวะที่ใช้ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ที่อุณหภูมิในการทรีต 90 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน 3 ช่วงเวลา คือ 60 90 และ 120 นาที มาใช้ในการทรีตผ้าไหมเพื่อทำให้เกิดสีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู เพื่อศึกษาสมบัติทางด้านความคงทนต่อการซักของสีที่เกิดจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนผ้าไหม ความแข็งแรง สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย และสมบัติการป้องกันรังสียูวีของผ้าที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

4.2.4 ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

จากการศึกษาผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูตามมาตรฐาน ISO 105-C01 โดยทำการวัดค่า K/S เปรียบเทียบร่วมกับค่าระดับความคงทนของสี (grey scale for assessing change in colour) ณ รอบการซักที่ 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 ของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตในสภาวะที่ใช้เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะ 1 ที่ใช้ปริมาณสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต 1:3 %w/w อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 และเวลาในการทรีต 60 นาที พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 10.906 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 8.786 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 5.325 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3/4) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 4.763 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่าความเข้มของสี ลดลงมาอยู่ที่ 3.529 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 2) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 2.741 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 2) และหลังจากซักจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่าค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 0.823 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 1) ซึ่งลดลงมาจากผ้าก่อนการซักล้างคิดเป็นร้อยละ 92 แสดงดังรูปที่ 4.7 และตารางที่ 4.17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.7 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

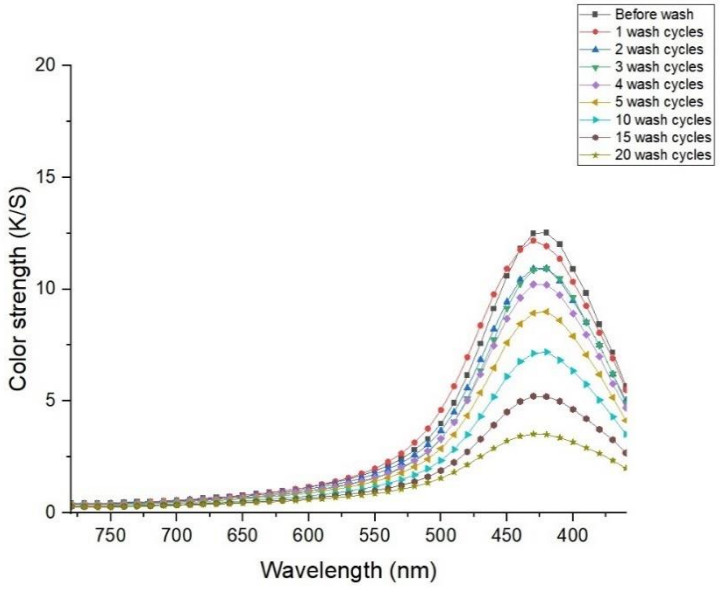
ตารางที่ 4.17 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 1	5	4	3/4	3	2	2	1	1	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ที่ใช้ปริมาณสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต 1:3 %w/w อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 4.0 และเวลาในการทรีต 90 นาที พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 12.488 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 12.173 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 10.918 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3/4) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 10.215 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4

รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 9.621 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 8.994 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 2) และหลังจากซักจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่าค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 2.518 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 1) ซึ่งลดลงมาจากผ้าก่อนการซักล้างคิดเป็นร้อยละ 80 แสดงดังรูปที่ 4.8 และตารางที่ 4.18



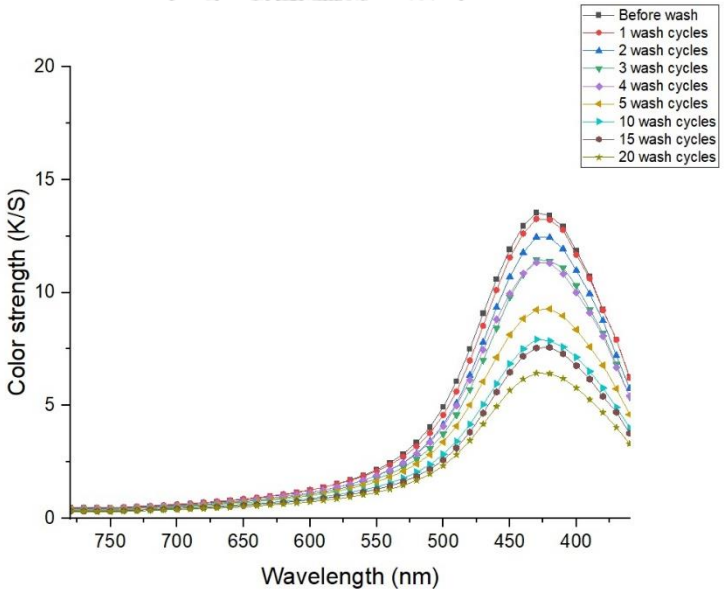
รูปที่ 4.8 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.18 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 2	5	4	3/4	3	3	2	1	1	1

ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่สภาวะที่ 3 ที่ใช้ปริมาณสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรต 1:3 %w/w อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 4.0 และเวลาในการทรีต 120 นาที พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 13.543 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 13.227 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 12.441 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3/4) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 11.391 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 10.833 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 9.274 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 2) และหลังจากซักจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่าค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 5.129 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 1) ซึ่งลดลงมาจากผ้าก่อนการซักล้างคิดเป็นร้อยละ 62 แสดงดังรูปที่ 4.9 และตารางที่ 4.19



รูปที่ 4.9 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทีที่สภาวะที่ 3 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตารางที่ 4.19 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 3	5	4/5	3/4	3	3	2	1	1	1

จากผลการทดลองที่ได้ทั้งสามสภาวะ ผลของค่า K/S หลังจากที่ผ่านการซักล้าง 20 รอบ จะเห็นว่าผ้าที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 2 และ 3 ยังคงเห็นสีที่หลงเหลือบนผ้าอยู่บ้าง ทั้งนี้เพราะที่สภาวะที่ 2 และ 3 ผ้าไหมมีค่าความเข้มของสีมากกว่าที่สภาวะที่ 1 ทำให้หลังจากผ่านการซักล้าง 20 รอบ ผ้าไหมที่ยังคงมีสีบางส่วนที่ไม่ได้หลุดออกหลงเหลืออยู่ และถ้าสังเกตจากผลของ grey scale สามารถสรุปได้ไปในแนวทางเดียวกันว่า ถ้าต้องการรักษาระดับ grey scale ให้อยู่ที่ระดับ 3 ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตทั้งสามสภาวะทนต่อการซักได้แค่ 3 ถึง 4 รอบเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีค่าความคงทนของสีต่อการซักที่ต่ำ

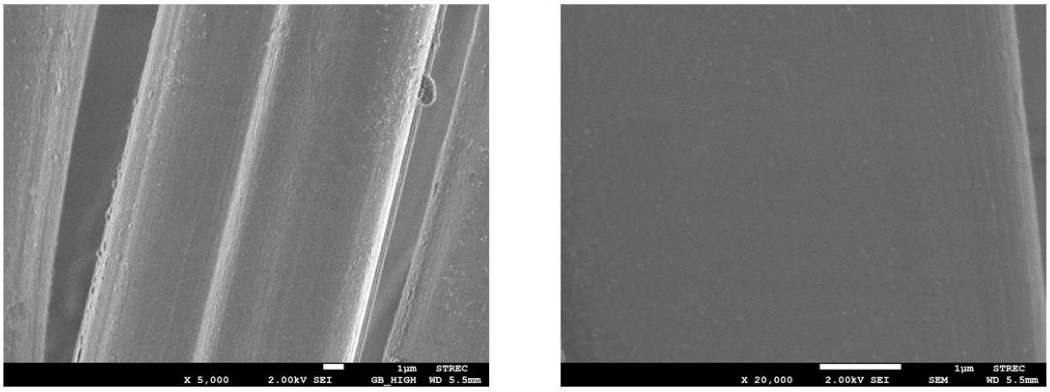
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.2.5 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังผ่านการซักล้างผ้า 20 รอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้เทคนิค FESEM

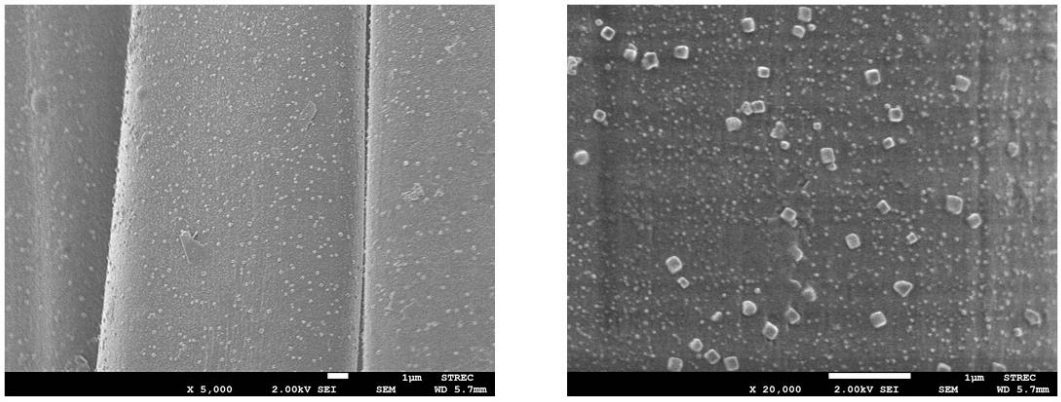
จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้อง FESEM ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต แสดงดังรูปที่ 4.10 พบว่าพื้นผิวของผ้าไหมมีลักษณะเรียบ มีสิ่งสกปรกปะปนบ้างเล็กน้อย ไม่มีอนุภาคใด ๆเกาะอยู่บนผ้าไหม ซึ่งแตกต่างจากผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู แสดงดังรูปที่ 4.11 – 4.13 (ก) ที่ปรากฏอนุภาคทรงกลมกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของผ้าไหม และเมื่อเพิ่มกำลังขยายเพื่อศึกษาขนาด รูปร่างและปริมาณของอนุภาค พบว่าพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่สภาวะที่ 1 มีขนาดของอนุภาคที่ประปนกันไปโดยจะมีขนาดอนุภาคเล็กมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่โดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 144 นาโนเมตร ลักษณะเป็นทรงกลม มีปริมาณของอนุภาคค่อนข้างน้อย แสดงดังรูปที่ 4.11 (ก) (ขวา) ส่วนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่สภาวะที่ 2 มีขนาดอนุภาคที่ประปนกันไปเช่นกันแต่จะมีขนาดอนุภาคใหญ่มากกว่าอนุภาคขนาดเล็กโดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 113 นาโนเมตร ลักษณะเป็นทรงกลม มีปริมาณของอนุภาคค่อนข้างเยอะกว่าสภาวะที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.12 (ก) (ขวา) และพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่สภาวะที่ 3 มีขนาดของอนุภาคสม่ำเสมอกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของผ้าไหมโดยมีขนาดเฉลี่ยประมาณ 75 นาโนเมตร ลักษณะเป็นทรงกลม มีปริมาณของอนุภาคที่มากกว่ากว่าสภาวะที่ 1 และ 2 แสดงดังรูปที่ 4.13 (ก) (ขวา) เนื่องจากเหตุผลในเรื่องผลของเวลาในการให้สีที่มากขึ้นส่งผลทำให้ปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถเกิดได้มาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

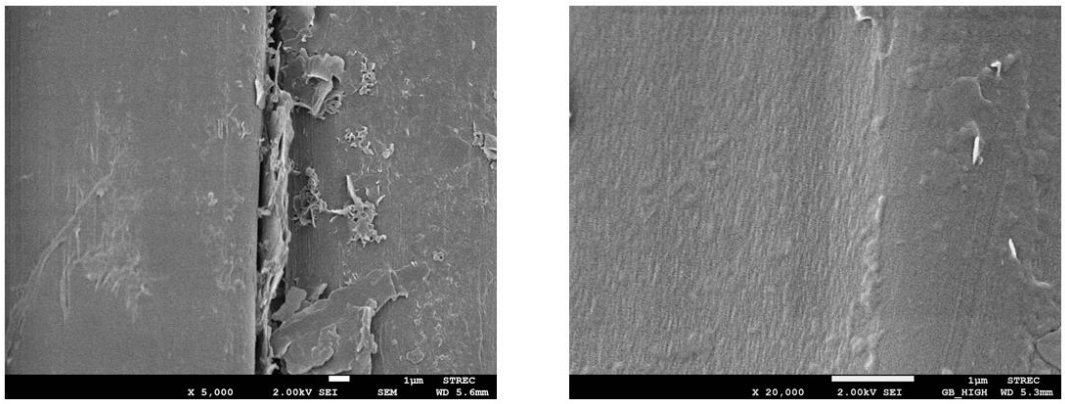
ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตแล้วผ้านการซักล้าง 20 รอบ พบว่าพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่สภาวะที่ 1 มีลักษณะที่เส้นใยหลุดลุ่ยเนื่องด้วยผ่านการซักล้างมาหลายรอบ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกาะอยู่ตอนแรกหลุดออกไปหมดหลังผ่านการซัก 20 รอบ แสดงดังรูปที่ 4.11 (ข) ส่วนพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่สภาวะที่ 2 มีลักษณะที่เส้นใยหลุดลุ่ยเนื่องด้วยผ่านการซักล้างมาหลายรอบเช่นกัน อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกาะอยู่ตอนแรกหลุดออกไปแต่ก็ยังเห็นอนุภาคเล็ก ๆ บางจุดหลงเหลืออยู่บ้างแต่เหลือน้อยมาก แสดงดังรูปที่ 4.12 (ข) และพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่สภาวะที่ 3 มีลักษณะที่เส้นใยหลุดลุ่ยเนื่องด้วยผ่านการซักล้างมาหลายรอบเช่นกัน อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกาะอยู่ตอนแรกหลุดออกไปมากเหลืออนุภาคที่เกาะติดอยู่เล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 4.13 (ข)



รูปที่ 4.10 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)

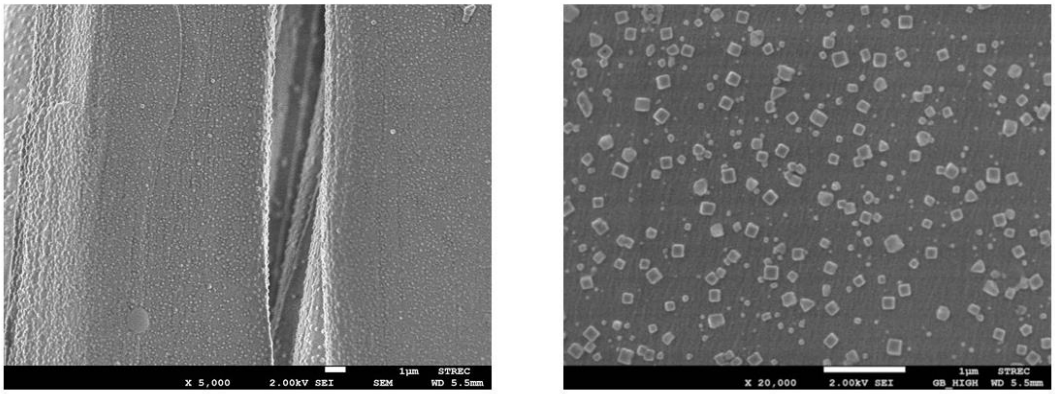


(ก)

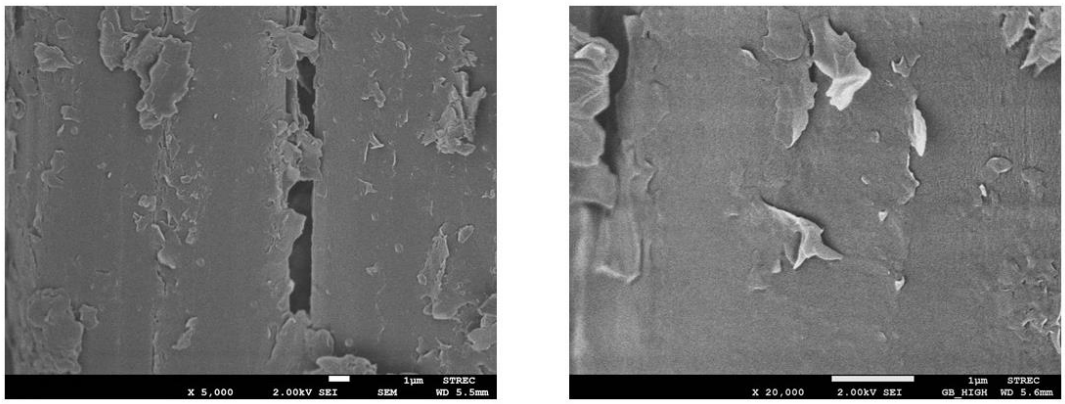


(ข)

รูปที่ 4.11 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)



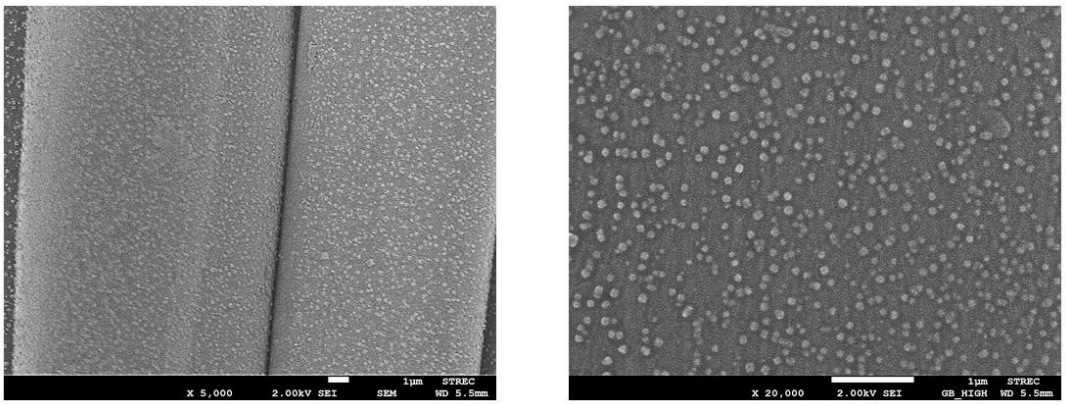
(ก)



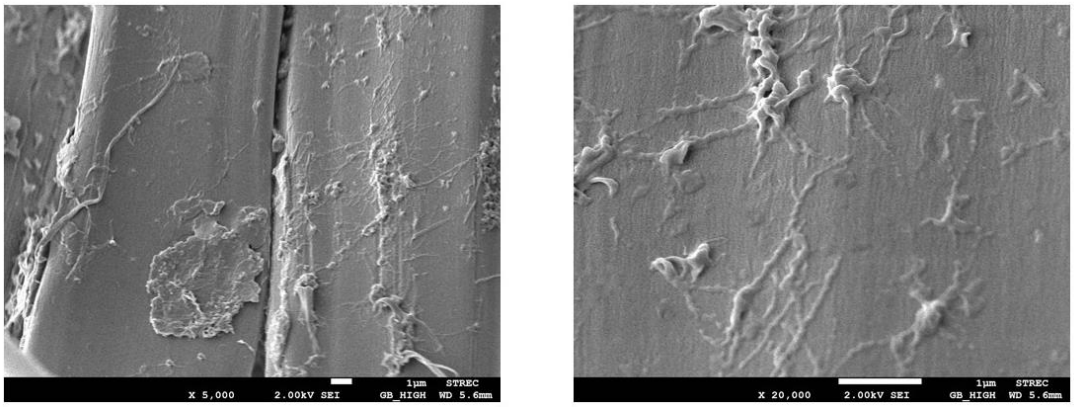
(ข)

รูปที่ 4.12 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



(ก)



(ข)

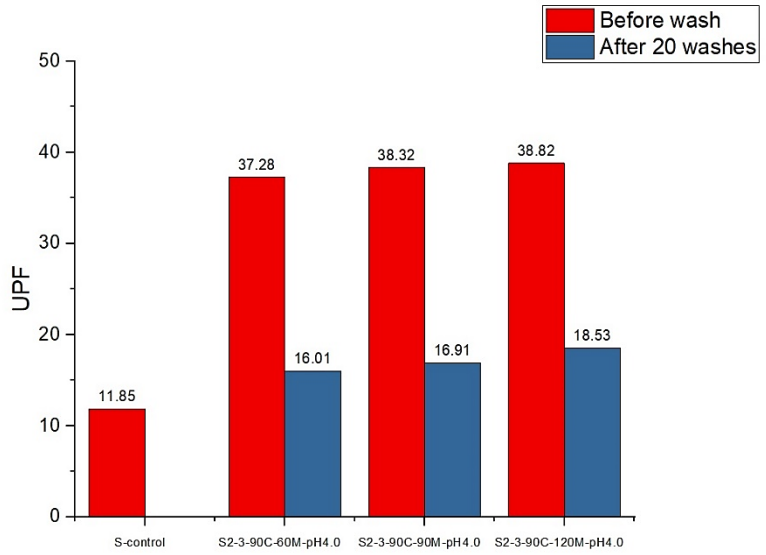
รูปที่ 4.13 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)

4.2.6 ผลการทดสอบการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ผ่านให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

จากการศึกษาผลของการป้องกันรังสียูวี เมื่อนำผ้าไหมไปทดสอบค่าร้อยละการส่องผ่าน (%Transmittance) ของแสงยูวีในช่วงความยาวคลื่น 280-400 นาโนเมตร และนำค่าร้อยละการส่องผ่านมาคำนวณหาค่าความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการป้องกันแสดงแดดของวัสดุสิ่งทอ ตามมาตรฐาน AATCC 183-2004 พบว่าผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีตมีค่าเท่ากับ 11.85 กล่าวคือมีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้น้อย (UPF < 15) ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 มีค่าเท่ากับ 37.28 38.32 และ 38.82 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.14 ซึ่งมีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดีระดับหนึ่ง เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีสมบัติ LSPR ซึ่งสามารถช่วยในการกระเจิงแสงของรังสียูวีได้ จึงทำให้ค่าร้อยละการส่องผ่านของแสงมีค่าลดลง [36]

เมื่อเรานำผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ไปผ่านการซักล้าง 20 รอบแล้วมาศึกษาผลของการป้องกันรังสียูวีอีกครั้ง พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่ผ่านการซักล้าง 20 รอบ ที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 มีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตที่ลดลงโดยมีค่า UPF ลดลงมาเท่ากับ 16.01

16.91 และ 18.53 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงคิดเป็นร้อยละ 52-57 แสดงดังรูปที่ 4.13 แต่ยังสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ในระดับดี (UPF = 15-24) เนื่องจากผ้าที่ผ่านการซักล้างนั้นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีหลุดออกไป ทำให้การกระเจิงแสงของรังสียูวีลดลง ส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF ลดลง และค่า K/S ก็ลดลงเช่นกัน



รูปที่ 4.14 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ก่อนและหลังการซักล้าง 20 รอบ

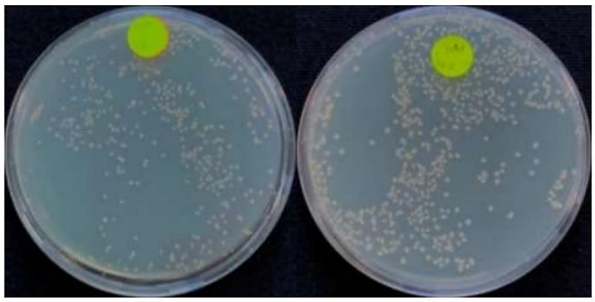
4.2.7 ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

เมื่อพิจารณาถึงสมบัติของเชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด *E. coli.* และแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* พบว่าเชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด *E. coli.* พบได้น้อยในสิ่งทอ ในขณะที่เชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* มักถูกพบได้มากบนสิ่งทอและเป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคทางผิวหนัง ดังนั้นการศึกษาสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียจะเน้นที่การทดสอบกับแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* และการทดสอบสมบัติได้ทำการเลือกเอาที่สภาวะที่ 3 ที่ใช้ในการทรีตผ้าไหมไปทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* เท่านั้น ทั้งนี้เพราะผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะดังกล่าวมีค่าความเข้มของเฉดสีมากที่สุดน่าจะมีอนุภาคนาโนซิลเวอร์มากที่สุด

จากการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียบนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูตามมาตรฐาน AATCC 100:2004 โดยทั่วไปผ้าไหมไม่มีความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จะเห็น

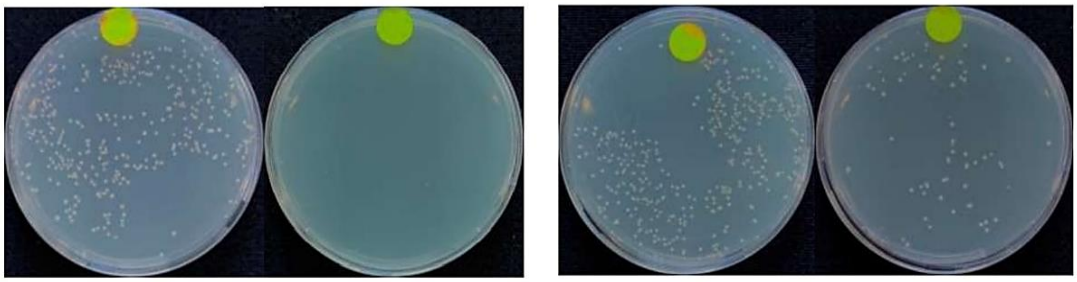
ได้ว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* ที่ทดสอบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีตจะปรากฏโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียจำนวนมาก ซึ่งผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู พบว่าสามารถเพิ่มสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.16 (ก)

เมื่อนำผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนซักไปทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่ทดสอบไม่ปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* แสดงดังรูปที่ 4.16 (ก) และเมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 กล่าวคือความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีเยี่ยม แต่สำหรับตัวอย่างที่ผ่านการซักล้าง 20 รอบ พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่ทดสอบปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* เป็นจำนวนหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4.16 (ข) และเมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าลดลงมาอยู่ที่ร้อยละ 43.03 ซึ่งความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียไม่ผ่านเกณฑ์ แสดงให้เห็นว่าผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้เมื่อผ่านการซักล้างไปแล้ว 20 รอบ ดังนั้นจึงได้ศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีการยึดติดที่ดีขึ้นบนผ้าไหม ซึ่งผลที่ได้จะนำเสนอในส่วนต่อไป



(ก) (ข)

รูปที่ 4.15 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีตที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ก) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ข)



(ก) (ข)

รูปที่ 4.16 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนการซักล้าง (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{0} (ขวา) และหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-1} (ขวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3 ผลของเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนหน้านี้ พบว่าการยึดติดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์นั้นไม่คงทนต่อการซักล้างจึงส่งผลทำให้ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตดังกล่าวไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ ดังนั้นเราจึงอยากศึกษาเพิ่มเติมเพื่อปรับปรุงให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์มีการยึดติดที่ดีขึ้นบนผ้าไหม โดยการนำผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าพีเอชที่ 4.0 ที่เวลาในการทรีตแตกต่างกันมาเคลือบด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก โดยปริมาณและสภาวะการใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกในการเคลือบลงบนผ้าไหมอ้างอิงมาจากงานวิจัยของรัตนาวดี ศรีอ่อนจันทร์ (2564) ได้ใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกที่ความเข้มข้น 100 กรัม/ลิตร จุ่มแช่เป็นเวลา 5 นาที และอัดผ่านลูกกลิ้งของเครื่องบีบอัด จากนั้นอบผนึกผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที [30] มาใช้ในงานวิจัยนี้ หลังจากนั้นนำผ้าไหมไปศึกษาสมบัติทางด้านความคงทนต่อการซักของสีที่เกิดจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนผ้าไหม ความแข็งแรง สมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและสมบัติการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยสภาวะดังกล่าวหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

4.3.1 ผลของเฉดสี

จากผลการทดลองพบว่า ผลของตัวอย่างเฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกันก่อนและหลังการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิกแสดงในตารางที่ 4.21 สังเกตได้ว่าผ้าไหมที่ผ่านการทรีตหลังการใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกจะสังเกตเห็นความเข้มของเฉดสีเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบเฉดสีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีแต่ไม่ได้ใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิก แล้วถ้ามาวิเคราะห์เปรียบเทียบจากค่า CIEL*a*b* ที่แสดงเอาไว้ในตาราง 4.20 พบว่าที่ตัวอย่าง S2-3-90C-120M-pH4.0 (NB) ที่ไม่ได้ผนึกด้วยสารยึดติด มีค่า L* 42.03 ค่า a* 15.12 และ b* 39.79 และตัวอย่าง S2-3-90C-120M-pH4.0 (B) ที่ผนึกด้วยสารยึดติดมีค่า L* 41.19 ค่า a* 16.16 และ b* 40.89 จากค่า CIEL*a*b* สรุปได้ว่าเมื่อใช้สารยึดติดชนิด

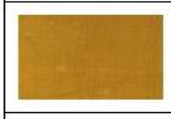
อะคริลิกบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี ค่า L* มีค่าน้อยลง ค่า a* และค่า b* เป็นบวกเพิ่มมากขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีแต่ไม่ได้ใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิก ซึ่งหมายถึงว่าเฉดสีที่ได้จะออกไปทางสีเหลืองอมแดงหรือสีน้ำตาลเพิ่มขึ้นเล็กน้อยหลังการใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตารางที่ 4.20 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	L*	a*	b*
	ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก		
S2-3-90C-60M-pH4.0 (NB)	48.54	12.57	37.11
S2-3-90C-90M-pH4.0 (NB)	43.08	15.16	38.08
S2-3-90C-120M-pH4.0 (NB)	42.03	15.12	39.79
	หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก		
S2-3-90C-60M-pH4.0 (B)	46.28	13.83	38.20
S2-3-90C-90M-pH4.0 (B)	42.46	16.56	39.38
S2-3-90C-120M-pH4.0 (B)	41.19	16.61	40.89

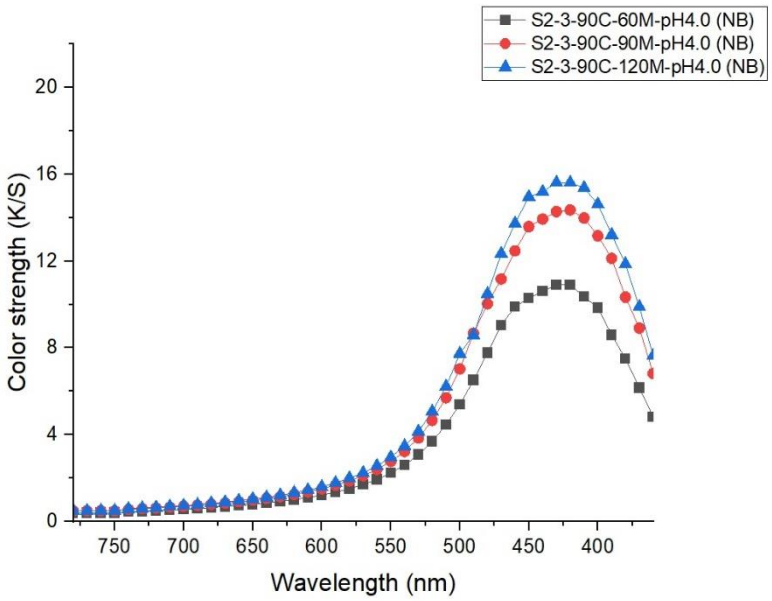
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.21 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

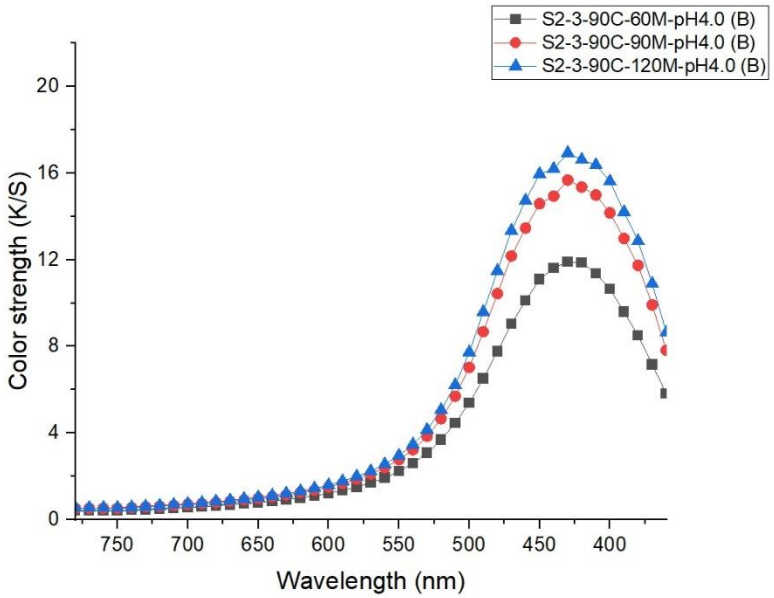
pH	TSC (%w/w)	Time (minute)		
		60	90	120
4.0	3	Without binder		
				
		With binder		

4.3.2 ผลของความเข้มของสี (K/S)

ผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกตามสภาวะที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ของตัวอย่าง S2-3-90C-120M-pH4.0 (NB) ที่ไม่ได้ผนึกด้วยสารยึดติด มีค่า K/S อยู่ที่ 15.629 ในรูปที่ 4.17 และที่ตัวอย่าง S2-3-90C-120M-pH4.0 (B) ที่ผนึกด้วยสารยึดติด มีค่า K/S อยู่ที่ 16.078 ในรูปที่ 4.18 แสดงให้เห็นว่าผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกมีค่า K/S เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยกว่าผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีแต่ไม่ได้ใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิก ซึ่งอาจจะเกิดจากสารยึดติดชนิดอะคริลิกเมื่อผ่านการอบผนึกด้วยความร้อนอาจจะทำให้สารยึดติดเปลี่ยนสีไปเล็กน้อย



รูปที่ 4.17 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก



รูปที่ 4.18 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

4.3.3 ผลของความสม่ำเสมอของสี (RUI)

ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก พบว่าค่า RUI บนผ้าไหมไม่ได้มีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในตารางที่ 4.22 อาจสรุปได้ว่าการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิกไม่ได้ส่งผลต่อค่า RUI ส่งผลทำให้ความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมเหมือนเดิม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากการศึกษาผลของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกในเรื่องของเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสี ไม่ได้มีความแตกต่างกันมาก แต่การใช้สารยึดติดบนผ้าจะส่งผลต่อผิวสัมผัสของผ้า จึงได้ศึกษาเพิ่มเติมว่าผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ทั้งก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกจะส่งผลต่อความแข็งแรงและความแข็งกระด้างของผ้ามากน้อยแค่ไหนเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารยึดติด

ตารางที่ 4.22 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกัน ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	RUI	ลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏ
	ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก	
S2-3-90C-60M-pH4.0 (NB)	0.51	ต่ำ
S2-3-90C-90M-pH4.0 (NB)	0.36	ดี
S2-3-90C-120M-pH4.0 (NB)	0.32	ดี
	หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก	
S2-3-90C-60M-pH4.0 (B)	0.50	ต่ำ
S2-3-90C-90M-pH4.0 (B)	0.36	ดี
S2-3-90C-120M-pH4.0 (B)	0.33	ดี

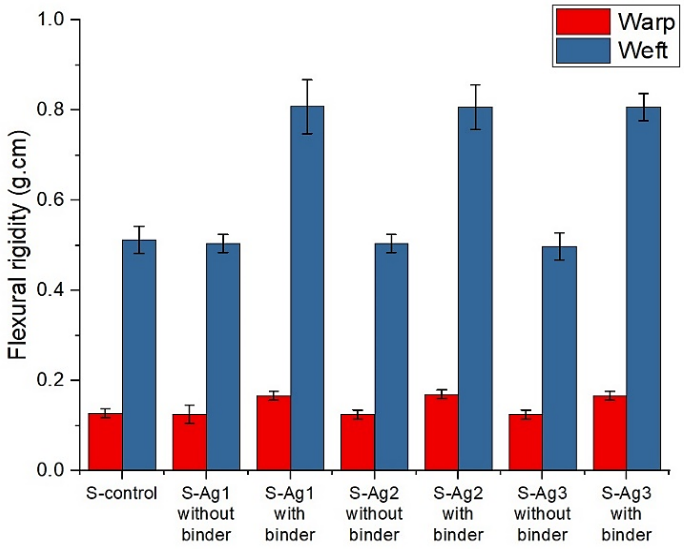
4.3.4 ผลการทดสอบความแข็งกระด้างจากค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูทั้งก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าไหมที่ยังไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกตามมาตรฐาน ASTM D1388 ได้แสดงผลในตารางที่ 4.22 จากผลในตารางสามารถสรุปได้ว่าผ้าไหมที่ยังไม่ผ่านการทรีต มีค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าในแนวเส้นด้ายยืนอยู่ที่ 0.128±0.01 กรัม•เซนติเมตร และในแนวเส้นด้ายพุ่งอยู่ที่ 0.513±0.03 กรัม•เซนติเมตร ซึ่งหมายถึงผ้าในแนวเส้นด้ายพุ่งมีความแข็งกระด้างมากกว่าในแนวเส้นด้ายยืน เมื่อนำค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนการก่อนการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิกที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 มาเปรียบเทียบกับค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต พบว่าผ้าไหมก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งสามสภาวะมีค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมลดลงเพียงร้อยละ 1-3 ทั้งในแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่ง ดังแสดงในตารางที่ 4.23 ซึ่งมีความแข็งกระด้างไม่ได้แตกต่างไปจากผ้าที่ไม่ผ่าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การทรีตมากนัก เนื่องจากผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูนั้นผ่านการให้สีที่มีความร้อนจึงอาจทำให้เส้นใยสูญเสียสภาพความแข็งกระด้างลงไปได้บ้าง

ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งกับค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก พบว่าผ้าไหมหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งสามสภาวะมีค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าเพิ่มขึ้นร้อยละ 30 ในแนวเส้นด้ายยืน และเพิ่มขึ้นร้อยละ 60 ในแนวเส้นด้ายพุ่ง แสดงในตารางที่ 4.23 สรุปได้ว่าการเคลือบด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกลงบนผ้าไหมส่งผลต่อค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถบอกได้ว่าผ้าไหมมีความแข็งกระด้างเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเคลือบด้วยสารยึดติด



รูปที่ 4.19 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งในแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง

ตารางที่ 4.23 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้า (กรัม•เซนติเมตร)	
	แนวเส้นด้ายยืน	แนวเส้นด้ายพุ่ง
ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต	0.128±0.01	0.513±0.03
ผ้าไหมก่อนการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 1)	0.126±0.02 (-1.6%)	0.505±0.02 (-1.6%)
ผ้าไหมหลังการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 1)	0.167±0.01 (+33%)	0.808±0.06 (+60%)
ผ้าไหมก่อนการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 2)	0.125±0.01 (-2.3%)	0.505±0.02 (-1.6%)
ผ้าไหมหลังการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 2)	0.170±0.01 (+36%)	0.807±0.05 (+60%)
ผ้าไหมก่อนการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 3)	0.125±0.01 (-2.3%)	0.498±0.03 (-2.9%)
ผ้าไหมหลังการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 3)	0.167±0.01 (+33%)	0.807±0.03 (+60%)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.3.5 ผลการทดสอบความแข็งแรงของผ้าไหมที่ยังไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ผลการทดสอบความแข็งแรงที่ทนต่อแรงดึง และการยืดตัวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิกตามมาตรฐาน ASTM D5034 แสดงผลในตารางที่ 4.22 สรุปได้ว่า ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต มีค่าแรงดึงขาดในแนวเส้นด้ายยืนอยู่ที่ 590.31±6.39 นิวตัน และการยืดตัว 23.17±0.90% และค่าแรงดึงขาดในแนวเส้นด้ายพุ่งอยู่ที่ 1225.08±18.17 นิวตัน และการยืดตัว 28.99±1.08% ซึ่งผ้าที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีขนาดของเส้นด้ายพุ่ง (27-29/6 ดีเนียร์) ใหญ่กว่าขนาด

ของเส้นด้ายยืน (20-23/3 ดีเนียร์) ถึงแม้ว่าผ้ามีจำนวนเส้นด้ายพุ่ง (78 เส้นต่อนิ้ว) น้อยกว่าจำนวนเส้นด้ายยืน (96 เส้นต่อนิ้ว) แต่ปัจจัยด้านขนาดของเส้นด้ายอาจมีผลต่อความแข็งแรงของผ้ามากกว่าปัจจัยด้านจำนวนเส้นด้าย ส่งผลทำให้ผ้าในแนวเส้นด้ายพุ่งมีค่าแรงดึงขาดสูงกว่าในแนวเส้นด้ายยืนอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 กับค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต พบว่าผ้าไหมก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งสามสภาวะในแนวเส้นด้ายยืนมีค่าแรงดึงขาดลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 62-66 และในแนวเส้นด้ายพุ่งมีค่าแรงดึงขาดที่ลดลงอยู่ในช่วงร้อยละ 39-45 ดังแสดงในตารางที่ 4.24 สาเหตุที่มีค่าลดลงนั้นอาจเนื่องมาจากผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูนั้นได้ผ่านการให้ความร้อนและในกระบวนการทรีตสารที่ใช้มีความเป็นกรด ซึ่งเส้นใยไหมสามารถทนกรดได้บ้างแต่หากสัมผัสกรดเป็นเวลานานก็อาจจะส่งผลต่อความแข็งแรงของเส้นใยได้ ส่วนของค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดพบว่าผ้าไหมก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งสามสภาวะทั้งในแนวเส้นด้ายยืนและในแนวเส้นด้ายพุ่งมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสูญเสียความแข็งแรงจากสาเหตุที่กล่าวข้างต้นทำให้ผ้าไหมยืดตัวได้มากขึ้น

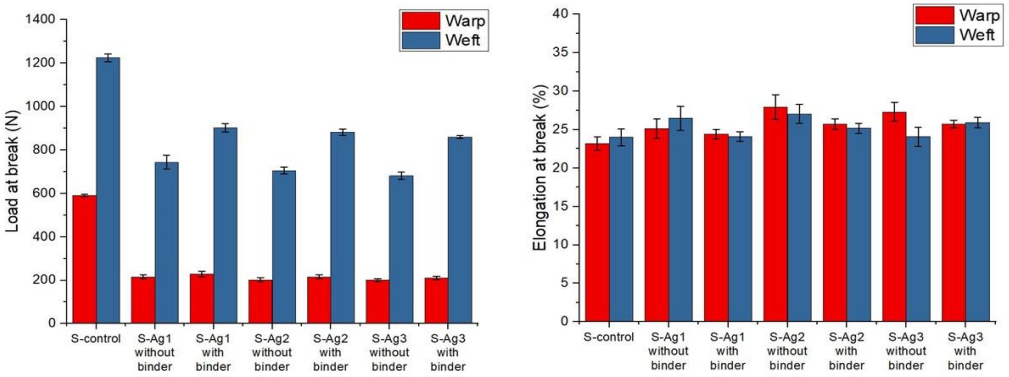
ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 เมื่อเปรียบเทียบค่าแรงดึงขาดกับค่าแรงดึงขาดของผ้าไหมก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก พบว่าผ้าไหมหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งสามสภาวะในแนวเส้นด้ายยืนมีค่าแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 4-6 และในแนวเส้นด้ายพุ่งมีค่าแรงดึงขาดเพิ่มขึ้นในช่วงร้อยละ 21-26 ในส่วนของค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดนั้นมีค่าการยืดตัวลดลงเล็กน้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.24 สรุปได้ว่าการเคลือบด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกลงบนผ้าไหมส่งผลต่อค่าแรงดึงขาดของผ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถบอกได้ว่าผ้าไหมมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเคลือบด้วยสารยึดติด ซึ่งสาเหตุเช่นเดียวกับผลการทดสอบค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าหรือความแข็งกระด้างของผ้าหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.24 ค่าแรงดึงขาดและร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาดของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	แรงดึงขาด (นิวตัน)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)	แรงดึงขาด (นิวตัน)	การยืดตัว ณ จุดขาด (%)
ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต	590.31±6.39	23.17±0.90	1225.08±18.17	23.99±1.08
ผ้าไหมก่อนการผนึกสารยึดติด	215.28±8.92	25.15±1.28	743.44±32.51	26.48±1.56
ชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 1)	(-63.5%)	(+8.5%)	(-39.3%)	(+10.4%)
ผ้าไหมหลังการผนึกสารยึดติด	228.37±13.00	24.42±0.61	902.01±19.90	24.09±0.63
ชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 1)	(+6.1%)	(-2.9%)	(+21.3%)	(-9.1%)
ผ้าไหมก่อนการผนึกสารยึดติด	202.01±10.09	27.95±.1.60	704.88±15.72	27.05±1.25
ชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 2)	(-65.8%)	(+20.6%)	(-42.5%)	(+12.8%)
ผ้าไหมหลังการผนึกสารยึดติด	215.30±8.86	25.72±0.70	882.41±14.61	25.17±0.66
ชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 2)	(+6.6%)	(-7.9%)	(+25.2%)	(-6.9%)
ผ้าไหมก่อนการผนึกสารยึดติด	200.09±6.46	27.31±1.26	680.71±17.19	27.08±1.80
ชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 3)	(-66.1%)	(+17.9%)	(-44.4%)	(+12.9%)
ผ้าไหมหลังการผนึกสารยึดติด	209.64±7.99	25.73±0.49	859.83±7.39	25.93±0.67
ชนิดอะคริลิก (สภาวะที่ 3)	(+4.8%)	(-5.8%)	(+26.3%)	(-4.5%)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.20 ค่าแรงดึงขาด (ซ้าย) และร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (ขวา) ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกทั้งในแนวด้ายยืนและด้ายพุ่ง

4.3.6 ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

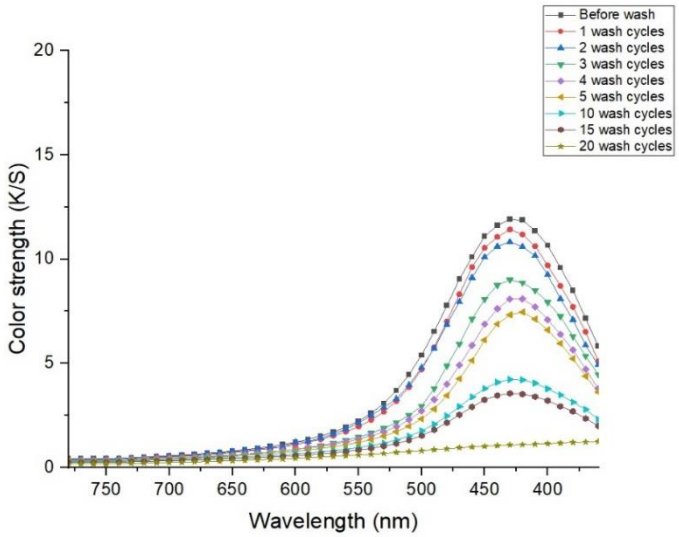
จากการศึกษาผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ตามมาตรฐาน ISO 105-C01 โดยทำการวัดค่า K/S เปรียบเทียบร่วมกับค่าระดับความคงทนของสี (grey scale for assessing change in colour) ณ รอบการซักที่ 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 ของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตในสภาวะที่แตกต่างกัน 3 สภาวะ หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า

ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 11.923 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 10.547 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 9.763 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 8.459 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 7.864 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 7.461 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4) และหลังจากซักในจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่าค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 1.938 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 1) ซึ่งลดลงมาจากผ้าก่อนการซักล้างคิดเป็นร้อยละ 82 แสดงดังรูปที่ 4.21 และตารางที่ 4.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4.25 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 1 หลังการผนึกสารยึดติด	5	5	5	4/5	4/5	4	3	2	1



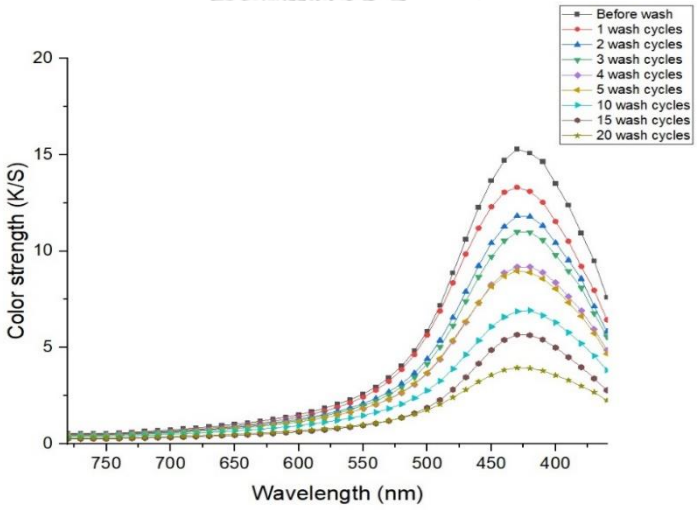
รูปที่ 4.21 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก พบว่าพบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 15.298 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 13.312 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 11.822 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 10.987 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 9.176 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 8.969 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4) และหลังจากซักในจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่าค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 3.947 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 1) ซึ่งลดลงมาจากผ้าก่อนการซักล้างคิดเป็นร้อยละ 74 แสดงดังรูปที่ 4.22 และตารางที่ 4.26

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.26 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิที่สภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

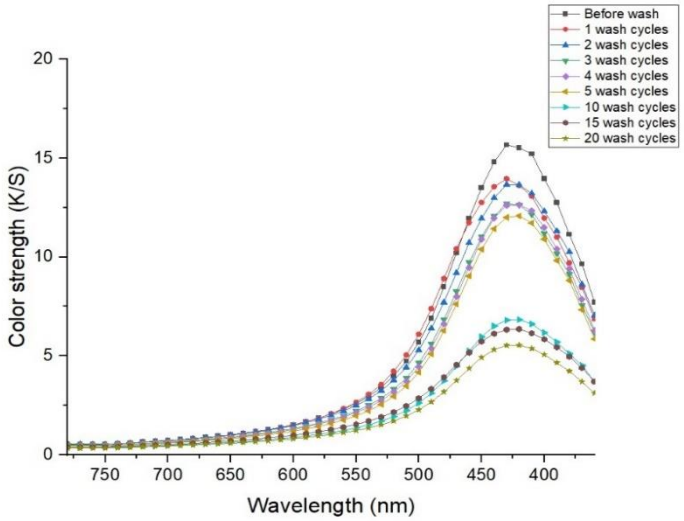
ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 2 หลังการผนึกสารยึดติด	5	4/5	4/5	4/5	4	4	3	2	1



รูปที่ 4.22 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 3 หลังการผนึกสารยึดติดชนิดอะคริลิก พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 15.673 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 13.963 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 13.665 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 12.706 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 12.643 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 12.076

(ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) และหลังจากซักในจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่าค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 5.933 (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 1/2) ซึ่งลดลงมาจากผ้าก่อนการซักล้างคิดเป็นร้อยละ 62 แสดงดังรูปที่ 4.23 และตารางที่ 4.27



รูปที่ 4.23 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

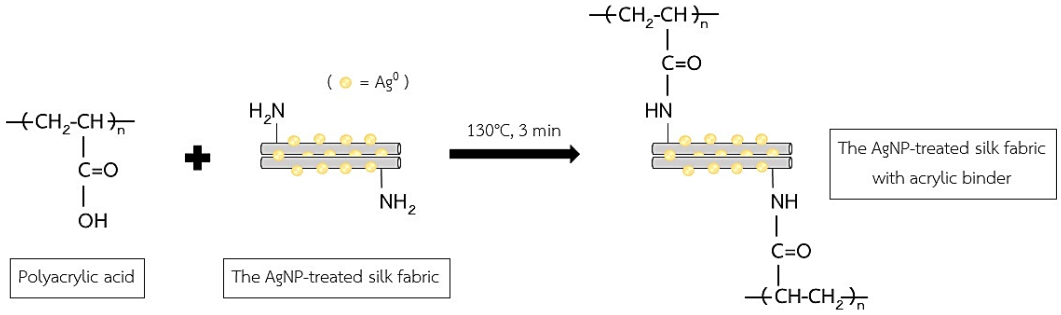
ตารางที่ 4.27 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 3 หลังการผนึกสารยึดติด	5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	3	2	1/2

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก เมื่อเทียบค่า K/S ของตัวอย่างผ้าไหมก่อนและหลังผ่านการซักล้างในรอบที่ 1 ถึง 5 ผ้าไหมทั้งสามสภาวะมีการลดลงของค่าความเข้มสีในแต่ละรอบการซักไม่ห่างกันมาก เนื่องจากการเคลือบ

สารยึดติดสามารถเพิ่มความคงทนต่อการซักล้างได้ แต่เมื่อหลังจากผ่านการซักล้างมากกว่า 5 รอบขึ้นไปค่า K/S จะลดลงมาอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพของสารยึดติดชนิดอะคริลิกเริ่มลดลงหลังจากผ่านการซักล้างมากกว่า 5 รอบ และเมื่อผ่านการซักล้างจนครบ 20 รอบ จะเห็นว่าผ้าที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 2 และ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ยังคงเห็นสีที่หลงเหลือบนผ้าอยู่บ้าง ทั้งนี้เพราะที่สภาวะที่ 2 และ 3 ผ้าไหมมีค่าความเข้มของสีมากกว่าที่สภาวะที่ 1 ทำให้หลังจากผ่านการซักล้าง 20 รอบผ้าไหมที่มีค่า K/S มากกว่าจะยังคงเหลือสีติดเอาไว้บ้าง และถ้าสังเกตจากผลของ grey scale สามารถสรุปได้ไปในแนวทางเดียวกันได้ว่า ถ้าต้องการรักษาระดับ grey scale ให้อยู่ที่ระดับ 3 ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตทั้งสามสภาวะทนต่อการซักได้แค่ 10 รอบเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีค่าความคงทนของสีต่อการซักที่ดีขึ้นแต่ยังไม่เพียงพอที่จะนำไปใช้งานทางด้านสิ่งทอที่มีสมบัติพิเศษสำหรับการใช้งานทั่วไป (functional textile for general usages)

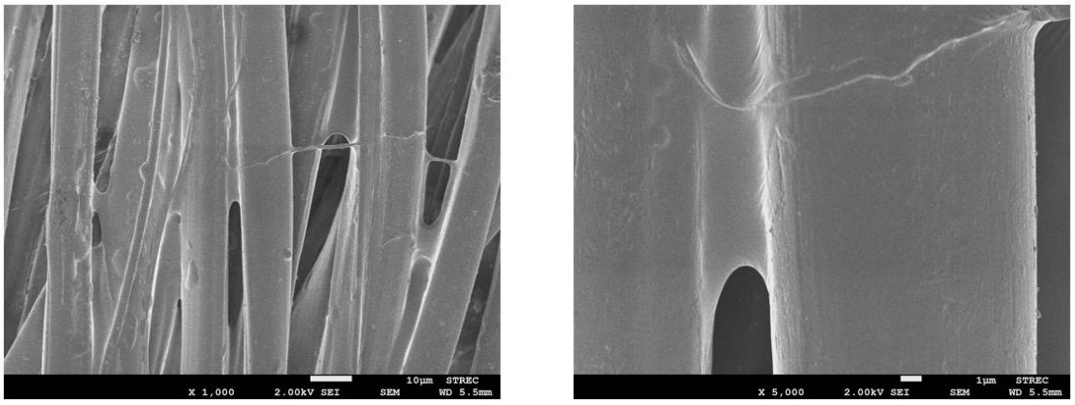
โดยปกติแล้วสารยึดติดชนิดอะคริลิกจะเกิดการเชื่อมโยงข้าม (cross-linking) กับหมู่อะมิโน ($-NH_2$) ของเส้นไหม ซึ่งจะช่วยตรึง (entrapped) อนุภาคที่กระจายอยู่บนผิวของเส้นไหมไว้ทำให้อนุภาคหลุดออกได้ยากขึ้น โดยคาดว่ากลไกการเกิดปฏิกิริยาระหว่างสารยึดติดชนิดอะคริลิกกับผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์แสดงดังรูปที่ 4.24 ทำให้ผ้าไหมหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกสามารถทนต่อการซักล้างและสามารถตรึงอนุภาคนาโนซิลเวอร์ให้ยึดเกาะบนผ้าไหมได้ดีขึ้นกว่าผ้าไหมที่ไม่ได้ใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิก



รูปที่ 4.24 ภาพแสดงปฏิกิริยาเคมีระหว่างสารช่วยยึดติดชนิดอะคริลิก และเส้นไหมที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีสีเกาะอยู่บนผิวและระหว่างเส้นใย เมื่อผนึกด้วยสารยึดติดและอบผนึกผ้าที่ 130 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที

4.3.7 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 20 รอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด โดยใช้เทคนิค FESEM

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้อง FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก แสดงดังรูปที่ 4.24 พบว่าพื้นผิวของผ้าไหมมีลักษณะเรียบ มีสิ่งสกปรกปะปนบ้างเล็กน้อย และมีสารเคลือบอยู่บนผิวและระหว่างเส้นใย นั่นคือลักษณะของสารยึดติดที่เคลือบอยู่บนผ้าไหม

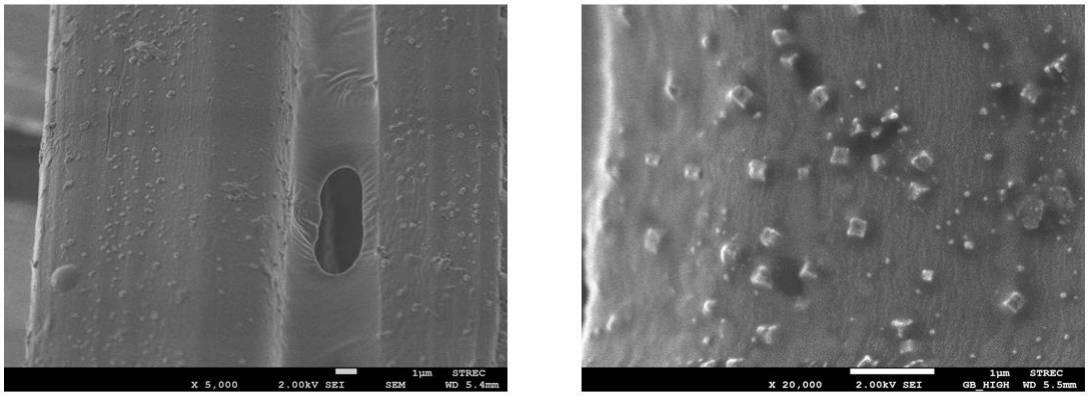


รูปที่ 4.25 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมหลังผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ขวา)

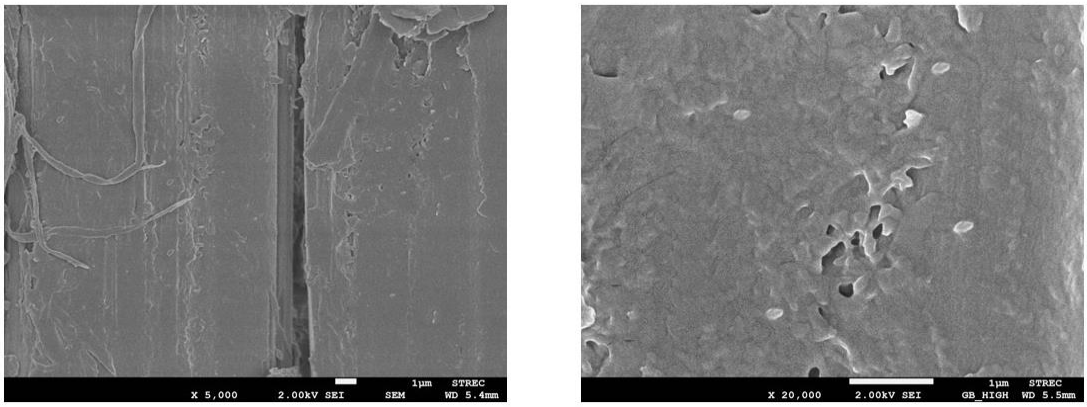
จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้อง FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก แสดงดังรูปที่ 4.25-4.27 (ก) ที่ปรากฏอนุภาคทรงกลมกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของผ้าไหมและมีลักษณะของสารยึดติดชนิดอะคริลิกเคลือบคล้ายกาวคลุมทับอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่อีกชั้นหนึ่ง

หลังจากนำตัวอย่างไปซักล้างโดยผ่านการซักล้าง 20 รอบแล้วมาศึกษาลักษณะพื้นผิว พบว่าพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตทั้งสามสภาวะหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกเมื่อผ่านการซักล้างจะทำให้สารยึดติดชนิดอะคริลิกหลุดออกจากผ้าไหมได้ และจากภาพที่เห็นมีลักษณะที่เป็นแผ่นที่แตกออกอยู่บนเส้นไหม อาจเป็นสารยึดติดที่แตกออกหลังจากผ่านการซักล้างหลายครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 4.25-4.27 (ข) และเมื่อเราเพิ่มกำลังขยายให้มากขึ้นก็จะเห็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่หลงเหลือเกาะอยู่บนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยสภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ซึ่งปริมาณของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ยังคงหลงเหลือบนผ้ามากกว่าผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยสภาวะที่ 2 และ 1 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ก่อนการผนึกด้วยสาร

ยึดติดชนิดอะคริลิกจากการวิเคราะห์พื้นผิวของผ้าหลังการซักล้าง 20 รอบ พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์แทบจะไม่หลงเหลืออยู่บนผ้าเลย แสดงให้เห็นว่าสารยึดติดสามารถช่วยให้การยึดเกาะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เกาะอยู่บนเส้นใยได้ดีขึ้น



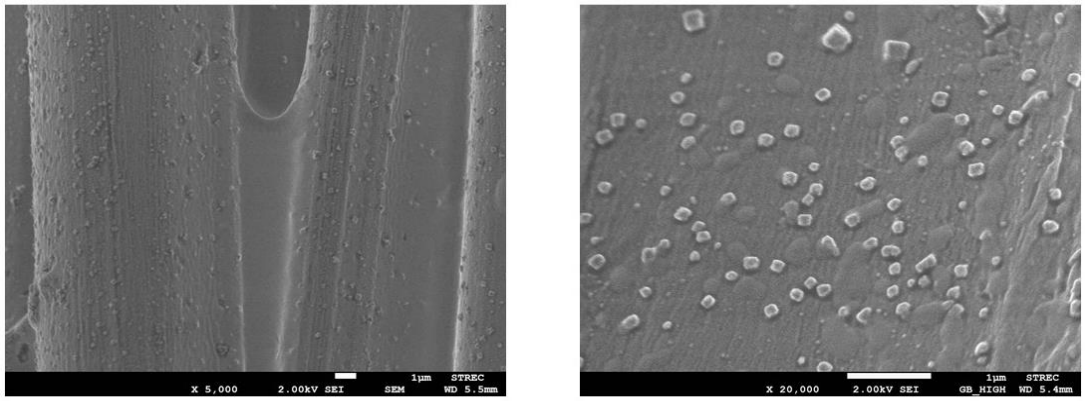
(ก)



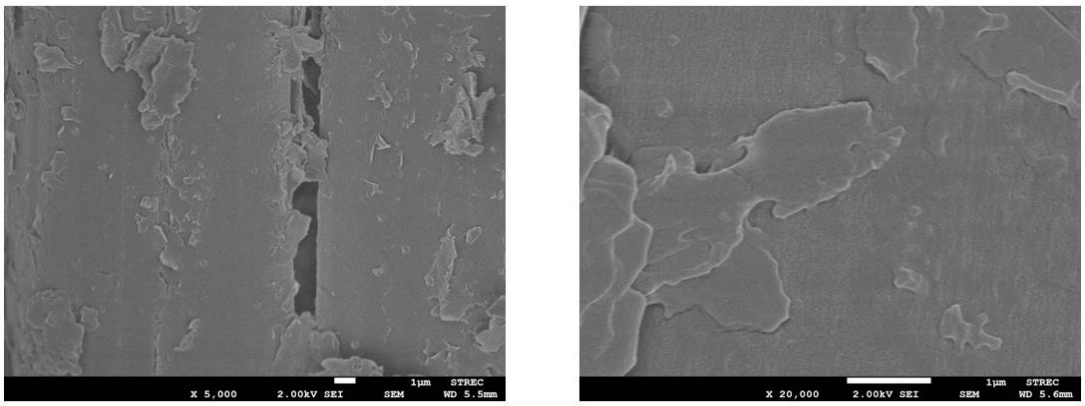
(ข)

CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 4.26 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 หลังผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)



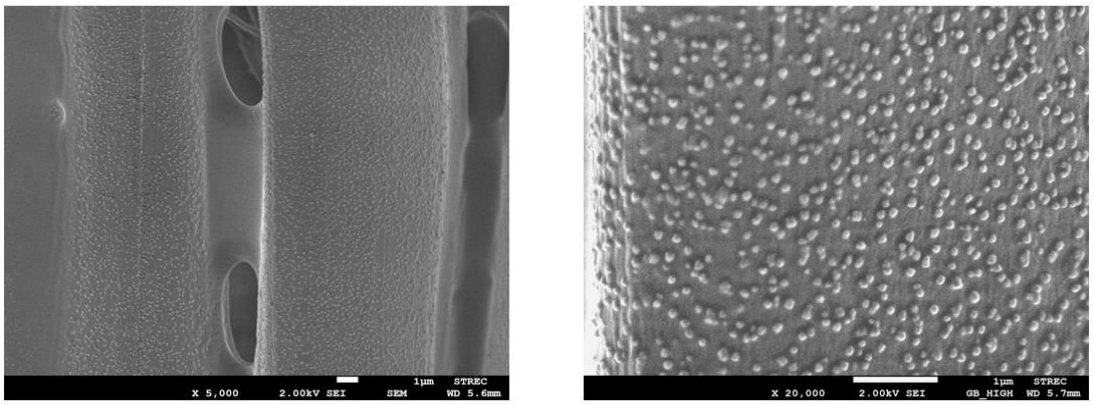
(ก)



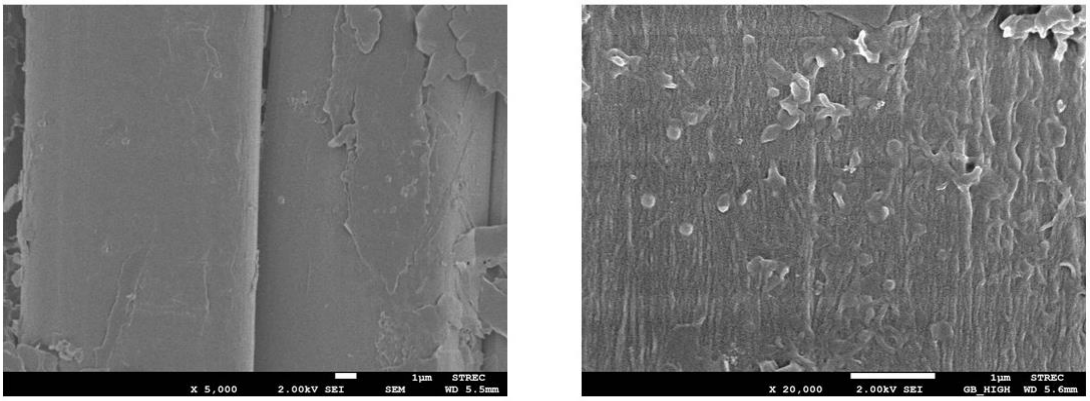
(ข)

รูปที่ 4.27 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 หลังผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



(ก)



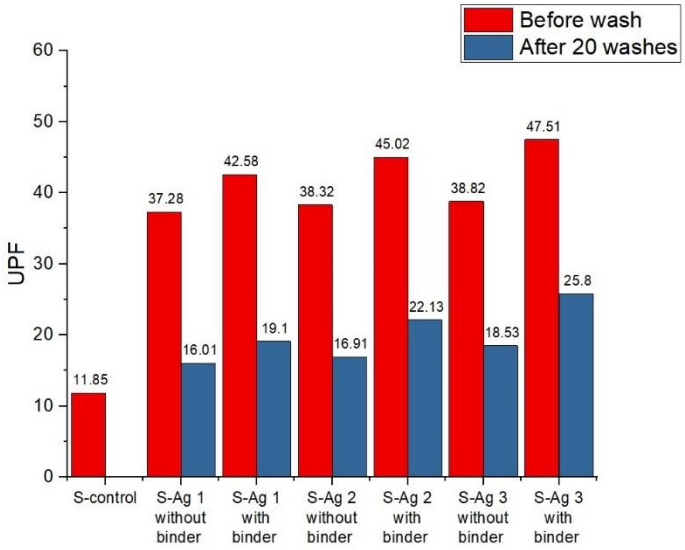
(ข)

รูปที่ 4.28 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)

4.3.8 ผลการทดสอบการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ผ่านให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

เมื่อนำผ้าไหมไปทดสอบค่าร้อยละการส่องผ่าน (%Transmittance) ของแสงยูวีในช่วงความยาวคลื่น 280-400 นาโนเมตร และนำค่าร้อยละการส่องผ่านมาคำนวณหาค่าความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความสามารถในการป้องกันแสดงแดดของวัสดุสิ่งทอ ตามมาตรฐาน AATCC 183-2004 พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก มีค่า UPF เท่ากับ 37.28 38.32 และ 38.82 ตามลำดับ และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก มีค่า UPF เท่ากับ 42.58 45.02 และ 47.51 ตามลำดับ กล่าวคือมีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุด (UPF = 40-50) แสดงดังรูปที่ 4.28 แสดงให้เห็นว่าผ้าไหมหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกมีค่า UPF ที่สูงขึ้น แต่เมื่อเรานำผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกไปผ่านการซักล้าง 20 รอบแล้วมาศึกษาผลของการป้องกันรังสียูวีอีกครั้ง พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก โดยมีค่า UPF ลดลงเท่ากับ 19.10 22.13 และ

25.80 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงคิดเป็นร้อยละ 46-55 แสดงดังรูปที่ 4.28 ซึ่งค่า UPF ดังกล่าวยังสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ในระดับดี อย่างไรก็ตามการใช้สารยึดติดก็ยังไม่เพียงพอที่จะป้องกันไม่ให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์หลุดออกไปหลังจากการซักล้างจำนวนรอบที่มากขึ้น ซึ่งผลของการหลุดออกของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ส่งผลทำให้ผ้าไหมมีความสามารถการป้องกันรังสียูวีลดลง และค่า K/S ก็ลดลงด้วยเช่นกัน



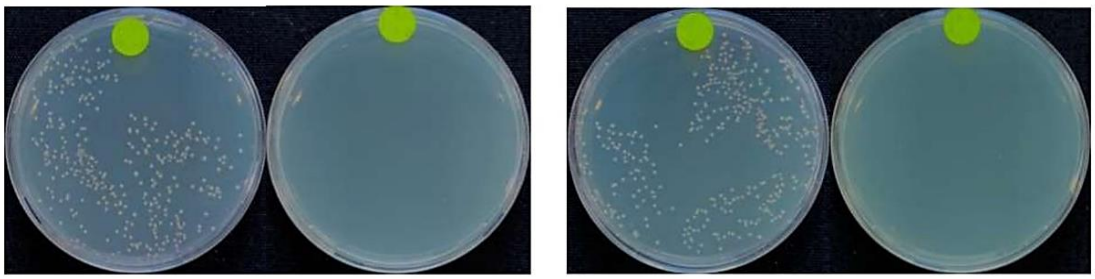
รูปที่ 4.29 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนและหลังการซักล้าง 20 รอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.3.9 ผลการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

เมื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่ทดสอบไม่ปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* ของตัวอย่างผ้าไหมที่ยังไม่ผ่านการซักล้าง แสดงดังรูปที่ 4.29 (ก) และเมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 กล่าวคือความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีเยี่ยม และสำหรับตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการซักล้าง 20 รอบ พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่ทดสอบไม่ปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* แสดงดังรูปที่ 4.29 (ข) และเมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของ

จำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 กล่าวคือความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีเยี่ยม แสดงให้เห็นว่าสารยึดติดชนิดอะคริลิกสามารถเพิ่มความสามารถในการยึดติดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่อยู่บนผ้าไหมเอาไว้ได้เพียงพอที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์จะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียไว้ได้



(ก) (ข)

รูปที่ 4.30 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ก่อนการซักล้าง (ก) และหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{0} (ขวา)

สารยึดติดเป็นหนึ่งวิธีที่นิยมนำมาใช้เพื่อปรับปรับให้อนุภาคบางอย่างที่ต้องการให้ยึดติดบนผ้าได้นานมากขึ้น แต่ผลที่ได้อาจจะดีขึ้นหรือไม่ก็มีปัจจัยหลายๆอย่างเป็นองค์ประกอบ เช่น ประสิทธิภาพของสารยึดติด อนุภาคที่ต้องการให้ยึดติดบนผ้าซึ่งมีความหลากหลายและแตกต่างกัน ส่วนอีกแนวทางหนึ่งที่อาจจะนำมาทดลองใช้คือการย้อมทับด้วยสีย้อมบนผ้าที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ทำให้เกิดสีบนผ้าลงไปอีกครั้ง ซึ่งอาจจะส่งผลทำให้เกิดเฉดสีที่หลากหลายมากขึ้น หรืออาจจะช่วยทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ติดบนผ้าได้ดีขึ้น ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาเบื้องต้นในการย้อมทับผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ซึ่งสีแอซิดเป็นสีที่นิยมใช้ในการย้อมบนผ้าไหมโดยทั่วไปอยู่แล้ว

4.4 ผลของเฉดสี ความเข้มของสี และความสม่ำเสมอของสีของผ้าไหมที่ผ่านการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

การทดลองในส่วนนี้ได้นำผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ค่าพีเอช 4.0 ที่เวลาในการทรีตที่แตกต่างกันด้วยวิธีการแบบอินซิทู หลังจากนั้นนำผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะดังกล่าวมาย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินที่ความเข้มข้น 3.0 %owf ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที หลังจากนั้นนำผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยสภาวะดังกล่าวไปศึกษาสมบัติทางด้านความคงทนของสีต่อการซักล้าง การต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหม

4.4.1 ผลของเฉดสี

ผลของเฉดสีที่เกิดขึ้นจากการย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.28 จะเห็นว่าหลังจากการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินเฉดสีของผ้าไหมเปลี่ยนไปเป็นสีเขียวซึ่งเกิดจากการผสมสีแอซิดสีน้ำเงินและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เป็นสีเหลือง โดยในสภาวะการทรีตผ้าไหมที่ใช้เวลาในการทรีตที่ 120 นาที จะให้ค่าความเข้มของสีมากที่สุด เมื่อย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินก็จะเห็นได้ว่าได้เฉดสีเขียวเข้มที่สุดเช่นกัน และเมื่อนำเฉดสีที่ได้มาเปรียบเทียบผลของค่า CIEL*a*b* โดยผ้าไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินตัวอย่างที่ S-acid dye มีค่า b* เป็นลบมากอยู่ที่ -45.45 ในตารางที่ 4.29 ซึ่งหมายถึงว่าเฉดสีที่ได้เป็นเฉดสีน้ำเงิน ผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 จะเห็นได้ชัดว่าค่า a* มีการเปลี่ยนแปลงไปทางลบอยู่ที่ -11.24 -10.93 และ -9.95 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าเฉดสีที่ได้จะออกเป็นสีเขียว และเมื่อสังเกตค่า b* มีค่าไปทางบวกอยู่ที่ 6.69 9.59 และ 11.58 ตามลำดับ ซึ่งหมายความว่าเฉดสีที่ได้ออกเป็นสีเหลือง แสดงในตารางที่ 4.29 ซึ่งค่า CIEL*a*b* จะแตกต่างจากค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน สรุปได้ว่าเฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการย้อมทับด้วยแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์เป็นเฉดสีเขียวอมเหลือง

ตารางที่ 4.28 เฉดสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาต่างกัน ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน 3.0 %owf

pH	TSC (%w/w)	Time (minute)		
		60	90	120
4.0	3			
Acid dye 3%owf				

ตารางที่ 4.29 ค่า CIEL*a*b* ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาต่างกัน ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน 3.0 %owf

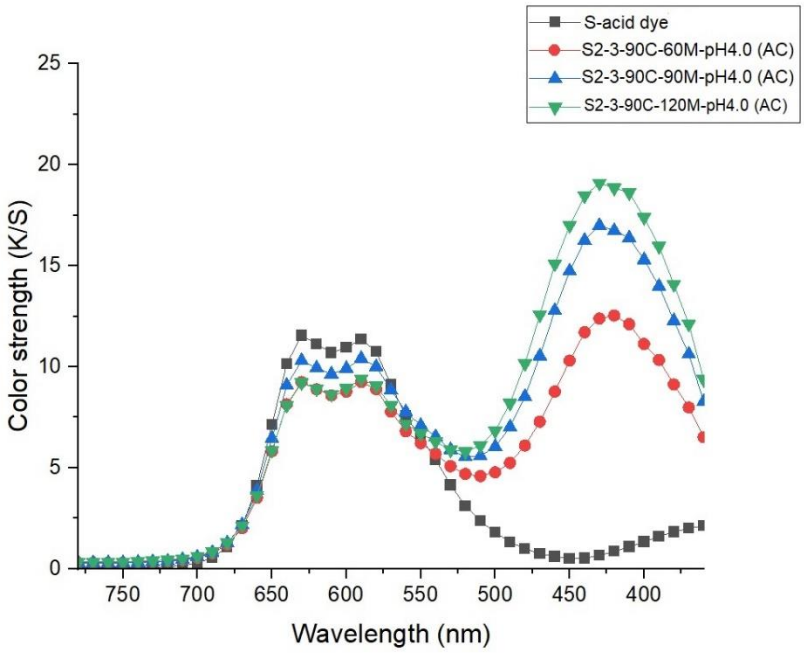
ตัวอย่าง	L*	a*	b*
S-acid dye	37.96	6.51	-45.45
S2-3-90C-60M-pH4.0 (AC)	31.85	-11.24	6.69
S2-3-90C-90M-pH4.0 (AC)	29.39	-10.93	9.59
S2-3-90C-120M-pH4.0 (AC)	28.48	-9.95	11.58

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.2 ผลของค่าความเข้มของสี (K/S)

ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ตามสภาวะที่กล่าวมาข้างต้น พบว่าผลของค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินจะเห็นค่าการดูดกลืนแสงที่สูงอยู่ 2 พีค คือที่ความยาวคลื่น 590 และ 630 นาโนเมตร (เส้นกราฟสีดำ) แสดงในรูปที่ 4.30 และผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูจะเห็นค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ 430 นาโนเมตร หลังจากการย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโน

ซิลเวอร์แล้วจะพบว่ามีค่าการดูดกลืนแสงที่สูงอยู่ 3 พีค คือที่ความยาวคลื่น 590 และ 630 นาโนเมตร เป็นของสีแอซิดสีน้ำเงิน และที่ความยาวคลื่น 430 นาโนเมตร เป็นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีเหลือง โดยสรุปผลของค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิด มีค่าสูงขึ้นตามค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ก่อนการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน แสดงดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.31 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาต่างกัน ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน 3.0 %owf

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.3 ผลของความสม่ำเสมอของสี (RUI)

ผลของความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูแล้วย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินแสดงในตารางที่ 4.30 ค่า RUI มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่า RUI ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะว่าสีแอซิดสีน้ำเงินที่ย้อมทับลงไปนั้นอาจจะทับลงไปบนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ไม่สม่ำเสมอดีนัก

จึงทำให้เกิดรอยด่างเล็ก ๆ เป็นบางจุด แต่อย่างไรก็ตามค่า RUI ยังอยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าต่ำ ซึ่งหมายความว่าความสม่ำเสมอของสีบนผ้ายังมีความสม่ำเสมอที่ดี แสดงดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ค่า RUI และลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตเท่ากับ 1:3 %w/w ค่าพีเอชเท่ากับ 4.0 ที่เวลาต่างกัน ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน 3.0 %owf

ตัวอย่าง	RUI	ลักษณะความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏ
S-acid dye	0.35	ดี
S2-3-90C-60M-pH4.0 (AC)	0.48	ดี
S2-3-90C-90M-pH4.0 (AC)	0.42	ดี
S2-3-90C-120M-pH4.0 (AC)	0.42	ดี

4.4.4 ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

จากการทดสอบความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน และผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ผลที่ได้พบว่า

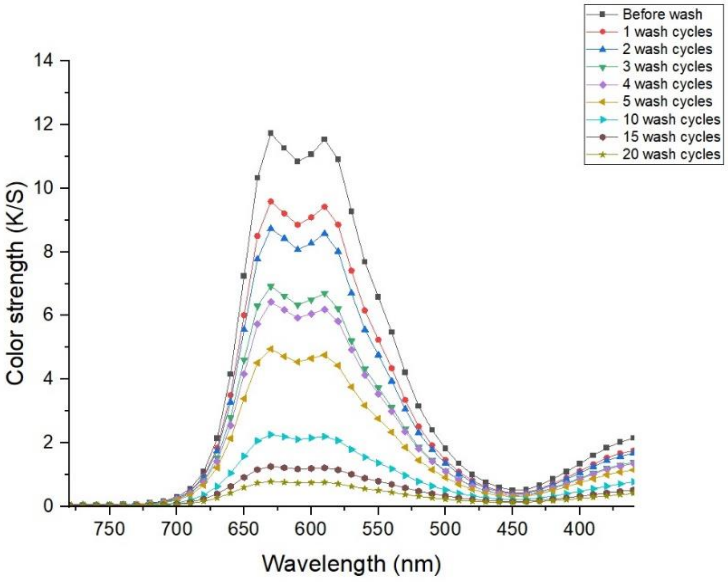
ผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 590 และ 630 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 11.539 และ 11.728 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 9.419 และ 9.585 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 8.508 และ 8.735 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 6.699 และ 6.922 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3/4) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 6.195 และ 6.427 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 4.756 และ 4.951 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 3) และหลังจากซักในจำนวนรอบที่มากขึ้น พบว่า ค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้นจนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 0.757 และ 0.782 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 1) ซึ่งค่า K/S ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ที่ความยาวคลื่น 590 และ 630 นาโนเมตร ลดลงมาร้อยละ 93 เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 4.31 และตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน	5	4/5	4	3/4	3	3	2/3	2	1



รูปที่ 4.32 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

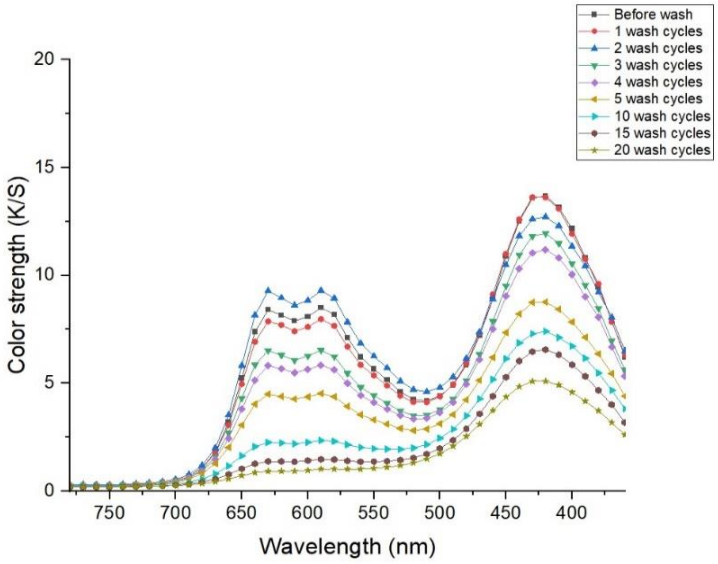
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 1 ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 590 และ 630 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 12.713 9.296 และ 9.283 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 13.628 7.973 และ 7.863 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 12.544 6.943 และ 6.865 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 11.948 6.531 และ 6.516

ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 11.191 5.834 และ 5.809 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 8.761 4.519 และ 4.494 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4) และหลังจากซักในจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่า ค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 5.089 1.012 และ 0.910 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 1) ซึ่งค่า K/S ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 430 590 และ 630 นาโนเมตร ลดลงร้อยละ 60 90 และ 90 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.32 และตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 1 ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน	5	5	4/5	4/5	4	4	2/3	2	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

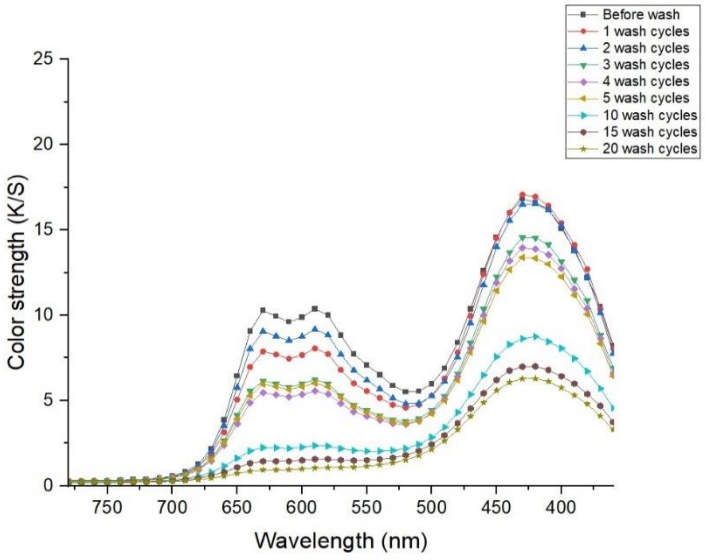


รูปที่ 4.33 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 2 ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 590 และ 630 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 16.824 10.381 และ 10.284 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 16.529 9.175 และ 9.052 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 16.005 8.479 และ 8.359 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 14.563 6.236 และ 6.158 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 13.948 6.020 และ 5.965 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 13.393 5.556 และ 5.469 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) และหลังจากซักในจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่า ค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 6.282 1.048 และ 0.991 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 2) ซึ่งค่า K/S ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 430 590 และ 630 นาโนเมตร ลดลงร้อยละ 63 90 และ 90 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.33 และตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 2 ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน	5	5	5	4/5	4/5	4/5	3	2	2



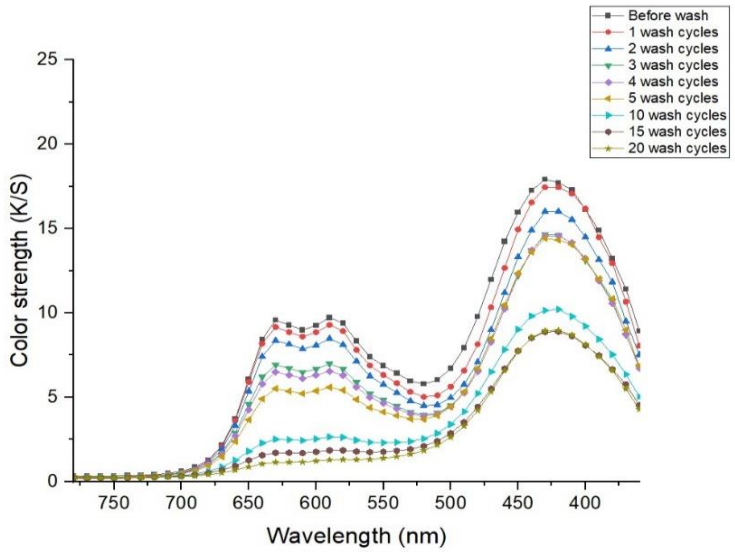
รูปที่ 4.34 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 3 ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน พบว่าค่า K/S ณ ความยาวคลื่น 430 590 และ 630 นาโนเมตร ก่อนการซักล้างอยู่ที่ 17.919 9.724 และ 9.572 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 1 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 17.454 9.290 และ 9.169 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 2 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 16.016 8.479 และ 8.359 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 3 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 14.582 6.547 และ 6.503 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) เมื่อทำการซักล้างผ่านไป 4 รอบ ค่า K/S

ลดลงมาอยู่ที่ 14.663 6.981 และ 6.915 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) และเมื่อทำการซักล้างผ่านไป 5 รอบ ค่า K/S ลดลงมาอยู่ที่ 14.429 5.592 และ 5.509 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 4/5) และหลังจากซักในจำนวนรอบที่มากขึ้นพบว่า ค่า K/S มีค่าลดลงมากขึ้น จนกระทั่งการซักล้าง 20 รอบ ค่า K/S ลดลงมาเหลืออยู่ที่ 8.981 1.287 และ 1.136 ตามลำดับ (ค่าระดับความคงทนของสีอยู่ที่ระดับ 2/3) ซึ่งค่า K/S ที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 430 590 และ 630 นาโนเมตร ลดลงร้อยละ 50 87 และ 87 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.34 และตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 ค่าระดับความคงทนของสีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

ตัวอย่าง	จำนวนรอบการซัก								
	0	1	2	3	4	5	10	15	20
	ค่าระดับความคงทนของสี								
ผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 3 ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน	5	5	5	4/5	4/5	4/5	3/4	2/3	2/3



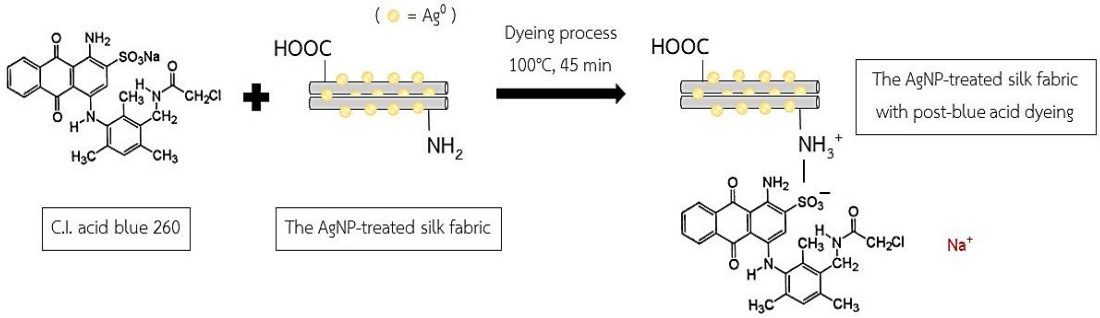
รูปที่ 4.35 ค่า K/S ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนและหลังการซักล้าง 1 2 3 4 5 10 15 และ 20 รอบ

จากผลการทดลองสรุปได้ว่าผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างบนผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินเมื่อเทียบค่า K/S ของตัวอย่างผ้าไหมก่อนและหลังการซักล้างพบว่าค่า K/S ลดลงมากขึ้นเมื่อจำนวนรอบการซักเพิ่มมากขึ้น โดยถ้าต้องการรักษาระดับ grey scale ให้อยู่ที่ระดับ 3 พบว่าสามารถทนต่อการซักแค่ 5 รอบเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีความคงทนของสีต่อการซักต่ำ

ส่วนผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู เมื่อเทียบค่า K/S ของตัวอย่างผ้าไหมก่อนและหลังผ่านการซักล้างในรอบที่ 1 ถึง 5 ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตทั้งสามสภาวะที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินมีการลดลงของค่า K/S ในแต่ละรอบการซักไม่ห่างกันมาก เนื่องจากหลังจากการย้อมทับด้วยสีย้อมนั้นอนุภาคนาโนซิลเวอร์จะถูกเกาะติดอยู่ภายใน โดยที่โมเลกุลขนาดใหญ่ของสีย้อม (dye macromolecules) มีการทำปฏิกิริยาทางเคมีภายในเส้นใยที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ผ่านปฏิกิริยาการแทนที่ด้วยอิเล็กโทรไฟล์ (electrophilic substitution) ระหว่างหมู่ที่ทำปฏิกิริยา (reactive group) ของสีย้อมกับหมู่อะมิโนของเส้นใย [27] แต่เมื่อหลังจากผ่านการซักล้างมากกว่า 5 รอบขึ้นไป ค่า K/S จะลดลงมาอย่างเห็นได้ชัด แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลของสีย้อมที่ทับอยู่เริ่มหลุดออกไปหลังจากผ่านการซักล้างมากกว่า 5 รอบ และเมื่อผ่านการซักล้างจนถึง 20 รอบ จะเห็นว่าผ้าที่ผ่านการทรีตทั้งสามสภาวะที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินยังคงเห็นสีที่หลงเหลือบนผ้า แต่สภาวะที่ 2 และ 3 จะเห็นสีหลงเหลือมากกว่าสภาวะที่ 1 ทั้งนี้เพราะที่สภาวะที่ 2 และ 3 ผ้าไหมมีค่า K/S มากกว่าที่สภาวะที่ 1 ทำให้หลังจากผ่านการซักล้างครบ 20 รอบผ้าไหมที่มีค่า K/S มากกว่าแสดงว่ายังคงมีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ยังหลุดออกไปไม่หมด และถ้าสังเกตจากผลของ grey scale สามารถสรุปได้ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยสภาวะที่ 1 และ 2 ที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินนั้น ถ้าต้องการรักษาระดับ grey scale ให้อยู่ที่ระดับ 3 พบว่าสามารถทนต่อการซักได้แค่ 10 รอบเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีค่าความคงทนของสีต่อการซักปานกลาง แต่ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยสภาวะที่ 3 ที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินนั้น ถ้าต้องการรักษาระดับ grey scale ให้อยู่ที่ระดับ 3 พบว่าสามารถทนต่อการซักได้ถึง 20 รอบ ซึ่งถือว่ามีความคงทนของสีต่อการซักในระดับที่ดี ดังนั้นโมเลกุลของสีย้อมจึงสามารถช่วยในการรักษาเสถียรภาพของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ภายในเส้นใยและทำให้การหลุดออกของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลดน้อยลง สะท้อนให้เห็นถึงการยึดเกาะที่ดีขึ้นระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์กับเส้นใยเมื่อท้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน โดยคาดว่ากลไกการเกิดปฏิกิริยาใน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.36

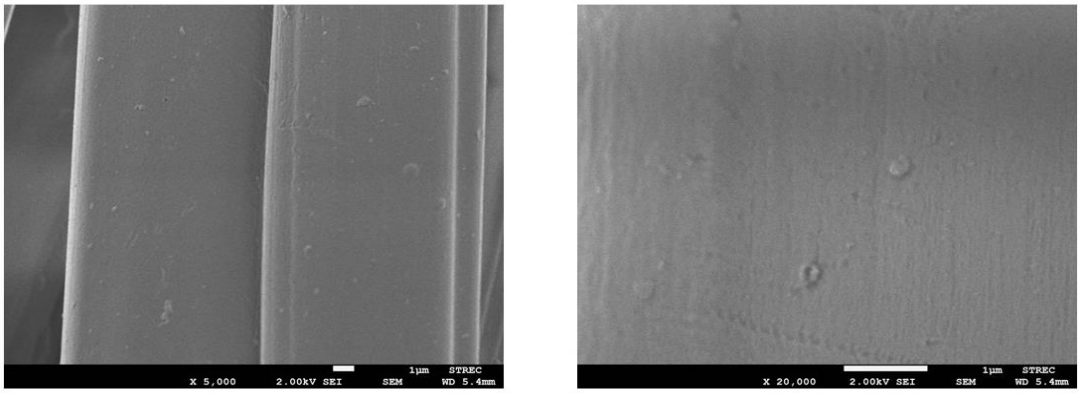


รูปที่ 4.36 ภาพแสดงปฏิกิริยาเคมีระหว่างโมเลกุลสีย้อมแอซิดสีน้ำเงิน และเส้นไหมที่มีอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีสีเกาะอยู่บนผิวและระหว่างเส้นใย เมื่อผ่านกระบวนการย้อมที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที

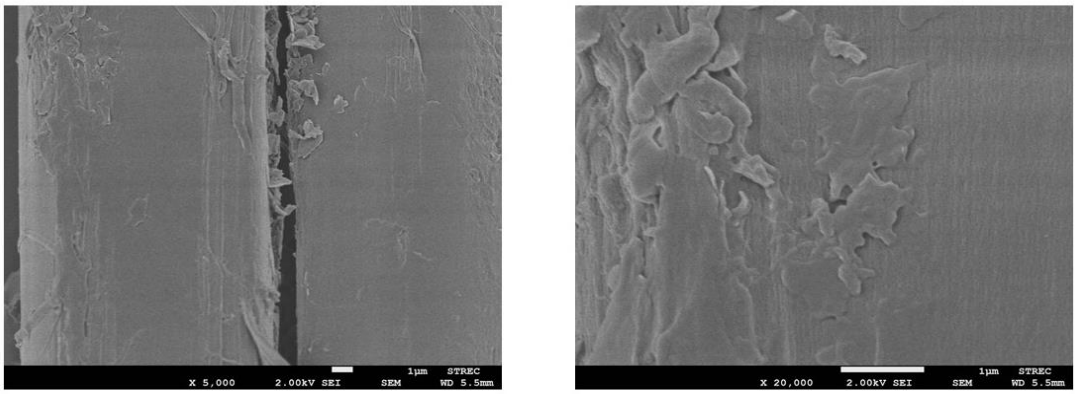
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

4.4.5 ผลการวิเคราะห์พื้นผิวผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน และผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังการซักล้างผ้า 20 รอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดโดยใช้เทคนิค FESEM

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้อง FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน แสดงดังรูปที่ 4.37 (ก) พบว่าพื้นผิวของผ้าไหมมีลักษณะเรียบ มีสิ่งสกปรกปะปนบ้างเล็กน้อย ไม่มีอนุภาคใด ๆเกาะอยู่ และถ้าสังเกตผิวของผ้าไหมจะดูเรียบเนียนกว่าผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต นั่นคือลักษณะของตัวสีย้อมแอซิดที่เคลือบอยู่บนผ้าไหม และเมื่อนำผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินไปผ่านการซักล้าง 20 รอบ พบว่าผ้าไหมมีลักษณะของเส้นใยที่หลุดลุ่ยออกมาและสังเกตเห็นผิวของตัวผ้าไหมที่ไม่ค่อยเรียบคล้ายผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต แสดงว่าสีย้อมที่เคลือบอยู่ในตอนแรกหลุดออกไปบ้าง แสดงดังรูปที่ 4.37 (ข)



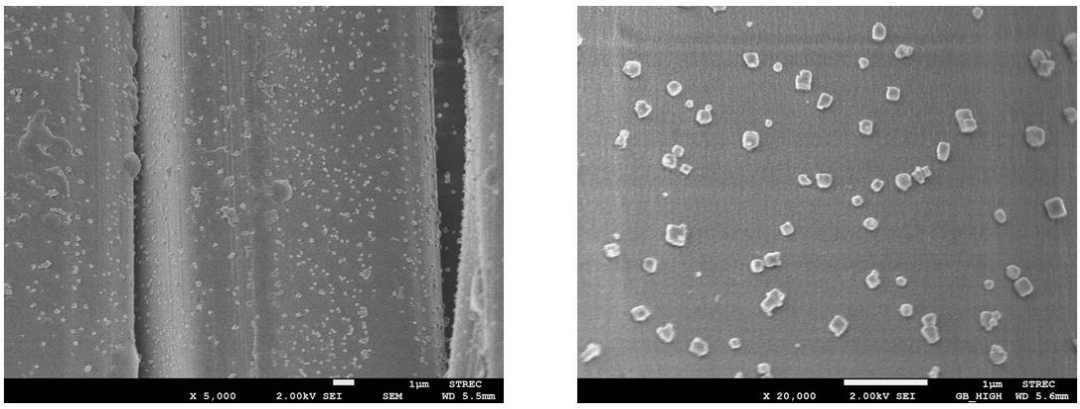
(ก)



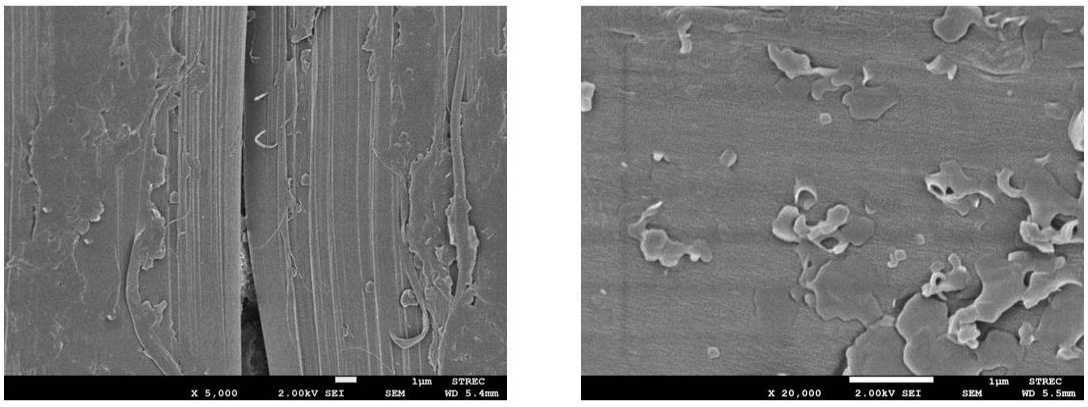
(ข)

รูปที่ 4.37 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยกล้อง FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู แสดงดังรูปที่ 4.38 – 4.40 (ก) ที่ปรากฏอนุภาคทรงกลมกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของผ้าไหมและมีลักษณะของสีย้อมแอซิดเคลือบบาง ๆ ทับอนุภาคนาโนซิลเวอร์อยู่อีกชั้นหนึ่ง และมีอนุภาคบางส่วนที่เกาะอยู่นั้นดูเหมือนกลืนไปกับโมเลกุลของสีย้อมและอาจจะฝังลงไปภายในผ้าด้วย

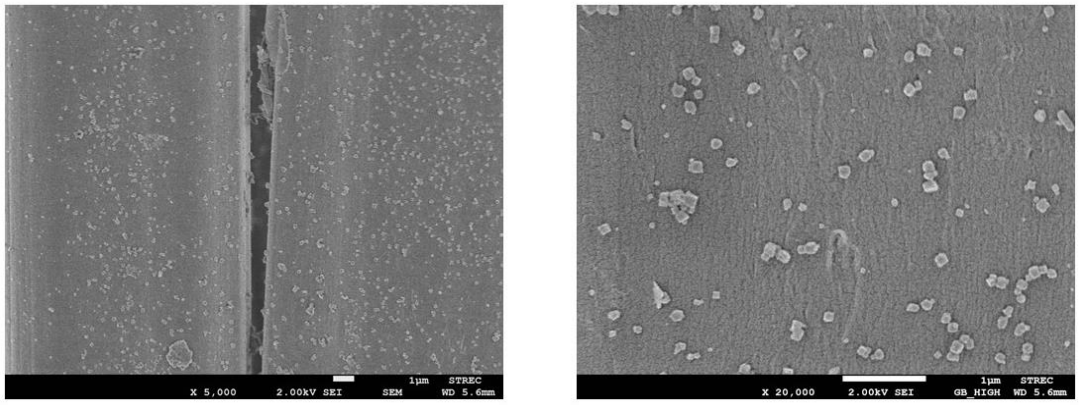


(ก)

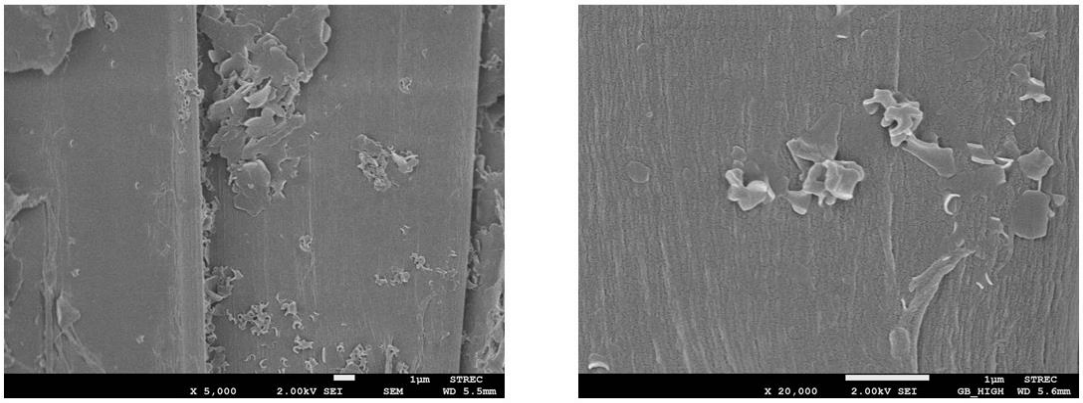


(ข)

รูปที่ 4.38 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)



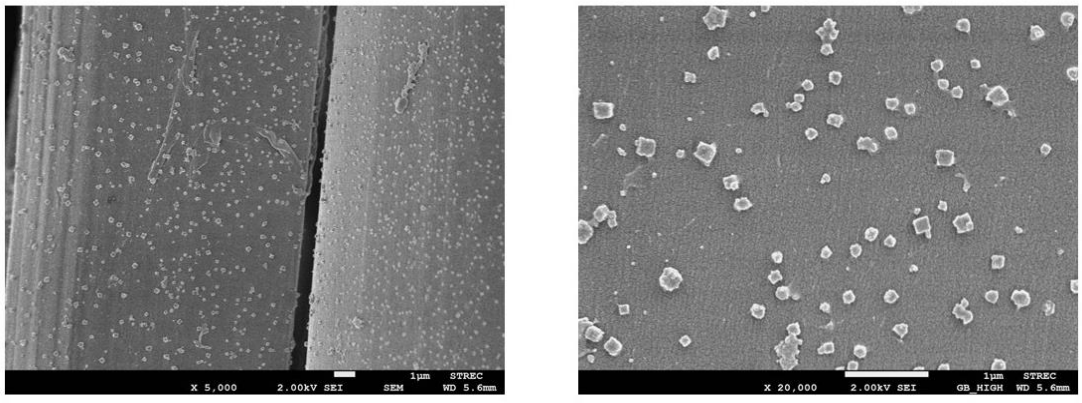
(ก)



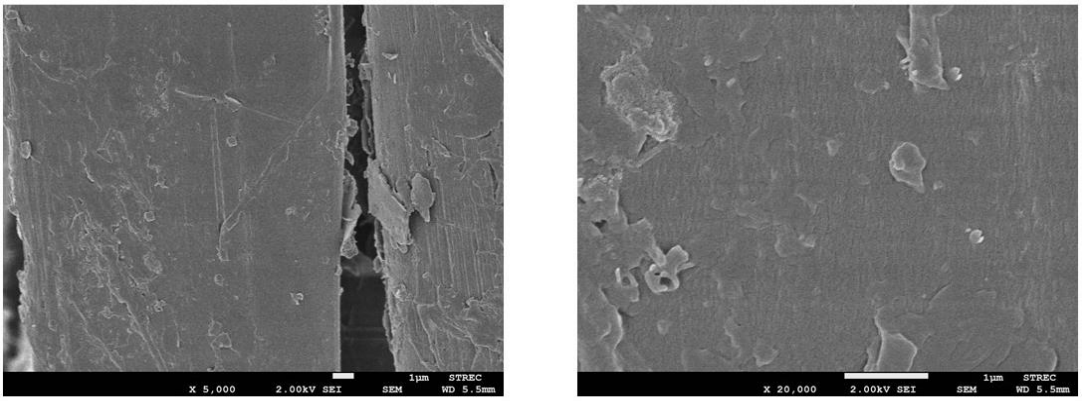
(ข)

รูปที่ 4.39 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 2 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.40 ภาพถ่าย FESEM ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อน (ก) และหลังการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่กำลังขยาย 5,000 เท่า (ซ้าย) และที่กำลังขยาย 20,000 เท่า (ขวา)

หลังจากนำตัวอย่างไปซักล้างให้ครบ 20 รอบแล้วนำมาศึกษาลักษณะพื้นผิว พบว่าพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการซักล้าง สีย้อมที่เคลือบอยู่ก่อนจะหลุดออกไปก่อนและจากนั้นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ก็จะเริ่มหลุดออกจากผ้าตามออกไปเรื่อย ๆ โดยจะเห็นลักษณะของเส้นใยที่หลุดลุ่ย ลักษณะของสีย้อมที่เคลือบอยู่ตอนแรกหลุดออกไป และเห็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ยังหลงเหลืออยู่โผล่ขึ้นมา และมีบางส่วนที่ดูเหมือนจะเกาะติดแน่นอยู่ภายในเส้นใยด้วยเล็กน้อย แสดงดังรูปที่ 4.38-4.40 (ข) แสดงให้เห็นว่าหลังจากผ่านการซักล้างมาแล้วถึง 20 รอบ สีย้อมบางส่วนยังสามารถทำหน้าที่เปรียบเสมือนสารยึดติดในการช่วยยึดเกาะของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้อยู่ โดยดูจากผลการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย พบว่าหลังจากผ่านการซักล้างครบ 20 รอบ ผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 มีค่าร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) เท่ากับร้อยละ 100 เทียบเท่ากับผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ซึ่งมีค่าร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) เท่ากับร้อยละ 100 เช่นกัน

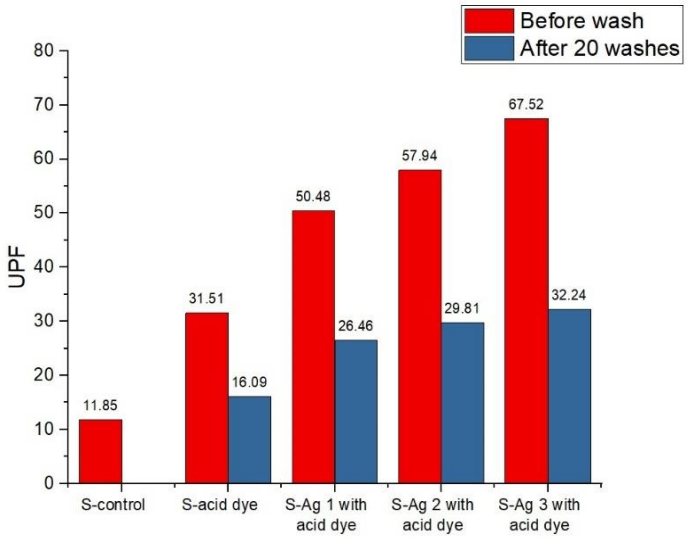
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.4.6 ผลการทดสอบการป้องกันรังสียูวีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

ค่า UPF ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิด ก่อนการซักล้างพบว่ามีค่าเท่ากับ 31.51 กล่าวคือมีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ดี และหลังผ่านการซักล้างครบ 20 รอบพบว่ามีค่า UPF ลดลงมาที่ 16.09 ซึ่งยังสามารถป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ในระดับหนึ่ง ส่วนผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 1 2 และ 3 ก่อนการซักล้าง พบว่ามีค่า UPF เท่ากับ 50.48 57.94 และ 67.52 ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.39 กล่าวคือมีความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้สูงสุด (UPF = 50+) เนื่องจากค่า K/S หลังจากการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินมีค่า K/S ที่สูงขึ้นส่งผลทำให้ค่า UPF สูงขึ้นตามไปด้วย แต่เมื่อเรานำผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูทั้งสามสภาวะไปผ่านการซักล้างให้ครบ 20 รอบแล้วมาศึกษาผลของการป้องกันรังสียูวีอีกครั้ง พบว่าผ้าไหมที่ทรีตด้วยสภาวะที่ 1 2 และ 3 ที่ย้อมทับด้วยสีแอซิด มีค่า UPF ลดลงมาที่ 26.46 29.81 และ 32.24 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าลดลงคิดเป็นร้อยละ 48-52 แสดงดังรูปที่ 4.41 ซึ่งยังสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้ในระดับดีมาก (UPF = 25-39) เนื่องจากผ้าที่ผ่านการซักล้างมีผลทำให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ก็หลุดออกไป การกระเจิงแสงของรังสียูวีจึงลดลง ค่า K/S ก็ลดลง ส่งผลทำให้ค่าความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF ลดลงไปด้วย

โดยสรุปเมื่อเปรียบเทียบระหว่างผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิกกับผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินมีค่าความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF ที่สูงกว่า แสดงให้เห็นว่าผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินสามารถป้องกันรังสียูวีได้ดีกว่าผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์แล้วผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.41 ระดับค่า UPF ในการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต ผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน และผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู ก่อนและหลังการซักล้าง 20 รอบ

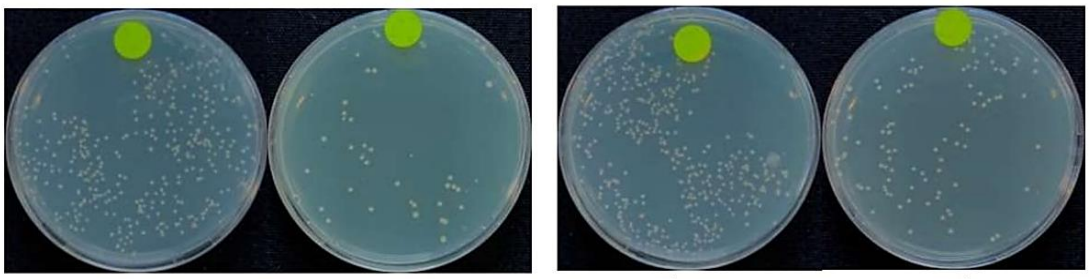
4.4.7 ผลการทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทู

เมื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* ของผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน สำหรับตัวอย่างก่อนการซักล้าง พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่ทดสอบปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* เป็นจำนวนหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4.42 (ก) และเมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 62.02 กล่าวคือความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียไม่ผ่านเกณฑ์ และสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการซักล้าง 20 รอบ พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่ทดสอบปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* เป็นจำนวนมาก แสดงดังรูปที่ 4.42 (ข) และเมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าลดลงเท่ากับร้อยละ 5.86 กล่าวคือความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียไม่ผ่านเกณฑ์ แสดงให้เห็นว่าสีแอซิดไม่มีความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้

เมื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* ของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูสภาวะที่ 3 สำหรับตัวอย่างก่อนการซักล้าง พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่

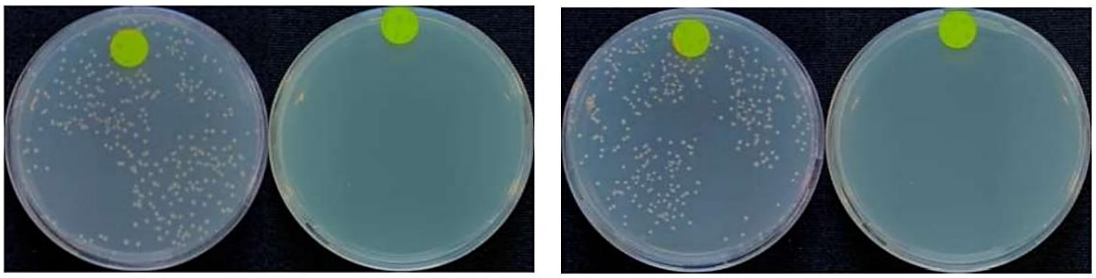
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ทดสอบไม่ปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* แสดงดังรูปที่ 4.43 (ก) และเมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 กล่าวคือความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีเยี่ยม และสำหรับตัวอย่างที่ผ่านการซักล้างครบ 20 รอบ พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่ทดสอบไม่ปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus.* แสดงดังรูปที่ 4.43 (ข) และเมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 ซึ่งยังสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดีเยี่ยมอยู่ แสดงให้เห็นว่าสีแอซิดที่ย้อมทับลงไปนั้น โมเลกุลของสีย้อมสามารถช่วยผนึกติดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ให้ยึดติดได้ดีขึ้นเทียบเท่ากับผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก อีกทั้งการย้อมทับด้วยสีแอซิดนั้นยังมีข้อดีคือสามารถให้ความหลากหลายของเฉดสีที่มากขึ้นอีกด้วย



(ก) (ข)

รูปที่ 4.42 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ย้อมด้วยสีแอซิดสีน้ำเงิน ก่อนการซักล้าง (ก) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{0} (ขวา) และหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่เวลา 0 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ขวา)



(ก) (ข)

รูปที่ 4.43 จำนวนแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* บนตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีที่เกิดจากการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีการแบบอินซิทูที่สภาวะที่ 3 ก่อนการซักล้าง (ก) และหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ (ข) ที่เวลา 0ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{-3} (ซ้าย) และ 24 ชั่วโมง ที่การเจือจาง 10^{0} (ขวา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ที่ทำให้เกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีด้วยวิธีการแบบอินซิทูบนผ้าไหม และศึกษาเฉดสี ค่าความเข้มของสี (K/S) และค่าความสม่ำเสมอของสี (RUI) บนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี รวมทั้งสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวีบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตดังกล่าว จากผลการศึกษาสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

1. ตัวแปรต่าง ๆ ที่ศึกษาในการทำให้เกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีประกอบไปด้วย ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่แตกต่างกันคือ 1.0 1.5 และ 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่แตกต่างกันคือ 1:1 1:2 และ 1:3 %w/w อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 60 และ 90 องศาเซลเซียสและเวลาในการทรีตที่แตกต่างกันคือ 60 90 และ 120 นาที จากผลของเฉดสี ค่า K/S และค่า RUI พบว่าสภาวะในการทรีตผ้าไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือสภาวะที่ความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่ 2.0 %owf อัตราส่วนระหว่างสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตไดไฮเดรตที่ 1:3 %w/w อุณหภูมิที่ 90 องศาเซลเซียส และเวลาในการทรีตที่ 90 หรือ 120 นาที
2. ผลของพีเอชที่ศึกษาพบว่าที่ค่าพีเอช 4.0 ให้ผลของเฉดสีที่เปลี่ยนจากเฉดสีขาวเป็นเฉดสีน้ำตาลเหลืองอ่อนจนถึงสีน้ำตาลเหลืองเข้ม ค่า K/S และค่า RUI ที่ดีที่สุด ส่วนสมบัติความคงทนของสีต่อการซักล้าง หลังจากผ่านการซักล้างครบ 20 รอบ พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกาะอยู่บนผ้าไหมนั้นหลุดออกไปจนเหลือน้อยมาก ๆ แต่ถ้าหากต้องการรักษาระดับเกรย์สเกลให้อยู่ที่ระดับ 3 ผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยสภาวะดังกล่าวข้างต้นสามารถทนต่อการซักได้แค่ 3 ถึง 4 รอบเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีค่าความคงทนของสีต่อการซักที่ต่ำ ส่วนความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus* ไม่ผ่านเกณฑ์ (%Reduction < 50%) แต่ความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF อยู่ในระดับดีหลังผ้าไหมผ่านการซักล้าง 20 รอบ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. การใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สี พบว่าเฉดสีเข้มขึ้นเพียงเล็กน้อยไม่ถือว่ามีผลกระทบต่อเฉดสี ค่า K/S และค่า RUI คงเดิม ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้าง หลังจากผ่านการซักล้างครบ 20 รอบ พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกาะอยู่บนผ้าไหมนั้นยังคงหลงเหลืออยู่ แต่ถ้าหากต้องการรักษาระดับเกรย์สเกลให้อยู่ที่ระดับ 3 ผ้าไหมที่ใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสามารถทนต่อการซักได้แค่เพียง 10 รอบเท่านั้น ซึ่งถือว่ามีค่าความคงทนของสีต่อการซักปานกลาง ส่วนความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus* ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่ดีเยี่ยม (%Reduction = 100%) ความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF ลดลงแต่ยังมีค่า UPF อยู่ในระดับดี แสดงให้เห็นว่าการใช้สารยึดติดชนิดอะคริลิกสามารถเพิ่มความสามารถในการยึดติดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่อยู่บนผ้าไหมไว้ได้ทำให้การชะออกของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีที่ไม่ได้ใช้สารยึด
4. การย้อมทับด้วยสีย้อมแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีอีกครั้ง ซึ่งส่งผลทำให้เกิดเฉดสีที่หลากหลายมากขึ้นจากการผสมสีย้อมของสีแอซิดกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีเหลือง ส่วนผลของเฉดสี ค่า K/S ค่า RUI ความคงทนของสีต่อการซักล้าง การต้านเชื้อแบคทีเรียและการป้องกันรังสียูวี พบว่าเฉดสีของผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีมีการเปลี่ยนแปลงเฉดสีเป็นสีเขียวที่เกิดจากการผสมระหว่างสีแอซิดสีน้ำเงินกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์สีเหลือง ค่า K/S หลังการย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินเพิ่มขึ้นตามค่า K/S ของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีก่อนการย้อมทับด้วยสีแอซิด ความสม่ำเสมอของสีนั้นถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่ดี ผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างหลังจากผ่านการซักล้างครบ 20 รอบ พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกาะอยู่บนผ้าไหมนั้นยังคงหลงเหลืออยู่และถ้าหากต้องการรักษาระดับเกรย์สเกลให้อยู่ที่ระดับ 3 ผ้าไหมที่ย้อมทับด้วยสีแอซิดสีน้ำเงินบนผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสามารถทนต่อการซักได้ถึง 20 รอบ ซึ่งถือว่ามีค่าความคงทนของสีต่อการซักที่ดี โดยผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างที่ได้นี้ให้ผลที่ดีกว่าผลของความคงทนของสีต่อการซักล้างของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีหลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก ส่วนความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

แกรมบวกชนิด *S. aureus* อยู่ในเกณฑ์ที่ดีเยี่ยม (%Reduction = 100%) ความสามารถในการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต UPF อยู่ในระดับดีมากหลังผ่านการซักล้าง 20 รอบ แสดงให้เห็นว่าวิธีการใช้สีแอซิดสีน้ำเงินย้อมทับสามารถเพิ่มความสามารถในการยึดติดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่อยู่บนผ้าไหมไว้ได้ เนื่องมากจากโมเลกุลของสีย้อมสามารถช่วยผนึกติดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ให้ดีขึ้น ทำให้การชะออกของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลดลง

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาสารตัวรีดิวซ์ชนิดอื่น ๆ ว่ามีผลกระทบต่อการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีแตกต่างกับการใช้สารตัวรีดิวซ์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้อย่างไร

5.2.2 ศึกษาเพิ่มเติมในการใช้สารยึดติดให้มีประสิทธิภาพในการช่วยยึดติดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์บนผ้าไหมให้ดีขึ้น เช่น ประเภทของสารยึดติดประเภทอื่น ๆ สภาวะที่เหมาะสมของอุณหภูมิและเวลาในการใช้สารยึดติดเพื่อให้สามารถยึดติดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ได้ดีขึ้น

5.2.3 ศึกษาแนวทางอื่น ๆ เช่นการย้อมทับด้วยสีแอซิดหรือสีรีแอคทีฟบนผ้าไหมที่ทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีเพิ่มเติมว่าจะปรับปรุงสมบัติความคงทนของสีต่อการซักให้ดีขึ้นได้มากน้อยเพียงใด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

[1] Sonthisombat, A. and Speakman, P. Silk : queen of fibres – The concise story. Journal of Engineering, RMUTT 4 (2003): 84-97.

[2] Woodhead Publishing Series in Textiles. in Basu, A. (ed.)Advances in Silk Science and Technology, pp. xi-xvii: Woodhead Publishing, 2015.

[3] Babu, K.M. Introduction to silk and sericulture. in Silk, pp. 1-29, 2019.

[4] Babu, K.M. Structural aspects of silk. in Silk, pp. 51-75, 2019.

[5] มูลรัตน์, ช. การย้อมสีและการเพิ่มสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียแก่เส้นด้ายไหมโดยการเคลือบอนุภาคนาโนซิลเวอร์และไททาเนีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2562.

[6] พิมพ์ประพร, ภ. การศึกษาอิทธิพลของสารช่วยติดสีต่อเฉดสีของสีย้อมธรรมชาติสกัดจากใบหมี่บนเส้นใยไหมย้อมด้วยกระบวนการย้อมแบบดูดซึม. มหาวิทยาลัยราชมงคลธัญบุรี., 2558.

[7] อุดมกิจเดชา, ว. วิทยาศาสตร์เส้นใย. 2543.

[8] ไหมไทย : การประยุกต์ใช้เป็นชีววัสดุเพื่อการแพทย์ [Online]. 2561. Available from: http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php?title=

[9] และคณะ, ล.โ. คู่มือวิชาการสิ่งทอ. กรุงเทพมหานคร: บริษัททีทีไอเอสจำกัด และมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2541.

[10] Gohl, E.P.G. Textile science / E.P.G. Gohl, L.D. Vilensky, ed. Vilensky, L.D. Melbourne: Longman Cheshire, 1980.

[11] Cheng, Y., Koh, L.D., Li, D., Ji, B., Han, M.Y., and Zhang, Y.W. On the strength of beta-sheet crystallites of Bombyx mori silk fibroin. J R Soc Interface 11(96) (2014): 20140305.

[12] Gao, L.-Z., et al. Multifunctional silk fabric via surface modification of nano-SiO2. Textile Research Journal 90(13-14) (2020): 1616-1627.

[13] Zhang, G., Liu, Y., Gao, X., and Chen, Y. Synthesis of silver nanoparticles and antibacterial property of silk fabrics treated by silver nanoparticles. Nanoscale Res Lett 9(1) (2014): 216.

[14] Mehravani, B., Ribeiro, A.I., and Zille, A. Gold Nanoparticles Synthesis and Antimicrobial Effect on Fibrous Materials. Nanomaterials (Basel) 11(5) (2021).

[15] Roman, L.E., Gomez, E.D., Solis, J.L., and Gomez, M.M. Antibacterial Cotton

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Fabric Functionalized with Copper Oxide Nanoparticles. Molecules 25(24) (2020).

[16] บทความวิชาการ " เสื้อเกราะใยไหมไทย รศ.สุจิระ ขอจิตเมตต์ " เรียบเรียงโดยกองบรรณาธิการ (ตุลาคม-ธันวาคม) [Online]. 2543. Available from: https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/276_35.pdf

[17] Yamada, A. The absorbing rate of moisture for silk fabric comparing to other fabrics made from various fibers. The Journal of Sericultural Science of Japan 67(4) (1998): 333-339.

[18] เจนวานิชย์, ช. สารานุกรมธาตุ, Silver (Ag) เงิน. กรุงเทพฯ โอเดียนสโตร์., 2525.

[19] แก้วขาว, ย.เ.แ. การเพิ่มประสิทธิภาพผลผลิตทางแสงในช่วงตามองเห็นของแก้วที่เติมธาตุหายากโดยอนุภาคนาโน, รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ ปีที่ 1 ศูนย์วิจัยแห่งความเป็นเลิศทางเทคโนโลยีแก้วและวัสดุศาสตร์. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 2560.

[20] Peiris, S., McMurtrie, J., and Zhu, H. Metal nanoparticle photocatalysts: Emerging processes for green organic synthesis. Catal. Sci. Technol. 6 (2015).

[21] Yin, I.X., Zhang, J., Zhao, I.S., Mei, M.L., Li, Q., and Chu, C.H. The Antibacterial Mechanism of Silver Nanoparticles and Its Application in Dentistry. Int J Nanomedicine 15 (2020): 2555-2562.

[22] Hassan, M.M. and Koyama, K. Multifunctional acrylic fibers prepared via in-situ formed silver nanoparticles: Physicochemical, UV radiation protection, and antistatic properties. Dyes and Pigments 159 (2018): 517-526.

[23] เศรษฐยานนท์, จ. สีย้อมสำหรับสิ่งทอ. 2560.

[24] Roto, R., Rasydta, H.P., Suratman, A., and Aprilita, N.H. Effect of Reducing Agents on Physical and Chemical Properties of Silver Nanoparticles. Indonesian Journal of Chemistry 18(4) (2018).

[25] Doddagoudar, S.R., Sreenivas, A.G., Ramappa, K.T., Nidoni, U., Hiregoudar, S., and Yerragopu, P.S. Chemical Synthesis of Silver Nanoparticles Using Tri-sodium Citrate, Stability Study and Their Characterization. International Research Journal of Pure and Applied Chemistry (2020): 37-50.

[26] Hasan, K.M.F., et al. Colorful and antibacterial nylon fabric via in-situ biosynthesis of chitosan mediated nanosilver. Journal of Materials Research and Technology 9(6) (2020): 16135-16145.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

[27] Ahmed, H.B., Emam, H.E., Mashaly, H.M., and Rehan, M. Nanosilver leverage on reactive dyeing of cellulose fibers: Color shading, color fastness and biocidal potentials. Carbohydr Polym 186 (2018): 310-320.

[28] Shahid, M., Zhou, Y., Cheng, X.-W., Zar, M.S., Chen, G., and Tang, R.-C. Ferulic acid promoted in-situ generation of AgNPs@silk as functional colorants. Journal of Cleaner Production 176 (2018): 736-744.

[29] Zhang, Z., Lv, X., Chen, Q., and An, J. Complex coloration and antibacterial functionalization of silk fabrics based on noble metal nanoparticles. Journal of Engineered Fibers and Fabrics 14 (2019).

[30] ศรีอ่อนจันทร์, ร. การตกแต่งสำเร็จผ้าไหมไทยระงับกลิ่นกายด้วยบีตาไซโคลเดกซ์ทริน. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2564.

[31] Gulrajani, M.L., Gupta, D., Periyasamy, S., and Muthu, S.G. Preparation and application of silver nanoparticles on silk for imparting antimicrobial properties. Journal of Applied Polymer Science 108(1) (2008): 614-623.

[32] Tang, B., Li, J., Hou, X., Afrin, T., Sun, L., and Wang, X. Colorful and Antibacterial Silk Fiber from Anisotropic Silver Nanoparticles. Industrial & Engineering Chemistry Research 52(12) (2013): 4556-4563.

[33] Tang, A.Y.L., Lee, C.H., Wang, Y., and Kan, C.W. Dyeing Properties of Cotton with Reactive Dye in Nonane Nonaqueous Reverse Micelle System. ACS Omega 3(3) (2018): 2812-2819.

[34] Khan, A., et al. A review of UV radiation protection on humans by textiles and clothing. International Journal of Clothing Science and Technology 32(6) (2020): 869-890.

[35] Moudir, N., et al. Preparation of Silver Powder used for Solar Cell Paste by Reduction Process. Energy Procedia 36 (2013): 1184-1191.

[36] Mahmud, S., Pervez, M., Habib, M.A., Sultana, M., and Liu, H.-H. UV Protection and Antibacterial Treatment of Wool using Green Silver Nanoparticles. Asian Journal of Chemistry 30 (2018): 116-122.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก
น้ำหนักผ้าไหมต่อพื้นที่

ตารางที่ ก.1 น้ำหนักผ้าไหมต่อพื้นที่ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D-3776

ตัวอย่าง	น้ำหนักผ้า ($g/100cm^2$)	น้ำหนักผ้า (g/cm^2)
1	0.7089	0.00709
2	0.7145	0.00715
3	0.7117	0.00712
4	0.7089	0.00709
5	0.7131	0.00713
ค่าเฉลี่ย	0.7114	0.00711

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ข

ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (ความแข็งกระด้าง) ของแต่ละตัวอย่างผ้าไหม

ตารางที่ ข.1 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน			แนวเส้นด้ายพุ่ง		
	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)
1	0.0071	2.5	0.111	0.0071	4.0	0.455
2	0.0071	2.7	0.140	0.0071	4.2	0.527
3	0.0071	2.6	0.125	0.0071	4.2	0.527
4	0.0071	2.6	0.125	0.0071	4.2	0.527
5	0.0071	2.7	0.140	0.0071	4.2	0.527
เฉลี่ย		2.62	0.128		4.16	0.513
S.D.			0.012			0.032

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ข.2 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 1 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน			แนวเส้นด้ายพุ่ง		
	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)
1	0.0071	2.8	0.156	0.0071	4.2	0.527
2	0.0071	2.6	0.125	0.0071	4.1	0.490
3	0.0071	2.5	0.111	0.0071	4.2	0.527
4	0.0071	2.6	0.125	0.0071	4.1	0.490
5	0.0071	2.5	0.111	0.0071	4.1	0.490
เฉลี่ย		2.6	0.126		4.14	0.505
S.D.			0.018			0.020

ตารางที่ ข.3 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน			แนวเส้นด้ายพุ่ง		
	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)
1	0.0071	2.9	0.174	0.0071	4.8	0.787
2	0.0071	2.9	0.174	0.0071	4.7	0.739
3	0.0071	2.8	0.156	0.0071	5.0	0.889
4	0.0071	2.9	0.174	0.0071	4.8	0.787
5	0.0071	2.8	0.156	0.0071	4.9	0.837
เฉลี่ย		2.86	0.167		4.84	0.808
S.D.			0.009			0.057

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.4 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 2 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน			แนวเส้นด้ายพุ่ง		
	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)
1	0.0071	2.5	0.111	0.0071	4.1	0.490
2	0.0071	2.6	0.125	0.0071	4.1	0.490
3	0.0071	2.7	0.140	0.0071	4.1	0.490
4	0.0071	2.6	0.125	0.0071	4.2	0.527
5	0.0071	2.6	0.125	0.0071	4.2	0.527
เฉลี่ย		2.6	0.125		4.14	0.505
S.D.			0.010			0.020

ตารางที่ ข.5 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน			แนวเส้นด้ายพุ่ง		
	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)
1	0.0071	2.8	0.156	0.0071	4.8	0.787
2	0.0071	2.9	0.174	0.0071	4.8	0.787
3	0.0071	2.8	0.156	0.0071	4.8	0.787
4	0.0071	2.9	0.174	0.0071	4.8	0.787
5	0.0071	3.0	0.192	0.0071	5.0	0.889
เฉลี่ย		2.88	0.170		4.84	0.807
S.D.			0.015			0.046

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ข.6 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 3 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน			แนวเส้นด้ายพุ่ง		
	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)
1	0.0071	2.7	0.140	0.0071	4.2	0.527
2	0.0071	2.6	0.125	0.0071	4.1	0.490
3	0.0071	2.5	0.111	0.0071	4.0	0.455
4	0.0071	2.5	0.111	0.0071	4.2	0.527
5	0.0071	2.7	0.140	0.0071	4.1	0.490
เฉลี่ย		2.6	0.125		4.12	0.498
S.D.			0.014			0.030

ตารางที่ ข.7 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน			แนวเส้นด้ายพุ่ง		
	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)	น้ำหนักผ้าต่อพื้นที่ (g/cm^2)	ความยาวโค้งงอ (cm)	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้ง (g•cm)
1	0.0071	2.8	0.156	0.0071	4.8	0.787
2	0.0071	2.8	0.156	0.0071	4.9	0.837
3	0.0071	2.9	0.174	0.0071	4.8	0.787
4	0.0071	2.9	0.174	0.0071	4.8	0.787
5	0.0071	2.9	0.174	0.0071	4.9	0.837
เฉลี่ย		2.86	0.167		4.84	0.807
S.D.			0.009			0.027

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ค
ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของผ้าไหมแต่ละตัวอย่าง

ตารางที่ ค.1 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการทรีต

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	587.506	24.265	1228.656	24.288
2	583.493	22.247	1242.732	23.946
3	586.461	22.291	1199.235	23.992
4	595.778	23.824	1214.776	25.365
5	598.326	23.218	1240.005	22.357
เฉลี่ย	590.31	23.17	1225.08	23.99
S.D.	6.390	0.902	18.175	1.078

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ค.2 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 1 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	213.661	23.366	715.840	24.889
2	204.890	25.389	753.564	26.485
3	219.807	26.095	792.473	28.889
4	210.108	24.396	742.874	26.811
5	227.934	26.505	712.473	25.337
เฉลี่ย	215.28	25.15	743.44	26.48
S.D.	8.915	1.278	32.511	1.561

ตารางที่ ค.3 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 1 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	231.589	23.777	888.934	24.417
2	235.293	24.010	934.594	23.958
3	205.818	25.350	885.918	24.856
4	230.552	24.333	906.918	24.072
5	238.607	24.617	893.708	23.151
เฉลี่ย	228.97	24.42	902.01	24.09
S.D.	13.004	0.611	19.904	0.631

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.4 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 2 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	189.986	26.343	725.531	26.925
2	204.829	30.430	693.142	28.666
3	195.905	28.458	710.130	25.390
4	202.613	27.650	709.983	26.499
5	216.734	26.861	685.630	27.793
เฉลี่ย	202.01	27.95	704.88	27.05
S.D.	10.087	1.602	15.719	1.249

ตารางที่ ค.5 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 2 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	209.905	24.861	878.562	25.822
2	213.613	25.406	906.089	24.493
3	225.986	25.458	872.883	24.584
4	204.510	26.534	885.460	25.072
5	222.461	26.343	869.038	25.866
เฉลี่ย	215.30	25.72	882.41	25.17
S.D.	8.858	0.699	14.615	0.656

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ค.6 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 3 ก่อนการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	191.899	27.802	666.934	26.094
2	203.767	27.054	661.125	24.441
3	196.301	27.601	701.736	28.922
4	208.574	28.758	693.627	27.814
5	199.899	25.344	680.131	28.111
เฉลี่ย	200.09	27.31	680.71	27.08
S.D.	6.461	1.260	17.195	1.801

ตารางที่ ค.7 ค่าแรงดึงขาดและค่าร้อยละการยืดตัวของของผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ให้สีสภาวะที่ 3 หลังการผนึกด้วยสารยึดติดชนิดอะคริลิก

ตัวอย่าง	แนวเส้นด้ายยืน		แนวเส้นด้ายพุ่ง	
	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)	ค่าแรงดึงขาด (N)	ค่าร้อยละการยืดตัว ณ จุดขาด (%)
1	212.643	25.969	859.780	26.643
2	208.039	25.655	861.998	25.458
3	208.159	25.774	870.628	26.120
4	220.676	24.972	850.728	25.042
5	198.698	26.290	856.013	26.394
เฉลี่ย	209.64	25.73	859.93	25.93
S.D.	7.989	0.488	7.395	0.665

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พรชีวิน บรรจง
วัน เดือน ปี เกิด	9 พฤศจิกายน พ.ศ.2539
สถานที่เกิด	อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี
วุฒิการศึกษา	สำเร็จการศึกษาในระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ปีการศึกษา 2561
ที่อยู่ปัจจุบัน	164 ถนนลาดหญ้า แขวงคลองสาน เขตคลองสาน กรุงเทพฯ 10600

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University