การพัฒนาเส้นใยเซลลูโลสต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยสารซิลเวอร์นาโนและสารช่วยยึดติดจากธรรมชาติ

โดย

นางสาวสุดารัตน์ ศรีโสด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ)
สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Ref. code: 25595809035537IPM

การพัฒนาเส้นใยเซลลูโลสต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยสารซิลเวอร์นาโนและสารช่วยยึดติดจากธรรมชาติ

โดย

นางสาวสุดารัตน์ ศรีโสด

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ)
สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

Ref. code: 25595809035537IPM

DEVELOPMENT OF ANTIBACTERIAL CELLULOSE FIBERS USING SILVER NANOPARTICLES AND NATURAL BINDER

BY

MISS SUDARAT SRISOD

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE (MATERIALS INNOVATION AND TECHNOLOGY)
DEPARTMENT OF MATERIALS AND TEXTILE TECHNOLOGY
FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

Ref. code: 25595809035537IPM

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

วิทยานิพนธ์

ของ

นางสาวสุดารัตน์ ศรีโสด

เรื่อง

การพัฒนาเส้นใยเซลลูโลสต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยสารซิลเวอร์นาโนและสารช่วยยึดติดจากธรรมชาติ

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ)

เมื่อ วันที่ 7 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กิตติพงศ์ ไชยนอก)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ _____
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญวิสาข์ พิสิฏฐศักดิ์)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ _____
(อาจารย์ ดร. พัชรกมน หนูเอียด)

คณบดี _____
(รองศาสตราจารย์ ปกรณ์ เสริมสุข)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเส้นใยเซลลูโลสต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยสารซิลเวอร์นาโนและสารช่วยยึดติดจากธรรมชาติ
ชื่อผู้เขียน	นางสาวสุดารัตน์ ศรีโสด
ชื่อปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (นวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ)
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญวิสาข์ พิสิฏฐศักดิ์
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาผ้าจากเส้นใยเซลลูโลส ได้แก่ผ้าฝ้ายและผ้าเรยอนให้มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยวิธีตกแต่งสำเร็จทางเคมี ด้วยอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโนและสารยึดติดจากธรรมชาติ สารละลายเวย์โปรตีนและโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะด่างที่ pH 10 ทำหน้าที่รีดิวซ์ซิลเวอร์ไนเตรตให้กลายเป็นอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน และป้องกันมิให้อนุภาคที่เกิดขึ้นรวมตัวกันตกตะกอน สารที่ใช้เชื่อมขวางโปรตีนบนเส้นใยเซลลูโลส ได้แก่ สารสกัดจากเปลือกตะบูนขาวซึ่งมีแทนนินเป็นองค์ประกอบหลัก และสารกลูตาราลดีไฮด์ ซึ่งจะทำให้ได้ชั้นโปรตีนที่ไม่ละลายน้ำ ทำหน้าที่ช่วยยึดอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโนให้ติดบนเส้นใยเซลลูโลส ผลการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาพบว่า อนุภาคซิลเวอร์ที่ได้มีรูปร่างค่อนข้างกลม มีขนาดเฉลี่ย 31 นาโนเมตร สำหรับเส้นใยฝ้ายที่ใช้เวย์โปรตีนร่วมกับแทนนิน และขนาดเฉลี่ย 11 นาโนเมตร สำหรับเส้นใยเรยอนที่ใช้โปรตีนถั่วเหลืองร่วมกับกลูตาราลดีไฮด์ จากการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียด้วยมาตรฐาน AATCC 100-2004 พบว่า ผ้าฝ้ายและผ้าเรยอนมีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียทั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* โดยให้ค่าการลดลงของเชื้อแบคทีเรียถึง 99.9% แม้จะผ่านการซักถึง 30 ครั้ง จึงกล่าวได้ว่าผ้าที่ได้มีคุณสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรียและมีความคงทนต่อการซักดีเยี่ยม

คำสำคัญ: ผ้าฝ้าย, ผ้าเรยอน, เวย์โปรตีน, โปรตีนถั่วเหลือง, อนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน, สารต้านเชื้อแบคทีเรีย, สารต้านเชื้อรา

Ref. code: 25595809035537IPM

Thesis Title	DEVELOPMENT OF ANTIBACTERIAL CELLULOSE FIBERS USING SILVER NANOPARTICLES AND NATURAL BINDER
Author	Miss Sudarat Srisod
Degree	Master of Science (Materials Innovation and Technology)
Major Field/Faculty/University	Materials and Textile Technology Faculty of Science and Technology Thammasat University
Thesis Advisor	Assistant Professor Dr. Penwisa Pisitsak
Academic Years	2016

ABSTRACT

Antibacterial cellulose fabrics of cotton and rayon were developed through chemical finishing with silver nanoparticles and natural binders. Whey protein and soy protein solutions at pH 10 could reduce silver nitrate into silver nanoparticles and stabilize the synthesized particles against agglomeration. The tannin-rich extract from *Xylocarpus granatum* bark and glutaraldehyde served as protein cross-linkers. The cross-linked protein became water insoluble, acting as binder for attaching silver nanoparticles to cellulose fibers.

Results from a morphological study revealed that the silver nanoparticles were nearly spherical, with an average size of 31 nanometers (nm), for cotton treated with whey protein and tannin, and 11 nm for rayon treated with soy protein and glutaraldehyde. Following AATCC100-2004 to assess antibacterial finishes on textile materials, the percentage of reduction of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* treated fabrics were 99.9%, even after 30 washing cycles. These findings suggest that treated fabrics had satisfactory antibacterial efficiency and washing durability.

Keywords: cotton fabric, rayon fabric, silver nanoparticles, whey protein, soy protein, antimicrobial, green process, reduction, antifungal

Ref. code: 25595809035537IPM

กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาวิจัยและจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ซึ่งได้รับความช่วยเหลือ และการสนับสนุนจากบุคคลหลายท่านและหลายหน่วยงาน โดยข้าพเจ้าในฐานะผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญวิสาข์ พิสิฏฐศักดิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาตลอดจนงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์ ขอบกราบขอบพระคุณ คุณกาญจนา โมธินา นักวิทยาศาสตร์ประจำภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ ที่ช่วยเหลือและให้คำแนะนำ ความรู้ด้านการทดสอบการต้านจุลินทรีย์ อีกทั้งช่วยเหลือด้านห้องปฏิบัติการ วัสดุอุปกรณ์ และเครื่องมือวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ หลักสูตรนวัตกรรมและเทคโนโลยีวัสดุ ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ คำแนะนำ คำสอน ให้แก่ข้าพเจ้า ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่สาขาวิชาเทคโนโลยีวัสดุและสิ่งทอ ที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกตลอดการทำวิจัย และขอบขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพที่ให้ความอนุเคราะห์เอื้อเฟื้อสถานที่ห้องปฏิบัติการสำหรับการทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์ของทางภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ

นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2558 ที่ให้โอกาสและสนับสนุนค่าธรรมเนียมการศึกษาตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้สำเร็จ ขอขอบคุณกำลังใจจากครอบครัว และเพื่อนทุกคน ที่คอยช่วยเหลือสนับสนุน ให้คำแนะนำ ปรึกษา และเป็นกำลังใจที่ดีมาโดยตลอด

หากผลการศึกษานี้มีข้อบกพร่องประการใด ผู้วิจัยขอน้อมรับไว้เพื่อปรับปรุงแก้ไขต่อไป

นางสาวสุดารัตน์ ศรีโสด

Ref. code: 25595809035537IPM

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(9)
สารบัญภาพ	(10)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	3
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ผ้าฝ้าย	4
2.2 ผ้าเรยอน	5
2.3 สารต้านแบคทีเรีย	7

Ref. code: 25595809035537IPM

2.3.1 สารต้านแบคทีเรียที่ใช้กับสิ่งทอ 7
2.3.1.1 สารซิลเวอร์นาโน 7
2.3.1.2 สารซิงค์ออกไซด์ 7
2.3.1.3 สารไทเทเนียมไดออกไซด์ 7
2.3.1.4 ไคโตซาน 7
2.3.2 แบคทีเรีย 7
2.3.2.1 แบคทีเรียแกรมบวก 8
2.3.2.2 แบคทีเรียแกรมลบ 8
2.4 นาโนเทคโนโลยี 9
2.5 ซิลเวอร์ไนเตรต 9
2.5.1 ข้อดีของซิลเวอร์นาโน 10
2.5.2 กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย 10
2.5.3 กลไกหลักของซิลเวอร์นาโนต่อการป้องกันแบคทีเรีย 12
2.5.4 วิธีการทดสอบการต้านแบคทีเรียของสิ่งทอ 12
2.5.5 ความปลอดภัยต่อมนุษย์ 12
2.6 โปรตีน 13
2.6.1 โปรตีนและกรดอะมิโน 13
2.6.1.1 การแปรรูปโปรตีน 13
2.6.1.2 สมบัติของโปรตีน 14
2.6.1.3 สมบัติทางกายภาพของโปรตีน 14
2.6.1.4 สมบัติทางเคมีของโปรตีน 14
2.6.2 เวย์โปรตีน 15
2.6.2.1 เวย์โปรตีนคอนเซนเทรท 15
2.6.2.2 เวย์โปรตีนไอโซเลต 15
2.6.2.3 เวย์โปรตีนไฮโดรไลซ์ 15

Ref. code: 25595809035537IPM

2.6.3 โปรตีนถั่วเหลือง 16
2.7 ตะบูนขาว 16
2.7.1 การนำตะบูนขาวมาใช้ประโยชน์ 16
2.8 สารกลูตาราลดีไฮด์ 17
2.9 การตกแต่งสำเร็จ 17
2.9.1 การนำสิ่งทอที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จแล้วไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ 18
2.9.2 จำแนกวิธีการตกแต่งสำเร็จ 18
2.9.2.1 การตกแต่งเชิงกล 18
2.9.2.2 การตกแต่งทางเคมี 18
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 19

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 22

3.1 วิธีการดำเนินงาน 22
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ 22
3.2 การทดลอง 23
3.2.1 สังเคราะห์สารซิลเวอร์ในเตรตให้มีอนุภาคขนาดนาโนด้วยเวย์โปรตีนและแทนนิน 23
3.2.2 ตกแต่งสำเร็จสารป้องกันแบคทีเรียบนผ้าฝ้าย ด้วยวิธีจุ่มบีบอัดและตากแห้ง 24
3.2.2.1 การนิยามชื่อตัวอย่างผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน 24
3.2.3 สังเคราะห์สารซิลเวอร์ในเตรตให้มีอนุภาคขนาดนาโนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและกลูตาราลดีไฮด์ 25
3.2.4 ตกแต่งสำเร็จสารป้องกันแบคทีเรียบนผ้าเรยอนด้วยวิธีจุ่มบีบอัดและตากแห้ง 26
3.2.4.1 การนิยามชื่อตัวอย่างผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน 26
3.3 การทดสอบ 27

Ref. code: 25595809035537IPM

3.3.1 ประสิทธิภาพสารซิลเวอร์อนุภาคนาโน 27
3.3.2 สัณฐานวิทยา 27
3.3.3 ทดสอบความคงทนต่อการซัก 27
3.3.4 ทดสอบดัชนีความขาวและความเพี้ยนสีของผ้า 28
3.3.5 ทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้า 28
3.3.6 ทอสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน 28
3.3.7 ทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน 31

บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 32

4.1 ผลการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยเวย์โปรตีนและแทนนิน 32
4.1.1 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง 32
4.1.2 ผลการทดสอบวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน 34
4.2 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารซิลเวอร์นาโน 36
4.2.1 ผลการทดสอบความคงทนต่อการซัก 36
4.2.2 ผลการทดสอบดัชนีความขาวและความเพี้ยนสีของผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน 39
4.2.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้าย 40
4.2.4 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 43
4.2.5 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน 47
4.2.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน 57
4.3 ผลการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและกลูตาราลดีไฮด์ 65

Ref. code: 25595809035537IPM

4.3.1 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง 65
4.3.2 ผลการทดสอบวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน 66
4.4 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าเรยอนด้วยสารซิลเวอร์นาโน 67
4.4.1 ผลการทดสอบความคงทนต่อการซัก 67
4.4.2 ผลการทดสอบความเพี้ยนสีของผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน 69
4.4.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 71
4.4.4 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าเรยอนที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีการวัดผลร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย 72

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 75

5.1 สรุปผลการวิจัย 75
5.2 ข้อเสนอแนะ 76

รายการอ้างอิง 77

ประวัติผู้เขียน 82

Ref. code: 25595809035537IPM

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงจำนวนรอบการซักล้างของผ้าฝ้าย และสัญลักษณ์ชื่อตัวอย่าง	37
4.2 แสดงค่าความเพี้ยนสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ CIE Lab (L* a* b* color space)	39
4.3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการซึมน้ำของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ	42
4.4 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายด้วยวิธีสังเกตการเกิดบริเวณใส	48
4.5 ภาพถ่ายแสดงลักษณะการเกิดบริเวณใสของผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ	49
4.6 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายด้วยวิธีวัดผลร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย	52
4.7 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50, 75, 500 และ 1000 ppm ด้วยวิธีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย	54
4.8 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียต่อเชื้อ *S. aureus* ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm	55
4.9 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียต่อเชื้อ *E. coli* ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm	56
4.10 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน	58
4.11 แสดงภาพลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนตัวอย่างผ้าฝ้าย	59
4.12 แสดงจำนวนรอบการซักล้างของผ้าเรยอน และสัญลักษณ์ชื่อตัวอย่าง	68
4.13 แสดงค่าความเพี้ยนสีของผ้าเรยอนก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ CIE Lab (L* a* b* color space)	70
4.14 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าเรยอนหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 และ 100 ppm ด้วยวิธีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย	73

Ref. code: 25595809035537IPM

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	เส้นใยฝ้าย	4
2.2	เส้นใยเรยอน	6
2.3	โครงสร้างของกรดอะมิโน	13
4.1	ค่าการดูดกลืนแสงของสารสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm	33
4.2	ค่าการดูดกลืนแสงของสารสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50, 100 และ 500 ppm	33
4.3	ลักษณะอนุภาคและการกระจายตัวของสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 ppm (ก-ข) และ 100 ppm (ค-ง)	35
4.4	กราฟแสดงขนาดอนุภาคของซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน	36
4.5	ภาพถ่ายแสดงสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ และเปรียบเทียบสีผ้าฝ้ายหลังการซักล้างที่ 0, 10, 20 และ 30 รอบซัก	38
4.6	แสดงภาพหยดน้ำที่หยดลงบนผิวผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ก), ผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm (ข) และ 500 ppm (ค)	41
4.7	ผ้าฝ้ายก่อนตกแต่งสำเร็จ ก่อนซัก (ก), หลังซัก (ข), และผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จ CT50-0W (ค), CT50-30W (ง), CT100-0W (จ), CT100-30W (ฉ), CT500-0W (ช) และ CT500-30W (ซ)	44
4.8	ผล FESEM-EDS ของผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm ก่อนซัก พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.83	46
4.9	ผล FESEM-EDS ของผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm หลังซัก 20 รอบ พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.60	46
4.10	ผล FESEM-EDS ของผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm หลังซัก 30 รอบ พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.30	47
4.11	ลักษณะของจานเลี้ยงเชื้อที่มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.99	57

Ref. code: 25595809035537IPM

4.12 แสดงลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นตัวอย่างผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ก) และหลังการตกแต่งสำเร็จ (ข, ค) 64
4.13 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองและ GA ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm 65
4.14 ลักษณะอนุภาคและการกระจายตัวของสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองและ GA ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 ppm และ 100 ppm 66
4.15 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองและGA 67
4.16 ภาพถ่ายแสดงสีของผ้าเรยอนก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ และเปรียบเทียบสีผ้าเรยอนหลังการซักล้างที่ 0, 10, และ 20 รอบซัก 68
4.17 ผ้าเรยอนก่อนตกแต่งสำเร็จ RY-Blank (ก), และผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จ RY50-0W (ข), RY100-0W (ค), RY50-20W (ง) และ RY100-20W (จ) 71

Ref. code: 25595809035537IPM

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันผ้าฝ้ายและผ้าเรยอนเป็นผ้าที่นิยมใช้กันมากในประเภทเส้นใยจากธรรมชาติ เนื่องจากมีคุณสมบัติที่ดี สามารถดูดซับน้ำ เหงื่อ ของเหลว ได้รวดเร็ว ระบายอากาศได้ดี และเกิดความสบายเมื่อสวมใส่ จึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้งานในด้านอุตสาหกรรมที่หลากหลาย เช่น เสื้อผ้ากีฬา เคหะสิ่งทอ อุปกรณ์ทางการแพทย์และยา เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม ผ้าฝ้ายที่เป็นเป็นเส้นใยจากธรรมชาติ และผ้าเรยอนที่เป็นเส้นใยกึ่งสังเคราะห์ที่ประกอบด้วยเซลลูโลส นั้นมีข้อเสีย เนื่องจากผ้าทั้งสองชนิดนี้มีประสิทธิภาพในการดูดซับของเหลวที่ดี เมื่อเกิดความร้อนและชื้น จึงเป็นแหล่งสะสมอาหารที่ดีต่อการเจริญเติบโตของจุลชีพ ก่อให้เกิดกลิ่นอับชื้น แบคทีเรีย และเชื้อราได้ ก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพ โดยเฉพาะในคนที่เป็นโรคผิวหนังอักเสบภูมิแพ้ ผิวหนังจะไวต่อสภาพแวดล้อมรอบตัว เช่น สภาพร้อน เย็น แห้ง ชื้น เชื้อโรค แบคทีเรียและเชื้อรา เป็นต้น ผู้ป่วยผิวหนังอักเสบภูมิแพ้มักจะมีอาการคันทำให้ผู้ป่วยเกา ส่งเสริมให้ผื่นลามกว้างขึ้น โดยผิวหนังที่อักเสบอยู่แล้วจะสามารถกำเริบมากขึ้นได้ อาจเกิดการติดเชื้อแทรกซ้อน วิธีหนึ่งที่ช่วยทำให้อาการดีขึ้นได้ คือการไม่สวมใส่เสื้อผ้าที่ระคายเคืองง่ายหรืออับร้อน เช่นการใส่เสื้อผ้าที่มีการระบายอากาศได้ดี และควรใส่เสื้อผ้าที่มีคุณสมบัติในการต้านแบคทีเรียและเชื้อรา เป็นต้น นอกจากความจำเป็นต่อสุขภาพแล้ว ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จต้านเชื้อแบคทีเรียยังมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้นกว่าผ้าทั่วไปด้วย เนื่องจากผ้าดังกล่าวจะไม่ถูกทำลายด้วยจุลชีพ

ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จทางเคมีบนให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลายด้าน เช่น สิ่งทอทางการแพทย์ สิ่งทอเพื่อสุขภาพ สิ่งทออนามัย เป็นต้น โดยสารเคมีหลากหลายชนิดถูกนำมาใช้ สารที่เป็นที่นิยมกันมากคืออนุภาคซิลเวอร์ โดยได้มีการนำสารซิลเวอร์อนุภาคเล็กระดับนาโน มาเป็นตัวกำจัดแบคทีเรียบนผ้าฝ้าย ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีว่ามีประสิทธิภาพสูงในการป้องกันแบคทีเรีย เป็นพิษน้อย และปลอดภัยต่อมนุษย์

ในกระบวนการตกแต่งสำเร็จเพื่อติดอนุภาคบนผ้ามักต้องมีการใช้สารช่วยยึดติด มักใช้สารเคมีทางการค้าซึ่งเป็นสารสังเคราะห์จากผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในด้านการปลดปล่อยสารเคมีจากกระบวนการตกแต่งสำเร็จออกสู่สิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการใช้สารจากธรรมชาติมาทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดติด ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม หรือมีความเป็น

Ref. code: 25595809035537IPM

พิษต่ำ เพื่อทดแทนการใช้สารเคมีกลุ่มที่เป็นอันตราย เพื่อให้มีความปลอดภัยต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อม

จากที่กล่าวมานี้จึงนำไปสู่การวิจัย และได้คิดค้นและพัฒนาผ้าฝ้ายและผ้าเรยอน ให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรีย โดยไม่ใช้สารเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม มีความคงทน ประหยัดต้นทุนและพลังงาน โดยศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารซิลเวอร์ให้มีอนุภาคขนาดนาโน ด้วยพอลิเมอร์จากธรรมชาติ (biopolymer) ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ได้ศึกษาการใช้เวย์โปรตีน ซึ่งเป็นโปรตีนที่สกัดได้จากนม ผ่านการคัดแยกจากกระบวนการทำเนยแข็ง มาใช้เป็นตัวรีดิวซ์ (reducing agent) โดยจะรีดิวซ์สารซิลเวอร์ไนเตรต ให้เป็นซิลเวอร์อนุภาคขนาดนาโน (AgNPs) ร่วมกับการใช้สารสกัดจากเปลือกตะบูน (cannonball mangrove) เป็นสารช่วยยึดติด (binder) โดยทำงานร่วมกับเวย์โปรตีน และศึกษาการใช้โปรตีนจากถั่วเหลืองมาใช้เป็นตัวรีดิวซ์ โดยจะรีดิวซ์สารซิลเวอร์ไนเตรต ให้เป็นซิลเวอร์อนุภาคขนาดนาโน ร่วมกับการใช้สารกลูตาราลดีไฮด์ ทำหน้าที่เป็นสารช่วยยึดติดและเชื่อมขวาง (cross-linkers) กับโปรตีนถั่วเหลือง และทดสอบสมบัติความคงทนต่อการยึดติดของสารบนผ้า โดยผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนนี้ ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียทั้งแกรมบวก (gram positive bacteria) คือ *Staphylococcus aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ (gram negative bacteria) คือ *Escherichia coli* ซึ่งเป็นวิธีการสังเคราะห์สารที่ปลอดภัยและเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อสังเคราะห์สารซิลเวอร์ให้เป็นอนุภาคขนาดนาโน ด้วยพอลิเมอร์จากธรรมชาติที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

1.2.2 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียและเชื้อราบนผ้าฝ้ายและผ้าเรยอน

1.2.3 เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพอื่นๆของผ้าฝ้ายและผ้าเรยอน ที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนและสารช่วยยึดติดจากธรรมชาติ

1.2.4 เพื่อศึกษาการใช้สารช่วยยึดติดจากธรรมชาติคือแทนนิน และสารช่วยยึดติดเคมีทางการค้าคือกลูตาราลดีไฮด์

Ref. code: 25595809035537IPM

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1.3.1 ทำการสังเคราะห์สารซิลเวอร์ให้เป็นอนุภาคขนาดนาโน ด้วยเวย์โปรตีนและสารช่วยยึดติดจากธรรมชาติคือแทนนิน

1.3.2 ทำการสังเคราะห์สารซิลเวอร์ให้เป็นอนุภาคขนาดนาโน ด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและสารช่วยยึดติดเคมีทางการค้าคือกลูตาราลดีไฮด์

1.3.3 ทำการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายและผ้าเรยอน ด้วยวิธีจุ่มอัด

1.3.4 ศึกษาสัณฐานวิทยาและทดสอบสมบัติทางกายภาพ

1.3.5 ทดสอบความคงทนของต่อการซักและประเมินประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียและเชื้อรา

Ref. code: 25595809035537IPM

บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ผ้าฝ้าย

ผ้าฝ้าย (cotton fabric) เป็นผ้าที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ เป็นที่นิยมใช้กันมากในกลุ่มของเส้นใยจากธรรมชาติ มีการปลูกฝ้ายเพื่อการค้ามากถึง 80 ประเทศ และมีมากกว่า 150 ประเทศที่นำเข้าและส่งออกผ้าฝ้ายเพื่อใช้ในอุตสาหกรรม ฝ้ายเป็นเส้นใยจากพืช มีส่วนประกอบมูลฐานเป็นเซลลูโลส ผ้าฝ้ายทำมาจากใยฝ้าย โดยได้จากส่วนผลของต้นฝ้าย ผลฝ้ายหรือสมอ (boll) ภายในมีสมอมี 3-5 ช่อง (locule) แต่ละช่องมีเมล็ด 8-12 เมล็ด (seed) เมล็ดฝ้ายมีสีดำ ลักษณะทรงกลมรูปไข่ เมื่อสมอสุกจะแตกอ้าดันส่วนปุยฝ้าย (lint) ออกมา เป็นเส้นใยสีขาวนุ่ม ละเอียด การแยกเส้นใยฝ้ายออกจากเปลือกและเมล็ด จะเรียกว่า การหีบฝ้าย โดยจะนำไปปั่นเป็นเป็นเส้นใย เส้นด้ายและถัก ทอออกมาเป็นผ้าผืนต่อไป เส้นใยฝ้ายมีลักษณะเป็นเส้นใยสั้น มีรูกลวงตรงกลาง เส้นใยมีลักษณะบิดเกลียว ผิวไม่เรียบ ไม่สม่ำเสมอ ต่างจากเส้นเส้นใยสังเคราะห์ ส่วนของเมล็ดฝ้าย สามารถนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์สำหรับการเพาะปลูกในปีต่อไป หรือสามารถนำเมล็ดไปสกัดเป็นน้ำมันได้ เรียกว่า น้ำมันเมล็ดฝ้าย โดยสมอฝ้าย 100 กิโลกรัม แยกออกเป็น เส้นใยฝ้าย 35 กิโลกรัม เมล็ด 62 กิโลกรัม และเปลือก 3 กิโลกรัม (1)

ภาพที่ 2.1 เส้นใยฝ้าย[2]

Ref. code: 25595809035537IPM

ข้อดีของผ้าฝ้ายคือ ฝ้ายเป็นเส้นใยจากธรรมชาติ จึงไม่ทำให้เกิดการแพ้หรือระคายเคืองผิว สามารถนำไปผลิตเป็นเสื้อผ้าเด็กทารกได้ ผิวของผ้าฝ้ายจะเรียบเนียน นุ่ม อีกทั้งผ้าฝ้ายมีความสามารถในการดูดซับน้ำและเหงื่อได้ดี สามารถระบายอากาศและความชื้นได้เร็ว แห้งง่าย สามารถซักรีดและทำความสะอาดได้ง่าย มีความทนทาน ทนความร้อน ทนด่าง ดูแลง่าย ผ้าฝ้ายมีความเหนียวปานกลาง แต่เมื่อเปียกน้ำจะมีความเหนียวมากขึ้น ผ้าฝ้ายเหมาะสำหรับที่จะนำไปผลิตเป็นเสื้อผ้าเครื่องแต่กาย เหมาะสำหรับประเทศที่มีอากาศร้อนชื้น หรือสวมใส่ในฤดูร้อน ผ้าฝ้ายจะสามารถดูดซับเหงื่อและระบายอากาศได้ดี เมื่อสวมใส่แล้วรู้สึกสบาย ส่วนในฤดูหนาว ผ้าฝ้ายสามารถเก็บกักอุณหภูมิจากร่างกายได้ดี เมื่อสวมใส่จะรู้สึกอบอุ่น ผ้าฝ้ายสามารถนำไปผลิตเป็นผ้าเช็ดตัว ผ้าห่มเด็ก ผ้าปูที่นอน ปลอกหมอน ผ้าม่าน ผ้าปูโต๊ะ และอื่นๆอีกมากมาย ผ้าฝ้ายเป็นผ้าที่ใช้งานได้ดีและใช้ประโยชน์ได้มาก

ข้อเสียของผ้าฝ้ายคือ เนื้อผ้ายับง่าย หดง่าย คืนตัวได้ต่ำ คงรูปได้ยาก เมื่อมีความร้อนและชื้นจะสามารถขึ้นราได้ง่าย ผ้าฝ้ายสามารถติดไฟได้ เมื่อไหม้จะให้กลิ่นเหม็นเหมือนกระดาษไหม้ และมีขี้เถ้า ผ้าฝ้ายไม่ทนกรด เมื่อโดนกรดจะทำให้ผ้ายุ่ยเสียได้ โดยผ้าฝ้ายเมื่อถูกเก็บในที่ร้อนและชื้น จะเป็นสาเหตุที่ทำให้ผ้าขึ้นรา เกิดเป็นรอยสีขาว หรือจุดสีดำบนผ้า ทำให้ผ้าสกปรก เมื่อทิ้งไว้นานๆจะทำให้ผ้าเสียหายและ ความแข็งแรงของผ้าลดลงได้ นอกจากนี้คราบเหงื่อและไขมันที่ออกมาทางผิวหนังของผู้มี่สวมใส่เสื้อผ้า จะเป็นแหล่งอาหารให้กับการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ เมื่อเกิดการหมักหมมเป็นเวลานานจะก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นอับ หรือกลิ่นตัวได้ โดยมากมักพบบริเวณที่อับชื้น เช่น รักแร้ เป็นต้น วิธีป้องกันเชื้อราและแบคทีเรียคือ ไม่ควรเก็บผ้าไว้ในที่ร้อน ชื้น ระบายอากาศไม่ดี หรือควรตกแต่งสำเร็จผ้าด้วยสารป้องกันเชื้อราหรือแบคทีเรีย เป็นต้น

2.2 ผ้าเรยอน

ผ้าเรยอน (rayon fabric) เป็นเส้นใยที่ประกอบด้วยเซลลูโลส ที่ถูกคิดค้นและสังเคราะห์ขึ้นมาเรียกว่าไหมเทียม (synthetic cellulose fibers) ผลิตโดยการนำเอาเปลือกไม้มาย่อยสลายในสารเคมีแล้วฉีดออกมาเป็นเส้นใยเรยอน โดยมีรูปร่างและลักษณะมันวาวคล้ายเส้นไหม แต่มีคุณสมบัติแตกต่างจากไหม ข้อดีของผ้าเรยอนคือ เนื้อผ้ามีความลื่น นุ่ม สวมใส่สบาย ทิ้งตัวได้ดี สามารถดูดความชื้นและระบายความร้อนได้ดี มีความทนทานต่อการใช้งาน ผ้าเรยอนทนความร้อนได้ดี สามารถดูดซับน้ำได้ดีคล้ายผ้าฝ้าย จึงนิยมนำมาผสมกับเส้นใยฝ้ายเพื่อการใช้งานที่ดีขึ้น แต่ผ้าเรยอนมีข้อเสียคือ ยับง่าย และติดไฟได้รวดเร็ว ลักษณะการไหม้ไฟจะคล้ายกับผ้าฝ้าย แต่จะไหม้ได้

Ref. code: 25595809035537IPM

เร็วกว่า อีกทั้งสมบัติการชอบน้ำของผ้าเรยอนยังทำให้เป็นแหล่งอาหารที่ดี เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย และทำให้ผ้าเปื่อยง่ายอีกด้วย (3)

ภาพที่ 2.2 เส้นใยเรยอน[4]

จากข้อเสียของผ้าฝ้ายและผ้าเรยอนที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะปรับปรุงสมบัติผ้าฝ้ายและผ้าเรยอน ให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียและเชื้อรา อีกทั้งในปัจจุบันผู้คนให้ความสนใจด้านสุขอนามัยมากขึ้น มีความใส่ใจเรื่องความสะอาด ปลอดภัย จึงเป็นจุดกำเนิดให้ระบบอุตสาหกรรมสิ่งทอได้คิดค้นและพัฒนาผ้า ให้มีสมบัติแปลกใหม่ โดดเด่น สามารถตอบสนองความต้องการของผู้บริโภคในยุคปัจจุบันได้ หนึ่งในนั้นคือการพัฒนาผ้าให้มีสมบัติต้านแบคทีเรียและเชื้อรา ทำให้ผู้บริโภคมีความสนใจ และเลือกที่จะซื้อผลิตภัณฑ์เหล่านี้ เนื่องจากทำให้รู้สึกสะอาด ปลอดภัยต่อเชื้อโรคต่างๆได้ โดยผ้าฝ้ายและผ้าเรยอนสามารถนำไปตกแต่งสำเร็จเพื่อเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ และทำให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานที่หลากหลายขึ้น เช่น การตกแต่งให้คงทน ตกแต่งให้กันไฟ ตกแต่งกันยับ ตกแต่งกันหด ตกแต่งให้ทำความสะอาดง่าย ตกแต่งให้กันเชื้อราและแบคทีเรีย เช่นสารซิลเวอร์นาโน เป็นต้น

ในขั้นตอนการพัฒนาผ้าให้มีสมบัติต้านแบคทีเรียและเชื้อรานั้น นิยมใช้วิธีการตกแต่งสำเร็จผ้าผืนด้วยสารที่มีคุณสมบัติต้านแบคทีเรียและเชื้อรา มาเคลือบลงบนผ้าด้วยกระบวนการทางเคมี โดยสารที่มีคุณสมบัติต้านแบคทีเรียและเชื้อรานั้นมีหลายชนิด ซึ่งจะได้กล่าวถึงในลำดับต่อไป

Ref. code: 25595809035537IPM

2.3 สารต้านแบคทีเรีย

สารต้านแบคทีเรีย (antibacterial agent) คือสารที่มีสมบัติต้าน ทำลาย หรือยับยั้งการเจริญเติบโต และการขยายจำนวนของแบคทีเรีย โดยสารต้านแบคทีเรียจะเข้าไปสัมผัสผนังเซลล์หรือเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรีย และทำลายหรือยับยั้งการทำงานของโปรตีนภายในเซลล์แบคทีเรีย ส่งผลทำให้ผนังเซลล์แบคทีเรียเสียหาย และทำให้ระบบการทำงานของสารพันธุกรรม (DNA) เสียหาย จึงทำให้แบคทีเรียไม่สามารถแบ่งเซลล์ได้ และทำให้ตายในที่สุด ดังนั้นสารต้านแบคทีเรียจึงสามารถลดปัญหากลิ่นอับชื้น จุดราดำ ป้องกันการติดเชื้อ ลดอาการคัน และลดการสะสมของแบคทีเรียได้

2.3.1 สารต้านแบคทีเรียที่ใช้กับสิ่งทอ

สารต้านแบคทีเรียมีหลายชนิด ยกตัวอย่างสารต้านแบคทีเรียที่นิยมนำมาใช้กับวัสดุสิ่งทอ เช่น

2.3.1.1 สารซิลเวอร์นาโน (silver nanoparticles) เป็นสารต้านแบคทีเรียที่เป็นอนุภาคซิลเวอร์ที่มีขาดเล็กมากๆระดับนาโนเมตร มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียสูงแม้ใช้สารในปริมาณที่น้อย มีความเป็นพิษน้อย และปลอดภัยต่อมนุษย์

2.3.1.2 สารซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide, ZnO) เป็นสารต้านแบคทีเรียและสามารถป้องกันแสงยูวีได้ มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายได้ในสารละลายกรดหรือเบส

2.3.1.3 สารไทเทเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide, TiO_2) เป็นสารต้านแบคทีเรียที่ใช้แสงเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงจะทำให้อิเล็กตรอนในไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถกำจัดเชื้อโรค เชื้อแบคทีเรียที่เกาะหรือสัมผัสกับอนุภาคได้

2.3.1.4 ไคโตซาน (chitosan) เป็นสารจากธรรมชาติ ผลิตจากเปลือกกุ้ง เปลือกปูหรือแกนปลาหมึก เป็นต้น โดยการนำวัตถุดิบเหลือใช้จากกระบวนการผลิตอาหารมาสกัดเอาโปรตีน แคลเซียม และเกลือแร่ออก แล้วสกัดให้ได้ไคติน และไคโตซาน ซึ่งสารไคโตซานมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้ และไม่ก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนัง เนื่องจากเป็นสารสกัดจากธรรมชาติ

2.3.2 แบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นจุลชีพก่อโรค สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ แบคทีเรียแกรมบวก เช่น *Staphylococcus aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ เช่น *Escherichia coli* และ *Klebsiella pneumoniae* เป็นต้น โดยแบคทีเรียแกรมบวกจะมีผนังเซลล์ที่หนา ประกอบด้วย

Ref. code: 25595809035537IPM

เปปติโดไกลแคน (peptidoglycan) มีความหนาประมาณ 30 นาโนเมตร แบคทีเรียแกรมลบจะมีผนังเซลล์ที่บาง ประกอบด้วยเปปติโดไกลแคน มีความหนาประมาณ 2-3 นาโนเมตร และมีเซลล์เมมแบรนชั้นนอกหุ้มอยู่ (outer membrane) ซึ่งแบคทีเรียแกรมลบจะสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิของร่างกายมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก ดังนั้นแบคทีเรียที่เกิดกับมนุษย์ส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียแกรมลบ โดยแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบคือ

2.3.2.1 แบคทีเรียแกรมบวก คือ *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) เป็นเชื้อประจำถิ่นและเป็นแบคทีเรียก่อโรค สามารถพบได้ทั่วไปตามเยื่อเมือก ผิวหนัง หรือจมูก โดยเชื้อชนิดนี้จะสามารถเข้าสู่ร่างกายเมื่อเกิดบาดแผล หรือเกิดการฉีดขาดบริเวณดังกล่าว โดยเชื้อจะเข้าสู่เนื้อเยื่อชั้นใน และเกิดการกระจายตัวเข้าสู่ระบบต่างๆในร่างกาย ก่อให้เกิดการอักเสบและเกิดหนองบริเวณที่ติดเชื้อ อีกทั้งเชื้อโรคยังสามารถแพร่กระจายเข้าสู่เส้นเลือดไปยังส่วนต่างๆของร่างกาย ก่อให้เกิดโรคติดเชื้อตามระบบต่างๆได้ เช่น ฝี ที่เกิดจากการติดเชื้อบริเวณรูขุมขน ต่อมเหงื่อ เกิดการบวมแดง และเจ็บ เกิดแผลพุพอง เป็นตุ่มหนองใส ผิวหนังอักเสบ การติดเชื้อบริเวณแผลผ่าตัด ก่อให้เกิดการบวมแดง และเป็นหนองได้ หรือเกิดการติดเชื้ออื่นๆ เช่น โรคปอดบวม โรคติดเชื้อในกระแสเลือด เป็นต้น โดย *S. aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก รูปกลม มีขนาด 0.5-1.5 ไมโครเมตร การเรียงตัวมีลักษณะคล้ายพวงองุ่น ไม่เคลื่อนที่ และไม่สร้างสปอร์ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน ย้อมแกรมจะติดสีม่วง (gram staining) โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตคือ 25-35 องศาเซลเซียส เป็นแบคทีเรียที่ทนต่อความร้อน ความแห้ง แสงแดด และทนอุณหภูมิสูงต่ำได้ดี

2.3.2.2 แบคทีเรียแกรมลบ คือ *Escherichia coli* (*E. coli*) เป็นเชื้อประจำถิ่นในระบบทางเดินอาหาร พบในอุจจาระและพบบริเวณลำไส้ใหญ่ของมนุษย์และสัตว์ มีความสามารถในการย่อยสลายและดูดซึมอาหาร และเป็นแบคทีเรียก่อโรคในร่างกายมนุษย์ได้ เช่น โรคติดเชื้อในระบบทางเดินอาหาร ทางเดินปัสสาวะ และทางเดินหายใจ ก่อให้เกิดโรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบ เกิดการติดเชื้อในกระแสเลือด เกิดการติดเชื้อของบาดแผล และก่อโรคอุจจาระร่วงได้ โดย *E. coli* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ รูปแท่งตรง มีขนาด 1.1-1.5 x 2.0-6.0 ไมโครเมตร เรียงตัวเป็นเซลล์เดี่ยวหรือเป็นคู่ สามารถเจริญเติบโตได้ดีในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน ย้อมแกรมจะติดสีแดง โดยอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตคือ 37 องศาเซลเซียส เป็นแบคทีเรียที่ทนต่อสภาวะแวดล้อมได้ดี โดยจะอาศัยได้ตามเสื้อผ้าแห้งและฝุ่นละอองได้หลายวัน สามารถอาศัยในน้ำได้หลายสัปดาห์ แต่จะถูกทำลายเมื่อได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (5)

Ref. code: 25595809035537IPM

2.4 นาโนเทคโนโลยี

นาโนเทคโนโลยีหมายถึง เทคโนโลยีการสร้าง สังเคราะห์วัสดุหรืออุปกรณ์ขนาดเล็กมากๆในช่วงประมาณ 1-100 นาโนเมตร ส่งผลให้เกิดสมบัติใหม่ หน้าที่ใหม่ มีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เพื่อเพิ่มประโยชน์ต่อการนำไปใช้งาน และเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐกิจได้

อนุภาคนาโน (nanoparticles) คือ อนุภาคหรือวัตถุที่มีมิติภายนอกหนึ่ง สอง หรือสามมิติมีขนาดนาโน นั่นคือ 1 นาโนเมตร เท่ากับ เศษหนึ่งส่วนพันล้านส่วนของหนึ่งเมตร หรือเท่ากับ 10^{-9} ดังนั้นมนุษย์จึงไม่สามารถมองเห็นอนุภาคขนาดนาโนได้ด้วยตาเปล่า

การประยุกต์ใช้งานนาโนเทคโนโลยีของสารซิลเวอร์นาโน สามารถนำซิลเวอร์นาโนไปประยุกต์ใช้กับยารักษาโรคทางการแพทย์ การเคลือบซิลเวอร์นาโนบนอุปกรณ์เครื่องมือการแพทย์ ผ้าปิดแผล เพื่อป้องกันการติดเชื้อ การนำไปเคลือบบนเสื้อผ้า สิ่งทอ เพื่อต้านแบคทีเรีย สิ่งสกปรก และลดกลิ่นเหม็นอับ หรือนำไปใช้กับบรรจุภัณฑ์หีบห่ออาหารได้ เป็นต้น (6)

2.5 ซิลเวอร์ไนเตรต

สารซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate) สูตรโครงสร้าง $AgNO_3$ ซิลเวอร์ไนเตรตเป็นผลึกของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่นและไม่มีสี วิธีสังเคราะห์ซิลเวอร์ไนเตรตให้มีอนุภาคขนาดนาโน สามารถทำได้หลายวิธี เช่นการเกิดรีดักชันทางเคมี (chemical reduction) การใช้กระแสไฟฟ้าทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมี (electrochemical reaction) หรือการใช้เลเซอร์ยิง เป็นต้น

ซิลเวอร์นาโน หรือ silver nanoparticles (AgNPs) เป็นอนุภาคซิลเวอร์ที่มีขนาดเล็กมากๆระดับนาโนเมตร อนุภาคอาจมีลักษณะเป็นทรงกรม ทรงกระบอก หรืออื่นๆ ส่วนมากจะสังเคราะห์ได้เป็นลักษณะทรงกลม แต่ไม่สมมาตร อาจบิดเบี้ยวได้ สารละลายซิลเวอร์นาโนประกอบด้วยซิลเวอร์ที่มีขนาดอนุภาคระหว่าง 10 ถึง 100 นาโนเมตร มีความเสถียร เมื่อเปรียบเทียบกับสารละลายอื่นๆ อนุภาคซิลเวอร์นาโนมีขนาดที่เล็กมากๆระดับนาโน มีพื้นที่ผิวที่สามารถสัมผัสกับพื้นที่ผิวอื่นๆได้มาก เนื่องจากมีขนาดที่เล็ก อีกทั้งยังมีความสามารถในการป้องกันแบคทีเรีย และสามารถใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรคได้อีกด้วย ผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน คือ อนุภาคนาโนของซิลเวอร์จะไปเกาะตัว ยึดติดอยู่บนเส้นใยผ้า โดยมีสารที่ช่วยให้ยึดติดได้คงทน (6)

Ref. code: 25595809035537IPM

2.5.1 ข้อดีของซิลเวอร์นาโน

2.5.1.1 มีคุณสมบัติเชิงแสงที่เปลี่ยนไป จากเดิมจะเห็นซิลเวอร์เป็นสีเงิน เห็นเป็นก้อน แต่เมื่อซิลเวอร์มีขนาดนาโนจะมองไม่เห็นอนุภาคด้วยตาเปล่า อนุภาคนาโนจะกระเจิงแสงและให้สีต่างกันออกไปตามขนาดของอนุภาค เช่นถ้ามีขนาดประมาณ 10-50 นาเมตร จะเห็นเป็นสารละลายสีเหลือง หรือสีน้ำตาลเหลือง เป็นต้น

2.5.1.2 ซิลเวอร์นาโนมีประสิทธิภาพป้องกันแบคทีเรีย โดยสารซิลเวอร์นาโน จะทำลายเชื้อแบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียตาย และไม่สามารถขยายจำนวนได้ ถ้านำไปตกแต่งสำเร็จบนเสื้อผ้า จะช่วยลดกลิ่นเหม็นบนเสื้อผ้า ที่เกิดจากการสะสมของแบคทีเรียได้

2.5.1.3 ซิลเวอร์นาโนสามารถทำลาย และยับยั้งการเพิ่มจำนวนของแบคทีเรียได้ ลดการติดเชื้อจากแบคทีเรียได้ เช่นการนำมาตกแต่งสำเร็จบนผ้าปิดแผลไฟไหม้ แผลเปิด หรือแผลอักเสบ ลดการติดเชื้อโรคได้

2.5.2 กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย

แบคทีเรียเป็นจุลชีพที่สามารถก่อโรคได้ ยาที่ใช้กำจัดแบคทีเรียได้ในปัจจุบันคือ ยาปฏิชีวนะ (antibiotic) ที่เป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างเหมาะกับบริเวณเร่ง (active site) ของโปรตีนในแบคทีเรีย ซึ่งจะไปรบกวนระบบทำงานของผนังเซลล์แบคทีเรีย ทำให้แบคทีเรียตาย จึงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ แต่ถึงอย่างไรยาปฏิชีวนะก็มีข้อด้อย คือจะสามารถกระตุ้นแบคทีเรียให้เกิดการกลายพันธุ์ได้ ส่งผลให้ยาตัวเดิมไม่สามารถยับยั้งการทำงานของโปรตีนในแบคทีเรียกลายพันธุ์ได้ ดั้งนั้นจึงเกิดการดื้อยา คือแบคทีเรียจะไม่ตายเมื่อได้รับยาปฏิชีวนะตัวเดิม จึงส่งผลให้เกิดการคิดค้นที่จะพัฒนาการใช้ยาปฏิชีวนะร่วมกับสารซิลเวอร์ (เงิน) ขนาดนาโนเพื่อแก้ไขปัญหานี้ ซึ่งเป็นทางออกหนึ่งที่จะพัฒนายาปฏิชีวนะตัวใหม่ เนื่องจากสารซิลเวอร์นาโน หรือโลหะเงินนั้น เคยมีการนำมาใช้เพื่อรักษาโรคมายาวนาน โดยซิลเวอร์มีสมบัติในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย แต่เนื่องจากซิลเวอร์เป็นโลหะเมื่อเก็บไว้นานจะถูกออกซิไดซ์จนกลายเป็นสีดำ จึงพัฒนาธาตุซิลเวอร์ให้มีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร เพื่อเพิ่มผิวสัมผัส เรียกว่าซิลเวอร์นาโน หรืออนุภาคนาโนเงิน โดยมีการทดสอบแล้วว่าปลอดภัยต่อร่างกาย เนื่องด้วยปริมาณที่น้อยมากและซิลเวอร์เป็นธาตุเฉื่อยที่มีอยู่ในธรรมชาติ และมีการทดลองใช้ไอออนซิลเวอร์ หรือ Ag^+ (silver ion) เพื่อฆ่าเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก *S. aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *E. coli* และพบว่าไอออนซิลเวอร์เกิดการกระจายตัวบริเวณผนังเซลล์แบคทีเรียและเข้าไปภายในเซลล์ของแบคทีเรีย ทำให้เกิดการรบกวนระบบและเกิดการรวมตัวของดีเอ็นเอภายในเซลล์ จึงทำให้แบคทีเรียตายและเกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้งสองชนิดนี้ได้

Ref. code: 25595809035537IPM

โดยประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของโลหะซิลเวอร์ (Ag) เป็นการควบคุมการปลดปล่อยทั้ง ซิลเวอร์นาโน และไอออนซิลเวอร์ ที่เป็นกลุ่มก้อนของโลหะซิลเวอร์ในระดับนาโนเมตร (Ag^0) โดยการปลดปล่อยไอออนซิลเวอร์เกิดขึ้นในระหว่างการแตกตัวของเกลือซิลเวอร์ (Ag salts) เช่น ซิลเวอร์ไนเตรต ที่ละลายในน้ำ และไอออนซิลเวอร์สามารถเกิดขึ้นได้จากการเกิดการออกซิเดชันของซิลเวอร์นาโน โดยมีน้ำและอากาศเป็นตัวกระตุ้น โดยการออกฤทธิ์การต้านแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน และไอออนซิลเวอร์ เกิดขึ้นคล้ายกัน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียระหว่างซิลเวอร์นาโน และไอออนซิลเวอร์พบว่า ซิลเวอร์นาโนมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าไอออนซิลเวอร์ เนื่องจากซิลเวอร์นาโนสามารถเกิดประสิทธิภาพการต้านจุลินทรีย์ (biocidal activity) ที่เกิดขึ้นได้จากการใช้ปริมาณความเข้มข้นสารที่ต่ำกว่าการใช้ไอออนซิลเวอร์ เปรียบเทียบจาก ความเข้มข้นในหน่วยนาโนโมลและไมโครโมล (nmol vs. μmol concentration levels) แต่อย่างไรก็ตามการใช้ซิลเวอร์นาโนหรือไอออนซิลเวอร์ ก็มีความปลอดภัยต่อมนุษย์ (7)

กลไกการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน และไอออนซิลเวอร์ คือ เมื่อซิลเวอร์สัมผัสกับผนังเซลล์ของแบคทีเรียจะสามารถแพร่กระจายประจุไปเกาะบริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรียและเกิดการแทรกเข้าไปภายในเซลล์ทำให้เกิดการรวมตัวกันของดีเอ็นเอภายในเซลล์ ทำให้ประจุบวกของซิลเวอร์ เข้าไปจับกับเอนไซม์โปรติเนส (proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับระบบเมตาบอลิซึม (metabolism) ของเซลล์ จะจับกับหมู่ (-SH) ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบซึ่งมีประจุเป็นลบ จึงทำให้โปรตีนแปลงสภาพ (denature) ส่งผลให้การควบคุมระบบลำเลียงสารเข้าและออกจากเซลล์ผิดปกติ เมื่อการลำเลียงสารเข้าออกเซลล์ผิดปกติ จำส่งผลให้เซลล์แตกทำให้แบคทีเรียตาย หรืออาจทำให้ไอออนซิลเวอร์สามารถเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรียได้ ทำให้ดีเอ็นเอภายในเซลล์ที่ประกอบด้วยฟอสฟอรัสจำนวนมากเกิดการรวมตัวกัน และส่งผลให้แบคทีเรียไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ เนื่องจากไอออนซิลเวอร์เป็นเบสอ่อน (soft base) จึงสามารถจับกับกรดอ่อนได้ (soft acid) จำพวกฟอสฟอรัส (P) และกำมะถัน (S) ได้ อีกทั้งไอออนซิลเวอร์ที่เข้าไปภายในเซลล์สามารถจับกับโปรตีนอื่นได้อีก เช่น โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์ (respiration) ดังนั้นเมื่อโปรตีนทำงานผิดปกติ แบคทีเรียก็จะตาย และทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดทำงาน รบกวนกระบวนการหายใจ (respiration) และกระบวนการสืบพันธุ์ (reproduction) ของเซลล์แบคทีเรีย เซลล์แบคทีเรียหยุดการเจริญเติบโต เสื่อมสภาพและตายในที่สุด อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของสารซิลเวอร์นาโนนั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของเชื้อแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโนมีมากกว่า 75 ppm (ส่วนในล้านส่วน) จะทำให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียต่อเชื้อแต่ละชนิดไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (8)

Ref. code: 25595809035537IPM

2.5.3 กลไกหลักของซิลเวอร์นาโนต่อการป้องกันแบคทีเรีย

2.5.3.1 ซิลเวอร์นาโนที่มีอนุภาคขนาด 1-10 นาโนเมตร จะสามารถจับกับผิวหน้าของเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียได้ดี และจะไปรบกวนระบบการทำงานระดับเซลล์ของแบคทีเรีย รบกวนระบบลำเลียงสารเข้าออกเซลล์ และรบกวนระบบการหายใจ ทำให้แบคทีเรียตาย

2.5.3.2 อนุภาคนาโนของซิลเวอร์จะแทรกเข้าไปภายในเซลล์แบคทีเรีย และรบกวนการทำงานระดับโมเลกุล โดยจับกับสารที่มีซัลเฟอร์ และฟอสฟอรัส เป็นองค์ประกอบ เช่น ดีเอ็นเอ ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้

2.5.3.3 อนุภาคซิลเวอร์นาโนจะปลดปล่อยไอออนซิลเวอร์ ความเข้มข้นสูงออกมา ทำให้สามารถฆ่าแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว อีกทั้งซิลเวอร์นาโนสามารถฆ่าเชื้อแบคทีเรีย รา ยีสต์ และจุลชีพอื่นๆได้ (8)

2.5.4 วิธีการทดสอบการต้านแบคทีเรียของสิ่งทอ

การประเมินประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียบนสิ่งทอสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

2.5.4.1 วิธีการทดสอบเชิงคุณภาพ ผลของการทดสอบจะแสดงประสิทธิภาพของสารต้านแบคทีเรียคือ ผลบวก (positive) หมายถึง สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้ และผลลบ (negative) หมายถึง ไม่สามารถต้านเชื้อแบคทีเรียได้

2.5.4.2 วิธีการทดสอบเชิงปริมาณ ผลของการทดสอบ จะแสดงเป็นค่าการลดลงของแบคทีเรีย (%reduction) โดยใช้วิธีการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย โดยถ้าผ้าหรือสิ่งทอที่ถูกตกแต่งสำเร็จด้วยสารต้านแบคทีเรีย จะพบปริมาณการลดลงของโคโลนีแบคทีเรียอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเทียบกับผ้าที่ไม่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารต้านแบคทีเรีย

2.5.5 ความปลอดภัยต่อมนุษย์

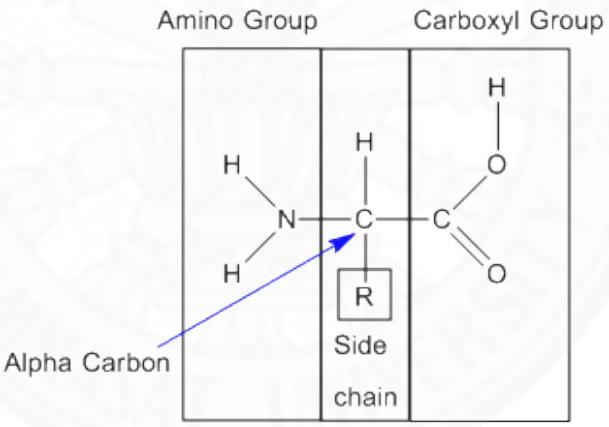
สารซิลเวอร์นาโนมีความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียและจุลินทรีย์ได้ ในระดับความเข้มข้นที่ต่ำกว่าโลหะหนักชนิดอื่นๆ แต่ไม่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ เนื่องจากเซลล์ของมนุษย์เป็นเซลล์ยูคาริโอต์ (eukaryotic cell) มีขนาดใหญ่และโครงสร้างซับซ้อน มีหน่วยย่อยในการทำงานที่มากกว่าเซลล์แบคทีเรียที่เป็นเซลล์โปรคาริโอต์ (prokaryotic cell) ดังนั้นเซลล์ยูคาริโอต์ในมนุษย์จึงไม่ได้รับความเสียหายเมื่อใช้ปริมาณสารซิลเวอร์นาโนปริมาณน้อยๆเพื่อกำจัดเซลล์แบคทีเรีย นั่นคือต้องใช้ซิลเวอร์นาโนปริมาณมาก จึงจะส่งผลต่อเซลล์มนุษย์ (9)

Ref. code: 25595809035537IPM

2.6 โปรตีน

2.6.1 โปรตีนและกรดอะมิโน

โปรตีนในธรรมชาติเกิดจากการรวมกันเป็นพอลิเมอร์สายยาวของกรดอะมิโนจำนวนมาก (amino acids) โดยเชื่อมต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ พบว่าโปรตีนส่วนใหญ่จะประกอบด้วยกรดอะมิโนพื้นฐานจำนวน 20 ชนิด โดยโครงสร้างทั่วไปของกรดแอลฟาอะมิโน (α amino acid) แสดงในภาพที่ 1 โดยกรดอะมิโนแต่ละตัวจะมีธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ไนโตรเจน และออกซิเจนอยู่ด้วย จะมีหมู่คาร์บอกซิล (carboxyl group) และหมู่อะมิโน (amino group) เชื่อมต่อบริเวณคาร์บอนอะตอมเดียวกันที่อยู่ตรงกลาง และมีหมู่ R (side chain) เชื่อมต่อกับคาร์บอนอะตอม ที่ตำแหน่งแอลฟา (α-carbon) โดยโครงสร้างเคมีของกรดอะมิโน 20 ชนิด ที่มักพบได้ทั่วไปในโปรตีนแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของกรดอะมิโน

(ดัดแปลงจากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 10)

2.6.1.1 การแปรรูปโปรตีน

โปรตีนนอกจากจะมีความสำคัญและมีประโยชน์ต่อร่างกาย ที่เราสามารถรับโปรตีนได้จากการรับประทานอาหาร จากอาหารเสริมต่างๆ หรือจากที่ร่างกายผลิตเองได้ เรายังสามารถนำ

Ref. code: 25595809035537IPM

โปรตีนมาแปรรูปเพื่อใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆที่เป็นประโยชน์ได้อย่างมากมาย ยกตัวอย่างเช่น เวย์โปรตีน เป็นต้น

2.6.1.2 สมบัติของโปรตีน

โปรตีนเป็นพอลิเมอร์ทางชีวภาพที่สำคัญ เกิดขึ้นจากหน่วยย่อยที่เรียกว่ากรดอะมิโนมาต่อกันด้วยพันธะเพปไทด์ โดยโครงสร้างสามมิติของโปรตีน (three dimensional structure) และคุณสมบัติทางชีวภาพของโปรตีนขึ้นอยู่กับสมบัติทางเคมีกายภาพ (physicochemical properties) ของกรดอะมิโนที่เป็นองค์ประกอบของโปรตีน ในเชิงปริมาณของสารชีวโมเลกุล พบว่าโปรตีนมีปริมาณมากถึงร้อยล่ะ 50 ของน้ำหนักแห้งของเซลล์ ซึ่งมีปริมาณมากกว่าสารชีวภาพที่สำคัญอื่นๆ เช่นกรดนิวคลีอิก หรือไขมัน

2.6.1.3 สมบัติทางกายภาพของโปรตีน

โปรตีนไม่มีสี และไม่มีรสชาติ มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และมีโครงสร้างเป็นผลึก โปรตีนมีรูปร่างที่หลากหลาย อาจมีรูปร่างแตกต่างกันออกไป เช่นในรูปทรงแบบเป็นผลึกที่แขวนลอยอยู่ (crystalloid) หรือมีโครงสร้างที่เรียบง่าย และโครงสร้างแบบเป็นสายยาว (fibrillar) โดยโครงสร้างของโปรตีนจะแบ่งเป็นสองรูปแบบที่แตกต่างกัน คือ เป็นโปรตีนแบบกลม (globular) และโปรตีนแบบสายยาว (fibrillar) ซึ่งโปรตีนแบบกลม จะมีรูปทรงกลมและเกิดขึ้นในพืช โปรตีนสายยาวจะมีรูปทรงเหมือนด้ายยาว เกิดขึ้นในสัตว์ โดยทั่วไปโปรตีนมีน้ำหนักโมเลกุลสูง เนื่องจากมีขนาดที่ใหญ่ และโปรตีนแสดงคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ (colloidal) โปรตีนมีอัตราการแพร่กระจายที่ช้ามาก อีกทั้งโปรตีนมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนคุณสมบัติของตัวเอง เช่นการสูญเสียสภาพธรรมชาติ (denaturation) อาจเปลี่ยนสภาพจากใส เป็นขาวขุ่น หรือเกิดการแข็งตัว ซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากทั้งทางกายภาพหรือทางเคมี เช่นทางกายภาพ ได้แก่ การเขย่า การแช่แข็ง การให้ความร้อน เป็นต้น หรือทางเคมี เช่นการให้รังสีเอกซ์ (X-ray) กัมมันตรังสี (radioactive) และอัลตราโซนิก (ultrasonic) โปรตีนเช่นกรดอะมิโน จะแสดงคุณสมบัติเป็น amphoteric คือสามารถเป็นได้ทั้งกรดและด่าง ความสามารถในการละลายของโปรตีนขึ้นอยู่กับค่า pH โดยจะละลายได้ต่ำที่จุด pI (isoelectric point) คือ pH ที่ทำให้ประจุรวมของกรดอะมิโนหรือโปรตีนมีประจุรวมเป็นศูนย์ และจะละลายได้มากขึ้นเมื่อเพิ่มความเป็นกรดหรือด่าง (11)

2.6.1.4 สมบัติทางเคมีของโปรตีน

เมื่อสลายโปรตีนด้วยกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น (conc.HCl) พันธะเอไมด์จะถูกย่อยสลายกลายเป็นกรดอะมิโนได้ เมื่อโปรตีนได้รับความร้อน กรด หรือเบส จะทำให้โครงสร้างของโปรตีนเสียสภาพ แต่พันธะเพปไทด์ในโปรตีนจะไม่ถูกทำลาย เพียงส่งผลให้โปรตีนแข็งตัวและไม่

Ref. code: 25595809035537IPM

ละลายน้ำ หรืออาจละลายน้ำได้เล็กน้อย มีสถานะเป็นของแข็ง ซึ่งสารละลายกรดและเบสจะทำให้โปรตีนตกตะกอน เช่นเมื่อเติมสารละลายกรดแอซีติก หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ลงในไข่ขาวดิบ หรือนม จะทำให้โปรตีนแปลงสภาพ โดยจะจับตัวกันเป็นก้อนหรือตกตะกอน อีกทั้งแอลกอฮอล์ ก็สามารถทำให้โปรตีนเสียสภาพได้เช่นกัน

2.6.2 เวย์โปรตีน

เวย์โปรตีน (whey protein) เป็นโปรตีนที่สกัดได้จากนม ผ่านการคัดแยกจากกระบวนการทำเนยแข็ง ที่สกัดเอาเฉพาะส่วนที่เป็นคาร์โบไฮเดรต และไขมันออกไป เหลือไว้เพียงโปรตีนบริสุทธ์และเข้มข้น แล้วนำไปผ่านกระบวนการทำให้แห้งเพื่อให้อยู่ในรูปผงเวย์โปรตีนนั่นเอง เวย์โปรตีนเป็นโปรตีนที่ร่างกายของมนุษย์สามารถย่อยสลายได้ง่าย สามารถดูดซึมไปใช้สร้างกล้ามเนื้อได้อย่างรวดเร็ว และช่วยซ่อมแซมกล้ามเนื้อที่สึกหรอได้ โดยเวย์โปรตีนระกอบด้วยกรดอะมิโนจำเป็นทั้ง 20 ชนิด เวย์โปรตีนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

2.6.2.1 เวย์โปรตีนคอนเซนเทรท (whey protein concentrate, WPC) เป็นการนำเวย์โปรตีนที่ได้จากกระบวนการผลิตข้างต้นมาผ่านการกรองแบบอัลตราฟิลเตรชัน (ultra filtration) ซึ่งเป็นการแยกแลคโตสและไขมันออกไป จะได้เวย์โปรตีนความเข้มข้นสูงถึงร้อยละ 29-89 ต่อปริมาณผงเวย์โปรตีน สีของเวย์โปรตีนที่ได้จะมีสีครีมอ่อน มีกลิ่นและรสชาติตามรูปแบบธรรมชาติของนมที่นำมาใช้ในการผลิต

2.6.2.2 เวย์โปรตีนไอโซเลต (whey protein isolate, WPI) เป็นเวย์โปรตีนที่ได้จากการนำเวย์โปรตีนคอนเซนเทรต มาผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange, IE) หรือการกรองแบบไหลขวางระดับไมโคร (cross flow microfiltration, CFM) เพื่อแยกเอาแลกโตสและไขมันที่หลงเหลือออกไป จึงทำให้เวย์โปรตีนมีความเข้มข้นสูงมากขึ้นถึงร้อยละ 97-98 ซึ่งเป็นเวย์โปรตีนที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีราคาแพง

2.6.2.3 เวย์โปรตีนไฮโดรไลซ์ (hydrolyzed whey protein, HWP) เป็นเวย์โปรตีนที่ได้จากการนำเวย์โปรตีนคอนเซนเทรต หรือเวย์โปรตีนไอโซเลตมาผ่านกระบวนการไฮโดรไลซ์อีกครั้ง จึงทำให้โมเลกุลของเวย์โปรตีนประเภทนี้มีขนาดที่เล็กมากในรูปของเพปไทด์ ที่ร่างกายสามารถดูดซับไปใช้งานได้ง่ายและรวดเร็วที่สุด แต่จะเสียวิตามินย่อยๆไปหมด มีรสชาติขม และมีราคาที่แพงมากที่สุดในท้องตลาด (12)

Ref. code: 25595809035537IPM

2.6.3 โปรตีนถั่วเหลือง

โปรตีนถั่วเหลือง (soy protein) เป็นโปรตีนที่สกัดได้จากเมล็ดถั่วเหลือง โดยวิธีการกระเทาะเปลือกหุ้มเมล็ดออก จากนั้นบดให้ละเอียดแล้วนำไปผ่านความร้อนแล้วทำให้เย็นลง หลังจากนั้นนำไปล้างด้วยสารละลาย เพื่อสกัดเอาคาร์โบไฮเดรตและสารต้านคุณค่าทางโภชนาการออก แล้วนำมาผ่านความร้อนและบดละเอียดอีกครั้ง โดยโปรตีนถั่วเหลืองมีกรดอะมิโนจำเป็นต่อร่างกายครบทุกชนิด ในปัจจุบันนิยมนำมาเป็นอาหารเสริมสำหรับนักกีฬา และเป็นส่วนผสมในอาหารหลากหลายชนิด เช่น ชีส ครีมเทียม น้ำสลัด และเป็นตัวเพิ่มเนื้อผสมในอาหารเพื่อเพิ่มคุณค่าทางโภชนาการเป็นต้น อีกทั้งยังนำมาใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆเช่น ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตสี สารเคลือบกระดาษ สารเติมแต่ง ส่วนผสมในเครื่องสำอาง ใช้เป็นส่วนผสมในการตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ เป็นต้น โดยโปรตีนถั่วเหลืองสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ โปรตีนถั่วเหลืองคอนเซนเทรท (soy protein concentrate, SPC) และโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลต (soy protein isolate, SPI) (13,14)

2.7 ตะบูนขาว

ตะบูนขาว ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Xylocarpus granatum* เป็นไม้ยืนต้นในวงศ์ Meliaceae เป็นไม้ยืนต้นขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ต้นมีความสูงประมาณ 10-15 เมตร ลักษณะของลำต้นเป็นทรงเรือนยอดแผ่กว้าง รูปร่างไม่แน่นอน ลำต้นมักคดงอ เป็นไม้ผลัดใบ แต่สามารถผลิใบใหม่ได้เร็ว พบได้ในป่าชายเลน รากมีพูพอนแผ่ออกจากโคนต้น มีเปลือกเรียบ เปลือกหลุดออกเป็นแผ่นบางมีสีเทา สีเทาอมขาว สีน้ำตาลแดง หรือสีน้ำตาลอมเหลือง มีใบสีเขียวอ่อน มีดอกสีขาวเป็นดอกช่อแตกออกจากง่ามใบ ผลมีลักษณะกลมสีน้ำตาลอมเขียวมีเมล็ดขนาดใหญ่อัดแน่นอยู่ภายในเมื่อผลแก่จะมีสีน้ำตาลแก่

2.7.1 การนำตะบูนขาวมาใช้ประโยชน์

2.7.1.1 เปลือกให้น้ำฝาด ใช้ย้อมสีผ้าได้

2.7.1.2 เปลือกและผลใช้แก้อหิวาตกโรคได้

2.7.1.3 เปลือกและเมล็ดใช้เป็นยาบำรุงร่างกาย ยาแก้ไอ ยาช่วยแก้อาการท้องร่วง ยาแก้บิด และสามารถต้มเพื่อใช้ล้างแผลได้

2.7.1.4 เนื้อไม้มีสีขาว สามารถนำมาใช้ทำเป็นวัสดุตกแต่งบ้านได้

ซึ่งสารสำคัญในตะบูนคือแทนนิน (tannin) ที่มีสมบัติชอบผ้าฝ้าย จะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับเวย์โปรตีน เกิดเป็นฟิล์มเคลือบผ้าและทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการยึดติด เพื่อเพิ่มสมบัติ

Ref. code: 25595809035537IPM

ในการย้อมสีของผ้าฝ้าย (improving the dyeability) โดยนำตะบูนมาสกัดเป็นผงเพื่อใช้ย้อมผ้าจึงสามารถยึดติดกับผ้าฝ้ายได้ดี (15)

2.8 สารกลูตาราลดีไฮด์ (glutaraldehyde)

สารกลูตาราลดีไฮด์ คือสารเคมีชนิดหนึ่ง เป็นสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นของเหลว มีกลิ่นฉุน จากสูตรโครงสร้างที่มีหมู่ฟังก์ชันเป็น (-CHO) โมเลกุลจึงมีขั้วเช่นเดียวกับน้ำ สามารถใช้เป็นสารเชื่อมขวาง ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาได้รวดเร็ว โดยสามารถเชื่อมขวางกับโปรตีนเป็นโครงร่างตาข่ายสามมิติได้ (16)

โดยกลูตาราลดีไฮด์ที่มีความเข้มข้นของสารละลายร้อยละ 2-4 จะสามารถมีประสิทธิภาพสูงในการทำลายเชื้อโรคโดยไม่ใช้ความร้อน โดยใช้ร่วมกับโซเดียมไบคาร์บอเนต (sodium bicarbonate) จะสามารถใช้เป็นสารฆ่าเชื้อและทำความสะอาดเครื่องมือที่นึ่งด้วยความร้อนสูงเพื่อฆ่าเชื้อโรค (autoclave) ไม่ได้ เช่นเครื่องมือที่มีเลนส์เป็นส่วนประกอบ และใช้เป็นสารกันเสียในน้ำยาปรับผ้านุ่มได้ (17)

2.9 การตกแต่งสำเร็จ

การตกแต่งสำเร็จสิ่งทอ (textile finishing) คือกระบวนการใส่สารเติมแต่งเพื่อเพิ่มสมบัติบางอย่างให้กับผ้า เป็นกระบวนการหนึ่งในการตกแต่งสิ่งทอที่สามารถทำกับผ้าทอ ผ้าถัก หรือผ้าไม่ทักไม่ทอก็ได้ โดยในอุตสาหกรรมสิ่งทอนั้น มักจะกระทำการตกแต่งสำเร็จผ้าเป็นขั้นตอนสุดท้ายต่อจากกระบวนการเตรียมผ้าและกระบวนการย้อมสี หรือเรียกว่าอุตสาหกรรมปลายน้ำ (downstream) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะนำวิทยาการและเทคโนโลยีไปปรับปรุง เปลี่ยนแปลง พัฒนาเพิ่มเติมคุณสมบัติใหม่ให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ให้สิ่งทอมีคุณสมบัติในการใช้สอยที่ดีขึ้น หรือเป็นการปรับปรุงสมบัติในแง่ของความสวยงาม หรือสมบัติการมองเห็นที่ดีขึ้นและสามารถตอบสนองความต้องการของตลาดได้ ยกตัวอย่างเช่น การตกแต่งผ้าให้ทนไฟ การตกแต่งผ้ากันความร้อน การตกแต่งเพื่อเพิ่มความคงทนต่อแสง การตกแต่งผ้ากันน้ำ การตกแต่งกันแมลง การตกแต่งกันเชื้อรา หรือการตกแต่งผ้ากันแบคทีเรีย เป็นต้น

Ref. code: 25595809035537IPM

2.9.1 การนำสิ่งทอที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จแล้วไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ

2.9.1.1 การนำไปใช้ประโยชน์ด้านสุขภาพอนามัย เช่น ไหมขัดฟัน ผ้าปิดเผล สำลี ผ้าอนามัย ผ้าอ้อมเด็ก เป็นต้น

2.9.1.2 การนำไปใช้ประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อม เช่น ผ้าคุลมดินป้องกันวัชพืช ผ้ากรองในระบบน้ำทิ้ง เป็นต้น

2.9.1.3 การนำไปใช้ประโยชน์ด้านการแพทย์ เช่น ผ้าพันแผล หน้ากากอนามัย เฝือก ชุดผ่าตัด เป็นต้น

2.9.1.4 การนำไปใช้ประโยชน์ด้านเสื้อผ้าป้องกัน เช่น ชุดป้องกันสารเคมีอันตราย ชุดผจญเพลิง ชุดกันไฟ เป็นต้น

2.9.2 จำแนกวิธีการตกแต่งสำเร็จ

การตกแต่งสำเร็จสามารถจำแนกได้เป็น การตกแต่งถาวร (permanent finishing) คือ การตกแต่งที่ให้ความคงทนตลอดอายุการใช้งานของผ้า, การตกแต่งคงทน (durable finishing) คือ การตกแต่งที่ให้ความคงทนเกือบอายุการใช้งานของผ้า และการตกแต่งชั่วคราว (temporary finishing) คือ การตกแต่งที่ให้ความคงทนเพียงชั่วคราว คงทนอยู่แค่ในรอบการซักล้างหนึ่งรอบหรือมากกว่าเท่านั้น โดยวิธีการตกแต่งสำเร็จสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

2.9.2.1 การตกแต่งเชิงกล (mechanical finishing) เป็นการตกแต่งสำเร็จผ้าผืนให้มีสมบัติตามที่ต้องการ โดยใช้กลไกของเครื่องจักร เป็นตัวที่ทำให้เกิดสมบัติต่างๆขึ้นบนผ้าผืน เช่น การขัดมัน การอัดดอก การตะกุยขน เป็นต้น

2.9.2.2 การตกแต่งทางเคมี (chemical finishing) เป็นการตกแต่งสำเร็จผ้าผืนให้มีสมบัติตามที่ต้องการ โดยใช้สารเคมีเป็นตัวที่ทำให้เกิดสมบัติต่างๆขึ้นบนผ้าผืน ซึ่งสารเคมีนั้นอาจเคลือบเฉพาะผิวหน้าของผ้า หรืออาจเกิดพันธะเคมีกับเส้นใยได้ เช่น สารทำให้นุ่ม สารกันน้ำ สารกันไฟ สารกันแมลง การใช้สารซิลเวอร์นาโน สารซิงค์ออกไซด์ สารไทเทเนียมไดออกไซด์ สารแทนนิน ในการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายเพื่อให้มีสมบัติต้านแบคทีเรีย หรือการใช้สารเมลามิน เรซิ่นในการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายเพื่อให้มีสมบัติต้านเชื้อรา เป็นต้น

กระบวนการตกแต่งทางเคมี โดยทั่วไปจะใช้วิธีการจุ่มบีบอัด ทำให้แห้ง และการทำให้เกิดปฏิกิริยาด้วยความร้อน หรือเรียกว่า วิธีจุ่มอัด-อบแห้ง-อบผนึก (pad-dry-cure) โดยวิธีการนี้เป็นวิธีการที่ง่าย ประหยัดเวลาและพลังงานความร้อน ประหยัดสารเคมีและน้ำที่ใช้ในการตกแต่ง

Ref. code: 25595809035537IPM

สำเร็จ มีขั้นตอนโดยเริ่มต้นจาก นำผ้าไปจุ่มในอ่างสารตกแต่ง แล้วเคลื่อนผ่านลูกกลิ้งบีบอัด เพื่อบีบให้ผ้าเก็บสารเคมีได้ตามที่ต้องการ (%wet pick up) หลังจากนั้นผ้าจะถูกอบที่ความร้อนไม่สูงมากนัก เพื่อให้สารเคมีติดบนผ้าสม่ำเสมอ ขั้นต่อไปคือผ้าจะถูกอบซ้ำที่อุณหภูมิสูง เพื่อทำให้สารตกแต่งเกิดปฏิกิริยาด้วยความร้อน สร้างพันธะยึดเหนี่ยวกับสาร หรือเส้นใย เพื่อให้เกิดความคงทนต่อการซักมากขึ้น (18)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Sowmitri et al. (2006) ศึกษาการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้าย ให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรีย ด้วยวิธีโซลเจล (Sol-Gel process) โดยใช้สารโดเดเคนไธออล (dodecanethiol) จับกับสารซิลเวอร์นาโน ที่ก่อตัวในซิลิกาเหลว (silica sol) แล้วเกิดการเกาะตัวกันเป็นร่างแหที่เรียกว่าเจล (gel) หลังจากนั้นนำผ้าฝ้ายไปจุ่มในสารละลายดังกล่าว อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส และอบซ้ำที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเพื่อให้สารเกิดปฏิกิริยาเคมีจับกับผ้า แล้วนำไปทดสอบพบว่า เกิดชั้นของสารเคลือบบนผิวหน้าผ้าฝ้าย ซึ่งวิธีโซลเจลนี้สามารถสังเคราะห์สารซิลเวอร์ไนเตรตให้เป็นอนุภาคขนาดนาโนที่ก่อตัวบนผ้าฝ้ายได้ อนุภาคซิลเวอร์นาโนดังกล่าวมีขนาดประมาณ 1-5 นาโนเมตร โดยผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จมีประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียเชื้อ *E. coli* ได้ดี และจะทำการศึกษาเพิ่มเติม โดยจะศึกษาประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักแล้วต่อไป (19)

El-Shishtawy et al. (2011) ทำการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารซิลเวอร์นาโน และประเมินประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรีย โดยสังเคราะห์ซิลเวอร์ให้มีอนุภาคขนาดนาโน ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ใช้น้ำเป็นตัวกลาง ใช้กลูโคสเป็นตัวรีดิวซ์ และใช้สาร cetyl trimethyl ammonium bromide (CTAB) เป็นสารช่วยทำให้เสถียร ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็ว เมื่อนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิวอิมิชชั่นและอุปกณ์วิเคราะห์ธาตุ (FESEM-EDS) พบความแตกต่างระหว่างผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ โดยผ้าหลังการตกแต่งสำเร็จจะปรากฏลักษณะของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโนเกาะอยู่บนผิวหน้าผ้าฝ้าย และเมื่อประเมินประสิทธิภาพการต้านแบคเรียต่อเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก และแบคทีเรียแกรมลบ พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนมีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียแกรมบวกชนิด *S. aureus* ได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแบคทีเรียชนิดอื่น (20)

Ref. code: 25595809035537IPM

Ravindra et al. (2010) ศึกษาการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยไม่ใช้สารเคมีในการทดลอง แต่ใช้สารสกัดจากใบยูคาลิปตัส (*Eucalyptus citriodora*) ซึ่งเป็นสารสกัดจากธรรมชาติ เพื่อใช้เป็นตัวรีดิวซ์ในการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโน เป็นวิธีการที่ง่าย สามารถทำได้ในอุณหภูมิห้อง สารละลายที่ได้มีความเสถียร และกระจายตัวได้ดี สามารถยืนยันผลได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน และเมื่อนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด จะปรากฏลักษณะของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโนเกาะอยู่บนผิวหน้าผ้าฝ้าย และเมื่อวัดประสิทธิภาพการป้องกันแบคทีเรีย พบว่าผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จมีประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียต่อเชื้อแบคทีเรียแกรมลบชนิด *E. coli* ที่ดีมาก ทั้งผ้าก่อนซักและผ้าหลังผ่านการซักแล้ว (21)

Hebeish et al. (2011) ศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโน ด้วยวิธีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม เพื่อให้สิ่งทอมีประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียได้อย่างดีเยี่ยม โดยสารซิลเวอร์ไนเตรตถูกสังเคราะห์ด้วยสารสตาร์ชไฮดรอกซีโพพิล (hydroxypropyl starch) ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ และเป็นสารช่วยให้เกิดความเสถียร แล้วนำสารคอลลอยด์ซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 500 ppm มาเจือจางให้เป็น 100 และ 50 ppm นำมาตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้าย ทั้งใส่และไม่ใส่สารช่วยยึดติด นำผ้าไปทดสอบ พบว่าผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนความเข้มข้น 50 ppm ก่อนซัก ทั้งผ้าที่ใส่และไม่ใส่สารช่วยยึดติดมีประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียสูงถึงร้อยละ 95 หลังจากนั้นนำผ้าลงสารไปผ่านการซัก พบว่าผ้าลงสารที่ไม่ใส่สารช่วยยึดติดหลังซัก 20 รอบ มีประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียลดลงอย่างมาก แต่ในขณะเดียวกันผ้าลงสารที่ใส่สารช่วยยึดติดหลังซัก 20 รอบ ยังคงให้ประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียได้อย่างดีเยี่ยม จึงสรุปได้ว่าสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้ เพียงใช้ความเข้มข้นเล็กน้อยที่ 50 ppm สามารถให้ประสิทธิภาพในการป้องกันแบคทีเรียได้อย่างดีเยี่ยม และสารช่วยยึดติดสามารถช่วยให้สารซิลเวอร์นาโนติดอยู่บนผ้าฝ้ายได้ดี แม้ผ่านการซักถึง 20 รอบซัก (22)

Sarkar et al. (2011) ศึกษาวิธีการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนด้วยโปรตีนจากเชื้อรา โดยเชื้อราชนิด *Alternaria alternata* สามารถสังเคราะห์สารซิลเวอร์ไนเตรตให้มีอนุภาคขนาดนาโนได้ ซึ่งเป็นวิธีการที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ประหยัดเวลา และประหยัดต้นทุน นำสารที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบด้วยด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน พบการก่อตัวของอนุภาคซิลเวอร์นาโนในสารละลาย มีการกระจายตัวที่ดี และมีขนาดอนุภาคประมาณ 20-45 นาโนเมตร และ

Ref. code: 25595809035537IPM

เมื่อทดสอบด้วยเครื่องมือวิเคราะห์สารด้วยอินฟาเรด (FT-IR) พบลักษณะของโปรตีนหุ้มอนุภาคซิลเวอร์นาโนไว้ภายใน ส่งผลให้สารละลายซิลเวอร์นาโนมีความเสถียร สามารถกระจายตัวได้โดยไม่ตกตะกอน หรือไม่เกิดการก่อตัวรวมกันได้เป็นเวลานานหลายเดือน (23)

ญาณิศา (2556) ทำการวิจัยพัฒนาผ้าฝ้ายทอมือพื้นเมืองที่มีฤทธิ์ยับยังเชื้อแบคทีเรีย ทำการศึกษาสมบัติของผ้าทอมือพื้นเมืองใยผสมที่ผลิตจากเส้นด้ายใยผสมระหว่างใยฝ้ายและเส้นใยไคตินไคโตซาน ที่มีความสามารถในการต่อต้านและยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยนำเส้นใยฝ้ายพันธุ์พื้นเมืองของจังหวัดลำปางมาผสมกับเส้นใยไคตินไคโตซาน ที่มีชื่อการค้าว่าแครปยอน โดยมีอัตราส่วนผสมของเส้นใยฝ้ายต่อเส้นใยแครปยอน เท่ากับ 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 และ 0:100 โดยน้ำหนัก ปั่นเป็นเส้นด้ายเพื่อใช้เป็นเส้นด้ายพุ่งในผ้าทอ จากนั้นนำไปทอด้วยกี่พื้นเมือง ใช้เส้นด้ายฝ้ายอุตสาหกรรมเป็นเส้นด้ายยืน เมื่อทำการทอเป็นผืนผ้าแล้วจึงนำไปทดสอบความสามารถในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย ด้วยเชื้อ *S. aureus* ทั้งผ้าทอใยผสมที่ไม่ผ่านการซักล้าง และผ้าทอใยผสมที่ผ่านการซักล้างเป็นจำนวน 5 ครั้ง พบว่าผ้าทอใยผสมทุกอัตราส่วนผสมไม่สามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียได้ ทั้งนี้อาจเนื่องจากในผ้าทอมีปริมาณเส้นใยแครปยอนที่น้อยเกินไป (24)

Pisitsak et al. (2015) ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการย้อมสีผ้าฝ้ายด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและเวย์โปรตีน โดยนำตะบูนมาสกัดเป็นผงเพื่อนำไปย้อมสีผ้าฝ้าย โดยสารสำคัญในตะบูนคือแทนนิน ที่มีสมบัติชอบผ้าฝ้าย จะสร้างพันธะไฮโดรเจนกับเวย์โปรตีนและผ้าฝ้ายเกิดเป็นฟิล์มเคลือบผ้า โดยผ้าฝ้ายที่ย้อมได้มีสีน้ำตาลแดงเนื่องมาจากสีของตะบูน และโปรตีนทำหน้าที่เป็นตัวช่วยในการยึดติดจึงสามารถยึดติดกับผ้าฝ้ายได้ดี มีสมบัติความคงทนต่อการซักล้าง และเพิ่มสมบัติต้านรังสียูวีของผ้าฝ้ายได้ (15)

Ref. code: 25595809035537IPM

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงาน

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1.1 ผ้าฝ้าย 100% จำนวนเส้นด้าย 210 เส้น ใน 1 ตารางนิ้ว (เส้นด้ายพุ่ง 75 เส้น เส้นด้ายยืน 135 เส้น) น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 155 กรัมต่อตารางเมตร

3.1.1.2 ผ้าเรยอน 100% จำนวนเส้นด้าย 160 เส้น ใน 1 ตารางนิ้ว (เส้นด้ายพุ่ง 60 เส้น เส้นด้ายยืน 100 เส้น) น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 83.4 กรัมต่อตารางเมตร

3.1.1.3 สารเคมี

(1) สารซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate) จาก Sigma-Aldrich Co.

(2) เวย์โปรตีน (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 90) จาก Bodybuilding Warehouse

(3) โปรตีนถั่วเหลือง (ความบริสุทธิ์ร้อยละ 90) จาก Krittiya Royal Limited

(4) ผงตะบูน (*Xylocarpus granatum* bark) (15)

(5) สารกลูตาราลดีไฮด์ (glutaraldehyde) จาก Loba Chemie Pty. Ltd.

(6) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) จาก Ajax Finechem Pvt. Ltd.

(7) น้ำปราศจากไอออน (deionized water) หรือน้ำ DI

3.1.1.4 อุปกรณ์

(1) เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ จากบริษัท Whirlpool

(2) เครื่องอบผ้าอัตโนมัติ จากบริษัท Whirlpool

(3) เครื่องผสมสารละลาย (stirrer)

(4) เครื่องจุ่มบีบอัด (padding mangle) จากบริษัท Newave Lab Equipment

(5) เครื่องทดสอบการซักล้างมาตรฐาน Gyro wash จากบริษัท James H. Heal & CO., LTD. Halifax, UK

(6) เครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV Visible Spectrophotometer)

(7) เครื่องมือทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้า (contact angle)

Ref. code: 25595809035537IPM

(8) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อิมิชชั่นและอุปกณ์วิเคราะห์ธาตุ (Field Emission Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-Ray Spectrometer, FESEM-EDS)

(9) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM)

(10) เครื่องมือวัดดัชนีความขาวและความเพี้ยนสีของผ้า (reflectance spectrophotometer)

3.2 การทดลอง

ในการทดลองครั้งนี้แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นวิธีการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยเวย์โปรตีนและใช้สารสกัดจากธรรมชาติคือตะบูน (แทนนิน) เป็นสารเชื่อมขวาง แล้วทำการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย ส่วนที่สองคือการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและใช้สารกลูตาราลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง แล้วตกแต่งสำเร็จบนผ้าเรยอนเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย แล้วนำไปทดสอบด้วยเทคนิคต่างๆ และเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง

3.2.1 สังเคราะห์สารซิลเวอร์ไนเตรตให้มีอนุภาคขนาดนาโนด้วยเวย์โปรตีนและแทนนิน

3.2.1.1 เตรียมน้ำด่าง pH 10 โดยละลายสาร NaOH หนัก 0.12 กรัม ±0.01 กรัม ในน้ำ DI ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ให้น้ำเป็นด่างที่ pH 10

3.2.1.2 เตรียมสารละลายตะบูน โดยละลายผงตะบูน 0.125 กรัม ในน้ำ pH 10 ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 10 นาที สารที่สังเคราะห์ได้มีสีแดงอมม่วง

3.2.1.3 สังเคราะห์สารซิลเวอร์คอลลอยด์อนุภาคขนาดนาโน โดยทำการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนจากซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 100 ppm นำน้ำด่างมาละลายผงเวย์โปรตีน 0.05 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารซิลเวอร์ไนเตรต 0.05 กรัมลงไป จะสังเกตเห็นสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง แล้วเติมน้ำ 215 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติมสารละลายตะบูน 35 มิลลิลิตร จะสังเกตเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดง ผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที ปริมาตรสุทธิ 500 มิลลิลิตร

Ref. code: 25595809035537IPM

3.2.1.4 สังเคราะห์สารซิลเวอร์คอลลอยด์อนุภาคขนาดนาโน โดยทำการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนจากซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 500 ppm นำน้ำด่างมาละลายผงเวย์โปรตีน 0.25 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารซิลเวอร์ไนเตรต 0.25 กรัมลงไป จะสังเกตเห็นสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง แล้วเติมน้ำ 215 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติมสารละลายตะบูน 35 มิลลิลิตร จะสังเกตเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอมแดง ผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 15 นาที ปริมาตรสุทธิ 500 มิลลิลิตร โดยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียร (stability) ประมาณ 20 วัน และหากทิ้งไว้นานแล้วเกิดการตกตะกอนสามารถกวนระบบให้สารไม่ตกตะกอนได้

3.2.2 ตกแต่งสำเร็จสารป้องกันแบคทีเรียบนผ้าฝ้าย ด้วยวิธีจุ่มบีบอัดและตากแห้ง (Pad-Dry)

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกออกแล้ว มาทำการตกแต่งสำเร็จ โดยนำผ้าฝ้ายหนัก 10 กรัม (น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ 155 g/m²) มาจุ่มลงในถาดที่บรรจุสารซิลเวอร์คอลลอยด์ที่มีอนุภาคขนาดนาโน ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จุ่มหนึ่งครั้งให้ผ้าเปียกทั่วทั้งผืน แล้วนำมาบีบอัดด้วยเครื่องจุ่มบีบอัด ที่แรงอัด 1.5 kg/cm^2 (100% wet pick up) แล้วนำผ้าฝ้ายไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง (air dry) หลังจากผ้าแห้งแล้วนำไปซักล้างเพื่อขจัดสารส่วนเกินออก แล้วตากให้แห้งอีกครั้ง โดยมี %solid add on เท่ากับ 0.33 หลังจากนั้นนำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปทำการซักล้างเพื่อทดสอบต่อไป

3.2.2.1 การนิยามชื่อตัวอย่างผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน

ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จแล้วที่ความเข้มข้นต่างๆ และหลังจากการซักล้าง ได้นิยามชื่อตัวอย่างโดย ผ้าฝ้ายที่ใช้ในการทดลองก่อนการตกแต่งสำเร็จ สัญลักษณ์คือ CT-Blank สำหรับผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน กำหนดชื่อตัวอย่างด้วยตัวเลขสองชุดคือ ตัวเลขชุดแรก หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของสารซิลเวอร์นาโนที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายในช่วง 0-500 ppm แล้วใช้เครื่องหมายยัติภังค์ “-” ขั้นตรงกลาง แล้วตามด้วยตัวเลขชุดที่สอง หมายถึง จำนวนรอบการซัก และตามด้วยตัวอักษร W ยกตัวอย่างเช่น

Ref. code: 25595809035537IPM

(1) CT-Blank หมายถึง ผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ

(2) CT50-0W หมายถึง ผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 50 ppm ก่อนซัก

(3) CT100-10W หมายถึง ผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm และผ่านการซัก 10 รอบ

(4) CT500-20W หมายถึง ผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm และผ่านการซัก 20 รอบ

3.2.3 สังเคราะห์สารซิลเวอร์ไนเตรตให้มีอนุภาคขนาดนาโนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและกลูตาราลดีไฮด์

3.2.3.1 เตรียมน้ำด่าง pH 10 โดยละลายสาร NaOH หนัก 0.12 กรัม ±0.01 กรัม ในน้ำ DI ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร ให้น้ำเป็นด่างที่ pH 10

3.2.3.2 เตรียมสารกลูตาราลดีไฮด์ (25%) เพื่อใช้เป็นสารเชื่อมขวาง

3.2.3.3 สังเคราะห์สารซิลเวอร์คอลลอยด์อนุภาคขนาดนาโน โดยทำการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนจากซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 50 ppm นำน้ำด่างที่ได้มาละลายผงโปรตีนถั่วเหลือง 0.0125 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารซิลเวอร์ไนเตรต 0.0125 กรัมลงไป จะสังเกตเห็นสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติมสารกลูตาราลดีไฮด์ 1.75 มิลลิลิตร จะสังเกตเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ปริมาตรสุทธิ 250 มิลลิลิตร

3.2.3.4 สังเคราะห์สารซิลเวอร์คอลลอยด์อนุภาคขนาดนาโน โดยทำการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนจากซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 100 ppm นำน้ำด่างที่ได้มาละลายผงโปรตีนถั่วเหลือง 0.025 กรัม ในน้ำ 250 มิลลิลิตร แล้วเติมสารซิลเวอร์ไนเตรต 0.025 กรัมลงไป จะสังเกตเห็นสีของสารละลายเปลี่ยนจากไม่มีสีเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง ผสมให้เข้ากัน หลังจากนั้นเติมสารกลูตาราลดีไฮด์ 1.75 มิลลิลิตร จะสังเกตเห็นสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลเข้ม ผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ปริมาตรสุทธิ 250 มิลลิลิตร โดยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้มีความเสถียรประมาณ 20 วัน และหากทิ้งไว้นานแล้วเกิดการตกตะกอนสามารถกวนระบบให้สารไม่ตกตะกอนได้

Ref. code: 25595809035537IPM

3.2.4 ตกแต่งสำเร็จสารป้องกันแบคทีเรียบนผ้าเรยอน ด้วยวิธีจุ่มบีบอัดและตากแห้ง

นำผ้าเรยอนที่ผ่านการซักเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกออกแล้ว มาทำการตกแต่งสำเร็จ โดยนำผ้าเรยอนหนัก 5 กรัม (น้ำหนักผ้าต่อหน่วยพื้นที่เท่ากับ (83.4 g/m²) มาจุ่มลงในถาดที่บรรจุสารซิลเวอร์คอลลอยด์ที่มีอนุภาคขนาดนาโน ปริมาตร 250 มิลลิลิตร จุ่ม1ครั้งให้ผ้าเปียกทั่วทั้งผืน แล้วนำมาบีบอัดด้วยเครื่องจุ่มบีบอัด ที่แรงอัด 1.5 kg/cm^2 (100% wet pick up) แล้วนำผ้าเรยอนไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง หลังจากผ้าแห้งแล้วนำไปซักล้างเพื่อขจัดสารส่วนเกินออก แล้วตากให้แห้งอีกครั้ง โดยมี %solid add on เท่ากับ 1.17 หลังจากนั้นนำผ้าเรยอนที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จไปทำการซักล้างเพื่อทดสอบต่อไป

3.2.4.1 การนิยามชื่อตัวอย่างผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน

ผ้าเรยอนที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จแล้วที่ความเข้มข้นต่างๆ และหลังจากการซักล้างได้นิยามชื่อตัวอย่างโดย ผ้าเรยอนที่ใช้ในการทดลองก่อนการตกแต่งสำเร็จ สัญลักษณ์คือ RY-Blank สำหรับผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน กำหนดชื่อตัวอย่างด้วยตัวเลขสองชุดคือ ตัวเลขชุดแรก หมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของสารซิลเวอร์นาโนที่ใช้ในการตกแต่งสำเร็จผ้าเรยอนในช่วง 0-100 ppm แล้วใช้เครื่องหมายยัติภังค์ “-” ขั้นตรงกลาง แล้วตามด้วยตัวเลขชุดที่สอง หมายถึง จำนวนรอบการซัก และตามด้วยตัวอักษร W ยกตัวอย่างเช่น

(1) RY-Blank หมายถึง ผ้าเรยอนก่อนการตกแต่งสำเร็จ
(2) RY50-0W หมายถึง ผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 ppm ก่อนซัก
(3) RY50-10W หมายถึง ผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 ppm และผ่านการซัก 10 รอบ
(4) RY100-20W หมายถึง ผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm และผ่านการซัก 20 รอบ

Ref. code: 25595809035537IPM

3.3 การทดสอบ

3.3.1 ประสิทธิภาพสารซิลเวอร์อนุภาคนาโน

ทดสอบเพื่อหาสเปกตรัมของอนุภาคซิลเวอร์นาโน ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV Visible spectrophotometer) โดยเตรียมสารละลายตัวอย่างที่ความเข้มข้น 50, 100 และ 500 ppm โดยทำการวัดที่ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ซึ่งเป็นช่วงแสงที่ตามองเห็น (visible) และทดสอบเพื่อยืนยันการก่อตัวของซิลเวอร์อนุภาคขนาดนาโน

3.3.2 สัณฐานวิทยา

3.3.2.1 ทดสอบวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) รุ่น JEM-2100 นำสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้ที่ความเข้มข้น 50 และ 100 ppm มาทดสอบ เตรียมตัวอย่างโดยการหยดสารซิลเวอร์นาโนลงบน 400 mesh copper grid หลังจากนั้นปล่อยให้ตัวทำละลายระเหยออกไปเหลือแต่อนุภาคนาโนของซิลเวอร์ ทดสอบด้วยเครื่องมือ TEM ที่กำลังขยาย 80 kV และบันทึกภาพที่ 100 และ 200 นาโนเมตร ทำการนับจำนวนและคำนวณขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม Image J โดยใช้ไม้บรรทัดวัดขนาดอนุภาคทุกอนุภาค แล้วสร้างกราฟและหาค่าเฉลี่ย ผลที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ในหน่วยนาโนเมตร

3.3.2.2 ทดสอบวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ยึดติดบนผิวผ้าฝ้าย ทดสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิชชั่นและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ (Field Emission Scanning Electron Microscope and Energy Dispersive X-Ray Spectrometer, FESEM-EDS) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ โดยเตรียมตัวอย่างผ้าที่ต้องการทดสอบติดลงบนแท่นติดตัวอย่าง (stub) และฉาบผิวด้วยทอง (Au) หลังจากนั้นทำการทดสอบด้วยเครื่องมือ FESEM-EDS ที่กำลังขยาย 1000 และ 1500 เท่า

3.3.3 ทดสอบความคงทนต่อการซัก

ทดสอบความคงทนต่อการซักของสารซิลเวอร์นาโนที่ยึดติดบนผิวผ้าฝ้าย ตามมาตรฐาน AATCC 61/2A เตรียมสารซักล้าง WOB 1.5 กรัม ละลายน้ำ 1000 มิลิลิตร (detergent 0.15%) เทสารซักล้างปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในกระบอกซัก (stainless steel container) ของเครื่องทดสอบการซักล้างมาตรฐาน Gyro wash ใส่ผ้าชิ้นทดสอบและลูกเหล็กจำนวน 50 ลูก ทำการ

Ref. code: 25595809035537IPM

ซักที่อุณหภูมิ 49 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 45 นาที เมื่อครบเวลาให้นำผ้าชิ้นตัวอย่างออกมาล้างน้ำสะอาดเพื่อขจัดสีและสารส่วนเกินออก หลังจากนั้นนำไปตากแห้งที่อุณหภูมิห้อง โดยการซักล้างด้วยมาตรฐานนี้เทียบเท่ากับการซักล้างทั่วไป 5 ครั้ง (5 home launderings) ดังนั้นการซัก 6 รอบตามมาตรฐาน จะเทียบเท่ากับการซักล้างแบบทั่วไป 30 ครั้งเป็นต้น

3.3.4 ทดสอบดัชนีความขาวและความเพี้ยนสีของผ้า

ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความขาวและความเพี้ยนสีของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ ด้วยเครื่อง reflectance spectrophotometer โดยใช้โหมดสะท้อน นำตัวอย่างผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นต่างๆ และผ่านการซักล้างจำนวน 0, 10, 20 และ 30 รอบ นำมาทดสอบวัดสี 3 ตำแหน่งแล้วนำมาเฉลี่ยหาค่าดัชนีความขาว (WI-CIE) และวัดค่าความเพี้ยนสี พิจารณาจากค่า L*, a*, b* ที่วัดได้จากเครื่องวัดสี โดยค่า L* หมายถึงค่าความสว่าง (brightness) โดย 0 หมายถึง ความมืดดำ (black) และ 100 หมายถึงความขาวสว่าง (white), ค่า a* หมายถึงค่าสีแดงและเขียว (red-green) โดย ค่าติดลบ (-ve) หมายถึงโทนสีเขียว (green) และค่าบวก (+ve) หมายถึงโทนสีแดง (red), ค่า b* หมายถึงค่าสีเหลืองและน้ำเงิน (yellow-blue) โดยค่าติดลบ (-ve) หมายถึงโทนสีน้ำเงิน (blue) และค่าบวก (+ve) หมายถึงโทนสีเหลือง (yellow)

3.3.5 ทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้า

ทดสอบเพื่อวัดความสามารถในการดูดซึมน้ำของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ ทำการตัดผ้าให้มีขนาด 1 x 1 นิ้ว โดยให้ผ้ามีลักษณะที่เรียบไม่โค้งงอ แล้วนำไปวางบนแท่นทดสอบ หลังจากนั้นหยดน้ำลงบนผ้าแล้วจับเวลาที่หยดน้ำซึมหายเข้าไปในผ้า โดยถ้าผ้าซึมน้ำทันทีหรือภายในเวลา 1 ถึง 3 วินาที หมายถึงผ้ามีความสามารถในการซึมน้ำที่ดีมาก

3.3.6 ทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน (Antibacterial activity)

ทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน โดยทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก คือ *S. aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ คือ *E. coli* โดยทำการทดสอบทั้งสิ้นสองวิธีคือ

Ref. code: 25595809035537IPM

3.3.6.1 วิธีทดสอบการเกิดบริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเกิดแบคทีเรียบนชิ้นตัวอย่าง ด้วยวิธี Agar disc diffusion technique วิธีนี้เป็นการทดสอบเชิงคุณภาพ โดยทดสอบหาการเกิดวงรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของชิ้นตัวอย่าง เรียกว่าการเกิดบริเวณใส (clear zone) บนวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแบคทีเรียกระจายตัวอยู่เต็มจานเพาะเชื้อ โดยใช้ยาเตตราไซคลีน (tetracycline) ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย เป็นตัวควบคุม เพื่อเปรียบเทียบการเกิดบริเวณใสของผ้าชิ้นทดสอบ ขั้นตอนการทดสอบเริ่มจากการเตรียมอาหารเลี้ยงเชื้อ (nutrient agar) เทลงบนจานเพาะเชื้อแล้วทิ้งไว้ให้เป็นวุ้นแข็ง หลังจากนั้นใช้ไม้พันสำลีที่ปราศจากเชื้อชุบแบคทีเรียที่มีปริมาณเชื้อ 1-2 x 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ทำการทาเชื้อแบคทีเรียให้ทั่วผิววุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อแล้วทิ้งไว้ให้แห้ง หลังจากนั้นนำผ้าชิ้นตัวอย่างที่จะทำการทดสอบมาตัดให้เป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร แล้วใช้ปากคีบ (forceps) คีบผ้าชิ้นตัวอย่างก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน โดยทดสอบเปรียบเทียบกับผ้าที่ตกแต่งสำเร็จเฉพาะสารแทนนิน, เวย์โปรตีน, สารซิลเวอร์ไนเตรต และใช้ยาเตตราไซคลีนเป็นตัวอย่างควบคุม วางลงบนวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อที่เตรียมไว้ข้างต้น แล้วปิดฝาจานเพาะเชื้อและนำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นทำการสังเกตและบันทึกผลการเกิดวงรัศมีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าชิ้นตัวอย่าง โดยการอ่านผลให้วัดขนาดของการเกิดบริเวณใส โดยวัดจากขอบด้านหนึ่งไปยังขอบด้านหนึ่งและให้ผ่านจุดศูนย์กลางของชิ้นตัวอย่างด้วย แล้วบันทึกผลเป็นหน่วยมิลลิเมตร ดังสมการ

$$1+2 = X,\ X/2 = Y, \qquad Y-6 = \text{clear zone}$$

โดย 1 คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสจากขอบด้านหนึ่งไปยังขอบอีกด้านหนึ่งในแนวตั้ง และ 2 ในแนวนอน, นำค่าที่ได้ไปบวกกัน เท่ากับ X, นำค่า X ไปหารสองเพื่อหาค่าเฉลี่ย เท่ากับ Y, นำค่า Y ไปลบด้วย ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของผ้าชิ้นทดสอบ (6 มิลลิเมตร), สุดท้ายจะได้ค่า clear zone คือ ขนาดของบริเวณใส

3.3.6.2 วิธีทดสอบการวัดผลร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย

ทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย ด้วยวิธีวัดผลร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรียโคโลนี (%reduction) วิธีนี้เป็นการทดสอบเชิงปริมาณ ตามมาตรฐาน AATCC 100-2004 โดยใช้เทคนิคการนับจำนวนแบคทีเรียโคโลนีบนวุ้นอาหารเลี้ยงเชื้อและรายงานเป็นผลร้อยละของการลดลงของจำนวนแบคทีเรียโคโลนี ขั้นตอนการทดสอบเริ่มจากตัดผ้าชิ้นตัวอย่างให้เป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.8 เซนติเมตร โดยการทดสอบหนึ่งตัวอย่างต่อ

Ref. code: 25595809035537IPM

หนึ่งเชื้อใช้ผ้าทั้งหมด 8 ชิ้นวงกลม นำผ้าไปอาบด้วยแสงยูวีด้านละ 30 นาที เพื่อฆ่าเชื้อเชื้อที่ปนเปื้อนมากับผ้า หลังจากนั้นนำผ้าชิ้นวงกลมใส่ลงในขวดทดลองที่มีฝาปิดขนาด 250 มิลลิลิตร โดยใส่ขวดละ 4 ชิ้นวงกลม วางซ้อนกันในขวด หลังจากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดเชื้อแบคทีเรียที่มีปริมาณเชื้อ 10^5 โคโลนีต่อมิลลิลิตร ปริมาตร 100 ไมโครลิตร ฉีดลงบนผ้าชิ้นทดสอบในขวดทดลองทั้งสองขวด โดยขวดที่หนึ่งนำไปบ่มเชื้อทันทีที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ขวดที่สองทำการเจือจางเชื้อด้วยน้ำเกลือนอร์มอลซาลีน 0.85% เพื่อทำให้ระบบเป็นกลาง (neutralization) ซึ่งเตรียมจากการละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) 8.5 กรัม ละลายในน้ำ DI ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร โดยเติมน้ำเกลือนอร์มอลซาลีนปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวด ปิดฝาแล้วทำการเขย่าขวด หลังจากนั้นใช้ไมโครปิเปตดูดสารแขวนลอยแบคทีเรียในขวดปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองที่มีน้ำเกลือนอร์มอลซาลีนอยู่ 9 มิลลิลิตร ทำการเขย่าหลอดทดลอง ซึ่งเป็นการเจือจาง (dilution) เชื้อแบคทีเรีย 10^1 เท่า ทำวิธีเดียวกันจนสามารถเจือจางเชื้อได้ 10^2, 10^3, 10^4 และ 10^5 เท่า หลังจากนั้นดูดสารแขวนลอยแบคทีเรียในหลอดทดลองปริมาตร 100 ไมโครลิตร ใส่ลงในจานเพาะเชื้อทั้งหมด 5 จาน ตามอัตราส่วนการเจือจาง หลังจากนั้นนำอาหารเลี้ยงเชื้อเหลวเทลงบนจานเพาะเชื้อแล้วทิ้งไว้ให้เป็นวุ้นแข็งและนำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาให้นำขวดบ่มเชื้อขวดที่หนึ่งมาทำการเจือจางด้วยน้ำเกลือนอร์มอลซาลีนเช่นเดียวกับขั้นตอนข้างต้น แล้วทำการเลี้ยงเชื้อบนจานเพาะเชื้อและนำไปบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18–24 ชั่วโมง หลังจากครบเวลาทำการนับจำนวนแบคทีเรียโคโลนีที่เจริญเติบโตบนจานเพาะเชื้อ และคำนวนร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย ดังสมการ

$$R=100(C-A)/C$$

โดย R คือ ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียโคโลนี, A คือ แบคทีเรียโคโลนีที่นับได้จากตัวอย่างที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ บ่มเชื้อที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และ C คือ แบคทีเรียโคโลนีที่นับได้จากตัวอย่างที่ไม่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ และมีเวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์

โดยการแบ่งระดับความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย คือ ถ้ามีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียมากกว่าหรือเท่ากับ 99.99 หมายถึงสามารถต้านแบคทีเรียได้ดีเยี่ยม หรือถ้ามีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียระหว่าง 99.00 ถึง 99.90 หมายถึงสามารถต้านแบคทีเรียได้ดี และถ้ามีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียน้อยกว่า 99.00 หมายถึงสามารถต้านแบคทีเรียได้พอใช้

Ref. code: 25595809035537IPM

3.3.7 ทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน (Anti-fungal)

ทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน วิธีนี้เป็นการทดสอบเชิงปริมาณ ตามมาตรฐาน AATCC 30 part 3 ซึ่งเป็นวิธีทดสอบการต้านเชื้อราบนวัสดุสิ่งทอ โดยส่งทดสอบที่ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (Biological In vitro Testing for Biomaterials Service, MTEC, NSTDA, Thailand Confidential) ทำการทดสอบด้วยเชื้อ *Aspergillus niger* ATCC 6275 โดยเตรียมตัวอย่างผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ และหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้น 50, 75, 100 และ 500 ppm ตัดผ้าตัวอย่างเป็นชิ้นวงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.8 เซนติเมตร บ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน ใช้ผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จและกระดาษกรองปลอดเชื้อ (sterile filter paper) เป็นตัวอย่างควบคุม หลังจากการบ่มเชื้อ สังเกตลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นผ้าตัวอย่าง และรายงานผลเป็นค่าหมายเลขแสดงผลการสังเกตลักษณะการเจริญเติบโต (observed growth) ดังนี้

0 = No growth หมายถึง ไม่ปรากฏการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นตัวอย่าง

1 = Microscopic growth หมายถึง ปรากฏการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นตัวอย่าง โดยจะสามารถมองเห็นได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เท่านั้น (visible only under microscope)

2 = Macroscopic growth ปรากฏการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นตัวอย่าง โดยสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า (visible to the eye)

Ref. code: 25595809035537IPM

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

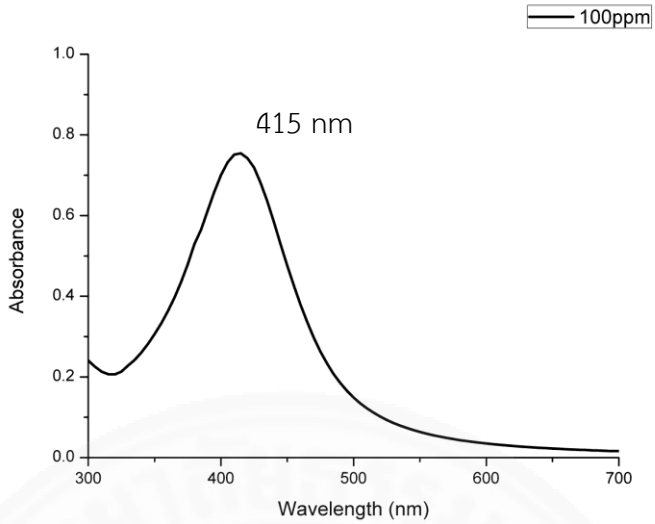
4.1 ผลการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยเวย์โปรตีนและแทนนิน

ทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนด้วยเวย์โปรตีนในสภาวะด่างที่ pH 10 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และช่วยให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนเกิดการกระจายตัว และใช้สารสกัดจากเปลือกตะบูน (แทนนิน) ทำหน้าที่ร่วมกับเวย์โปรตีนเป็นสารช่วยยึดติดของซิลเวอร์นาโนบนผ้าฝ้าย โดยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของซิลเวอร์ไนเตรตจากไม่มีสีกลายเป็นสีน้ำตาลอมแดง เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารไอออนซิลเวอร์ ให้กลายเป็นอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน ในการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนใช้ซิลเวอร์ไนเตรตที่ความเข้มข้น 50, 100, และ 500 ppm

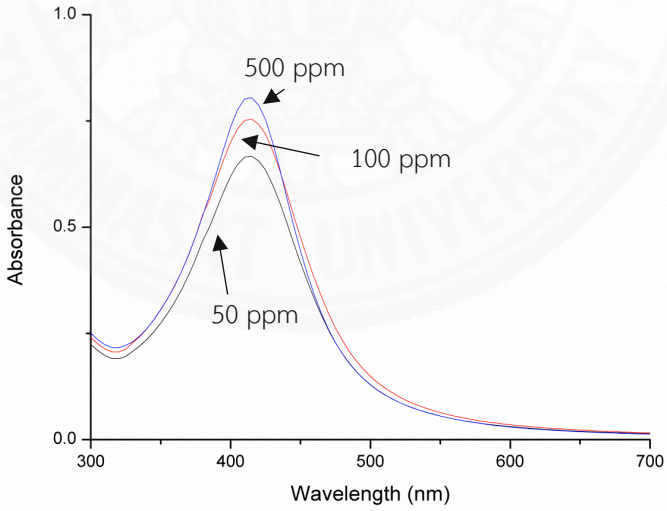
4.1.1 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

ผลการดูดกลืนแสงช่วงที่ตามองเห็น ด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง (UV Visible spectrophotometer) ของสารคอลลอยด์ที่ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm วัดในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โดยจะให้ค่าพีคที่เกิดจาก surface plasmon resonance สั่นพ้อง เป็นการดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความถี่สั่นพ้องกันกับอิเล็กตรอนที่ผิวของวัสดุนาโน จึงปรากฏพีคการดูดกลืน โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว เพื่อยืนยันการก่อตัวของซิลเวอร์อนุภาคขนาดนาโน โดยผลการทดสอบพบว่าสเปกตรัมของซิลเวอร์นาโนมีค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ 415 นาโนเมตร ซึ่งเกิดขึ้นกับอนุภาคนาโนของซิลเวอร์ อนุภาคกลม และสารซิลเวอร์คอลลอยด์มีสีเหลือง (22) แสดงในภาพที่ 4.1

Ref. code: 25595809035537IPM



ภาพที่ 4.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm



ภาพที่ 4.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50, 100 และ 500 ppm

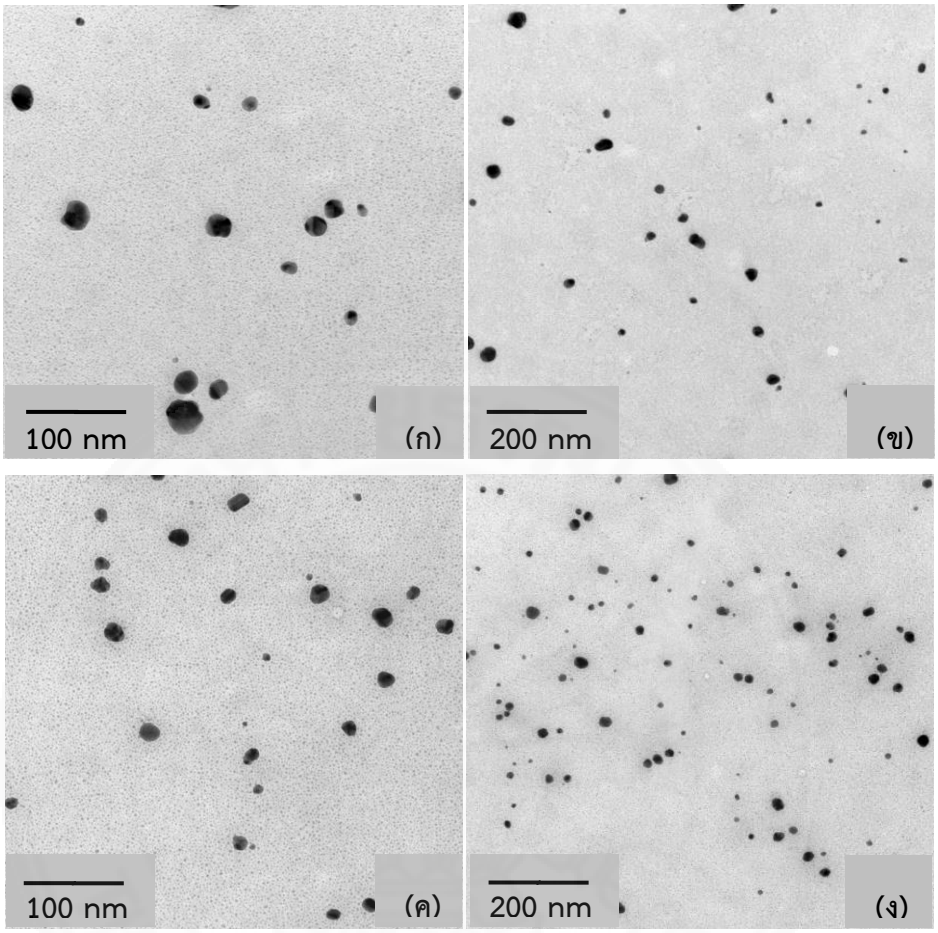
Ref. code: 25595809035537IPM

จากภาพที่ 4.2 เป็นการเปรียบเทียบค่าการดูดกลืนแสงของสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 100 และ 500 ppm โดยจะสังเกตได้ว่าที่ทุกความเข้มข้นปรากฏค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ 415 นาโนเมตรเท่ากันทั้งหมด นั่นหมายถึงการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่ความเข้มข้นต่างๆ เกิดการสังเคราะห์ได้เป็นอนุภาคขนาดนาโนที่ใกล้เคียงกัน

4.1.2 ผลการทดสอบวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

สารซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 และ 100 ppm นำมาทดสอบวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโน ด้วย Transmission Electron Microscope (TEM) ที่กำลังขยาย 80 kV และบันทึกภาพที่ 100 และ 200 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 4.3 โดยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้เกิดการกระจายตัวที่ดี สม่ำเสมอ มองเห็นอนุภาคของสารซิลเวอร์ได้อย่างชัดเจน มีอนุภาคเล็กใหญ่ปะปนกัน เฉลี่ยอยู่ที่ 31 นาโนเมตร และอนุภาคมีรูปร่างค่อนข้างกลม

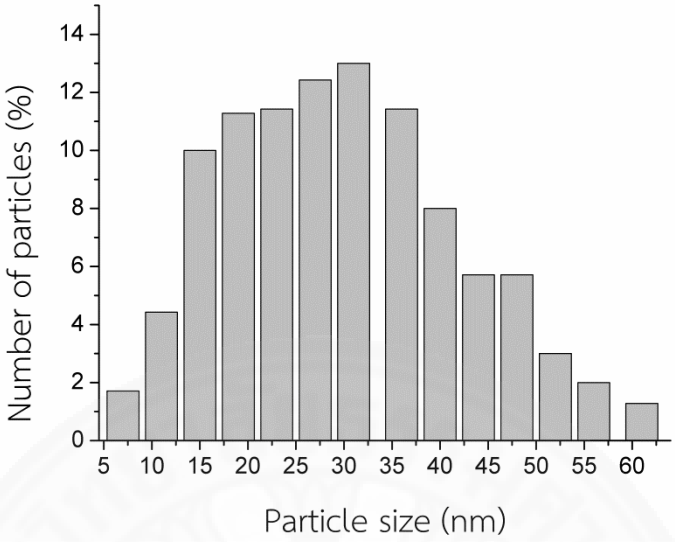
Ref. code: 25595809035537IPM



ภาพที่ 4.3 ลักษณะอนุภาคและการกระจายตัวของสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 ppm (ก-ข) และ 100 ppm (ค-ง)

ทำการนับจำนวนและคำนวณขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม Image J โดยใช้ไม้บรรทัดวัดขนาดอนุภาคทุกอนุภาค จำนวน 700 อนุภาค แล้วสร้างกราฟและหาค่าเฉลี่ย ผลที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 31 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 4.4

Ref. code: 25595809035537IPM



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน

จากภาพที่ 4.4 กราฟแสดงให้เห็นถึงปริมาณและขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยเวย์โปรตีนและแทนนิน โดยมีปริมาณอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุดที่ 31 นาโนเมตร

4.2 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารซิลเวอร์นาโน

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการซักเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกออกแล้ว มาทำการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 75, 100, 500 และ 1000 ppm ด้วยวิธีวิธีจุ่มบีบอัดและตากแห้ง แล้วนำไปทดสอบต่อไป

4.2.1 ผลการทดสอบความคงทนต่อการซัก

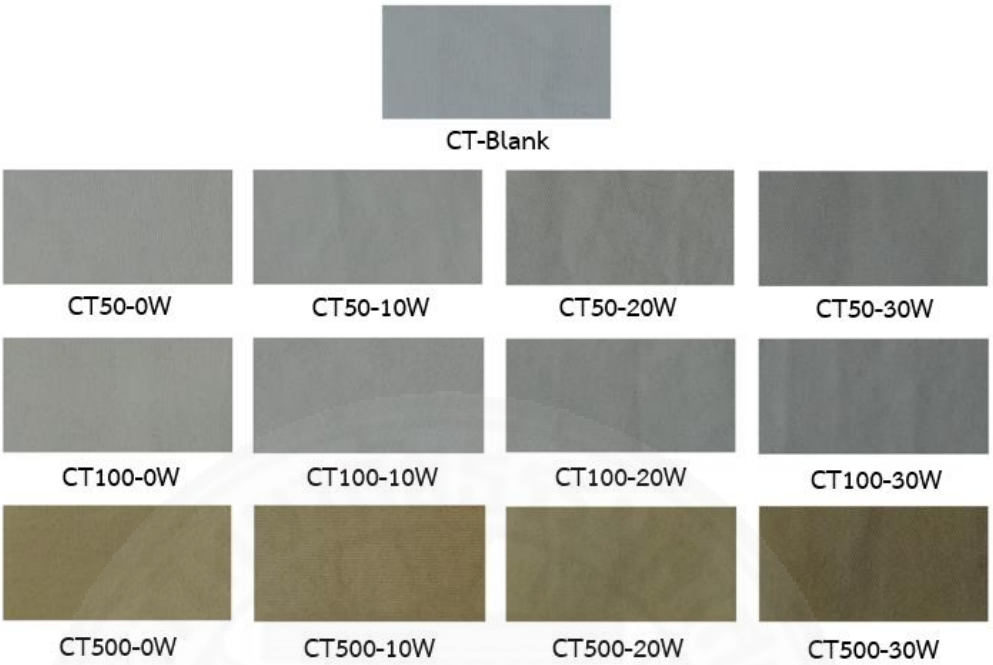
ทดสอบความคงทนต่อการซักล้างของสารซิลเวอร์นาโนที่ยึดติดบนผิวผ้าฝ้าย ตามมาตรฐาน AATCC 61/2A โดยการซักล้างด้วยมาตรฐานนี้เทียบเท่ากับการซักล้างทั่วไป 5 ครั้ง (5 home launderings) แสดงดังตารางที่ 4.1

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.1 แสดงจำนวนรอบการซักล้างของผ้าฝ้าย และสัญลักษณ์ชื่อตัวอย่าง

ชื่อตัวอย่าง	**จำนวนรอบการซักตามมาตรฐาน**	**จำนวนรอบการซักทั่วไป**	**สัญลักษณ์**
ผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ	ก่อนซัก	ก่อนซัก	CT-Blank
ผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 ppm	ก่อนซัก	ก่อนซัก	CT50-0W
	2 รอบซัก	10 รอบซัก	CT50-10W
	4 รอบซัก	20 รอบซัก	CT50-20W
	6 รอบซัก	30 รอบซัก	CT50-30W
ผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm	ก่อนซัก	ก่อนซัก	CT100-0W
	2 รอบซัก	10 รอบซัก	CT100-10W
	4 รอบซัก	20 รอบซัก	CT100-20W
	6 รอบซัก	30 รอบซัก	CT100-30W
ผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm	ก่อนซัก	ก่อนซัก	CT500-0W
	2 รอบซัก	10 รอบซัก	CT500-10W
	4 รอบซัก	20 รอบซัก	CT500-20W
	6 รอบซัก	30 รอบซัก	CT500-30W

Ref. code: 25595809035537IPM



ภาพที่ 4.5 ภาพถ่ายแสดงสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ และเปรียบเทียบสีผ้าฝ้ายหลังการซักล้างที่ 0, 10, 20 และ 30 รอบซัก

จากภาพที่ 4.5 เป็นภาพถ่ายที่แสดงให้เห็นถึงสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน และเปรียบเทียบสีผ้าฝ้ายหลังการซักล้างที่ 0, 10, 20 และ 30 รอบซัก โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ CT-Blank มีสีขาวสะอาด เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จ CT50-0W และ CT100-0W จะไม่เห็นความแตกต่างของสีผ้าฝ้ายมากนัก แต่จะมีสีที่เข้มขึ้นเพียงเล็กน้อย เป็นสีเหลืองอมน้ำตาล เนื่องมาจากการติดสีของสารแทนนินและสารซิลเวอร์นาโน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับผ้า CT500-0W กับผ้า CT-Blank จะสามารถมองเห็นความแตกต่างของสีผ้าได้อย่างชัดเจน เนื่องจากผ้า CT500-0W มีสีที่เข้มขึ้นมาก เป็นสีเหลืองอมน้ำตาลที่ชัดเจน เนื่องจากสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ขึ้นมีความเข้มข้นสูง และมีปริมาณสารซิลเวอร์ที่มากกว่าความเข้มข้นอื่นๆ จึงส่งผลให้ผ้าฝ้ายมีสีเข้มขึ้นเนื่องมาจากการติดของสารบนผ้า และเมื่อเปรียบเทียบสีผ้าฝ้ายหลังซัก CT500-10W, CT500-20W และ CT500-30W จะพบว่าสีผ้าฝ้ายมีสีจางลงตามจำนวนรอบซักที่มากขึ้น

Ref. code: 25595809035537IPM

4.2.2 ผลการทดสอบดัชนีความขาวและความเพี้ยนสีของผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน

ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความขาวและความเพี้ยนสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ ด้วยเครื่อง reflectance spectrophotometer โดยนำตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 100 และ 500 ppm และผ่านการซักล้างจำนวน 0, 10, 20 และ 30 รอบ นำมาทดสอบวัดสี 3 ตำแหน่งแล้วนำมาเฉลี่ยหาค่าดัชนีความขาว (WI-CIE) และวัดค่าความเพี้ยนสี พิจารณาจากค่า L*, a*, b* ที่วัดได้จากเครื่องวัดสี แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเพี้ยนสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ CIE Lab (L* a* b* color space)

Sample name	L*	a*	b*	C*	ΔE*	WI-CIE	K/S
CT-Blank	92.37	-0.53	1.07	1.2	-	76.53	0.045
CT50-0W	88.29	0.93	6.06	6.13	6.61	43.5	0.131
CT50-10W	89.49	0.42	4.87	4.89	4.86	52.01	0.106
CT50-20W	89.12	0.61	5.29	5.33	5.45	49.11	0.113
CT50-30W	89.02	0.66	5.74	5.78	5.87	46.75	0.123
CT100-0W	87.71	0.78	9.37	9.41	9.61	26.05	0.172
CT100-10W	88.73	0.7	5.06	5.11	5.54	49.32	0.11
CT100-20W	89.77	0.28	5.12	5.13	4.88	51.43	0.105
CT100-30W	89.54	0.33	4.74	4.75	4.71	52.74	0.104
CT500-0W	77.34	4.79	26.35	26.78	29.89	-86.62	0.942
CT500-10W	75.43	5.04	25.4	25.89	30.17	-87.44	1.058
CT500-20W	79.9	3.2	24.19	24.4	26.53	-68.45	0.734
CT500-30W	78.38	3.89	19.15	19.54	23.28	-46.82	0.623

Ref. code: 25595809035537IPM

จากตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบวัดดัชนีความขาวของผ้าฝ้าย (WI-CIE) พบว่าผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จ CT50-0W และ CT100-0W มีค่าดัชนีความขาวลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ และผ้าฝ้าย CT500-0W มีค่าดัชนีความขาวติดลบ แสดงให้เห็นว่าผ้าฝ้ายมีสีที่เข้มขึ้น (ความขาวน้อยลง) เมื่อผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน และเมื่อผ่านการซักที่ 10, 20 และ 30 รอบ พบว่าผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จมีสีซีดลงตามจำนวนรอบซักที่มากขึ้น และผลการวิเคราะห์ความเพี้ยนสีของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ พบว่าผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ CT-Blank มีค่า L* สูงที่สุด เนื่องจากผ้าฝ้ายไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนจึงมีค่าความขาวสูงที่สุด เมื่อเทียบกับผ้าฝ้าย CT50-0W, CT100-0W และ CT500-0W จะเห็นได้ชัดเจนว่ามีค่า L* ลดลงตามความเข้มข้นของสารที่ใช้ตกแต่งสำเร็จที่มากขึ้น ซึ่งผ้าฝ้าย CT500-0W มีค่า L* สูงที่สุด นั่นหมายถึงผ้ามีสีที่เข้มขึ้นมาก และพบว่าผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จที่ทุกความเข้มข้นมีค่า a* และ b* เพิ่มมากขึ้น คือมีค่าเป็นบวกมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งหมายถึงผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนมีเฉดสีออกไปทางโทนสีแดงมากขึ้น (a*) และมีเฉดสีออกไปทางโทนสีเหลืองมากขึ้น (b*) อีกด้วย โดยถ้าตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารที่มีความเข้มข้นสูงๆจะทำให้ผ้ามีสีเข้มขึ้น ซึ่งสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ขึ้นได้นี้ จะทำให้ผ้ามีสีเหลืองจนไปถึงสีน้ำตาล แต่อย่างไรก็ตาม ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้น 50 ถึง 100 ppm ยังคงมีสีใกล้เคียงกับผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ อาจมีสีเข้มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานทั่วไป แต่ที่ความเข้มข้น 500 ppm จะมองเห็นสีผ้าฝ้ายเป็นสีน้ำตาลอมเหลือง จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ตกแต่งสำเร็จบนผ้าขาว

4.2.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้าย

ทำการทดสอบสมบัติการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน เพื่อสังเกตลักษณะการดูดซึมน้ำของผ้าฝ้าย ระยะเวลาการดูดซึม และเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการซึมน้ำ ความชอบน้ำหรือไม่ชอบน้ำของผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ โดยการทดสอบจะใช้ตัวอย่างผ้าฝ้ายก่อนตกแต่งสำเร็จ CT-Blank และหลังตกแต่งสำเร็จ CT100-0W และ CT500-0W

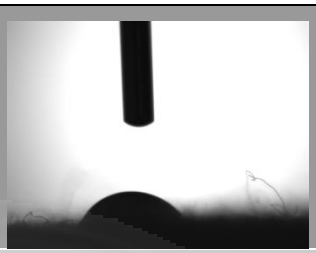
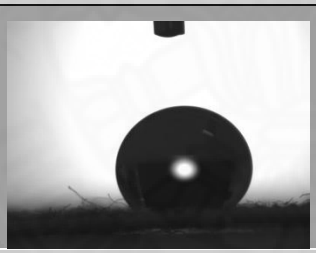
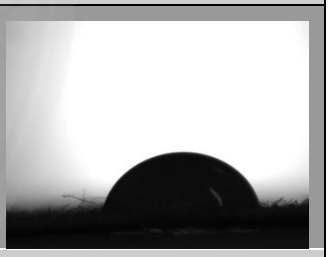
Ref. code: 25595809035537IPM

ภาพที่ 4.6 แสดงภาพหยดน้ำที่หยดลงบนผิวผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ก), ผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm (ข) และ 500 ppm (ค)

จากภาพที่ 4.6 ทั้งสามภาพ (ก-ค) เป็นภาพแรกบันทึกได้ทันทีหลังจากที่หยดน้ำหยดลงบนผ้า แสดงให้เห็นถึงลักษณะของเม็ดหยดน้ำบนผ้าฝ้ายที่บันทึกภาพได้ โดยภาพ CT-Blank(ก) เป็นภาพหยดน้ำบนผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ จะเห็นได้ว่าหยดน้ำซึมลงไปในผ้าแล้วประมาณครึ่งหนึ่ง แสดงให้เห็นว่าหยดน้ำซึมลงในเส้นใยได้รวดเร็วมาก ตามลักษณะความชอบน้ำของผ้าฝ้าย ส่วนภาพ CT100-0W(ข) เป็นภาพหยดน้ำบนผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm (ก่อนซัก) โดยหยดน้ำมีการซึมลงไปในผ้าน้อยกว่า CT-Blank(ก) ส่วนภาพ CT500-0W(ค) เป็นภาพหยดน้ำบนผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm (ก่อนซัก) ปรากฏเม็ดหยดน้ำค่อนข้างเป็นทรงกลมบนผิวผ้าฝ้าย นั่นคือหยดน้ำซึมลงไปในผ้าน้อย ณ เวลาที่กล้องเริ่มบันทึกภาพได้ และใช้ระยะเวลานานก่อนที่หยดน้ำจะค่อยๆซึมหายไปจนหมด แสดงให้เห็นถึงสมบัติความไม่ชอบน้ำ เนื่องจากที่ว่าเมื่อผิวผ้าฝ้ายมีการตกแต่งสำเร็จสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นสูง จะแสดงสมบัติไม่ชอบน้ำ และได้ทำการทดสอบกับผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จที่ผ่านการซักแล้วถึง 30 ครั้ง พบลักษณะการซึมน้ำของผ้าฝ้ายรวดเร็วขึ้นกว่าผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จก่อนซัก เนื่องจากการหลุดของสารระหว่างการซัก

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.3 แสดงให้เห็นถึงลักษณะการซึมน้ำของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ

ชื่อตัวอย่าง	ลักษณะการซึมน้ำของผ้า		
CT-Blank (ก)			
	วินาทีที่ 0.5	วินาทีที่ 1	วินาทีที่ 1.5
CT100-0W (ข)			
	วินาทีที่ 0.5	วินาทีที่ 1.25	วินาทีที่ 2.25
CT500-0W (ค)			
	วินาทีที่ 0.5	วินาทีที่ 10.5	วินาทีที่ 13.5
	วินาทีที่ 15.5	วินาทีที่ 18.5	วินาทีที่ 23

Ref. code: 25595809035537IPM

จากตารางที่ 4.3 โดยตัวอย่าง CT-Blank(ก) เป็นชุดภาพของฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ นำมาทดสอบโดยหยดน้ำลงบนผิวหน้าผ้า เมื่อหยดน้ำสัมผัสบนผ้าเกิดการซึมหายไปทันที โดยใช้เวลาเพียง 1.5 วินาทีก่อนหยดน้ำจะซึมหายไปทั้งหมด นั่นแสดงว่าผ้ามีความชอบน้ำที่ยิ่งยวด ตามลักษณะโดยธรรมชาติทั่วไปของผ้าฝ้าย

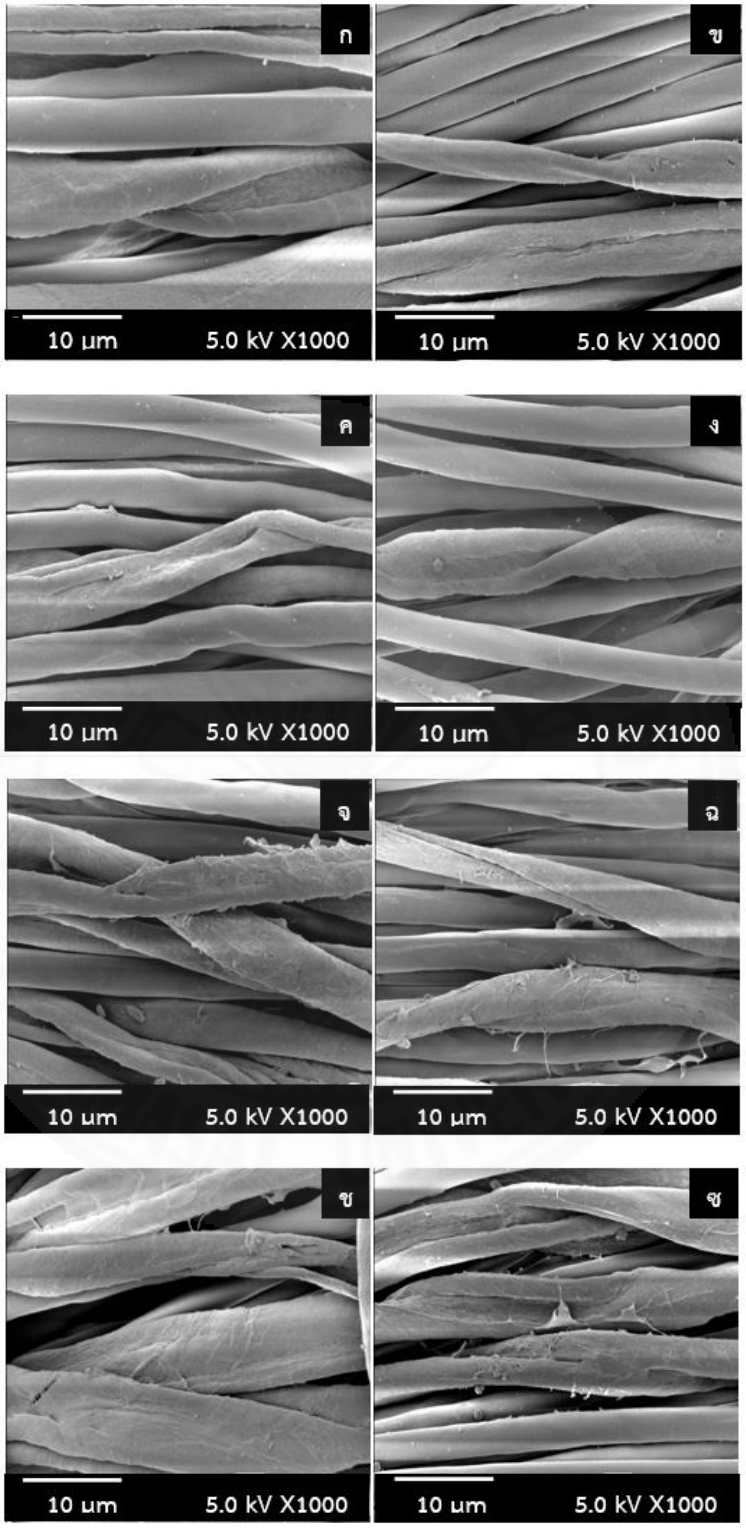
ตัวอย่าง CT100-0W(ข) เป็นชุดภาพของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm (ก่อนซัก) นำมาทดสอบโดยหยดน้ำลงบนผิวหน้าผ้า เมื่อหยดน้ำสัมผัสบนผ้าเกิดการซึมหายไปอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลา 2.25 วินาทีก่อนหยดน้ำจะซึมหายไปทั้งหมด จะสังเกตได้ว่าหยดน้ำซึมหายไปอย่างรวดเร็ว แต่ใช้เวลามากกว่าการซึมน้ำของผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จเล็กน้อย เนื่องจากผ้าได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จบนผิวหน้าผ้า เป็นลักษณะการเคลือบสารบนผิวหน้าผ้า แต่ยังคงแสดงถึงลักษณะความชอบน้ำตามธรรมชาติของผ้าฝ้ายทั่วไปได้อย่างดี จึงไม่ส่งผลกระทบต่อสมบัติการซึมน้ำของผ้าฝ้าย

ตัวอย่าง CT500-0W(ค) เป็นชุดภาพของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm (ก่อนซัก) นำมาทดสอบโดยหยดน้ำลงบนผิวหน้าผ้า ผลคือใช้เวลานานมากถึง 23 วินาทีก่อนหยดน้ำจะหายไปทั้งหมด จะสังเกตได้ว่าหยดน้ำซึมหายไปช้ามาก แตกต่างจากลักษณะการซึมน้ำของผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งลักษณะการซึมน้ำของผ้าฝ้าย CT500-0W มีลักษณะไม่ชอบน้ำ หรือ hydrophobic เนื่องมาจากผ้าฝ้ายผ่านการตกแต่งสำเร็จสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นสูง โดยถ้ามีความเข้มข้นของสารเยอะมากเกินไป ผิวผ้าฝ้ายจะถูกเคลือบและยึดติดสารค่อนข้างหนา จึงเกิดการขัดขวาง หรือชะลอการซึมของน้ำบนผ้าได้

4.2.4 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการทดสอบวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ยึดติดบนผิวผ้าฝ้ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิชชั่นและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ (FESEM-EDS) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ และลักษณะการติดของสารที่อยู่บนผ้าฝ้าย ที่กำลังขยาย 1000 และ 1500 เท่า แสดงดังภาพที่ 4.7

Ref. code: 25595809035537IPM



ภาพที่ 4.7 ผ้าฝ้ายก่อนตกแต่งสำเร็จ ก่อนซัก (ก), หลังซัก (ข), และผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จ CT50-0W (ค), CT50-30W (ง), CT100-0W (จ), CT100-30W (ฉ), CT500-0W (ช) และ CT500-30W (ซ)

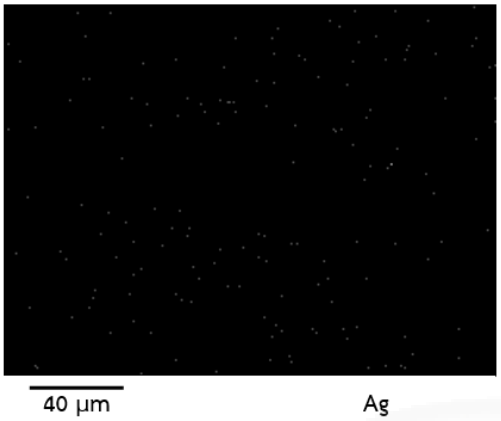
Ref. code: 25595809035537IPM

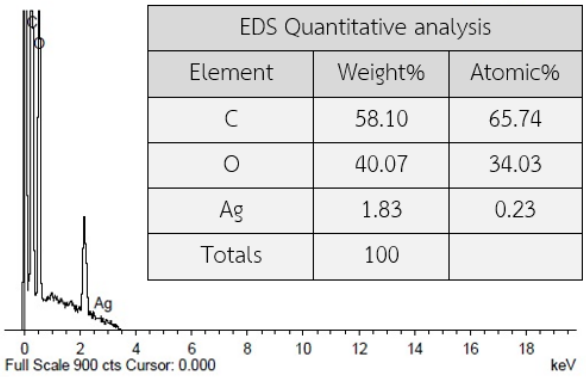
จากภาพที่ 4.7 ภาพ (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ โดยมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ เส้นใยบิดตามธรรมชาติ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนก่อนซักและหลังซัก จะปรากฏลักษณะของสารซิลเวอร์นาโนเคลือบอยู่บริเวณผิวเส้นใยค่อนข้างหนา มีความขรุขระบนพื้นผิวอันเกิดจากสารซิลเวอร์นาโนที่เคลือบอยู่บนผิวเส้นใย และเมื่อผ่านการซักถึง 30 รอบ ยังคงปรากฏลักษณะความขรุขระของสารเคลือบบริเวณผิวเส้นใย

จากภาพ (ค) ถึง (ช) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของการติดของสารบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 100 และ 500 ppm ทั้งก่อนการซัก และหลังซัก 30 รอบ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายก่อนตกแต่งสำเร็จทั้งก่อนซักและหลังซัก (ภาพ ก และ ข) จะสังเกตเห็นว่าปรากฏลักษณะของการติดของสารบนผ้าได้ชัดเจนขึ้น โดยการติดของสารบนผ้าฝ้ายดังกล่าว เป็นการติดของสารเวย์โปรตีน แทนนิน และซิลเวอร์นาโน ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของสารซิลเวอร์นาโนส่งผลต่อปริมาณการติดของสารบนผ้า โดยผ้า CT500-0W มีการติดของสารบนผ้ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับ CT100-0W และ CT50-0W มีการติดของสารน้อยลงตามลำดับ ผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จหลังซัก 30 รอบ แสดงให้เห็นถึงการหลุดของสารและการฉีกขาดของเส้นใย เนื่องมาจากการขัดถูระหว่างการซัก แต่ยังคงมีปริมาณสารเกาะติดบนผ้าอยู่ แต่น้อยกว่าผ้าฝ้ายตกแต่งสำเร็จก่อนซัก

และเพื่อสังเกตการกระจายตัวและยืนยันการติดของสารซิลเวอร์นาโนบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จ จึงทดสอบหาปริมาณธาตุซิลเวอร์ (Ag) ด้วยเทคนิค EDS Quantitative analysis พบว่าซิลเวอร์นาโนมีการกระจายตัวที่ดีบนผิวของผ้าฝ้าย โดยผ้าฝ้าย CT100-0W พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.83, ผ้าฝ้าย CT100-20W พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.60 และ CT100-30W พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.30 จะสังเกตได้ว่าปริมาณ Ag ที่ตรวจพบบนผ้าที่ผ่านการซัก 20 และ 30 รอบ มีปริมาณลดน้อยลงตามลำดับเมื่อเทียบกับผ้าก่อนซัก เนื่องจากการหลุดของสารในระหว่างการซัก อย่างไรก็ตามยังคงมีปริมาณ Ag เหลืออยู่บนผ้าแม้ว่าจะผ่านการซักถึง 30 ครั้ง แสดงในภาพที่ 4.8, 4.9 และ 4.10

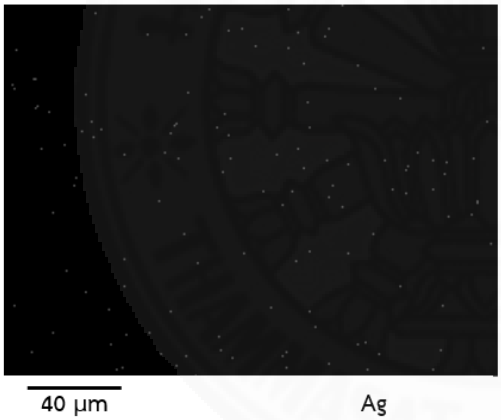
Ref. code: 25595809035537IPM

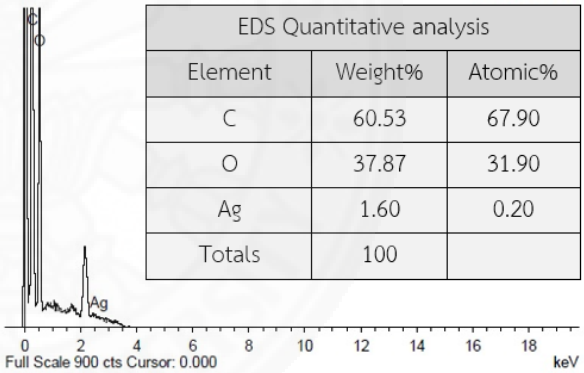




EDS Quantitative analysis		
Element	Weight%	Atomic%
C	58.10	65.74
O	40.07	34.03
Ag	1.83	0.23
Totals	100	

ภาพที่ 4.8 ผล FESEM-EDS ของผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm ก่อนซัก พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.83

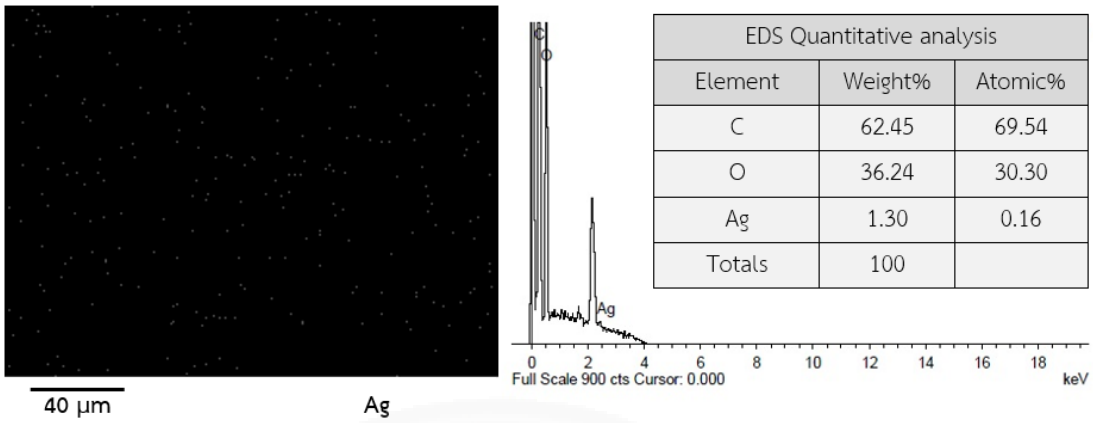




EDS Quantitative analysis		
Element	Weight%	Atomic%
C	60.53	67.90
O	37.87	31.90
Ag	1.60	0.20
Totals	100	

ภาพที่ 4.9 ผล FESEM-EDS ของผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm หลังซัก 20 รอบ พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.60

Ref. code: 25595809035537IPM



EDS Quantitative analysis		
Element	Weight%	Atomic%
C	62.45	69.54
O	36.24	30.30
Ag	1.30	0.16
Totals	100	

ภาพที่ 4.10 ผล FESEM-EDS ของผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm หลังซัก 30 รอบ พบปริมาณ Ag ร้อยละ 1.30

4.2.5 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน

นำผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 75, 100 และ 500 ppm มาทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้าย โดยทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกคือ คือ *S. aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ คือ *E. coli* โดยมีผลการทดสอบทั้งสิ้นสองวิธี ดังนี้

4.2.5.1 ผลการทดสอบการเกิดบริเวณการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย

ผลการทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเกิดแบคทีเรียบนชิ้นผ้าฝ้ายตัวอย่างด้วยวิธี Agar disc diffusion technique โดยมีผลการทดสอบการเกิดวงรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าชิ้นตัวอย่าง หรือการเกิดบริเวณใส ซึ่งเป็นบริเวณที่เชื้อไม่สามารถเจริญเติบโตได้ แสดงดังตารางที่ 4.4 โดยใช้ยาเตตราไซคลีน (tetracycline) ที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเป็นตัวควบคุม เพื่อยืนยันว่าเชื้อแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบมีการเจริญเติบโตที่ดี และเพื่อทดสอบการเกิดบริเวณใสรอบชิ้นยา (บริเวณด้านบนของจานเพาะเชื้อ) โดยยาเตตราไซคลีน ปรากฏบริเวณใสขนาด 29 มิลลิเมตร ต่อการทดสอบกับเชื้อ *S. aureus* และปรากฏบริเวณใสขนาด 33 มิลลิเมตร ต่อการทดสอบกับเชื้อ *E. coli* และภาพผลการทดสอบของตัวอย่างผ้า แสดงดังตารางที่ 4.5

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายด้วยวิธีสังเกตการเกิดบริเวณใส

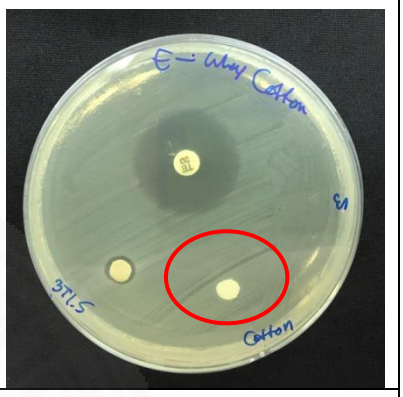
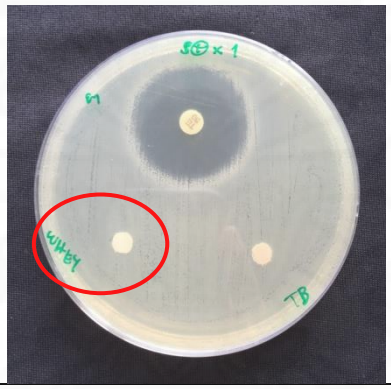
ชื่อตัวอย่าง	การเกิดบริเวณใส (clear zone)	
	เชื้อ *S. aureus*	เชื้อ *E. coli*
CT-Blank	ไม่เกิด	ไม่เกิด
CT-whey protein	ไม่เกิด	ไม่เกิด
CT-tannin	ไม่เกิด	ไม่เกิด
CT-$AgNO_3$	2 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร
CT100-0W	2 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร
CT100-10W	2 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร
CT100-20W	2 มิลลิเมตร	2 มิลลิเมตร

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.4 พบว่าเมื่อสังเกตลักษณะการเกิดวงรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายก่อนตกแต่งสำเร็จ (CT-Blank), ผ้าฝ้ายตกแต่งด้วยสารเวย์โปรตีน (CT-whey protein) และผ้าฝ้ายตกแต่งด้วยสารแทนนิน (CT-tannin) นั้นไม่ปรากฏบริเวณใสรอบผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ นั่นหมายถึงผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ และผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยเวย์โปรตีนหรือตะบูนนั้น ไม่มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย เนื่องจากผ้าฝ้ายทั้งสามชิ้นทดสอบข้างต้นนั้นไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียนั่นเอง

เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งด้วยสารซิลเวอร์ไนเตรต (CT-$AgNO_3$) และผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน CT100-0W, CT100-10W และ CT100-20W นั้นพบว่าปรากฏบริเวณใสรอบผ้าฝ้ายชิ้นตัวอย่างขนาด 2 มิลลิเมตร นั่นหมายถึงผ้าฝ้ายทั้งสี่ชิ้นทดสอบข้างต้นมีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย เนื่องจากสารซิลเวอร์ไนเตรต และสารซิลเวอร์นาโนที่ตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายนั้นได้แพร่สารยับยั้งเชื้อแบคทีเรียออกจากชิ้นผ้าฝ้ายตัวอย่างไปยังวุ้นอาหาร ทำให้แบคทีเรียไม่เจริญเติบโตบนวุ้นอาหารที่สารแพร่ออกมา จึงเกิดบริเวณยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียรอบๆชิ้นทดสอบ ถึงแม้ว่าผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนได้ผ่านการซักสูงถึง 20 รอบ แต่ยังคงประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียทีดี

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.5 ภาพถ่ายแสดงลักษณะการเกิดบริเวณใสของผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ

ชื่อตัวอย่าง	การเกิดบริเวณใส (clear zone)	
	เชื้อ *S. aureus*	เชื้อ *E. coli*
CT-Blank		
CT-whey protein		
CT-tannin		

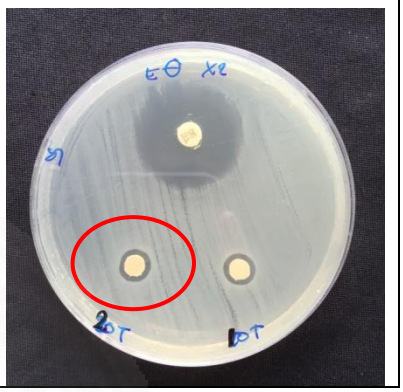
Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.5 ภาพถ่ายแสดงลักษณะการเกิดบริเวณใสของผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	การเกิดบริเวณใส (clear zone)	
	เชื้อ *S. aureus*	เชื้อ *E. coli*
CT-$AgNO_3$		
CT100-0W		
CT100-10W		

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.5 ภาพถ่ายแสดงลักษณะการเกิดบริเวณใสของผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	การเกิดบริเวณใส (clear zone)	
	เชื้อ *S. aureus*	เชื้อ *E. coli*
CT100-20W		

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5 แสดงภาพถ่ายลักษณะการเกิดบริเวณใสของผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ พบว่าเมื่อสังเกตลักษณะการเกิดวงรัศมียับยั้งเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้าย CT-Blank, ผ้าฝ้าย CT-whey protein และผ้าฝ้าย CT-tannin นั้นไม่ปรากฏบริเวณใสรอบผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ แต่เกิดเป็นลักษณะโคโลนีของแบคทีเรียเจริญเติบโตเต็มพื้นที่รอบชิ้นทดสอบ ซึ่งแตกต่างจากการเกิดวงรัศมีบริเวณใสของผ้าฝ้าย CT-$AgNO_3$, CT100-0W, CT100-10W และ CT100-20W ที่ปรากฏบริเวณใสขนาด 2 มิลลิเมตร ต่อการทดสอบกับเชื้อ *S. aureus* และเชื้อ *E. coli* ถึงแม้ว่าการเกิดบริเวณใสของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนนั้นมีขนาดบริเวณใสรอบชิ้นตัวอย่างเพียง 2 มิลลิเมตร แต่สามารถยืนยันได้ว่ามีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย ซึ่งเป็นการทดสอบเชิงคุณภาพ

4.2.5.1 ผลการทดสอบด้วยวิธีการวัดผลร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย

ผลการทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 75, 100, 500 และ 1000 ppm ด้วยวิธีวัดผลร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรียโคโลนี ตามมาตรฐาน AATCC 100-2004 ทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกคือ คือ *S. aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ คือ *E. coli* โดยมีผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.6

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายด้วยวิธีวัดผลร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย

ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (%reduction)		
ชื่อตัวอย่าง	เชื้อ *S. aureus*	เชื้อ *E. coli*
CT-Blank	0	0
CT-whey protein	0	0
CT-tannin	0	0
CT-$AgNO_3$	99.99	99.99
CT100-0W	99.99	99.99
CT100-10W	99.99	99.99
CT100-20W	99.97	99.86
CT100-30W	99.88	99.84
CT100-50W	99.85	97.83

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6 พบว่าประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (CT-Blank), ผ้าฝ้ายตกแต่งด้วยสารเวย์โปรตีน (CT-whey protein) และผ้าฝ้ายตกแต่งด้วยสารแทนนิน (CT-tannin) มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 0 นั่นหมายถึงไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* และ *E. coli* ได้ เนื่องจากผ้าฝ้ายทั้งสามชิ้นทดสอบข้างต้นนั้นไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียนั่นเอง และผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์ไนเตรต (CT-$AgNO_3$) สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้สูงถึงร้อยละ 99.99 แต่การตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารซิลเวอร์ไนเตรตที่ไม่มีตัวช่วยในการรีดิวซ์ให้มีอนุภาคขนาดนาโนและไม่มีการใช้สารช่วยยึดติดนั้นส่งผลเสียให้ผ้าฝ้ายขาวหลังตกแต่งสำเร็จมีสีน้ำตาลเข้มและมีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียลดลงเมื่อผ่านการซัก เนื่องจากอนุภาคของซิลเวอร์ที่เกิดขึ้นในระหว่างการสังเคราะห์ไม่มีโปรตีนที่ทำหน้าที่เคลือบผิวอนุภาคซึ่งช่วยในการกระจายตัว ทำให้อนุภาคซิลเวอร์มารวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่เกินไปจึงส่งผลเสียต่อสีผ้าและความสามารถในการยึดติดของสารบนผิวหน้าผ้าฝ้าย

เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน CT100-0W, CT100-10W, CT100-20W, CT100-30W และ CT100-50W พบว่าสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* ได้สูงถึงร้อยละ 99.99, 99.99, 99.97, 99.88 และ 99.85

Ref. code: 25595809035537IPM

ตามลำดับ และสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *E. coli* ได้สูงถึงร้อยละ 99.99, 99.99, 99.86, 99.84 และ 97.83 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ดี ถึงแม้ว่าผ้า CT100-50W จะผ่านการซักสูงถึง 50 รอบ แต่ยังคงประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียสูงถึงร้อยละ 99 เนื่องจากสารซิลเวอร์ไนเตรตถูกรีดิวซ์ด้วยเวย์โปรตีนในสภาวะด่างที่ pH 10 ทำให้มีอนุภาคเล็กมากขนาดนาโน ที่สามารถแทรกและกระจายตัวได้ทั่วผิวหน้าผ้าฝ้าย ประกอบกับความสามารถในการยึดติดของสารซิลเวอร์นาโนกับผิวหน้าผ้าฝ้ายที่มีสารแทนนินและเวย์โปรตีนเป็นตัวช่วยยึดติดด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยแทนนินกับเวย์โปรตีนจะสร้างพันธะกันเป็นตะกอนที่ไม่ละลายน้ำ สร้างเป็นตาข่ายสามมิติคลุมผิวหน้าผ้าฝ้ายไว้ และมีซิลเวอร์นาโนแทรกตัวอยู่ภายใน ประกอบกับความสามารถในการดึงดูดกันของสารด้วยแรงไฮโดรโฟบิก (hydrophobic interaction) และแรงระหว่างขั้ว (polar force) จึงทำให้ผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนมีความคงทนต่อการซักและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ดี

หลังจากการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียบนผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm แล้ว จึงทำการทดสอบที่ความเข้มข้น 50, 75, 500 และ 1000 ppm เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แสดงดังตารางที่ 4.7

Ref. code: 25595809035537IPM

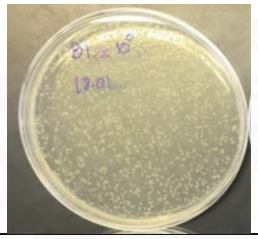
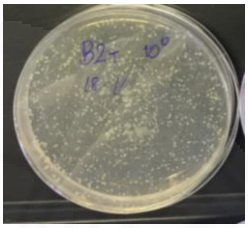
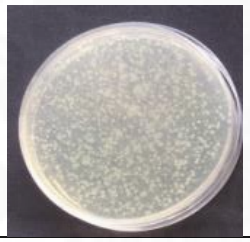
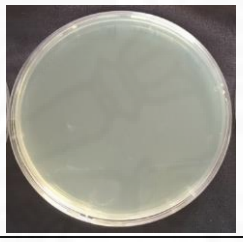
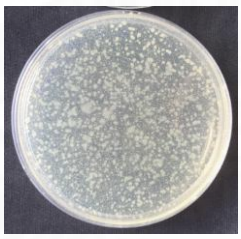
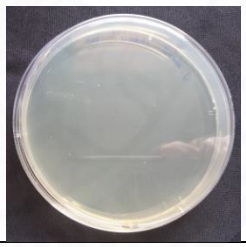
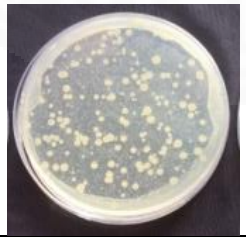
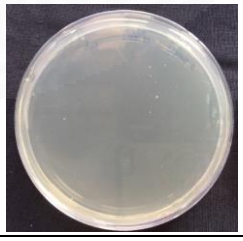
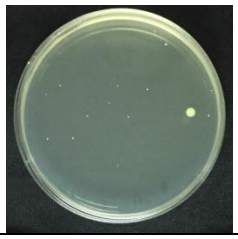
ตารางที่ 4.7 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 75, 500 และ 1000 ppm ด้วยวิธีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย

ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (%reduction)					
ชื่อตัวอย่าง	*S. aureus*	*E. coli*	ชื่อตัวอย่าง	*S. aureus*	*E. coli*
CT50-0	99.99	99.99	CT500-0	99.99	99.99
CT50-10	99.99	99.99	CT500-10	99.99	99.99
CT50-20	99.84	99.65	CT500-20	99.99	99.99
CT50-30	99.73	99.42	CT500-30	99.99	99.99
CT50-50	97.92	92.20	CT500-50	99.99	99.99
CT75-0	99.99	99.99	CT1000-0	99.99	99.99
CT75-10	99.99	99.99	CT1000-10	99.99	99.99
CT75-20	99.96	99.79	CT1000-20	99.99	99.99
CT75-30	99.79	99.73	CT1000-30	99.99	99.99
CT75-50	98.20	97.21	CT1000-50	99.99	99.99

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.7 พบว่าประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 และ 1000 ppm พบว่ามีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียได้สูงถึงร้อยละ 99.99 ถึงแม้จะผ่านการซักสูงถึง 50 รอบ เนื่องจากความเข้มข้นของสารซิลเวอร์นาโนที่ตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายมีความเข้มข้นที่สูงมากนั่นเอง เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 และ 75 ppm พบว่ามีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียน้อยลงตามความเข้มข้นของสารซิลเวอร์ไนเตรตตั้งต้นที่ใช้ตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้าย แต่ยังคงมีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียที่ดี แต่อย่างไรก็ตามการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นสูงมากเกินไปจะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนสีของผ้าฝ้าย จึงควรตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm หรือต่ำกว่า

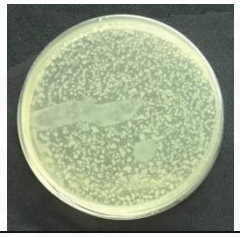
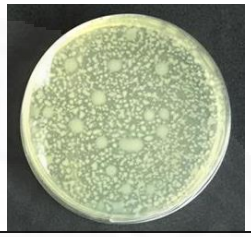
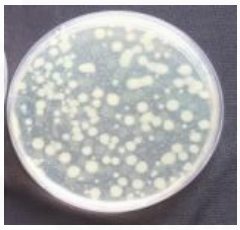
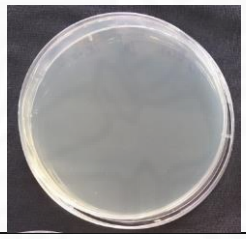
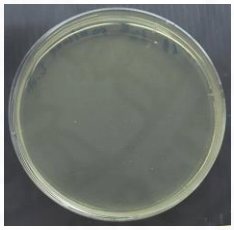
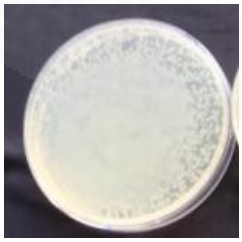
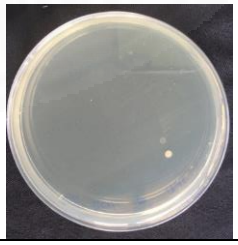
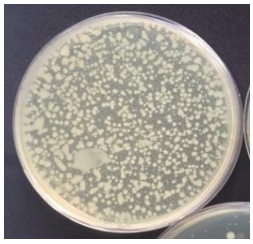
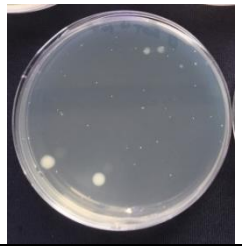
Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.8 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียต่อเชื้อ *S. aureus* ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm

ชื่อตัวอย่าง	จำนวนแบคทีเรียที่ 0 ชั่วโมง	จำนวนแบคทีเรียที่ 24 ชั่วโมง	ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (%reduction)
CT-Blank			0
CT100-0W			99.99
CT100-20W			99.97
CT100-30W			99.88
CT100-50W			99.85

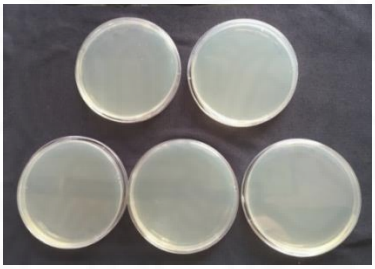
Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.9 ร้อยละการลดลงของแบคทีเรียต่อเชื้อ *E. coli* ของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm

ชื่อตัวอย่าง	จำนวนแบคทีเรียที่ 0 ชั่วโมง	จำนวนแบคทีเรียที่ 24 ชั่วโมง	ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (%reduction)
CT-Blank			0
CT100-0W			99.99
CT100-20W			99.86
CT100-30W			99.84
CT100-50W			97.83

Ref. code: 25595809035537IPM

จากภาพผลการทดสอบดังตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงภาพถ่ายลักษณะการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโคโลนีบนจานเพาะเชื้อ พบว่าผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโคโลนีเต็มพื้นที่จานเพาะเชื้อทั้งก่อนและหลังการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียต่อเชื้อ *S. aureus* เท่ากับ 0 และ *E. coli* เท่ากับ 0 เช่นเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ เมื่อเปรียบเทียบกับภาพถ่ายแสดงการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโคโลนีของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้น 100 ppm ทั้งก่อนซักและหลังซัก พบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโคโลนีเต็มพื้นที่จานเพาะเชื้อของการบ่มเชื้อที่เวลา 0 ชั่วโมง และพบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียโคโลนีบนจานเพาะเชื้อของการบ่มเชื้อที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเวลา 24 ชั่วโมง โดยพบการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่น้อยมาก เกิดเป็นเพียงจุดเล็กๆของแบคทีเรียโคโลนีบนจานเพาะเชื้อ และมีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียต่อเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* สูงถึงร้อยละ 99 เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียได้สัมผัสกับผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง สารซิลเวอร์นาโนจึงออกฤทธิ์การยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียดังกล่าว



ภาพที่ 4.11 ลักษณะของจานเลี้ยงเชื้อที่มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.99

4.2.6 ผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผ้าฝ้ายที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน (Anti-fungal)

ทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน เป็นการทดสอบเชิงปริมาณ ตามมาตรฐาน AATCC 30 part 3 ทดสอบด้วยเชื้อ *Aspergillus niger* ทำการทดสอบทั้งสิ้น 16 ตัวอย่างคือ ผ้าฝ้ายหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 75, 100 และ 500 ppm ก่อนและหลังการซัก โดยมีผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จและกระดาษกรองปลอดเชื้อ เป็นตัวอย่างควบคุม แสดงผลการทดสอบดังตารางที่ 4.10

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อราของผ้าฝ้ายก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน

ชื่อตัวอย่าง	ขนาดตัวอย่าง เส้นผ่านศูนย์กลาง หน่วยเซ็นติเมตร (cm)	เชื้อรา *Aspergillus niger* ATCC 6275 การเจริญเติบโต (Observed Growth)
1.) CT50-0W	3.8	2 = Macroscopic growth
2.) CT50-10W	3.8	2 = Macroscopic growth
3.) CT50-20W	3.8	2 = Macroscopic growth
4.) CT50-30W	3.8	2 = Macroscopic growth
5.) CT75-0W	3.8	2 = Macroscopic growth
6.) CT75-10W	3.8	2 = Macroscopic growth
7.) CT75-20W	3.8	2 = Macroscopic growth
8.) CT75-30W	3.8	2 = Macroscopic growth
9.) CT100-0W	3.8	2 = Macroscopic growth
10.) CT100-10W	3.8	2 = Macroscopic growth
11.) CT100-20W	3.8	2 = Macroscopic growth
12.) CT100-30W	3.8	2 = Macroscopic growth
13.) CT500-0W	3.8	1 = Microscopic growth
14.) CT500-10W	3.8	1 = Microscopic growth
15.) CT500-20W	3.8	1 = Microscopic growth
16.) CT500-30W	3.8	1 = Microscopic growth
17.) CT-Blank	3.8	2 = Macroscopic growth
18.) Experimental control-Sterile filter paper	3.8	2 = Macroscopic growth

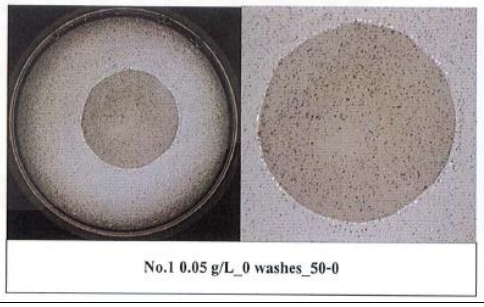
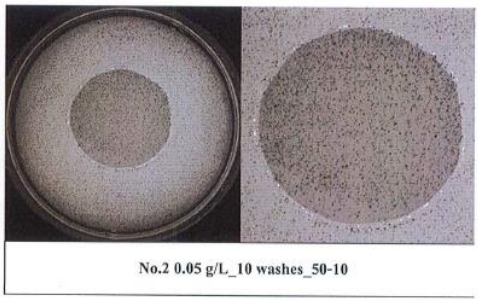
ผลการทดสอบพบว่า ตัวอย่างที่ 13, 14, 15 และ 16 คือผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm ที่ผ่านการซัก

Ref. code: 25595809035537IPM

จำนวน 0, 10, 20 และ 30 ครั้ง ตามลำดับ มีผลการสังเกตลักษณะการเจริญเติบโต คือ “1 = Microscopic growth” หมายถึง ปรากฏการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นตัวอย่าง โดยจะสามารถมองเห็นได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เท่านั้น จะไม่สามารถมองเห็นการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งหมายถึงผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm ทั้งก่อนและหลังการซัก มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา

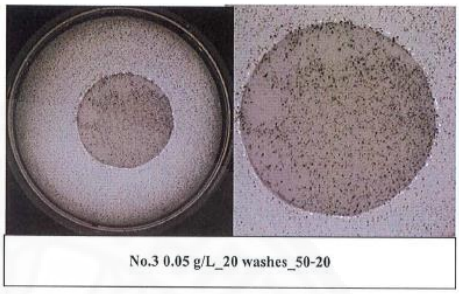
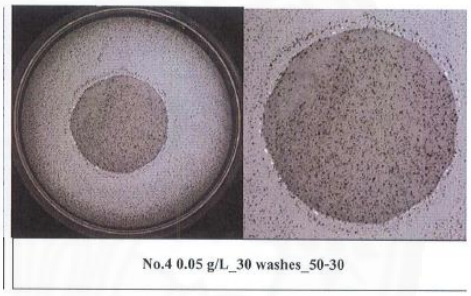
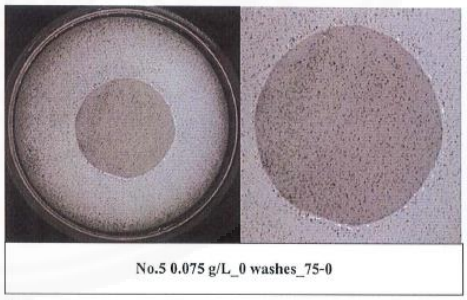
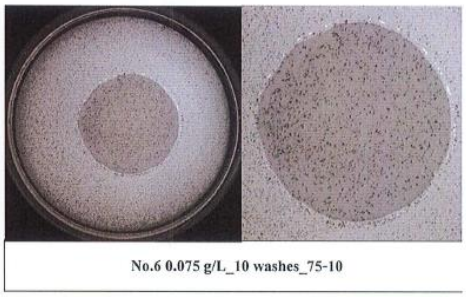
สำหรับผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 75 และ 100 ppm ทั้งก่อนซักและหลังซัก (ตัวอย่างที่ 1 ถึง 12) รวมถึงผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ตัวอย่างที่ 17) และกระดาษกรองปลอดเชื้อ (ตัวอย่างที่ 18) มีผลการสังเกตลักษณะการเจริญเติบโต คือ “2 = Macroscopic growth” หมายถึง ปรากฏการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นตัวอย่าง โดยสามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า นั่นหมายถึงไม่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา โดยภาพลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นผ้าทดสอบ แสดงดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 แสดงภาพลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนตัวอย่างผ้าฝ้าย

ชื่อตัวอย่าง	เชื้อรา *Aspergillus niger* ATCC 6275
	ภาพแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อรา
1.) CT50-0W	
2.) CT50-10W	

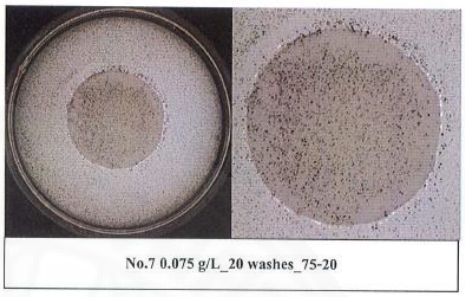
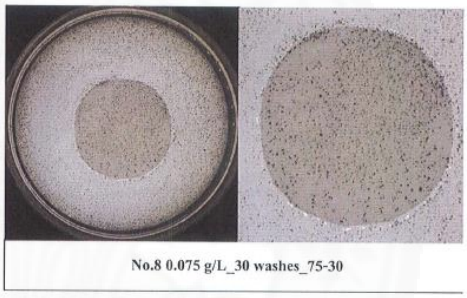
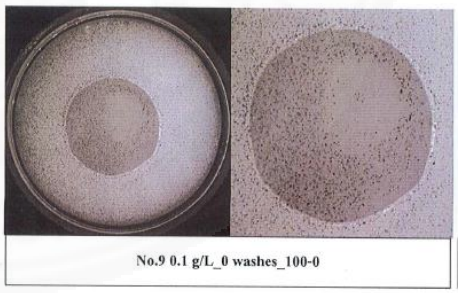
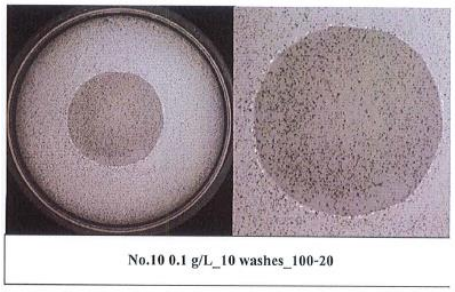
Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.11 แสดงภาพลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนตัวอย่างผ้าฝ้าย (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	เชื้อรา *Aspergillus niger* ATCC 6275
	ภาพแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อรา
3.) CT50-20W	
4.) CT50-30W	
5.) CT75-0W	
6.) CT75-10W	

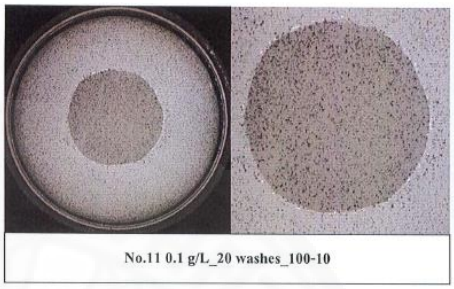
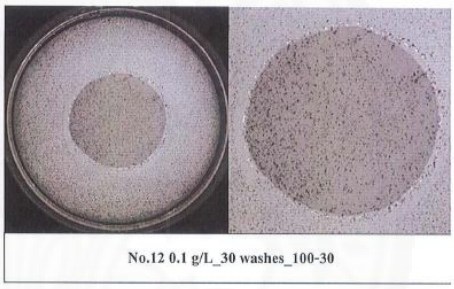
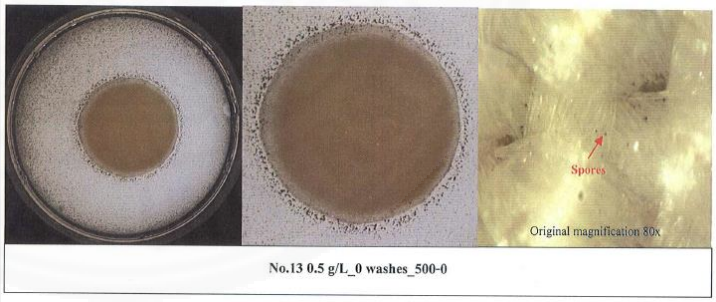
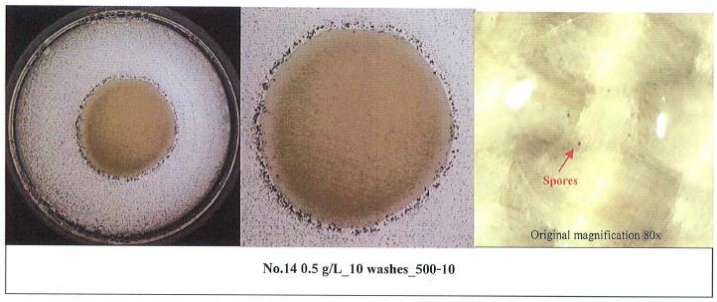
Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.11 แสดงภาพลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนตัวอย่างผ้าฝ้าย (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	เชื้อรา *Aspergillus niger* ATCC 6275
	ภาพแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อรา
7.) CT75-20W	
8.) CT75-30W	
9.) CT100-0W	
10.) CT100-10W	

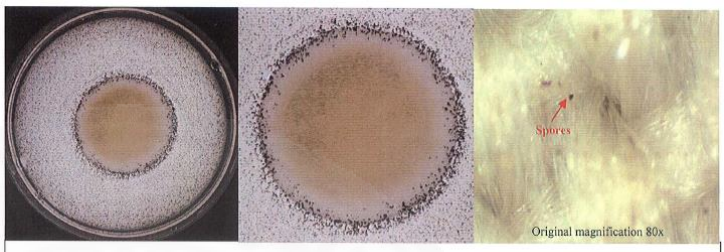
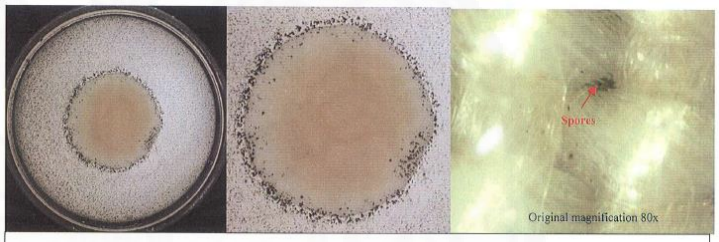
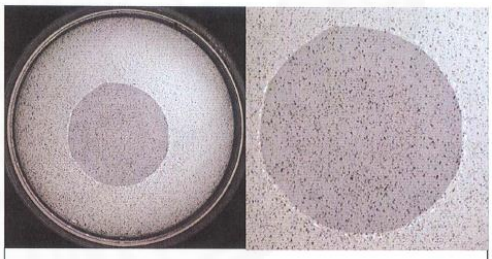
Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.11 แสดงภาพลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนตัวอย่างผ้าฝ้าย (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	เชื้อรา *Aspergillus niger* ATCC 6275
	ภาพแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อรา
11.) CT100-20W	
12.) CT100-30W	
13.) CT500-0W	
14.) CT500-10W	

Ref. code: 25595809035537IPM

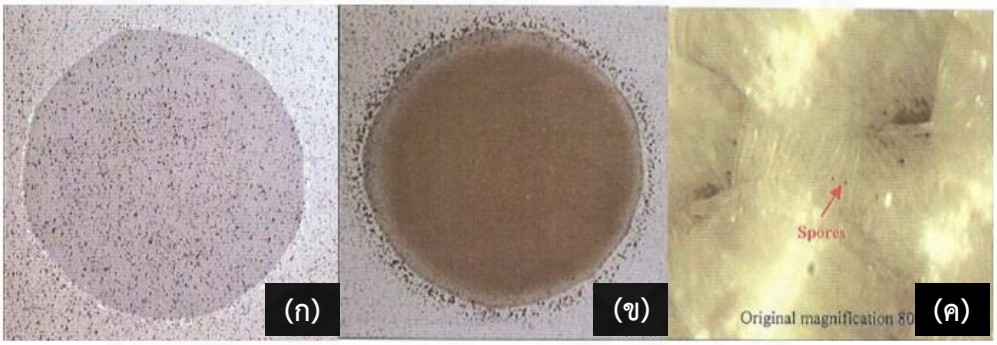
ตารางที่ 4.11 แสดงภาพลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนตัวอย่างผ้าฝ้าย (ต่อ)

ชื่อตัวอย่าง	เชื้อรา *Aspergillus niger* ATCC 6275
	ภาพแสดงการเจริญเติบโตของเชื้อรา
15.) CT500-20W	 No.15 0.5 g/L_20 washes_500-20
16.) CT500-30W	 No.16 0.5 g/L_30 washes_500-30
17.) CT-Blank	 No.17 Cotton_Control_CT
18.) Experimental control- Sterile filter paper	No.18 Experimental control – Sterile filter paper

ผลการแสดงภาพลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนตัวอย่างผ้าฝ้าย พบว่า ตัวอย่างที่ 13, 14, 15 และ 16 คือผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์

Ref. code: 25595809035537IPM

จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm ที่ผ่านการซักจำนวน 0, 10, 20 และ 30 ครั้ง ตามลำดับ ปรากฏลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราเจริญรอบๆผ้าฝ้ายชิ้นตัวอย่าง โดยจะไม่สามารถมองเห็นจุดสีดำของอับสปอร์เชื้อราได้ด้วยตาเปล่า แต่ต้องอาศัยการมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 80 เท่า ถึงจะสามารถมองเห็นสปอร์ของเชื้อราเจริญเติบโตบนชิ้นผ้าฝ้ายตัวอย่างได้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้น 500 ppm ทั้งก่อนและหลังการซัก มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา แตกต่างจากลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50, 75 และ 100 ppm ทั้งก่อนซักและหลังซัก (ตัวอย่างที่ 1 ถึง 12) รวมถึงผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ตัวอย่างที่ 17) และกระดาษกรองปลอดเชื้อ (ตัวอย่างที่ 18) มีลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อรา คือเกิดจุดสีดำที่เป็นอับสปอร์ของเชื้อราเจริญเติบโตเต็มผิวหน้าผ้าฝ้ายชิ้นทดสอบ โดยสามารถมองเห็นจุดสีดำได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า นั่นหมายถึงไม่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา



ภาพที่ 4.12 แสดงลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นตัวอย่างผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ก) และหลังการตกแต่งสำเร็จ (ข, ค)

จากภาพที่ 4.12 เพื่อเปรียบเทียบผลการแสดงลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นตัวอย่างระหว่างผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จและผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm โดยเกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราเต็มพื้นที่ชิ้นตัวอย่างผ้าฝ้ายก่อนการตกแต่งสำเร็จ (ภาพ ก) และปรากฏลักษณะการเจริญเติบโตของเชื้อรารอบๆชิ้นผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้น 500 ppm ก่อนซัก โดยมองไม่เห็นการเจริญเติบโตของเชื้อราบนชิ้นผ้าตัวอย่างได้ด้วยตาเปล่า (ภาพ ข) แต่จะสามารถมองเห็นได้ภายใต้กล้องจุลทรรศน์เท่านั้น (ภาพ ค) แสดงให้เห็นว่าต้องทำการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้นสูงถึง 500 ppm จึงจะมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา

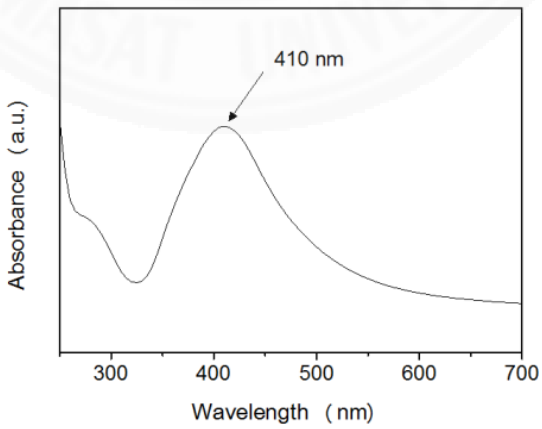
Ref. code: 25595809035537IPM

4.3 ผลการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและกลูตาราลดีไฮด์

ทำการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะด่างที่ pH 10 ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์และช่วยให้อนุภาคซิลเวอร์นาโนเกิดการกระจายตัว ร่วมกับการใช้สารกลูตาราลดีไฮด์ (GA) ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวางและช่วยยึดติดซิลเวอร์นาโนบนผ้าฝ้าย โดยจะเห็นการเปลี่ยนแปลงสีของซิลเวอร์ไนเตรตจากไม่มีสีกลายเป็นมีสีน้ำตาลเข้ม เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารไอออนซิลเวอร์ ให้กลายเป็นอนุภาคซิลเวอร์ขนาดนาโน โดยทำการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนจากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 และ 100 ppm

4.3.1 ผลการทดสอบด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง

ผลการดูดกลืนแสงช่วงที่ตามองเห็นด้วยเครื่องวัดการดูดกลืนแสง ของสารคอลลอยด์ที่ได้จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm วัดในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร โดยจะให้ค่าพีคที่เกิดจาก surface plasmon resonance สั่นพ้อง เป็นการดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความถี่สั่นพ้องกันกับอิเล็กตรอนที่ผิวของวัสดุนาโน โดยที่ความยาวคลื่นแสงจะสัมพันธ์กับปริมาณและชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง ที่สามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าว เพื่อยืนยันการก่อตัวของซิลเวอร์อนุภาคขนาดนาโน ผลการทดสอบพบว่าสเปกตรัมของซิลเวอร์นาโนมีค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ 410 นาโนเมตร แสดงในภาพที่ 4.13 ซึ่งใกล้เคียงกับสเปกตรัมของสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่ได้จากเวย์โปรตีนและแทนนิน ที่มีค่าการดูดกลืนสูงสุดที่ 415 นาโนเมตร

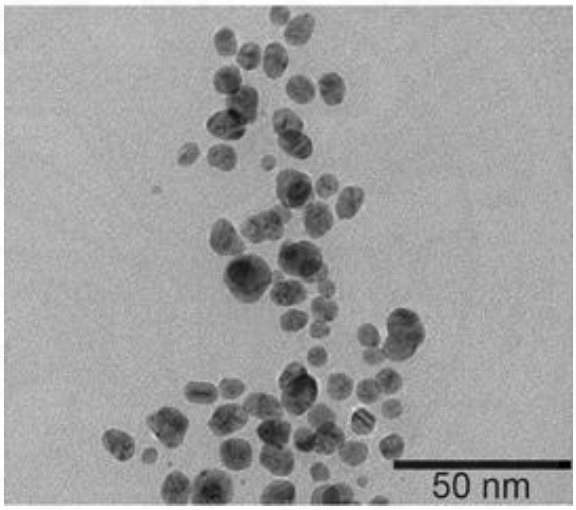


ภาพที่ 4.13 ค่าการดูดกลืนแสงของสารสารซิลเวอร์นาโนคอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองและ GA ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm

Ref. code: 25595809035537IPM

4.3.2 ผลการทดสอบวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน

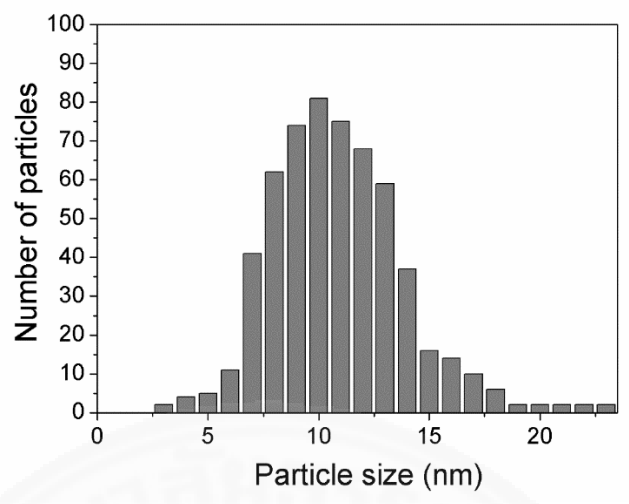
สารซิลเวอร์คอลลอยด์ที่สังเคราะห์ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองและกลูตาราลดีไฮด์ ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 และ 100 ppm นำมาทดสอบวัดขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคสารซิลเวอร์นาโน ด้วย Transmission Electron Microscope (TEM) ที่กำลังขยาย 80 kV และบันทึกภาพที่ 100 และ 200 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 4.14 โดยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้เกิดการกระจายตัวที่ดี สม่ำเสมอ มองเห็นอนุภาคของสารซิลล์เวอร์ได้อย่างชัดเจน มีอนุภาคเล็กใหญ่ปะปนกัน เฉลี่ยอยู่ที่ 11 นาโนเมตร และอนุภาคมีรูปร่างค่อนข้างกลม



ภาพที่ 4.14 ลักษณะอนุภาคและการกระจายตัวของสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองและ GA ที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 ppm และ 100 ppm

ทำการนับจำนวนและคำนวณขนาดอนุภาคด้วยโปรแกรม Image J โดยใช้ไม้บรรทัดวัดขนาดอนุภาคทุกอนุภาค จำนวน 570 อนุภาค แล้วสร้างกราฟและหาค่าเฉลี่ย ผลที่ได้มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยอยู่ที่ 11 นาโนเมตร แสดงดังภาพที่ 4.15

Ref. code: 25595809035537IPM



ภาพที่ 4.15 กราฟแสดงขนาดอนุภาคของซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้จากโปรตีนถั่วเหลืองและ GA

จากภาพที่ 4.15 กราฟแสดงให้เห็นถึงปริมาณและขนาดอนุภาคเฉลี่ยของสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้ด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและกลูตาราลดีไฮด์ โดยมีปริมาณอนุภาคเฉลี่ยมากที่สุดที่ 11 นาโนเมตร

4.4 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าเรยอนด้วยสารซิลเวอร์นาโน

นำผ้าเรยอนที่ผ่านการซักเพื่อทำความสะอาดสิ่งสกปรกออกแล้ว มาทำการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 และ 100 ppm ด้วยวิธีวิธีจุ่มบีบอัดและตากแห้ง แล้วนำไปทดสอบต่อไป

4.4.1 ผลการทดสอบความคงทนต่อการซัก

ทดสอบความคงทนต่อการซักล้างของสารซิลเวอร์นาโนที่ยึดติดบนผิวผ้าเรยอน ตามมาตรฐาน AATCC 61/2A โดยการซักล้างด้วยมาตรฐานนี้เทียบเท่ากับการซักล้างทั่วไป 5 ครั้ง (5 home launderings) แสดงดังตารางที่ 4.12

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.12 แสดงจำนวนรอบการซักล้างของผ้าเรยอน และสัญลักษณ์ชื่อตัวอย่าง

ชื่อตัวอย่าง	จำนวนรอบการซักตามมาตรฐาน	จำนวนรอบการซักทั่วไป	สัญลักษณ์
ผ้าเรยอนก่อนการตกแต่งสำเร็จ	ก่อนซัก	ก่อนซัก	RY-Blank
ผ้าเรยอนตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 ppm	ก่อนซัก	ก่อนซัก	RY50-0W
	2 รอบซัก	10 รอบซัก	RY50-10W
	4 รอบซัก	20 รอบซัก	RY50-20W
ผ้าเรยอนตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 100 ppm	ก่อนซัก	ก่อนซัก	RY100-0W
	2 รอบซัก	10 รอบซัก	RY100-10W
	4 รอบซัก	20 รอบซัก	RY100-20W

ภาพที่ 4.16 ภาพถ่ายแสดงสีของผ้าเรยอนก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ และเปรียบเทียบสีผ้าเรยอนหลังการซักล้างที่ 0, 10, และ 20 รอบซัก

Ref. code: 25595809035537IPM

จากภาพที่ 4.16 เป็นภาพถ่ายที่แสดงให้เห็นถึงสีของผ้าเรยอนก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ และเปรียบเทียบสีผ้าเรยอนหลังการซักล้างที่ 0, 10 และ 20 รอบซัก โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าผ้าเรยอนก่อนการตกแต่งสำเร็จ RY-Blank มีสีขาวสะอาด เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าเรยอนหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน RY50-0W จะไม่เห็นความแตกต่างของสีผ้ามากนัก แต่จะมีสีที่เข้มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากการติดสีของสารกลูตาราลดีไฮด์และสารซิลเวอร์นาโน แต่เมื่อเปรียบเทียบผ้าเรยอน RY100-0W กับผ้า RY-Blank จะสามารถมองเห็นความแตกต่างของสีผ้าได้อย่างชัดเจน โดยผ้า RY100-0W มีสีที่เข้มขึ้นออกโทนสีเหลือง เนื่องจากการติดสีของสารกลูตาราลดีไฮด์และสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ขึ้นมีความเข้มข้นสูง จึงส่งผลให้ผ้าเรยอนมีสีเข้มขึ้นเนื่องมาจากการติดของสารบนผ้า และเมื่อเปรียบเทียบสีผ้าเรยอนหลังซัก จะพบว่าสีผ้าเรยอนมีสีจางลงตามจำนวนรอบซักที่มากขึ้น

4.4.2 ผลการทดสอบความเพี้ยนสีของผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน

ผลการทดสอบเพื่อเปรียบเทียบความขาวและความเพี้ยนสีของผ้าเรยอนก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ ด้วยเครื่อง reflectance spectrophotometer โดยนำตัวอย่างผ้าเรยอนที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 และ 100 ppm และผ่านการซักล้างจำนวน 0, 10 และ 20 รอบ นำมาทดสอบวัดสี 3 ตำแหน่งแล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อวัดค่าความเพี้ยนสี พิจารณาจากค่า L*, a*, b* ที่วัดได้จากเครื่องวัดสี แสดงดังตารางที่ 4.13

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าความเพี้ยนสีของผ้าเรยอนก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ CIE Lab (L* a* b* color space)

Sample name	L*	a*	b*	K/S	ΔE*
RY-Blank	91.97	6.59	-21.85	0.51	-
RY50-0W	81.46	8.22	-7.90	0.79	17.54
RY50-10W	86.33	6.91	-11.60	0.60	11.70
RY50-20W	89.46	6.06	-15.79	0.53	6.58
RY100-0W	77.23	7.07	-3.56	0.94	23.50
RY100-10W	80.74	6.62	-8.02	0.74	17.82
RY100-20W	83.91	6.36	-10.98	0.64	13.53

จากตารางที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ความเพี้ยนสีของผ้าเรยอนก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ พบว่าผ้าเรยอนก่อนการตกแต่งสำเร็จ (RY-Blank) มีค่า L* สูงที่สุด เนื่องจากผ้าเรยอนไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนจึงมีค่าความสว่างสูงที่สุด เมื่อเทียบกับผ้าเรยอนหลังการตกแต่งสำเร็จ RY50-0W และ RY100-0W จะเห็นได้ชัดเจนว่ามีค่า L* เพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของสารที่ใช้ตกแต่งสำเร็จที่มากขึ้น เพราะผ้าเรยอนมีสีซีดลงเมื่อผ่านการซักที่ 10 และ 20 รอบ เนื่องจากการหลุดของสารซิลเวอร์นาโนระหว่างขั้นตอนการซักล้าง

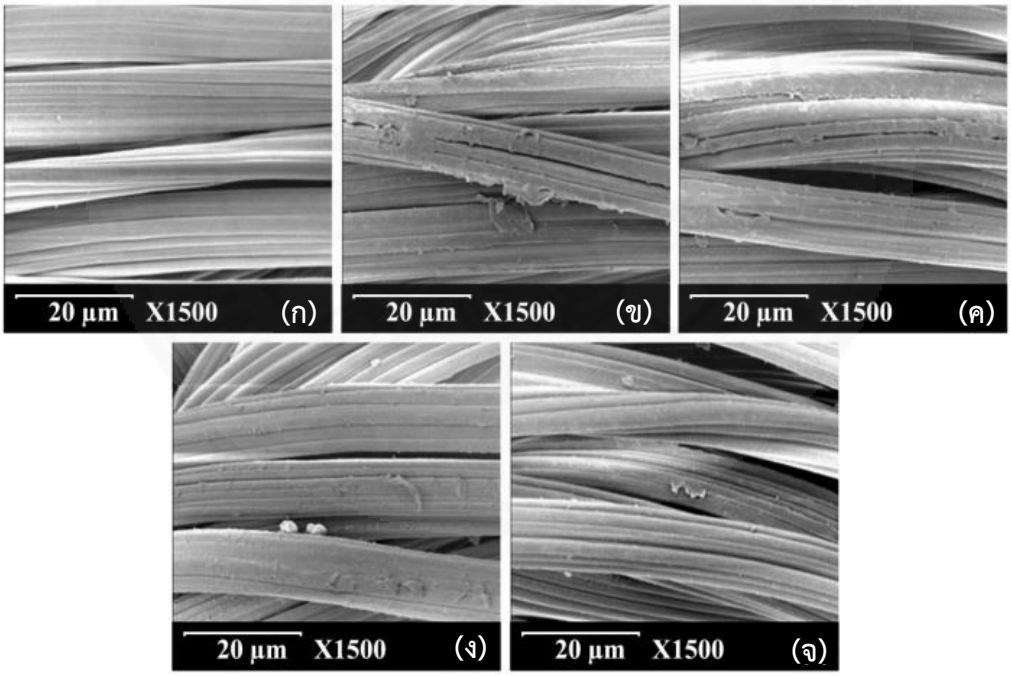
และพบว่าผ้าเรยอนหลังการตกแต่งสำเร็จที่ทุกความเข้มข้นมีค่า a* เพิ่มมากขึ้น คือมีค่าเป็นบวกมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าเรยอนก่อนการตกแต่งสำเร็จ ซึ่งหมายถึงผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนมีเฉดสีออกไปทางโทนสีแดงมากขึ้น แต่เมื่อผ่านการซักจำนวน 20 รอบพบว่าค่า a* น้อยลง คือผ้ามีสีโทนแดงน้อยลง เนื่องจากการหลุดของสารซิลเวอร์นาโนระหว่างการซัก ทำให้ผ้าเรยอนมีสีจางลง และพบว่าผ้าเรยอนก่อนการตกแต่งสำเร็จมีค่า b* เท่ากับ -21.85 คือมีสีขาวสว่าง (ค่า b* ติดลบเป็นสีโทนน้ำเงิน) แต่ผ้าเรยอนหลังการตกแต่งสำเร็จที่ทุกความเข้มข้นมีค่า b* เพิ่มมากขึ้น ซึ่งหมายถึงผ้าที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนมีเฉดสีออกไปทางโทนสีเหลืองมากขึ้น โดยถ้าตกแต่งสำเร็จผ้าเรยอนด้วยสารที่มีความเข้มข้นสูงๆจะทำให้ผ้ามีสีเข้มขึ้น ซึ่ง

Ref. code: 25595809035537IPM

สารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ขึ้นได้นี้จะทำให้ผ้ามีสีโทนน้ำตาล แต่อย่างไรก็ตาม ผ้าที่ตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้น 50 ppm ยังคงมีสีใกล้เคียงกับผ้าเรยอนก่อนการตกแต่งสำเร็จ อาจมีสีเข้มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานทั่วไป แต่ที่ความเข้มข้น 100 ppm จะมองเห็นสีผ้าเรยอนเป็นสีโทนน้ำตาล จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ตกแต่งสำเร็จบนผ้าขาว

4.4.3 ผลการวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ผลการทดสอบวิเคราะห์สัณฐานวิทยาของสารซิลเวอร์อนุภาคนาโนที่ยึดติดบนผิวผ้าเรยอน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชนิดฟิลด์อีมิชชั่นและอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ (FESEM-EDS) เพื่อวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของผ้าก่อนและหลังการตกแต่งสำเร็จ และลักษณะการติดของสารที่อยู่บนผ้าฝ้าย ที่กำลังขยาย 1500 เท่า แสดงดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 ผ้าเรยอนก่อนตกแต่งสำเร็จ RY-Blank (ก), และผ้าเรยอนหลังตกแต่งสำเร็จ RY50-0W (ข), RY100-0W (ค), RY50-20W (ง) และ RY100-20W (จ)

Ref. code: 25595809035537IPM

จากภาพที่ 4.17 ภาพ (ก) แสดงให้เห็นถึงลักษณะของผ้าเรยอนก่อนการตกแต่งสำเร็จ (RY-Blank) โดยมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับผ้าเรยอนที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน RY50-0W ภาพ (ข) และ RY100-0W ภาพ (ค) ปรากฏลักษณะของสารซิลเวอร์นาโนเคลือบอยู่บริเวณผิวเส้นใยค่อนข้างหนา มีความขรุขระ โดยการติดของสารบนผ้าเรยอนดังกล่าวเป็นการติดของสารโปรตีนถั่วเหลือง สารกลูตาราลดีไฮด์ และซิลเวอร์นาโน และเมื่อผ่านการซักถึง 20 รอบ ยังคงปรากฏลักษณะของสารเคลือบอยู่บริเวณผิวเส้นใย แต่น้อยกว่าผ้าเรยอนก่อนผ่านการซัก เนื่องจากการซักผ้า ทำให้สารที่เกาะอยู่บนผิวเส้นใยหลุดออกได้เนื่องมาจากการขัดถูระหว่างการซัก

4.4.4 ผลการทดสอบสมบัติการต้านแบคทีเรียของผ้าเรยอนที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนด้วยวิธีการวัดผลร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย

ผลการทดสอบความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียบนผ้าเรยอนที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 และ 100 ppm ด้วยวิธีวัดผลร้อยละการลดลงของจำนวนแบคทีเรียโคโลนี ตามมาตรฐาน AATCC 100-2004 ทดสอบด้วยเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกคือ คือ *S. aureus* และเชื้อแบคทีเรียแกรมลบ คือ *E. coli* โดยมีผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.14

Ref. code: 25595809035537IPM

ตารางที่ 4.14 ประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าเรยอนหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 50 และ 100 ppm ด้วยวิธีร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย

ร้อยละการลดลงของแบคทีเรีย (%reduction)		
ชื่อตัวอย่าง	*S. aureus*	*E. coli*
RY-Blank	0	0
RY50-0W	99.99	99.99
RY50-10W	99.99	99.99
RY50-20W	99.99	99.99
RY50-30W	99.99	99.99
RY50-50W	99.27	95.83
RY100-0W	99.99	99.99
RY100-10W	99.99	99.99
RY100-20W	99.99	99.99
RY100-30W	99.99	99.99
RY100-50W	99.54	98.64

จากผลการทดสอบดังตารางที่ 4.14 พบว่าประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าเรยอน RY-Blank มีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 0 นั่นหมายถึงไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* และ *E. coli* ได้ เนื่องจากผ้าเรยอนไม่ได้ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าเรยอนหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโน RY50-0W และ RY100-0W และหลังจากผ่านการซัก พบว่ามีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียสูงถึงร้อยละ 99.99 เนื่องจากสารซิลเวอร์ไนเตรตถูกรีดิวซ์ด้วยโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะด่างที่ pH 10 ทำให้มีอนุภาคเล็กมากขนาดนาโน ที่สามารถแทรกและกระจายตัวได้ทั่วผิวหน้าผ้าเรยอน ประกอบกับความสามารถในการยึดติดของสารซิลเวอร์นาโนกับผิวหน้าผ้าเรยอนที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นตัวช่วยยึดติดด้วยพันธะไฮโดรเจน อีกทั้งยังมีตัวช่วยให้โปรตีนถั่วเหลืองไม่ละลายน้ำคือสารกลูตาราลดีไฮด์ ที่ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวาง จึงทำให้ผ้าเรยอนที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนมีความคงทนต่อการซักและมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการ

Ref. code: 25595809035537IPM

เจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ดีมาก แต่ผ้าเรยอน RY50-50W พบว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.27 และ 95.83 ต่อเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* ตามลำดับ และผ้าเรยอน RY100-50W พบว่าร้อยละการลดลงของแบคทีเรียเท่ากับ 99.54 และ 98.64 ต่อเชื้อ *S. aureus* และ *E. coli* ตามลำดับ เนื่องจากการหลุดของสารซิลเวอร์นาโนระหว่างการซัก แต่ยังคงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ดี

Ref. code: 25595809035537IPM

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการวิจัยส่วนที่หนึ่งเป็นวิธีการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยเวย์โปรตีนและใช้สารสกัดแทนนินจากเปลือกตะบูนขาวเป็นสารเชื่อมขวาง แล้วทำการตกแต่งสำเร็จบนผ้าฝ้ายเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียและเชื้อรา ส่วนที่สองคือการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและใช้สารกลูตาราลดีไฮด์เป็นสารเชื่อมขวาง แล้วตกแต่งสำเร็จบนผ้าเรยอนเพื่อให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรีย โดยสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 ผลการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยเวย์โปรตีนและแทนนิน พบว่าสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้เกิดการกระจายตัวที่ดีบนผ้าฝ้าย มีอนุภาคเล็กใหญ่ปะปนกัน เฉลี่ยอยู่ที่ 31 นาโนเมตร และอนุภาคมีรูปร่างค่อนข้างกลม

5.1.2 ผลการสังเคราะห์สารซิลเวอร์นาโนด้วยโปรตีนถั่วเหลืองและกลูตาราลดีไฮด์ พบว่าสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์ได้เกิดการกระจายตัวที่ดีบนผ้าเรยอน มีอนุภาคเล็กใหญ่ปะปนกัน เฉลี่ยอยู่ที่ 11 นาโนเมตร และอนุภาคมีรูปร่างค่อนข้างกลม

5.1.3 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยวิธีจุ่มอัด พบว่าประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50-500 ppm สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียชนิด *S. aureus* และ *E. coli* ได้สูงถึงร้อยละ 99.00 ถึง 99.99 แสดงให้เห็นถึงความสามารถในการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียที่ดี ถึงแม้ว่าจะผ่านการซักสูงถึง 30 รอบ เนื่องจากสารซิลเวอร์ไนเตรตถูกรีดิวซ์และทำให้เกิดการกระจายตัวด้วยเวย์โปรตีนในสภาวะด่างที่ pH 10 ทำให้มีอนุภาคเล็กมากขนาดนาโน ที่สามารถแทรกและกระจายตัวได้ทั่วผิวหน้าผ้าฝ้าย ประกอบกับความสามารถในการยึดติดของสารซิลเวอร์นาโนกับผิวหน้าผ้าฝ้ายที่มีสารแทนนินและเวย์โปรตีนเป็นตัวช่วยยึดติดด้วยพันธะไฮโดรเจน และผลการทดสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา พบว่าผ้าฝ้ายที่ผ่านการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 500 ppm ที่ผ่านการซักจำนวน 0, 10, 20 และ 30 ครั้ง ไม่สามารถมองเห็นการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งหมายถึงผ้าฝ้ายมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อรา

Ref. code: 25595809035537IPM

5.1.4 ผลการตกแต่งสำเร็จผ้าเรยอนด้วยวิธีจุ่มอัด พบว่าผ้าเรยอนหลังการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่สังเคราะห์จากซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 50 และ 100 ppm หลังจากผ่านการซัก 0, 10, 20 และ 30 รอบ พบว่ามีร้อยละการลดลงของแบคทีเรียสูงถึงร้อยละ 99.99 เนื่องจากสารซิลเวอร์ไนเตรตถูกรีดิวซ์ด้วยโปรตีนถั่วเหลืองในสภาวะด่างที่ pH 10 ทำให้มีอนุภาคเล็กมากขนาดนาโน ที่สามารถแทรกและกระจายตัวได้ทั่วผิวหน้าผ้าเรยอน ประกอบกับความสามารถในการยึดติดของสารซิลเวอร์นาโนกับผิวหน้าผ้าเรยอนที่มีโปรตีนถั่วเหลืองเป็นตัวช่วยยึดติดด้วยพันธะไฮโดรเจน อีกทั้งยังมีตัวช่วยให้โปรตีนถั่วเหลืองไม่ละลายน้ำคือสารกลูตาราลดีไฮด์ ที่ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมขวาง จึงทำให้ผ้าเรยอนที่ตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนมีความคงทนต่อการซัก แต่หลังการซักที่ 50 รอบ พบว่าความสามารถในการต้านแบคทีเรียลดน้อยลง เนื่องจากการหลุดของสารซิลเวอร์นาโนระหว่างการซัก แต่ยังคงประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียที่ดี

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรทำการตกแต่งสำเร็จด้วยสารซิลเวอร์นาโนที่ความเข้มข้นของซิลเวอร์ไนเตรตเท่ากับ 100 ppm หรือต่ำกว่า เนื่องจากการตกแต่งสำเร็จที่ความเข้มข้น 500 ppm ขึ้นไป จะทำให้ผ้ามีสีเข้มขึ้นเป็นสีโทนน้ำตาล จึงส่งผลกระทบต่อการใช้งานทั่วไปบนผ้าขาว จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ตกแต่งสำเร็จบนผ้าขาว

Ref. code: 25595809035537IPM

รายการอ้างอิง

1. Kantartzi, S. K., & Stewart, J. M. GROWTH AND PRODUCTION OF COTTON.

2. *ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์*. สืบค้นจาก http://www.doa.go.th/fcrc/nsn/leaflet.html

3. Buschle-Diller, G., Zeronian, S. H., Pan, N., & Yoon, M. Y. (1994). Enzymatic hydrolysis of cotton, linen, ramie, and viscose rayon fabrics. *Textile Research Journal*, *64*(5), 270-279.

4. *การผลิตเส้นใยวิสโคสเรยอน*. สืบค้นจากhttp://www.thaitextile.org/index.php/blog/2016/10/cellulose4

5. Feng, Q. L., Wu, J., Chen, G. Q., Cui, F. Z., Kim, T. N., & Kim, J. O. (2000). A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus. *Journal of biomedical materials research*, *52*(4), 662-668.

6. Rai, M., Yadav, A., & Gade, A. (2009). Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. *Biotechnology advances*, *27*(1), 76-83.

7. Simončič, B., & Klemenčič, D. (2016). Preparation and performance of silver as an antimicrobial agent for textiles: A review. Textile Research Journal, 86(2), 210-223.

8. Morones, J. R., Elechiguerra, J. L., Camacho, A., Holt, K., Kouri, J. B., Ramírez, J. T., & Yacaman, M. J. (2005). The bactericidal effect of silver nanoparticles. *Nanotechnology*, *16*(10), 2346.

9. Alt, V., Bechert, T., Steinrücke, P., Wagener, M., Seidel, P., Dingeldein, E., ... & Schnettler, R. (2004). An in vitro assessment of the antibacterial properties and cytotoxicity of nanoparticulate silver bone cement. *Biomaterials*, *25*(18), 4383-4391.

10. OpenStax College. Proteins. Connexions module:m44402, 2013.

11. Walsh, G. (2002). *Proteins: biochemistry and biotechnology*. John Wiley & Sons.

12. Hu, M., McClements, D. J., & Decker, E. A. (2003). Lipid oxidation in corn oil-in-water emulsions stabilized by casein, whey protein isolate, and soy protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *51*(6), 1696-1700.

Ref. code: 25595809035537IPM

13. Wang, Y. (2006). *Adhesive performance of soy protein isolate enhanced by chemical modification and physical treatment*. ProQuest.

14. Endres, J. G. (2001). *Soy protein products: characteristics, nutritional aspects, and utilization*. The American Oil Chemists Society.

15. Pisitsak, P., Hutakamol, J., Thongcharoen, R., Phokaew, P., Kanjanawan, K., & Saksaeng, N. (2016). Improving the dyeability of cotton with tannin-rich natural dye through pretreatment with whey protein isolate. *Industrial Crops and Products*, *79*, 47-56.

16. อัญชลี มุลาสะเก, อภิญญา อุทธา, สายันต์ แสงสุวรรณ, & ชัยวุฒิ วัดจัง. (2014). ผลของกลูต้าอัลดีไฮด์ต่อสมบัติการดูดซึมน้ำของไฮโดรเจลเชื่อมขวางแบบโครงร่างตาข่ายของน้ำยางพรีวัลคาไนซ์ด้วยกำมะถัน และแป้งมันสำปะหลัง. *วารสารมหาวิทยาลัยทักษิณ (Thaksin University Journal)*, *17*(3), 22-28.

17. Migneault, I., Dartiguenave, C., Bertrand, M. J., & Waldron, K. C. (2004). Glutaraldehyde: behavior in aqueous solution, reaction with proteins, and application to enzyme crosslinking. *Biotechniques*, *37*(5), 790-806.

18. อภิชาติ สนธิสมบัติ. (2545). กระบวนการทางเคมีสิ่งทอ,ปทุมธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล

19. Tarimala, S., Kothari, N., Abidi, N., Hequet, E., Fralick, J., & Dai, L. L. (2006). New approach to antibacterial treatment of cotton fabric with silver nanoparticle–doped silica using sol–gel process. *Journal of Applied Polymer Science*, *101*(5), 2938-2943.

20. El-Shishtawy, R. M., Asiri, A. M., Abdelwahed, N. A., & Al-Otaibi, M. M. (2011). In situ production of silver nanoparticle on cotton fabric and its antimicrobial evaluation. *Cellulose*, *18*(1), 75-82.

21. Ravindra, S., Mohan, Y. M., Reddy, N. N., & Raju, K. M. (2010). Fabrication of antibacterial cotton fibres loaded with silver nanoparticles via “Green Approach”. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, *367*(1), 31-40.

22. Hebeish, A., El-Naggar, M. E., Fouda, M. M., Ramadan, M. A., Al-Deyab, S. S., & El-Rafie, M. H. (2011). Highly effective antibacterial textiles containing green synthesized silver nanoparticles. *Carbohydrate Polymers*, *86*(2), 936-940.

Ref. code: 25595809035537IPM

23. Sarkar, J., Chattopadhyay, D., Patra, S., Singh Deo, S., Sinha, S., Ghosh, M., ... & Acharya, K. (2011). ALTERNARIA ALTERNATA MEDIATED SYNTHESIS OF PROTEIN CAPPED SILVER NANOPARTICLES AND THEIR GENOTOXIC ACTIVITY. *Digest Journal of Nanomaterials & Biostructures (DJNB)*, *6*(2).

24. ญาณิศา โกมลสิริโชค. (2556). ผลของการพัฒนาผ้าฝ้ายทอมือที่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย: วารสารการพัฒนาชุมชนและคุณภาพชีวิต 1(1): 23-29

25. Alt, V., Bechert, T., Steinrücke, P., Wagener, M., Seidel, P., Dingeldein, E.,& Schnettler, R. (2004). An in vitro assessment of the antibacterial properties and cytotoxicity of nanoparticulate silver bone cement. Biomaterials, 25(18), 4383-4391.

26. Bajpai D. and Vankar P. S., Antifungal textile dyeing withmahonia napaulensis dc leaves extract based on its antifungal activity. Fibers and Polymers, 8: 487 (2007).

27. El-Rafie, M. H., Mohamed, A. A., Shaheen, T. I., & Hebeish, A. (2010). Antimicrobial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on cotton fabrics. Carbohydrate Polymers, 80(3), 779-782.

28. El-Shishtawy, R. M., Asiri, A. M., Abdelwahed, N. A., & Al-Otaibi, M. M. (2011). In situ production of silver nanoparticle on cotton fabric and its antimicrobial evaluation. Cellulose, 18(1), 75-82.

29. Endres J. G., Soy protein products: characteristics, nutritional aspects, and utilization. The American Oil Chemists Society, (2001).

30. Gallardo, O. A. D., Moiraghi, R., Macchione, M. A., Godoy, J. A., Pérez, M. A., Coronado, E. A., & Macagno, V. A. (2012). Silver oxide particles/silver nanoparticles interconversion: susceptibility of forward/backward reactions to the chemical environment at room temperature. RSC Advances, 2(7), 2923-2929.

31. Hebeish, A., El-Naggar, M. E., Fouda, M. M., Ramadan, M. A., Al-Deyab, S. S., & El-Rafie, M. H. (2011). Highly effective antibacterial textiles containing green synthesized silver nanoparticles. Carbohydrate Polymers, 86(2), 936-940.

32. Hipler U. C. and Elsner P., Biofunctional textiles and the skin. Karger Medical and Scientific Publishers, 2006.

Ref. code: 25595809035537IPM

33. Ilić V., Šaponjić Z., Vodnik V., et al., The influence of silver content on antimicrobial activity and color of cotton fabrics functionalized with Ag nanoparticles. Carbohydrate Polymers, 78: 564-569 (2009).

34. Kantartzi, S. K., & Stewart, J. M. GROWTH AND PRODUCTION OF COTTON.

35. Khalil K. A., Fouad H., Elsarnagawy T., et al., Preparation and characterization of electrospun PLGA/silver composite nanofibers for biomedical applications. Int J Electrochem Sci, 8: 3483-3493 (2013).

36. Li Z., Liu X., Zhuang X., et al., Manufacture and properties of chitosan/N, O - carboxymethylated chitosan/viscose rayon antibacterial fibers. Journal of applied polymer science, 84: 2049-2059 (2002).

37. Maris P., Modes of action of disinfectants. Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics) 14: 47-55, (1995)

38. Schindler, W. D., & Hauser, P. J. (2004). Chemical finishing of textiles. Elsevier.

39. Sewing and craft alliance. (2008). Cotton the most popular fabric in the world. 4.105, 1-2.

40. Sondi I. and Salopek-Sondi B., Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria. Journal of colloid and interface science, 275: 177-182, (2004).

41. Su W., Wei S. S., Hu S. Q., et al., Antimicrobial finishing of cotton textile with nanosized silver colloids synthesized using polyethylene glycol. The Journal of The Textile Institute, 102: 150-156 (2011).

42. Takahashi T., Shoji Y., Inoue O., et al., Antibacterial properties of rayon fibers containing titanium oxide photocatalyst. Biocontrol Science, 9: 5160 (2004).

43. Teli M. and Sheikh J., Antibacterial and acid and cationic dyeable bamboo cellulose (rayon) fabric on grafting. Carbohydrate polymers, 88: 1281-1287 (2012).

Ref. code: 25595809035537IPM

44. Teli M. and Sheikh J., Extraction of chitosan from shrimp shells waste and application in antibacterial finishing of bamboo rayon. International journal of biological macromolecules, 50: 1195-1200 (2012).

45. Teli M. and Sheikh J., Nanosilver containing grafted bamboo rayon as antibacterial material. Fibers and Polymers, 13: 1280-1285 (2012).

46. Teli M. and Sheikh J., Modified bamboo rayon– copper nanoparticle composites as antibacterial textiles. International journal of biological macromolecules, 61: 302-307 (2013).

47. Teli M. and Sheikh J., Study of grafted silver nanoparticle containing durable antibacterial bamboo rayon. Cell Chem Technol, 47: 69-75 (2013).

48. Walsh, G. (2002). Proteins: biochemistry and biotechnology. John Wiley & Sons.

49. Walters, A., Santillo, D., & Johnston, P. (2005). An overview of textiles processing and related environmental concerns. Greenpeace Research Laboratories, Department of Biological Sciences, University of Exeter, UK.

50. Wang Y., Adhesive performance of soy protein isolate enhanced by chemical modification and physical treatment. ProQuest, (2006).

51. Zhao S., Yao J., Fei X., et al., An antimicrobial film by embedding in situ synthesized silver nanoparticles in soy protein isolate. Materials Letters, 95: 142-144 (2013).

52. Zhou Q., Lv J., Ren Y., et al., A green in situ synthesis of silver nanoparticles on cotton fabrics using Aloe vera leaf extraction for durable ultraviolet protection and antibacterial activity. Textile Research Journal, 0040517516671124 (2016).

Ref. code: 25595809035537IPM

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นางสาวสุดารัตน์ ศรีโสด
วันเดือนปีเกิด	14 กันยายน พ.ศ. 2534
ทุนการศึกษา	2558: ทุนบัณฑิตเรียนดีเพื่อศึกษาต่อระดับบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2558

ผลงานทางวิชาการ

P-BG-1 7 : Facile Fabrication of Cellulosic Textiles with Durable Antibacterial Properties Using Soy Protein Isolate and Silver Nanoparticles [Full Paper]

Sudarat Srisod, Kanjana Motina, Thitirat Inprasit, and Penwisa Pisitsak

The 23rd PPC Symposium on Petroleum, Petrochemicals, and Polymers and The 8th Research Symposium on Petrochemical and Materials Technology Tuesday May 23, 2017, Pathumwan Princess Hotel, Bangkok, Thailand

ประสบการณ์ทำงาน	2557-2558: ตำแหน่งสั่งและควบคุมการผลิต บริษัทอุตสาหกรรมไหมไทย จำกัด (Jim Thompson)

Ref. code: 25595809035537IPM