

การเตรียมและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติผ้าไหมที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโล  
ไนต์คอมโพสิต



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2565  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF SILK FABRIC COATED WITH  
CHITOSAN/SILVER/MONTMORILLONITE COMPOSITE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Ceramic Technology

Department of Materials Science

FACULTY OF SCIENCE

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเตรียมและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติผ้าไหมที่เคลือบ ผิวด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต
โดย	น.ส.ลักษณารีย์ มาละ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีเซรามิก
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.พรนภา สุจริตวรกุล
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.พลกฤษณ์ แสงวณิช)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กานต์ เสรีวัลย์สถิตย์)
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรนภา สุจริตวรกุล)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)	
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อรทัย บุญดำเนิน)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพัตรา จินาวัฒน์)	

ลักษณะวิจัย มาละ : การเตรียมและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติผ้าไหมที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต. ( PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF SILK FABRIC COATED WITH CHITOSAN/SILVER/MONTMORILLONITE COMPOSITE) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.พรนภา สุจริตรกุล, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.สิริวรรณ กิตตินาวรัตน์

งานวิจัยนี้ศึกษาการเคลือบผิวผ้าไหมด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต โดยซิลเวอร์คอลลอยด์ถูกสังเคราะห์ด้วยกระบวนการรีดักชันทางเคมี และกระบวนการรีดักชันด้วยแสงยูวี ผลการศึกษาพบว่าภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเคลือบซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงินที่เตรียมด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) เป็นตัวรีดิวซ์ (ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์) บนผ้าไหมอย่างสมบูรณ์ด้วยกระบวนการจุ่มแช่และกวน โดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของซิลเวอร์คอลลอยด์ : น้ำหนักผ้าไหมเท่ากับ 1 : 200 คือ ที่อุณหภูมิในการเคลือบ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 90 นาที โดยซิลเวอร์คอลลอยด์ถูกปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5 ด้วยกรดแอสติก ซึ่งผ้าไหมที่ถูกเคลือบด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์และไคโตซาน แสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ได้ดีเยี่ยม และเมื่อนำไปเคลือบทับด้วยมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยกระบวนการบิบบัดโดยใช้เครื่องบิบบัด พบว่าช่วยเพิ่มสมบัติการหน่วงไฟให้กับผ้าไหม แต่สมบัติการต้านแบคทีเรียลดลง

การสังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์โดยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี โดยการฉายแสงยูวีบนสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตที่เตรียมร่วมกับไคโตซาน พบว่าที่เวลา 2 ชั่วโมง เป็นเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเตรียม ซึ่งแสดงสเปกตรัมการดูดกลืนแสงที่แสดงสมบัติ Localized surface plasmon resonance (LSPR) บ่งชี้การเกิดอนุภาคซิลเวอร์นาโนหลังการฉายแสงยูวี และเมื่อนำไปวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค พบการกระจายของอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนพื้นผิวของผ้าไหม หลังจากนั้นนำไปเตรียมเป็นคอมโพสิตร่วมกับมอนต์มอริลโลไนต์ และเคลือบบนผ้าไหมด้วยกระบวนการบิบบัดโดยใช้เครื่องบิบบัด พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์ และไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต ด้วยการรีดิวซ์ด้วยแสงยูวี ให้ผลการทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียและการหน่วงไฟในทำนองเดียวกันกับวิธีรีดักชันทางเคมี

สาขาวิชา เทคโนโลยีเซรามิก  
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....  
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาร่วม .....

# # 6172140823 : MAJOR CERAMIC TECHNOLOGY

KEYWORD: Silver nanoparticles, Chitosan, Montmorillonite

Luxsanaree Mala : PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF SILK FABRIC COATED WITH CHITOSAN/SILVER/MONTMORILLONITE COMPOSITE. Advisor: Assoc. Prof. PORNAPA SUJARIDWORAKUN, Ph.D. Co-advisor: Assoc. Prof. SIRIWAN KITTINAOVARAT, Ph.D.

This work studied on preparation of chitosan/silver/montmorillonite composite coated silk fabric. Silver colloids were prepared by chemical reduction and UV reduction methods. It was obtained that the optimum coating condition of blue silver colloid which was synthesized by a chemical reduction method using  $\text{NaBH}_4$  ( $\text{AgNO}_3$  0.2 mM) as a reducing agent on silk fabric by dipping and stirring was the weight ratio of silver colloid : silk fabric at 1:200, the coating temperature at 100 °C for 90 minutes, and the silver colloid was adjusted pH value to 5. The silk fabric coated by chitosan and silver showed an excellent antibacterial against *S. aureus*, but after coating with the montmorillonite, the antibacterial activity was decreased while the flame-retardant property of silk was improved.

For UV reduction method, the optimum irradiation time of  $\text{AgNO}_3$  with chitosan solution was 2 hours. The UV-vis absorbance spectrum of the colloids showed the Localized surface plasmon resonance (LSPR) indicating the formation of silver nano particles after an UV irradiation. Montmorillonite was added in the chitosan/silver solution and then the chitosan/silver/montmorillonite composite was coated on silk fabric by pad method. The results showed that silver nano particles were observed on the surface of silk fabrics confirmed by microstructural and elemental analysis. The antibacterial and flame-retardant properties of chitosan/silver and chitosan/silver/montmorillonite composites coated fabrics were similar to that of the chemical reduction method.

Field of Study: Ceramic Technology

Academic Year: 2022

Student's Signature .....

Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความเมตตาจาก ร่องศาสตราจารย์ ดร.พรนภา สุจริตวรกุล อาจารย์ที่ปรึกษา และ ร่องศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่คอยให้ คำปรึกษาและคำแนะนำตลอดระยะเวลาการทำวิจัย ขอขอบพระคุณอาจารย์คณะกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ช่วยเหลือในการตรวจสอบและแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้มีความ ถูกต้องสมบูรณ์

งานวิจัยนี้ได้รับเงินสนับสนุนการทำวิจัยจากโครงการนวัตกรรมใหม่ไทยสมบัติพิเศษ และ โครงการพัฒนาและส่งเสริมผู้มีความสามารถพิเศษทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พสวท.)

ขอบพระคุณศูนย์ความเป็นเลิศทางฟิสิกส์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย ศูนย์วิจัย ในการใช้เครื่องมือสำหรับทดสอบตัวอย่าง

ขอบพระคุณภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในการ อนุเคราะห์สถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือสำหรับการดำเนินงานวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ทุกท่านในการ สอนใช้อุปกรณ์ต่างๆ

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณรุ่นพี่ รุ่นน้องและเพื่อนๆ ในสาขาเทคโนโลยีเซรามิก ภาควิชาวัสดุ ศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจมาโดยตลอด ขอขอบคุณครอบครัวที่เป็นแรงผลักดันในการเรียนและการทำวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ลักษณารีย์ มาละ

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....ค	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....ง	ง
กิตติกรรมประกาศ.....จ	จ
สารบัญ.....ฉ	ฉ
สารบัญตาราง.....ญ	ญ
สารบัญรูปภาพ.....ฉ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ..... 1	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 4	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 5	5
2.1 อนุภาคซิลเวอร์นาโน ( Silver nanoparticles)..... 5	5
2.2 สมบัติการต้านแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโน..... 5	5
2.2.1 แบคทีเรียบนเสื้อผ้า..... 5	5
2.2.2 โครงสร้างของแบคทีเรีย..... 5	5
2.2.3 กลไกการต้านแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโน..... 7	7
2.3 สมบัติเชิงแสงของอนุภาคซิลเวอร์นาโน..... 8	8
2.4 วิธีสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน..... 9	9
2.5 ไคโตซาน (Chitosan)..... 10	10
2.5.1 สมบัติทางเคมีของไคโตซาน..... 10	10

2.5.2	วิธีการสกัดไคโตซาน.....	11
2.5.3	การประยุกต์ใช้ไคโตซาน.....	12
2.6	มอนต์โมริลโลไนต์ ( Montmorillonite).....	13
2.6.1	สูตรทางเคมีและโครงสร้างของมอนต์โมริลโลไนต์.....	13
2.6.2	องค์ประกอบของมอนต์โมริลโลไนต์.....	15
2.7	ไหม.....	16
2.7.1	ข้อมูลทั่วไปของไหม.....	16
2.7.2	โครงสร้างและองค์ประกอบของเส้นไหม.....	16
2.7.3	สมบัติทางกายภาพของไหม.....	18
2.7.4	สมบัติทางเคมีของไหม.....	18
2.7.5	ประโยชน์จากไหมด้านสิ่งทอ.....	19
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3	วิธีการดำเนินการวิจัย.....	25
3.1	วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.2	อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	25
3.3	วิธีการทดลอง.....	26
3.3.1	การเคลือบผ้าไหมด้วยสารเคลือบซิลเวอร์คอลลอยด์เตรียมด้วยวิธีดักชั้นทางเคมี.....	26
3.3.2	การเคลือบผ้าไหมด้วยสารเคลือบซิลเวอร์คอลลอยด์เตรียมด้วยวิธีดักชั้นด้วยแสงยูวี.....	28
3.4	การวิเคราะห์ผล และทดสอบสมบัติ.....	30
บทที่ 4	ผลการวิจัย.....	36
4.1	ผลการสังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์ด้วยวิธีดักชั้นทางเคมีและสภาวะในการให้สีผ้าไหม.....	36
4.1.1	ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างของซิลเวอร์คอลลอยด์ในการให้สีผ้าไหม.....	36
4.1.2	ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อการให้สีผ้าไหม.....	39
4.1.2.1	เฉดสีและความเข้มสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์.....	39



4.1.2.2 ความสม่ำเสมอของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีซิลเวอร์คอลลอยด์ .....	41
4.1.2.3 โครงสร้างจุลภาคของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีซิลเวอร์คอลลอยด์ .....	41
4.1.3 ผลของเวลาในการให้สีผ้าไหม .....	43
4.1.4 ผลของอุณหภูมิในการให้สีผ้าไหม .....	44
4.1.5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน และมอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดักชั้นทางเคมี .....	46
4.1.5.1 ผลต่อเจดสีและความเข้มสีของผ้าไหม .....	46
4.1.5.2 ผลต่อความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหม .....	47
4.1.5.3 ผลต่อโครงสร้างจุลภาคของผ้าไหม .....	47
4.1.5.4 ผลต่อสมบัติการทนไฟของผ้าไหม .....	48
4.1.5.5 ผลต่อสมบัติความอ่อนนุ่มของผ้าไหม .....	49
4.1.5.6 ผลต่อสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าไหม .....	50
4.2 ผลการสังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์ด้วยวิธีดักชั้นด้วยแสงยูวี .....	52
4.2.1. ผลต่อค่าดูดกลืนแสง .....	52
4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน/ ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิตที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดักชั้นด้วยแสงยูวี .....	54
4.2.2.1 ผลต่อเจดสีและความเข้มสีของผ้าไหม .....	54
4.2.2.2 ผลต่อความสม่ำเสมอของสีของผ้าไหม .....	58
4.2.2.3 ผลต่อโครงสร้างจุลภาคของผ้าไหม .....	58
4.2.2.4 ผลต่อสมบัติความทนไฟของผ้าไหม .....	61
4.2.2.5 ผลต่อสมบัติความอ่อนนุ่มของผ้าไหม .....	62
4.2.2.6 ผลต่อสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าไหม .....	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย .....	65

5.2 ข้อเสนอแนะ .....	67
บรรณานุกรม .....	68
ภาคผนวก .....	72
ประวัติผู้เขียน .....	74



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์.....	15
ตารางที่ 3.2 ตารางการแปรความหมายของค่า Relative unevenness index (RUI).....	33
ตารางที่ 3.3 ระดับความสามารถในด้านเชื้อแบคทีเรีย.....	34
ตารางที่ 4.4 ค่าสี $L^*a^*b^*$ ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี ปรับความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตและความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน .....	39
ตารางที่ 4.5 ผลของความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี ปรับความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตและความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน .41	41
ตารางที่ 4.6 แสดงสถานะที่ใช้ในการศึกษาผลของเวลาในการให้สีผ้าไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์.....	43
ตารางที่ 4.7 แสดงสถานะที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้สีผ้าไหม .....	44
ตารางที่ 4.8 ค่าสี $L^*a^*b^*$ ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5.....	46
ตารางที่ 4.9 ผลต่อความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมของของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT โดยใช้ความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5 .....	47
ตารางที่ 4.10 แสดงความยาวของเส้นใย (char length) ที่เกิดจากการเผาไหม้ จากการทดสอบสมบัติการทนไฟด้วยวิธีการทดสอบการติดไฟในแนวตั้ง (vertical flammability test) ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT .....	49
ตารางที่ 4.11 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีและผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT.....	50
ตารางที่ 4.12 แสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียของตัวอย่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีและผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT กับแบคทีเรียชนิด <i>S. aureus</i> .....	51
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าสี $L^*a^*b^*$ ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/AgNPs ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง.....	55

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง.....55

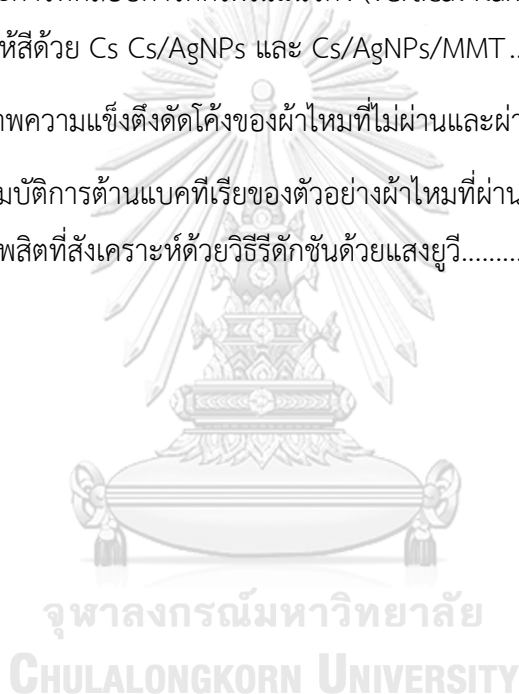
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วย Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง.....57

ตารางที่ 4.16 ผลต่อความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมเคลือบด้วย Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง.....58

ตารางที่ 4.17 แสดงความยาวของเส้นถ่าน (char length) ที่เกิดจากการเผาไหม้ จากการทดสอบสมบัติการทนไฟด้วยวิธีการทดสอบการติดไฟในแนวตั้ง (vertical flammability test) ของผ้าไหมของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT .....62

ตารางที่ 4.18 ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบไคโตซาน/.....63

ตารางที่ 4.19 แสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียของตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอลโมริลโลไนต์คอมโพสิตที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี.....64



## สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย.....	6
รูปที่ 2.2 โครงสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก (gram positive bacteria) .....	6
รูปที่ 2.3 โครงสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative bacteria) .....	7
รูปที่ 2.4 กลไกต้านแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโน [2].....	8
รูปที่ 2.5 การเกิดปรากฏการณ์ Localized Surface Plasmon Resonance.....	9
รูปที่ 2.6 โครงสร้างเคมีของโคตินและโคโตซาน.....	10
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์.....	14
รูปที่ 2.8 แสดงวงจรชีวิตของไหม.....	16
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของไหม.....	17
รูปที่ 2.10 โครงสร้างจุลภาคของเส้นใยผ้าขนสัตว์ที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์.....	20
รูปที่ 2.11 แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction).....	20
รูปที่ 2.12 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเกิดอนุภาคซิลเวอร์นาโนภายใต้แสงยูวี.....	23
รูปที่ 3.13 เครื่องบีบอัด.....	26
รูปที่ 3.14 เครื่อง UV/Vis Spectrophotometers ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น LAMBDA .....	30
รูปที่ 3.15 เครื่อง Color-Eye 7000A spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth.....	31
รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างของผ้ายี่ห้อ SDL Atlas.....	34
รูปที่ 3.17 อุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการตีไฟในแนวตั้ง.....	35
รูปที่ 4.18 แสดงสีของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างแตกต่างกัน .....	36
รูปที่ 4.19 กราฟดูดกลืนแสงของซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนและหลังปรับค่าความเป็นกรด-ต่าง.....	37
รูปที่ 4.20 ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนและหลังปรับค่ากรด-ต่าง .....	38

รูปที่ 4.21 ผลของการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อความเข้มสีผ้าไหมซิลเวอร์คอลลอยด์ปรับ (ก) pH = 4 และ(ข) pH = 5 ก่อนให้สีผ้าไหม .....40

รูปที่ 4.22 ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs.....42

รูปที่ 4.23 ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs.....42

รูปที่ 4.24 แสดงค่าการดูดกลืนแสง UV ของอนุภาคสีซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงิน.....43

รูปที่ 4.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนและหลังการให้สีผ้าไหม .....44

รูปที่ 4.26 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงิน (pH=5) หลังจากผ่านการให้สีที่อุณหภูมิ 30,60 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา เวลา 90 นาที เทียบกับค่าดูดกลืนแสงอนุภาคสีซิลเวอร์คอลลอยด์ตั้งต้น .....45

รูปที่ 4.27 ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ.....47

รูปที่ 4.28 การเผาไหม้ของผ้าไหมที่เคลือบด้วย (ก) AgNPs (ข) Cs/AgNPs และ (ค) Cs/AgNPs/MMT .....48

รูปที่ 4.29 ภาพถ่าย Cs/AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกชั้นด้วยแสงยูวี 1 2 และ 4 ชั่วโมง .....52

รูปที่ 4.30 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Cs/AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลาการฉายแสงยูวี 1 2 และ 4 ชั่วโมง .....52

รูปที่ 4.31 ภาพถ่าย Cs Cs/AgNO<sub>3</sub> และ Cs/AgNO<sub>3</sub>/MMT (ก) ก่อนฉายแสงยูวี .....53

รูปที่ 4.32 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT .....54

รูปที่ 4.33 ความเข้มสีของผ้าไหมเคลือบด้วย (ก) Cs/AgNPs และ (ข) Cs/AgNPs/MMT .....56

รูปที่ 4.34 ความเข้มสีของผ้าไหมก่อนและหลังเคลือบด้วย Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT57

รูปที่ 4.35 ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ (ก) ไม่ผ่านการเคลือบ (ข)เคลือบด้วยไคโตซาน และ เคลือบด้วย Cs/AgNPs ภายใต้ระยะเวลาการฉายแสงยูวี (ค) 1 (ง) 2 และ (จ) 4 ชั่วโมง ด้วยวิธีตกชั้นด้วยแสงยูวี ที่กำลังขยาย 8000X.....59

รูปที่ 4.36 ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ (ก,ง) Cs (ข,จ) Cs/AgNPs และ (ค,ฉ) Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีตกชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000x และ 8000x .....60

- รูปที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค EDS ของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย (ก) Cs/AgNPs และ (ข) Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง.....60
- รูปที่ 4.38 แสดงภาพการเผาไหม้ของ (ก) ผ้าไหม และผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ (ข) Cs (ค) Cs/AgNPs และ (ง) Cs/AgNPs/MMT ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี.....61



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ผ้าไหมถือเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่มีความสำคัญกับคนไทยมาช้านาน เนื่องจากมีลวดลายที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะตัวที่สะท้อนถึงความเชื่อ ค่านิยม วิถีชีวิต และวัฒนธรรมของคนไทย ซึ่งได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในการสร้างอาชีพ สร้างรายได้ให้กับชุมชน รวมถึงโรงงานอุตสาหกรรมผ้าไหมของประเทศไทย แต่ปัจจุบันการแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจของผ้าไหมเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาคุณสมบัติของผ้าไหมให้มีสมบัติพิเศษที่จะสามารถดึงดูดความสนใจและสามารถเพิ่มมูลค่าให้กับผ้าไหมได้ ซึ่งหนึ่งในสมบัติพิเศษที่น่าสนใจคือการทำให้ผ้าไหมมีสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย

ผ้าไหมผลิตจากเส้นใยของรังไหม เนื้อผ้ามีความสวยงาม มันวาว มีความแข็งแรงและดูดซับความชื้นได้ดี[1] จากสมบัติการดูดซับความชื้นได้ดีทำให้ผ้าไหมเกิดการสะสมของเชื้อแบคทีเรียได้ง่าย นอกจากนี้ยังพบว่าผ้าไหมไม่ทนต่อแสงแดด ไม่ทนต่อกรดด่าง ไม่ทนต่อสารซักฟอก เมื่อถูกสารซักฟอกเป็นเวลานานจะทำให้ความมันวาวลง จากข้อเสียข้างต้นทำให้มีงานวิจัยมากมายได้ศึกษาเพื่อแก้ไขปัญหาเหล่านี้ งานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีความปลอดภัยต่อร่างกายมนุษย์ และสามารถเพิ่มคุณสมบัติการต่อต้านแบคทีเรียให้กับผ้าหลายชนิด เช่น ผ้าฝ้าย ผ้าไหม ผ้าขนสัตว์ เป็นต้น

สำหรับกลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียพบว่าเมื่ออนุภาคซิลเวอร์นาโนสัมผัสกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียจะสามารถแทรกเข้าไปภายในเซลล์แล้วเกิดการแตกตัวเป็นซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) เข้าไปจับกับโปรตีนที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบเมตาบอลิซึมของเซลล์แบคทีเรีย ทำให้เอนไซม์หยุดการทำงาน ส่งผลให้เซลล์แบคทีเรียไม่เจริญเติบโตและตายในที่สุด[2]

กระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีหลากหลายวิธี เช่น วิธีรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction method) วิธีรีดักชันด้วยแสง (photochemical reduction method) วิธีทางเคมีไฟฟ้า (electrochemical method) วิธีตกตะกอนไอระเหยของสารเคมี (chemical vapor deposition method) เป็นต้น โดยกระบวนการที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ การรีดักชันทางเคมี จากปฏิกิริยารีดักชันซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) ด้วยตัวรีดิวซิงเอเจนต์ให้เป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ( $Ag^0$ )[3]

งานวิจัยที่ใช้วิธีรีดักชันทางเคมี เช่น ในปี 2013 Tang, B. และคณะ[4] ได้สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์โดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซิงเอเจนต์ในปริมาณที่แตกต่างกันเพื่อให้ได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์หลากสีส้น จากนั้นได้นำไปย้อมบนเส้นด้ายไหม ผลการวิจัยพบว่าเส้นด้ายไหมหลากสีที่ได้สามารถต่อต้านแบคทีเรียชนิด E. coli ได้ ต่อมาในปี 2017 Jafari-Kiyani, A.



และคณะ[5] ได้เตรียมคอมโพสิตระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์และไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งในกระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ให้มีสีแตกต่างกันนั้นเกิดจากเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.4 1.4 และ 1.6 มิลลิลิตร ซึ่งได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีน้ำตาลตามลำดับ จากนั้นมีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปผสมกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์แล้วนำไปเคลือบบนผ้าฝ้ายเพื่อทดสอบสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย จากการทดสอบพบว่าคอมโพสิตระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์และไทเทเนียมไดออกไซด์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิด E. coli และ S. aureus ได้ถึง 100% ในขณะที่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิด E. coli ได้ 25% และ S. aureus ได้ 25% เท่านั้น จากงานวิจัยที่กล่าวมาจึงแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถเพิ่มคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรียให้กับสิ่งทอได้ อย่างไรก็ตามพบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้ตัวรีดิวซ์เชิงเอเจนท์ชนิดโซเดียมโบโรไฮไดรด์นั้นมีความเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก ภายหลังจึงมีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีอื่นที่มีความปลอดภัย เป็นมิตรต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม (green synthesis) มากกว่า เช่น การรีดิวซ์ด้วยสารพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่ไม่เป็นพิษ หรือกระบวนการรีดักชันด้วยแสง เป็นต้น

จากรายงานการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ไคโตซาน ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ธรรมชาติ ได้จากการกำจัดเอาหมู่อะซีติล ( $\text{CH}_3\text{CO}-$ ) ของไคตินด้วยปฏิกิริยาที่เรียกว่า Deacetylation ทำให้โครงสร้างของไคตินที่เป็น N-Acetyl Glucosamine กลายเป็น Glucosamine ซึ่งโครงสร้างนี้ไวต่อการเกิดปฏิกิริยาและมีสมบัติละลายในกรดอ่อนได้[6] นิยมถูกนำมาใช้เป็นสารที่ให้ความเสถียร (Stabilizing agent) ในกระบวนการรีดิวซ์

ในปี 2010 Shameli, K. และคณะ[7] ได้สังเคราะห์คอมโพสิตอนุภาคนาโนที่ประกอบด้วยซิลเวอร์ มอลต์มอร์ริลโลไนต์ และไคโตซาน ด้วยกระบวนการทางกายภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีการใช้ตัวรีดิวซ์ แต่ใช้การรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตภายใต้การฉายรังสียูวีที่เวลา 3, 48 และ 96 ชั่วโมง มีไคโตซานเป็นตัวเพิ่มความเสถียร (stabilizer) ในการรีดิวซ์  $\text{Ag}^+$  ไปเป็น  $\text{Ag}^0$  และมอลต์มอร์ริลโลไนต์เป็นวัสดุของแข็งรองรับ (solid support) จากการศึกษาพบว่าเมื่อระยะเวลาฉายรังสียูวีเพิ่มขึ้นทำให้ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลดลง ซึ่งคอมโพสิตที่ได้มีสมบัติต่อต้านแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ สามารถนำไปใช้งานทางการแพทย์

นอกจากนี้การเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับสิ่งทอ เช่น สมบัติการหน่วงไฟ เป็นที่น่าสนใจ โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ฮาโลเจนประเภทโบรมีนและคลอรีนเคลือบบนผ้าสามารถช่วยเพิ่มสมบัติการหน่วงไฟ แต่ข้อเสียคือก่อให้เกิดแก๊สพิษที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม[8-9] จึงมีการใช้สารประเภทอนินทรีย์ที่มีความปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อมมาช่วยเพิ่มคุณสมบัติการหน่วงไฟแทน

ซึ่งสารประเภทอนินทรีย์ที่ได้รับความสนใจคือดิน เช่น แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) เนื่องจากไม่เป็นพิษ มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง สามารถใช้เป็นวัสดุของแข็งรองรับ (solid support) ซึ่งแสดงสมบัติเชิงกล เสถียรภาพทางความร้อนและสมบัติทนไฟที่ดี[10-11]

แร่มอนต์มอริลโลไนต์ (montmorillonite) เป็นแร่ในกลุ่มสเมคไทต์ (smectite) ที่มีโครงสร้างแบบ 2:1 ประกอบด้วยชั้น (layer) เตตระฮีดรอลสองแผ่นที่คั่นตรงกลางด้วยชั้นของออกตะฮีดรอล เนื่องด้วยการแทนที่แคทไอออนในโครงสร้างด้วยแคทไอออนที่มีค่าเวเลนซ์ต่ำกว่าทำให้ในชั้นนั้นมีประจุลบเกิดขึ้น ซึ่งประจุนี้จะถูกทดแทนด้วยแคทไอออน เช่น โซเดียมไอออน ในช่องว่างระหว่างชั้น (interlayer space) และบนพื้นผิวภายนอก(external surface) ดังนั้นมอนต์มอริลโลไนต์ที่มีโซเดียมไอออนเกาะอยู่สามารถแลกเปลี่ยนประจุแคทไอออนได้[12]

ในปี 2018 Rehan, M.และคณะ[13] ได้ทำการสังเคราะห์โคโตซาน/ซิลเวอร์/เคลย์คอมโพสิต ด้วยกระบวนการรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ไนเตรตโดยการฉายแสงยูวีที่เวลาต่าง ๆ และนำมาเคลือบผิวลงบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิคการปิด-อบแห้ง-อบผนึก (Pad-Dry-Cure) โดยทำการทรีตเมนต์แบบขั้นตอนเดียว (One-step treatment process) ทำให้ผ้าฝ้ายมีสมบัติการดูดซึมน้ำสูง มีสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย มีความห่วงไฟ สามารถป้องกันรังสียูวี และเสถียรต่อการซักถึง 20 รอบ ซึ่งวัสดุและกระบวนการดังกล่าวมีศักยภาพในการนำไปพัฒนาเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับสิ่งทอ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ได้ทำการศึกษาการเพิ่มสมบัติพิเศษที่หลากหลายบนผ้าฝ้าย แต่ในผ้าไหมยังมีการศึกษาที่ไม่มากนัก ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำวัสดุและกระบวนการที่ใช้กับผ้าฝ้ายมาประยุกต์ใช้กับผ้าไหม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาการเตรียมโคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต และนำไปเคลือบบนผ้าไหม เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะ สมบัติทางกายภาพของผ้าไหม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมและการเคลือบผิวผ้าไหมด้วยโคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต
2. เพื่อศึกษาลักษณะสมบัติเฉพาะ สมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่เคลือบผิวด้วยโคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

เพื่อศึกษากระบวนการเตรียมและสภาวะที่เหมาะสมการเคลือบผิวผ้าไหมด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิตด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีและรีดักชันด้วยแสงยูวี

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผ้าไหมที่มีการปรับปรุงลักษณะสมบัติจากการเคลือบด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต



## บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 อนุภาคซิลเวอร์นาโน ( Silver nanoparticles)

ปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีมาสังเคราะห์โลหะเงินให้มีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร (ระหว่าง 1-100 นาโนเมตร) เรียกว่า อนุภาคนาโนซิลเวอร์ ซึ่งช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัส แบคทีเรียทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียดีกว่าโลหะเงิน นอกจากนี้สมบัติยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ยังมีสมบัติเชิงแสงที่โดดเด่น คือ สมบัติ Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) [14]

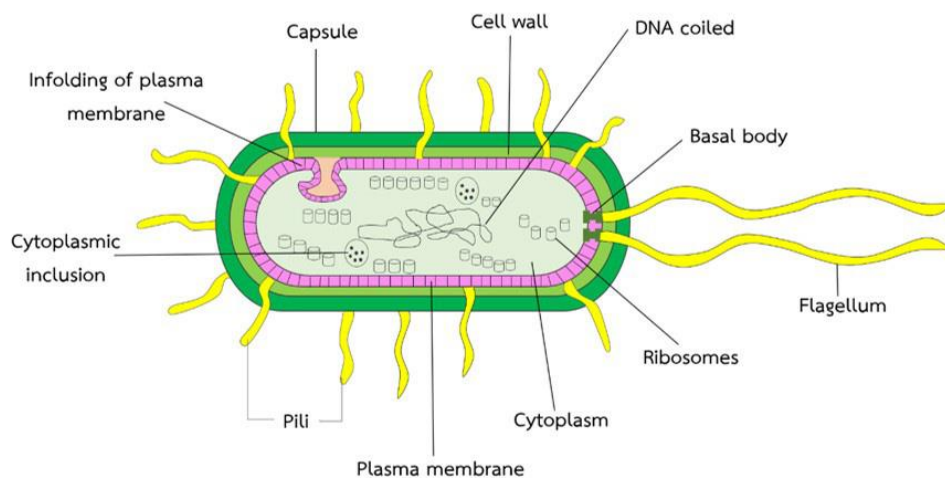
### 2.2 สมบัติการต้านแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโน[15]

#### 2.2.1 แบคทีเรียบนเสื้อผ้า

ในการทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวัน ส่งผลให้เสื้อผ้าที่สวมใส่มีเหงื่อไคล กลิ่นอับ และเป็นแหล่งสะสมของแบคทีเรีย เสื้อผ้าที่เราสวมใส่นั้นได้มาจากเส้นใยสังเคราะห์ เช่น ไนลอน พอลิเอสเตอร์ และเส้นใยธรรมชาติ เช่น ไหม ฝ้าย โดยนำมาทอเป็นเนื้อเดียวกันแล้วค่อยนำมาตัดเย็บ แบคทีเรียจะสามารถสะสมบนเสื้อผ้าที่ทำจากเส้นใยธรรมชาติ เช่น ฝ้าย ไหม ฝ้าย ลินิน และผ้าขนสัตว์ เนื่องจากเส้นใยธรรมชาติมีส่วนประกอบของเซลลูโลสที่มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งมีความสามารถในการชอบน้ำ ในขณะที่ผืนสังเคราะห์ของแบคทีเรียก็มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งมีความสามารถในการชอบน้ำเช่นกัน ทำให้แบคทีเรียสามารถเกาะติดบนผ้าที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติ อันเนื่องมาจากแรงชอบน้ำ (Hydrophilic Force) นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ทำให้แบคทีเรียสะสมบนเสื้อผ้า เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณออกซิเจนที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย

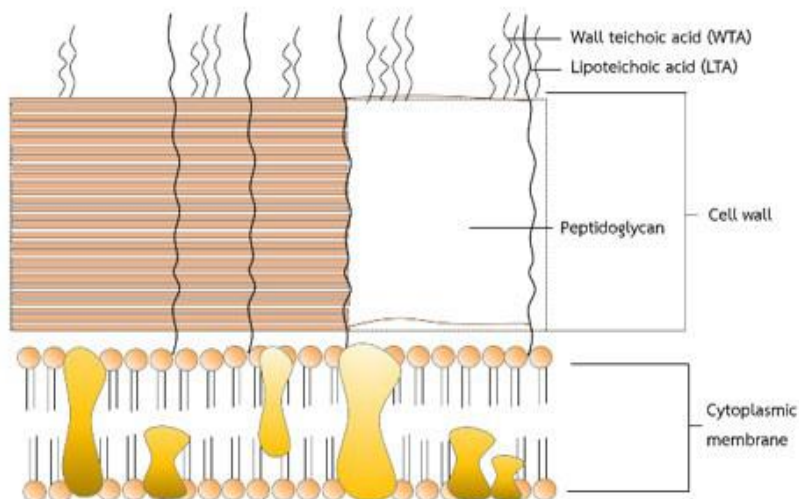
#### 2.2.2 โครงสร้างของแบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก มีโครงสร้างของแบคทีเรียดังแสดงในรูปที่ 2.1 ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เป็นสิ่งมีชีวิตชนิด prokaryotic cells ซึ่งมีลักษณะเฉพาะ คือ ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส (nuclear membrane) โดยมีผนังเซลล์ (cell wall) และเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ทำหน้าที่ห่อหุ้ม ไซโทพลาซึม สารพันธุกรรม และออร์แกเนลล์ต่างๆ เพื่อให้แบคทีเรียคงรูปอยู่ได้

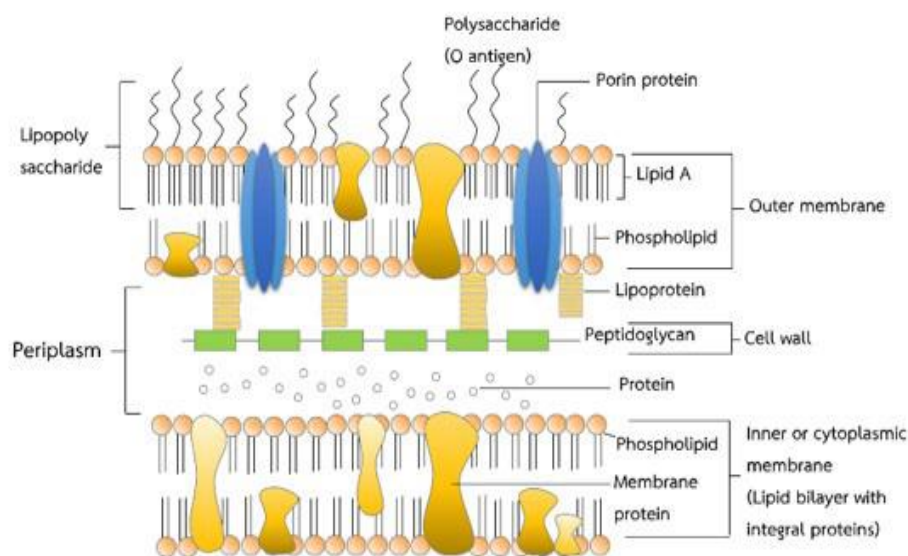


รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย

แบคทีเรียแบ่งตามองค์ประกอบของผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ได้เป็น 2 ชนิด คือ แบคทีเรียแกรมบวก (gram positive bacteria) ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกจะประกอบด้วยชั้นของ peptidoglycan และ teichoic acids ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ส่วนแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative bacteria) ส่วนผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบจะซับซ้อนกว่า มีชั้น peptidoglycan ที่บางกว่าในแบคทีเรียแกรมบวก และมีชั้นของ lipopolysaccharide (LPS) เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มชั้นนอก (outer membrane) ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 โครงสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวก (gram positive bacteria)



รูปที่ 2.3 โครงสร้างผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative bacteria)

แบคทีเรียที่พบบนเสื้อผ้ามีทั้งแกรมบวก (gram positive bacteria) ได้แก่ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) และแกรมลบ (gram negative bacteria) ได้แก่ *Escherichia coli* (*E. coli*)

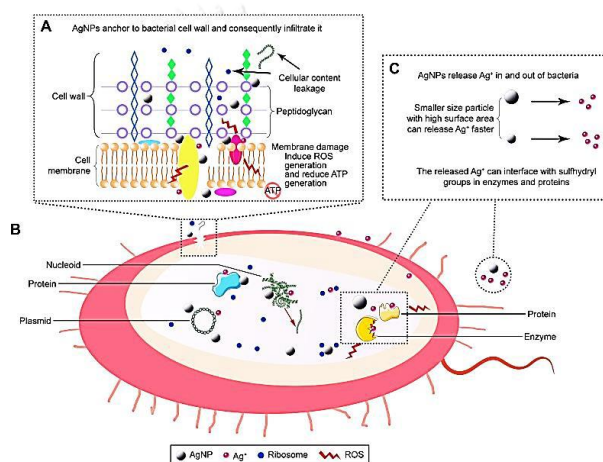
*Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปลูกกลม ลักษณะการเรียงตัวคล้ายพวงองุ่น ไม่เคลื่อนที่ และไม่สร้างสปอร์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน ทนต่อความร้อนและทนอุณหภูมิสูงต่ำได้ดี พบบนผิวหนังและรูขุมขน จึงทำให้มีโอกาสสะสมบนเสื้อผ้า ซึ่ง *S. aureus* เป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดอาการคันใส้ อาเจียน ท้องร่วง และอ่อนเพลีย

*Escherichia coli* (*E. coli*) เป็นแบคทีเรียแกรมลบ ลักษณะการเรียงตัวเป็นเชลล์เดี่ยวหรือเป็นคู่ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน พบในอุจจาระและบริเวณลำไส้ใหญ่ของมนุษย์และสัตว์ เป็นแบคทีเรียที่ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี สามารถอาศัยตามเสื้อผ้าแห้งและฝุ่นละออง ซึ่ง *E. coli* เป็นแบคทีเรียที่ก่อให้เกิดโรคติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร ทางเดินปัสสาวะ ทางเดินหายใจ และก่อให้เกิดโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ

### 2.2.3 กลไกการต้านแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโน[2]

กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโน เกิดขึ้นเมื่ออนุภาคซิลเวอร์นาโนสัมผัสผนังเซลล์และแทรกเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรีย โดยอนุภาคซิลเวอร์นาโนจะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจน ( $O_2$ ) ที่ผิวสัมผัสของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรีย แล้วเกิดการแตกตัวเป็นซิลเวอร์ไอออน

(Ag<sup>+</sup>) เข้าไปจับกับเอนไซม์โปรตีนเอส (Proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบเมตาบอลิซึมของเซลล์ ซึ่งจะจับกับหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์ (S) เป็นองค์ประกอบ ซึ่งมีประจุเป็นลบ (S<sup>2-</sup>) ส่งผลให้โปรตีนเกิดการแปลงสภาพ (denature) การควบคุมระบบลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ ผิดปกตินอกจากนี้ซิลเวอร์ไอออนที่เข้าไปภายในเซลล์สามารถจับกับโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์ (respiration) ทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดทำงาน และกระบวนการสืบพันธุ์ (reproduction) ของเซลล์แบคทีเรีย ทำให้เซลล์แบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโต เสื่อมสภาพและตายในที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.4



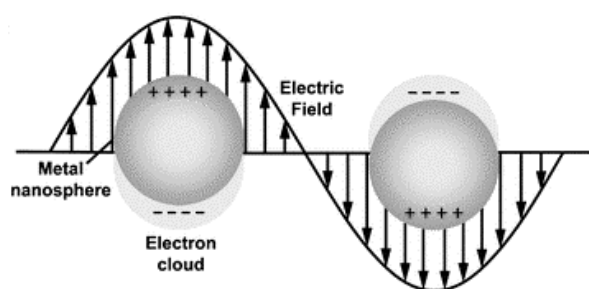
รูปที่ 2.4 กลไกต้านแบคทีเรียของอนุภาคซิลเวอร์นาโน [2]

## 2.3 สมบัติเชิงแสงของอนุภาคซิลเวอร์นาโน [14,16,17]

Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR) เป็นสมบัติเชิงแสงที่โดดเด่นอย่างหนึ่งของอนุภาคโลหะนาโน อิเล็กตรอนอิสระสามารถเกิดการสั่นพ้อง (resonance) ที่ผิวของอนุภาคเมื่อมีการดูดกลืนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่พลังงานจำเพาะ การสั่นพ้องเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเท่ากับความถี่ในการสั่นของอิเล็กตรอน (plasmon frequency) ค่าการดูดกลืนจะสัมพันธ์กับขนาดหรือรูปร่างของอนุภาคนาโน และการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันส่งผลให้อนุภาคนาโนโลหะมีสีที่ต่างกัน

สมบัติทางแสงของอนุภาคนาโนของโลหะเกิดจากการสั่น (oscillation) ของอิเล็กตรอนอิสระที่ผิวของอนุภาคนาโน (localized surface plasmons) ที่บริเวณผิวรอยต่อระหว่างอนุภาคนาโนโลหะกับสารไดอิเล็กตริก โดยจะเกิดขึ้นเมื่อแสงที่เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตกกระทบบนอนุภาคนาโนที่มีขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นของแสงที่มากระตุ้น ซึ่งอิเล็กตรอนที่ผิวของอนุภาคเมื่อเกิดการสั่นรวม (collective oscillation) จะส่งผลให้เกิดการแยกกันของประจุ โดยประจุลบจะ

รวมตัวอยู่ที่บริเวณผิวหน้าของอนุภาคและประจุบวกรวมตัวอยู่ด้านตรงข้าม เกิดอิเล็กทริกไดโพลขึ้น (electric dipole) โดยไดโพลที่เกิดขึ้นจะสร้างสนามไฟฟ้าระหว่างอนุภาคนาโนโลหะกับสารไดอิเล็กทริกที่ทำหน้าที่เป็นแรงดึงกลับมาที่ตำแหน่งสมดุล (restoring force) และเมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายออกจากตำแหน่งสมดุลจะทำให้เกิดการสั่นที่มีความถี่เรโซแนนซ์ (plasmon frequency)[16] ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การเกิดปรากฏการณ์ Localized Surface Plasmon Resonance

## 2.4 วิธีสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน [2-6]

การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยทั่วไปอยู่จะมี 3 องค์ประกอบหลัก คือ

1. เกลือของซิลเวอร์ (Silver salt) สำหรับใช้เป็นสารตั้งต้นหลัก เช่น ซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ )
2. ตัวรีดิวซ์ (Reducing agent) ทำหน้าที่รีดิวซ์ ยกตัวอย่างเช่น กรดแอสคอร์บิก ไคโตซาน โซเดียมซิติเรต โซเดียมโบโรไฮไดรด์
3. สารที่ทำให้เสถียร (Stabilizer) ทำหน้าที่ยับยั้งปฏิกิริยาออกซิเดชันและป้องกันการรวมตัวของอนุภาคซิลเวอร์นาโน ยกตัวอย่างเช่น พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (poly(vinyl alcohol): PVA) และ พอลิไวนิลไพโร-ริโดน (polyvinylpyrrolidone: PVP)

ยกตัวอย่างการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโน ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ) จะถูกรีดิวซ์ด้วยสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) ทำให้เปลี่ยนซิลเวอร์ไอออน ( $\text{Ag}^+$ ) ไปเป็นอนุภาคนาโนซิลเวอร์ปฏิกิริยาในการสังเคราะห์แสดงดังสมการ



ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ วิธีสังเคราะห์ที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ได้แก่ วิธีรีดักชันทางเคมี และ วิธีรีดักชันโดยใช้แสง



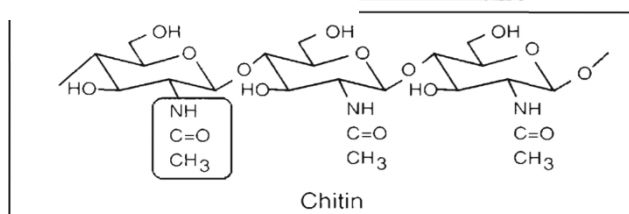
## 2.5 ไคโตซาน (Chitosan)[8]

### 2.5.1 สมบัติทางเคมีของไคโตซาน

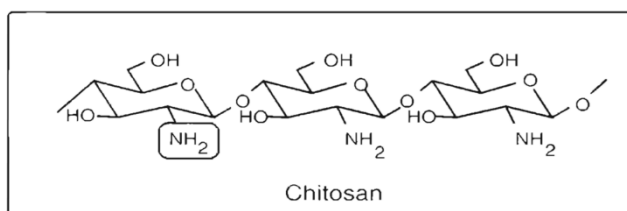
สารตั้งต้นที่ใช้ในการเตรียมไคโตซาน (Chitosan) คือ ไคติน (Chitin) ไคตินมีสูตรทางเคมีของโมโนเมอร์ คือ  $C_8H_{13}NO_5$  พบในเปลือกของสัตว์ เช่น กุ้ง ปู หอย แมลง รวมถึงผนังเซลล์สำหรับเห็ดรา และยีสต์

ไคโตซาน คือ อนุพันธ์ตัวหนึ่งของไคตินได้จากปฏิกิริยาดีอะเซทิลเลชัน (Deacetylation) หรือปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิล (Acetyl group) ในสภาวะต่างเข้มข้น ทำให้โครงสร้างของไคตินเปลี่ยนแปลงไป โดยเฉพาะหมู่ acetyl amino ( $-NHCOCH_3$ ) ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 2 ในวงแหวนไพราโนส (Pyranose Ring) ของไคตินเปลี่ยนไปเป็น Amino group ( $-NH_2$ ) ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ในการดึงหรือตัดเอาหมู่อะซิทิลออกจากไคตินนั้น สามารถดึงออกได้เพียงบางส่วนหรือเกือบทั้งหมด ซึ่งระดับการกำจัดหมู่อะซิทิล (หรือเปอร์เซ็นต์การเกิด Deacetylation) เป็นตัววัดค่าว่าไคตินถูกดึงหมู่อะซิทิลออกไปมากแค่ไหน แสดงถึงคุณสมบัติค่อนข้างไปทางไคตินหรือค่อนข้างไปทางไคโตซาน นอกจากนี้ความยาวของสายไคโตซานมีผลต่อความหนืด เช่น ไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง จะมีสายยาว และสารละลายมีความหนืดมากกว่าไคโตซานที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เป็นต้น ดังนั้นการนำไคโตซานไปใช้จะต้องพิจารณาทั้งเปอร์เซ็นต์การเกิด Deacetylation และน้ำหนักโมเลกุล

#### 1. โครงสร้างเคมีของไคติน



#### 2. โครงสร้างเคมีของไคโตซาน



รูปที่ 2.6 โครงสร้างเคมีของไคตินและไคโตซาน

ไคโตซานสามารถละลายในสารละลายหลายชนิด ได้แก่ สารละลายกรดอินทรีย์เจือจาง เช่น กรดอะซิติก กรดโพธิ์โอนิก กรดแลคติก กรดไพรูวิก กรดมาลิก กรดทาทาริก และกรดซิตริก นอกจากนี้ยังสามารถละลายในสารละลายกรดไนตริก กรดไฮโปคลอริก กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง (ความเข้มข้นร้อยละ 1 หรือน้อยกว่า) และละลายได้เล็กน้อย ในกรดฟอสฟอริก (ความเข้มข้นร้อยละ 0.5) แต่ไม่ละลายในกรดซัลฟูริก ไคโตซานไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในรูปของเกลือของกรดหลายชนิด ยกเว้นเกลือซัลเฟตและเกลือซัลไฟต์ ไคโตซานไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ทั่ว ๆ ไป แต่จะละลายในสารละลายพอลิออลที่มีสภาพเป็นกรด เช่น ในสารผสมของกลีเซอรอลและน้ำ (3:1) ที่มีกรดอะซิติกเข้มข้นร้อยละ 1 สารละลายที่ได้จะใส และสามารถละลายได้ในเอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) โดยพบว่าการละลายในสารละลายอินทรีย์พอลิออลจะมีผลต่อความหนืดของไคโตซานเล็กน้อย ถ้ามีกลีเซอรอลอยู่ในสารละลายไคโตซาน จะมีลักษณะเป็นเจล ขณะที่ไม่มีซอร์บิทอลอยู่จะมีลักษณะเจลกึ่งแข็ง

สารละลายของไคโตซานมีความเหนียว ใส สามารถขึ้นรูปเป็นเยื่อบางได้ตามธรรมชาติ มีลักษณะของพลาสติกใสและยืดหยุ่นได้ ดังนั้นไคโตซานสามารถขึ้นรูปได้หลายแบบ เช่น แผ่นเยื่อบาง เจล เม็ด เส้นใย คอลลอยด์ และสารเคลือบในกิจกรรมทางชีวภาพ ไคโตซานมีข้อดีคือไม่เป็นพิษและย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ

## 2.5.2 วิธีการสกัดไคโตซาน

### 1. กระบวนการเปลี่ยนไคตินเป็นไคโตซาน

กระบวนการผลิตไคโตซานมี 4 ขั้นตอนสำคัญ ได้แก่

**1.1 การกำจัดเกลือแร่** เป็นขั้นตอนการสกัดเปลือกของสัตว์ที่ไม่มีกระดูกสันหลัง โดยการนำวัตถุดิบมาทำปฏิกิริยากับกรด ซึ่งโดยทั่วไปใช้กรดไฮโดรคลอริกเจือจาง 1-8 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 1-3 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ สามารถใช้สารละลายชนิดอื่นๆ อีกเช่น กรดฟอร์มิก 90 เปอร์เซ็นต์ กรดไฮโดรคลอริก (ที่ความเข้มข้น 22, 37 เปอร์เซ็นต์หรือ 6 นอร์มอล) กรดอะซิติก กรดซัลฟูริก และกรดกำมะถัน ซึ่งขึ้นกับสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมทำให้เกลือแร่ถูกกำจัดออกไป การกำจัดเกลือแร่จะทำให้ได้สมบูรณ์เมื่อปริมาณของกรดสูงกว่าเกลือแร่ อย่างไรก็ตามการทำปฏิกิริยาดังกล่าวหากใช้เวลานานถึง 24 ชั่วโมง จะทำให้ไคตินแตกสลายได้

**1.2. การกำจัดโปรตีน** เป็นขั้นตอนการแยกโปรตีนออกโดยนำส่วนหัวและเปลือกกุ้ง กระดองปู และแกนหมึก มาบดก่อน นำมาแยกเอาโปรตีนออก ขั้นตอนการแยกโปรตีนนี้ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่มีความเข้มข้น 1-10 เปอร์เซ็นต์อุณหภูมิประมาณ 65-100 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา (reaction time) ขึ้นอยู่กับวิธีและสภาวะที่ใช้ในการสกัดโปรตีน หากปล่อยให้กากเหล่านี้ทำปฏิกิริยานานเกินไปในสภาวะรุนแรงจะทำให้สายโซ่ของไคตินถูก

ตัด (depolymerization) และยังเกิดปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลด้วย และหากนำวัตถุดิบมาแช่ในสารละลายผสมระหว่างคลอโรฟอร์มและเมทานอล (2:1) ก่อนการแยกโปรตีนจะทำให้ปริมาณโปรตีนในโคตินลดลงถึง 0.5 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบว่าขนาดของวัตถุดิบไม่มีอิทธิพลต่อปริมาณโปรตีนในโคติน แต่จะมีผลต่อการเพิ่มอัตราเร็วในการแยกโปรตีน ซึ่งหากลดขนาดของวัตถุดิบจะทำให้อัตราในการแยกโปรตีนเร็วขึ้น สำหรับสภาวะที่เหมาะสมในการแยกโปรตีนจากแกนหมึก คือ แช่แกนหมึกใน 1 โมลาร์ของ โซเดียมไฮดรอกไซด์นาน 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งการแยกโปรตีนจากเปลือกปูจำเป็นจะต้องอยู่ในสภาวะที่ 60 องศาเซลเซียส

**1.3. การฟอกสี** การผลิตโคตินจากขั้นตอนดังกล่าวไว้ข้างต้นนั้น พบว่าโคตินที่ได้มักจะยังคงมีสี ดังนั้นหากต้องการโคตินฟอกขาวจะต้องนำโคตินมาผ่านกระบวนการแยกสีโดยสารสี (pigment) ในโคตินสามารถกำจัดได้โดยการสกัดด้วยอะซิโตน คลอโรฟอร์ม เอธิลอะซิเตต สารผสมระหว่างเอทานอลและอีเทอร์ โดยปรกติทำการฟอกสีด้วยสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งสารฟอกสีเหล่านี้จะกำจัดสารสีในโคติน ทำให้สายโซ่โมเลกุลสั้นลง (น้ำหนักโมเลกุลต่ำลง) หลักการฟอกสีคือ นำเปลือกสัตว์ทะเลที่กำจัดเกลือแร่และโปรตีนออกแล้วมากำจัดสีด้วยการแช่ในเมทานอลและอะซิโตนหลายๆ ครั้ง ก่อนนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักสารแห้งที่ได้โดยสารสุดท้ายที่ได้ในขั้นตอนนี้คือ โคติน

**1.4. การสกัดโคโตซาน** การสกัดโคโตซานเกิดจากปฏิกิริยาการกำจัดหมู่อะซิทิลของโคติน หรือที่เรียกว่า ปฏิกิริยา deacetylation ทำให้ N-acetyl-D-glucosamine ซึ่งเป็นโมเลกุลเดี่ยวของโคตินถูกเปลี่ยนเป็น Glucosamine ดังนั้นจากโคตินจึงเปลี่ยนเป็นโคโตซาน ขั้นตอนการสกัดโคโตซานจากโคตินสามารถทำได้โดยการแช่โคตินในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโพตัสเซียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 เปอร์เซ็นต์ ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ทำให้หมู่อะซิทิลบางส่วนหรือทั้งหมดจะถูกดึงออกจากโพลิเมอร์ แล้วแต่กรรมวิธีที่ใช้ สำหรับในอุตสาหกรรมการผลิตโคโตซานนั้นต้องนำเปลือกกุ้งสดน้ำหนักถึง 100 กิโลกรัม มาผ่านขั้นตอนการสกัด เพื่อให้ได้โคโตซานเพียง 3-5 กิโลกรัมเท่านั้น

### 2.5.3 การประยุกต์ใช้โคโตซาน

ปัจจุบันมีการนำโคตินและโคโตซานมาประยุกต์ในด้านต่างๆ เช่น

1. ด้านอาหาร โคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไกคือโคโตซานมีประจุบวกสามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการรั่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนโคตินและโคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกักตุน สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความชื้น ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปฟิล์มที่รับประทานได้ (Edible film) สำหรับบรรจุอาหาร

2. ด้านอาหารเสริม มีรายงานว่าโคโคซานช่วยลดคอเลสเตอรอล และไขมันในเส้นเลือดโดยโคโคซานไปจับกับคอเลสเตอรอล ทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้หรือดูดซึมได้น้อยลง จึงมีการโฆษณาเป็นผลิตภัณฑ์ลดน้ำหนัก ทั้งนี้ต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง เนื่องจากโคโคซานสามารถจับวิตามินที่ละลายได้ดีในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี เค) อาจทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้ได้

3. ด้านการแพทย์ มีรายงานการนำ N-acetyl-D-glucosamine ไปใช้รักษาไขข้อเสื่อม โดยอธิบายว่าข้อเสื่อมเกิดเนื่องจากการสึกกร่อนของเนื้อเยื่ออ่อนที่เคลือบอยู่ระหว่างข้อกระดูก ซึ่ง Glucosamine เป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์ Proteoglycan และ Matrix ของกระดูกอ่อน จึงช่วยทำให้เยื่อหุ้มกระดูกอ่อนหนาขึ้น

4. ด้านเภสัชกรรม มีรายงานการใช้โคโคซานเพื่อควบคุมการปลดปล่อยตัวยาสำคัญ

5. ด้านการเกษตร เนื่องจากโคโคซานและโคโคซานมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบไนโตรเจนจะถูกปลดปล่อยออกจากโมเลกุลอย่างช้าๆ รวมทั้งช่วยตรึงไนโตรเจนจากอากาศและดิน จึงใช้เป็นปุ๋ยชีวภาพ นอกจากนี้ยังช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของพืชและกระตุ้นการนาแร่ธาตุไปใช้ ผลคือสามารถเพิ่มผลผลิตและคุณภาพการผลิตได้ ทำให้เกษตรกรมีต้นทุนต่ำลง เนื่องจากลดการใช้ปุ๋ยและยาฆ่าแมลง

6. ด้านการปศุสัตว์ ใช้เป็นส่วนผสมในอาหารสัตว์เพื่อกระตุ้นภูมิคุ้มกัน และลดการติดเชื้อทำให้น้ำหนักตัวของสัตว์เพิ่มขึ้น

7. ด้านการบำบัดน้ำเสีย โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารมีสารแขวนลอยสูง โคโคซานมีประจุบวก สามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี ซึ่งโปรตีนที่ได้สามารถแยกนา ไปใช้เป็นอาหารสัตว์ต่อไป นอกจากนี้โคโคซานยังสามารถดูดซับอื้ออนของโลหะหนัก และจับสี (Dye) ช่วยในการบำบัดน้ำเสีย

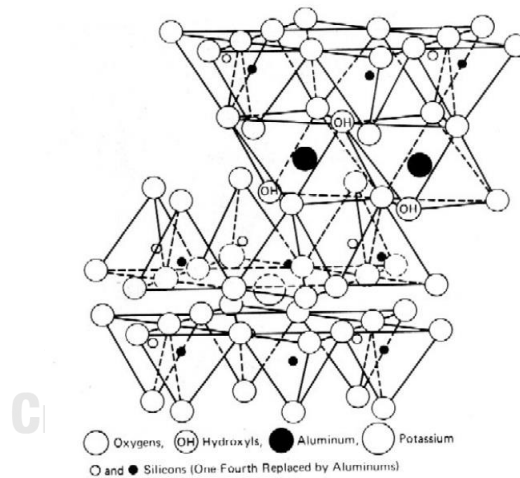
8. ด้านสิ่งทอนำมาขึ้นรูปเป็นเส้นใย และใช้ในการทอร่วมหรือเคลือบกับเส้นใยอื่นๆเพื่อให้ได้คุณสมบัติการต้านจุลินทรีย์และลดการเกิดกลิ่นอับขึ้น

## 2.6 มอนต์โมริลโลไนต์ ( Montmorillonite) [18]

### 2.6.1 สูตรทางเคมีและโครงสร้างของมอนต์โมริลโลไนต์

มอนต์โมริลโลไนต์เป็นแร่ดินในกลุ่มสมคไทต์ (smectite) สูตรทางเคมีทั่วไป คือ  $M_{y+}(Al_2, Mg)_ySi_4O_{10}(OH)_2 \cdot n(H_2O)$  เมื่อ  $y$  คือ ระดับความไม่สมบูรณ์ของแร่ดินมอนต์โมริลโลไนต์ สำหรับสูตรอย่างง่าย คือ  $(Na, Ca)_{0.3}(Al, Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2 \cdot n(H_2O)$  โครงสร้างมีลักษณะเป็นแผ่นซ้อนกันเป็นชั้นๆ โดยแต่ละชั้นจะมีช่องว่างกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในแต่ละชั้นจะประกอบไปด้วย 3 แผ่น

ซ้อนกัน ได้แก่ แผ่นซิลิกาที่มีรูปร่างของหน่วยเซลล์ (unit cell) เป็นแบบทรงสี่หน้า (tetrahedral sheet) 2 แผ่น ประทับกับแผ่นอลูมินาที่มีรูปร่างของหน่วยเซลล์เป็นแบบทรงแปดหน้า (octahedral sheet) แทรกอยู่ตรงกลาง ในธรรมชาติไอออนอลูมิเนียม ( $Al^{3+}$ ) สามารถเข้าไปแทนที่ไอออนซิลิกอน ( $Si^{4+}$ ) ในแผ่นซิลิกาได้ และไอออนแมกนีเซียม ( $Mg^{2+}$ ) และไอออนสังกะสี ( $Zn^{2+}$ ) สามารถไปแทนที่ไอออนอลูมิเนียมในแผ่นอลูมินาได้ ขณะที่อะตอมของออกซิเจนที่อยู่รอบๆ ไอออนบวกเหล่านี้มีการจัดเรียงตัวกันแน่นและไม่สามารถขยับตัวได้ (rotation) ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ประจุลบเกินเกิดขึ้น หลังจากเกิดการแทนที่ดังกล่าว เมื่อเกิดการแทนที่มากขึ้นเรื่อยๆ ประจุลบจะมีอำนาจสูงและจะส่งผลให้ชั้นแต่ละชั้นเกิดแรงผลักขึ้นระหว่างกัน เกิดเป็นช่องว่างระหว่างชั้นขึ้น (basal spacing) ในธรรมชาติจะเกิดการดูลประจุในแร่ดินขึ้นเอง โดยจะมีไอออนบวกของโลหะ เช่น ไอออนของโซเดียม ( $Na^+$ ) ไอออนของแคลเซียม ( $Ca^{2+}$ ) และน้ำ มาแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้นของแร่ดิน เพื่อให้เกิดการดูลประจุลบของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ให้เป็นกลางทางไฟฟ้า ช่องว่างระหว่างชั้นนี้สามารถขยายตัวได้ เมื่อแร่ดินละลายอยู่ในน้ำ



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

วงกลมโปร่งขนาดใหญ่คือโพแทสเซียม วงกลมโปร่งขนาดกลางคือออกซิเจน วงกลมโปร่งขนาดเล็กคือซิลิกอน วงกลมทึบขนาดใหญ่คืออลูมิเนียม วงกลมทึบขนาดเล็กคือซิลิกอนที่ถูกแทนที่ด้วยอลูมิเนียม วงกลมโปร่งที่มี OH อยู่ตรงกลางคือ OH

### 2.6.2 องค์ประกอบของมอนต์มอริลโลไนต์

มอนต์มอริลโลไนต์ที่พบในประเทศไทยมักมีมอนต์มอริลโลไนต์ 70-80% และมีสิ่งเจือปน ซึ่งบางครั้งประกอบด้วยคริสโตบาร์ไรต์ แคลไซต์ ฮีมาไทต์ เฟลด์สปาร์ ควอตซ์ ไมก้า และคาโอลิไนต์ปนอยู่บ้าง องค์ประกอบของมอนต์มอริลโลไนต์แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ร้อยละองค์ประกอบทางเคมีของมอนต์มอริลโลไนต์

องค์ประกอบทางเคมี	%wt	องค์ประกอบทางเคมี	%wt
SiO <sub>2</sub>	56-60	MgO	1.5-2.0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16-18	CaO	1.9-2.1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5-7	K <sub>2</sub> O	0.3-0.5
Na <sub>2</sub> O	2.4-3	TiO <sub>2</sub>	1.2-1.5

หมายเหตุ : ข้อมูลจาก บริษัท ไทยนิปอนเคมีภัณฑ์อุตสาหกรรม จำกัด

นอกจากนี้มอนต์มอริลโลไนต์สามารถแบ่งองค์ประกอบตามไอออนโลหะที่เข้ามาแทรกมาแทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างชั้น ดังนี้

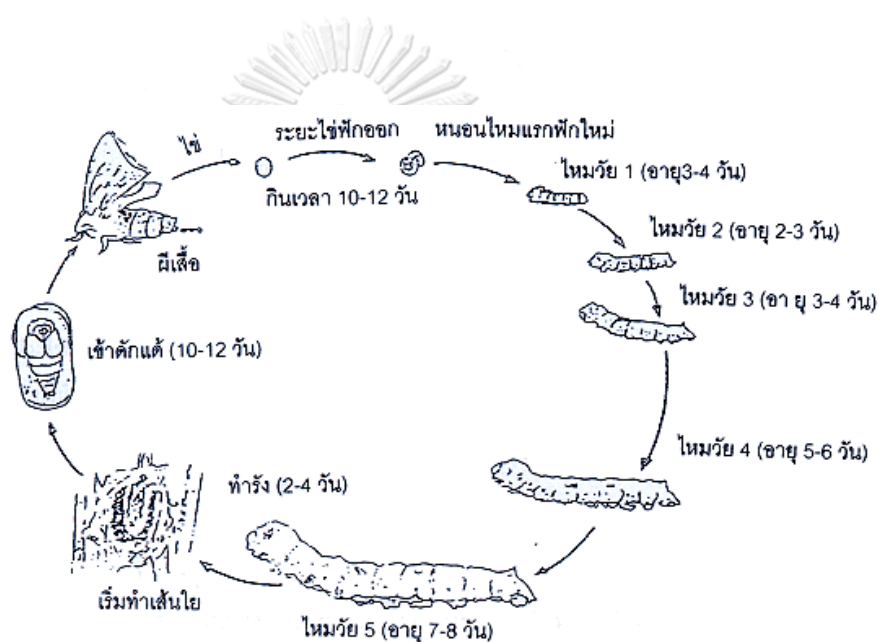
1. มอนต์มอริลโลไนต์ที่มีองค์ประกอบของโซเดียม มอนต์มอริลโลไนต์จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้มาก เพราะว่ามีผลึกของดินที่มีขนาดเล็กมากกระจายจัดกระจายในน้ำ ทำให้น้ำโคลนมีลักษณะกึ่งแข็งและกึ่งเหลวคล้ายวุ้น เหมาะสำหรับเป็นน้ำโคลนไหลวนใช้ในการเจาะ หรือเรียกว่าโคลนเจาะ ( Dilling Mud) นอกจากนี้ยังใช้ผสมทรายทำเบ้าหลอม และวัสดุทนไฟ ( refractories)

2. มอนต์มอริลโลไนต์ที่มีองค์ประกอบของแคลเซียม มอนต์มอริลโลไนต์จะดูดซับน้ำและพองตัวได้น้อยกว่ามอนต์มอริลโลไนต์ที่มีองค์ประกอบของโซเดียม แต่ก็สามารถนำมาทำโคลนเจาะหลุมตื้นๆได้ ซึ่งก่อนจะนำไปทำโคลนเจาะได้ ต้องผ่านการปรับปรุงคุณภาพด้วย Soda Ash Polymers หรือสารเคมีอื่นเสียก่อน ส่วนใหญ่จะใช้ในเครื่องกรองน้ำมันในโรงกลั่น กรองน้ำบาดาล และน้ำมันพืชให้ปราศจากมลทิน ใช้ฟอกหนังและกรองน้ำมันเครื่องที่ใช้แล้วให้คืนสู่สภาพเดิม

## 2.7 ไหม

### 2.7.1 ข้อมูลทั่วไปของไหม

เส้นไหม เป็นโปรตีนชนิดเส้นใยและส่วนมากผลิตจากแมลงในอันดับ (Order) Lepidopteran วงศ์ (Family) Bombycidae หรือไหมบ้านหรือไหมเลี้ยง (mulberry silk) และ Saturniidae หรือไหมป่า (non-mulberry หรือ wild silk)[19] ไหมบ้านจะกินใบหม่อนเป็นอาหาร ส่วนไหมป่าจะกินใบพืชชนิดอื่น เช่น ใบละหุ่ง หรือใบมันสำปะหลัง[20] วงจรชีวิตของไหม ประกอบด้วย 4 ระยะ คือ ระยะไข่ ระยะตัวหนอน ระยะดักแด้ และระยะผีเสื้อ แสดงดังรูปที่ 2.8

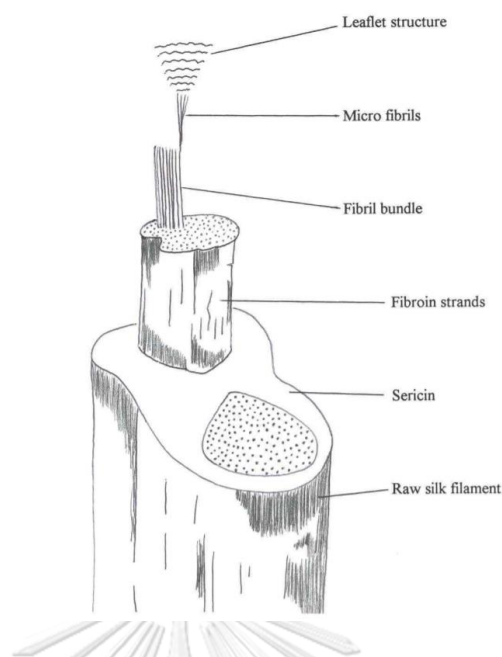


CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.8 แสดงวงจรชีวิตของไหม

### 2.7.2 โครงสร้างและองค์ประกอบของเส้นไหม [21-23]

เส้นไหม คือ เส้นใยโปรตีนธรรมชาติ เส้นไหมประกอบด้วยโปรตีน 2 ชนิด คือ ไฟโบรอิน (Fibroin,  $C_{15}H_{26}N_6O_6$ ) ซึ่งทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักของเส้นใย และกาวยไหม เรียกว่า เซริซิน (Sericin,  $C_{15}H_{23}N_5O_8$ ) ที่ทำหน้าที่เป็นกาวเคลือบเส้นไฟโบรอิน ซึ่งเป็นเส้นใยต่อเนื่องจำนวน 2 เส้นให้ยึดติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของไหม

ไฟโบรอินประกอบด้วยกรดอะมิโนหลักที่สำคัญ ได้แก่ โกลซีน อะลานีน เซรีน และไทโรซีน กรดอะมิโน 3 ตัวแรกที่กล่าวมามีประมาณร้อยละ 86 และไซโทซีนมีปริมาณร้อยละ 8 ที่เหลือเป็นกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมและอาหารที่ใช้เลี้ยงดู ในส่วนของกาวไหมประกอบด้วยกรดอะมิโนที่มีหมู่ข้างเคียงที่มีขนาดใหญ่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ เซรีน ธีโรนีน กรดกลูตามิก และกรดแอสพาทิก คิดเป็นประมาณร้อยละ 60 ของน้ำหนักกาวไหม

เมื่อพิจารณาส่วนประกอบดังกล่าวเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการศึกษาความเป็นผลึกด้วยรังสีเอ็กซ์ พบว่ามีความแตกต่างกัน โดยไฟโบรอินมีความเป็นผลึกอยู่ประมาณร้อยละ 60 และโครงสร้างส่วนใหญ่มีโครงสร้างเป็นแบบแผ่นพับเบต้า ( $\beta$ -plated sheet) ในขณะที่กาวไหมไม่มีโครงสร้างของส่วนที่เป็นผลึกอยู่เลย โดยโปรตีนในส่วนของกาวไหมมีประมาณร้อยละ 20-25 โดยน้ำหนัก ส่วนไฟโบรอินซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นไหมมีโปรตีนมากกว่าร้อยละ 75 ที่เหลือเป็นองค์ประกอบอื่นๆ ได้แก่ ไขมัน เกลือแร่ สารอนินทรีย์ และสารให้สี

ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีองค์ประกอบทางเคมีเป็นโปรตีน ซึ่งเกิดจากการที่กรดอะมิโนหลายชนิดมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเอไมด์ ซึ่งมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบสำคัญ ได้แก่ C H N และ O โดยมีธาตุ S เป็นองค์ประกอบอยู่น้อยมากเมื่อเทียบกับเส้นใยโปรตีนชนิดอื่นๆ โครงสร้างส่วนใหญ่ของไฟโบรอินมีลักษณะเป็นโครงสร้างแบบแผ่นพับเบต้า ( $\beta$ -sheet) ซึ่งเป็นการเรียงตัวของกรดอะมิโนแบบซ้ำๆ



### 2.7.3 สมบัติทางกายภาพของไหม

**1. ความแข็งแรง** ไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีความแข็งแรงมากที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใยธรรมชาติอื่นๆ เนื่องจากมีเส้นผ่านศูนย์กลางที่เล็ก มีความละเอียดและมีความเป็นผลึกสูง โดยไหมส่วนใหญ่เมื่อแห้งจะมีค่าแรงดึง ณ จุดขาดอยู่ในช่วง 3.5 - 5.0 กรัมต่อเดนิเยร์ และเมื่อเปียกจะมีค่าความแข็งแรงลดลงร้อยละ 15-30

**2. ความยาว** ความยาวของไหมอยู่ในช่วง 1,300 -2000 ฟุต (390-600 เมตร) และบางชนิดอาจพบยาวถึง 4,000 ฟุต (1,219 เมตร) ขึ้นกับสภาวะในการเลี้ยงดู

**3. สี** ไหมมีตั้งแต่สีเหลืองถึงสีน้ำตาล โดยไหมบ้านจะมีสีตั้งแต่สีเหลืองจนถึงสีขาว ในขณะที่ไหมป่ามีสีเหลืองเทา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดพันธุ์ สภาวะแวดล้อม และอาหารที่ใช้เลี้ยงดู

**4. ความยืดหยุ่น** ไหมมีความยืดหยุ่นที่ดี โดยอาจยืดได้ถึงร้อยละ 20 ของความยาวเริ่มต้น เนื่องจากไหมไม่มีพันธะซัลเฟอร์เชื่อมโยงเหมือนในโครงสร้างโปรตีนของเส้นใยขนสัตว์ จึงทำให้ร้อยละการกลับคืนไม่ดีเมื่อเปรียบเทียบกับขนสัตว์

**5. ความชื้น** ความสามารถในการดูดซับความชื้นที่สภาวะมาตรฐาน ( อุณหภูมิ 21 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 65) ไหมสามารถดูดซับความชื้นได้ถึงร้อยละ 11 ทำให้ไหมเป็นเส้นใยที่มีความสามารถในการรับสีย้อมต่างๆ ได้ดี จึงทำให้ไหมเป็นเส้นใยที่เหมาะสมในการนำมาทำเป็นเสื้อผ้า เนื่องจากระบายความร้อนและดูดซับเหงื่อได้ดี ทำให้รู้สึกสบายเวลาสวมใส่

**6. ความร้อน** ไหมเป็นเส้นใยที่ทนทานต่อความร้อนได้ดี โดยสามารถทนความร้อนสูงได้ถึง 170 องศาเซลเซียส

**7. ความถ่วงจำเพาะ** เส้นใยไหมมีค่าความถ่วงจำเพาะช่วงระหว่าง 1.32 – 1.33 โดยเส้นใยไหมที่มีการเพิ่มน้ำหนักอาจมีความถ่วงจำเพาะถึง 1.60

### 2.7.4. สมบัติทางเคมีของไหม (Chemical Properties of silk)

**1. การทนต่อสภาวะกรด -ด่าง** ในสภาวะที่เป็นกรด-ด่างรุนแรง ทำให้โครงสร้างของไหมเกิดการเปลี่ยนแปลง ด้วยค่าความเป็นกรด-ด่างที่ทำให้ไหมมีความเสียหายน้อยที่สุดอยู่ในช่วง pH

**2. การทนต่อสารประกอบพวกเกลือคลอไรด์** ไหมสามารถถูกทำลายด้วยสารประกอบพวกเกลือคลอไรด์ ได้แก่ เหงื่อ น้ำยาดับกลิ่น และน้ำเกลือ โดยเฉพาะเหงื่อจะทำให้เกิดคราบตรงบริเวณที่มีการสัมผัส

**3. การทนต่อตัวทำละลายอินทรีย์** ไหมสามารถทนทานต่อสารซักแห้งที่นำมาใช้ในการทำความสะอาด

**4. การทนต่อสารซักฟอก** สารซักฟอกประเภทโซเดียมไฮโปคลอไรด์ทำให้เส้นไหมเกิดความเสียหาย ยกเว้นสารประกอบพวกเปอร์ออกไซด์เท่านั้นที่สามารถนำมาใช้กับเส้นไหม

5. การทนต่อแสง ไหมไม่ทนทานต่อแสง เนื่องจากทำให้ความแข็งแรงลดลง และเกิดสีเหลืองขึ้นที่ผิวของเส้นใย ซึ่งมีสาเหตุมาจากการสลายตัวของโครงสร้างโปรตีนที่เป็นองค์ประกอบหลัก

6. ความสามารถในการรับสีย้อม ไหมสามารถรับสีย้อมต่างๆได้ดี เนื่องจากมีหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำ จึงสามารถนำมาย้อมกับสีทั่วไปได้

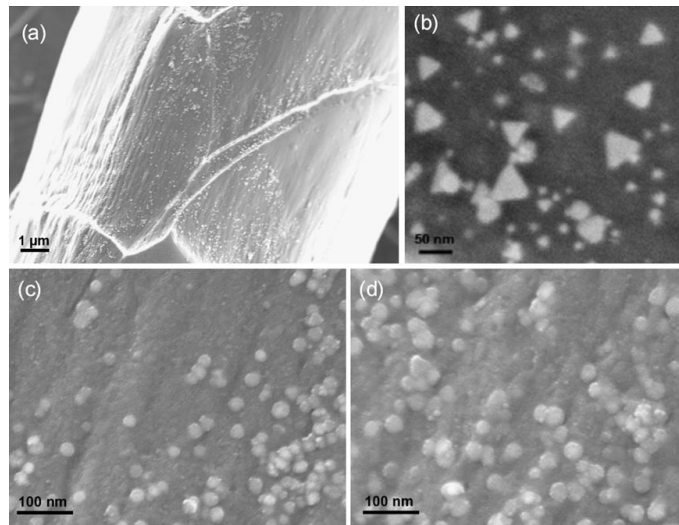
### 2.7.5 ประโยชน์จากไหมด้านสิ่งทอ[24]

มนุษย์รู้จักนำเส้นไหมมาทำเป็นสิ่งทอตั้งแต่ออดีต เนื่องจากไหมเป็นเส้นใยที่มีเอกลักษณ์โดดเด่น เช่น ความเงางาม เบาบาง การระบายอากาศ และความคงทน จัดได้ว่าเป็นเส้นใยธรรมชาติที่มีคุณค่ามากกว่าเส้นใยชนิดอื่นจนได้ชื่อว่า “ราชินีแห่งเส้นใย” ดังนั้นเส้นไหมจึงมีราคาแพง สิ่งทอที่ทำจากไหมได้รับการยกย่องว่าสวยงามและเป็นที่ต้องการของผู้คน แต่ด้วยข้อจำกัดด้านราคาจึงพบว่า สิ่งทอจากไหมมักจะพบในสังคมคนรวยเป็นส่วนใหญ่ และมักจะสวมใส่ในงานหรือเทศกาลสำคัญ ในทางการค้ามีการนำไหมไปผสมกับวัสดุอื่นเพื่อลดต้นทุนการผลิต อย่างไรก็ตาม การศึกษาวิจัยเพื่อเพิ่มคุณค่าและลักษณะเฉพาะสำหรับการใช้งานที่เกี่ยวข้องกับไหมก็ยังคงปรากฏให้เห็น เช่น การปรับปรุงพื้นผิวผ้าไหม โดยเคลือบเส้นไหมด้วย ไทเทเนียมออกไซด์ และไทเทเนียมออกไซด์ที่ผสมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ พบว่า ผ้าไหมที่เคลือบด้วยวัสดุทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพในการป้องกันรังสียูวีดีซี และ สามารถป้องกันแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Pseudomonas* ได้ จึงเหมาะที่จะนำไปใช้ในอุตสาหกรรมปลอดเชื้อ โรงพยาบาล (hospital sterilization) และการรักษาความสะอาดสิ่งแวดล้อม (environmental clean up) ได้เป็นอย่างดี

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

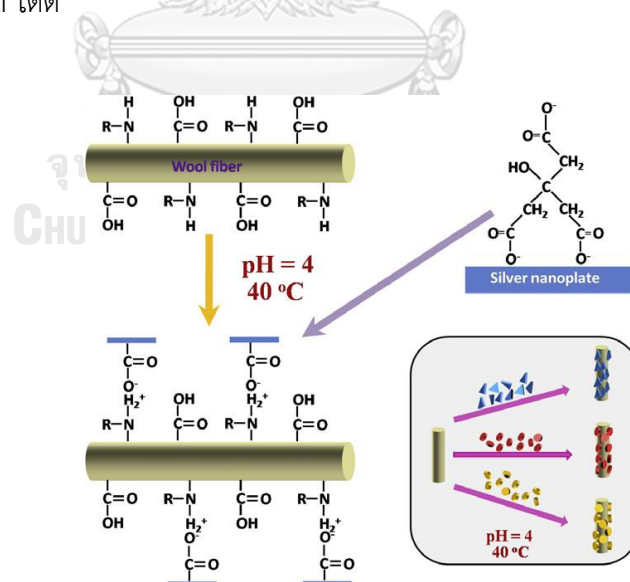
### 2.8.1 งานวิจัยการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีตกชั้นทางเคมี

ในปี ค.ศ.2011 Tang และคณะ[25] ได้สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ โดยใช้สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ) เป็นสารตั้งต้นหลัก และใช้สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) เป็นตัวรีดิวซ์ในปริมาณที่แตกต่างกัน ในงานวิจัยนี้ Tang และคณะสามารถสังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงิน สีแดงและสีเหลืองได้ ซึ่งสีที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากการอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีรูปร่างแตกต่างกัน ได้แก่อนุภาคทรง nanoprism (สีน้ำเงิน) และอนุภาคทรง nanodisk (สีแดงและสีเหลือง) หลังจากนั้นได้นำซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้ไปย้อมผ้าขนสัตว์ พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถไปเคลือบบนเส้นใยผ้าขนสัตว์ได้ ดังรูปที่ 2.10



**รูปที่ 2.10** โครงสร้างจุลภาคของเส้นใยผ้าขนสัตว์ที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์  
(a) และ (b) nanoprism (สีน้ำเงิน) (c) nanodisk (สีแดง) และ (d) nanodisk (สีเหลือง)

นอกจากนี้พบว่าค่าความเป็นกรด - ด่าง เท่ากับ 4 ผ้าขนสัตว์สามารถย้อมสีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ได้ โดยสีของผ้าขนสัตว์มาจากสีของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เคลือบอยู่บนผิวด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต ดังรูปที่ 2.11 และผ้าขนสัตว์ที่ผ่านการย้อมสีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์มีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียชนิด *E. coli* ได้ดี



**รูปที่ 2.11** แรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต (electrostatic attraction) ระหว่างเส้นใยขนสัตว์ที่มีประจุที่ผิวเป็นบวกกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีประจุที่ผิวเป็นลบ

ต่อมาในปี ค.ศ.2013 Bin Tang และคณะ[4] ได้สังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์แล้วนำไปย้อมสีเส้นใยไหม ในงานวิจัยครั้งนี้ Tang และคณะสามารถสังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์ที่มีสีสันหลากหลายมากขึ้น ได้แก่ สีน้ำเงิน ม่วง แดง ส้ม และเหลือง โดยสีของซิลเวอร์คอลลอยด์ที่แตกต่างกันเป็นผลมาจากการเติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในปริมาณที่ต่างต่างกัน นอกจากนี้ยังสามารถผสมสีระหว่างซิลเวอร์คอลลอยด์ที่มีสีต่างกันเพื่อให้ได้สีใหม่ที่มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น หลังจากนั้นก็นำซิลเวอร์คอลลอยด์ไปย้อมสีเส้นใยไหมที่ค่าความเป็นกรด – ต่างของซิลเวอร์คอลลอยด์เท่ากับ 4 พบว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถเคลือบบนผิวของเส้นไหมได้ด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต โดยเส้นใยไหมที่ผ่านการย้อมสีมีสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียชนิด E. coli ได้ดี

ในปี 2017 Jafari-Kiyani, A. และคณะ [5] ได้เตรียมคอมโพสิตระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์และไทเทเนียมไดออกไซด์ ซึ่งในกระบวนการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์ให้มีสีแตกต่างกันนั้นเกิดจากการเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 0.4 1.4 และ 1.6 มิลลิลิตร ซึ่งได้อนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์สีเหลือง สีน้ำเงิน และสีน้ำตาลตามลำดับ จากนั้นมีการเติมอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์เข้าไปผสมกับอนุภาคนาโนซิลเวอร์คอลลอยด์แล้วนำไปเคลือบบนผ้าฝ้ายเพื่อทดสอบสมบัติต่อต้านแบคทีเรีย จากการทดสอบพบว่าคอมโพสิตระหว่างอนุภาคนาโนซิลเวอร์และไทเทเนียมไดออกไซด์ฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิด E. coli และ S. aureus ได้ถึง 100% ในขณะที่อนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรียชนิด E. coli ได้ 25% และ S. aureus ได้ 25% เท่านั้น จากงานวิจัยที่กล่าวมาจึงแสดงให้เห็นว่าอนุภาคนาโนซิลเวอร์สามารถเพิ่มคุณสมบัติต่อต้านแบคทีเรียให้กับสิ่งทอได้

ในปี 2019 Chanikan Moonrat [26] ได้ศึกษาการเตรียมอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในรูปแบบคอลลอยด์หลากสีและหาสภาวะที่เหมาะสมในการนำไปย้อมสีและเพิ่มสมบัติต้านแบคทีเรียแก่เส้นด้ายไหม จากนั้นศึกษาผลของ การเติมไททาเนียต่อสมบัติต่างๆของเส้นไหม โดยอนุภาคนาโนซิลเวอร์สังเคราะห์ได้จากกระบวนการเคมีรีดักชันที่มีโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวออกซิไดซ์และไตรโซเดียมซิเตรตเป็นตัวป้องกันหน้าผลึกของอนุภาค ซึ่งการเติมปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ต่างต่างกันทำให้ได้ซิลเวอร์คอลลอยด์สีสันหลากหลาย เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่ได้มีขนาดหรือรูปร่างที่ต่างต่างกัน จากการศึกษาพบว่าสภาวะกรด-ด่าง ที่เหมาะสมต่อการเคลือบเส้นด้ายไหมด้วยอนุภาคนาโนซิลเวอร์และไททาเนีย คือที่ซิลเวอร์คอลลอยด์ที่มีค่าความเป็นกรด – ต่างเท่ากับ 5 อีกทั้งเส้นด้ายไหมที่ผ่านการเคลือบมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียชนิด E. coli และ S. aureus ได้ดีเยี่ยม

อย่างไรก็ตามพบว่า การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิลเวอร์ด้วยวิธีดักจับทางเคมี แม้ว่าจะสามารถสังเคราะห์สารได้ง่าย ต้นทุนต่ำ ได้สารในปริมาณมาก แต่มีข้อเสียด้วยเช่นกัน คือ ค่อนข้างเป็นวิธีที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมค่อนข้างมาก

## 2.8.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีดักจับโดยใช้แสง

วิธีดักจับโดยใช้แสง เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอีกวิธีหนึ่ง เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวก ปลอดภัย จากการใช้สารเคมีอันตราย ยกตัวอย่างงานวิจัยที่ศึกษาการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีดักจับโดยใช้แสง ดังนี้

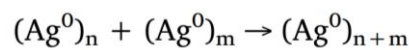
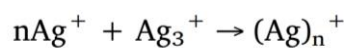
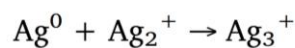
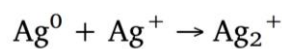
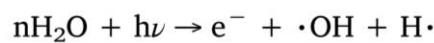
ในปี ค.ศ. 2010 ของ Shameli, K. และคณะ [6] ได้สังเคราะห์คอมโพสิตอนุภาคนาโนที่ประกอบด้วยซิลเวอร์ มอลต์มอร์ลิโลไนต์ และโคโตซาน ด้วยกระบวนการทางกายภาพที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่มีการใช้ตัวรีดิวซ์ แต่ใช้การรีดิวซ์สารละลายซิลเวอร์ในเตรตภายใต้การฉายรังสียูวีเป็นเวลา 3, 48 และ 96 ชั่วโมง มีโคโตซานเป็นตัวเพิ่มความเสถียร (stabilizer) ในการรีดิวซ์  $Ag^+$  ไปเป็น  $Ag^0$  และใช้มอลต์มอร์ลิโลไนต์เป็นวัสดุของแข็งรองรับ (solid support) จากการศึกษาพบว่าเมื่อระยะเวลาฉายรังสียูวีเพิ่มขึ้นทำให้ขนาดอนุภาคและการกระจายขนาดของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ลดลง ซึ่งคอมโพสิตที่ได้มีสมบัติต่อต้านแบคทีเรียทั้งแกรมบวกและแกรมลบ สามารถนำไปใช้งานทางการแพทย์

ในปี ค.ศ. 2018 Mohamed Rehan และคณะ [13] ได้สังเคราะห์นาโนคอมโพสิต Cs/AgNPs ที่เตรียมด้วยปฏิกิริยารีดักชันโดยใช้แสง ในการทดลองนี้ได้นำตัวอย่างไปฉายแสงยูวีความยาวคลื่น 320 – 400 นาโนเมตร ( $668 \mu W cm^{-2}$ ) โดยใช้ระยะเวลาการฉายแสงยูวีที่แตกต่างกัน คือ 1, 2 และ 4 ชั่วโมง เมื่อสิ้นสุดการฉายพบว่าสารตัวอย่างเปลี่ยนจากไม่มีสีกลายเป็นสีเหลือง เนื่องจาก  $Ag^+$  ถูกรีดิวซ์ไปเป็น  $Ag^0$  ซึ่งสามารถอธิบายกลไกการรีดิวซ์ด้วยแสงยูวีเมื่อมีการเติมโคโตซานได้ดังนี้

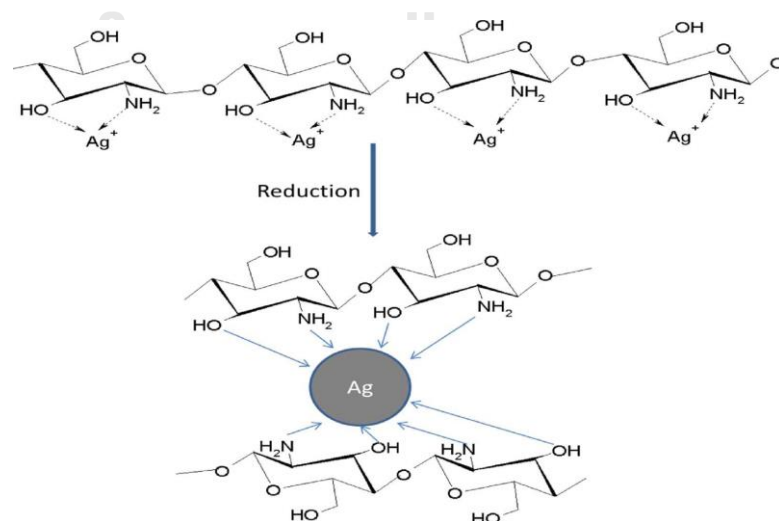
โคโตซานเป็นสารคีเลต (chelating agent) มีความสามารถในการจับที่สูงมากกับโลหะไอออนโดยอาศัยหมู่เอมีนและไฮดรอกซิลจำนวนมากของมันเอง เมื่อ  $Ag^+$  ผสมกับสารละลายโคโตซาน ทำให้เกิดคีเลชันของ  $Ag^+$  เกิดขึ้นผ่านไฮดรอกซิลและหมู่เอมีน คีเลชัน (Chelation) คือ กระบวนการรวมตัวในระดับโมเลกุลของไอออนบวกของธาตุโลหะกับโมเลกุลของสารอินทรีย์เพื่อให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนใหม่ที่มีโครงสร้างเป็นวงแหวน สารคีเลตจะล้อมไอออนบวกหรือประจุบวกของธาตุที่เป็นโลหะไว้ เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีโลหะถูกจับอยู่ในโมเลกุลไม่เปิดโอกาสให้ประจุลบจากที่อื่นเข้าทำปฏิกิริยาได้ หลังจากการฉายรังสียูวีอนุภาคซิลเวอร์นาโนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในคอลลอยด์ โดยอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ได้จะถูกดูดซับลงบนพื้นผิวของโคโตซานเพื่อสร้างคอมโพสิต Cs/AgNPs โดยความเสถียรของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดจากอันตรกิริยาของซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ )

กับกลุ่มอะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ของไซโคโตซาน ในขณะที่เดียวกันอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกิดขึ้นนั้นถูกห่อหุ้มและทำให้เสถียรโดยกลุ่ม -OH ของไซโคโตซาน โดยหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) ของโคโตซานจะได้รับโปรตอนกลายเป็น -NH<sub>3</sub><sup>+</sup> เนื่องจากเป็นสารละลายที่มีตัวทำละลายเป็นน้ำ ซึ่งในขณะที่เดียวกันจะช่วยป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคซิลเวอร์นาโน

การฉายแสงยูวีกับน้ำทำให้เกิดผลิตภัณฑ์หลายอย่าง เช่น e<sup>-</sup> aq, OH<sup>•</sup> ซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการรีดิวซ์อย่างมีประสิทธิภาพ [13] และในการรีดิวซ์ Ag<sup>+</sup> เป็น Ag<sup>0</sup> ในระหว่างการฉายแสงยูวี จะเกิดทั้งรีดักชันและแฟรกเมนเตชัน (fragmentation) ของอนุภาคซิลเวอร์ขนาดใหญ่ขึ้นพร้อมกัน โดย Ag<sup>0</sup> จะปฏิกิริยากับไอออน Ag<sup>+</sup> เพื่อสร้างกลุ่ม Ag<sup>+</sup> ที่ค่อนข้างเสถียร หลังจากนั้นกลุ่ม Ag<sup>+</sup> จะดูดซับ Ag<sup>0</sup> เพื่อสร้างอนุภาคซิลเวอร์นาโน โดยกระบวนการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ภายใต้แสงยูวีอธิบายได้ดังรูปที่ 2.12



### จุพาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.12 กลไกการเกิดปฏิกิริยาการเกิดอนุภาคซิลเวอร์นาโนภายใต้แสงยูวี

นอกจากนี้ยังได้สังเคราะห์นาโนคอมโพสิต Cs/AgNPs/clay ชนิดของ Clay ที่ใช้ คือ มอนต์โมริลโลไนต์ ซึ่งการสังเคราะห์นาโนคอมโพสิตเตรียมด้วยปฏิกิริยารีดักชันโดยใช้แสง โดยนำตัวอย่าง Cs/AgNO<sub>3</sub>/clay ไปฉายภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยใช้ระยะเวลาการฉายรังสี 2 ชั่วโมง พบว่าสีของตัวอย่างที่เตรียมได้เปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีเทาเข้ม แสดงถึงการเกิดอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในสารแขวนลอย Cs/AgNO<sub>3</sub>/Clay หลังจากนั้นได้นำนาโนคอมโพสิต Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/Clay ไปเคลือบบนผ้าฝ้าย พบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบนาโนคอมโพสิต Cs/AgNPs สามารถยับยั้งแบคทีเรียชนิด *E. coli* และ *S. aureus* ได้ดี แต่ต้านทานเชื้อราชนิด *Candida albican* ได้ต่ำ ส่วนผ้าฝ้ายที่เคลือบนาโนคอมโพสิต Cs/AgNPs/Clay สามารถยับยั้งแบคทีเรียชนิด *E. coli* และ *S. aureus* และมีฤทธิ์ต้านเชื้อราชนิด *Candida albican* ได้ดีมาก และเมื่อนำตัวอย่างไปทดสอบความทนไฟด้วยการวัด Values of limited oxygen index (LOI) คือ ปริมาณออกซิเจนขั้นต่ำที่จำเป็นต่อการติดไฟเมื่อตัวอย่างถูกเผาในบรรยากาศที่มีออกซิเจนและไนโตรเจน ซึ่งค่า LOI ที่สูงขึ้นการหน่วงไฟก็จะยิ่งดีขึ้นเท่านั้น จากการทดสอบพบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยคอมโพสิต Cs/AgNPs/Clay มีสมบัติทนไฟได้ดี เนื่องจากแสดงค่า LOI ที่สูงกว่าตัวอย่างอื่นๆ ดังนั้นการเติม Clay จึงช่วยส่งเสริมสมบัติการหน่วงไฟให้แก่ผ้าได้



### บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 ผ้าไหม

ผ้าไหม เป็นผ้าทอลายขัด (plain wave fabric) ที่ผ่านการฟอกขาวแล้ว เบอร์เส้นด้าย ยีน 20-22/3 ดีเนียร์จำนวน 96 เส้น/นิ้ว และเบอร์เส้นด้ายพุ่ง 27-29/6 ดีเนียร์จำนวน 78 เส้น/นิ้ว จากบริษัท เนเซอร์ล ณิช ประเทศไทย

##### 3.1.2 สารเคมี

- (1) ซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ) จาก SRL Chemicals
- (2) ไตรโซเดียมซีเตรตไดไฮเดรต ( $\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) จาก Sigma - Aldrich
- (3) โซเดียมบอโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) จาก Sigma - Aldrich
- (4) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก จาก Merck
- (5) ไคโตซาน ( $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NO}_4$ ) ความหนืดต่ำ จาก Sigma - Aldrich
- (6) มอลโมริลโลไนต์ จาก sibelco mineral
- (7) กรดอะซิติก ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) จาก Merck
- (8) น้ำปราศจากไอออน (deionized water)

#### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- (1) ปีกเกอร์
- (2) กระจกตวง
- (3) แท่งแม่เหล็กกวนสาร
- (4) เครื่องกวนสารชนิดให้ความร้อน
- (5) ไมโครปิเปต
- (6) pH meter METTLER TOLEDO รุ่น Seven Compact S220



### 3.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

#### (1) เครื่องบีบอัด (padder)



รูปที่ 3.13 เครื่องบีบอัด

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1. การเคลือบผ้าไหมด้วยสารเคลือบซิลเวอร์คอลลอยด์เตรียมด้วยวิธีตกชั้นทางเคมี

##### 1. กระบวนการสังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์ ด้วยวิธีตกชั้นทางเคมี

(1) เตรียมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.1 และ 0.2 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลายไตรโซเดียมซิเตรตความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ ปริมาตร 3.6 มิลลิลิตร และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาตร 0.48 มิลลิลิตร แล้วกวนผสมเป็นเวลา 10 นาที ณ อุณหภูมิห้อง

(2) เตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ความเข้มข้น 100 มิลลิโมลาร์ เทลงไปในสารละลายที่เตรียมได้จากข้อ 1 ในปริมาตรที่ 0.8 มิลลิลิตร กวนผสมเป็นเวลา 30 นาที ณ อุณหภูมิห้อง จะได้ซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงิน

##### 2. กระบวนการเคลือบผ้าไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีตกชั้นทางเคมี

(1) นำผ้าไหมที่ผ่านกระบวนการฟอกขาวแล้ว ต้มให้ความร้อนกำจัดคราบไขมันและคราบสิ่งสกปรกต่างๆ หลังจากนั้นนำผ้าไหมไปอบให้แห้ง

(2) นำผ้าไหมที่ได้จุ่มแช่ลงในซิลเวอร์คอลลอยด์ที่ผ่านการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 และ 5 โดยอัตราส่วนน้ำหนักซิลเวอร์คอลลอยด์ : น้ำหนักผ้าไหม คือ 1 : 200

จากนั้นนำไปกวนด้วยแท่งแม่เหล็กด้วยความเร็วคงที่เป็นเวลา 60 90 และ 120 นาที ที่อุณหภูมิ 30 60 และ 100 องศาเซลเซียส

(3) ผ้าไหมที่ผ่านการย้อมปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

### 3. กระบวนการเตรียมและเคลือบด้วยโคโตซานลงบนผ้าไหมที่ให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดักจับทางเคมี

(1) เตรียมสารละลายโคโตซาน โดยนำโคโตซานปริมาณ 2 กรัม ละลายในกรดอะซิติกความเข้มข้น 1.0 wt% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และกวนด้วยแท่งแม่เหล็กด้วยความเร็วคงที่ เพื่อให้โคโตซานละลายจนหมด

(2) นำผ้าไหมที่ให้สีด้วยซิลเวอร์มาเคลือบด้วยสารละลายโคโตซานที่เตรียมได้ โดยการจุ่มแช่ผ้าไหมในสารละลายโคโตซาน 24 ชั่วโมง

(3) นำผ้าไปผ่านกระบวนการบีบอัดโดยใช้เครื่องเครื่องบีบอัด (Padder) หลังจากนั้นปล่อยผ้าไหมให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการอบผืนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้โคโตซานยึดติดบนผิวผ้าไหม

### 4. กระบวนการเตรียมและเคลือบมอนต์มอริลโลไนต์ลงบนผ้าไหมที่เคลือบด้วยโคโตซาน/ซิลเวอร์ (Cs/AgNPs) ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดักจับทางเคมี

(1) นำมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ปริมาณ 1 กรัม ละลายในน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในอ่างอัลตราโซนิกอีก 1 ชั่วโมง

(2) นำผ้าไหมที่เคลือบด้วยโคโตซาน/ซิลเวอร์มาเคลือบด้วยแขวนลอยมอนต์มอริลโลไนต์ที่เตรียมได้โดยการจุ่มแช่ผ้าไหมในแขวนลอยมอนต์มอริลโลไนต์ 24 ชั่วโมง

(3) นำไปผ่านด้วยกระบวนการบีบอัดโดยใช้เครื่องเครื่องบีบอัด (Padder) หลังจากนั้นปล่อยผ้าไหมให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากนั้นทำการอบผืนที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้มอนต์มอริลโลไนต์ยึดติดบนผิวผ้าไหม

### ปัญหาที่พบในกระบวนการเคลือบผ้าไหม

กระบวนการที่ได้ทดลองดำเนินการก่อนหน้านี้ คือ เตรียมซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงินแล้วเติมไคโตซาน และมอนต์มอริลโลไนต์ จนได้เป็นคอลลอยด์ของไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต (Cs/AgNPs/MMT) จากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง แล้วนำไปเคลือบบนพื้นผิวผ้าไหมด้วยวิธีใช้เครื่องย้อมและกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก จากการทดลองนี้พบปัญหาคือ สาร Cs/AgNPs/MMT ไม่เกาะบนพื้นผิวผ้าไหม ผ้าไหมไม่เกิดการย้อมติดสีหลังการสิ้นสุดกระบวนการย้อม โดยสีของซิลเวอร์คอลลอยด์ยังคงมีสีน้ำเงินเหมือนเดิม ดังนั้นจึงตัดแปลงการทดลองโดยนำซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงินไปผ่านการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างที่ 4-5 แล้วนำไปให้สีผ้าไหมด้วยวิธีกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเพื่อให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนในคอลลอยด์ไปเกาะบนพื้นผิวผ้าไหมจนหมดก่อน โดยใช้ อัตราส่วนน้ำหนักซิลเวอร์คอลลอยด์ : น้ำหนักผ้าไหม ที่ 1 : 200 ที่อุณหภูมิและเวลาแตกต่างกัน และสังเกตจากสีของคอลลอยด์และผ้าที่เปลี่ยนไป และเลือกคอนดิชันที่คอลลอยด์เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นไม่มีสี ซึ่งพบว่าต้องใช้ อุณหภูมิสูงถึง 100 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำผ้าไหมที่ย้อมติดสีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ไปเคลือบด้วยสารละลายไคโตซานและสารแขวนลอยมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยกระบวนการบีบอัดโดยใช้เครื่องบีบอัดในลำดับถัดไป เพื่อให้เกิดการยึดเกาะบนผิวผ้า

นอกจากนี้การเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีไคโตซานประกอบ ไม่สามารถทำการเคลือบด้วยกระบวนการปั่นกวนที่อุณหภูมิสูง เนื่องจากไคโตซานจะเกิดความหนืดมากที่อุณหภูมิสูงกว่า 60 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงแยกกระบวนการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์กับการเคลือบด้วยสารเคลือบที่มีไคโตซาน

### 3.3.2 การเคลือบผ้าไหมด้วยสารเคลือบซิลเวอร์คอลลอยด์เตรียมด้วยวิธีดักจับด้วยแสงยูวี

#### 1. กระบวนการสังเคราะห์ไคโตซาน/ซิลเวอร์ (Cs/AgNPs) ด้วยวิธีดักจับด้วยแสงยูวี

1. เตรียมสารละลายไคโตซาน โดยนำไคโตซานปริมาณ 2 กรัม ละลายในกรดอะซิติกความเข้มข้น 1.0 wt% ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และกวนด้วยแท่งแม่เหล็กด้วยความเร็วคงที่ เพื่อให้ไคโตซานละลายจนหมด

2. นำสารละลายซิลเวอร์ในเตรต ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมน้ำลงในสารละลายไคโตซานและกวนอย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 30 นาที จะได้เป็นคอมโพสิต Cs/Ag<sup>+</sup>

3. นำคอมโพสิต Cs/Ag<sup>+</sup> ไปฉายภายใต้แสงยูวีความเข้มแสง 980 uW/cm<sup>2</sup> ที่เวลา 1, 2 และ 4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดเป็นคอมโพสิต Cs/AgNPs

## 2. กระบวนการสังเคราะห์โคโตซาน/ซิลเวอร์/มอลโมริลโลไนต์ (Cs/AgNPs/MMT)

### ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี

1. นำมอนต์โมริลโลไนต์(MMT) ปริมาณ 1 กรัม เติมลงในน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร กวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นทำให้กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในอ่างอัลตราโซนิกอีก 1 ชั่วโมง

2. เติมสารแขวนลอยมอนต์โมริลโลไนต์ลงในคอมโพสิต Cs/ Ag<sup>+</sup> กวนอย่างต่อเนื่องเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง ได้เป็นคอมโพสิต Cs/Ag<sup>+</sup>/MMT

3. นำคอมโพสิต Cs/Ag<sup>+</sup>/MMT ไปฉายภายใต้แสงยูวีความเข้มแสง 980 uW/cm<sup>2</sup> เป็นเวลา 1, 2 และ 4 ชั่วโมง เพื่อให้เกิดเป็นคอมโพสิต Cs/AgNPs/MMT

## 3. กระบวนการเคลือบ Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ที่สังเคราะห์ด้วย

### วิธีรีดักชันด้วยแสงยูวีลงบนผ้าไหม

(1) นำผ้าไหมที่ผ่านกระบวนการฟอกขาวแล้ว ต้มให้ความร้อนกำจัดคราบไขมันและคราบสิ่งสกปรกต่างๆ หลังจากนั้นนำผ้าไหมไปอบให้แห้ง

(2) นำผ้าไหมมาเคลือบด้วยคอมโพสิต Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ที่เตรียมได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันโดยใช้แสง โดยการจุ่มแช่ผ้าไหมในคอมโพสิตเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

(3) นำผ้าที่ได้ไปผ่านกระบวนการบิอัดโดยใช้เครื่องบิอัด (Padder) หลังจากนั้นปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง และทำการอบผนึกที่แอมพูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที เพื่อให้มอนต์โมริลโลไนต์ยึดติดบนผิวผ้าไหม

### ปัญหาที่พบในกระบวนการเคลือบผ้าไหม

ซิลเวอร์คอลลอยด์ที่เตรียมจากกระบวนการรีดักชันด้วยแสงยูวี ไม่ให้สีน้ำเงินเข้มเหมือนที่ได้จากกระบวนการรีดักชันทางเคมี โดยสีของคอลลอยด์ที่ได้หลังฉายแสงจะมีสีออกไปทางเหลือง หรือน้ำตาลอ่อน และค่อนข้างใส จึงยากต่อการสังเกตการเกิดสีบนผ้าไหม และเนื่องจากในกระบวนการรีดักชันซิลเวอร์ไอออนด้วยแสงมีการเติมโคโตซานลงไปด้วย (สารละลายโคโตซานมีความหนืดที่ความร้อนมากกว่า 60 องศาเซลเซียส) เพื่อเป็นตัวช่วยในกระบวนการรีดักชันและเพิ่มเสถียรของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ดังนั้นจึงใช้การเคลือบผิวสารที่เตรียมได้ด้วยกระบวนการบิอัดโดยใช้เครื่องบิอัดช่วยการยึดเกาะสารเคลือบบนผ้าเลยขั้นตอนเดียว

### 3.4 การวิเคราะห์ผล และทดสอบสมบัติ

#### 3.4.1 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค

วิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของตัวอย่างด้วยเครื่อง Field emission scanning electron microscope (FESEM) ยี่ห้อ JEOL รุ่น JSM-7001F ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดที่มีแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนแบบ Schottky type field-emission (T-FE) โดยใช้ความต่างศักย์ที่ 10 kV

#### 3.4.2 การวิเคราะห์การดูดกลืนแสง

วิเคราะห์การดูดกลืนแสงของซิลเวอร์คอลลอยด์ด้วย UV/Vis Spectrophotometers ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น LAMBDA 35 ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ที่ช่วงความยาวคลื่น 300 - 900 นาโนเมตร เพื่อศึกษาสีและสมบัติการดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในซิลเวอร์คอลลอยด์ ซึ่งอนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่มีรูปร่างและขนาดที่ต่างกันจะแสดงสมบัติการดูดกลืนแสงและการกระเจิงแสงที่ต่างกัน เนื่องจากสมบัติ Localized Surface Plasmon Resonance (LSPR)



รูปที่ 3.14 เครื่อง UV/Vis Spectrophotometers ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น LAMBDA

### 3.4.3 การวัดเฉดสีและความเข้มสี

#### 3.4.3.1 การวัดเฉดสี ระบบสี CIE L\*a\*b\* (CIELAB)

ทดสอบเฉดสีด้วยระบบสี CIE L\*a\*b\* หรือ CIELAB โดยการใช้เครื่อง Color-Eye 7000A spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth แสดงดังรูปที่ 3.2 โดยที่ตัวอย่างจะถูกวัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub> (illuminant D<sub>65</sub>) ใช้ standard observer ที่ 10° และใช้โหมดวัดการสะท้อนแสงที่รวมความมันเงา (specular included) ซึ่งการวิเคราะห์สีของระบบ CIE L\*a\*b\* นั้นแปรผลค่าออกมาดังนี้

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\*)

#### 3.4.3.2 การทดสอบความเข้มสี (K/S)

ความเข้มสี (color strength) ในวัสดุสิ่งทอจะใช้เทคนิคการวัดการสะท้อนของแสงที่วิเคราะห์ได้จากค่า K/S ซึ่งเป็นค่าที่คำนวณจากค่าการสะท้อนแสงตามทฤษฎีของ Kubelka-Munk ดังสมการที่ 3.1 ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่อง Color-Eye 7000A spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.15 เครื่อง Color-Eye 7000A spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth

ในการทดสอบกำหนดความยาวคลื่น ในช่วง 360 – 780 นาโนเมตร โดยที่ตัวอย่าง จะถูกวัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสง  $D_{65}$  (illuminant  $D_{65}$ ) ใช้ standard observer ที่  $10^\circ$  และ ใช้โหมดวัดการสะท้อนแสงที่รวม ความมันเงา (specular included)

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

เมื่อ  $R$  = ค่าการสะท้อนแสงของชิ้นตัวอย่าง

$K$  = ค่าการดูดกลืนแสงของชิ้นตัวอย่าง

$S$  = ค่าการกระเจิงแสงของชิ้นตัวอย่าง

สำหรับงานวัสดุสิ่งทอจะถือว่าไม่มีการกระเจิงแสงในวัสดุที่ย้อมติดสี เนื่องจากสีที่ใช้ ย้อมจะละลายเข้าไปเป็นเนื้อเดียวกันกับสิ่งทอ ดังนั้นค่า  $K$  และ  $S$  ของสีและของสิ่งทอจึงเป็น ค่าเดียวกัน ซึ่งในกรณีที่ย้อมและเคลือบสิ่งทอด้วยอนุภาค สามารถใช้  $K/S$  ในการวิเคราะห์ ความเข้มสีและการเคลือบติดของอนุภาคบนผิวสิ่งทอได้ โดยถ้าค่า  $K/S$  มีค่าสูง แสดงว่า สามารถยึดติดอนุภาคได้ดี

#### 3.4.4 การทดสอบความสม่ำเสมอของสี (RUI)

การวัดค่า Relative unevenness index (RUI) ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยเครื่อง Color-Eye 7000A spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth แสดงดังรูปที่ 3.3 ในการ ประเมินความสม่ำเสมอของตัวอย่างผ้าไหม โดยค่า RUI สามารถคำนวณหาได้โดยการวัดค่า การสะท้อนแสง (reflectance, %R) โดยนำค่าที่วัดได้มาหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการ สะท้อนแสงในแต่ละความยาวคลื่น ( $S_\lambda$ ) และหาค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนแสงของจำนวน การวัดความยาวคลื่นแต่ละช่วง ( $R$ ) ตามสมการที่ 3.2

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

เมื่อ  $S_\lambda$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าการสะท้อนแสงในแต่ละความยาวคลื่น

$R$  = ค่าเฉลี่ยของค่าการสะท้อนแสงของจำนวนการวัดความยาวคลื่นแต่ละช่วง

หลังจากนั้นจะทำการวัดค่าการสะท้อนแสงบนผ้า 20 จุด กำหนดช่วงความยาวคลื่นที่ 400-700 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง Color-Eye 70 00A spectrophotometer ยี่ห้อ GretagMacbeth โดยที่ตัวอย่างจะถูกวัดภายใต้แหล่งกำเนิดแสง D<sub>65</sub> (illuminant D<sub>65</sub>) ใช้ standard observer ที่ 10° และใช้โหมควัดการสะท้อนแสงที่รวมความมันเงา (specular included) หลังจากนั้นนำค่าการสะท้อนแสง (reflectance, R) ที่วัดได้มาคำนวณหาค่า RUI ดัง สมการที่ 3.2 และทำการประเมินค่าความสม่ำเสมอของสีที่ปรากฏออกมาดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 ตารางการแปรความหมายของค่า Relative unlevelness index (RUI)

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

### 3.4.5 การทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรีย

ทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียโดยใช้วิธีทดสอบ J.I.S Z 2801:2010 โดยการนำผ้าไหม ขนาด 5x5 เซนติเมตร จำนวนตัวอย่างละ 3 ชิ้น ใช้ปริมาณเชื้อในการทดสอบ 0.4 มิลลิลิตร ต่อตัวอย่าง โดยทดสอบกับเชื้อ แบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* และ *E. coli* ที่ผ่านการเจือจางให้ได้จำนวนเชื้อทดสอบตั้งต้นที่ 10<sup>6</sup> CFU/ml จากนั้นทำการเขย่าให้ตัวอย่างสัมผัสกับเชื้อแบคทีเรียที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วดูดสารแขวนลอยแบคทีเรียปริมาตร 100 ไมโครลิตร ถ่ายลงสู่วุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อในจานเพาะเชื้อ แล้วเกลี่ยให้ทั่ววุ้นอาหาร แล้วทำการบ่มจานเพาะเชื้อไว้ในตู้บ่มเพาะเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ความชื้นร้อยละ 90 สังเกตการเปลี่ยนแปลงโดยการนับจำนวนโคโลนีที่ยังมีชีวิต เพื่อคำนวณหาร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรียโคโลนี ดังสมการที่ 3.3

$$\%R = \frac{(B-A) \times 100}{B} \quad \text{สมการที่ 3.3}$$

เมื่อ %R = เปอร์เซ็นต์การลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

A = จำนวนของแบคทีเรียหลังการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 24)

B = จำนวนของแบคทีเรียก่อนการทดสอบ (ชั่วโมงที่ 0)

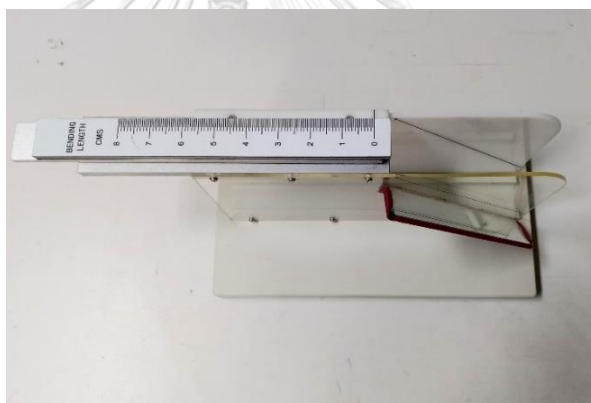


### ตารางที่ 3.3 ระดับความสามารถในด้านเชื้อแบคทีเรีย

เปอร์เซ็นต์การลดลงของจำนวนแบคทีเรีย	ความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย
มากกว่าหรือเท่ากับ 99.95	ดีเยี่ยม
99.95 ถึง 99.90	ดี
น้อยกว่า 99.90	ไม่ผ่านเกณฑ์

### 3.4.6 การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าจากค่าสภาพแข็งดัดโค้ง (Flexural rigidity)

การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าจากค่าสภาพแข็งดัดโค้งตามมาตรฐานการ ASTM D1388 โดยใช้เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างทำการทดสอบดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.16 เครื่องทดสอบความแข็งกระด้างของผ้ายี่ห้อ SDL Atlas

ในการทดสอบโดยเตรียมชิ้นผ้าทดสอบขนาด 2.5 x 20 เซนติเมตร วางชิ้นทดสอบบนพื้นอุปกรณ์ทดสอบโดยจับปลายผ้าขึ้นทดสอบให้วางอยู่ในแนวเส้นเริ่มต้น วางแผ่นน้ำหนักที่ทำด้วยโลหะกดทับผ้า โดยกำหนดให้ตำแหน่งศูนย์บนแผ่นน้ำหนักอยู่ในตำแหน่งเดียวกับปลายผ้าที่ตำแหน่งเริ่มต้น เลื่อนแผ่นกดทับไปตามแนวราบ จากนั้นค่อยๆ สักเกตปลายผ้าของชิ้นทดสอบ โดยกำหนดสายตาในตำแหน่งที่มองแนวเส้นแถบสีดำในกระจกเงาซ้อนทับกันสนิท สังเกตปลายผ้าของชิ้นทดสอบด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านและแถบเส้นสีดำที่มองเห็นซ้อนทับกัน อ่านค่าความยาวของการโค้งงอจากสเกลบนแผ่นน้ำหนัก จากนั้นนำมาคำนวณค่าสภาพแข็งดัดโค้ง (flexural rigidity) ของแต่ละแนวผ้าตามแนวด้ายยืนและแนวด้ายพุ่ง จากสมการที่ 3.4

$$G = W \times C^3$$

สมการที่ 3.4

เมื่อ G = ค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้ง (กรัม•เซนติเมตร)

W = น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่ (กรัมต่อตารางเซนติเมตร)

C = ค่าความยาวโค้งงอ (เซนติเมตร)

### 3.4.7 การทดสอบคุณสมบัติการทนไฟ

วิธีทดสอบความสามารถในการติดไฟในแนวตั้ง (Vertical Flammability Test Method) ใช้อุปกรณ์ทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.5 ด้วยวิธีทดสอบ 16 CFR.1615 และ 1616 ขนาดตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคือ  $3\frac{1}{2} \times 10$  นิ้ว ปลายเปิด ตัวอย่างทดสอบถูกจับยึดในแนวตั้ง จากนั้นจึงเผาตัวอย่างจากขอบด้านล่างด้วยเปลวไฟที่เกิดจากก๊าซมีเทน โดยเปลวไฟมีความยาวประมาณ 1.5 นิ้ว ทำการเผาตัวอย่างเป็นเวลา 3 วินาที หลังจากนั้นก็วัดความยาวของถ่านของของแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างอ้างอิงมาตรฐาน ASTM standard D3659 ตัวอย่างต้องมีความยาวของถ่านเฉลี่ยไม่เกิน 7 นิ้ว และไม่มีตัวอย่างใดที่มีความยาวของถ่าน 10 นิ้ว



รูปที่ 3.17 อุปกรณ์ทดสอบความสามารถในการติดไฟในแนวตั้ง  
(Vertical Flammability Test Metho

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

### 4.1 ผลการสังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีและสภาวะในการให้สีผ้าไหม

#### 4.1.1. ผลของค่าความเป็นกรด-ด่างของซิลเวอร์คอลลอยด์ในการให้สีผ้าไหม

จากการวิจัยของชนิกานต์ มูรัตน์ [26] ได้ทดสอบการย้อมสีเส้นด้ายไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ พบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 และ 5 เส้นด้ายไหมสามารถย้อมติดสีติดสีจากอนุภาคสีนาโนซิลเวอร์ได้ดี เนื่องจากในสภาวะที่เป็นกรดค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 และ 5 เส้นด้ายไหมจะมีประจุที่ผิวเป็นบวก ซึ่งเกิดจากหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) ในเส้นด้ายไหมสามารถดูดซับ  $H^+$  จากกรดได้เป็น  $NH_3^+$  จากนั้นประจุบวกที่ผิวของเส้นด้ายไหมจะเกิดแรงดึงดูดกับประจุลบที่ผิวของอนุภาคสีนาโนซิลเวอร์ ทำให้อนุภาคสีนาโนซิลเวอร์สามารถเคลือบเกาะติดบนผิวของเส้นไหมได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้นำค่า pH ที่ 4 และ 5 เป็นค่าความเป็นกรด-ด่างอ้างอิงในการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของอนุภาคสีซิลเวอร์คอลลอยด์เพื่อนำมาใช้ในการย้อมสีบนผ้าไหม โดยทำการเตรียมซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยใช้  $NaBH_4$  0.8 ml เป็นตัวรีดิวซ์ โดยอนุภาคสีซิลเวอร์คอลลอยด์เริ่มต้นมีค่าความเป็นกรด-ด่าง คือ pH เท่ากับ 7 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ก) หลังจากนั้นทำการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างของอนุภาคสีซิลเวอร์คอลลอยด์ให้มีค่าเท่ากับ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข) และ เท่ากับ 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.1(ค)

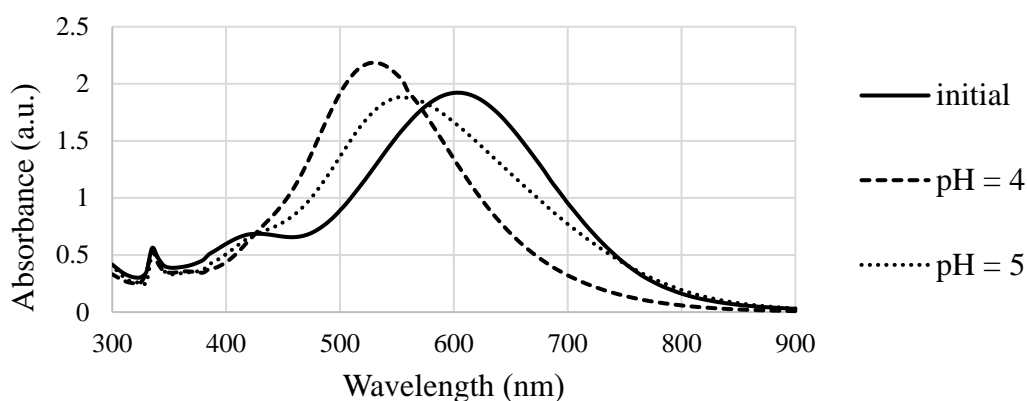


รูปที่ 4.18 แสดงสีของอนุภาคสีซิลเวอร์คอลลอยด์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกัน

(ก) เริ่มต้น (ข) pH = 4 และ (ค) pH = 5

รูปที่ 4.1 (ก) คือ ซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้ในสภาวะเริ่มต้นซึ่งมีค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 7 พบว่าคอลลอยด์มีเฉดสีน้ำเงิน ส่วนซิลเวอร์คอลลอยด์ที่ผ่านการปรับค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยกรดอะซิติกให้มีค่า เท่ากับ 4 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ข) พบว่าสีซิลเวอร์คอลลอยด์เปลี่ยนเป็นเฉดสีม่วง และซิลเวอร์คอลลอยด์ที่ปรับค่ากรด-ด่าง เป็น 5 ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ค) พบว่าสีซิลเวอร์คอลลอยด์เปลี่ยนเป็นเฉดสีน้ำเงินที่เข้ม ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเฉดสีของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์สามารถอธิบายได้ด้วยกราฟดูดกลืนแสง ดังรูปที่ 4.2

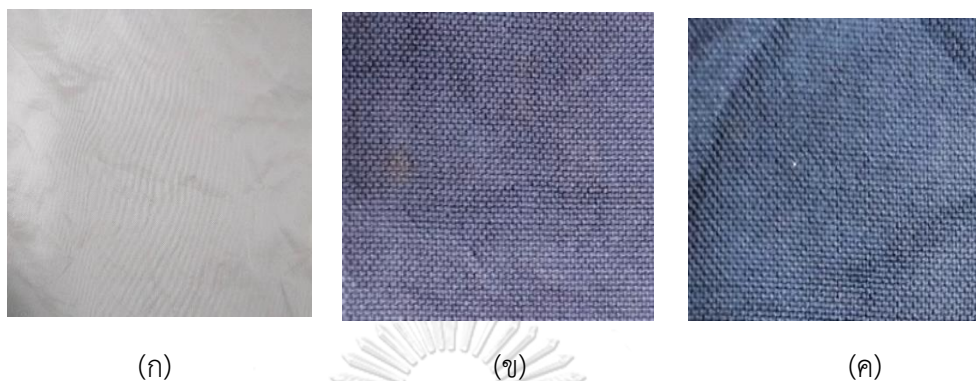
จากการศึกษาสีของซิลเวอร์คอลลอยด์ด้วยเครื่อง UV/Vis spectrophotometer แสดงผลเป็นค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ โดยตำแหน่งพีคที่ได้จะอยู่ในช่วง 740 – 400 นาโนเมตร ไล่จากสีน้ำเงินไปจนถึงสีเหลือง ซึ่งช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวคือช่วงแสงที่ตามองเห็นได้ (visible light) โดยเส้นสเปกตรัมที่เกิดขึ้นของแต่ละสีซิลเวอร์คอลลอยด์สามารถใช้อธิบายช่วงสีของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ในรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.19 กราฟดูดกลืนแสงของซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนและหลังปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง

รูปที่ 4.2 จากกราฟดูดกลืนแสงพบว่าอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงินก่อนปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง pH เท่ากับ 7 (initial) ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 605 นาโนเมตร เมื่อปรับค่าความเป็นกรด - ด่างเท่ากับ 4 และ 5 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดมีการเลื่อนไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลง โดยพบว่าค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 4 ซึ่งอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์เป็นสีม่วงแสดงค่าดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร และค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ซึ่งอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์เป็นสีน้ำเงินเข้มแสดงตำแหน่งพีคที่ความยาวคลื่น 555 นาโนเมตร โดยลักษณะการขยับไปทางความยาวคลื่นที่สั้นลงเกิดจากอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์มีขนาดลดลง [4,28]

เมื่อนำซิลเวอร์คอลลอยด์ที่มีค่าความเป็นกรด-ต่างแตกต่างกันมาให้สีผ้าไหมด้วยกระบวนการ  
กวนด้วยแท่งแม่เหล็กด้วยความเร็วคงที่ จะได้สีของผ้าไหมแสดงดังรูปที่ 4.3



**รูปที่ 4.20** ผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนและหลังปรับค่ากรด-ต่าง  
(ก) ก่อนการปรับค่ากรด-ต่าง ( $\text{pH} = 7$ ) (ข) ปรับค่าความเป็นกรด-ต่าง ให้มีค่า  $\text{pH} = 4$   
และ (ค) ปรับค่าความเป็นกรด-ต่าง ให้มีค่า  $\text{pH} = 5$

รูปที่ 4.3 แสดงผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนผ่านการปรับกรด-  
ต่าง (เริ่มต้น  $\text{pH}$  เท่ากับ 7) พบว่าผ้าไหมไม่สามารถให้สีด้วยอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงินได้ ซึ่ง  
สีของผ้าไหมยังคงสีเดิม และหลังจากปรับค่าความเป็นกรด-ต่างของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ให้มี  
ค่า  $\text{pH}$  เท่ากับ 4 พบว่าเฉดสีของผ้าไหมที่ย้อมได้เปลี่ยนจากเดิมเป็นสีม่วง ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ข)  
และเมื่อปรับค่าความเป็นกรด-เบสของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ให้มีค่า  $\text{pH}$  เท่ากับ 5 เฉดสีของผ้า  
ไหมได้เปลี่ยนจากเดิมเป็นสีน้ำเงิน สอดคล้องกับสีของซิลเวอร์คอลลอยด์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (ค) ซึ่ง  
พบว่า การปรับค่า  $\text{pH}$  ของซิลเวอร์คอลลอยด์มีความสำคัญต่อการให้สีอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์บน  
ผ้าไหม เนื่องจากผ้าไหมมีสมบัติเป็นสารแอมโฟเทอริกที่มีประจุทั้งประจุบวกและประจุลบขึ้นอยู่กับค่า  
 $\text{pH}$  ของสิ่งแวดล้อม ในสถานะที่เป็นกรดช่วง  $\text{pH}$  ประมาณ 4-5 ผ้าไหมจะมีประจุที่พื้นผิวเป็นบวก  
ในทางตรงกันข้ามอนุภาคซิลเวอร์ในคอลลอยด์มีประจุที่พื้นผิวเป็นลบทำให้เกิดแรงดึงดูดของไฟฟ้า  
สถิต (electrostatic attraction) ระหว่างประจุที่พื้นผิวแตกต่างกัน ส่งผลให้อนุภาคซิลเวอร์  
คอลลอยด์สามารถไปเกาะบนพื้นผิวผ้าไหมได้ ซึ่งในสถานะกรดที่ค่า  $\text{pH}$  ช่วง 4-5 สาเหตุที่พื้นผิวผ้า  
ไหมมีประจุบวก ( $\text{NH}_3^+$ ) เกิดจากหมู่เอมิโน ( $-\text{NH}_2$ ) ของผ้าไหมสามารถดูดซับ  $\text{H}^+$  จากกรดอะซิติกได้  
แต่ในทางกลับกันที่  $\text{pH}$  สูงกว่า 5 พบว่าผ้าไหมและอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์มีประจุลบที่พื้นผิว

เหมือนกัน ทำให้เกิดแรงผลักระหว่างกัน ยกตัวอย่างในรูปที่ 3 (ก) ผ้าไหมไม่สามารถติดสีซิลเวอร์คอลลอยด์ที่ค่า pH เท่ากับ 7 ได้ [24,27]

#### 4.1.2 ผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดต่อการให้สีผ้าไหม

##### 4.1.2.1 เจดสีและความเข้มสีของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์

ค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรด 0.1 และ 0.2 มิลลิโมลาร์ และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 และ 5 ดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรดจาก 0.1 เป็น 0.2 มิลลิโมลาร์ และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 เป็น 5 พบว่าค่าความสว่างของสี ( $L^*$ ) ลดลง ค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้น แสดงว่ามีค่าความเป็นสีเขียวลดลง และ  $b^*$  เป็นลบมากขึ้นแสดงว่ามีค่าสีน้ำเงินมากขึ้น สีน้ำเงินจึงเด่นชัดมากขึ้น

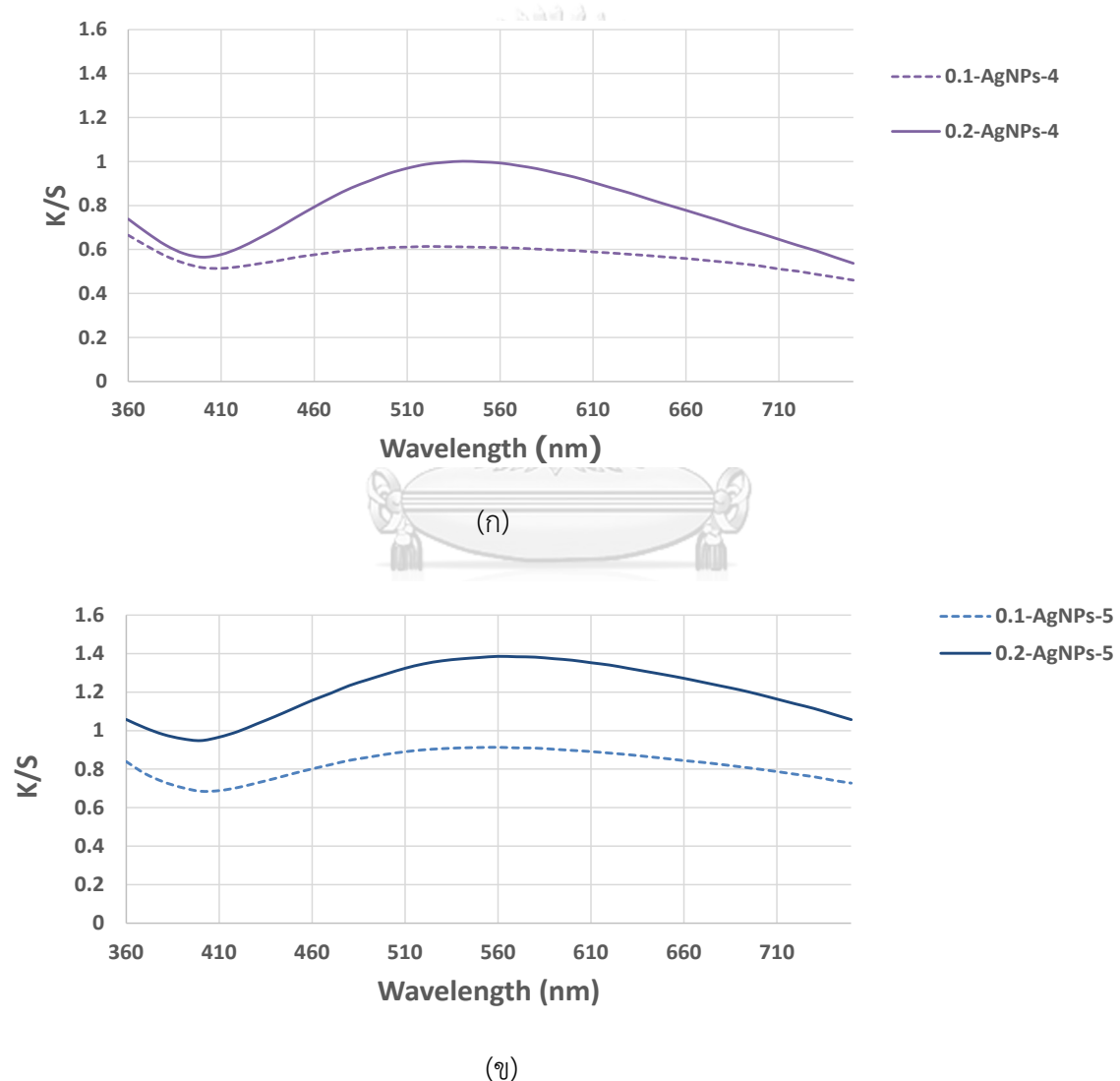
ตารางที่ 4.4 ค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี ปรับความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรดและความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน

ค่าสี	0.1-AgNPs-4	0.2-AgNPs-4	0.1-AgNPs-5	0.2-AgNPs-5
$L^*$	65.79	59.22	60.42	54.48
$a^*$	1.35	1.73	1.56	1.82
$b^*$	-1.49	-2.71	-3.27	-4.6

การเพิ่มความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรดจาก 0.1 เป็น 0.2 มิลลิโมลาร์ ทำให้ซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้เกิดจำนวนอนุภาคนาโนซิลเวอร์ในระบบที่มากขึ้น อนุภาคซิลเวอร์นาโนไปเกาะบนผิวผ้าไหมมีจำนวนมากขึ้น ค่าความเข้มสีจึงมีค่าเพิ่มขึ้นไปด้วย นอกจากนี้ปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง สูงขึ้นจาก 4 เป็น 5 ทำให้เพิ่มความเข้มสีของผ้าไหมที่เคลือบด้วยซิลเวอร์ด้วยเช่นกัน ยืนยันจากค่าความเข้มสี ( $K/S$ ) ที่ความยาวคลื่น 560 นาโนเมตร พบว่าความเข้มข้นสารละลายซิลเวอร์

ไนเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ การปรับค่า pH เท่ากับ 4 มีค่า K/S เท่ากับ 0.993 ซึ่งน้อยกว่าการปรับค่า pH เท่ากับ 5 มีค่า K/S เท่ากับ 1.386 ดังแสดงในรูปที่ 4.4

จากการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตและผลของค่าความเป็นกรด-ด่างต่อความเข้มสีผ้าไหม พบว่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ และปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 ของซิลเวอร์คอลลอยด์ คือตัวอย่างที่ให้ค่าความเข้มสีของผ้าที่ดีที่สุด ดังนั้นจึงเหมาะสมที่จะนำไปศึกษาการเตรียมเป็นคอมโพสิตร่วมกับไคซาน (Cs) และมอนต์มอริลโลไนต์ (MMT) ต่อไป



รูปที่ 4.21 ผลของการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรตต่อความเข้มสีผ้าไหมซิลเวอร์คอลลอยด์ปรับ (ก) pH = 4 และ(ข) pH = 5 ก่อนให้สีผ้าไหม

#### 4.1.2.2 ความสม่ำเสมอของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีซิลเวอร์คอลลอยด์

ผลของความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ของผ้าไหมผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดักจับทางเคมี ปรับความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรต 0.1 และ 0.2 มิลลิโมลาร์ และปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 4 และ 5 ทั้งนี้กระบวนการให้สีผ้าไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์อนุภาคซิลเวอร์นาโนไปเกาะบนผิวผ้าไหมไม่สม่ำเสมอดีนัก แต่อย่างไรก็ตามค่า RUI ยังอยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าต่ำกว่า 0.2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม จากข้อมูลพบว่าความเข้มข้นของสารละลายซิลเวอร์ในเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ ซิลเวอร์คอลลอยด์ปรับค่าความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 5 คือตัวอย่างที่มีความสม่ำเสมอที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 4.2

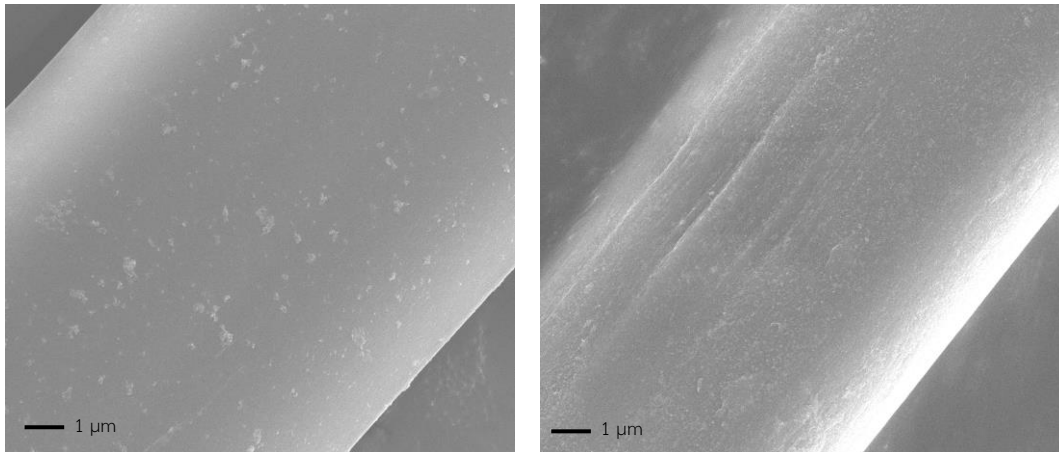
**ตารางที่ 4.5** ผลของความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดักจับทางเคมี ปรับความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรตและความเป็นกรด-ด่างที่แตกต่างกัน

ตัวอย่าง	0.1-AgNPS-4	0.2-AgNPS-4	0.1-AgNPS-5	0.2-AgNPS-5
ค่า RUI	0.172	0.071	0.094	0.027

#### 4.1.2.3 โครงสร้างจุลภาคของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีซิลเวอร์คอลลอยด์

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน (AgNPs) ความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรต (ก) 0.1 และ (ข) 0.2 มิลลิโมลาร์ จากภาพถ่าย FESEM ที่กำลังขยาย 8000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าอนุภาคกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอและความเข้มข้นที่แตกต่างกันมีผลกับจำนวนอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่กระจายบนพื้นผิว ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ ปรากฏอนุภาคซิลเวอร์นาโนกระจายอยู่บนพื้นผิวจำนวนมากว่าที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรต 0.1 มิลลิโมลาร์ เนื่องจากความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรตที่มากกว่าทำให้เกิดซิลเวอร์ไอออนจำนวนมากว่า ทำให้เกิดจำนวนซิลเวอร์ไอออนที่ถูกรีดิวซ์เป็นอนุภาคซิลเวอร์นาโนได้มากกว่า ซึ่งทำให้ได้สีผ้าไหมที่เข้มกว่า



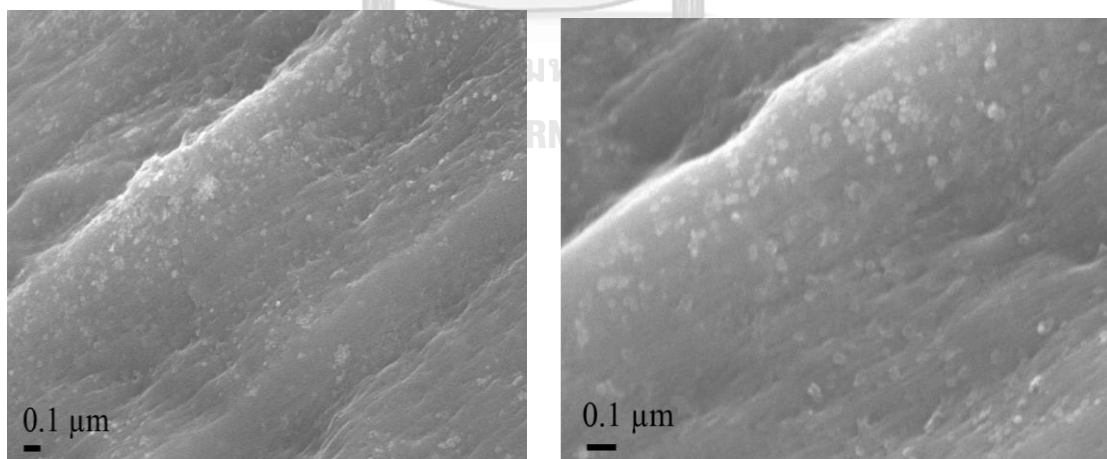


(ก)

(ข)

**รูปที่ 4.22** ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs ที่ความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  (ก) 0.1 mM และ (ข) 0.2 mM ที่กำลังขยาย 8000X

นอกจากนี้จากการศึกษาภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs ใช้ความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  0.2 มิลลิโมลาร์ ที่กำลังขยายเพิ่มขึ้น พบว่าที่กำลังขยาย 30000 (ก) และ 60000 (ข) เท่า พบอนุภาคซิลเวอร์นาโนกระจายตัวบนพื้นผิวผ้าไหมอย่างไม่สม่ำเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



(ก)

(ข)

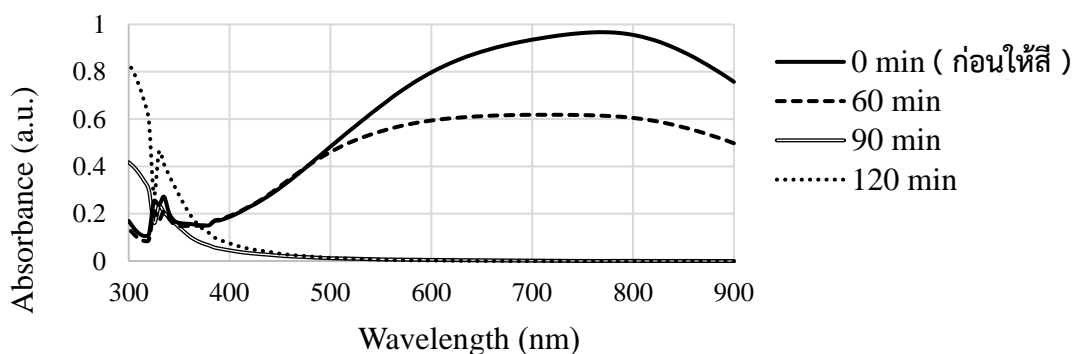
**รูปที่ 4.23** ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs ใช้ความเข้มข้นของ  $\text{AgNO}_3$  0.2 mM ที่กำลังขยาย 30000X และ 60000x

### 4.1.3 ผลของเวลาในการให้สีผ้าไหม

ตารางที่ 4.6 แสดงสภาวะที่ใช้ในการศึกษาผลของเวลาในการให้สีผ้าไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์

รายละเอียด	สภาวะที่ใช้
สีของคอลลอยด์	น้ำเงิน
ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต	0.2
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	pH= 5
อัตราส่วนน้ำหมักผ้าไหม : ซิลเวอร์คอลลอยด์	1 : 200
วิธีการให้สี	กวนด้วยแท่งแม่เหล็กด้วยความเร็วคงที่
อุณหภูมิ	100 องศาเซลเซียส
ระยะเวลาที่ใช้	0, 60 , 90 และ 120 นาที

ผลของค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ เมื่อผ่านเวลาการให้สีผ้าไหม ที่ 0, 60, 90 และ 120 นาที อุณหภูมิการให้สี 100 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.7 พบว่าก่อนการนำไปให้สีที่เวลา 0 นาที ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดอยู่ที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 770 นาโนเมตร เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์มีค่าลดลงเนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนบางส่วนไปเกาะติดไปบนพื้นผิวผ้าไหม เมื่อเวลาการให้สีผ่านไป 90 และ 120 นาที ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเข้าใกล้ประมาณ 0 a.u. แสดงว่าเวลาผ่านไปตั้งแต่ 90 นาที และ 120 นาทีอนุภาคซิลเวอร์นาโนได้ไปเกาะบนพื้นผิวผ้าไหมทั้งหมด จึงเลือกใช้เวลาในการให้สีที่ 90 นาที เนื่องจากเป็นเวลาที่สั้นที่สุดที่ทำให้เกิดการให้สีที่สมบูรณ์



รูปที่ 4.24 แสดงค่าการดูดกลืนแสง UV ของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงิน เมื่อเวลาผ่านไป 0, 60, 90 และ 120 นาที

รูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนให้สี (pH เท่ากับ 5) และหลังให้สีผ้าไหม พบว่าคอลลอยด์เปลี่ยนแปลงสีจากสีน้ำเงินเข้มเป็นไม่มีสี นั้นแสดงว่าหลังการให้สีไม่หลงเหลืออนุภาคซิลเวอร์นาโนในคอลลอยด์ เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนในคอลลอยด์ไปเกาะบนผ้าไหมจนหมด ซึ่งผ้าไหมที่ให้สีซิลเวอร์คอลลอยด์อุณหภูมิการให้สี 100 องศาเซลเซียส เวลา 90 นาที สอดคล้องกับผลการทดสอบข้างต้น



รูปที่ 4.25 แสดงการเปลี่ยนแปลงสีของซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนและหลังการให้สีผ้าไหม ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เมื่อเวลาผ่านไป 90 นาที

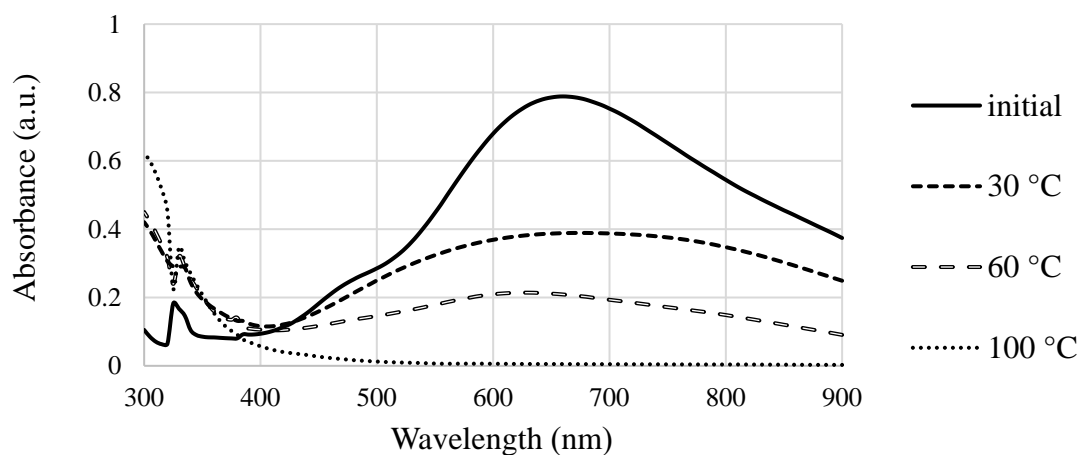
#### 4.1.4 ผลของอุณหภูมิในการให้สีผ้าไหม

ตารางที่ 4.7 แสดงสถานะที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิในการให้สีผ้าไหม

รายละเอียด	สถานะที่ใช้
สีของคอลลอยด์	น้ำเงิน
ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรต	0.2
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	pH = 5
อัตราส่วนน้ำหนักผ้าไหม : ซิลเวอร์คอลลอยด์	1 : 200
วิธีการให้สี	กวนด้วยแท่งแม่เหล็กด้วยความเร็วคงที่
อุณหภูมิ	30 , 60 และ 100 องศาเซลเซียส
ระยะเวลาที่ใช้	90 นาที

ผลค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ก่อนการให้สีและหลังการให้สีบนผ้าไหมที่อุณหภูมิ 30, 60 และ 100 องศาเซลเซียส ด้วยเวลาการให้สี 90 นาที เท่ากัน พบว่าสีของซิลเวอร์คอลลอยด์จางลงตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนได้ไปเคลือบบนพื้นผิวผ้าไหมทำให้จำนวนอนุภาคซิลเวอร์ในซิลเวอร์คอลลอยด์ลดลง ค่าการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์คอลลอยด์จึงลดลงตามลำดับ

จากรูปที่ 4.9 ค่าการดูดกลืนแสงของอนุภาคซิลเวอร์นาโนในคอลลอยด์สีน้ำเงินหลังผ่านการให้สีผ้าไหมที่อุณหภูมิ 30,60 และ 100 องศาเซลเซียส เทียบกับค่าดูดกลืนแสงก่อนการให้สีที่มีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดประมาณ 0.8 a.u. ที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 660 นาโนเมตร เมื่อเวลาในการให้สีผ่านไป 90 นาที พบว่าอุณหภูมิการให้สี 30 องศาเซลเซียส ได้ค่าการดูดกลืนแสงลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของค่าดูดกลืนแสงเริ่มต้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการให้สีเป็น 60 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการดูดกลืนแสงลดลงไปอีกประมาณสามส่วนสี่ของค่าเริ่มต้น หลังจากนั้นได้เพิ่มอุณหภูมิการย้อมสีเป็น 100 องศาเซลเซียส พบว่าค่าการดูดกลืนแสงลดลงต่ำมากจนเข้าใกล้ 0 a.u. แสดงว่าที่อุณหภูมิการให้สี 100 องศาเซลเซียส อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่อยู่ในคอลลอยด์ได้เกาะบนพื้นผิวผ้าไหมได้เกือบทั้งหมด จึงเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลือกใช้ในการให้สีในงานวิจัยนี้






รูปที่ 4.26 แสดงค่าการดูดกลืนแสงของซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงิน (pH=5) หลังจากผ่านการให้สีที่อุณหภูมิ 30,60 และ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา เวลา 90 นาที เทียบกับค่าดูดกลืนแสงอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ตั้งต้น

#### 4.1.5 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานและมอนต์มอริลโลไนต์คอมโพสิต ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีดักชั้นทางเคมี

##### 4.1.5.1 ผลต่อเฉดสีและความเข้มสีของผ้าไหม

ค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์นาโน (AgNPs) Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT มีเฉดสีที่ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 4.5 โดยผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT เปรียบเทียบกับผ้าที่ให้สีด้วย AgNPs พบว่าค่าความสว่างของสี ( $L^*$ ) เพิ่มขึ้น มีค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้นที่ใกล้เคียงกัน แสดงว่าความเป็นสีเขียวลดลงใกล้เคียงกัน อีกทั้งพบว่าผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs /MMT ทำให้ค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นแสดงว่ามีความเป็นสีน้ำเงินลดลง โดยผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย Cs/AgNPs มีความเป็นสีน้ำเงินลดลงมากกว่าผ้าไหมที่ให้สีโดย Cs/AgNPs/MMT

ตารางที่ 4.8 ค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5

ค่าสี			
	0.2-AgNPs-5	0.2-Cs/AgNPs-5	0.2-Cs/AgNPs/MMT-5
$L^*$	54.48	60.82	69.4
$a^*$	1.82	3.37	3.33
$b^*$	-4.6	2.8	1.14

#### 4.1.5.2 ผลต่อความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหม

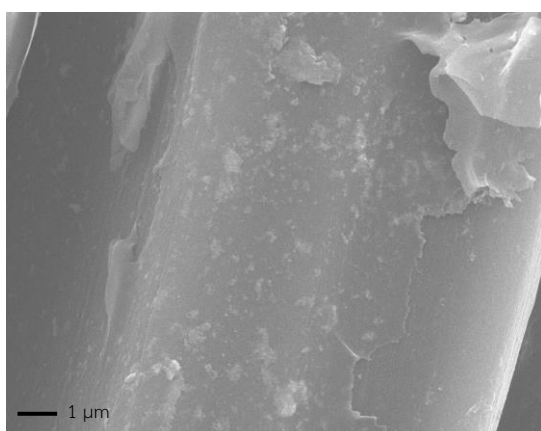
ผลของความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี โดยใช้ความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 ทั้งนี้กระบวนการให้สีผ้าไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ อนุภาคซิลเวอร์นาโนไปเกาะบนผิวผ้าไหมไม่สม่ำเสมอ แต่อย่างไรก็ตามค่า RUI ยังอยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าต่ำกว่า 0.2 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม

**ตารางที่ 4.9** ผลต่อความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมของของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT โดยใช้ความเข้มข้นซิลเวอร์ไนเตรต 0.2 มิลลิโมลาร์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 5

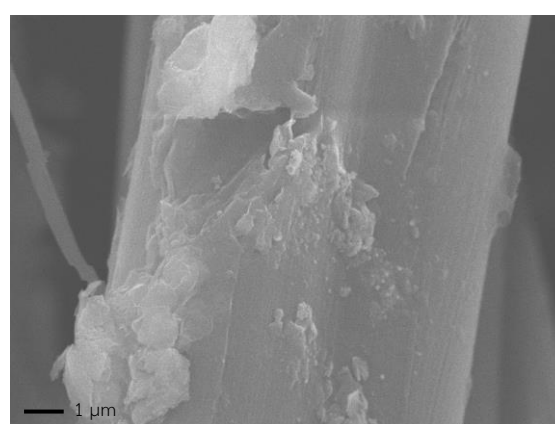
ตัวอย่าง	0.2-AgNPS-5	0.2-Cs/AgNPS-5	0.2-AgNPS//MMT-5
ค่า RUI	0.027	0.099	0.089

#### 4.1.5.3 ผลต่อโครงสร้างจุลภาคของผ้าไหม

จากการศึกษาภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ (ก) Cs/AgNPs และ (ข) Cs/AgNPs/MMT ที่กำลังขยาย 8000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.10 พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ (ก) Cs/AgNPs ปรากฏลักษณะเยื่อแผ่นบางๆของโคโตซานครอบคลุมอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่กระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอบนผิวผ้าไหม และผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย Cs/AgNPs/MMT ปรากฏลักษณะเยื่อแผ่นบางๆของโคโตซานและกลุ่มอนุภาคของมอลต์มอริสไลนด์ครอบคลุมอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่กระจายตัวอย่างไม่สม่ำเสมอบนผิวผ้าไหม



(ก)



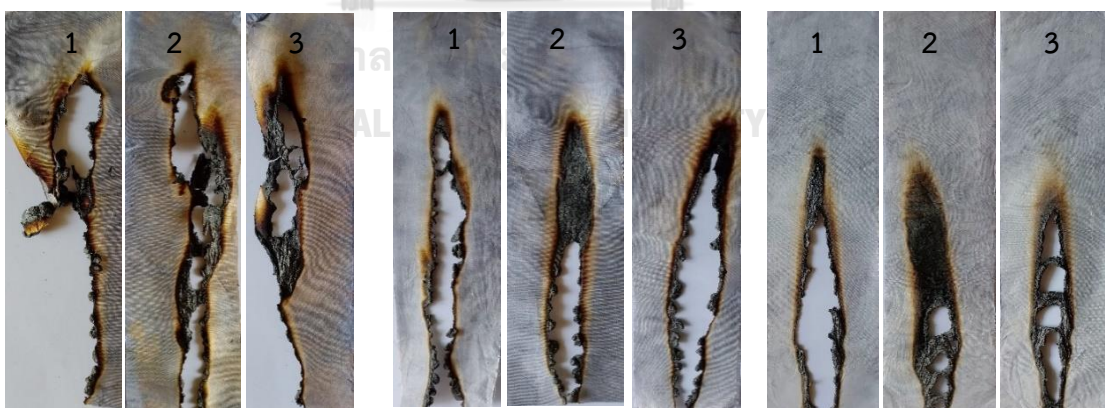
(ข)

**รูปที่ 4.27** ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ (ก) Cs/AgNPs และ (ข) Cs/AgNPs/MMT ที่กำลังขยาย 8000x

#### 4.1.5.4 ผลต่อสมบัติการทนไฟของผ้าไหม

จากการทดสอบจากการศึกษาสมบัติการทนไฟด้วยวิธีการทดสอบการติดไฟในแนวตั้ง (vertical flammability test) โดยวัดความยาวของเก้าถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ ด้วยวิธีทดสอบ 16 CFR.1615 และ 1616 ตัวอย่างทดสอบถูกจับยึดในแนวตั้ง เปลวไฟมีความยาวประมาณ 1.5 นิ้ว ทำการเผาตัวอย่างเป็นเวลา 3 วินาที หลังจากนั้นก็วัดความยาวของถ่านของของแต่ละตัวอย่าง ตัวอย่างอ้างอิงมาตรฐาน ASTM standard D3659 ดังแสดงในรูปที่ 4.11 พบว่าผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs มีความยาวเฉลี่ยของเก้าถ่านที่เกิดจากการเผาไหม้ 10.19 นิ้ว และผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย Cs/AgNPs มีความยาวของเก้าถ่านเฉลี่ยที่เกิดจากการเผาไหม้ 7.68 นิ้ว พบว่าทั้งสองตัวอย่างนี้ถูกเผาไหม้ลุกลามอย่างรวดเร็ว และไม่ผ่านมาตรฐาน ASTM standard D3659 ที่ตัวอย่างต้องมีความยาวของเก้าถ่านเฉลี่ยไม่เกิน 7 นิ้ว ดังแสดงในตารางที่ 4.7

สำหรับผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ Cs/AgNPs/MMT ความยาวของเก้าถ่านเฉลี่ยที่เกิดจากการเผาไหม้ 6.66 นิ้ว พบว่าการลุกลามของการเผาไหม้ช้าลง เนื่องจากในมอนต์มอริลโลไนต์มีส่วนประกอบของซิลิเกตที่ต่อต้านการแพร่กระจายของโมเลกุลขนาดเล็กที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยโมเลกุลขนาดเล็กเหล่านี้จะถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน ซึ่งถ้าปริมาณออกซิเจนยิ่งมากก็ยิ่งติดไฟได้ดี เชื้อเพลิงลุกลามได้ดี ซึ่งมอนต์มอริลโลไนต์จะทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟโดยชะลอ อัตราการเคลื่อนที่ (migration rate) ของออกซิเจน ดังนั้นการที่มีมอนต์มอริลโลไนต์เคลือบบนพื้นผิวจึงช่วยต้านการเผาไหม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5,15]



รูปที่ 4.28 การเผาไหม้ของผ้าไหมที่เคลือบด้วย (ก) AgNPs (ข) Cs/AgNPs และ (ค) Cs/AgNPs/MMT

**ตารางที่ 4.10** แสดงความยาวของเถ้าถ่าน (char length) ที่เกิดจากการเผาไหม้ จากการทดสอบสมบัติการทนไฟด้วยวิธีการทดสอบการติดไฟในแนวตั้ง (vertical flammability test) ของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT

ตัวอย่าง	ตัวอย่างทดสอบ	ความยาวของเถ้าถ่าน (นิ้ว)	ความยาวเฉลี่ยของเถ้าถ่าน (นิ้ว)
ผ้าไหมเคลือบ AgNPs	1	10.23	10.19
	2	10.00	
	3	10.34	
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs	1	7.67	7.68
	2	7.65	
	3	7.72	
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs/MMT	1	6.68	6.66
	2	6.64	
	3	6.65	

#### 4.1.5.5 ผลต่อสมบัติความอ่อนนุ่มของผ้าไหม

การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าไหมซึ่งจะสามารถบอกถึงความอ่อนนุ่มของผ้าไหมได้ ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 4.8 จากการทดสอบผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ พบว่าผ้าไหมที่ยังไม่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ มีค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมในแนวเส้นด้ายยืนอยู่ที่ 0.130 กรัม•เซนติเมตร และในแนวเส้นด้ายพุ่งอยู่ที่ 0.528 กรัม•เซนติเมตร กล่าวได้ว่าผ้าในแนวเส้นด้ายพุ่งมีความแข็งกระด้างมากกว่าในแนวเส้นด้ายยืน เมื่อนำค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ยังไม่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์มาเปรียบเทียบกับค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ (AgNPs) ทั้งในแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่ง พบว่ามีค่าลดลงเล็กน้อย เนื่องจากกระบวนการให้สีผ้าไหมมีการใช้ความร้อนจึงทำให้เส้นใยผ้าไหมสูญเสียสภาพความแข็งกระด้าง สำหรับผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย Cs/AgNPs พบว่าค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งเพิ่มขึ้นทั้งแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่ง กล่าวคือการเคลือบด้วยโคโตซาน (Cs) ทำให้ผ้าไหมแข็งกระด้างเพิ่มขึ้น และการเพิ่ม MMT ในตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย Cs/AgNPs/MMT ทำให้ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งทั้งแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่งลดลง กล่าวคือการเพิ่ม MMT ช่วยทำให้ผ้าไหมมีความอ่อนนุ่มขึ้น



**ตารางที่ 4.11** ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีและผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT

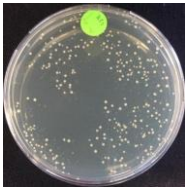
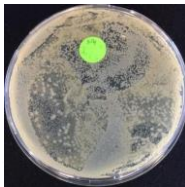
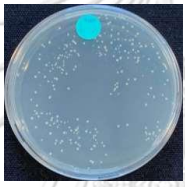
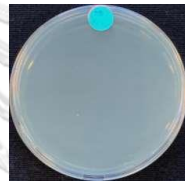

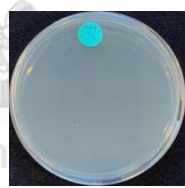
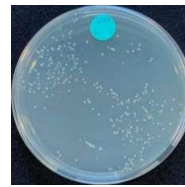
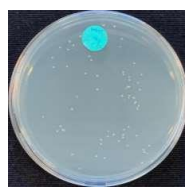
ตัวอย่าง	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้า (กรัม•เซนติเมตร)	
	แนวเส้นด้ายยืน	แนวเส้นด้ายพุ่ง
ผ้าไหม	0.130	0.528
ผ้าไหมเคลือบ AgNPs	0.126	0.504
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs	0.325	0.787
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs/MMT	0.128	0.523

#### 4.1.5.6 ผลต่อสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าไหม

เนื่องจากผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์และผ่านการเคลือบไคโตซานต้านแบคทีเรียชนิด E-coli ได้ต่ำมาก อีกทั้งแบคทีเรียชนิด E-coli สามารถพบได้น้อยในสิ่งทอ ดังนั้น การศึกษาสมบัติต้านแบคทีเรียของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีจะเน้นที่การทดสอบกับแบคทีเรียชนิด S. aureus ที่สามารถพบในสิ่งทอได้มากกว่า

จากการทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีกับแบคทีเรียชนิด S.aureus. ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดที่มักพบบนผ้าซึ่งก่อให้เกิดโรคติดเชื้อที่ผิวหนังได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.9 จะเห็นว่าหลังจากเวลาการทดสอบผ่านไป 24 ชั่วโมง จะปรากฏโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจำนวนมาก เมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) ของแบคทีเรีย S. aureus มีค่าเท่ากับร้อยละ 41.75 กล่าวคือผ้าไหมต้านแบคทีเรียชนิด S. aureus ได้ต่ำมาก และเมื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียชนิด S. aureus ของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีด้วย AgNPs และ Cs/AgNPs พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง งานเพาะเชื้อที่ทดสอบไม่ปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียชนิด S. aureus เมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 กล่าวคือมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้ดีเยี่ยม สำหรับผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีด้วย Cs/AgNPs/MMT พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง งานเพาะเชื้อที่ทดสอบปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียชนิด S. aureus เมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 54.52 กล่าวคือมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้ต่ำ

ตารางที่ 4.12 แสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียของตัวอย่างผ้าไหมที่ไม่ผ่านการให้สีและผ่านการให้สีด้วย AgNPs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT กับแบคทีเรียชนิด *S. aureus*

ตัวอย่าง	<i>S. aureus</i>		%Reduction
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	
ผ้าไหม			41.75
ผ้าไหมเคลือบ AgNPs			100
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs			100
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs/MMT			54.52

## 4.2 ผลการสังเคราะห์ซิลเวอร์คอลลอยด์ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี

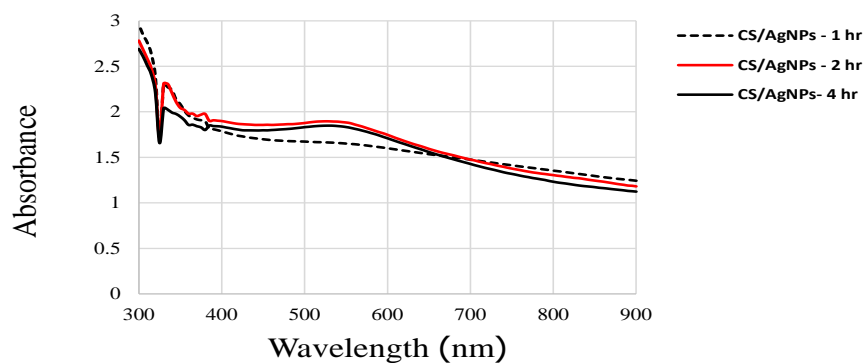
### 4.2.1. ผลต่อค่าดูดกลืนแสง

ภาพถ่าย Cs/AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.12 พบว่าเฉดสีของ Cs/AgNPs 1 2 และ 4 ชั่วโมง มีเฉดสีที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งพบว่าระยะเวลา 1 ชั่วโมง มีเฉดสีที่จางกว่า 2 และ 4 ชั่วโมงเล็กน้อย



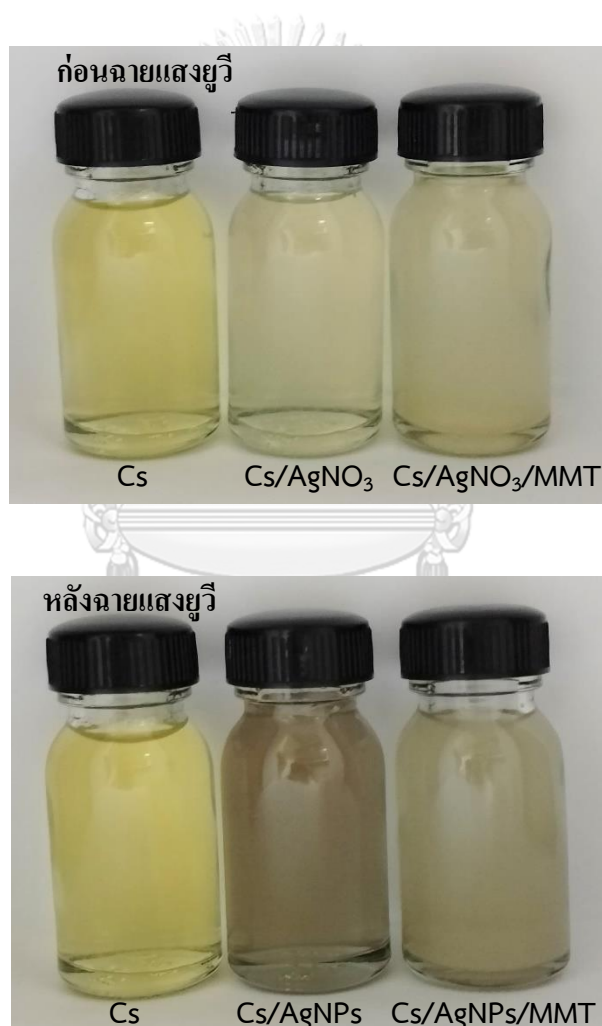
รูปที่ 4.29 ภาพถ่าย Cs/AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี 1 2 และ 4 ชั่วโมง

ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Cs/AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลาการฉายแสงยูวี 1 2 และ 4 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.13 พบว่าค่าการดูดกลืนแสงไม่ปรากฏพิคชัดเจนในระยะเวลาการฉายแสงยูวี 1 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มระยะเวลาการฉายแสงยูวีเป็น 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่าค่าการดูดกลืนแสงมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าการดูดกลืนแสงเป็น 1.89 a.u. (2 ชั่วโมง) และ 1.84 a.u. (4 ชั่วโมง) ณ ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร ซึ่งเส้นสเปกตรัมของ Cs/AgNPs แสดงสมบัติ Localized surface plasmon resonance (LSPR) ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่เกิดขึ้นหลังจากการฉายแสงยูวี [17] จึงเลือกที่เวลา 2 ชั่วโมง มาทำการศึกษาต่อไป



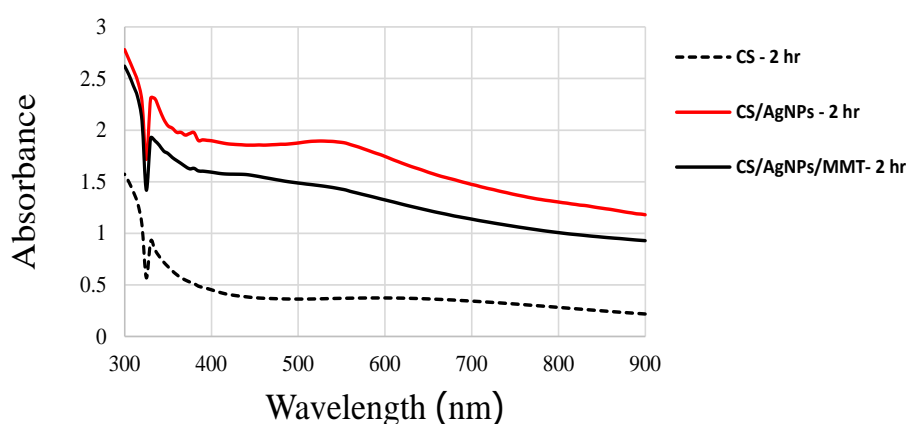
รูปที่ 4.30 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Cs/AgNPs ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลาการฉายแสงยูวี 1 2 และ 4 ชั่วโมง

อนุภาคซิลเวอร์นาโนที่ได้จะถูกดูดซับลงบนพื้นผิวของไคโตซานเพื่อสร้างคอมโพสิต Cs/AgNPs โดยความเสถียรของอนุภาคนาโนซิลเวอร์เกิดจากอันตรกิริยาของซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) กับกลุ่มอะมิโน ( $-NH_2$ ) ของไคโตซาน ในขณะที่อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่เกิดขึ้นนั้นถูกห่อหุ้มและทำให้เสถียรโดยกลุ่ม  $-OH$  ของไคโตซาน [13] ซึ่งภาพถ่ายสารละลาย Cs Cs/  $AgNO_3$  และสารแขวนลอย Cs/  $AgNO_3$  /MMT หลังฉายแสงยูวี 2 ชั่วโมง แสดงดังรูปที่ 4.14 พบว่าเฉดสีของ CS หลังฉายแสงยูวีไม่เปลี่ยนแปลง แต่เฉดสีของตัวอย่างที่มี  $AgNO_3$  หลังฉายแสง ซึ่งแทนด้วย Cs/AgNPS และ CS/AgNPS/MMT เปลี่ยนแปลงเป็นเฉดสีที่เข้มขึ้น



รูปที่ 4.31 ภาพถ่าย Cs Cs/  $AgNO_3$  และ Cs/  $AgNO_3$  /MMT (ก) ก่อนฉายแสงยูวี และ (ข) Cs Cs/AgNPS และ CS/AgNPS/MMT หลังฉายแสงยูวี 2 ชั่วโมง

ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง เมื่อวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่าค่าการดูดกลืนแสงของ Cs/AgNPs มีค่ามากที่สุด ที่ตำแหน่งความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร รองลงมาคือ Cs/AgNPs/MMT และ Cs มีค่าการดูดกลืนแสงต่ำสุด ดังแสดงในภาพที่ 4.15 ซึ่งเส้นสเปกตรัมของ Cs/AgNPs แสดงถึงการมีอนุภาคซิลเวอร์นาโนเกิดขึ้นหลังจากการฉายแสงยูวี สำหรับค่าการดูดกลืนแสงของ Cs/AgNPs/MMT ไม่ปรากฏพีคที่ชัดเจนถึงการมีอยู่ของอนุภาคซิลเวอร์นาโน ซึ่งเป็นไปได้ว่าจะเกิดอนุภาคซิลเวอร์นาโนในปริมาณที่น้อยมากๆ ซึ่งจะทำการศึกษาในลำดับถัดไป






รูปที่ 4.32 ผลค่าการดูดกลืนแสงของ Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

#### 4.2.2 ผลการศึกษาสมบัติทางกายภาพของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์โมริลโลไนต์คอมโพสิตที่สังเคราะห์ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี

##### 4.2.2.1 ผลต่อเฉดสีและความเข้มสีของผ้าไหม



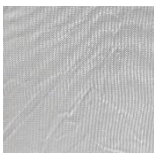
ค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/AgNPs ด้วยวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง แสดงดังตารางที่ 4.10 พบว่ามีค่าความสว่างของสี ( $L^*$ ) ลดลงเล็กน้อย เมื่อเวลาการฉายแสงยูวีเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่าค่าสี  $a^*$  เพิ่มขึ้น (ความเป็นสีเขียวลดลง) และ  $b^*$  เพิ่มขึ้น (ความเป็นสีเหลืองมากขึ้น) ซึ่งที่เวลาการฉายแสง 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงว่ามีเฉดสีที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/AgNPs ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง

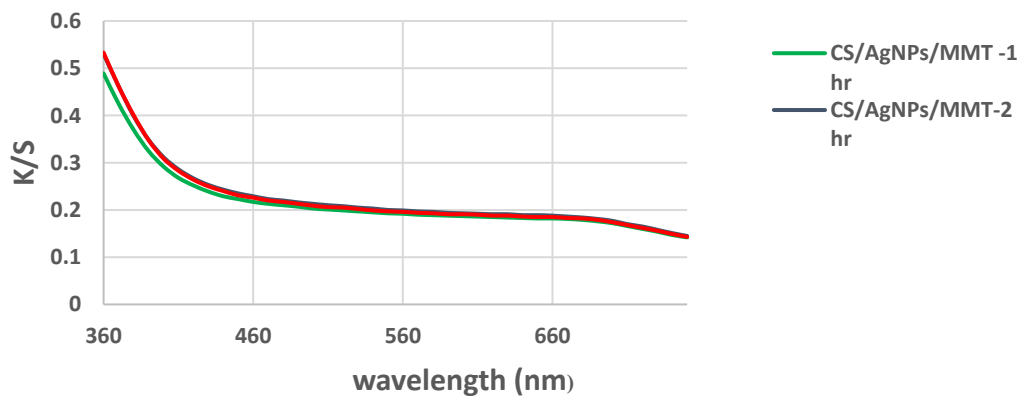
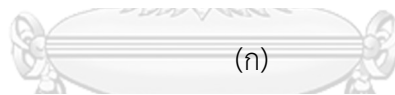
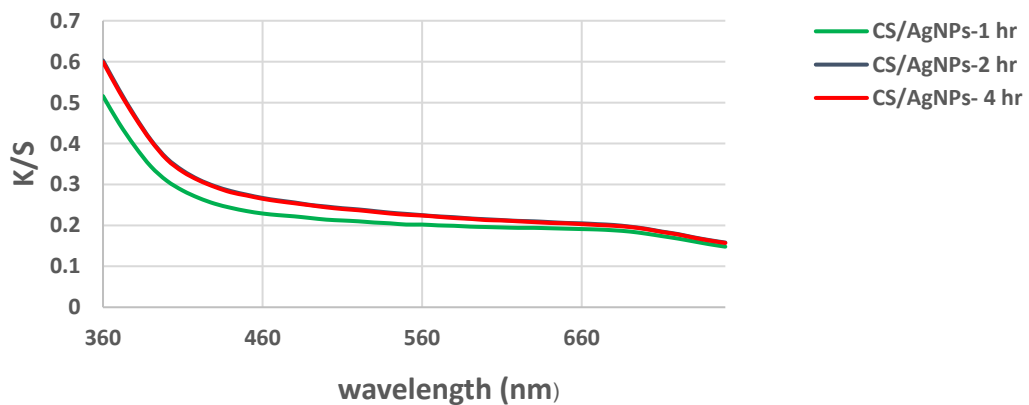
ค่าสี			
	Cs/AgNPs-1 hr	Cs/AgNPs-2 hr	Cs/AgNPs-4 hr
$L^*$	78.52	77	76.93
$a^*$	-0.11	0.14	0.14
$b^*$	2.35	3.26	3.28

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่ามีค่าความสว่างของสี ( $L^*$ ) เพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามยังถือว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก นอกจากนี้พบว่าค่า  $b^*$  เพิ่มขึ้นแสดงว่ามีความเป็นสีเหลืองมากขึ้นเมื่อระยะเวลาการฉายแสงมากขึ้น โดยที่ระยะเวลาการฉายแสง 2 และ 4 ชั่วโมง มีความเป็นสีเหลืองใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง

ค่าสี			
	Cs/AgNPs/MMT-1 hr	Cs/AgNPs/MMT-2 hr	Cs/AgNPs/MMT-4 hr
$L^*$	78.04	78.3	78.16
$a^*$	-0.13	-0.13	-0.13
$b^*$	2.49	2.66	2.65

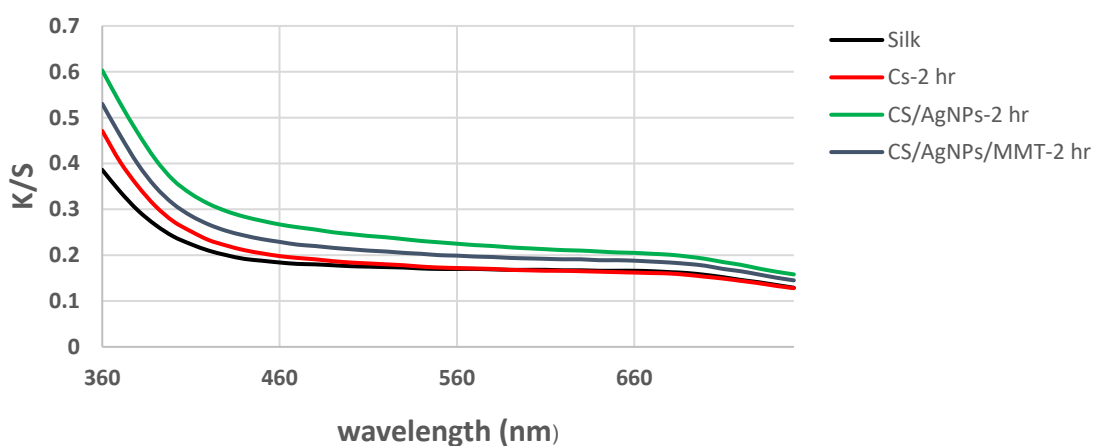
รูปที่ 4.16 แสดงความเข้มสีของผ้าไหมเคลือบด้วย (ก) Cs/AgNPs และ (ข) Cs/AgNPs/MMT ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง พบว่าความเข้มสีของผ้าที่เคลือบด้วย Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อระยะเวลาการฉายแสงเพิ่มขึ้น ณ ความยาวคลื่นที่ 360 นาโนเมตร การเพิ่ม MMT ในการเคลือบผ้าไหม มีผลทำให้ความเข้มของสีบนผ้าไหมลดลง เมื่อพิจารณาเฉดสีของผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT เปรียบเทียบกัน พบว่าการใส่ MMT มีผลทำให้เฉดสีจางลง เนื่องจากความเข้มสีของผ้าที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 และ 4 ชั่วโมง ไม่ได้แตกต่างกันมากนัก จึงเลือกระยะเวลาการฉายแสงยูวี 2 ชั่วโมง เพื่อใช้ในการศึกษาต่อไป



(ข)

รูปที่ 4.33 ความเข้มสีของผ้าไหมเคลือบด้วย (ก) Cs/AgNPs และ (ข) Cs/AgNPs/MMT ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 1 2 และ 4 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.17 ความเข้มสีของผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs มีค่าความเข้มสีสูงที่สุด และผ้าไหมที่เคลือบด้วยโคโคซาน (Cs) มีความเข้มสีต่ำสุด เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ไม่ได้เคลือบ ผ้าไหมที่เคลือบโคโคซานมีค่าความเข้มสีที่สูงกว่าผ้าไหมที่ไม่เคลือบ ณ ความยาวคลื่นที่ 360 nm เมื่อวัดค่าสี  $L^*a^*b^*$  พบว่าเฉดสีมีความเป็นสีเหลืองเพิ่มขึ้น (ค่า  $a^*$  เพิ่มขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4.10 ) แต่อย่างไรก็ตามถือว่ามีเฉดสีใกล้เคียงกันมาก



รูปที่ 4.34 ความเข้มสีของผ้าไหมก่อนและหลังเคลือบด้วย Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าสี  $L^*a^*b^*$  ตามระบบ CIELAB ของผ้าไหมที่ไม่เคลือบและเคลือบด้วย Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

ค่าสี	ผ้าไหม	Cs-2 hr	Cs/AgNPs -2 hr	Cs/AgNPs/MMT-2 hr
$L^*$	79.66	79.49	77	78.3
$a^*$	-0.22	-0.13	0.14	- 0.13
$b^*$	1.54	2.58	3.26	2.66



#### 4.2.2.2 ผลต่อความสม่ำเสมอของสีของผ้าไหม

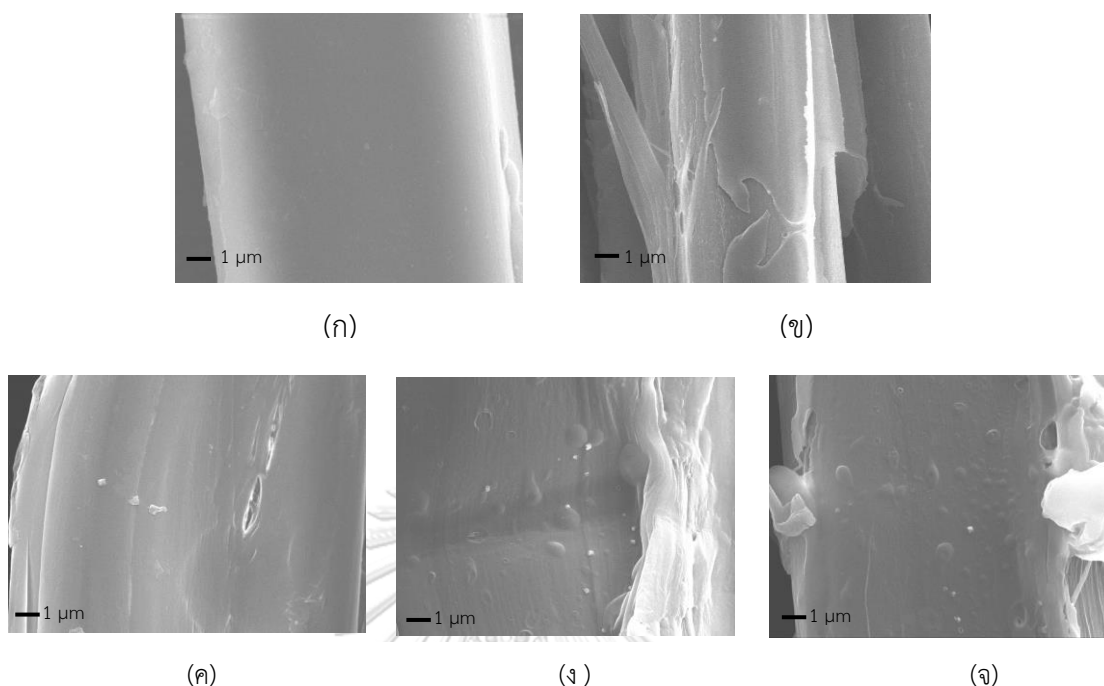
ผลของความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมเคลือบด้วย CS Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ค่า RUI ยังอยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าต่ำกว่า 0.2 ดังแสดงในตารางที่ 4.13 กล่าวคือผ้าไหมที่เคลือบด้วย CS Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT มีความสม่ำเสมออยู่ในเกณฑ์ดีเยี่ยม

**ตารางที่ 4.16** ผลต่อความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมเคลือบด้วย Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

ตัวอย่าง	Cs-2 hr	Cs/AgNPs -2 hr	Cs/AgNPs/MMT-2 hr
ค่า RUI	0.04	0.043	0.043

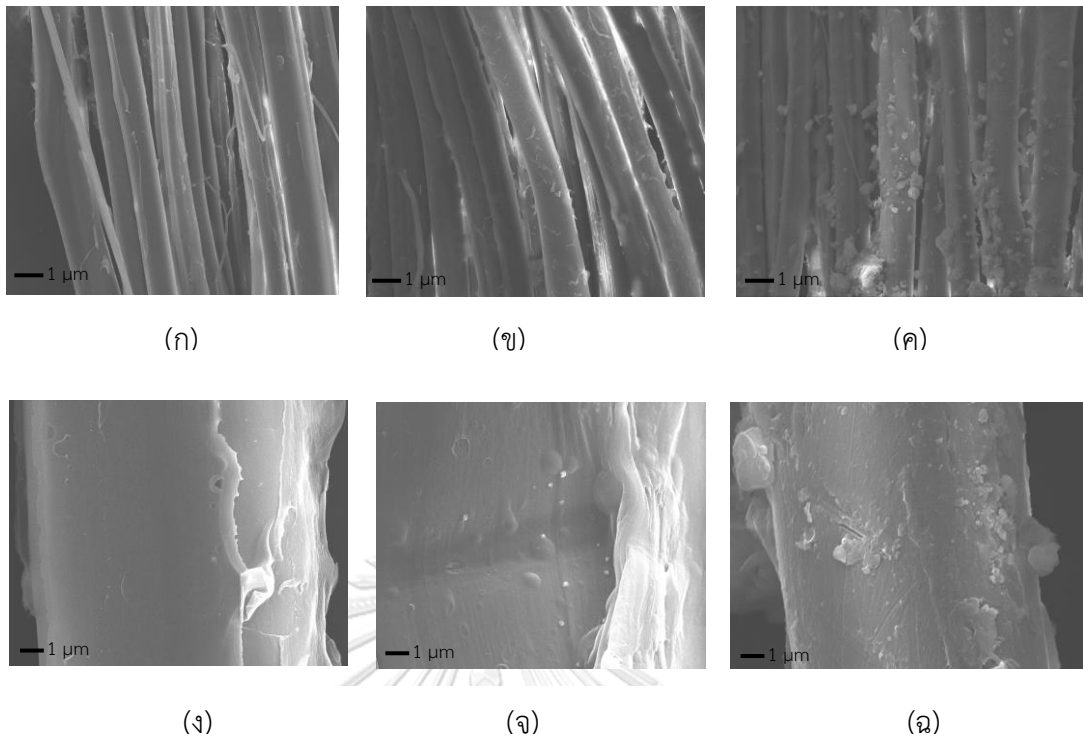
#### 4.2.2.3 ผลต่อโครงสร้างจุลภาคของผ้าไหม

จากการศึกษาลักษณะพื้นผิวด้วยภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ (ก) ไม่ผ่านการเคลือบ (ข)เคลือบด้วยไคโตซาน และ (ค) เคลือบด้วย Cs/AgNPs ภายใต้ระยะเวลาการฉายแสงยูวี (ค) 1 (ง) 2 และ (จ) 4 ชั่วโมง ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ที่กำลังขยาย 8000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการเคลือบพบว่ามีลักษณะค่อนข้างเรียบไม่มีอนุภาคเกาะบนพื้นผิว ซึ่งแตกต่างจากผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซานที่ปรากฏลักษณะเยื่อแผ่นบางๆครอบคลุมทั่วพื้นผิว สำหรับผ้าไหมที่ผ่านการทรีตด้วย Cs/AgNPs ภายใต้ระยะเวลาการฉายแสงยูวี 1 2 และ 4 ชั่วโมง นอกจากมีไคโตซานลักษณะเยื่อแผ่นบางๆปกคลุมบนพื้นผิวผ้าไหมแล้ว ยังปรากฏอนุภาคขนาดเล็กอยู่บนพื้นผิวจำนวนเล็กน้อย ซึ่งอนุภาคขนาดเล็กเหล่านี้คืออนุภาคซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้

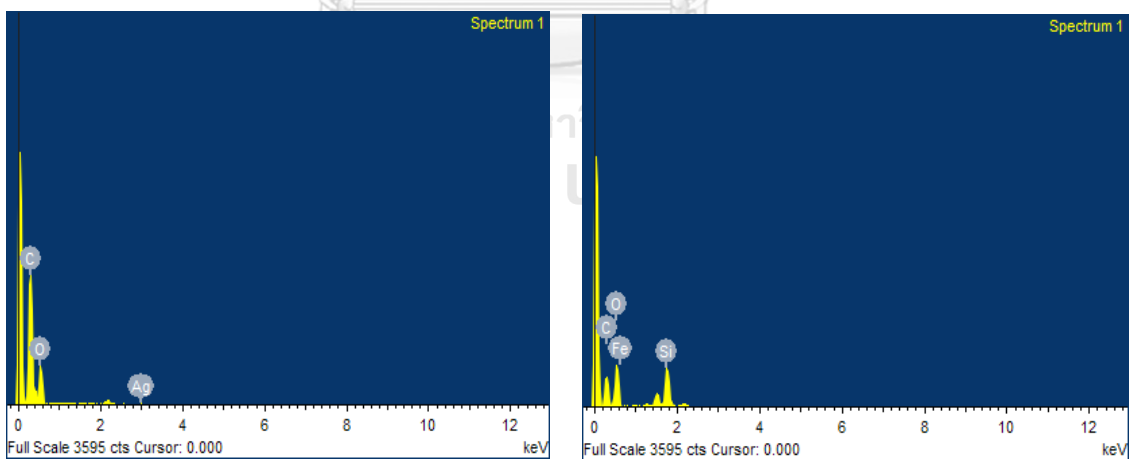


**รูปที่ 4.35** ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ (ก) ไม่ผ่านการเคลือบ (ข)เคลือบด้วยไคโตซาน และ เคลือบด้วย Cs/AgNPs ภายใต้ระยะเวลาการฉายแสงยูวี (ค) 1 (ง) 2 และ (จ) 4 ชั่วโมง ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ที่กำลังขยาย 8000X

จากการศึกษาภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ (ก,ง) Cs (ข,จ) Cs/AgNPs และ (ค,ฉ) Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000 เท่า และ 8000 เท่า ดังแสดงในรูปที่ 4.19 ของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วยไคโตซานที่ปรากฏลักษณะเยื่อแผ่นบางๆครอบคลุมทั่วพื้นผิว สำหรับผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย Cs/AgNPs 2 ชั่วโมง พบไคโตซานลักษณะเยื่อแผ่นบางๆปกคลุมบนพื้นผิวผ้าไหมและพบอนุภาคซิลเวอร์นาโนกระจายอย่างไม่สม่ำเสมอบนพื้นผิวในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งผลวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค EDS พบพีคของ C O และ Ag ดังรูปที่ 4.20 (ก) สำหรับผ้าไหมที่เคลือบด้วย Cs/AgNPs/MMT ปรากฏพีคของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของ MMT ร่วมด้วย คือ Si และ Fe เนื่องจากมีการเคลือบด้วย MMT จึงไม่ปรากฏพีคของ Ag ดังผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค EDS แสดงในรูปที่ 4.20 (ข)



รูปที่ 4.36 ภาพถ่าย FESEM ลักษณะพื้นผิวของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ (ก,ง) Cs (ข,จ) Cs/AgNPS และ (ค,ฉ) Cs/AgNPS/MMT ด้วยวิธีรีดชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 1000x และ 8000x

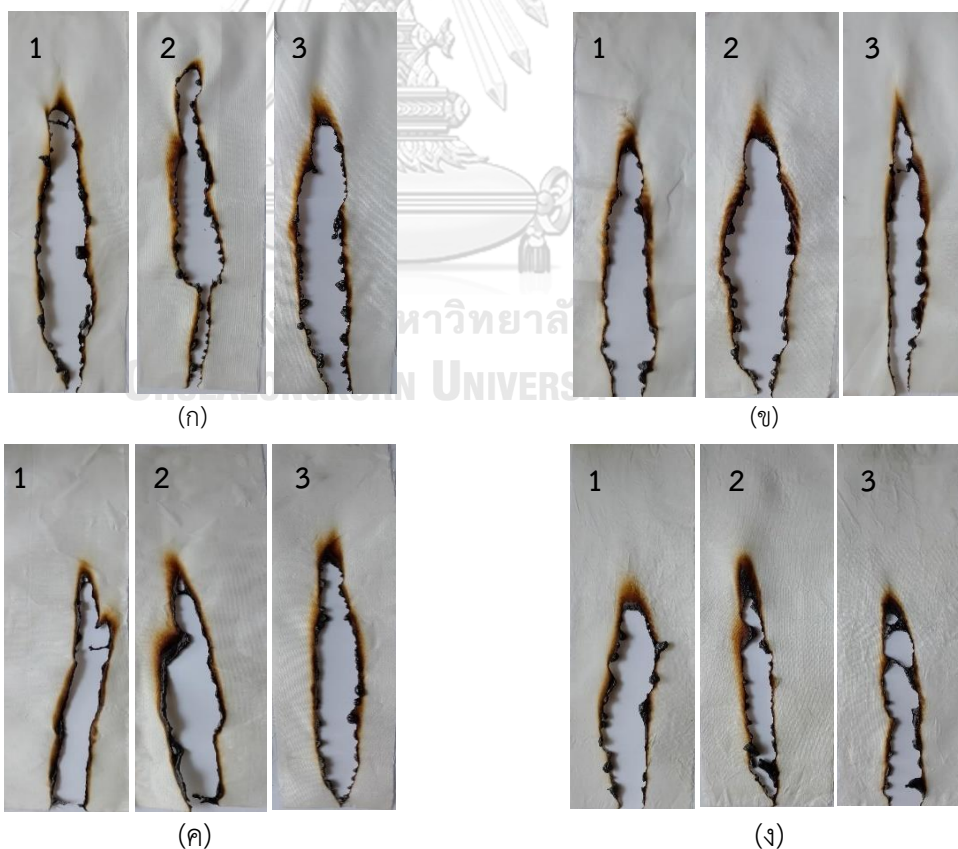


รูปที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบด้วยเทคนิค EDS ของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย (ก) Cs/AgNPS และ (ข) Cs/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดชั้นด้วยแสงยูวี ระยะเวลา 2 ชั่วโมง

#### 4.2.2.4 ผลต่อสมบัติความทนไฟของผ้าไหม

จากการทดสอบสมบัติการทนไฟด้วยวิธีการทดสอบการติดไฟในแนวตั้ง โดยวัดความยาวของเส้นไหมที่เกิดจากการเผาไหม้ ดังแสดงในรูปที่ 4.21 พบว่าผ้าไหม ผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย CS และ CS/AgNPs ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี มีค่าความยาวของเส้นไหมเฉลี่ยเกิน 7 นิ้ว แสดงดังตารางที่ 4.14

สำหรับผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย CS/AgNPs/MMT ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี มีค่าความยาวของเส้นไหมเฉลี่ยที่เกิดจากการเผาไหม้ 6.8 นิ้ว กล่าวคือมีสมบัติการทนไฟเพราะผ่านมาตรฐาน ASTM standard D3659 เนื่องจากในมอนต์มอริลโลไนต์มีส่วนประกอบของซิลิเกตที่ต่อต้านการแพร่กระจายของโมเลกุลขนาดเล็กที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยโมเลกุลขนาดเล็กเหล่านี้จะถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน ซึ่งถ้าปริมาณออกซิเจนยิ่งมากก็ยิ่งติดไฟได้ดี เชื้อเพลิงลุกไหม้ได้ดี ซึ่งมอนต์มอริลโลไนต์จะทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟโดยชะลอ อัตราการเคลื่อนที่ (migration rate) ของออกซิเจน ดังนั้นการที่มีมอนต์มอริลโลไนต์เคลือบบนพื้นผิวจึงช่วยต้านทานการเผาไหม้ได้ ทำให้ผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย CS/AgNPs/MMT มีความทนไฟยิ่งขึ้น



รูปที่ 4.38 แสดงภาพการเผาไหม้ของ (ก) ผ้าไหม และผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ (ข) Cs (ค) Cs/AgNPs และ (ง) Cs/AgNPs/MMT ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี

ตารางที่ 4.17 แสดงความยาวของเส้นใย (char length) ที่เกิดจากการเผาไหม้ จากการทดสอบสมบัติการทนไฟด้วยวิธีการทดสอบการติดไฟในแนวตั้ง (vertical flammability test) ของผ้าไหมของผ้าไหมที่ผ่านการให้สีด้วย Cs Cs/AgNPs และ Cs/AgNPs/MMT

ตัวอย่าง	ตัวอย่างทดสอบ	ความยาวของเส้นใย (นิ้ว)	ความยาวเฉลี่ยของเส้นใย (นิ้ว)
ผ้าไหม	1	9.8	10.07
	2	10.5	
	3	9.9	
ผ้าไหมเคลือบ Cs	1	8.27	8.57
	2	8.65	
	3	8.8	
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs	1	7.46	7.83
	2	7.65	
	3	8.4	
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs/MMT	1	6.67	6.8
	2	7.34	
	3	6.39	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

#### 4.2.2.5 ผลต่อสมบัติความอ่อนนุ่มของผ้าไหม

การทดสอบความแข็งกระด้างของผ้าไหมซึ่งจะสามารถบอกถึงความอ่อนนุ่มของผ้าไหมได้ ซึ่งแสดงผลในตารางที่ 4.15 ผ้าไหมที่ไม่ผ่านการเคลือบมีค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมในแนวเส้นด้ายยืนอยู่ที่ 0.130 กรัม•เซนติเมตร และในแนวเส้นด้ายพุ่งอยู่ที่ 0.528 กรัม•เซนติเมตร กล่าวได้ว่าผ้าไหมในแนวเส้นด้ายพุ่งมีความแข็งกระด้างมากกว่าในแนวเส้นด้ายยืน เมื่อนำค่าสภาพแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านการเคลือบเปรียบเทียบกับผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย Cs และ Cs/AgNPs พบว่าค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมทั้งในแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่งเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงผ้าไหมมีสภาพที่แข็งกระด้างเพิ่มขึ้น และการเพิ่ม MMT ในตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย Cs/AgNPs/MMT ทำให้ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งทั้งแนวเส้นด้ายยืนและแนวเส้นด้ายพุ่งลดลง ซึ่งหมายถึง MMT ช่วยให้ผ้าไหมมีความอ่อนนุ่มขึ้น

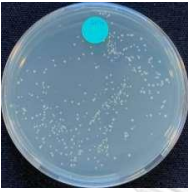
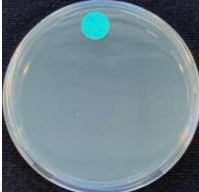

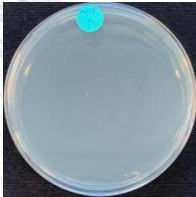

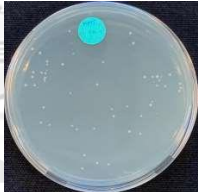
**ตารางที่ 4.18** ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้าไหมที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์โมริลโลไนต์คอมโพสิตที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี

ตัวอย่าง	ค่าสภาพความแข็งตึงดัดโค้งของผ้า (กรัม•เซนติเมตร)	
	แนวเส้นด้ายยืน	แนวเส้นด้ายพุ่ง
ผ้าไหม	0.130	0.528
ผ้าไหมเคลือบ CS	0.369	0.760
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs	0.368	0.754
ผ้าไหมเคลือบ CS/AgNPs/MMT	0.208	0.623

#### 4.2.2.6 ผลต่อสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าไหม

จากการทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ CS และ Cs/AgNPs กับแบคทีเรียชนิด *S. aureus*. ซึ่งเป็นแบคทีเรียชนิดที่มักพบบนผ้าซึ่งก่อให้เกิดโรคติดเชื้อที่ผิวหนัง ดังแสดงในตารางที่ 4.16 จะเห็นว่าเมื่อทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ของผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบ Cs และ Cs/AgNPs พบว่าหลังผ่านไป 24 ชั่วโมง จานเพาะเชื้อที่ทดสอบไม่ปรากฏโคโลนีของแบคทีเรียชนิด *S. aureus* เมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) มีค่าเท่ากับร้อยละ 100 กล่าวคือมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้ดีเยี่ยม สำหรับผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย Cs/AgNPs/MMT หลังจากเวลาการทดสอบผ่านไป 24 ชั่วโมง จะปรากฏโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียเพิ่มขึ้นจำนวนมาก เมื่อคำนวณร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) ของแบคทีเรีย *S. aureus* มีค่าเท่ากับร้อยละ 18.81 กล่าวคือผ้าไหมต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ได้ต่ำมาก

ตารางที่ 4.19 แสดงสมบัติการต้านแบคทีเรียของตัวอย่างผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอลโมริลโลไนต์คอมโพสิตที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี

ตัวอย่าง	S.aureus		(%Reduction)
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	
ผ้าไหมเคลือบ CS			100
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs			100
ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs/MMT			18.81

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการเตรียมและการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติผ้าไหมที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์โมริลโลไนต์คอมโพสิตด้วยวิธีปักชั้นทางเคมีและวิธีปักชั้นด้วยแสงยูวีด้วยวิธีการเคลือบที่แตกต่างกัน โดยแสดงผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### วิธีปักชั้นทางเคมี

5.1.1 สภาวะที่เหมาะสมในการให้สีผ้าไหม คือ ค่าความเป็น กรด - ต่างของซิลเวอร์คอลลอยด์เท่ากับ 4 และ 5 เนื่องจากผ้าไหมมีประจุที่ผิวเป็นบวก ซึ่งเกิดจากหมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) ในผ้าไหมสามารถดูดซับ  $H^+$  จากกรดได้เป็น  $NH_3^+$  จากนั้นประจุบวกที่ผิวของผ้าไหมจะเกิดแรงดึงดูดกับประจุลบที่ผิวของอนุภาคซิลเวอร์นาโน ทำให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนเคลือบเกาะติดบนผิวของผ้าไหมได้ และสภาวะที่เหมาะสมในการให้สีผ้าไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์ คือระยะเวลา 90 นาที อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เนื่องจากอนุภาคซิลเวอร์นาโนได้ไปเกาะบนผิวผ้าไหมโดยสมบูรณ์

5.1.2 การเพิ่มความเข้มข้นของซิลเวอร์ในเตรตจาก 0.1 เป็น 0.2 โมลาร์ จะทำให้ปริมาณซิลเวอร์ไอออนในระบบมากขึ้น พิจารณาโครงสร้างจุลภาคพบอนุภาคซิลเวอร์นาโนไปเกาะบนผิวผ้าไหมจำนวนมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้ค่าความเข้มสีมากขึ้นตามไปด้วย เมื่อพิจารณาเฉดสีที่ความเข้มสีซิลเวอร์ในเตรตเท่ากัน ค่าความเป็นความเป็นกรด-ต่างเท่ากับ 5 มีค่าสี  $b^*$  ไปทางลบมากขึ้น แสดงว่ามีค่าสีน้ำเงินมากขึ้น สีน้ำเงินจึงเด่นชัดขึ้น และเมื่อวัดค่าความเข้มสีและความสม่ำเสมอของสีบนผ้าไหมพบว่าค่า  $K/S$  สูงกว่าค่าความเป็นความเป็นกรด-ต่างเท่ากับ 4

#### 5.1.3 ผลการเติมไคโตซานและมอนต์โมริลโลไนต์

5.1.3.1 เฉดสีและความเข้มสี ผ้าไหมที่เคลือบด้วยไคโตซาน/อนุภาคซิลเวอร์นาโน และผ้าไหมที่เคลือบด้วยไคโตซาน/ซิลเวอร์/มอนต์โมริลโลไนต์คอมโพสิต มีสีที่จางลง ความเป็นสีน้ำเงินลดลง เนื่องจากมีค่า  $b^*$  มากขึ้น และผ้าไหมมีความสม่ำเสมอที่ดี

5.1.3.2 สมบัติการต้านแบคทีเรีย การให้สีผ้าไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์สามารถเพิ่มความสามารถในการต้านแบคทีเรียให้แก่ผ้าไหมได้ โดยผ้าไหมที่เคลือบด้วย AgNPs และ Cs/AgNPs สามารถต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus*. มีค่าร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรีย (%Reduction) เท่ากับ 100 สำหรับผ้าไหมที่เคลือบด้วย Cs/AgNPs/MMT มีความสามารถในการต้านแบคทีเรียของผ้าไหมลดลง



5.1.3.3 สมบัติความอ่อนนุ่ม ผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย Cs/AgNPs ไคโตซานที่เคลือบบนผิวทำให้ผ้าไหมแข็งกระด้างขึ้น และผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/Ag/NPs/MMT มีความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น

5.1.3.4 สมบัติความทนไฟ ผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/Ag/NPs/MMT มีการลุกลามของการเผาไหม้ช้าลง เนื่องจากในมอนต์มอริลโลไนต์มีส่วนประกอบของซิลิเกตที่ต่อต้านการแพร่กระจายของโมเลกุลขนาดเล็กที่เกิดจากการเผาไหม้ โดยโมเลกุลขนาดเล็กเหล่านี้จะถูกล้อมรอบด้วยออกซิเจน ซึ่งถ้าปริมาณออกซิเจนยิ่งมากก็ยิ่งติดไฟได้ดี เชื้อเพลิงลุกลามได้ดี ซึ่งมอนต์มอริลโลไนต์จะทำหน้าที่เป็นสารหน่วงไฟโดยชะลออัตราการเคลื่อนที่ (migration rate) ของออกซิเจน

#### วิธีวัดกันด้วยแสงยูวี

5.1.4 ผลของระยะเวลาในการฉายแสงยูวี เส้นสเปกตรัมของคอลลอยด์ Cs/AgNPs แสดงสมบัติ Localized surface plasmon resonance (LSPR) ของอนุภาคซิลเวอร์นาโนที่เกิดขึ้นหลังจากการฉายแสงยูวี ซึ่งระยะเวลาการฉายแสงยูวี 2 และ 4 ชั่วโมง มีค่าการดูดกลืนแสงใกล้เคียงกัน และมีค่าการดูดกลืนแสงมากกว่า 1 ชั่วโมง

5.1.5 สมบัติทางกายภาพ เมื่อพิจารณาค่าความเข้มข้นของผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs ระยะเวลาการฉายแสงยูวี 2 ชั่วโมง มีค่าความเข้มข้นที่สูงสุด (K/S สูงสุด) เจดสีมีความเป็นสีเหลืองมากขึ้น (ค่าสี \*b เพิ่มขึ้น) สำหรับผ้าไหมที่เคลือบ Cs/AgNPs/MMT พบว่าการเพิ่ม MMT มีผลทำให้ความเข้มข้นลดลง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาโครงสร้างจุลภาค ผ้าไหมเคลือบ Cs/AgNPs พบไคโตซานลักษณะเยื่อแผ่นบางๆปกคลุมผิวผ้าไหมและพบอนุภาคขนาดเล็กของซิลเวอร์นาโนกระจายบนผิวเล็กน้อยซึ่งยืนยันด้วยผลการวิเคราะห์ธาตุองค์ประกอบพบฟิค Ag

5.1.6 สมบัติการต้านแบคทีเรีย การให้สีผ้าไหมด้วยซิลเวอร์คอลลอยด์สามารถเพิ่มความสามารถในการต้านแบคทีเรียให้แก่ผ้าไหมได้ โดยผ้าไหมที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน และไคโตซาน/อนุภาคซิลเวอร์นาโนสามารถต้านแบคทีเรียชนิด *S. aureus*. ได้ดีเยี่ยม (%Reduction เท่ากับ 100) สำหรับผ้าไหมที่เคลือบด้วยไคโตซาน/อนุภาคซิลเวอร์นาโน/มอนต์มอริลโลไนต์ คอมโพสิต มีความสามารถในการต้านแบคทีเรียของผ้าไหมลดลง

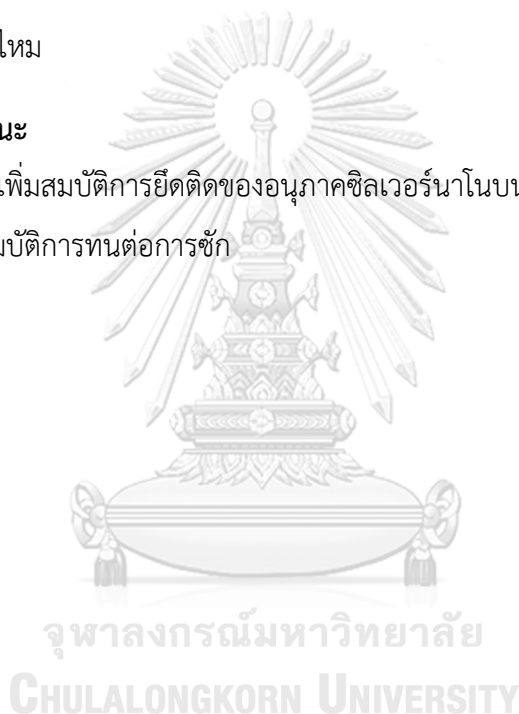
5.1.7 สมบัติความอ่อนนุ่ม ผ้าไหมที่ผ่านการเคลือบด้วย Cs/Ag/NPs ไคโตซานที่เคลือบบนผิวทำให้ผ้าไหมแข็งกระด้าง และผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/Ag/NPs/MMT ซึ่งการเพิ่มมอนต์มอริลโลไนต์ทำให้ผ้าไหมมีความอ่อนนุ่มเพิ่มขึ้น

5.1.8 สมบัติความทนไฟ ผ้าไหมเคลือบด้วย Cs/Ag/NPs/MMT วิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี มีค่าความยาวของเส้นผ่านศูนย์กลางที่ผ่านมาตรฐาน ASTM standard D3659 (เส้นผ่านศูนย์กลางที่เกิดจากการเผาไหม้ 6.8 นิ้ว ) ซึ่งมอนต์โมริลโลไนต์ทำหน้าที่เป็นสารห่วงไฟ

จากผลการศึกษาการเตรียมซิลเวอร์คอลลอยด์ทั้งสองวิธีพบว่าให้ผลดีในการให้สีผ้าไหมที่ต่างกัน ซึ่งผ้าไหมที่เคลือบด้วยอนุภาคซิลเวอร์นาโน และผ้าไหมที่เคลือบ Cs/AgNPs ที่เตรียมจากทั้งสองวิธีให้ผลการศึกษาไปในทางเดียวกันคือ มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียชนิด *S. aureus*. ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่มักพบบนเสื้อผ้าได้ดี โดยร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรียเท่ากับ 100 ส่วน การเติมมอนต์โมริลโลไนต์ทำให้สมบัติการต้านแบคทีเรียลดลง แต่ช่วยเพิ่มสมบัติความทนไฟและความอ่อนนุ่มให้แก่ผ้าไหม

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

- 1) ศึกษาการเพิ่มสมบัติการยึดติดของอนุภาคซิลเวอร์นาโนบนผิวผ้าไหม
- 2) ทดสอบสมบัติการทนต่อการซัก



## บรรณานุกรม



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

### บรรณานุกรม

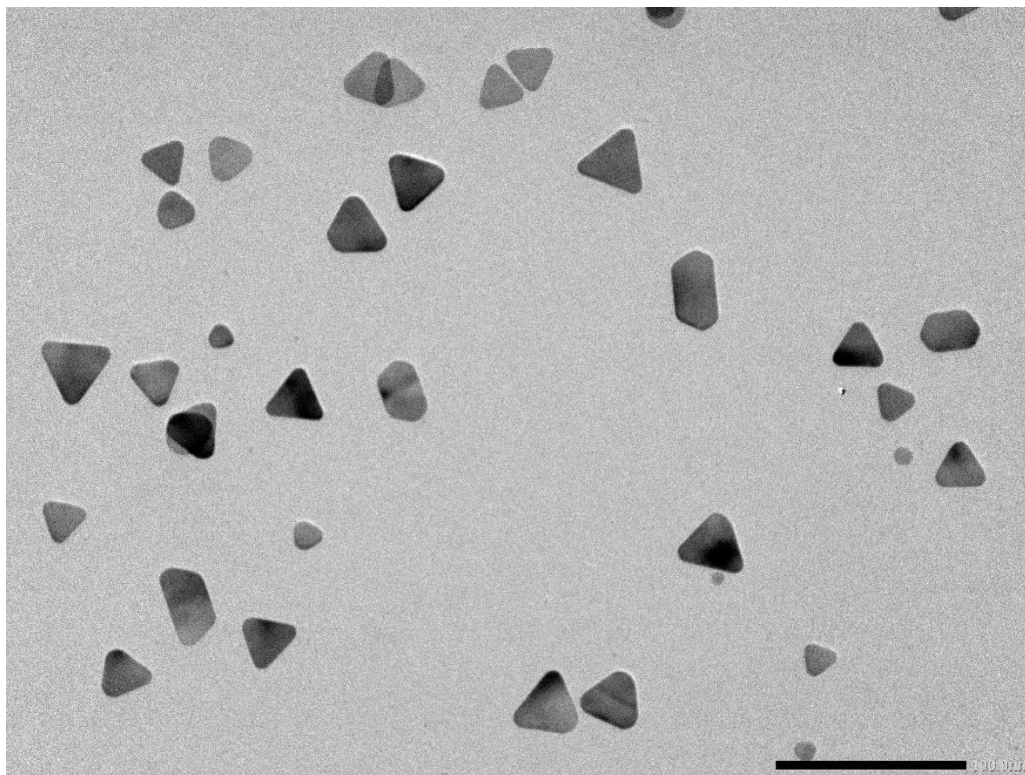
- [1] Sonthisombat, A. and Speakman, P., 2003. Silk: queen of fibres–The concise story. *Journal of Engineering, RMUTT*, 4, pp.84-97.
- [2] Cheng, L., Li, R., Liu, G., Zhang, Y., Tang, X., Wang, J., Liu, H. and Qin, Y., 2018. Potential antibacterial mechanism of silver nanoparticles and the optimization of orthopedic implants by advanced modification technologies. *International journal of nanomedicine*, 13, p.3311.
- [3] Sharma, V.K., Yngard, R.A. and Lin, Y., 2009. Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities. *Adv Colloid Interface* 145: 83–96.
- [4] Tang, B., Li, J., Hou, X., Afrin, T., Sun, L. and Wang, X., 2013. Colorful and antibacterial silk fiber from anisotropic silver nanoparticles. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 52(12), pp.4556-4563.
- [5] Jafari-Kiyan, A., Karimi, L. and Davodiroknabadi, A., 2017. Producing colored cotton fabrics with functional properties by combining silver nanoparticles with nano titanium dioxide. *Cellulose*, 24(7), pp.3083-3094.
- [6] Shameli, K., Ahmad, M.B., Yunus, W.M.Z.W., Rustaiyan, A., Ibrahim, N.A., Zargar, M. and Abdollahi, Y., 2010. Green synthesis of silver/montmorillonite/chitosan bionanocomposites using the UV irradiation method and evaluation of antibacterial activity. *International journal of nanomedicine*, pp.875-887.
- [7] Tai, Q., Yuen, R.K., Yang, W., Qiao, Z., Song, L. and Hu, Y., 2012. Iron-montmorillonite and zinc borate as synergistic agents in flame-retardant glass fiber reinforced polyamide 6 composites in combination with melamine polyphosphate. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 43(3), pp.415-422.
- [8] สุธิดา คงทอง, 2009. ไคติน-ไคโตซาน (Chitin-Chitosan). *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา*, 3(1).
- [9] Ren, X., Kou, L., Kocer, H.B., Zhu, C., Worley, S.D., Broughton, R.M. and Huang, T.S., 2008. Antimicrobial coating of an N-halamine biocidal monomer on

- cotton fibers via admicellar polymerization. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 317(1-3), pp.711-716.
- [10] Shahidi, S. and Ghoranneviss, M., 2014. Effect of plasma pretreatment followed by nanoclay loading on flame retardant properties of cotton fabric. *Journal of Fusion Energy*, 33(1), pp.88-95.
- [11] Cao, G.F., Sun, Y., Chen, J.G., Song, L.P., Jiang, J.Q., Liu, Z.T. and Liu, Z.W., 2014. Sutures modified by silver-loaded montmorillonite with antibacterial properties. *Applied Clay Science*, 93, pp.102-106.
- [12] Wang, J., Sun, K., Hao, W., Du, Y. and Pan, C., 2014. Structure and properties research on montmorillonite modified by flame-retardant dendrimer. *Applied Clay Science*, 90, pp.109-121.
- [13] Rehan, M., El-Naggar, M.E., Mashaly, H.M. and Wilken, R., 2018. Nanocomposites based on chitosan/silver/clay for durable multi-functional properties of cotton fabrics. *Carbohydrate polymers*, 182, pp.29-41.
- [14] Jana, J., Ganguly, M. and Pal, T., 2016. Enlightening surface plasmon resonance effect of metal nanoparticles for practical spectroscopic application. *RSC advances*, 6(89), pp.86174-86211.
- [15] Kumar, S., 2012. *Textbook of microbiology*. JP Medical Ltd.
- [16] Masson, J.F., 2020. Portable and field-deployed surface plasmon resonance and plasmonic sensors. *Analyst*, 145(11), pp.3776-3800.
- [17] Mendis, P., de Silva, R.M., de Silva, K.N., Wijenayaka, L.A., Jayawardana, K. and Yan, M., 2016. Nanosilver rainbow: a rapid and facile method to tune different colours of nanosilver through the controlled synthesis of stable spherical silver nanoparticles. *RSC advances*, 6(54), pp.48792-48799.
- [18] Ohtsuka, K. "Preparation and properties of two-dimensional microporous pillared interlayer solids", *Chemistry of Materials*. 9: 2039-2050, 1997.

- [19] Mandal, B.B., Mann, J.K. and Kundu, S.C., 2009. Silk fibroin/gelatin multilayered films as a model system for controlled drug release. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*, 37(2), pp.160-171.
- [20] Altman, G.H., 2003. Diaz F Jakuba C, Calabro T, Horan RL, Chen J, Lu H, Richmond J, Kaplan DL, Silk-based biomaterials. *Biomaterials*, 24, pp.401-416.
- [21] Omura, T., 1981. Silk reeling technics in the tropics. *Japan International Cooperation Agency. Tokyo, Japan.*
- [22] Choe, B.H., 1973. The outline of natural silk processing. *Republic of Korea.*
- [23] Krishnaswami, S., Madhava Rao, N.R., Suryanarayan, S.K. and Sundaramurthy, T.S., 1972. *Sericulture manual.(v.) 3: Silk reeling.* FAO.
- [24] Gulrajani, M.L., Gupta, D., Periyasamy, S. and Muthu, S.G., 2008. Preparation and application of silver nanoparticles on silk for imparting antimicrobial properties. *Journal of applied polymer science*, 108(1), pp.614-623.
- [25] Tang, B., Wang, J., Xu, S., Afrin, T., Xu, W., Sun, L. and Wang, X., 2011. Application of anisotropic silver nanoparticles: Multifunctionalization of wool fabric. *Journal of colloid and interface science*, 356(2), pp.513-518.
- [26] มุจรินทร์, ช. การย้อมสีและการเพิ่มสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียแก่เส้นด้ายไหมโดยการเคลือบอนุภาคนาโนซิลเวอร์และไททาเนีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2019.
- [27] Pavan M. V. Raja, A.R.B., Synthesis of noble metal nanoparticles. *Physical Methods in Chemistry and Nano Science.* 2015.
- [28] Agnihotri, S., Mukherji, S. and Mukherji, S., 2014. Size-controlled silver nanoparticles synthesized over the range 5–100 nm using the same protocol and their antibacterial efficacy. *Rsc Advances*, 4(8), pp.3974-3983.

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาพ TEM แสดงสัณฐานวิทยาของอนุภาคซิลเวอร์นาโน  
ในซิลเวอร์คอลลอยด์สีน้ำเงิน (pH=7) ที่เตรียมด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี

## ภาคผนวก ข

## สมบัติต้านแบคทีเรีย

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบสมบัติต้านแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* วิธีรีดักชันทางเคมี

ตัวอย่าง	CFU/ml		% Reduction
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	
ผ้าไหม	$2.51 \times 10^6 \pm 2.08 \times 10^4$	$5.36 \times 10^3 \pm 3.71 \times 10^2$	41.75
AgNPs	$1.49 \times 10^6 \pm 1.02 \times 10^5$	$0.00 \pm 0.00$	100
Cs/AgNPs	$1.47 \times 10^6 \pm 1.19 \times 10^5$	$0.00 \pm 0.00$	100
Cs/AgNPs/MMT	$1.51 \times 10^6 \pm 1.37 \times 10^5$	$6.47 \times 10^2 \pm 5.03 \times 10^1$	54.54

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบสมบัติต้านแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* วิธีรีดักชันด้วยแสงยูวี

ตัวอย่าง	CFU/ml		% Reduction
	0 ชั่วโมง	24 ชั่วโมง	
Cs	$1.48 \times 10^6 \pm 5.51 \times 10^4$	$0.00 \pm 0.00$	100
Cs/AgNPs	$1.53 \times 10^6 \pm 5.86 \times 10^4$	$0.00 \pm 0.00$	100
Cs/AgNPs/MMT	$1.48 \times 10^6 \pm 6.66 \times 10^4$	$1.03 \times 10^5 \pm 1.03 \times 10^4$	18.81



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	ลักษณารีย์ มਾਲะ
วัน เดือน ปี เกิด	22 กันยายน 2538
สถานที่เกิด	น่าน
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ที่อยู่ปัจจุบัน	52 หอพักเรสซิเดนซ์ 45 ซ.พหลโยธิน 45 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900
ผลงานตีพิมพ์	Mala, L., Kittinaovarut, S., Sujaridworakun, P.(2021). "Enhanced Antibacterial and Flame Retardant Properties of Silk Fabric by Silver Colloid and Montmorillonite." SIAM: Science and Innovation of Advanced Materials 1.2 : 64007-64007.  นำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์หัวข้อเรื่อง Enhanced Antibacterial and Flame Retardant Properties of Silk Fabric by Silver Colloid and Montmorillonite. ในการประชุมวิชาการนานาชาติ Materials Thailand “AMF-AMEC 2021” (The 12th Asian Meeting on Ferroelectric, The 12th Asian Meeting on Electroceramics) ในรูปแบบ online conference

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**