

สมบัติด้านแบคทีเรียและการแข็งตัวของเลือดของผ้าฝ้ายกอชคาร์บอกซีเมทิลเลต  
เคลือบด้วยซิลเวอร์

นางสาววรรณพร พินดวง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์  
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2556

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)  
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)  
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ANTIBACTERIAL AND HEMOSTATIC PROPERTIES OF SILVER-COATED  
CARBOXYMETHYLATED COTTON GAUZE

Miss Wannaporn Pinduang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Applied Polymer Science and Textile Technology

Department of Materials Science

Faculty of Science

Chulalongkorn University

Academic Year 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

สมบัติด้านแบคทีเรียและการแข็งตัวของเลือดของ  
ผ้าฝ้ายกอชคาร์บอกซีเมทิลเลตเคลือบด้วยซิลเวอร์

โดย

นางสาววรรณพร พินดวง

สาขาวิชา

วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ หารหนองบัว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิระธรรมนุกุล)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย  
(ดร.วนิดา จันทร์วิกุล)

วรรณพร พินดวง : สมบัติด้านแบคทีเรียและการแข็งตัวของเลือดของผ้าฝ้ายกอสคาร์บอกซีเมทิลเลตเคลือบด้วยซิลเวอร์. (ANTIBACTERIAL AND HEMOSTATIC PROPERTIES OF SILVER-COATED CARBOXYMETHYLATED COTTON GAUZE).  
 อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์, 125 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ทำการตัดแปรรูปผ้าฝ้ายกอสด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่ต่างๆกัน หลังจากนั้นนำมาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ และทำการอบแห้งด้วยการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงที่แตกต่างกัน หลังจากนั้นนำผ้าที่ผ่านการเคลือบมาศึกษาการต้านแบคทีเรีย การแข็งตัวของเลือด และศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางด้านความต้านทานต่อแรงดันทะลุ การดูดซับน้ำเกลือ และความขาวจากผลการต้านเชื้อแบคทีเรีย ผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสที่ตัดแปรรูปด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่ต่างๆกันที่ยังไม่ได้เคลือบด้วยสารซิลเวอร์ ไม่แสดงผลการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดคือ *E. coli* และ *S. aureus* แต่เมื่อทำการเคลือบสารซิลเวอร์ลงบนทั้งผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสตัดแปรรูปทั้งที่ฉายแสงและไม่ฉายแสงยูวีแสดงสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งสองได้เป็นอย่างดี ส่วนผลของการแข็งตัวของเลือด ผ้าฝ้ายกอสที่ตัดแปรรูปด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่ต่างๆกัน พบว่าผ้าฝ้ายกอสตัดแปรรูปที่มีระดับการแทนที่สูงขึ้นให้ผลการแข็งตัวของเลือดเร็วขึ้น และเร็วกว่าของผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ตัดแปรรูป แต่เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสตัดแปรรูปที่ระดับการแทนที่ต่างๆมาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์และฉายแสงยูวีที่ระดับความเข้มแสงต่างกัน พบว่าการฉายแสงยูวีที่ระดับความเข้มแสงที่ 300 และ 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ให้ผลการแข็งตัวของเลือดเร็วขึ้น แต่เมื่อฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร การแข็งตัวของเลือดช้าลง สำหรับผลของความต้านทานต่อแรงดันทะลุสรุปได้ว่าผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการตัดแปรรูปมีค่าความต้านทานต่อแรงดันทะลุมากกว่าผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ตัดแปรรูป ทั้งนี้เพราะเกิดจากการหดตัวของผ้าฝ้ายกอสในขั้นตอนการตัดแปรรูป และเมื่อนำผ้าฝ้ายกอสที่ตัดแปรรูปมาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์และผ่านการฉายแสงยูวี มีผลทำให้ความต้านทานต่อแรงดันทะลุดีขึ้นไปอีก ส่วนผลของการดูดซับน้ำเกลือ ผ้าฝ้ายกอสตัดแปรรูปที่ระดับการแทนที่สูงขึ้น ให้ผลการดูดซับน้ำเกลือที่ดีขึ้น แต่เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสตัดแปรรูปมาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ ผลการดูดซับน้ำเกลือลดลงเล็กน้อย ส่วนผลของค่าดัชนีความขาว ผ้าฝ้ายกอสตัดแปรรูปที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์มีค่าดัชนีความขาวน้อยกว่าผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ตัดแปรรูป เมื่อฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้น ค่าดัชนีความขาวยิ่งลดต่ำลง

ภาควิชา วัสดุศาสตร์.....ลายมือชื่อ.....

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ.....ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา.....2556.....

# # 5472088923 : MAJOR APPLIED POLYMER SCIENCE AND TEXTILE TECHNOLOGY

KEYWORDS : COTTON GAUZE / ANTIBACTERIAL / CARBOXYMETHYLATION / SILVER /  
BLOOD CLOT

WANNAPORN PINDUANG : ANTIBACTERIAL AND HEMOSTATIC PROPERTIES OF  
SILVER-COATED CARBOXYMETHYLATED COTTON GAUZE.

ADVISOR : ASST.PROF. SIRIWAN KITTINAOVARAT, Ph.D., 125 pp.

This research was to modify cotton gauze by carboxymethylation to obtain the different degrees of substitution (DS), and then the modified cotton gauze was treated with silver agent and dried under UV irradiation at different intensities. After that, antibacterial activity, blood clotting and physical properties, e.g. bursting strength, saline absorption and whiteness, of all the modified and/or treated cotton gauzes were examined. For antibacterial results, cotton gauze and the modified cotton gauze by carboxymethylation with different DS values without treating with silver agent did not show any antibacterial activity against *S. aureus* and *E. coli*. In contrast, when the cotton gauze and the modified cotton gauze with different DS values were treated with silver agent and then exposed or not exposed to UV irradiation, they all showed good antibacterial activity. For the hemostatic or blood clotting results, carboxymethylated cotton gauze with a higher DS value showed faster blood clotting, compared to the unmodified cotton gauze. The carboxymethylated cotton gauze treated with silver agent and dried under UV irradiation at intensity either 300 or 500 mJ/cm<sup>2</sup> showed much faster blood clotting than the untreated carboxymethylated cotton gauzes. But the silver treated carboxymethylated cotton gauze exposed to UV at intensity of 700 mJ/cm<sup>2</sup> showed slower blood clotting rate than those exposed to lower intensity UV irradiation. For the bursting strength result, it could be concluded that the carboxymethylated cotton gauzes with different DS valued showed higher bursting strength than the unmodified cotton gauze. This was due to the shrinkage of the cotton gauze during the modification. For saline absorption, the carboxymethylated cotton gauze with different DS values showed better saline absorption than the unmodified cotton gauze. For the whiteness result, the unmodified cotton gauze had the highest whiteness index compared with the carboxymethylated cotton gauze and silver treated carboxymethylated cotton gauze.

Department : Materials Science..... Student's Signature.....

Field of Study : Applied Polymer Science and Textile Technology.... Advisor's Signature.....

Academic Year : 2013.....

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยและวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รับความรู้ คำแนะนำ แนวทางในการแก้ปัญหา ประสบการณ์การทำงาน แนวทางในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ และความดูแลเอาใจใส่ จากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษา แสงวัฒนาโรจน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทนา จิรธรรมนุกุล และ ดร.วนิดา จันทรวีภูล (กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิจากศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)) ที่สละเวลาสำหรับการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำ แนวคิดซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำ วิทยานิพนธ์ฉบับสมบูรณ์ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรู้ คำสั่งสอนแก่ผู้วิจัยตลอดมา

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณหน่วยงานต่างๆ และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์สารเคมีและเครื่องมือในการทำวิจัย ดังนี้

1) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับการสนับสนุนทุนอุดหนุน วิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ในการทำงานวิจัย

2) ดร.วนิดา จันทรวีภูล นางสาวปวีณา อุปันันต์ และนางสาววาสนา โคสอน ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือในการทดสอบการแข็งตัวของเลือด นางพิมพ์ใจ อนุวงศ์นวัฒน์ นายชวลิต ชาญฉลาด นายเอกอาทิตย์ บุญประเสริฐโพธิ์ และนางสาวณัฐธิดา ขำจิตร อาสาสมัครบริจาคโลหิต ผู้เสียสละโลหิตเพื่อใช้ในการทดสอบการแข็งตัวของเลือด

3) ภาควิชาคหกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒประสานมิตร ให้ความอนุเคราะห์เครื่องทดสอบความแข็งแรงต่อแรงดันทะลุ

4) ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยและเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือ ให้การสนับสนุนเครื่องมือ สารเคมีและสถานที่ในการทำงานวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆ รุ่นพี่ รุ่นน้องสำหรับความช่วยเหลือทั้งแรงกายแรงใจ สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่เฝ้าก้ำใจและสนับสนุนข้าพเจ้าตลอดมา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บาดแผล.....	4
2.2 การห้ามเลือด (hemostasis).....	5
2.2.1 การเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด (platelet plug).....	6
2.2.2 การสร้างลิ่มเลือด (Blood clot formation).....	7
2.3 วัสดุปิดแผล.....	8
2.3.1 คุณสมบัติของวัสดุปิดแผลที่ดี.....	9
2.3.2 วัสดุปิดแผลชนิดต่างๆ.....	9
2.4 ผ้ากอซ.....	11
2.5 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose).....	14
2.6 จุลินทรีย์ (microbial).....	15
2.6.1 แบคทีเรียแกรมลบ (Gram-negative).....	15
2.6.2 แบคทีเรียแกรมบวก (Gram-positive).....	17
2.7 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial agent).....	19





3.4.7 วัดความเข้มของสีผ้า และความขาวด้วยเครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer.....	39
3.4.8 วัดค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว.....	39
3.4.9 ทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะลุ.....	40
3.1.10 ทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรีย.....	41
3.1.11 ทดสอบสมบัติทางด้านการแข็งตัวของเลือด (whole blood clotting time) ด้วยวิธี Lee and White.....	42
บทที่ 4 ผลและการอภิปรายผล.....	46
4.1 ผลระดับการแทนที่ของผ้าฝ้ายกอมที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน โดยวิธีการดูดซับที่ความเข้มข้นกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่แตกต่างกัน.....	46
4.2 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอมทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน.....	48
4.2.1 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอมที่ไม่ผ่านการดัดแปร.....	49
4.2.2 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอมดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128.....	50
4.2.3 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอมดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385.....	51
4.2.4 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอมดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843.....	53
4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology).....	54
4.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือ (saline absorption).....	59
4.5 ดัชนีความขาว (whiteness index).....	62
4.6 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength).....	64
4.7 ความสามารถในการต้านแบคทีเรีย (antibacterial activity).....	66

	หน้า
4.8 สมบัติทางด้านการแข็งตัวของเลือด (whole blood clotting time).....	72
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	75
รายการอ้างอิง.....	79
ภาคผนวก.....	85
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	125

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ปัจจัยการแข็งตัวของเลือด.....	8
ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย.....	12
ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย.....	13
ตารางที่ 4.1 สภาวะของตัวแปรที่มีผลต่อระดับการแทนที่และลักษณะทางกายภาพ ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันด้วยวิธีการดูดซับที่ ความเข้มข้นกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่แตกต่างกัน.....	48
ตารางที่ 4.2 งานเพาะเชื้อเอสเซอร์เรีย โคโคไลของผ้าฝ้ายกอชและผ้าฝ้ายกอชดัดแปร ที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสาร ซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน.....	67
ตารางที่ 4.3 งานเพาะเชื้อสแตฟฟีโลค็อกคัส ออเรียสของผ้าฝ้ายกอชและผ้าฝ้ายกอช ดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบ ด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน.....	68
ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการต้านเชื้อเอสเซอร์เรีย โคโคไล ของผ้าฝ้ายกอชและ ผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและ ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ ความเข้มแสงแตกต่างกัน.....	70
ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการต้านเชื้อสแตฟฟีโลค็อกคัส ออเรียส ของผ้าฝ้ายกอช และผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่าน การเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง แตกต่างกัน.....	71

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะหลอดเลือดที่มีการหดตัว.....	5
รูปที่ 2.2 การเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด.....	6
รูปที่ 2.3 การสร้างลิ่มเลือด.....	7
รูปที่ 2.4 กลไกการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส.....	14
รูปที่ 2.5 ลักษณะเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล.....	16
รูปที่ 2.6 ลักษณะเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส.....	18
รูปที่ 2.7 กลไกในการต้านแบคทีเรียของซิลเวอร์.....	24
รูปที่ 3.1 เครื่องบีบอัด (Padder).....	32
รูปที่ 3.2 เครื่องบ่มสารเคลือบผิวแสงยูวี รุ่น UVTEC12.....	33
รูปที่ 3.3 จานวัดค่าพลังงานความเข้มแสงยูวี.....	33
รูปที่ 3.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Nicolet 6700.....	34
รูปที่ 3.5 การสะท้อนของลำแสงอินฟราเรดในเทคนิค ATR.....	34
รูปที่ 3.6 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ รุ่น D8 Advanced.....	36
รูปที่ 3.7 ตัวจับ (holder).....	36
รูปที่ 3.8 แผนผังหลักการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์.....	36
รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM-6400.....	37
รูปที่ 3.10 แผนผังหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	38
รูปที่ 3.11 เครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer รุ่น Macbeth Color Eye 7000.....	39
รูปที่ 3.12 ลักษณะแผ่นไดอะแฟรม.....	40
รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะเล รุ่น CY-6103A1.....	40
รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการแข็งตัวของเลือด.....	42
รูปที่ 3.15 ลักษณะการเจาะเลือดเข้ากระบอกฉีด.....	43
รูปที่ 3.16 ฉีดเลือดในกระบอกฉีดที่ 2 แบ่งใส่ลงในหลอดทดลอง.....	43

	หน้า
รูปที่ 3.17 ลักษณะการเอียงหลอดเลือด 90 องศา กับแกนวาย (y).....	44
รูปที่ 3.18 ลักษณะเลือดในหลอดที่ 3 ที่แข็งตัวสมบูรณ์.....	44
รูปที่ 3.19 ลักษณะเลือดในหลอดที่ 2 ที่แข็งตัวสมบูรณ์.....	44
รูปที่ 3.20 ลักษณะเลือดในหลอดที่ 1 ที่แข็งตัวสมบูรณ์.....	45
รูปที่ 4.1 กราฟ ATR-FTIR ของผ้าฝ้ายกอชที่ไม่ดัดแปรและผ้าฝ้ายกอชที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ความเข้มข้นของกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่แตกต่างกัน.....	47
รูปที่ 4.2 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชและผ้าฝ้ายกอชที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์ที่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวี.....	50
รูปที่ 4.3 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128.....	51
รูปที่ 4.4 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385.....	52
รูปที่ 4.5 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843.....	54
รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอช (ก) ผ้าฝ้ายกอชเคลือบสารซิลเวอร์ที่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (ข) และผ้าฝ้ายกอชเคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300(ค) 500(ง) และ 700(จ) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากกราววิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM.....	55
รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 (ก) ผ้าฝ้ายกอชดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (ข) และผ้าฝ้ายกอชดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 (ค) 500(ง) และ 700(จ) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากกราววิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM.....	56

รูปที่ 4.8	สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 (ก) ผ้าฝ้ายกอตดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (ข) และผ้าฝ้ายกอตดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 (ค) 500(ง) และ 700(จ) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM.....	57
รูปที่ 4.9	สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 (ก) ผ้าฝ้ายกอตดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (ข) และผ้าฝ้ายกอตดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 (ค) 500(ง) และ 700(จ) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM.....	58
รูปที่ 4.10	ความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือของผ้าฝ้ายกอตและผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน.....	60
รูปที่ 4.11	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน.....	60
รูปที่ 4.12	ความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือของผ้าฝ้ายกอตและผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน.....	62
รูปที่ 4.13	ค่าดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายกอตและผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน.....	64
รูปที่ 4.14	ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าฝ้ายกอตและผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน.....	65
รูปที่ 4.15	ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าฝ้ายกอตและผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน.....	66
รูปที่ 4.16	ความสามารถในการแข็งตัวของเลือดของผ้าฝ้ายกอตที่ใช้ในการวิจัย ผ้าฝ้ายกอต A ผ้าฝ้ายกอต B และผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน.....	73

รูปที่ 4.17 ความสามารถในการแข็งตัวของเลือดของผ้าฝ้ายกอตตัดแปรที่ระดับการแทนที่ เท่ากับ 0.128 และ 0.385 ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการ ฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน.....	74
--	----

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

ผ้าฝ้ายกอกซเป็นวัสดุที่ใช้ในการปฐมพยาบาลเบื้องต้นที่นำมาปิดบาดแผลเพื่อป้องกันบาดแผลจากสิ่งสกปรกจากภายนอกและช่วยในการดูดซับของเหลวที่ไหลออกจากบาดแผล การพัฒนาผ้าฝ้ายกอกซให้มีสมบัติหลากหลายมากขึ้น เช่น มีสมบัติในการต้านแบคทีเรียและสมบัติช่วยในการแข็งตัวของเลือด เป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้กับผ้าฝ้ายกอกซและสามารถนำไปใช้งานได้หลากหลายมากยิ่งขึ้น และพบว่าวัสดุที่นิยมนำมาช่วยในการแข็งตัวของเลือด เช่น ซีโอไลต์ อัลจิเนต คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส และคาร์บอกซีเมทิลไคโตซาน ส่วนสารที่นิยมนำมาใช้เป็นสารต้านแบคทีเรีย เช่น ไทเทเนียมไดออกไซด์ ซิลเวอร์ ไคโตซาน และไตรโคซาน เป็นต้น เพราะฉะนั้นการนำเอาแนวความคิดการใช้งานของสารในแต่ละกลุ่มมารวมเข้าด้วยกันทั้งด้านการแข็งตัวของเลือดและการต้านแบคทีเรียมาไว้ที่ผ้าฝ้ายกอกซก็จะเป็นการพัฒนาผ้าฝ้ายกอกซให้มีประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้น

สารซิลเวอร์นั้นเป็นสารที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อจุลินทรีย์ได้หลากหลายชนิด สารประกอบซิลเวอร์เป็นที่ยอมรับตั้งแต่อดีตเพราะมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อมากกว่า 650 ชนิด โดยเฉพาะสารซิลเวอร์ในเทรตที่ความเข้มข้นไม่เกิน 0.5% นิยมนำมาใช้เป็นสารฆ่าเชื้อโรคให้บาดแผลตามโรงพยาบาล ซึ่งกลไกในการต้านแบคทีเรียของซิลเวอร์มี 3 ขั้นตอน [1] คือซิลเวอร์ไอออนเข้าไปบล็อกเอนไซม์ที่ช่วยในการถ่ายโอนออกซิเจนของแบคทีเรีย ซิลเวอร์ไอออนจับตัวกับอะตอมของซัลเฟอร์บริเวณหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ในเอนไซม์โปรตีนเอส (proteinase) ที่ทำหน้าที่เกี่ยวกับเมตาบอลิซึม ทำให้กระบวนการทำงานของเอนไซม์หยุดการทำงาน และซิลเวอร์ไอออนเข้าไปปิดกั้นเซลล์เมมเบรนของแบคทีเรีย นอกจากนี้ซิลเวอร์จะมีสมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์แล้ว ยังพบว่านาโนซิลเวอร์สามารถช่วยกระตุ้นการรักษาบาดแผลและลดการเกิดแผลเป็นได้ การเติมอนุภาคซิลเวอร์ลงบนผ้าฝ้ายกอกซเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของผ้าฝ้ายกอกซเป็นที่น่าสนใจ ซึ่งวิธีการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ลงบนผ้าโดยตรงนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น กระบวนการรีดักชันทางชีวภาพ (Bioreduction)



กระบวนการรีดักชันทางเคมี (Chemical reduction) หรือการฉายแสงยูวี เป็นต้น การปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์ โดยใช้หลักการเปลี่ยนรูปทางเคมีโดยแสง (photochemical transformation) เปลี่ยนจากซิลเวอร์ไอออนเป็นอนุภาคซิลเวอร์ภายใต้การฉายแสงยูวี ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องโดยปราศจากมลพิษจากสารเคมี เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้สารรีดิวซ์

ดังนั้นแนวทางในงานวิจัยนี้จึงนำมาสู่ความสนใจที่จะปรับปรุงผ้าฝ้ายกอกช ด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันแล้วตามด้วยการตกแต่งด้วยสารซิลเวอร์ในเทอร์ต แล้วทำการเปลี่ยนซิลเวอร์ไอออนบนผ้าฝ้ายกอกชให้เป็นอนุภาคซิลเวอร์ด้วยแสงยูวี หลังจากนั้นทำการศึกษาสมบัติการแข็งตัวของเลือดและการต้านแบคทีเรียซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญในการนำผ้าฝ้ายกอกชไปใช้เป็นวัสดุปิดแผลเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอกชที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์ และสมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ การดูดซับน้ำเกลือ และความขาว

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาผลของระดับการแทนที่ที่แตกต่างกันของผ้าฝ้ายกอกชที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันต่อการยึดเกาะของซิลเวอร์ไอออน
- 2) ศึกษาผลกระทบของความเข้มแสงยูวีต่ออนุภาคซิลเวอร์บนผ้าฝ้ายกอกชที่ได้ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน
- 3) ศึกษาสมบัติด้านการแข็งตัวของเลือด การต้านแบคทีเรีย ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ การดูดซับน้ำเกลือ และความขาวของผ้าฝ้ายกอกชที่ไม่ผ่านการดัดแปรและผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์

### 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ทำการตัดแปรรูปเฉพาะผ้าฝ้ายกอมที่นำไปใช้เป็นผ้าพันแผล
- 2) การตัดแปรรูปด้วยกระบวนการคาร์บอกซีเมทิลเลชันบนผ้าฝ้ายกอมด้วยวิธีการดูดซับ
- 3) การเปลี่ยนแปลงซิลเวอร์ไอออนเป็นอนุภาคซิลเวอร์จะใช้กระบวนการทางเคมีโดยแสง
- 4) ศึกษาสมบัติด้านการแข็งตัวของเลือด การต้านทานเชื้อแบคทีเรีย ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ การดูดซับน้ำเกลือ และความขาว

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ได้ผ้าฝ้ายกอมปิดแผลที่มีสมบัติช่วยต้านแบคทีเรีย และเพิ่มอัตราเร็วในการแข็งตัวของเลือด

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บาดแผล

ในชีวิตประจำวันมีกิจกรรมต่างๆมากมาย ซึ่งอาจเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้แล้วเกิดเป็นบาดแผล ทั้งบาดแผลขนาดเล็ก ขนาดใหญ่ แผลตื้น และแผลลึก ระดับความอันตรายจากบาดแผลที่เกิดขึ้นนั้น ขึ้นอยู่กับลักษณะ ขนาด และตำแหน่งของบาดแผล โดยธรรมชาติเมื่อเกิดบาดแผลร่างกายจะเกิดการตอบสนองด้วยการไหลของเลือด ลดการสูญเสียเลือดลง โดยทั่วไปนั้นบริเวณปลายเส้นเลือดที่แตก จะติดกันทันที เพื่ออุดทางไหลของเลือดและลดแรงดันเลือด ทำให้เลือดไหลออกน้อยลง ในกรณีที่บาดแผลมีขนาดใหญ่ เส้นเลือดชั้นนอกซึ่งมีหน้าที่ขนส่งเลือดไปหล่อเลี้ยงผิวหนังและกล้ามเนื้อ จะหดตัว เพื่อให้เส้นเลือดใหญ่ นำเลือดไปหล่อเลี้ยงอวัยวะที่สำคัญของร่างกายได้ [2]

เมื่อเลือดไหลออกจากเส้นเลือดที่ได้รับการบาดเจ็บ เลือดจะแข็งตัวเป็นก้อนลิ่มอุดเส้นเลือด และปิดปากแผลไว้ หลังจากนั้นร่างกายจะเริ่มซ่อมแซมบริเวณที่บาดเจ็บและสร้างภูมิคุ้มกัน การติดเชื้อขึ้นมา การซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอนี้จะทำให้เนื้อเยื่อบริเวณบาดแผลบวมขึ้น เนื่องจากเกิดการรวมตัวของเซลล์เม็ดเลือดแดง เม็ดเลือดขาวและน้ำเหลืองที่มาจากเส้นเลือดบริเวณที่บาดเจ็บ

#### อันตรายจากบาดแผล

เมื่อผิวหนังมีรอยขีดข่วนหรือเกิดบาดแผลขึ้น อาจทำให้เกิดภาวะแทรกซ้อนขึ้นได้ เสมือนเป็นประตูให้เชื้อโรคเข้าสู่ร่างกาย อันตรายจากบาดแผลชนิดต่างๆมี 3 ข้อ ดังนี้ [3]

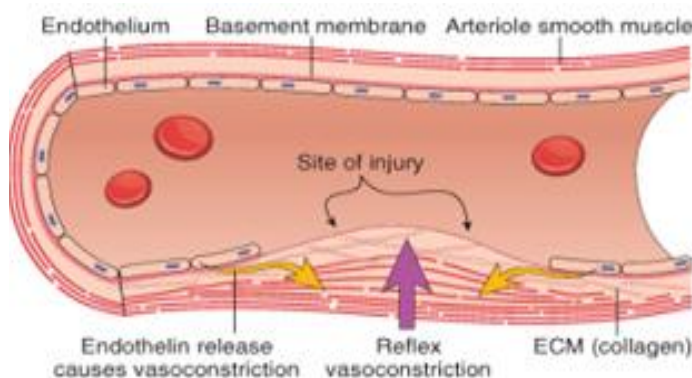
1) การติดเชื้อ อันตรายจากการติดเชื้อขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณเชื้อที่เข้าสู่ร่างกาย ทางบาดแผล ภูมิคุ้มกันของร่างกายผู้ป่วย ผู้ป่วยอาจมีภูมิคุ้มกันลดลงเนื่องจากติดเชื้อเข้าสู่กระแสเลือด และสภาพแวดล้อมที่ผู้ป่วยอาศัยอยู่ สภาพอากาศ โดยส่วนใหญ่บาดแผลจากอุบัติเหตุจะเกิดการติดเชื้อภายใน 2 - 3 วัน แต่แผลผ่าตัดจะติดเชื้อในวันที่ 4 - 5 หลังผ่าตัด โดยจะมีสารคัดหลั่งไหลออกจากบาดแผลมีลักษณะเป็นสีเหลือง เขียว น้ำตาล หรืออาจมีกลิ่นเหม็นแล้วแต่ชนิดของแบคทีเรีย

2) การเสียเลือด อันตรายจากการเสียเลือดขึ้นอยู่กับปริมาณเลือดที่ร่างกายสูญเสีย ถ้าเป็นการเสียเลือดที่รุนแรง ผู้ป่วยอาจเสียชีวิตได้ในระยะเวลาอันสั้น

3) การบาดเจ็บอื่นๆ นอกจากอันตรายจากการติดเชื้อและการเสียเลือดแล้ว ยังมีการบาดเจ็บของอวัยวะอื่นๆ เช่น อวัยวะภายในศีรษะ ตา และหัวใจ กระดูกหัก หรือการบาดเจ็บที่อาจทำให้มีอาการอื่นๆแทรกซ้อน เช่น การบาดเจ็บบริเวณหน้าอก อาจทำให้หายใจลำบาก เป็นต้น

## 2.2 การห้ามเลือด (hemostasis) [4,5]

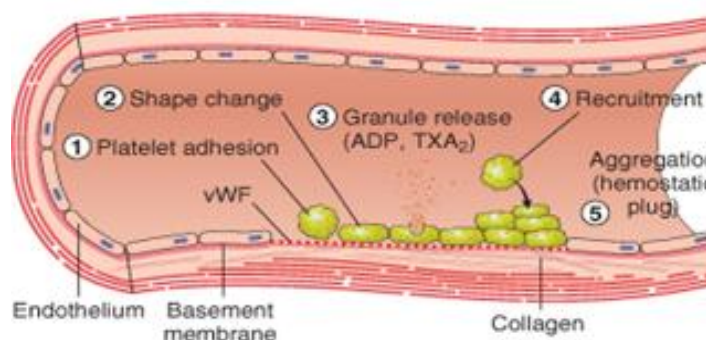
ตามธรรมชาติร่างกายจะเกิดปฏิกิริยาตอบโต้ทันทีเมื่อร่างกายมีบาดแผล หลอดเลือดเกิดการฉีกขาดและมีการเสียเลือดเกิดขึ้น เลือดเป็นของเหลวที่ไหลเวียนอยู่ภายในหลอดเลือดในร่างกาย ซึ่งมีโครงสร้างที่ประกอบด้วยเซลล์เอนโดทีเลียม (endothelial cell) อยู่ชั้นในสุดของผนังหลอดเลือด และสัมผัสกับเลือด ถัดออกมาจะเป็นชั้นใต้เซลล์เยื่อหลอดเลือด (subendothelial layer) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเนื้อพื้ (extracellular matrix ) เช่น คอลลาเจน (collagen), โปรตีนยึดเหนี่ยวระหว่างเซลล์ (cell adhesion protein) และส่วนที่เป็นเซลล์ เช่น ก้านเนื้อเรียบ, เซลล์สร้างเส้นใย (fibroblast) เป็นต้น ในภาวะปกติเลือดจะไม่เกิดเป็นลิ่มเลือดต่างๆที่มีองค์ประกอบของการเกิดลิ่มเลือดอยู่พร้อม เนื่องจากเซลล์เอนโดทีเลียมมีฤทธิ์ในการยับยั้งการสร้างลิ่มเลือด แต่เมื่อหลอดเลือดเกิดการฉีกขาด จะมีกลไกการห้ามเลือดในระยะแรกเกิดขึ้น (primary hemostasis) ซึ่งอาศัยการทำงานของหลอดเลือดและเกล็ดเลือด โดยหลอดเลือดจะมีการหดตัวโดยอัตโนมัติ (reflex vasoconstriction) จากการทำงานของก้านเนื้อเรียบที่อยู่บริเวณรอบหลอดเลือด ดังรูปที่ 2.1 เมื่อหลอดเลือดเกิดการหดตัวทำให้เลือดไหลมาบริเวณนั้นน้อยลง



รูปที่ 2.1 ลักษณะหลอดเลือดที่มีการหดตัว [6]

## 2.2.1 การเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด (platelet plug)

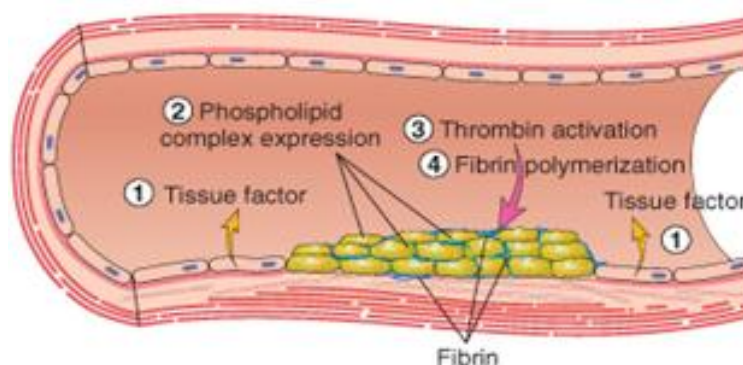
เกล็ดเลือด (platelet หรือ thrombocyte) เป็นองค์ประกอบของเลือดที่มีรูปร่างคล้ายจาน (disc shape) ถูกสร้างมาจากไขกระดูกโดยเป็นส่วนไซโตพลาซึม (cytoplasm) ของเซลล์เมกาคาริโอไซต์ (megakaryocyte) ที่หลุดออกมาซึ่งมีบทบาทในการห้ามเลือดในระยะแรกเช่นกัน ดังนั้นเกล็ดเลือดจึงเป็นส่วนหนึ่งของเซลล์ที่ไม่มีนิวเคลียส แต่มีแกรนูล (granule) ที่สะสมสารสำคัญในกระบวนการห้ามเลือด ซึ่งจะหลั่งออกมาเมื่อถูกกระตุ้น เกล็ดเลือดโดยทั่วไปจะมีอายุขัยในเลือดประมาณ 10 วัน ในภาวะปกติเกล็ดเลือดจะไม่เกาะกับผนังหลอดเลือดหรือเกาะกันเองเพราะเยื่อหุ้มเกล็ดเลือดประกอบด้วยเยื่อชั้นนอกที่มีไกลโคโปรตีนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญและโปรตีนชนิดต่างๆ โปรตีนเหล่านี้ทำให้เกล็ดเลือดมีประจุสุทธิเป็นลบ ซึ่งเป็นแรงผลัก ทำให้เกล็ดเลือดไม่เกาะกันเองและไม่เกาะกับเยื่อหลอดเลือดที่ไม่ฉีกขาด แต่เมื่อมีการฉีกขาดของหลอดเลือด บริเวณที่เกิดการฉีกขาดจะไม่มีเซลล์เอนโดทีเลียมที่ทำหน้าที่ยับยั้งกระบวนการสร้างลิ่มเลือด รวมทั้งเกิดการสัมผัสระหว่างชั้นใต้เซลล์เยื่อหลอดเลือดกับเลือด ทำให้เกล็ดเลือดเริ่มเข้ามายึดเกาะบริเวณดังกล่าวนำไปสู่การกระตุ้นและเกิดการเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือดไปอุดบริเวณที่มีการฉีกขาด ดังรูปที่ 2.2 ทำให้เกิดการห้ามเลือดขึ้นในระยะแรก ซึ่งสามารถห้ามเลือดได้ในกรณีหลอดเลือดขนาดเล็กฉีกขาดเท่านั้น ดังนั้นการสร้างลิ่มเลือด (blood clot formation) ในขั้นตอนต่อไปหรือเรียกว่าการห้ามเลือดทุติยภูมิ (secondary hemostasis) จึงเป็นส่วนสำคัญในกระบวนการห้ามเลือด เพราะสามารถห้ามเลือดได้ดีกว่า [7]



รูปที่ 2.2 การเกาะกลุ่มของเกล็ดเลือด [6]

## 2.2.2 การสร้างลิ่มเลือด (Blood clot formation หรือ secondary hemostasis)

การสร้างลิ่มเลือดเกิดจากการทำงานของปัจจัยการแข็งตัวของเลือด (coagulation factor) ทำให้เปลี่ยนไฟบริโนเจน (fibrinogen) เป็นไฟบริน (fibrin) ตกตะกอนลงมาร่วมกับเม็ดเลือดแดง กลายเป็นลิ่มเลือด (blood clot หรือ fibrin clot) ที่มีความแข็งแรงและสามารถห้ามเลือดได้อย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยการแข็งตัวของเลือดมีอยู่หลายชนิด ดังตารางที่ 2.1 เมื่อมีการกระตุ้นการสร้างลิ่มเลือด ปัจจัยการแข็งตัวของเลือดเหล่านี้จะถูกตัดพันธะเพปไทด์ (peptide) ภายในโมเลกุลบางตำแหน่งเพื่อให้อยู่ในรูปที่แอกทีฟ และไปกระตุ้นปัจจัยการแข็งตัวของเลือดตัวต่อไป นอกจากนี้ปัจจัยการแข็งตัวของเลือดบางชนิด เช่น FIII, FV และ FVIII จะทำหน้าที่เป็นโคแฟกเตอร์ (cofactor) สำหรับ FVII, FX และ FIX ตามลำดับ ทำให้ปัจจัยการแข็งตัวของเลือดดังกล่าวแอกทีฟมากขึ้น โดยโคแฟกเตอร์เหล่านี้บางตัว เช่น FV และ FVIII จะถูกสร้างออกมาในรูปของโปรโคแฟกเตอร์ (procofactor) ซึ่งจะต้องเปลี่ยนเป็นรูปแอกทีฟโคแฟกเตอร์ (active cofactor) Va และ VIIIa คล้ายกับการกระตุ้นฤทธิ์ของปัจจัยการแข็งตัวของเลือดอื่น ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สุดท้ายแล้วผลของการกระตุ้นปัจจัยการแข็งตัวของเลือดเหล่านี้จะกระตุ้นให้ไฟบริโนเจนที่ทำหน้าที่เป็นสารตั้งต้นของการสร้างลิ่มเลือด เปลี่ยนเป็นไฟบริน และรวมตัวสานกันเป็นตาข่ายอุดบริเวณบาดแผล และเกิดเป็นลิ่มเลือดขึ้นมา ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การสร้างลิ่มเลือด [6]

ตารางที่ 2.1 ปัจจัยการแข็งตัวของเลือด

Factor No.	Descriptive name
FI	Fibrinogen
FII	Prothrombin
FIII	Thromboplastin, tissue extract, tissue factor
FIV	Calcium
FV	Proaccelerin, labile factor, accelerator globulin (AcG)
FVI	Accelerin
FVII	Proconvertin, serum prothrombin conversion accelerator (SPCA), stable factor, autoprothrombin I
FVIII	Antihemophilic factor (AHF), antihemophilic globulin (AHG), platelet cofactor I, antihemophilic factor A
FIX	Plasma thromboplastin component (PTC), Christmas factor, antihemophilic factor B, platelet cofactor II, autoprothrombin II
FX	Stuart–Prower factor
FXI	Plasma thromboplastin antecedent (PTA)
FXII	Hageman factor
FXIII	Fibrin stabilizing factor (FSF), Laki–Lorand factor (LLF), fibrinase

### 2.3 วัสดุปิดแผล

การตกแต่งบาดแผลมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้ในการปฐมพยาบาล ควรสะอาดและผ่านการฆ่าเชื้อก่อนนำมาใช้กับบาดแผล ซึ่งสามารถทำได้โดยการต้มหรือนึ่ง อุปกรณ์เหล่านั้น และที่สำคัญวัสดุปิดแผลจะต้องสะอาดปราศจากเชื้อโรคเพราะต้องสัมผัสโดยตรงกับบาดแผล

### 2.3.1 สมบัติของวัสดุปิดแผลที่ดี ได้แก่

- 1) ช่วยในการห้ามเลือดเมื่อเกิดการเสียเลือด การกดวัสดุปิดแผลบริเวณปากแผลเบาๆ สามารถช่วยให้เลือดหยุดไหลได้
- 2) ป้องกันบาดแผลจากฝุ่นละออง สิ่งสกปรก และเชื้อจุลินทรีย์ต่างๆจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อน หรือเกิดการติดเชื้อ
- 3) ช่วยดูดซับสารคัดหลั่งที่ไหลออกจากบาดแผล เช่น เลือด น้ำเหลือง น้ำหนอง ไม่ให้ขังอยู่ในบาดแผล เพราะจะทำให้บาดแผลเปื่อย เรื้อรัง และส่งผลให้บาดแผลหายช้าลง
- 4) ป้องกันการระเหยออกของน้ำจากใต้บาดแผล ระบายอากาศ และให้อุณหภูมิผ่านเข้าออกได้ในสัดส่วนที่พอเหมาะ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดแผลเปื่อย
- 5) ให้ความอบอุ่นแก่บาดแผล เพื่อให้เลือดเข้ามาหล่อเลี้ยงบริเวณบาดแผลได้ดี ให้สภาวะที่เหมาะสมในการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ ในเวลาเดียวกันต้องไม่ติดหรือดึงรั้งเนื้อเยื่อที่งอกใหม่

### 2.3.2 วัสดุปิดแผลชนิดต่างๆ [8]

- 1) วัสดุปิดแผลดั้งเดิม (inert product dressing) พวกผ้าปิดแผลต่างๆ เช่น ผ้ากอซ รวมถึงพาราฟินกอซ ซึ่งเป็นวัสดุปิดแผลที่ไม่เกาะติดบาดแผล (non-adherent dressing) มีพื้นผิวมันทำให้ไม่เกาะติดบาดแผล สะดวกและไม่รบกวนบาดแผลเวลาถอดออกจากบาดแผล บางชนิดมีการผสมยาฆ่าเชื้อ (antiseptics) ต่างๆลงไปด้วย ข้อดีของวัสดุปิดแผลกลุ่มนี้คือราคาไม่แพง แต่มีข้อเสียคือช่องตาข่ายของวัสดุปิดแผลค่อนข้างใหญ่จึงไม่สามารถใช้กับบาดแผลเปิดที่มีบริเวณกว้างได้
- 2) แผ่นฟิล์ม (vapor permeable films/membranes) มีลักษณะเป็นแผ่นบางๆใส มักจะมีสารยึดเกาะที่สามารถติดกับผิวหนังได้ ข้อดีคือป้องกันบาดแผลจากน้ำได้ ทำให้บริเวณนั้นโดนน้ำได้โดยไม่ปนเปื้อนกับบาดแผล เพิ่มความสะดวกให้กับผู้ป่วย แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถดูดซับของเหลวที่ไหลออกจากบาดแผลได้ จึงไม่เหมาะกับบาดแผลที่มีสารคัดหลั่งปริมาณมาก นิยมใช้กับแผลผ่าตัดที่ผ่านการเย็บเรียบร้อยแล้ว



3) ไฮโดรเจล (hydrogels) ผลิตภัณฑ์เหล่านี้มีขายในท้องตลาดทั่วไป เป็นวัสดุที่มีน้ำเป็นส่วนผสมอยู่ด้วย 30 - 90 เปอร์เซ็นต์ ช่วยให้ความชุ่มชื้นแก่บาดแผล ทำให้บาดแผลไม่แห้งจนเกินไป ลดการเกิดสะเก็ด นอกจากนี้ยังสามารถดูดซับสารคัดหลั่งได้อีกด้วย วัสดุกลุ่มนี้ไม่เกาะติดบาดแผล เวลาลอกออกจึงไม่รบกวนเนื้อเยื่อที่สร้างใหม่ทำให้บาดแผลหายเร็วขึ้น เมื่อปิดลงบนบาดแผลจะต้องปิดด้วยผ้าก๊อซแห้งด้านบนอีกชั้น [9]

4) ไฮโดรคอลลอยด์ (hydrocolloids) เป็นกลุ่มของพอลิเมอร์ เช่น พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharides), โซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethyl cellulose), เพกติน (pectin) และเจลาติน (gelatin) เมื่อนำมาปิดบาดแผลจะดูดซับสารคัดหลั่งแล้วกลายเป็นก้อนเจลให้ความชุ่มชื้นแก่บาดแผลและป้องกันบาดแผลจากสิ่งแวดล้อมภายนอก เหมาะกับบาดแผลที่มีสารคัดหลั่งน้อยถึงปานกลาง ปัจจุบันมีการนำมาใช้ในแผลกดทับ แผลเปิดบริเวณกว้าง แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก ข้อดีของวัสดุปิดแผลกลุ่มนี้คือไม่เกาะติดบาดแผลเลย แต่มีข้อเสียคือปิดลงบาดแผลได้ลำบาก ต้องชุบน้ำบริเวณถูมือก่อน สามารถใช้ในกรณีแผลติดเชื้อได้ เนื่องจากสามารถฆ่าตัวยาซิลเวอร์ซัลฟาไดอะซีน (silver sulfadiazine) ลงไปได้ เหมาะกับบาดแผลเปิดที่มีการติดเชื้อแทรกซ้อน ราคาทั่วไปอยู่ในเกณฑ์เหมาะสม ไม่แพงมากนัก ควรใช้บริเวณพื้นราบ เช่น บริเวณแขน ขา หน้าอก ท้อง เป็นต้น ไม่เหมาะกับบาดแผลที่มีสารคัดหลั่งปริมาณมากหรือบริเวณที่เข้าถึงยาก เช่น ตามข้อพับต่างๆ เพราะจะปิดบาดแผลได้ยาก [10]

5) แอลจินेट (alginates) ผลิตจากสาหร่ายทะเลประกอบด้วยแคลเซียม (calcium) หรือเกลือแคลเซียมของกรดแอลจินेट ซึ่งมีกรดแมนนูโรนิก (mannuronic acids) และกรดกลูคูโรนิก (glucuronic acids) เมื่อดูดซับสารคัดหลั่งจะกลายเป็นเจล เหมาะกับบาดแผลที่มีสารคัดหลั่งปริมาณมาก สามารถนำมาดัดแปลงใช้บริเวณบาดแผลที่มีโพรงได้ กลไกการทำงานคล้ายกับไฮโดรไฟเบอร์ (hydro fiber) มีราคาถูกกว่า แต่ดูดซับของเหลวได้ไม่เท่าไฮโดรไฟเบอร์ [11]

6) ไฮโดรไฟเบอร์ ผลิตมาจากเปลือกไม้ ประกอบด้วยโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส บางชนิดเคลือบสารต้านแบคทีเรีย สามารถดูดซับสารคัดหลั่งจากบาดแผลได้ดีมาก โดยถ้าดูดซับสารคัดหลั่งปริมาณมากจะกลายเป็นเจลที่สามารถลอกออกจากบาดแผลได้ง่าย ข้อดีคือสามารถ

ดูดซับสารคัดหลั่งได้มากโดยไม่รั่วออกจากวัสดุอีก แต่ข้อเสียคือราคาแพงกว่ากลุ่มแอลจีเนต วัสดุกลุ่มนี้เหมาะกับบาดแผลที่มีสารคัดหลั่งปริมาณมาก [12]

7) โฟม (foams) สามารถดูดซับสารคัดหลั่งจากแผลได้ดี เหมาะกับบาดแผลที่มีสารคัดหลั่งปริมาณมาก เช่น โฟมพอลิยูรีเทน (polyurethane foam) ที่มีคุณภาพดี บางชนิดมีการผสมสารต้านแบคทีเรียลงไปเพื่อเพิ่มสมบัติในการฆ่าเชื้อ

## 2.4 ผ้ากอซ

ผ้ากอซมีทั้งชนิดละเอียด (finer gauze) และชนิดหยาบ (coarse mesh gauze) โดยผ้ากอซชนิดละเอียดเหมาะสำหรับบาดแผลที่ไม่มีสารคัดหลั่งและบาดแผลที่มีการสร้างเนื้อเยื่อขึ้นใหม่แล้ว ส่วนผ้ากอซชนิดหยาบจะเหมาะสำหรับบาดแผลที่มีสารคัดหลั่ง โดยปกติการใช้ผ้ากอซบนบาดแผลเมื่อลอกผ้ากอซออกจะทำให้เซลล์เนื้อเยื่อที่เกิดใหม่หลุดออกตามไปด้วย เพราะผ้ากอซไม่สามารถรักษาความชุ่มชื้นบริเวณบาดแผลได้ จึงทำให้แผลแห้ง ในการเปลี่ยนผ้ากอซอาจทำให้เกิดการทำลายเซลล์เนื้อเยื่อที่สร้างใหม่ และทำให้เกิดอาการปวดบริเวณบาดแผลได้ เพราะฉะนั้นไม่ควรปล่อยให้ผ้ากอซแห้ง ควรเปลี่ยนผ้ากอซบ่อยๆ หรือนำผ้ากอซมาชุบน้ำเกลือไอโซโทนอล เพื่อช่วยให้บาดแผลชุ่มชื้นขึ้น ดังนั้นผ้ากอซจึงเหมาะสำหรับบาดแผลที่มีขนาดเล็กและมีสารคัดหลั่งเล็กน้อย แต่ข้อดีของผ้ากอซคือสะดวก ใช้งานง่าย และราคาถูก ผ้ากอซโดยส่วนใหญ่ผลิตจากเส้นใยฝ้าย

เส้นใยฝ้าย (cotton fiber) [13]

ฝ้ายเป็นเส้นใยเซลลูโลสชนิดหนึ่ง มีอัตราส่วนของความเป็นผลึกต่อความเป็นอสัณฐานสูงถึงประมาณ 2 ต่อ 1 ทำให้ความสามารถในการยึดตัวดีและดูดซึมความชื้นสูง โดยทางกายภาพฝ้ายเป็นเส้นใยสั้น มีลักษณะภายนอกที่หยาบเป็นหลอดแบน ขวั้นกันเป็นเกลียว และจากกล้องจุลทรรศน์ภาพภาคตัดขวางของเส้นใยฝ้ายมีลักษณะคล้ายเม็ดถั่วที่มีช่องกลางกลวงเป็นท่อส่งน้ำ (lumen) ภาคตัดขวางของฝ้ายที่ยังอ่อนนุ่มมีลักษณะเป็นรูปตัวยู (U) ผนังเซลล์บาง แต่เมื่อเส้นใยมีอายุมากขึ้นผนังเซลล์เริ่มหนาขึ้นภาคตัดขวางจึงมีลักษณะคล้ายรูปถั่วมากขึ้นโดยรูตรงกลางที่เป็นท่อส่งน้ำจะหดเล็กลงด้วย ผิวนอกของเส้นใยฝ้าย (cuticle) มีลักษณะเหมือนมีฟิล์มเคลือบอยู่ โดยผนังชั้นแรก (primary wall) จะมีความหนาเพิ่มขึ้นขยายจากผิวเข้าสู่ส่วนกลาง การเจริญเติบโตเป็นชั้นๆ คล้ายวงปี ทำให้ท่อส่งน้ำตรงกลางถูกบีบเล็กลง แต่ชั้นของผนังที่ขยายมีความหนา

แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ อาหาร และน้ำ เปลือกที่หนาขึ้นนี้รวมเรียกว่าผนังชั้นที่สอง (secondary wall) แต่ละชั้นที่เจริญเติบโตขึ้นนี้ประกอบไปด้วยเส้นใยละเอียดที่เกิดจากการต่อกันของสายโซ่โมเลกุลของเซลลูโลสจับเรียงต่อกัน บางครั้งมีทิศทางการเรียงที่สลับทิศสวนทางกันทำให้เกิดเกลียวฝ้ายขึ้นตามความยาวของเส้นใย เกลียวฝ้ายหรือการบิดตัวคล้ายริบบิ้น เป็นลักษณะที่แสดงถึงการเจริญเติบโตตามธรรมชาติอย่างเต็มที่แล้วของฝ้าย การบิดงอนี้เป็นการเกิดเกลียวแบบธรรมชาติ ทำให้เส้นใยฝ้ายมีความสามารถในการเกาะเกี่ยวกัน บั่นเป็นด้ายได้ง่าย มีความสามารถในการยืดตัวสูง แต่มีข้อเสียคือความแข็งแรงบริเวณบิดงอต่ำกว่าบริเวณอื่นๆ ประมาณ 15 - 30% สมบัติต่างๆของเส้นใยฝ้าย ทั้งสมบัติทางกายภาพและสมบัติทางเคมีได้สรุปคร่าวๆไว้ใน ตารางที่ 2.2 และตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.2 สมบัติทางกายภาพของเส้นใยฝ้าย [13]

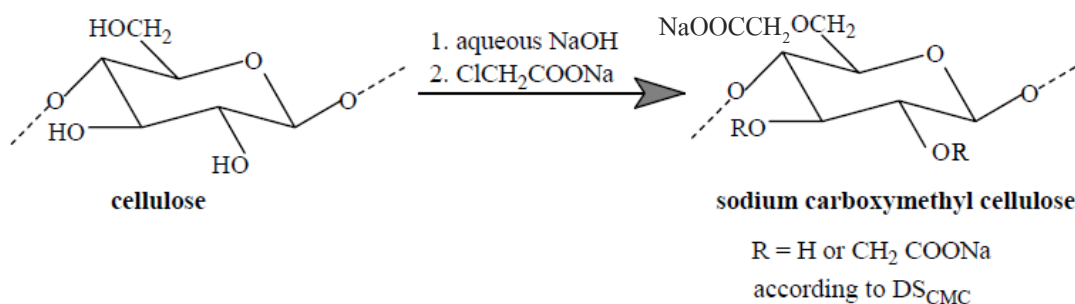
สมบัติทางกายภาพ	รายละเอียด
ความยาว	0.3 - 5.5 เซนติเมตร (1/8 - 2 ¼ นิ้ว)
สี	ขาว ครีมน้ำตาล หรือเทา
การสะท้อนแสง	ไม่คืนก มีความมันต่ำ นอกจากฝ้ายที่ผ่านการชุบต่าง เส้นใยจะพองกลม ทำให้มีความมันเพิ่มขึ้น
ความเหนียว	ขณะแห้งมีความเหนียว 3.0 - 5.0 กรัม/เดนเยอร์ เมื่อเปียกความเหนียวเพิ่มขึ้นเป็น 3.6 - 6.0 กรัม/เดนเยอร์
การยืดตัว	ยืดได้สูงสุดจนถึงจุดที่ขาด 3 - 7%
การหดกลับ	ถ้าเส้นใยยืดออกไป 2% เมื่อปล่อยแรงหดกลับได้ 70%
ความคืนตัว	ต่ำ ฝ้ายฝ้ายจึงยับง่าย
ความคงรูป	ไม่คืนก ฝ้ายฝ้ายที่ไม่ได้ผ่านการชุบมันด้วยต่าง (Mercerization) เมื่อซักฟอกจะหดตัว
การดูดความชื้นที่สภาวะต่างๆ ดังนี้	
- ฝ้ายดิบที่สภาวะมาตรฐาน	8.5%
- ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 95 - 100%	15 - 25%
การทนต่อความร้อน	สามารถทนต่ออุณหภูมิสูงๆของเตารีดได้

ตารางที่ 2.3 สมบัติทางเคมีของเส้นใยฝ้าย

สมบัติทางเคมี	รายละเอียด
สารฟอกขาว	ฝ้ายมีความคงทนต่อสารฟอกขาวทุกชนิด ทั้งสารฟอกขาวประเภทคลอรีน (chlorine bleach) เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (sodium hypochlorite) และสารฟอกขาวประเภทออกซิเจน (oxygen bleach) เช่น ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide)
กรด - ด่าง	มีความทนต่อต่างได้ดี แต่ไม่ทนต่อกรดแก่
สารละลายอินทรีย์	ฝ้ายทนต่อตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น แอซิโตน (acetone) เมตาไซลีน (m-xylene) และตัวทำละลายชนิดอื่นๆ ได้เกือบทุกชนิด
แสงแดด และความชื้น	ทนต่อความร้อนและแสงแดดได้ดี แสงแดดไม่ทำอันตรายต่อผ้าที่ตากแดดจนแห้ง แต่ถ้าปล่อยให้ถูกแสงสว่างเป็นระยะเวลาและตลอดเวลาจะทำให้เซลลูโลสถูกออกซิไดซ์ ซึ่งทำให้ผ้ามีความเหนียวลดลงและเปลี่ยนเป็นสีเหลือง การรีดควรใช้อุณหภูมิ 218 องศาเซลเซียส
สีย้อม	สีย้อมที่ใช้ย้อมฝ้ายได้คือ สีไดเรกซ์ (direct dyes) สีรีแอกทีฟ (reactive dyes) สีแนฟทอล (naphthol dyes) และสีที่ย้อมติดเส้นใยได้ทนมากที่สุดคือสีวัต (vat dyes)
เห็ดรา แบคทีเรีย	ฝ้ายที่อยู่ในสภาพเปียกชื้น และอับจะไม่ทนต่อเชื้อเห็ดรา โดยราดำจะขึ้นได้ง่ายบนผ้าฝ้าย ทำให้เกิดจุดดำฝังแน่นในเส้นใย แบคทีเรียจะทำให้เสื้อผ้าที่หมักแช่ไว้นานๆ มีกลิ่นเหม็นและเปื่อยขาดได้ง่าย
แมลง	ตัวมอด ตัวด้วงไม่กัดกินฝ้าย แต่แมลงบางชนิด เช่น ตัวสามง่ามจะชอบกัดกินฝ้ายโดยเฉพาะผ้าที่ลงแป้ง
การติดไฟ	ติดไฟลุกไหม้อย่างรวดเร็ว
การเป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อน	ฝ้ายเป็นตัวนำความร้อนและนำไฟฟ้าที่ดี

## 2.5 คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose)

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (carboxymethyl cellulose, CMC) หรือโซเดียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (sodium carboxymethylcellulose) เป็นไฮโดรคอลลอยด์คือพอลิเมอร์ที่ชอบน้ำ (hydrophilic) เป็นคาร์โบไฮเดรตซึ่งเป็นอนุพันธ์ของเซลลูโลสนั่นเอง ไฮโดรคอลลอยด์ชนิดนี้เป็นไฮโดรคอลลอยด์ที่ดัดแปรจากสารที่ได้จากธรรมชาติ (modified natural hydrocolloids) เกิดจากการดัดแปรหรือปรับปรุงสมบัติของเซลลูโลสซึ่งเป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์พืชให้เกิดการแทนที่โครงสร้างเดิมด้วยหมู่เมทิลและหมู่คาร์บอกซีเมทิล ซึ่งมีกลไกการสังเคราะห์ผ่านปฏิกิริยาอีเทอร์ฟิเคชัน (etherification reaction) ดังรูปที่ 2.4 [14,15]



รูปที่ 2.4 กลไกการสังเคราะห์คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส

คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสมีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ไม่มีกลิ่น ไม่มีรส ไม่เป็นอันตราย และไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ละลายน้ำได้ดี มีสมบัติเป็นสารเพิ่มความหนืดที่ช่วยในการยึดเกาะ และเป็นสารคงสภาพ สำหรับการใช้อย่างแพร่หลายคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสในอุตสาหกรรมอาหาร นิยมใช้เป็นสารเพิ่มความหนืดในไอศกรีม และทางด้านเภสัชกรรมนิยมใช้เป็นสารเคลือบผิวแคปซูล ยาหรือเป็นสารก่อให้เกิดเจล เป็นต้น [16]

ในการเตรียมคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสหรืออนุพันธ์ของเซลลูโลสโดยทั่วไปจะต้องใช้เยื่อเซลลูโลสคุณภาพสูงที่มีปริมาณแอลฟาเซลลูโลส (alpha cellulose) สูง อาจเตรียมได้จากวัตถุดิบต่างๆกันและวิธีทางเคมีที่แตกต่างกันด้วย ในบางกรรมวิธีอาจเตรียมมาจากแป้งผสม เช่น แป้งผสมเบต้ากลูแคนที่เตรียมจากข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์และยีสต์ หรือจะเตรียมจากพอลิแซ็กคาไรด์ในน้ำนม โปรตีน และจากแป้งข้าวเจ้า เป็นต้น ซึ่งในต่างประเทศส่วนใหญ่ผลิตคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลสจากไม้ยืนต้น จำพวกสนและยูคาลิปตัส ทั้งนี้การควบคุมคุณภาพเยื่อเซลลูโลสที่ได้ให้คงที่

มีความจำเป็นอย่างยิ่งในการผลิตในเชิงอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ซึ่งต้องใช้วัตถุดิบจำนวนมาก เนื่องจากการใช้วัตถุดิบพวกพืชไร่ที่มีคุณภาพและปริมาณแตกต่างกันจากหลายๆแหล่ง ทำให้ได้เยื่อเซลลูโลสที่มีสมบัติไม่คงที่ แต่ในประเทศไทยได้มีการนำเอาพืชไร่หรือวัสดุที่เหลือใช้ทางการเกษตรมาผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง ไม่ว่าจะเป็น ต้นกก ชังข้าวโพด กาบมะพร้าว ก้านกล้วย กากปาล์ม ใบคะน้า ใบสับปะรด หนุ่ย นวลจันทร์ เป็นต้น การพัฒนาโดยการนำวัสดุเหล่านี้มาผลิตเซลลูโลสคุณภาพสูง จึงเป็นแนวทางการเพิ่มมูลค่าให้แก่วัสดุเหล่านี้ได้ [17]

## 2.6 จุลินทรีย์ (microbial)

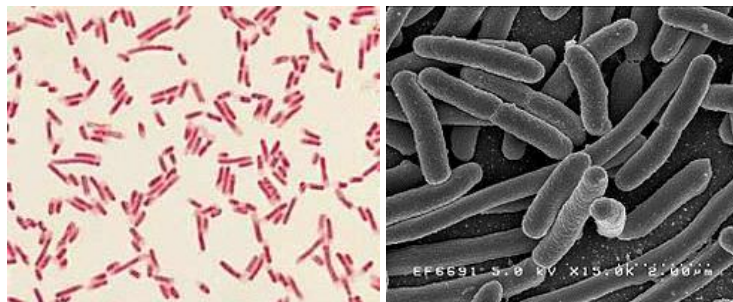
การจำแนกชนิดแบคทีเรีย [18,19]

### 2.6.1 แบคทีเรียแกรมลบ (Gram-negative)

แบคทีเรียแกรมลบมีโครงสร้างและองค์ประกอบทางเคมีของผนังเซลล์ คือสายของเพปทิโดไกลแคน (peptidoglycan) เรียงตัวซ้อนกันเป็นชั้นบางๆ ไม่มีกรดไทโคอิก (teichoic acid) เป็นองค์ประกอบ และมีเยื่อหุ้มชั้นนอก (outer membrane) ปกคลุมชั้นเพปทิโดไกลแคนอยู่ด้านบน องค์ประกอบของเยื่อหุ้มชั้นนอกส่วนใหญ่เป็นลิพอโพลีแซ็กคาไรด์ (lipopolysaccharide) และโปรตีนอีกหลายชนิด โดยชนิดที่สำคัญคือโปรตีนพอริน (Porin) ที่มีบทบาทในการควบคุมการผ่านเข้าออกของสารต่างๆ ที่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย แบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ *เอสเชอริเชีย โคไล* (*Escherichia coli*), *เคลบซีลลา* (*Klebsiella*), *โปรเทียส* (*Proteus*) และ *เซอราเทีย* (*Serratia*) เป็นต้น

*เอสเชอริเชีย โคไล* (*Escherichia coli*, *E. coli*)

*เอสเชอริเชีย โคไล* เป็นแบคทีเรียที่พบได้ในลำไส้ของสัตว์เลือดอุ่น เซลล์มีรูปร่างเป็นแท่ง (rod shape) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ไม่สร้างสปอร์ สามารถเจริญเติบโตได้ทั้งที่มีออกซิเจนและไม่มีออกซิเจน บางสายพันธุ์ก่อให้เกิดโรค โดยปกติแล้วเชื้อ *เอสเชอริเชีย โคไล* มักใช้เป็นเชื้อที่บ่งบอกถึงการปนเปื้อนที่เกี่ยวข้องกับระบบขับถ่าย หรือการปนเปื้อนในอาหารและเครื่องดื่ม เชื้อ *เอสเชอริเชีย โคไล* มีมากกว่า 100 สายพันธุ์ ส่วนใหญ่ไม่ทำให้เกิดโรค แต่บางสายพันธุ์ทำให้เกิดโรคได้ในบุคคลที่มีร่างกายอ่อนแอ



รูปที่ 2.5 ลักษณะเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล [20]

โรคที่เกิดจากเอสเชอริเชีย โคไล ได้แก่

1) โรคอุจจาระร่วงจะพบในกลุ่มคน 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นเด็กอายุต่ำกว่า 1 ขวบ ส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อเอนเทอโรพาโทเจนิค เอสเชอริเชีย โคไล (Enteropathogenic *E. coli*, EPEC) โดยเด็กได้รับเชื้อปนมากับน้ำ นม อาหาร เป็นต้น อาการทั่วไปคือถ่ายเป็นน้ำ มีมูก ไข่ และเกิดอาการขาดน้ำ อาการอุจจาระร่วงในเด็กเล็กอาจรุนแรงจนอาจเสียชีวิตได้ อีกกลุ่มหนึ่งเป็นโรคอุจจาระร่วงในผู้ใหญ่เกิดจากเชื้อเอนเทอโรทอกซิเจนิค เอสเชอริเชีย โคไล (Enterotoxigenic *E. coli*, ETEC) แบคทีเรียชนิดนี้จะสร้างสารพิษที่ทำให้เกิดการหลั่งของเหลว (fluid secretion) การติดเชื้อเกิดจากการรับประทานอาหารที่มีการปนเปื้อน ไม่ถูกสุขลักษณะ ถ้ารับเชื้อเข้าไปมากจะมีอาการภายใน 24 ชั่วโมง อาการทั่วไปคืออุจจาระเป็นน้ำ ปวดท้อง ไข้ต่ำ คลื่นไส้ และอ่อนเพลีย

2) โรคลำไส้อักเสบ ส่วนใหญ่เกิดจากเชื้อเอนเทอโรเฮมอรัลเจนิค เอสเชอริเชีย โคไล (Enterohemorrhagic *E. coli*, EHEC) ทำให้เกิดความเสียหายให้แก่เยื่อของลำไส้ จนอาจทำให้เกิดลำไส้ใหญ่อักเสบจนเสียเลือด (hemorrhagic colitis) อาการคือปวดท้องรุนแรง อุจจาระร่วงในตอนแรก แต่กลายเป็นมูกเลือดต่อมา อาจมีอาการเวียนบ้าง และมีไข้ต่ำ บางครั้งคนไข้มีอาการจากการมีสารในปัสสาวะปะปนในเลือด (Hemolytic Uremic Syndrome, HUS) ซึ่งอาจทำให้ไตวายถาวรได้ อาหารที่มักปนเปื้อนเชื้อนี้ได้แก่ เนื้อบดหรือเนื้อดิบ นอกจากนี้ยังพบในน้ำผลไม้ที่ไม่ผ่านการฆ่าเชื้อ ไข่กรอกหมูปนเนื้อวัว ผักกาดหอมและนมดิบ เป็นต้น

- 3) โรคติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะมักมีสาเหตุมาจากเชื้อที่อาศัยอยู่ในลำไส้ของผู้ป่วยเอง การติดเชื้อแบบนี้พบบ่อยในผู้หญิง เนื่องจากท่อปัสสาวะค่อนข้างสั้นและตรงเข้าสู่กระเพาะปัสสาวะ จึงทำให้เกิดการติดเชื้อที่กระเพาะปัสสาวะ เกิดกระเพาะปัสสาวะอักเสบ ซึ่งอาจลุกลามไปยังไตได้
- 4) โรคติดเชื้ออื่นๆ เช่น เยื่อหุ้มสมองอักเสบในเด็กเกิดใหม่ ปอดบวม แผลติดเชื้อ และ โลหิตเป็นพิษ มักเกิดเนื่องจากการผ่าตัด การใช้เครื่องช่วยหายใจ การใช้สายสวนท่อปัสสาวะ

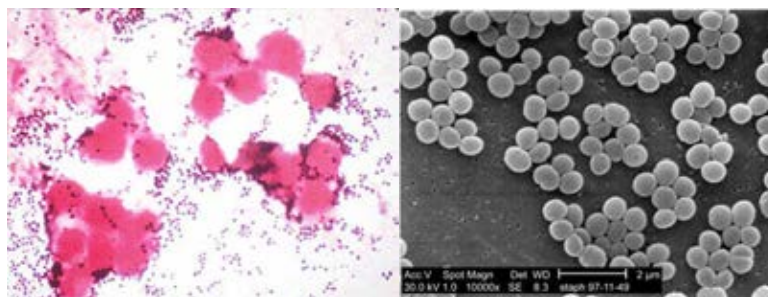
## 2.6.2 แบคทีเรียแกรมบวก (Gram-positive)

ผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกประกอบด้วยส่วนของเพปทิโดไกลแคนที่หนา เพราะมีการเรียงซ้อนกันของสายเพปทิโดไกลแคนหลายๆสายเข้าด้วยกัน บริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรียแกรมบวกพบกรดไทโคอิก กรดอินทรีย์ชนิดนี้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือกรดลิโปไทโคอิก (lipoteichoic acid) ซึ่งฝังตัวอยู่ตลอดชั้นของผนังเซลล์ไปจนถึงพื้นผิวของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) และกรดวอลไทโคอิก (wall teichoic acid) พบบริเวณผนังเซลล์เท่านั้น เช่น *ไมโครค็อกคัส ลูทีเอส* (*M. luteus*), *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* (*S. aureus*) และ *ลิวโคโนสท็อก เมนเซรินเทอโรอิดีส* (*L. mesenteroides*) เป็นต้น

*สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* (*Staphylococcus aureus*, *S. aureus*)

*สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* เป็นแบคทีเรียที่พบได้ทั่วไปตามผิวหนังและเยื่อต่างๆ เซลล์มีรูปร่างเป็นทรงกลม มีโคโลนีสีขาว เหลือง หรือส้ม ไม่มีแฟลกเจลลา ดังแสดงในรูปที่ 2.6 เมื่อมีการแบ่งเซลล์จะเกิดการแบ่งมากกว่าหนึ่งแนวทำให้มีการเกาะกลุ่มจึงมักอยู่รวมกันเป็นกลุ่มๆคล้ายพวงองุ่น แบคทีเรียกลุ่มนี้สามารถเปลี่ยนน้ำตาลให้เป็นกรด แต่ไม่ผลิตก๊าซ อีกทั้งยังสามารถหมักคาร์โบไฮเดรตได้อีกหลายชนิด เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิ 10 - 40 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิที่เหมาะสมคือที่ 37 องศาเซลเซียส สามารถเจริญเติบโตได้ในสภาวะที่มีและไม่มีออกซิเจน และอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดหรือด่างที่ความเข้มข้นต่างๆได้ สามารถอยู่ในอากาศที่แห้งแล้งได้นานเป็นเดือน สามารถเจริญเติบโตในน้ำมูก บนผิวหนังและอาหารหลายๆชนิด เชื้อ *สแตฟิโลค็อกคัส-ออเรียส* สามารถถูกทำลายได้โดยใช้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 60 นาที นอกจากนั้นเชือนี้ยังทนต่อยาฆ่าเชื้อและยาปฏิชีวนะหลายชนิดอีกด้วย





รูปที่ 2.6 ลักษณะเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส [21]

โรคที่เกิดจากสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส ได้แก่

- 1) โรคติดเชื้อที่ผิวหนัง ได้แก่ รุขุมขนอักเสบ เป็นหนอง อากาไม่รุนแรง มักเกิดขึ้นบริเวณผิวหนังชั้นบนสุด รอบๆ รุขุมขน ถ้าติดเชื้อรุนแรงเชื้อจะลงลึกไปที่รากขนและชั้นผิวหนังแท้ จากนั้นจะลุกลามไปที่ต่อมไขมัน จนเกิดเป็นฝีในที่สุด
- 2) โรคติดเชื้อกับระบบต่างๆ มักพบอาการติดเชื้อจากผิวหนังเข้าสู่กระแสเลือดแล้วกระจายไปทั่วร่างกาย ก่อให้เกิดการอักเสบขึ้น เช่น การติดเชื้อที่กระดูก กระดูกอักเสบ มีอาการไข้หนาวสั่น เจ็บปวด เป็นต้น
- 3) โรคอาหารเป็นพิษจากเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียสบางสายพันธุ์สร้างสารพิษเอนเทอโรท็อกซิน (enterotoxin) ขึ้น ซึ่งเป็นสารที่ทนความร้อน แต่สารพิษนี้จะสลายได้ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลานานอย่างน้อยครึ่งชั่วโมง สาเหตุที่ทำให้เกิดโรคคือการรับประทานอาหารที่ไม่ถูกสุขลักษณะ มีการปนเปื้อนของเชื้อลงไปในอาหาร หลังจากได้รับสารพิษเข้าไปประมาณ 6 - 8 ชั่วโมง จะมีอาการเฉียบพลัน คลื่นไส้ อาเจียน อุจจาระร่วง แต่ผู้ป่วยสามารถหายเองได้ภายใน 24 ชั่วโมง

## 2.7 สารต้านเชื้อจุลินทรีย์ (antimicrobial agent) [22]

สารต้านเชื้อจุลินทรีย์คือสารที่สามารถออกฤทธิ์ต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดโรคในร่างกายได้ ซึ่งรวมถึงยาปฏิชีวนะ (antibiotic) และยาที่ได้จากการสังเคราะห์ทางเคมี ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโตหรือการแบ่งตัวของแบคทีเรีย โดยยาปฏิชีวนะเป็นสารประกอบที่ผลิตหรือสังเคราะห์จากเชื้อจุลินทรีย์ชนิดใดชนิดหนึ่ง อาจเป็นเชื้อแบคทีเรียหรือเชื้อราก็ได้ สารที่ผลิตขึ้นนี้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตหรือทำลายเชื้อจุลินทรีย์ชนิดนั้นได้ ตัวอย่างสารเคมีที่นิยมใช้กัน ได้แก่

1) ฟีนอล (phenol) หรือกรดคาร์บอลิก (carbolic acid) เป็นสารเคมีชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้ในห้องผ่าตัด การใช้ฟีนอลลดการติดเชื้อลงได้ แต่ในระยะหลังไม่นิยมนำมาใช้กับผิวหนังเพราะมีฤทธิ์ระคายเคืองผิวหนังและมีกลิ่นเหม็นมาก อนุพันธ์ของฟีนอลคือฟีนอลิก (phenolic) มีความสามารถในการฆ่าเชื้อได้ดีและมีความระคายเคืองน้อย ฟีนอลิกที่นิยมใช้คือครีซอล (cresol) คลอโรไซลีนอล (chloroxylenol) หรือเดททอล (dettol) เป็นต้น เป็นอนุพันธ์ของฟีนอลที่มีฤทธิ์อ่อนกว่าฟีนอลทำให้ไม่ระคายเคืองเนื้อเยื่อจึงใช้กับผิวหนังและเยื่อหูได้ เฮกซะคลอโรเฟิน (hexachlorophene) เป็นอนุพันธ์ของฟีนอลอีกชนิดหนึ่ง ในสมัยก่อนนิยมใช้ผสมกับสบู่ เครื่องสำอาง ผสมยาระงับกลิ่นกาย ยาสีฟัน เป็นต้น โดยฟีนอลและอนุพันธ์ของฟีนอลออกฤทธิ์โดยทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ฉีกขาด โปรตีนของเซลล์เกิดการแข็งตัวและเปลี่ยนแปลงสภาพ จึงขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ในเชื้อจุลินทรีย์ได้

2) คลอเฮกซิดีน (chlorhexidine) เมื่อนำมาผสมกับสบู่หรือแอลกอฮอล์สามารถใช้ในการทำความสะอาดผิวหนังได้ดี ออกฤทธิ์ทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ แต่ไม่สามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียได้

3) พวกราตุฮาโลเจน (halogen) โดยเฉพาะไอโอดีนและคลอรีนมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ ทั้งในสภาพเป็นอิสระ ( $I_2$  หรือ  $Cl_2$ ) และในสารละลายหรือสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ ไอโอดีนเป็นสารที่มีประสิทธิภาพที่ใช้กันมานานแล้ว มีฤทธิ์ในการกำจัดแบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส ไอโอดีนจะไปรวมตัวกับกรดอะมิโนไทโรซีน (tyrosine) ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของโปรตีนต่างๆ รวมถึงเอนไซม์ของแบคทีเรีย รบกวนการทำงานของโปรตีนเหล่านั้น นอกจากนี้ ไอโอดีนยังรวมตัวกับกรดอะมิโนอื่นๆ รวมทั้งกรดไขมันที่อยู่ในเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียด้วย ไอโอดีนที่นิยมใช้คือทิงเจอร์ไอโอดีน (tincture of iodine) ส่วนคลอรีน นิยมใช้ในรูปของก๊าซ

ไฮเดียมไฮโปคลอไรท์ ซึ่งให้กรดไฮโปคลอรัส (HCIO) และสลายตัวต่อได้เป็นกรดเกลือและออกซิเจนอะตอม ทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารต่างๆ ภายในเซลล์ของจุลินทรีย์ แก๊สคลอรีนนิยมใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ในน้ำ

4) โลหะหนัก (heavy metal) ในรูปของสารประกอบต่างๆ ช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย สารประกอบอนินทรีย์ของปรอท เช่น เมอร์คิวริกคลอไรด์ (mercuric chloride) ใช้ฆ่าเชื้อจุลินทรีย์ได้หลายชนิด แต่มีฤทธิ์กัดกร่อนและเป็นพิษ สารประกอบอนินทรีย์ของปรอท เช่น ยาแดง มีพิษน้อย ระบายเคืองน้อย

5) แอลกอฮอล์ สามารถฆ่าแบคทีเรียและเชื้อราได้ แต่ไม่สามารถทำลายสปอร์ของแบคทีเรียได้ แอลกอฮอล์ออกฤทธิ์โดยทำลายโปรตีนของจุลินทรีย์ ทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ฉีกขาดและละลายไขมันที่ผนังเซลล์และไขมันที่ห่อหุ้มไวรัสด้วย ข้อดีคือระเหยเร็ว ไม่มีสีติดค้างที่ผิวหนัง แต่มีข้อเสียคือแสบเมื่อสัมผัสกับบาดแผล และทำให้โปรตีนรวมตัวเป็นก้อนที่ปากแผล แบคทีเรียที่อยู่ข้างในจึงสามารถเจริญเติบโตขึ้นมาได้อีก แอลกอฮอล์ที่นิยมใช้คือเอทานอล (ethanol) และไอโซโพรพานอล (isopropanol) ที่ความเข้มข้น 70%

6) สารประกอบควอเทอร์นารีแอมโมเนียม (quaternary ammonium compound) เช่น สารชะล้างประจุบวก (cationic detergents) ทำให้โปรตีนหมดสภาพและทำให้เยื่อหุ้มเซลล์ฉีกขาด ใช้ได้ดีกับแบคทีเรียแกรมบวก ข้อดีคือไม่ระคายเคืองผิวหนังและไม่กัดโลหะ

7) ตัวออกซิไดซ์ (oxidizing agent) สารเหล่านี้จะปล่อยออกซิเจนมาทำปฏิกิริยากับสารบางชนิดในเซลล์ของจุลินทรีย์ เช่น โอโซน (ozone,  $O_3$ ) ใช้ฆ่าเชื้อโรคในน้ำได้เช่นเดียวกับคลอรีน ข้อดีคือน้ำที่ผ่านโอโซนจะไม่มีกลิ่น แต่ข้อเสียคือมีราคาแพง

8) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide,  $H_2O_2$ ) ใช้ทาบาดแผลโดยเอนไซม์คะตะเลส (catalase) ในเนื้อเยื่อจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ได้ออกมาเป็นน้ำและออกซิเจน ดังนั้นการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ฆ่าเชื้อบริเวณบาดแผลจะไม่ได้ผลดีนัก แต่ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีประโยชน์เช่นเดียวกับซิงค์เปอร์ออกไซด์ (zinc peroxide) และเบนโซอิล-เปอร์ออกไซด์ (benzoyl peroxide) คือใช้กับบาดแผลลึก มีฤทธิ์ยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียกลุ่มที่ไม่ต้องการออกซิเจน เนื่องจากในปฏิกิริยาได้ออกซิเจนออกมา

- 9) ต่างทับทิม (potassium permanganate,  $\text{KMnO}_4$ ) มีฤทธิ์ในการกำจัดเชื้อราฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้พอสมควรแต่ใช้เวลานาน ถ้าใช้ความเข้มข้นมากจะระคายเคืองเนื้อเยื่อ ใช้ในการล้างบาดแผลบางชนิดได้
- 10) แอลดีไฮด์ (aldehyde) ออกฤทธิ์โดยทำให้โปรตีนของจุลินทรีย์แข็งตัว เช่น ฟอรัมาลีน (formalin) หรือสารละลายฟอรัมัลดีไฮด์ (formaldehyde) ความเข้มข้นประมาณ 40%
- 11) กรด (acid) มีหลายชนิดที่นิยมใช้ ได้แก่ กรดบอริก (boric acid) เป็นกรดอ่อนใช้สำหรับล้างตา มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อได้ดีที่ความเข้มข้น 2-3% และกรดเบนโซอิก (benzoic acid) ใช้เป็นสารกันบูดและป้องกันเชื้อราได้ที่ความเข้มข้น 0.1%
- 12) เอทิลีนออกไซด์ (ethylene oxide) เป็นก๊าซที่ไม่มีสี กลิ่นคล้ายอีเทอร์ ติดไฟง่าย มักผสมกับคาร์บอนไดออกไซด์ มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย ไวรัส เชื้อรา รวมทั้งสปอร์ของแบคทีเรีย ใช้ได้ดีกับอุปกรณ์เครื่องมือเครื่องใช้ที่เป็นพลาสติกที่ทนความร้อนไม่ได้ และจำเป็นต้องทำให้ปราศจากเชื้อ
- 13) สารนาโนซิลเวอร์ (silver) อนุภาคซิลเวอร์นาโนหรือโลหะเงินมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี มีการนำนาโนซิลเวอร์มาใช้ในการผลิตตู้เย็นเพราะสามารถช่วยรักษาความเย็นและอนุภาคนาโนซิลเวอร์ยังช่วยยืดอายุของอาหารที่เก็บไว้ในตู้เย็น ผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ เช่น สำลี ผ้าพันแผลปลอดเชื้อ เป็นต้น
- 14) ไททาเนียมไดออกไซด์ (titanium dioxide) สามารถเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบใช้แสง เมื่อถูกกระตุ้นด้วยแสงที่มีพลังงานที่เหมาะสมจะทำให้อิเล็กทรอนิกส์ในไททาเนียมไดออกไซด์สามารถกำจัดสารอินทรีย์หรือเชื้อโรคที่เกาะอยู่บนอนุภาคได้
- 15) ซิงค์ออกไซด์ (zinc oxide) เป็นสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายกรดและเบส มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีสมบัติในการต้านแบคทีเรียและป้องกันแสงยูวีได้
- 16) ไคโตซาน (chitosan) เป็นสารธรรมชาติกลุ่มเดียวกับไคโรโบไฮเดรต ผลิตมาจากเปลือกกุ้ง เปลือกปู แกนปลาหมึก สารไคโตซานที่ได้สามารถนำมาทำการตกแต่งสำเร็จในอุตสาหกรรมสิ่งทอเพื่อยับยั้งแบคทีเรียได้ และไม่ทำให้เกิดการระคายเคืองกับผู้ใช้เนื่องจากเป็นสารที่สกัดจากธรรมชาติ

## 2.8 ซิลเวอร์ [23]

### 2.8.1 ประวัติของการใช้ซิลเวอร์เป็นสารฆ่าเชื้อ

ในยุคโบราณมีการใช้ซิลเวอร์สำหรับฆ่าเชื้อในน้ำดื่ม ต่อมาในปี ค.ศ.1884 Crede ได้ใช้ซิลเวอร์ไนเตรต (silver nitrate) ความเข้มข้น 1% เป็นน้ำยาล้างตาเพื่อฆ่าเชื้อ

ปี ค.ศ.1887 Von Behring ใช้ซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.025% ฆ่าเชื้อไทฟอยด์-บาซิลลัส (typhoid bacillus) และซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.01% ฆ่าเชื้อแอนแทรกซ์บาซิลลัส (anthrax bacillus)

ปี ค.ศ.1893 Von Nageli พบว่าการฆ่าเชื้อของซิลเวอร์ออกฤทธิ์ได้ดีแม้จะมีปริมาณน้อย

ปี ค.ศ.1964 Moyer, Monafu และ Burke ได้ใช้ซิลเวอร์ไนเตรตความเข้มข้น 0.5% กับแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก แต่ความนิยมน้อยลงไป เนื่องจากมีข้อจำกัดจากการติดสีของซิลเวอร์ไนเตรต

ปี ค.ศ.1968 Fox ได้ใช้ครีมซิลเวอร์ซัลฟาไดอะซีนกับแผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก ต่อมามีการพัฒนาใช้แผ่นปิดแผลผสมซิลเวอร์ ซึ่งพบว่าไม่เป็นพิษ ไม่รบกวนต่อการหายของบาดแผล และมีประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อ แต่ยังมีข้อจำกัดคือไม่สะดวกในการใช้งาน และต้องทำแผลบ่อย เนื่องจากออกฤทธิ์ไม่นาน

ต่อมาได้มีการพัฒนาวัสดุปิดแผลโดยผสมนาโนซิลเวอร์ (nanocrystalline silver dressing) ซึ่งสามารถทำลายเชื้อแบคทีเรียได้ภายใน 30 นาที ออกฤทธิ์นาน 3 - 7 วัน และยังช่วยให้บาดแผลหายเร็วขึ้น ใช้เพื่อป้องกันเชื้อแบคทีเรียจากภายนอก ใช้สำหรับแผลกดทับ แผลในคนไข้เบาหวาน และแผลไฟไหม้ระดับหนึ่งและสอง (first and second degree burn) ข้อดีของการใช้นาโนซิลเวอร์คือสามารถทำลายเชื้อได้มากกว่า 150 ชนิด ทั้งแบคทีเรียแกรมบวก แบคทีเรียแกรมลบ เชื้อรา และไวรัส รวมทั้งยังสามารถป้องกันและทำลายการสร้างไบโอฟิล์มได้อีกด้วย นอกจากนี้นาโนซิลเวอร์ยังสามารถทำลายเชื้อได้เร็วกว่าซิลเวอร์ซัลฟาไดอะซีนและซิลเวอร์ไนเตรต ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนวัสดุปิดแผลบ่อยๆ ทำให้บาดแผลสัมผัสกับสิ่งแวดล้อมภายนอกน้อยลง ลดความเสี่ยงต่อการติดเชื้อ และช่วยลดค่าใช้จ่ายในการรักษาของคนไข้ลงได้อีกด้วย

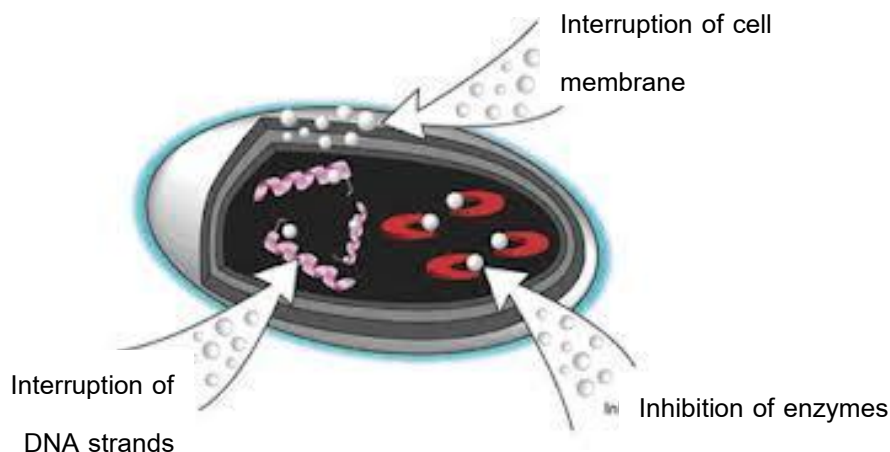
## 2.8.2 กลไกในการต้านแบคทีเรียของซิลเวอร์

กลไกในการฆ่าเชื้อของซิลเวอร์ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่สามารถสรุปคร่าวๆ โดยมีกลไก ดังนี้ (รูปที่ 2.7)

1) ซิลเวอร์ไอออนจะกระจายตัวและเกาะบริเวณผนังเซลล์ของแบคทีเรีย โดยซิลเวอร์ไอออน จะจับกับโปรตีนที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียคือหมู่ไทออล (thiol, -SH) เนื่องจากซิลเวอร์ไอออนเป็น เบสอ่อน (soft base) จึงสามารถจับกับกรดอ่อน (soft acid) เช่น กำมะถัน (S) และฟอสฟอรัส (P) ได้ดี ทำให้โปรตีนเกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพ (denature) การควบคุมการขนส่งสารเข้าออกจากเซลล์ จึงผิดปกติ ซิลเวอร์จึงสามารถแทรกเข้าสู่ภายในเซลล์ได้

2) ซิลเวอร์ไอออนที่แทรกเข้าไปภายในเซลล์จะทำให้ดีเอ็นเอภายในเซลล์ซึ่งประกอบด้วย ฟอสฟอรัสจำนวนมากเกิดการรวมตัวและสูญเสียความสามารถในการเพิ่มจำนวน (replication) แบคทีเรียจึงไม่สามารถเพิ่มจำนวนได้ และซิลเวอร์ไอออนที่แทรกเข้าไปยังสามารถจับกับโปรตีน ที่สำคัญอื่นๆ เช่น โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจระดับเซลล์ เมื่อโปรตีนเหล่านั้นไม่สามารถ ทำงานได้ปกติ แบคทีเรียจึงตายในที่สุด นอกจากนี้การขนส่งสารเข้าและออกเซลล์ที่ผิดปกตินี้ จะทำให้เซลล์แตก ทำให้แบคทีเรียตายเช่นกัน กลไกการทำงานของซิลเวอร์ไอออนข้างต้น มีประสิทธิภาพสูงกับแบคทีเรียแกรมลบมากกว่าแบคทีเรียแกรมบวก เนื่องจากแบคทีเรียแกรมลบ มีชั้นเพปทิโดไกลแคนที่บางกว่าแบคทีเรียแกรมบวก

ประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ขึ้นอยู่กับ ชนิดของแบคทีเรีย แต่เมื่อความเข้มข้นของอนุภาคนาโนซิลเวอร์มากกว่า 75 ส่วนในล้านส่วน ประสิทธิภาพการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียในเชื้อแต่ละชนิดจะไม่แตกต่างกัน ขนาดของ อนุภาคนาโนซิลเวอร์ที่สามารถฆ่าเชื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงอยู่ในช่วง 1-10 นาโนเมตร เนื่องจากอนุภาคนาโนขนาดเล็กมีพื้นผิวในการเกิดปฏิกิริยาสูงขึ้น ส่งผลให้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียเพิ่มขึ้น ผิวหน้าของอนุภาคนาโนซิลเวอร์ ที่สามารถจับกับแบคทีเรียได้ดีคือ ระนาบ (111) เนื่องจากอนุภาคนาโนซิลเวอร์มีขนาดเล็ก และมีจำนวนมาก ทำให้สามารถปลดปล่อยซิลเวอร์ไอออนออกมาความเข้มข้นสูง จึงสามารถ ฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.7 กลไกในการต้านแบคทีเรียของซิลเวอร์ [24]

## 2.9 การสังเคราะห์ซิลเวอร์ [25]

### 2.9.1 กระบวนการทางกายภาพ (physical approach)

ในกระบวนการทางกายภาพ อนุภาคโลหะนิยมสังเคราะห์จากวิธีการระเหยด้วยความร้อน (thermal evaporation) เป็นการเผาสารตั้งต้นในเตาเผาแบบท่อ (tube furnace) ที่อุณหภูมิสูง ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศที่ต้องการ อาศัยหลักการระเหยและการควบแน่น (evaporation-condensation) ใช้สังเคราะห์อนุภาคนาโนของวัสดุหลายชนิด เช่น ซิลเวอร์ (Ag) ทองคำ (Au) แร่กาลีนา (galena, PbS) และฟูลเลอร์รีน (fullerene) เป็นต้น แต่การสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ด้วยวิธีนี้มีข้อเสียคือเตาเผาแบบท่อที่มีช่องว่างมาก เกิดการสะสมพลังงาน จึงใช้เวลานานในการทำให้อุณหภูมิคงที่ โดยทั่วไปเตาเผาแบบท่อจะใช้พลังงานหลายกิโลวัตต์ และใช้เวลานานกว่าจะได้อุณหภูมิที่ต้องการ ต่อมาได้มีการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์โดยใช้เซรามิกฮีตเตอร์ขนาดเล็ก (ceramic heater) ซึ่งจะให้ความร้อนเฉพาะที่ ไอที่ระเหยออกมาจะถูกทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว จึงเกิดการควบแน่นได้อนุภาคนาโนขนาดเล็กและปริมาณมาก [26,27]

นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิลเวอร์ยังสามารถสังเคราะห์ได้จากเทคนิคการยิงด้วยเลเซอร์ (laser ablation) ลงบนกลุ่มโลหะในสารละลาย ลักษณะอนุภาคโลหะที่ได้และประสิทธิภาพการยิงเลเซอร์นั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ความยาวคลื่นของเลเซอร์ อัตราเร็วในการยิงเลเซอร์ และตัวกลางของเหลวซึ่งอาจมีหรือไม่มีสารลดแรงตึงผิว (surfactant) พลังงานของเลเซอร์

ที่ตกกระทบลงบนวัตถุ (laser fluence) เป็นปัจจัยที่สำคัญ การที่อนุภาคจะหลุดออกมาได้นั้น ต้องการพลังงานเพียงเล็กน้อย ถ้าพลังงานที่ตกกระทบลงบนวัตถุมีปริมาณมาก อนุภาคที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้น นอกจากนี้อัตราเร็วในการยิงเลเซอร์ยังมีผลต่อความเข้มข้นและลักษณะของอนุภาคที่ได้ในสารละลาย อย่างไรก็ตามขนาดและรูปร่างของอนุภาคสามารถปรับปรุงได้โดยปรับการยิงแสงเลเซอร์ หรือการใช้สารลดแรงตึงผิว ถ้าใช้สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นสูงจะได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าการใช้สารลดแรงตึงผิวที่ความเข้มข้นต่ำๆ ข้อดีของการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ด้วยวิธีนี้คือไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมี จึงได้อนุภาคออกมาในรูปของคอลลอยด์ที่บริสุทธิ์ [28,29]

### 2.9.2 กระบวนการทางเคมี (chemical approach)

การรีดักชันทางเคมี (chemical reduction) เป็นวิธีที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคซิลเวอร์ซึ่งได้อนุภาคซิลเวอร์ที่มีความเสถียรในรูปของคอลลอยด์ในตัวกลางน้ำหรือตัวทำละลายอินทรีย์ สารรีดิวซ์ที่นิยมใช้ ได้แก่ โบโรไฮไดรด์ (borohydride), ซิเตรต (citrate), แอสคอเบต (ascorbate) และธาตุไฮโดรเจน เป็นต้น การรีดักชันซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) ในสารละลาย จะได้ซิลเวอร์คอลลอยด์โดยอนุภาคซิลเวอร์ที่ได้จะมีขนาดแตกต่างกันออกไป การรีดักชันนั้นเริ่มต้นจากการเปลี่ยนรูปจากซิลเวอร์ไอออนเป็นอะตอมซิลเวอร์ ( $Ag^0$ ) จากนั้นเกิดการรวมกลุ่มกันเป็นก้อนอนุภาคในสารละลายได้เป็นคอลลอยด์ออกมา [30]

ในช่วงแรกเริ่มนั้นนิยมทำรีดักชันโดยการใช้สารรีดิวซ์ที่มีฤทธิ์แรงคือโบโรไฮไดรด์ สามารถสังเคราะห์ได้อนุภาคขนาดเล็ก แต่ควบคุมการเกิดอนุภาคขนาดใหญ่ได้ยากเช่นกัน ส่วนการใช้สารรีดิวซ์ที่มีฤทธิ์อ่อนคือซิเตรต มีอัตราการเกิดรีดักชันช้า และได้อนุภาคที่มีขนาดแตกต่างกันมาก จึงมีการใช้สารคงสภาพ (stabilizing agent) เช่น ไดเดคเคนไทโธล (dodecanethiol) พอลิไวนิลไพโรลิโดน (poly(vinylpyrrolidone), PVP) พอลิเอทิลีนไกลคอล (poly(ethylene glycol), PEG) พอลิเมทาไครลิกแอซิด (poly(methacrylic acid), PMAA) เป็นต้น ระหว่างการเตรียมอนุภาคซิลเวอร์เพื่อป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาค ส่งผลให้สังเคราะห์ได้อนุภาคขนาดเล็กที่มีขนาดใกล้เคียงกัน [31,32,33]



นอกจากนั้นอนุภาคซิลเวอร์ยังสามารถสังเคราะห์ได้จากการรีดักชันด้วยแสงยูวี (photoreduction) ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและมีประสิทธิภาพ ซึ่งอาจมีการเติมสารคงสภาพลงไปด้วยเพื่อป้องกันการรวมตัวกันของอนุภาคซิลเวอร์ ลักษณะและรูปร่างของอนุภาคซิลเวอร์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาในการฉายแสงยูวี อนุภาคซิลเวอร์จะมีขนาดใหญ่เมื่อฉายแสงยูวีเป็นเวลานานหลาย ชั่วโมง [34]

การทำรีดักชันทางชีวภาพ (bioreduction) คือใช้สารรีดิวซ์ที่สังเคราะห์ได้จากธรรมชาติ เช่น พอลิแซคคาไรด์ (polysaccharides) สารจากแบคทีเรียหรือเชื้อรา สารที่สกัดได้จากพืช เป็นต้น เป็นวิธีที่มีขั้นตอนซับซ้อน พื้นฐานหลักๆคือเลือกสารละลายตัวกลางที่เหมาะสมในการทำรีดักชัน เลือกสารทางชีวภาพเพื่อใช้เป็นสารรีดิวซ์ซึ่งสามารถสกัดได้จากธรรมชาติ เช่น กลูโคส (glucose) สารสกัดจากชาเขียว (*Camellia sinensis*) และแบคทีเรีย *บาซิลลัส ไลเคนิฟอर्मิส* (*Bacillus licheniformis*) เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตาม การสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้มีข้อเสียคือได้สารรีดิวซ์ที่มีฤทธิ์อ่อน เกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง [35,36,37]

## 2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Ravindra และคณะ [38] ได้ทำการปรับปรุงเส้นใยฝ้ายด้วยซิลเวอร์โดยกระบวนการรีดักชันทางชีวภาพโดยใช้สารสกัดจากไยยูคาลิปตัส (*Eucalyptus citriodora*) และใบไทร (*Ficus bengalensis*) ชั้นแรกนำไยยูคาลิปตัสและใบไทรต้มในน้ำกลั่นที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที กรองแล้วเก็บที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นนำสารละลายที่สกัดได้ 5 มิลลิลิตร มาผสมกับสารละลายซิลเวอร์ในเทรต 5 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้อง เนื่องจากสารที่สกัดได้เป็นพอลิแซคคาไรด์ประกอบด้วย p-menthane-3,8-diol,  $\beta$ -sitosterol,  $\alpha$ -d-glucose และ mesoinositol ซึ่งมีหมู่ไฮดรอกซิล หมู่คาร์บอกซิลิก และหมู่เอมิโนที่ช่วยในการเกิดรีดักชัน เปลี่ยนเป็นอนุภาคซิลเวอร์ และนำเส้นใยฝ้ายมาแช่ในสารละลายซิลเวอร์คอลลอยด์ กวนเป็นเวลา 24 ชั่วโมง อนุภาคซิลเวอร์จะไปเกาะที่เส้นใยฝ้ายจึงได้เส้นใยฝ้ายตกแต่งด้วยอนุภาคซิลเวอร์ หลังจากนั้นนำผ้าไปทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าให้ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ดี

Ilic และคณะ [39] ได้ทำการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์โดยกระบวนการรีดักชันทางเคมี ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (sodium borohydride) เป็นสารรีดิวซ์ (reducing agent) นำซิลเวอร์ในเทรตมาละลายน้ำ และเติมโซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงไป ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมงในบรรยากาศของก๊าซอาร์กอน ซิลเวอร์ในเทรตจะถูกรีดิวซ์เป็นอนุภาคซิลเวอร์ จากนั้นนำผ้าฝ้ายมาแช่ในซิลเวอร์คอลลอยด์ 5 นาที ทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้องและบ่มที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จะได้ผ้าฝ้าย ตกแต่งด้วยอนุภาคซิลเวอร์ หลังจากนั้นนำผ้าไปทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าให้ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ดี

Filipowska และคณะ [40] ได้ทำการปรับปรุงผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์ โดยใช้หลักการเปลี่ยนรูปทางเคมีโดยแสง (photochemical transformation) โดยเปลี่ยนจากซิลเวอร์คลอไรด์เป็นอนุภาคซิลเวอร์ภายใต้การฉายแสงยูวี วิธีการคือนำผ้าไปแช่ในสารละลายซิลเวอร์ในเทรต และนำมาแช่ต่อในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ หลังจากที่ซิลเวอร์คลอไรด์ตกตะกอนบนผ้าแล้ว นำผ้าไปผ่านแสงยูวีเพื่อเปลี่ยนซิลเวอร์ไอออนให้เป็นอนุภาคซิลเวอร์ หลังจากนั้นนำผ้าไปทดสอบการต้านเชื้อจุลินทรีย์ พบว่าให้ผลการต้านเชื้อจุลินทรีย์ที่ดี ข้อดีของวิธีนี้คือสามารถดำเนินการได้อย่างต่อเนื่องโดยปราศจากมลพิษจากสารเคมี เนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้สารรีดิวซ์

Tian และคณะ [41] ได้ทำการศึกษาการรักษาบาดแผลของหนูด้วยผ้าปิดแผลที่ผสมนาโนซิลเวอร์ ซึ่งสังเคราะห์จากการทำรีดักชันซิลเวอร์ในเทรตด้วยโบโรไฮไดรด์ โดยมีการใส่ซิเตรต (citrate) เป็นสารเพิ่มความเสถียร (stabilizing agent) เปรียบเทียบกับผ้าปิดแผลที่ใส่ครีมซิลเวอร์ซัลฟาไดอะซีน (silver sulfadiazine cream) และบาดแผลที่รักษาด้วยตัวเอง พบว่านาโนซิลเวอร์ช่วยให้บาดแผลหายเร็วขึ้นประมาณ 10 วัน และมีอัตราการรักษาบาดแผลให้หายเร็วขึ้นมากที่สุด ผิวของบาดแผลที่รักษาด้วยนาโนซิลเวอร์มีลักษณะเหมือนผิวปกติ พบแผลเป็นน้อยมาก ผิวหนังชั้นนอกบางและมีขนขึ้นตามปกติ ต่างจากบาดแผลที่รักษาด้วยซิลเวอร์ซัลฟาไดอะซีนจะเห็นว่าผิวหนังชั้นนอกหนาและไม่มีขนขึ้น

Chen และ Chiang [42] ได้ศึกษาการตกแต่งสำเร็จผ้าฝ้ายด้วยซิลเวอร์ โดยมีการทำพรีทรีทเมนต์ (pre-treatment) ผ้าฝ้ายด้วย glycidyl-methacrylate-aminodiacetic acid (GMA-IDA) เพื่อเพิ่มประจุลบบนผิวผ้าฝ้ายทำให้สามารถดูดซับซิลเวอร์ที่มีประจุบวกได้มากขึ้น จากนั้นฉายแสงยูวีเพื่อเปลี่ยนจากซิลเวอร์ไอออนเป็นอนุภาคซิลเวอร์บนผิวผ้าฝ้าย จากผลการทดลองพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสารละลาย GMA-IDA แล้วจะพบ GMA-IDA กราฟต์ลงบนเส้นใยเพิ่มขึ้นสามารถดูดซับซิลเวอร์ไอออนได้ปริมาณมากขึ้น

สิริวรรณ กิตติเนาวรัตน์ และคณะ [43] ได้ทำการดัดแปรผ้าฝ้ายกอชด้วยคาร์บอกซีเมทิลเลชันโดยใช้ปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชันกับโซเดียมไฮดรอกไซด์และกรดโมโนคลอโรแอซิดิก พบว่าค่าระดับการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลของผ้าฝ้ายกอชด้วยหมู่คาร์บอกซิลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของกรดโมโนคลอโรแอซิดิก ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เมื่อนำผ้าฝ้ายกอชที่ดัดแปรมาดูดซับด้วยสารโคโคซาน พบว่าให้ผลการดูดซับสารโคโคซานเพิ่มขึ้น เมื่อระดับการแทนที่ของผ้าฝ้ายกอชที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังได้นำผ้าฝ้ายกอชที่ดัดแปรด้วยวิธีดังกล่าวมาศึกษาการแข็งตัวของเลือดด้วยเช่นกัน ผลการแข็งตัวของเลือดพบว่าผ้าฝ้ายกอชที่ดัดแปรด้วยคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.46 ให้ผลการแข็งตัวของเลือดที่เร็วขึ้น แต่เมื่อระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นกลับได้ผลของการแข็งตัวของเลือดช้าลง และช้ากว่าของผ้าฝ้ายกอชที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร จึงไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนไปว่าผลการแข็งตัวของเลือดที่ดีขึ้นเนื่องมาจากระดับการแทนที่ของหมู่คาร์บอกซิลบนผ้าฝ้ายกอชที่ดัดแปรหรือมาจากกลุ่มเลือดของผู้บริจาคเลือดในการทดสอบ

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

##### 3.1.1 วัสดุดิบ

- 1) ผ้าฝ้ายกอช ชนิดเบอร์ V จากบริษัท ลิเมอร์

จำนวนเส้นด้ายยืนต่อเส้นด้ายพุ่งเท่ากับ 21x19 เส้น ต่อตารางนิ้ว

##### 3.1.2 สารเคมี

- 1) ไอโซโพรพานอล (Isopropanol,  $C_3H_7OH$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) จากบริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป

- 2) กรดโมโนคลอโรแอซติก (Monochloroacetic acid,  $ClCH_2COOH$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) จากบริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป

- 3) โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide,  $NaOH$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) จากบริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป

- 4) กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid,  $HCl$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) จากบริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป

- 5) เอทานอล (Ethanol,  $C_2H_5OH$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) จากบริษัท แล็บซีสเต็มส์ จำกัด

- 6) ซิลเวอร์ไนเตรต (Silver nitrate,  $AgNO_3$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) จากบริษัท แล็บซีสเต็มส์ จำกัด

- 7) โซเดียมคลอไรด์ (Sodium chloride,  $NaCl$ ) เกรดวิเคราะห์ (AR grade) จากบริษัท ห้างหุ้นส่วนจำกัด ที.ซี. สถาพร กรุ๊ป

### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

- 1) เครื่องบีบอัดแบบลูกกลิ้ง (Padder)
- 2) เครื่องบ่มสารเคลือบผิวแสงยูวี แหล่งกำเนิดแสงยูวีทำจากปรอทภายใต้ความดันปานกลาง รุ่น UVTEC12 บริษัท คอมพรีนซ์ ประเทศไทย จำกัด
- 3) จานวัดค่าพลังงานความเข้มแสงยูวี (UV-Integrater, Nachster Pruffermin)

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

- 1) เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrophotometer (FT-IR) Nicolet รุ่น 6700, Thermo scientific)
- 2) เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกโตมิเตอร์ (X-ray Diffractometer (XRD) รุ่น D8 Advanced, Bruker)
- 3) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope (SEM) รุ่น JSM-6400, JEOL)
- 4) เครื่องวัดสี (Reflectance Spectrophotometer รุ่น Macbeth Color Eye 7000)
- 5) เครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะลุ (Bursting Strength Tester รุ่น CY-6103A1, SANGYO)

### 3.4 การดำเนินการวิจัย

#### 3.4.1 การตัดแปรผ้าฝ้ายกอสด้วยวิธีคาร์บอกซิเมทิลเลชันโดยวิธีการดูดซับ (Exhaustion)

- 1) เตรียมผ้าฝ้ายกอสน้ำหนัก 20 กรัม
- 2) นำผ้าฝ้ายกอสที่เตรียมไว้ในข้อ 1 ไปจุ่มแช่ในบีกเกอร์ที่มีสารละลายผสมระหว่างน้ำ 80 มิลลิลิตร และไฮโซโพรพานอล 320 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของน้ำต่อไฮโซโพรพานอล เท่ากับ 1 ต่อ 4) พร้อมทั้งปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที
- 3) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้มีความเข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยนำโซเดียมไฮดรอกไซด์ปริมาณ 35 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 100 มิลลิลิตร
- 4) เทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ที่เตรียมในข้อ 3 ลงไปในบีกเกอร์ข้อ 2 พร้อมทั้งปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 30 นาที

5) เตรียมสารละลายกรดโมโนคลอโรแอซิติคให้มีความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยนำกรดโมโนคลอโรแอซิติคปริมาณ 15 กรัม มาละลายในไอโซโพรพานอลให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 100 มิลลิลิตร

6) เทสารละลายกรดโมโนคลอโรแอซิติคความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตรที่เตรียมในข้อ 5 ลงในบีกเกอร์ข้อ 4 พร้อมทั้งปั่นกวนด้วยแท่งแม่เหล็กเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

7) นำผ้าฝ้ายกอกชออกจากบีกเกอร์ในข้อ 6 แล้วนำผ้ากอกชไปจุ่มลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำกลั่นอยู่ปริมาตร 500 มิลลิลิตร

8) ทำให้เป็นกลางโดยหยดสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ลงในบีกเกอร์ข้อที่ 7 จนสารละลายได้ค่า pH เท่ากับ 7

9) นำผ้าฝ้ายกอกชที่ได้จากข้อ 8 มาล้างด้วยสารละลายผสมระหว่างเอทานอลและน้ำ โดยอัตราส่วนเท่ากับ 9:1

10) นำผ้าฝ้ายกอกชที่ได้จากข้อ 9 มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำมาทิ้งไว้ให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

11) ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเข้มข้นสารละลายกรดโมโนคลอโรแอซิติคเป็นร้อยละ 20 และ 25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร

### 3.4.2 การตกแต่งผ้าฝ้ายกอกชด้วยอนุภาคซิลเวอร์

1) เตรียมผ้าฝ้ายกอกชที่ผ่านการตัดแปรรูปและไม่ผ่านการตัดแปรรูปด้วยคาร์บอกซีเมทิลเลชัน น้ำหนัก 2.2 กรัม

2) เตรียมสารละลายซิลเวอร์ในเทรตให้มีความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ โดยนำซิลเวอร์ในเทรตปริมาณ 1 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 300 มิลลิลิตร

3) นำผ้าฝ้ายกอกชที่เตรียมไว้ในข้อ 1 ไปจุ่มแช่ในอ่างที่มีสารละลายซิลเวอร์ในเทรตความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ที่เตรียมในข้อ 2 เป็นเวลา 5 นาที

4) นำผ้าฝ้ายกอกชจากข้อที่ 3 มาอัดรีดให้ได้ %pick up ประมาณ 80 - 90% ด้วยเครื่องบีบอัดตามที่แสดงในรูปที่ 3.1

- 5) นำผ้าฝ้ายกอกชจากข้อที่ 4 มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที
- 6) เตรียมสารละลายโซเดียมคลอไรด์ให้มีความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ โดยนำโซเดียมคลอไรด์ ปริมาณ 0.35 กรัม มาละลายในน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรทั้งหมด 300 มิลลิลิตร
- 7) นำผ้าฝ้ายกอกชจากข้อที่ 5 ไปจุ่มแช่ในอ่างที่มีสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้น 0.02 โมลาร์ ที่เตรียมในข้อ 6 เป็นเวลา 5 นาที
- 8) นำผ้าฝ้ายกอกชจากข้อที่ 7 มาอัดรีดให้ได้ %pick up ประมาณ 80 - 90%
- 9) นำผ้าฝ้ายกอกชจากข้อที่ 8 มาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสจนแห้ง
- 10) นำผ้าฝ้ายกอกชจากข้อที่ 9 ไปผ่านการฉายแสงยูวีด้วยเครื่องบ่มสารเคลือบผิวแสงยูวี ตามที่แสดงในรูปที่ 3.2 ที่ความเข้มแสงยูวีประมาณ 300 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งวัดค่า ความเข้มแสงโดยใช้จนวนวัดค่าพลังงานความเข้มแสงยูวี ตามที่แสดงในรูปที่ 3.3
- 11) ทำการทดลองซ้ำ โดยเปลี่ยนความเข้มแสงยูวีเป็น 500 และ 700 มิลลิจูลต่อตาราง- เซนติเมตร



รูปที่ 3.1 เครื่องบีบอัด (Padder)



รูปที่ 3.2 เครื่องปั๊มสารเคลือบผิวแสงยูวี รุ่น UVTEC12



รูปที่ 3.3 งานวัดค่าพลังงานความเข้มแสงยูวี

### 3.4.3 การวิเคราะห์โครงสร้างทางเคมีของผ้าฝ้ายกอชที่ดัดแปรด้วยเครื่องฟูเรียร์-ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (ATR-FTIR)

วิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันโดยใช้เทคนิค Attenuated Total Reflection (ATR) ด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) รุ่น Nicolet 6700 ตามที่แสดงในรูปที่ 3.4 โดยตั้งค่า Resolution  $4.0\text{ cm}^{-1}$  และ Number of sample scan เท่ากับ 64 ในช่วง wave numbers ตั้งแต่  $4000$  ถึง  $400\text{ cm}^{-1}$  เทคนิคนี้เหมาะสำหรับตัวอย่างที่ยากต่อการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแบบส่องผ่าน (Transmission) ทดสอบโดยนำตัวอย่างผ้าฝ้ายกอชหรือผ้าฝ้ายกอชที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันมาวางสัมผัสกับแผ่นคริสตัล (crystal) ซึ่งเป็นวัสดุที่ยอมให้แสงอินฟราเรดผ่านได้และมีค่าดัชนีหักเหสูง โดยลำแสงอินฟราเรดจะถูกโฟกัสไปที่ผลึกหรือเพลตตัวอย่าง (sample plate) ด้วยมุมตกกระทบที่มากกว่า



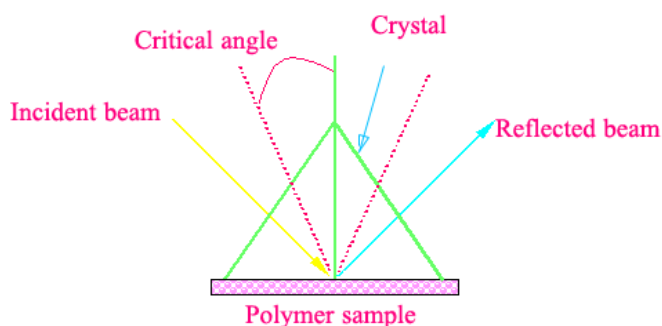
มุมวิกฤต (critical angle,  $\theta_c$ ) ของคริสตัลชนิดนั้น ตามที่แสดงในรูปที่ 3.5 และลำแสงจะเดินทางผ่านคริสตัล หลังจากนั้นลำแสงจะทะลุทะลวงเข้าไปที่ผิวตัวอย่างด้วยความลึกในระดับไมโครเมตรและเกิดการสะท้อนที่ผิวหน้า ลำแสงบางส่วนถูกดูดกลืน (absorb) ส่วนลำแสงที่เกิดการสะท้อนจะตรงไปยังสเปกโตรมิเตอร์และถูกแปลงเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันกับความยาวคลื่นได้เป็นสเปกตรัม (spectrum) จากนั้นคำนวณหาค่าระดับการแทนที่ จากการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่คาร์บอกซิลบนผ้าฝ้ายกอตต์ดแปร ( $DS_{rel}$ ) ตามสมการที่ 1 [43]

$$DS_{rel} = R_{rel} - 1 \quad (1)$$

เมื่อ  $R_{rel}$  คืออัตราส่วนของพื้นที่ได้กราฟของการดูดซับที่ตำแหน่ง  $1605 \text{ cm}^{-1}$  (กำหนดให้เป็นการสั่นแบบยืดออกของหมู่คาร์บอกซิล  $\text{COO}^-$ ) ต่อพื้นที่ได้กราฟของการดูดซับที่  $2880 \text{ cm}^{-1}$  (กำหนดให้เป็นการสั่นแบบยืดออกของพันธะคาร์บอนไฮโดรเจน C-H)



รูปที่ 3.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น Nicolet 6700



รูปที่ 3.5 การสะท้อนของลำแสงอินฟราเรดในเทคนิค ATR [44]

### 3.4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (XRD)

เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffraction, XRD) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาวิเคราะห์โครงสร้างผลึกที่ไม่ทำละลายชิ้นงานตัวอย่าง โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ (XRD) รุ่น D8 Advanced ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.6 ในการตรวจสอบหาเฟสที่สนใจ เริ่มจากการนำตัวอย่างผงฝ้ายกอกหรือผ้าฝ้ายกอกที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันทั้งที่ผ่านการเคลือบและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์มายึดกับตัวจับ (holder) ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 3.7 จากนั้นนำไปวางที่บริเวณช่องสำหรับวางชิ้นงานในเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทมิเตอร์ แล้วจึงเดินเครื่องโดยใช้เป้าทองแดง ( $\text{CuK}\alpha$ ) ที่ให้รังสีเอ็กซ์ค่าความยาวคลื่นประมาณ 1.541 อังสตรอม (Å) ที่อัตราเร็วการสแกน 0.02 องศาต่อวินาที จากค่ามุม  $2\theta$  ที่ 5 องศาถึง 90 องศา โดยรังสีเอ็กซ์จะตกกระทบลงบนผิววัสดุแล้วเกิดการกระเจิง (scattering) และเลี้ยวเบนโดยมีมุมในการเลี้ยวเบนแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับโครงสร้างผลึกและระนาบ (hkl) ที่รังสีตกกระทบภายในวัสดุ โดยรูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของวัสดุแต่ละชนิดนั้นจะมีความเฉพาะเจาะจงสำหรับวัสดุนั้นๆ จากนั้นเครื่องมือสำหรับตรวจวัด (detector) จะตรวจจับรังสีเอ็กซ์ที่กระเจิงออกมาจากวัสดุในตำแหน่งต่างๆ (รูปที่ 3.8) และถูกแปลงเป็นสัญญาณที่เป็นฟังก์ชันระหว่างค่ามุมของแบรกก์ (Bragg's angle) กับความเข้มของรังสีเอ็กซ์ของรูปแบบการเลี้ยวเบนที่ปรากฏ จากนั้นนำรูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ที่ตรวจสอบได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลของสารชนิดต่างๆที่มีอยู่ในฐานข้อมูลมาตรฐาน (JCPDS files) เพื่อตรวจสอบชนิดของเฟสที่เกิดขึ้น และจากรูปแบบของการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์สามารถนำข้อมูลมาใช้คำนวณหาขนาดของเฟสที่ต้องการศึกษาได้โดยอาศัยสมการของ Scherrer สมการที่ 2 [45]

$$D = 0.891\lambda / \beta \cos\theta \quad (2)$$

เมื่อ D คือ ขนาดของผลึก

$\lambda$  คือ ความยาวคลื่นของรังสีเอ็กซ์ในการทดลองนี้คือ 1.541 นาโนเมตร

$\beta$  คือ Full Width at Half Maximum (เรเดียน)

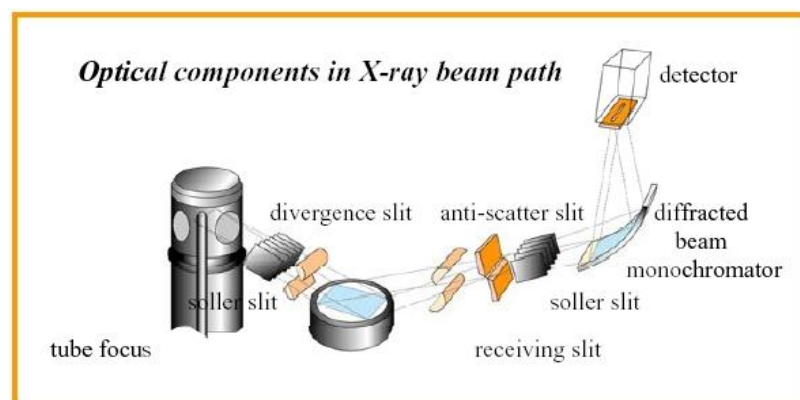
$\theta$  คือ มุมแบรกก์ (องศา)



รูปที่ 3.6 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ รุ่น D8 Advanced



รูปที่ 3.7 ตัวจับ (holder)



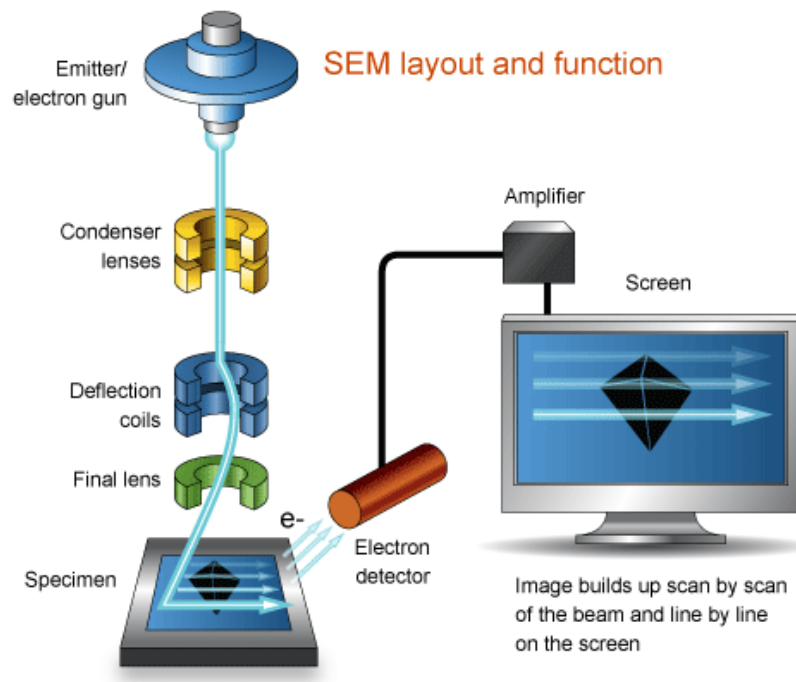
รูปที่ 3.8 แผนผังหลักการทำงานของเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ [46]

### 3.4.5 การวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

นำตัวอย่างผ้าฝ้ายกอกซหรือผ้าฝ้ายกอกซที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันทั้งที่ผ่านการเคลือบและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์มาทำการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและการกระจายตัวของอนุภาคซิลเวอร์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM-6400 ตามที่แสดงในรูปที่ 3.9 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาใช้ประกอบในการอธิบายถึงประสิทธิภาพการยึดเกาะของสารซิลเวอร์บนผ้าฝ้ายกอกซหรือบนผ้าฝ้ายกอกซที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน โดยเริ่มจากการนำตัวอย่างแต่ละชิ้นไปยึดบนแท่นทองเหลือง (stub) ติดเทปกาวสองหน้าแบบบางโดยจัดให้ผิวหน้าของตัวอย่างเหมาะสมต่อการทดสอบ จากนั้นทำการเคลือบผิวหน้าของตัวอย่างด้วยทองคำสำหรับทำเป็นขั้วไฟฟ้า โดยใช้เทคนิค sputtering เป็นเวลานาน 40 วินาที จากนั้นจึงนำไปทำการทดสอบ เริ่มจากการยิงลำอิเล็กตรอน (primary electron) หลังจากลำอิเล็กตรอนถูกกราดลงบนชิ้นงานจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (secondary electron) ขึ้น ซึ่งสัญญาณจากอิเล็กตรอนทุติยภูมินี้จะถูกบันทึก และแปลงไปเป็นสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์และถูกนำไปสร้างเป็นภาพบนจอโทรทัศน์ต่อไป (รูปที่ 3.10) โดยภาพที่ออกมาจะมีลักษณะ 3 มิติ และสามารถบันทึกภาพจากหน้าจอโทรทัศน์ได้เลย



รูปที่ 3.9 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) รุ่น JSM-6400



รูปที่ 3.10 แผนผังหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด [47]

### 3.4.6 ทดสอบความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือ ตามมาตรฐาน ASTM D1117-80

เตรียมตัวอย่างผ้าฝ้ายกอมหรือผ้าฝ้ายกอมที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันทั้งที่ผ่านการเคลือบและไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ขนาดประมาณ 4 ตารางเซนติเมตร (2x2 ตารางเซนติเมตร) นำไปชั่งน้ำหนัก (W1) จากนั้นนำตัวอย่างไปแช่ในน้ำเกลือ (ความเข้มข้นร้อยละ 0.9 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร) ปริมาณ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที คีบตัวอย่างขึ้นมาปล่อยให้ น้ำเกลือส่วนเกินหยดประมาณ 30 วินาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W2) คำนวณปริมาณการดูดซับน้ำเกลือ (หน่วยกรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร) ตามสมการที่ 3 [48]

$$(W2 - W1) \times 25 \quad (3)$$

เมื่อ W1 คือน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างก่อนแช่ในน้ำเกลือ

W2 คือน้ำหนักชิ้นงานตัวอย่างหลังแช่ในน้ำเกลือ

### 3.4.7 วัดความเข้มของสีผ้า และความขาวตามมาตรฐาน ASTM E313-05 ด้วยเครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer

วัดค่าความเข้มของสีผ้า และความขาวของผ้าฝ้ายกอมที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันเทียบกับผ้าฝ้ายกอมที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร และเปรียบเทียบผ้าฝ้ายกอมที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์กับผ้าฝ้ายกอมที่ไม่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ด้วยเครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer รุ่น Macbeth Color Eye 7000 ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.11 ก่อนวัดพับผ้าขึ้นตัวอย่างทดสอบ 2 ทบ และทำการวัดซ้ำ 5 ตำแหน่งต่อชิ้นผ้าตัวอย่างทดสอบ ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 360 ถึง 750 นาโนเมตร เพื่อวัดค่าดัชนีความขาว (whiteness index) ของตัวอย่าง



รูปที่ 3.11 เครื่องวัดสี Reflectance Spectrophotometer รุ่น Macbeth Color Eye 7000

### 3.4.8 วัดค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอมหลังผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซี-เมทิลเลชัน

วัดค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอมที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันเทียบกับผ้าฝ้ายกอมที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร โดยวางผ้าขึ้นตัวอย่างทดสอบก่อนทำการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันให้อยู่ในสภาพเรียบ วัดขนาดทั้งความกว้างและความยาวแล้วคำนวณหาพื้นที่ของผ้าฝ้ายกอมก่อนการดัดแปร (A1) หลังผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน นำผ้าที่ผ่านการดัดแปรแล้วนั้นมาวัดขนาดทั้งความกว้างและความยาวแล้ว

คำนวณหาพื้นที่ของผ้าฝ้ายกอกชหลังผ่านการดัดแปร (A2) คำนวณค่าเปอร์เซ็นต์การหดตัว ตามสมการที่ 4 ดัดแปลงจากมาตรฐาน AATCC 135-2001

$$(A1 - A2)/A1 \times 100 \quad (4)$$

เมื่อ A1 คือพื้นที่ของผ้าฝ้ายกอกชก่อนการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน

A2 คือพื้นที่ของผ้าฝ้ายกอกชหลังผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน

### 3.4.9 ทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะเลตามมาตรฐาน ASTM D3786-08

ทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะเลตามมาตรฐาน ASTM D3786-08 ด้วยเครื่องทดสอบความต้านทานต่อแรงดันทะเล รุ่น CY-6103A1 ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.13 เริ่มจากตัดตัวอย่างให้มีขนาด 125x125 ตารางมิลลิเมตรเป็นอย่างต่ำ ทำการทดสอบโดยวางชิ้นทดสอบบนไดอะแฟรม (รูปที่ 3.12) ในสภาพเรียบและไม่มีแรงดึง ยึดชิ้นทดสอบในที่ยึดวงกลมให้แน่นเพื่อป้องกันการลื่นหลุดระหว่างการทดสอบ หลีกเลียงไม่ให้เกิดความเสียหายบริเวณพื้นที่ยึด ปรับเข็มวัดค่าให้อยู่ที่ตำแหน่งศูนย์ แล้วจึงทำการทดสอบจนผ้าขาดทะเล บันทึกค่าแรงดันทะเล ทดสอบซ้ำอีก 4 ครั้ง ที่ตำแหน่งต่างๆกันบนตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.12 ลักษณะแผ่นไดอะแฟรม



รูปที่ 3.13 เครื่องทดสอบความต้านแรงดันทะเล รุ่น CY-6103A1

### 3.4.10 ทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรีย ตามมาตรฐาน AATCC100-04

ทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรียโดยใช้เทคนิคการนับโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ ตามมาตรฐาน AATCC100-04 และทำการทดสอบเชื้อจุลินทรีย์ 2 ชนิด ได้แก่ *เอสเชอริเชีย โคลิ* (*Escherichia coli*) และ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* (*Staphylococcus aureus*)

#### 3.4.10.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1) ทำการเตรียมเชื้อจุลินทรีย์แต่ละชนิดลงในหลอดเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอาหารเลี้ยงเชื้อ ชนิดเหลว (nutrient broth) เลี้ยงเชื้อเป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยให้มีความเข้มข้นของจุลินทรีย์เริ่มต้น ประมาณ  $10^9 - 10^{11}$  CFU/ml

2) ตัดตัวอย่างผ้าฝ้ายกอสซีที่ต้องการทดสอบเป็นวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 เซนติเมตร ซ้อนกัน 4 ชั้น จากนั้นนำผ้าตัวอย่างไปใส่ขวดรูปชมพู่ตัวอย่างละ 2 ขวด โดยขวดที่ 1 ทดสอบหา ปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ 0 ชั่วโมง และขวดที่ 2 ทดสอบหาปริมาณเชื้อที่แบคทีเรียที่ 24 ชั่วโมง

3) ดูดเชื้อจุลินทรีย์ที่เลี้ยงไว้ในข้อ 1 มาใส่ขวดที่เตรียมไว้ในข้อ 2 ขวดละ 1 มิลลิลิตร

4) นำขวดที่ 1 มาล้างทันทีด้วยสารละลายไฮเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 100 มิลลิลิตร พร้อมทั้งเขย่าขวดเป็นเวลา 1 นาที ส่วนขวดที่ 2 นำไปเก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

5) จากนั้นดูดสารละลายที่ได้จากข้อ 4 มาใส่ในหลอดทดลองปริมาณ 1 มิลลิลิตร และเติมสารละลายไฮเดียมคลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 0.85 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาณ 9 มิลลิลิตร ลงไปเจือจาง

6) จากนั้นดูดสารละลายที่ได้จากข้อ 5 มาใส่ในจานเพาะเชื้อที่ทำกรเตรียมอาหารเลี้ยง เชื้อชนิดแข็ง (nutrient agar) ไว้แล้ว ใช้แท่งแก้วรูปตัววาย (Y-loop) เกลี่ยเชื้อจุลินทรีย์ให้ทั่ว จานเพาะเชื้อจำนวน 3 จาน ปริมาณจานละ 0.1 มิลลิลิตร นำไปบ่มไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

7) นำจานเพาะเชื้อในข้อ 6 ออกจากตู้บ่มเชื้อและทำการนับจำนวนโคโลนีของเชื้อจุลินทรีย์ ในจานเพาะเชื้อด้วยกล้องจุลทรรศน์ จากนั้นทำการคำนวณเป็นปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด ที่เหลืออยู่ (หน่วยเป็น CFU/ml)



8) นำขวดใบที่ 2 ที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ครบเวลา 24 ชั่วโมง มาทำการทดลองตามขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 7

9) นำจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียมาคำนวณร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย (% Reduction, %R) ตามสมการที่ 4 [43]

$$\%R = (A - B) / A \times 100 \quad (5)$$

เมื่อ A คือจำนวนแบคทีเรียที่นับได้ในเวลา 0 ชั่วโมง

B คือจำนวนแบคทีเรียที่นับได้ในเวลา 24 ชั่วโมง

### 3.4.11 ทดสอบสมบัติทางด้านการแข็งตัวของเลือด (whole blood clotting time) ด้วยวิธี Lee and White

ขั้นตอนการทดสอบ

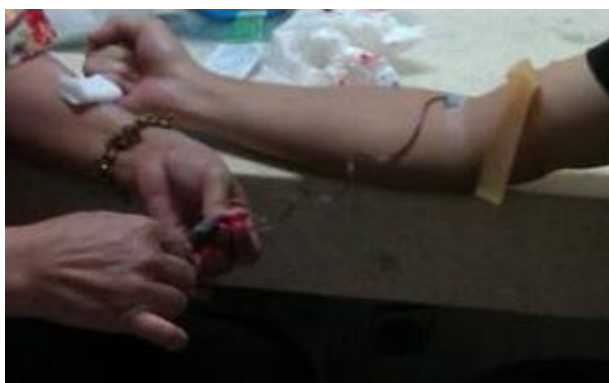
1) ตัดตัวอย่างผ้าฝ้ายกอสที่ต้องการทดสอบน้ำหนักประมาณ 10 มิลลิกรัม จากนั้นปรับสภาวะตัวอย่างทดสอบ (condition) โดยนำตัวอย่างไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

2) นำตัวอย่างผ้าฝ้ายกอสมาใส่ในหลอดทดลองขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1.5 เซนติเมตร ยาว 10 เซนติเมตร ตัวอย่างละ 3 หลอด เขียนหมายเลขข้างหลอดทดลอง หลอดที่ 1 2 และ 3 ทั้งหมด 3 หลอดต่อตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.14 จากนั้นนำหลอดทดลองทั้งหมดไปแช่ในอ่างน้ำที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 นาที เพื่อปรับสภาวะหลอดทดลองให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 3.14 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการแข็งตัวของเลือด

3) จากนั้นเจาะเลือดจากผู้บริจาคเข้าระบบอกซิดที่ 1 ปริมาณ 1 มิลลิลิตรแล้วทิ้งไป ดังรูปที่ 3.15 เพื่อป้องกันการปนเปื้อนจากนั้นดูดเลือดเข้าระบบอกซิดที่ 2 ปริมาณ 3 มิลลิลิตร (จับเวลาทันทีเมื่อเริ่มดูดเลือดเข้าระบบอกซิดที่ 2) ซีดเลือดในระบบอกซิดที่ 2 แบ่งใส่ลงในหลอดทดลอง หลอดละ 1 มิลลิลิตร เรียงจากหลอดที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ตามรูปที่ 3.16 ปิดปากหลอดทดลอง ให้สนิท



รูปที่ 3.15 ลักษณะการเจาะเลือดเข้าระบบอกซิด



รูปที่ 3.16 ซีดเลือดในระบบอกซิดที่ 2 แบ่งใส่ลงในหลอดทดลองทั้ง 3 หลอด

4) ทำการจับเวลาไปเรื่อยๆ จนครบ 5 นาที จึงเริ่มเอียงหลอดที่ 3 โดยยกขึ้นมาเอียง 90 องศา กับแกนวาย (y) ดังรูปที่ 3.17 สังเกตการแข็งตัวของเลือดโดยเอียงทุกๆ 1 นาที จนกระทั่งไม่มีเลือดไหลเป็นทางยาวมาที่ปากหลอดอีก แสดงว่าเลือดในหลอดที่ 3 แข็งตัวสมบูรณ์แล้ว ดังแสดงในรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 ลักษณะการเปลี่ยนหลอดเลือด 90 องศา กับ แกนวาย (y)



รูปที่ 3.18 ลักษณะเลือดในหลอดที่ 3 ที่แข็งตัวสมบูรณ์

5) จากนั้นจึงเริ่มยกหลอดที่ 2 ขึ้นมาเฉียง 90 องศา กับ แกนวาย (y) สังเกตการแข็งตัวของเลือด โดยเอียงทุกๆ 1 นาที จนกระทั่งเลือดในหลอดที่ 2 แข็งตัวสมบูรณ์ ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 ลักษณะเลือดในหลอดที่ 2 ที่แข็งตัวสมบูรณ์

6) จากนั้นเริ่มยกหลอดที่ 1 ขึ้นมาเฉียง 90 องศา กับ แกนวาย (y) สังเกตการแข็งตัวของเลือด โดยเอียงทุกๆ 1 นาที จนกระทั่งเลือดในหลอดที่ 1 แข็งตัวสมบูรณ์ เมื่อเลือดในหลอดที่ 1 แข็งตัวสมบูรณ์ กดยุคนาฬิกาจับเวลา ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 ลักษณะเลือดในหลอดที่ 1 ที่แข็งตัวสมบูรณ์

- 7) บันทึกเวลาที่เลือดใช้ในการแข็งตัวตั้งแต่ดูดเลือดเข้ากระบอกลีดที่ 2 จนเลือดในหลอดที่ 1 แข็งตัวสมบูรณ์

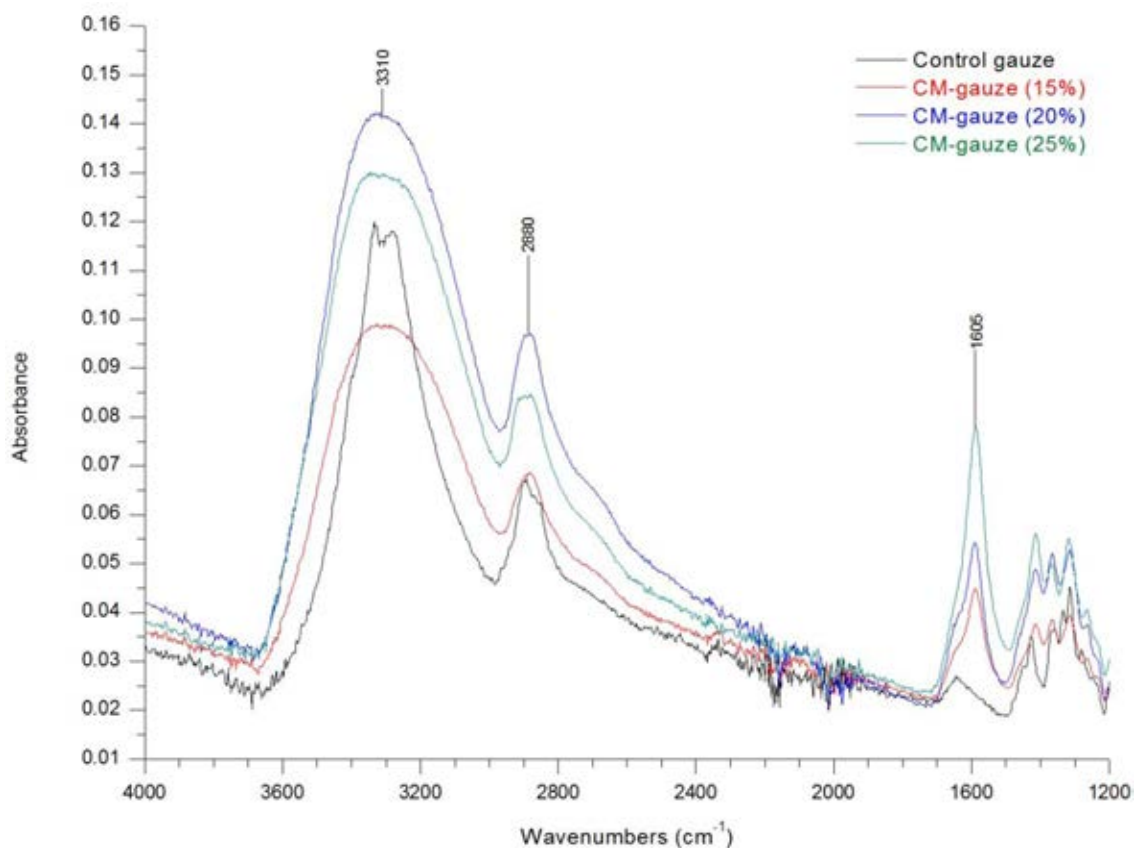
## บทที่ 4

### ผลและการอภิปรายผล

#### 4.1 ผลระดับการแทนที่ของผ้าฝ้ายกอสที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันโดยวิธีการดูดซับที่ความเข้มข้นกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่แตกต่างกัน

เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันโดยวิธีการดูดซับไปทำการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (FT-IR) พบว่าผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรจะปรากฏพีคที่ตำแหน่งประมาณ  $1605\text{ cm}^{-1}$  ที่เด่นมาก ซึ่งเป็นพีคที่ยืนยันว่ามีหมู่คาร์บอกซิล (COO) เกิดขึ้นบนผ้าฝ้ายกอสดัดแปร ซึ่งพีคที่ตำแหน่ง  $1605\text{ cm}^{-1}$  จะมีความการดูดกลืน (absorbance) สูงขึ้นเมื่อผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรด้วยความเข้มข้นของกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่สูงขึ้น หลังจากนั้นนำค่าการดูดกลืนภายใต้พีคของหมู่คาร์บอกซิลและของพันธะคาร์บอนไฮโดรเจน มาคำนวณหาระดับการแทนที่ ตามสมการที่ 1 จากผลการคำนวณสรุปได้ว่าผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และถ้าทำการดัดแปรด้วยกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 และสุดท้ายที่ทำการดัดแปรด้วยกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร มีระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 ส่วนพีคกว้างที่ตำแหน่งประมาณ  $3310\text{ cm}^{-1}$  คือพีคการยืดของหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) และพีคที่ตำแหน่งประมาณ  $2880\text{ cm}^{-1}$  เป็นพีคการสั่นยืดของพันธะคาร์บอนไฮโดรเจน (C-H) ซึ่งจะปรากฏทั้งในผ้าฝ้ายกอสที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันและไม่ดัดแปรดังในรูปที่ 4.1 ส่วนลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายกอสที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 พบว่าผ้ายังคงสภาพเป็นผ้ากอสและมีผิวสัมผัสนุ่ม ส่วนผ้าฝ้ายกอสที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 คงสภาพเป็นผ้ากอส แต่มีความแข็งกระด้างของผ้าฝ้ายกอสอย่างมากและกลายเป็นเจลเมื่อจุ่มแช่ในน้ำ จึงทำให้ผ้าฝ้ายกอสเริ่มเสียสภาพเมื่อผ่านขั้นตอนการเคลือบสารซิลเวอร์ และอาจมีลักษณะที่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นผ้าฝ้ายกอสปิดแผลได้ ตามที่ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.1 ดังนั้นความเข้มข้นกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่มากที่สุดที่ใช้ในการดัดแปรโดยที่ผ้าฝ้ายกอสไม่เสียสภาพคือที่

ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ในสภาวะที่ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่ที่ร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาครั้งที่ 4 ชั่วโมง เมื่อความเข้มข้นกรดโมโนคลอโรแอซิดิกเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าระดับการแทนที่เพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการแทนที่ของหมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่คาร์บอกซิลในปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชัน (etherification reaction) ขึ้นอยู่กับปริมาณอีเทอร์ิฟิอิง เอเจนต์ (etherifying agent) ซึ่งในที่นี้คือกรดโมโนคลอโรแอซิดิก เมื่อมีกรดโมโนคลอโรแอซิดิกมาก โมเลกุลเหล่านี้จะไปล้อมรอบโมเลกุลเซลลูโลสได้มาก ส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแทนที่ได้มากขึ้น โดยมีกลไกในการเกิดปฏิกิริยาอีเทอร์ิฟิเคชัน ตามที่แสดงไว้ข้างล่าง



รูปที่ 4.1 กราฟ ATR-FTIR ของผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ดัดแปรและผ้าฝ้ายกอสที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ความเข้มข้นของกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่แตกต่างกัน

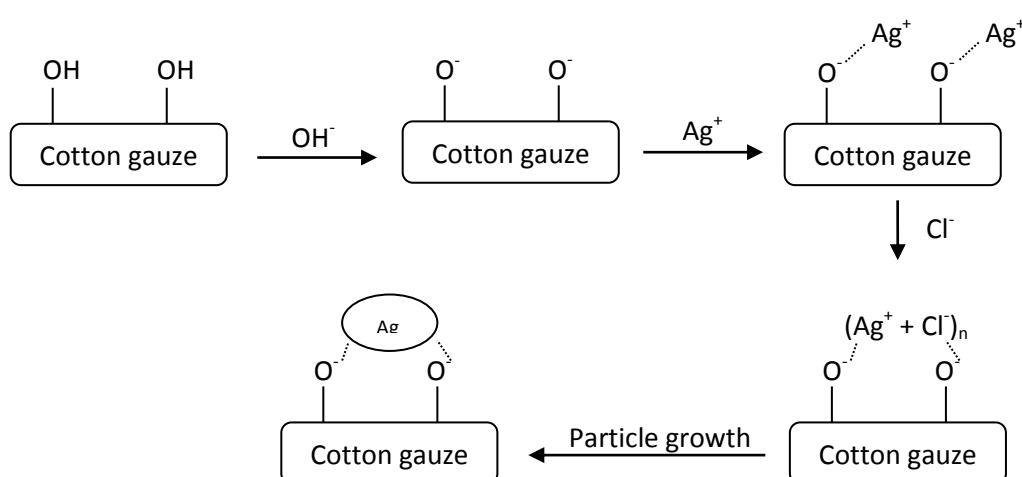
ตารางที่ 4.1 สภาวะของตัวแปรที่มีผลต่อระดับการแทนที่และลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันด้วยวิธีการดูดซับที่ความเข้มข้นกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้น (ร้อยละโดยน้ำหนักต่อปริมาตร)		เวลา ชั่วโมง	ระดับการ แทนที่	ลักษณะทางกายภาพ
โซเดียมไฮดรอกไซด์	กรดโมโนคลอโรแอซิดิก			
35	15	4	0.128	คงสภาพเป็นผ้า ผิวสัมผัสนุ่ม
35	20	4	0.385	คงสภาพเป็นผ้า ผิวสัมผัสนุ่ม
35	25	4	0.843	คงสภาพเป็นผ้า ผิวสัมผัสแข็งกระด้าง

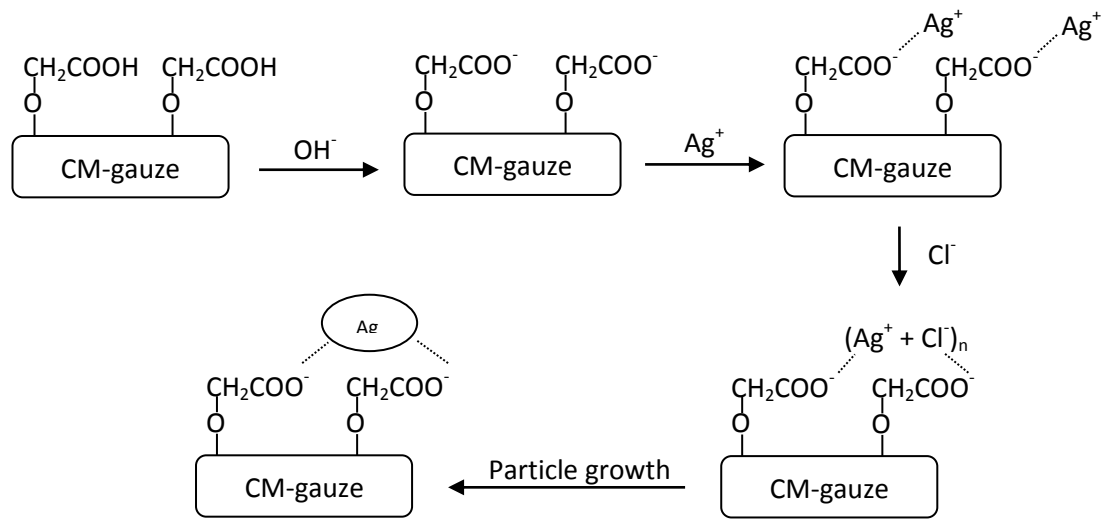
#### 4.2 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอสทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน

ในขั้นตอนการเคลือบผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันด้วยสารซิลเวอร์นั้นจะได้อนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้า ตามกลไกที่ได้อธิบายไว้ข้างล่าง

กรณีผ้าฝ้ายกอส



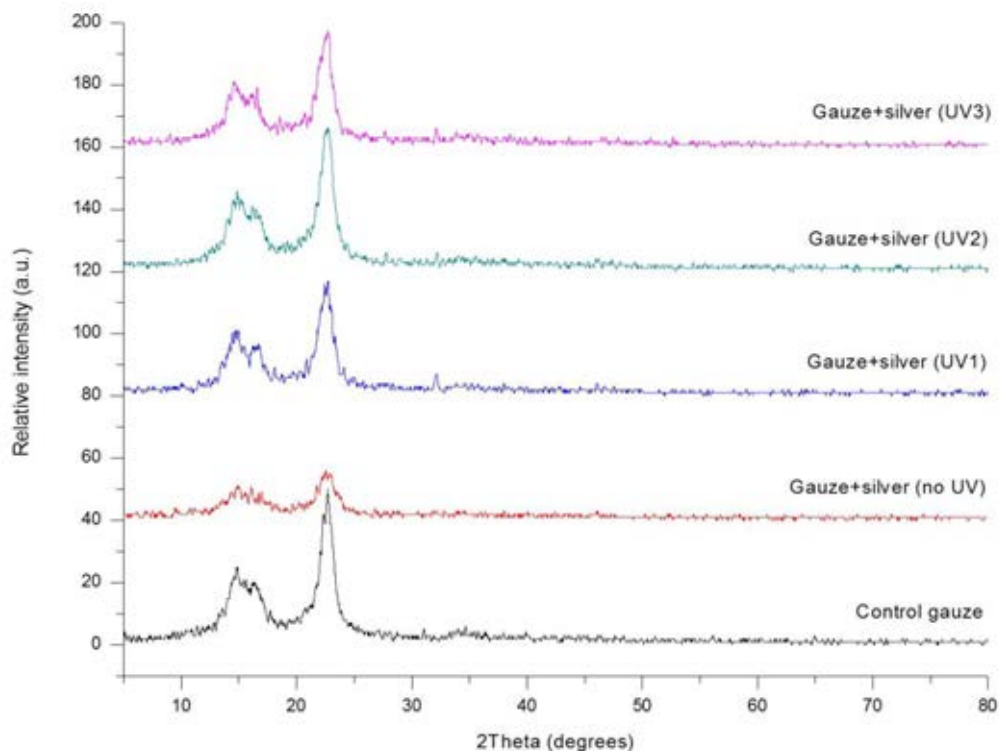
กรณีผ้าฝ้ายกอลดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน



#### 4.2.1 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอลที่ไม่ผ่านการดัดแปร

จากการนำผ้าฝ้ายกอล (control gauze) ไปทำการตรวจสอบลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ (XRD) ดังแสดงในรูปที่ 4.2 พบว่าปรากฏพีคที่ตำแหน่งประมาณ 14.97, 16.58 และ 22.62 องศา แสดงถึงระนาบผลึก (101), (10 $\bar{1}$ ) และ (002) ตามลำดับ ซึ่งแสดงในส่วนของเซลล์ูโลสในผ้าฝ้ายกอลใกล้เคียงกับ JCPDS หมายเลข 00-050-2241 และเมื่อนำผ้าฝ้ายกอลไปผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวีและผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ คือที่ความเข้มแสง 300 500 และ 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร (Gauze + silver, no UV UV1 UV2 หรือ UV3) พบว่าไม่ปรากฏพีคใดๆเพิ่มเติม การที่ไม่ปรากฏพีคในส่วนของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ อาจมีสาเหตุมาจากปริมาณสารซิลเวอร์ที่ถูกดูดซับโดยผ้าฝ้ายกอลมีปริมาณน้อยมาก เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์จึงไม่สามารถตรวจจับได้ แต่พีคในส่วนของผ้าฝ้ายกอล (substrate) ยังคงปรากฏที่ตำแหน่งเดิม แสดงว่าขั้นตอนการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ไม่ได้ทำลายโครงสร้างผลึกของเซลล์ูโลส



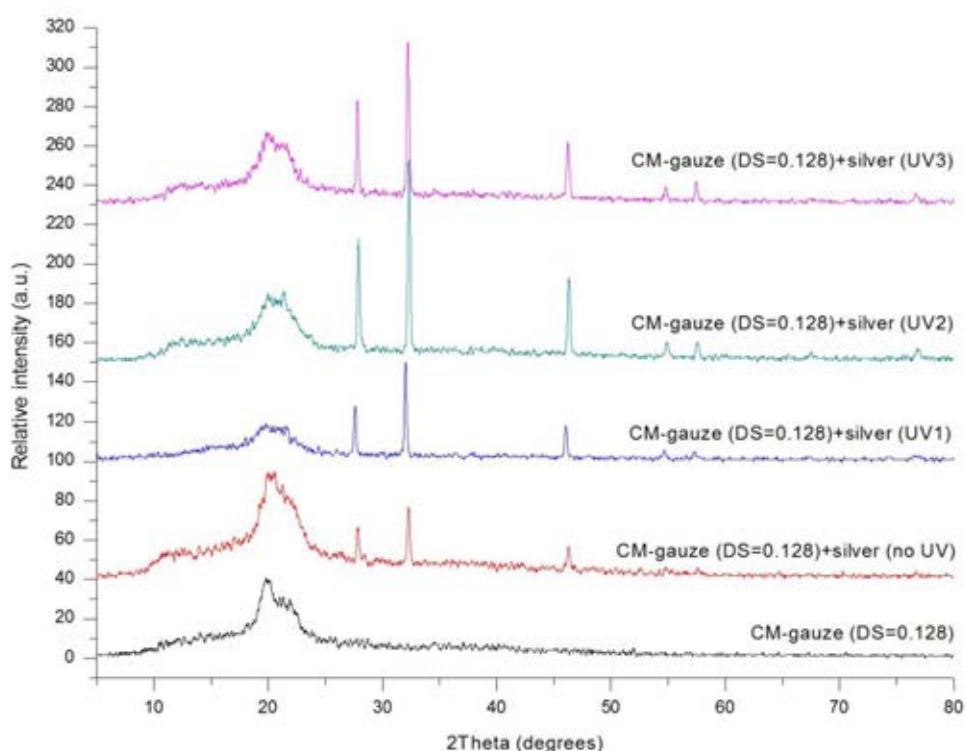


รูปที่ 4.2 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอกชและผ้าฝ้ายกอกชที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์ที่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวี

#### 4.2.2 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์บนผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128

เมื่อนำผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 (CM-gauze (DS=0.128)) มาตรวจสอบลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 พบว่าปรากฏฟีกในส่วนของเซลล์โลสแต่มีความเข้มฟีกต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอกชที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร ซึ่งอาจจะเกิดจากการทำลายโครงสร้างผลึกบางส่วนของเซลล์โลสในขั้นตอนการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน เมื่อนำผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรนี้ไปผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (CM-gauze (DS=0.128) + silver, no UV) จะปรากฏฟีกเพิ่มขึ้นมา 3 ตำแหน่ง คือที่ตำแหน่ง 27.83, 32.24 และ 46.23 องศา ซึ่งแสดงถึงระนาบผลึก (111), (200) และ (220) ตามลำดับ ลักษณะฟีกยืนยันได้ว่าเป็นผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ คำนวณขนาดผลึกเฉลี่ยตามสมการที่ 2 ได้ค่าประมาณ 31.04 นาโนเมตร เมื่อนำไปผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ (CM-gauze (DS=0.128) + silver, UV1 UV2 หรือ UV3) พบว่าปรากฏฟีก 5

ตำแหน่ง คือที่ 27.83, 32.24, 46.23, 54.83 และ 57.48 องศา แสดงถึงระนาบผลึก (111), (200), (220), (311) และ (222) ตามลำดับ ลักษณะที่ก่อกำเนิดขึ้นได้ว่าผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์เป็นชนิด chlorargyrite อยู่ในระบบผลึกแบบคิวบิก (cubic) มี space group เป็น Fm3m ใกล้เคียงกับ JCPDS หมายเลข 00-031-1238 คำนวณขนาดผลึกเฉลี่ยพบว่ามีค่าประมาณ 34.55 27.59 และ 27.59 นาโนเมตร เมื่อมีการฉายแสงยูวีที่มีความเข้มแสง 300 500 และ 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ

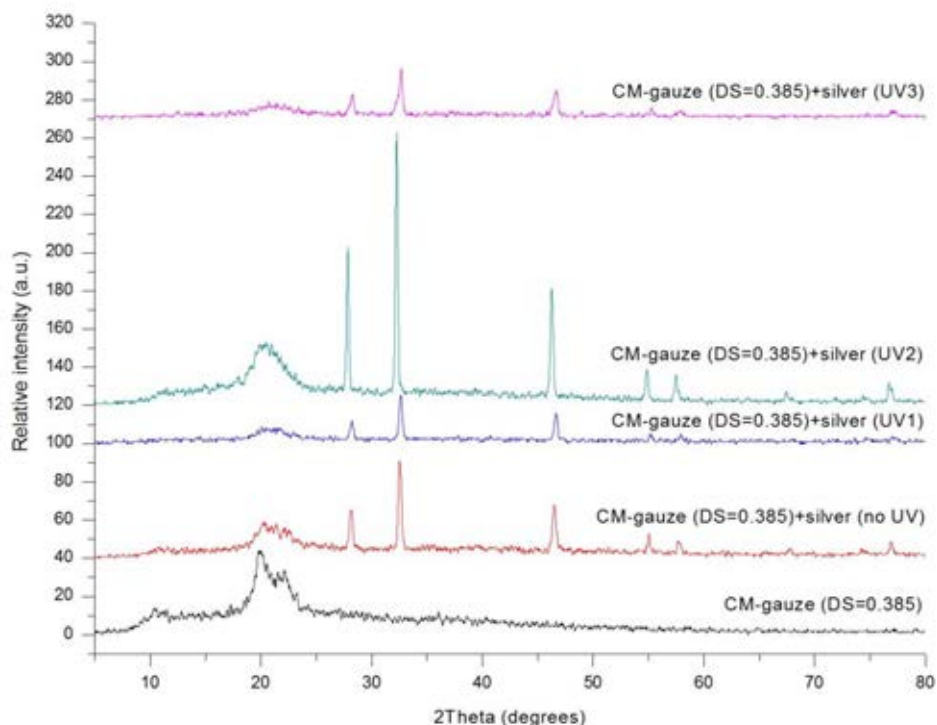


รูปที่ 4.3 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอตตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128

#### 4.2.3 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอตตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385

เมื่อนำผ้าฝ้ายกอตตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 (CM-gauze (DS=0.385)) มาตรวจสอบลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 พบว่าปรากฏฟีกในส่วนของเฮลลูโลสแต่มีความเข้มฟีกต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอตที่ไม่ได้ผ่านการ

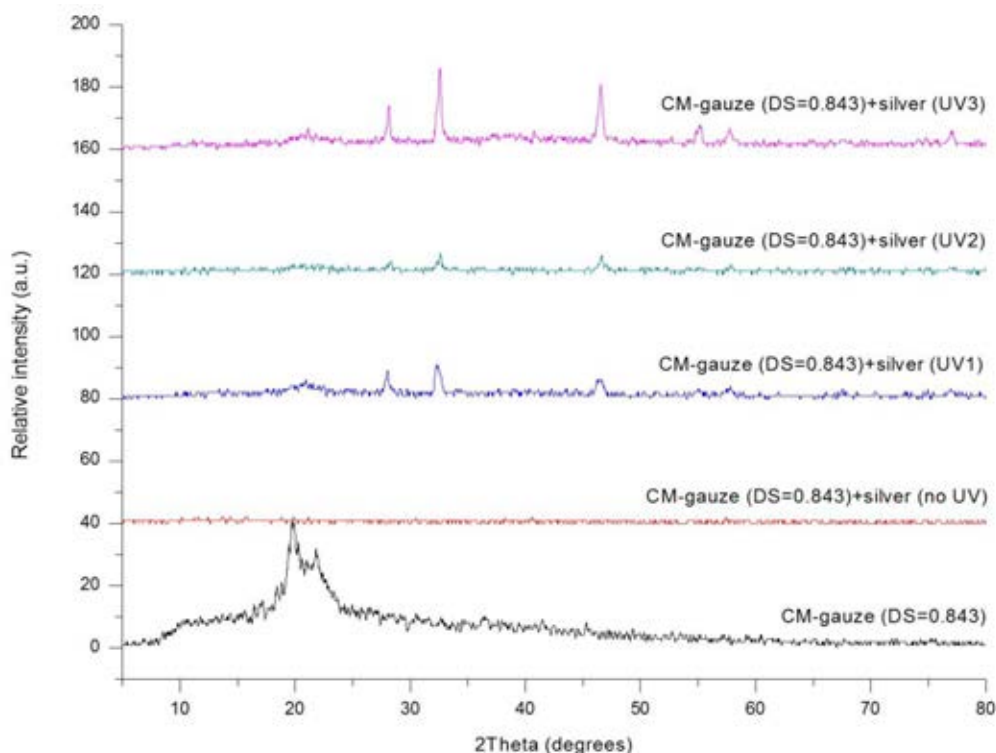
ดัดแปร เช่นเดียวกับผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 (CM-gauze (DS=0.128)) แต่เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสดัดแปรนี้มาผ่านขั้นตอนการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ พบว่าความเข้มฟลักในส่วนของเซลลูโลสลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 ที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์ในหัวข้อ 4.2.2 (CM-gauze (DS=0.128) + silver, no UV UV1 UV2 และ UV3) ทั้งนี้เป็นเพราะผ้าฝ้ายกอสดัดแปรนี้มีระดับการแทนที่ที่สูงขึ้น เมื่อจุ่มแช่ในน้ำจะกลายเป็นเจลบางส่วน จึงทำลายโครงสร้างผลึกในส่วนของเซลลูโลส ในส่วนของผ้าฝ้ายกอสดัดแปรนี้ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (CM-gauze (DS=0.385) + silver, no UV) และผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ (CM-gauze (DS=0.385) + silver, UV1 UV2 และ UV3) พบว่าปรากฏฟลักของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์เช่นเดียวกับในข้อ 4.2.2 คำนวณขนาดผลึกเฉลี่ยตามสมการที่ 2 สำหรับผ้าฝ้ายกอสดัดแปรนี้ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวีได้ค่าประมาณ 21.59 นาโนเมตร เมื่อมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 500 และ 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร มีขนาดผลึกเฉลี่ยประมาณ 21.59 35.47 และ 21.59 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอสดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385

#### 4.2.4 โครงสร้างผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์บนผ้าฝ้ายกอตตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843

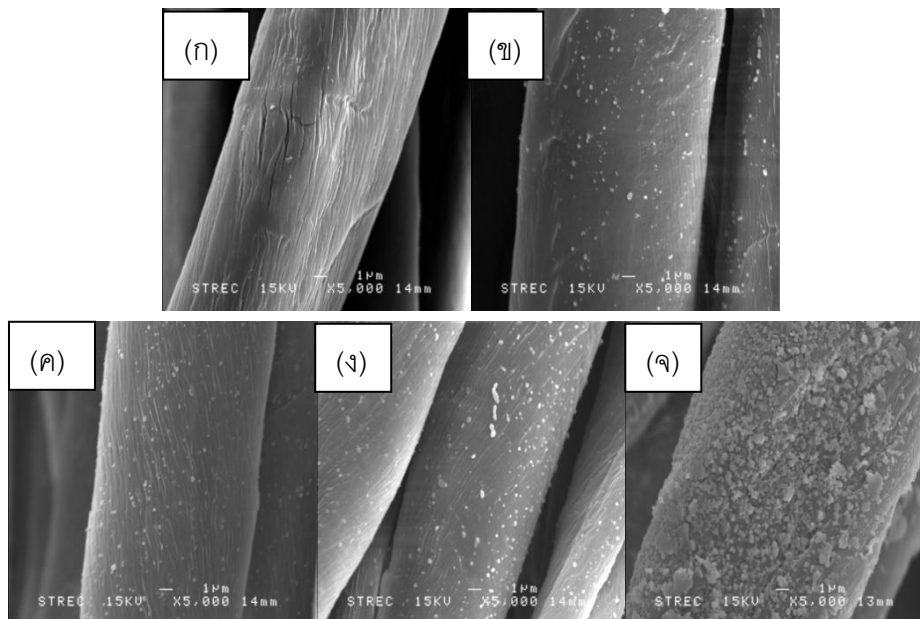
เมื่อนำผ้าฝ้ายกอตตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 (CM-gauze (DS=0.843)) มาตรวจสอบลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตมิเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 พบว่าปรากฏฟีกในส่วนของเซลล์โลสแต่มีความเข้มฟีกต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอตที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปร เช่นเดียวกับผ้าฝ้ายกอตตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 (CM-gauze (DS=0.128) และ CM-gauze (DS=0.385)) แต่เมื่อนำผ้าฝ้ายกอตตัดแปรนี้มาผ่านขั้นตอนการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ พบว่าไม่ปรากฏฟีกในส่วนของเซลล์โลสเลย ทั้งนี้เป็นเพราะผ้าฝ้ายกอตตัดแปรนี้มีระดับการแทนที่ที่สูงขึ้น อาจเกิดจากการเสียสภาพของผ้าฝ้ายกอต จากการกลายเป็นเจลเมื่อจุ่มแช่ในน้ำ จึงทำลายโครงสร้างผลึกในส่วนของเซลล์โลสไป ในส่วนของผ้าฝ้ายกอตตัดแปรนี้ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (CM-gauze (DS=0.843) + silver, no UV) ไม่ปรากฏฟีกของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ แต่เมื่อนำไปผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ (CM-gauze (DS=0.843) + silver, UV1 UV2 และ UV3) พบว่าปรากฏฟีกของอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์บ้างแต่น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอตตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 ที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์และผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ (CM-gauze (DS=0.128) + silver, UV1 UV2 UV3 และ CM-gauze (DS=0.385) + silver, UV1 UV2 UV3) คำนวณขนาดผลึกเฉลี่ยตามสมการที่ 2 สำหรับผ้าฝ้ายกอตตัดแปรนี้ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์และผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 500 และ 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร มีขนาดผลึกเฉลี่ยประมาณ 12.71 19.07 และ 20.66 ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอสดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843

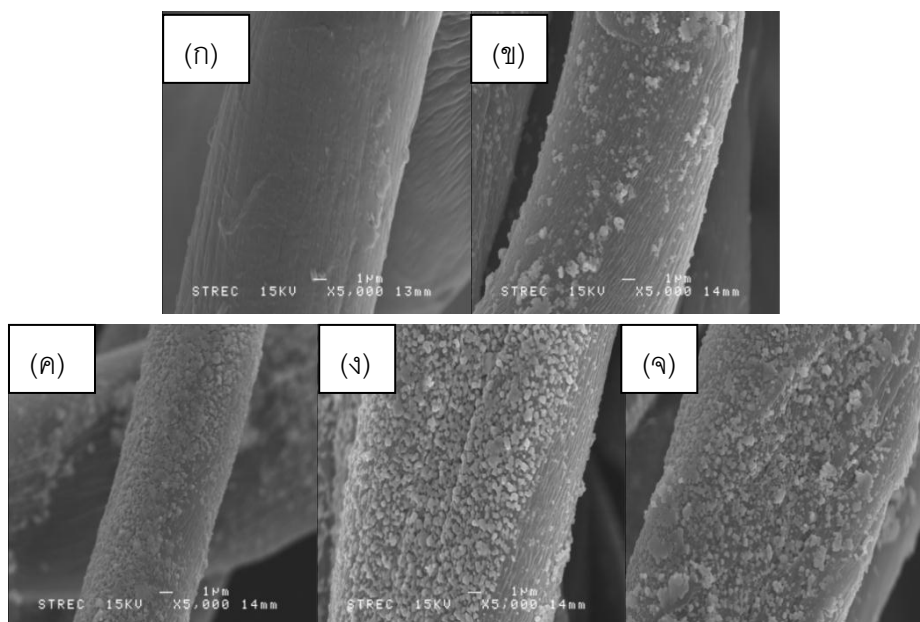
### 4.3 ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (morphology)

การตรวจสอบสัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอส ดังแสดงในรูปที่ 4.6 (ก) พบว่าพื้นผิวเส้นใยของผ้าฝ้ายกอสค่อนข้างเรียบ มันเงา ไม่มีอนุภาคใดๆ เกาะติดบนพื้นผิวเส้นใย และเมื่อนำผ้าฝ้ายกอสไปผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ดังรูปที่ 4.6 (ข) พบอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์เล็กๆ กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอบนพื้นผิวเส้นใย ส่วนในผ้าฝ้ายกอสที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์และผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 และ 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร พบอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ที่มีขนาดเล็กและละเอียดขึ้น ซึ่งกระจายตัวบนพื้นผิวเส้นใยอย่างสม่ำเสมอ ดังรูปที่ 4.6 (ค) และ (ง) แต่ในผ้าฝ้ายกอสที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์และผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 4.6 (จ) พบว่าอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนพื้นผิวเส้นใยหนาแน่นมากขึ้น



รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอต (ก) ผ้าฝ้ายกอตเคลือบสารซิลเวอร์ที่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (ข) และผ้าฝ้ายกอตเคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300(ค) 500(ง) และ 700(จ) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

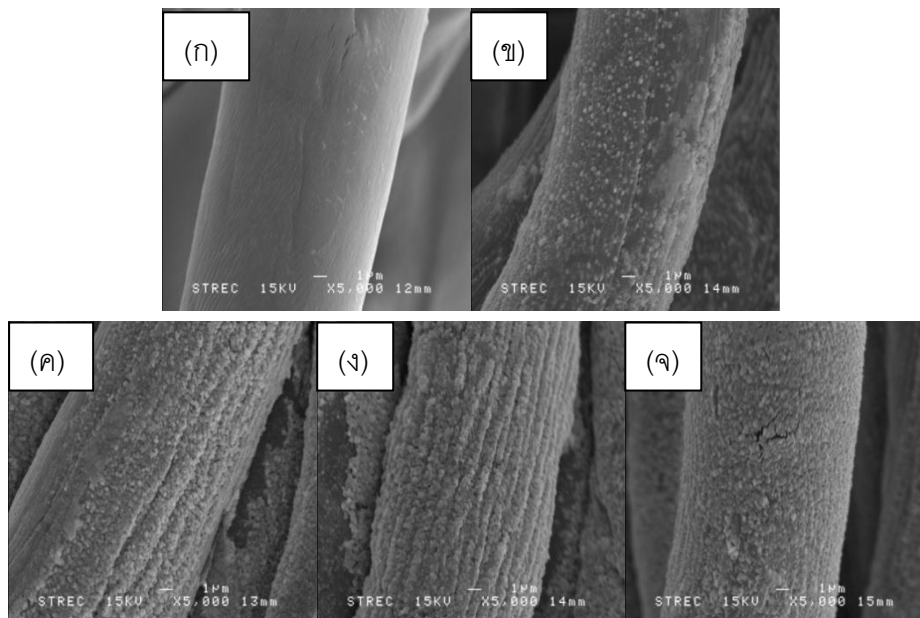
เมื่อนำผ้าฝ้ายกอตมาผ่านการตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 ดังรูปที่ 4.7 (ก) พบว่าเส้นใยมีความขรุขระมากขึ้นเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเส้นใยของผ้าฝ้ายกอตที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปร และไม่มีอนุภาคใดๆ เกาะติดบนพื้นผิวเส้นใย (รูปที่ 4.6 (ก)) เมื่อนำผ้าฝ้ายกอตตัดแปรนี้ไปผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ดังรูปที่ 4.7 (ข) พบว่าอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ที่เกาะบนพื้นผิวเส้นใยมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ที่เกาะบนเส้นใยของผ้าฝ้ายกอตเคลือบสารซิลเวอร์ที่ไม่ได้ผ่านการฉายแสงยูวี (รูปที่ 4.6 (ข)) และมีการกระจายตัวที่ไม่สม่ำเสมอ บางบริเวณอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์มีขนาดใหญ่ บางบริเวณมีขนาดเล็ก แต่เมื่อนำผ้าฝ้ายกอตตัดแปรเคลือบซิลเวอร์นี้ไปผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ พบว่าอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์เกาะกลุ่มกันมากขึ้นเมื่อมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7 (ค) (ง) และ (จ)



รูปที่ 4.7 ลักษณะวิทยาของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 (ก) ผ้าฝ้ายกอสตัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (ข) และผ้าฝ้ายกอสตัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 (ค) 500(ง) และ 700(จ) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสมาผ่านการตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 ดังรูปที่ 4.8 (ก) พบว่าเส้นใยมีพื้นผิวค่อนข้างเรียบ เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสตัดแปรนี้ไปผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ดังรูปที่ 4.8 (ข) พบว่าอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ที่เกาะบนพื้นผิวเส้นใยมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอ เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ที่เกาะบนเส้นใยของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 ที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (รูปที่ 4.7 (ข)) เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่เคลือบสารซิลเวอร์นี้ไปผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ ดังรูปที่ 4.8 (ค) (ง) และ (จ) พบว่าเมื่อฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้น ขนาดอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์บนพื้นผิวเส้นใยมีแนวโน้มเกาะกลุ่มกันและหนาแน่นมากขึ้น โดยปกคลุมทั่วทุกบริเวณบนพื้นผิวเส้นใย โดยเฉพาะเมื่อผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ปริมาณอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ที่เกาะบนพื้นผิวเส้นใยหนาแน่นมาก จนทำให้บางบริเวณเกิดการหลุดร่อนของกลุ่มอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ออกจากเส้นใย ซึ่งสอดคล้องกับผล XRD ที่ตรวจพบอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ปริมาณน้อยลง ดังแสดงไว้ใน

รูปที่ 4.4 ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 ที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์และผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร

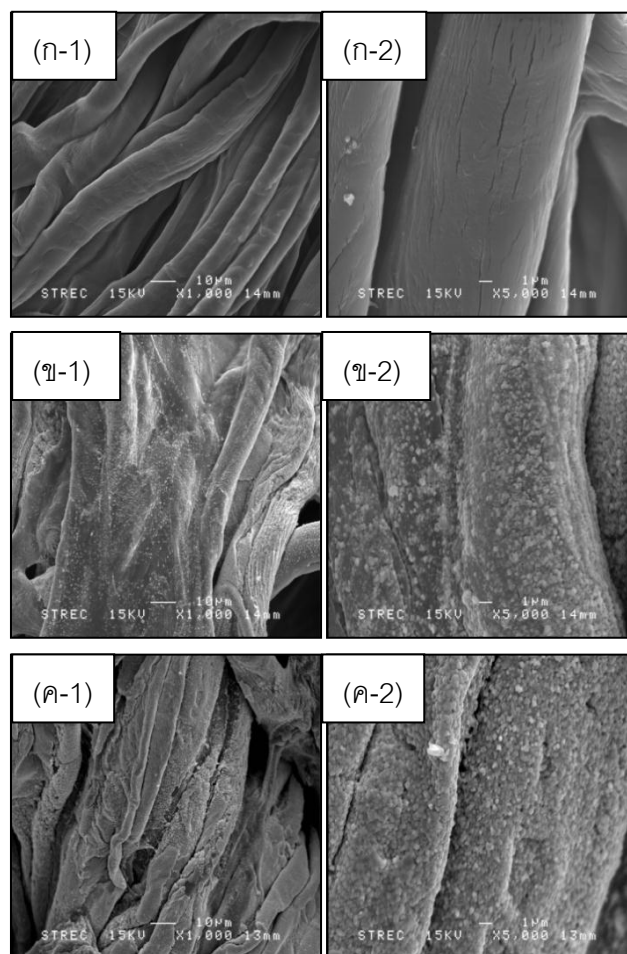


รูปที่ 4.8 ลักษณะวิทยาของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 (ก) ผ้าฝ้ายกอชดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (ข) และผ้าฝ้ายกอชดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 (ค) 500(ง) และ 700(จ) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

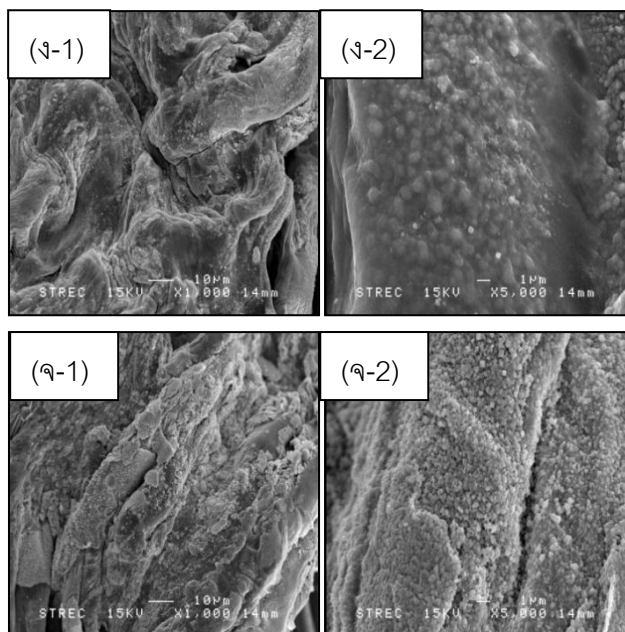
เมื่อนำผ้าฝ้ายกอชมาผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 ดังรูปที่ 4.9 (ก-2) พบว่าพื้นผิวเส้นใยค่อนข้างเรียบ แต่มีรอยแตกบนผิวเส้นใย เมื่อนำผ้าฝ้ายกอชดัดแปรนี้ไปผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ดังรูปที่ 4.9 (ข-2) พบว่ามีอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ที่เกาะบนพื้นผิวเส้นใยค่อนข้างมาก มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและหนาแน่นมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ที่เกาะบนเส้นใยของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 ที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (รูปที่ 4.8 (ข)) เมื่อนำผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่เคลือบสารซิลเวอร์นี้ไปผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ ดังรูปที่ 4.9 (ค-2) (ง-2) และ (จ-2) พบว่าเมื่อฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้น อนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนพื้นผิวเส้นใยเกาะกลุ่มกันมากขึ้นและหนาแน่นมากขึ้น โดยปกคลุม



ทั่วทุกบริเวณบนพื้นผิวเส้นใย แต่บางบริเวณของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 ที่ผ่านขั้นตอนการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ มีการเกิดเจลขึ้นเนื่องจากผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่สูงมีแนวโน้มที่จะละลายน้ำได้มากขึ้น และเกิดเป็นเจล โดยบริเวณที่เส้นใยกลายเป็นเจลนั้น จะเกิดการเกาะกลุ่มกันของเส้นใย โดยบางบริเวณแทบไม่เหลือสภาพความเป็นเส้นใยเลย อาจทำให้ออนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ฝังลงไปเนื้อเจลได้ ทำให้พบอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ที่ผิวเส้นใยน้อยลง ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.9 (ก-1) (ก-2) (ข-1) และ (ข-2)



รูปที่ 4.9 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 (ก) ผ้าฝ้ายกอชดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี (ข) และผ้าฝ้ายกอชดัดแปรนี้เคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 (ค) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM (เมื่อ 1 คือรูปที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ 2 คือรูปที่กำลังขยาย 5,000 เท่า)

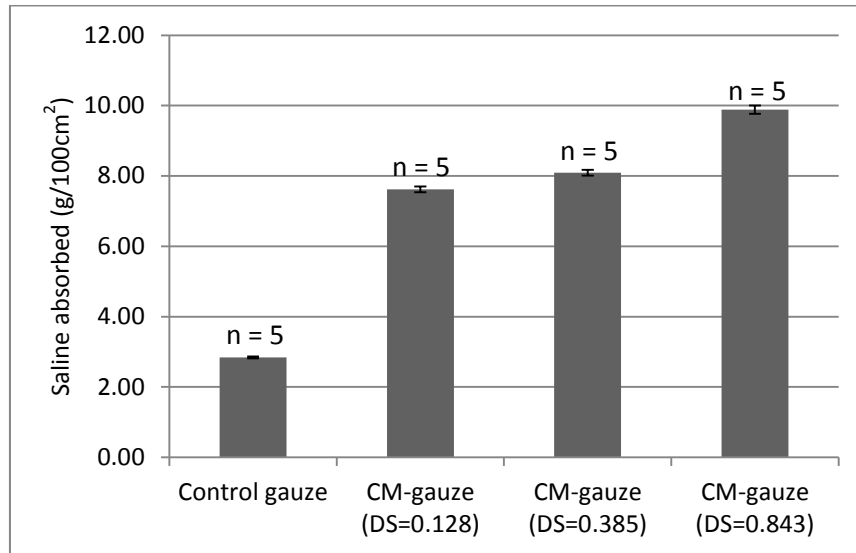


รูปที่ 4.9 (ต่อ) สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 500(ง) และ 700(จ) มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM (เมื่อ 1 คือรูปที่กำลังขยาย 1,000 เท่า และ 2 คือรูปที่กำลังขยาย 5,000 เท่า)

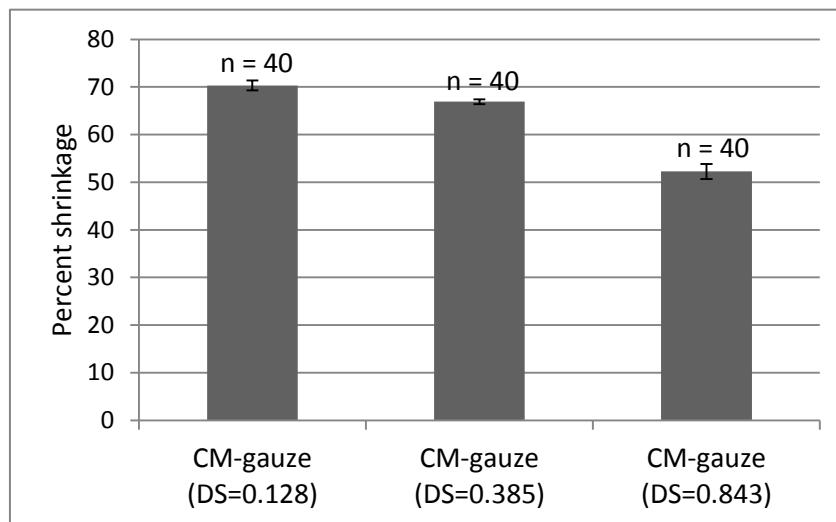
#### 4.4 ความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือ (saline absorption)

จากกราฟในรูปที่ 4.10 ผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่สูงขึ้น จะมีความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือได้มากขึ้น และมากกว่าผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร (control gauze) ทั้งนี้เป็นผลจากการหดตัวของผ้าฝ้ายกอสด้วยส่วนหนึ่ง ดังแสดงในรูปที่ 4.11 เนื่องจากผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันมีการหดตัวที่มากกว่าผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร ทำให้ผ้าฝ้ายกอสดัดแปรมีโครงสร้างที่หนาแน่นมากขึ้น การดูดซับน้ำเกลือจึงดีขึ้น และอีกส่วนหนึ่งอาจเป็นผลมาจากประจุลบที่เกิดขึ้นจากการดัดแปรด้วยคาร์บอกซีเมทิลเลชันบนผ้าฝ้ายกอส สามารถจับกับไฮเดียมไอออนได้มากขึ้นทำให้การดูดซับน้ำเกลือดีขึ้น แต่สำหรับผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 มีการหดตัวที่น้อยกว่า แต่กลับสามารถดูดซับน้ำเกลือได้เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เมื่อจุ่มแช่ในสารละลายจะเกิดเป็นเจล การที่ผ้าฝ้ายกอสมีลักษณะเป็นเจล

ทำให้อุ้มน้ำเกลือได้มากและนาน ส่งผลให้การดูดซับน้ำเกลือของผ้าฝ้ายกอสดังกล่าวนี้ สูงกว่าที่ควรจะเป็น



รูปที่ 4.10 ความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน

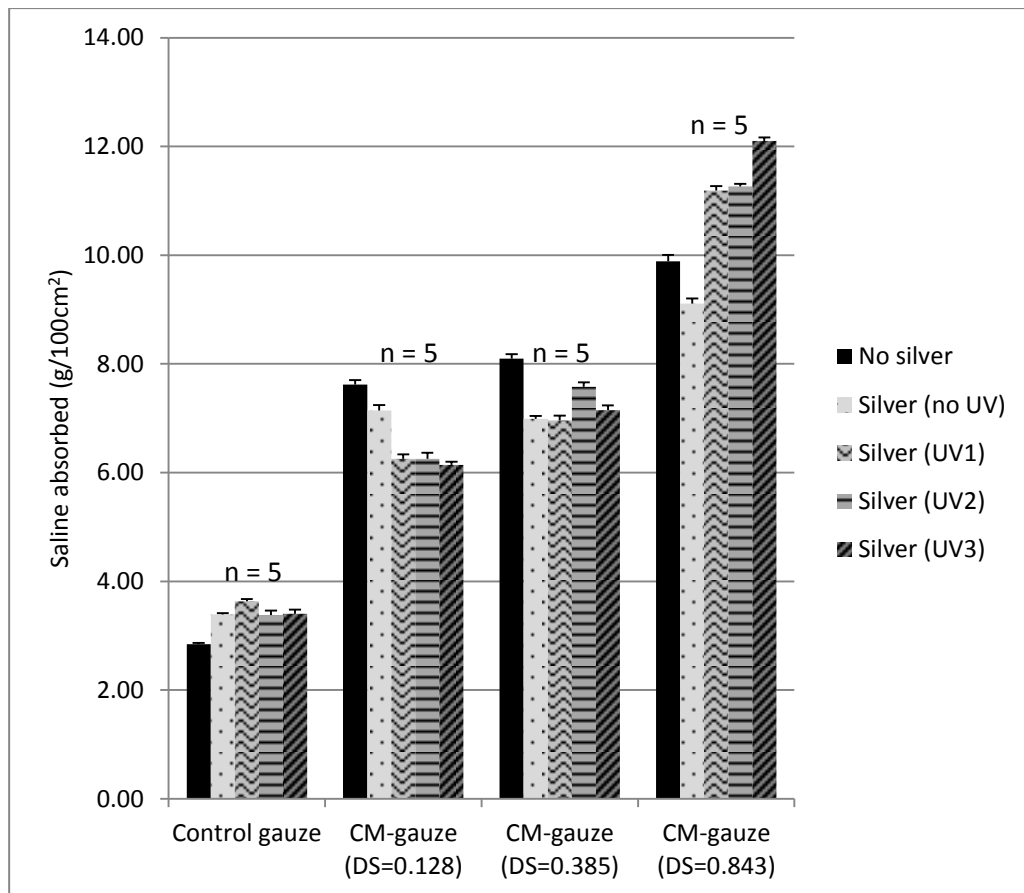


รูปที่ 4.11 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน

จากกราฟในรูปที่ 4.12 เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร (control gauze) มาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวี พบว่ามีความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือมากขึ้นเล็กน้อย ซึ่งผลที่เพิ่มขึ้นนี้อาจเกิดจากการหดตัวเพียงเล็กน้อยของผ้าฝ้ายกอส หลังจากผ่านการจุ่มแช่ในสารละลายในขั้นตอนการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์

เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสที่มีระดับการแทนที่แตกต่างกันมาผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์แต่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวี พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือลดลงเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะประจุลบที่เกิดขึ้นจากการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันบนผ้าฝ้ายกอสบางส่วนได้ไปจับกับซิลเวอร์ไอออนไปแล้ว ทำให้มีผลต่อการจับกับโซเดียมไอออนได้น้อยลง

ส่วนผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 ที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ พบว่าความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือใกล้เคียงกันเมื่อฉายแสงที่ความเข้มแสงต่างกัน แต่ในผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 ที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกันทั้ง 3 ระดับ กลับให้ผลความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือที่สูงกว่าทั้งกรณีที่ไม่เคลือบสารซิลเวอร์และเคลือบสารซิลเวอร์แต่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากผ้าฝ้ายกอสดัดแปรนี้มีระดับการแทนที่ที่สูงขึ้น เมื่อจุ่มแช่ในสารละลายจึงเกิดการกลายเป็นเจลทำให้อุ้มน้ำเกลือได้มาก มีผลทำให้การดูดซับน้ำเกลือที่ได้สูงกว่าปกติ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่คาดเคลื่อน ทั้งนี้เพราะผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่ 0.843 เริ่มเสถียรภาพของความเป็นผ้ากอส เพราะผ้าฝ้ายกอสดัดแปรมีความแข็งกระด้างและเกิดเป็นเจลเมื่อแช่อยู่ในสารละลาย จึงสรุปได้ว่าผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรที่ระดับการแทนที่ 0.128 และ 0.385 มีความสามารถในการดูดสารคัดหลั่งหรือของเหลวจากบาดแผลได้ดีกว่าผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ผ่านการดัดแปร

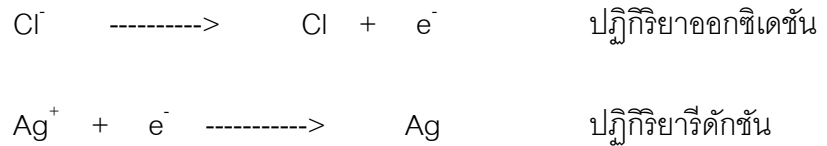


รูปที่ 4.12 ความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

#### 4.5 ดัชนีความขาว (whiteness index)

จากกราฟในรูปที่ 4.13 พบว่าผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันมีความขาวน้อยกว่าผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ผ่านการดัดแปร และผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่สูงขึ้น พบว่าความขาวลดต่ำลงเล็กน้อย แต่เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรและที่ผ่านการดัดแปรไปผ่านขั้นตอนการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ พบว่าค่าความขาวลดลงอย่างมากและยังลดต่ำลงเมื่อฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation - Reduction reaction) ของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ กลไกการเปลี่ยนสีนี้เกิดจากอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ถูกกระตุ้นด้วยแสงยูวี

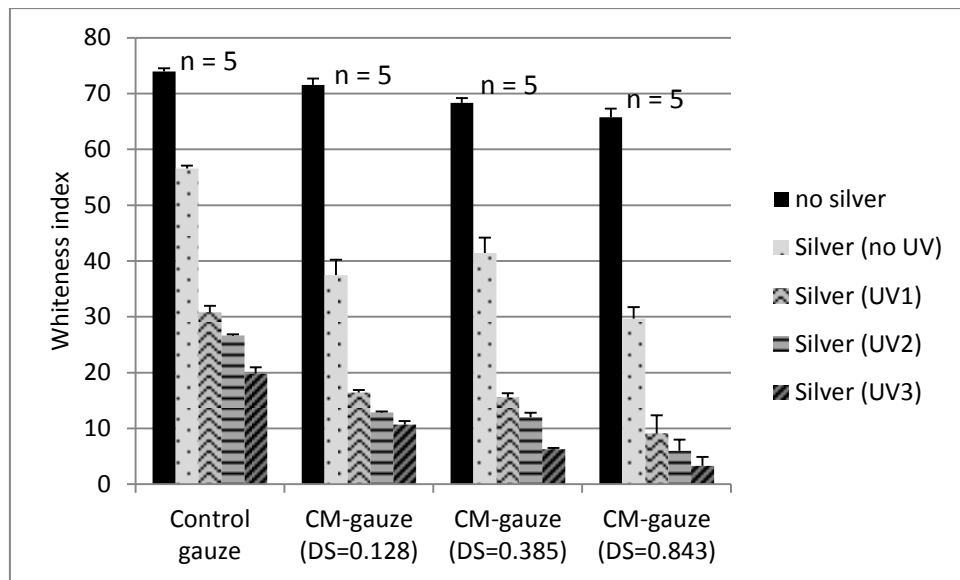
ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ (redox reaction) ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่เกิดขึ้น ได้แสดงไว้ตามสมการเคมีข้างล่างนี้



บทสรุปตามหลักของเลอชาเตอลิเย (Le Chatelier's Principle) ในสมดุลเคมี



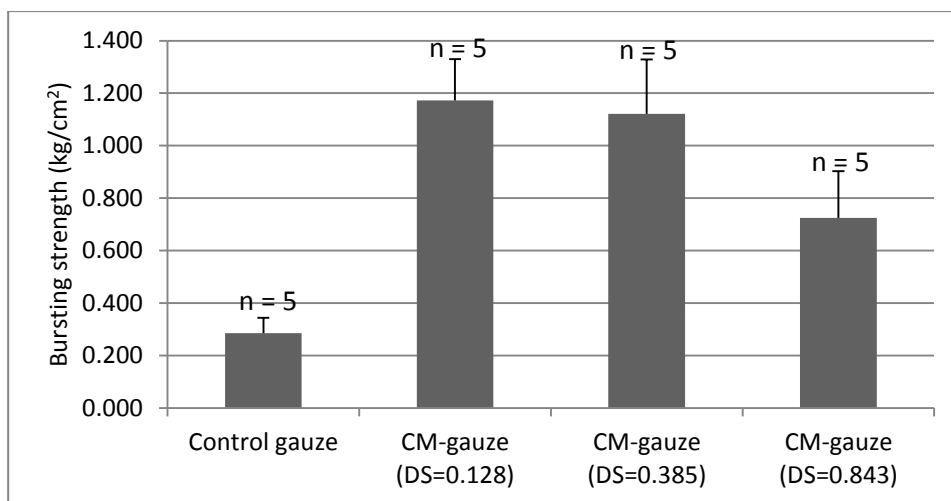
เมื่ออุณหภูมิซิลเวอร์คลอไรด์ที่กระจายอยู่บนผ้าฝ้ายกอลซ์ได้รับการกระตุ้นด้วยแสงยูวี จะเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์ โดยไอออนของคลอไรด์ที่แตกตัวจากซิลเวอร์คลอไรด์แต่ละไอออนจะถูกออกซิไดซ์จนได้เป็นอะตอมของคลอรีนและอิเล็กตรอน (ปฏิกิริยาออกซิเดชัน) จากนั้นไอออนของซิลเวอร์ที่แตกตัวจากซิลเวอร์คลอไรด์แต่ละไอออนจะรับอิเล็กตรอนที่ได้จากปฏิกิริยาออกซิเดชัน และเกิดเป็นอะตอมของซิลเวอร์ (ปฏิกิริยารีดักชัน) ซึ่งมีสีดำ อะตอมของซิลเวอร์เหล่านี้จะรวมตัวกันบนผ้าฝ้ายกอลซ์ทำให้ผ้ามีสีเทา กระบวนการเปลี่ยนสีนี้จะเกิดขึ้นทันทีที่อุณหภูมิซิลเวอร์คลอไรด์ได้รับแสงยูวี หรือแม้กระทั่งแสง ความชื้น หรือออกซิเจนในสภาวะแวดล้อมทั่วไป และเมื่อระดับความเข้มแสงยูวีสูงขึ้น การเกิดเป็นอะตอมของซิลเวอร์จึงมากขึ้น ผ้าฝ้ายกอลซ์จึงมีสีที่เข้มขึ้น



รูปที่ 4.13 ค่าดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายกอลซ์และผ้าฝ้ายกอลซ์ดัดแปรที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

#### 4.6 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ (bursting strength)

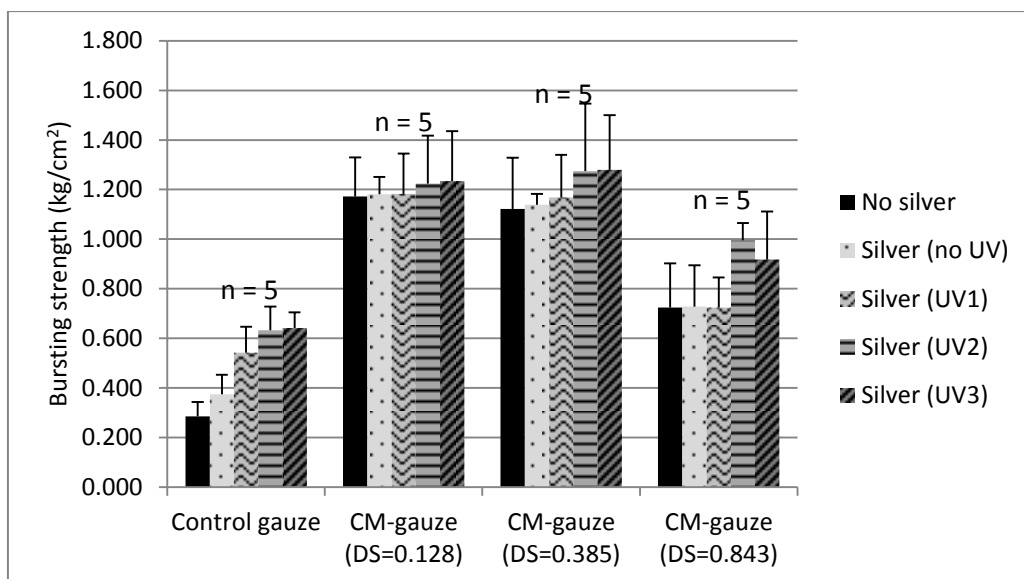
จากผลที่แสดงในรูปที่ 4.14 พบว่าผ้าฝ้ายกอลซ์ที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่ทั้ง 3 ระดับ มีความต้านทานต่อแรงดันทะลุที่สูงกว่าผ้าฝ้ายกอลซ์ที่ไม่ผ่านการดัดแปร (control gauze) ซึ่งอาจเป็นผลมาจากการหดตัวของผ้าฝ้ายกอลซ์หลังผ่านขั้นตอนการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่มาจากกรุ่มแซ่ในสารละลายเป็นเวลา 4 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาเฉพาะผ้าฝ้ายกอลซ์ดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 (CM-gauze (DS=0.128) และ CM-gauze (DS=0.385)) มีความต้านทานต่อแรงดันทะลุไม่แตกต่างกันมากนัก แต่สำหรับผ้าฝ้ายกอลซ์ดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 (CM-gauze (DS=0.843)) มีความต้านทานต่อแรงดันทะลุลดลงค่อนข้างมาก ทั้งนี้เป็นเพราะผ้าฝ้ายกอลซ์ดัดแปรนี้เริ่มเสียสภาพคือมีผิวสัมผัสที่กระด้างมากขึ้น ต่างจากลักษณะทางกายภาพของผ้าฝ้ายกอลซ์ดัดแปรที่ระดับการแทนที่ต่ำกว่า



รูปที่ 4.14 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปร ที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน

เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสทั้งที่ผ่านการดัดแปรและไม่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน มาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ พร้อมทั้งผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงที่แตกต่างกันและไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ตามที่แสดงในรูปที่ 4.15 พบว่าผลของการต้านทานต่อแรงดันทะลุไม่แตกต่างกันมากนัก โดยการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้นไปให้ผลการต้านทานต่อแรงดันทะลุที่สูงกว่าเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์ที่เกิดขึ้นจากการฉายแสงยูวีมีปริมาณที่มากกว่าเมื่อใช้ความเข้มแสงสูงขึ้นไป การที่มีอนุภาคซิลเวอร์คอลลอยด์มากขึ้นทำให้ต้องใช้แรงดันมากขึ้นในการดันให้ผ้าฝ้ายกอสทะลุ











รูปที่ 4.15 ความต้านทานต่อแรงดันทะลุของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

#### 4.7 ความสามารถในการต้านแบคทีเรีย (antibacterial activity)

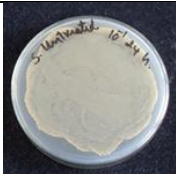



















ค่าร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรีย เป็นผลการทดสอบที่แสดงประสิทธิภาพการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเชิงปริมาณ จากผลการทดสอบการต้านแบคทีเรีย ตามมาตรฐาน AATCC100-04 ซึ่งคำนวณได้จากจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรีย ในการทดลองพบว่าจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียในจานเพาะเชื้อของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสที่ตัดแปรด้วยคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน 3 ระดับ พบจำนวนโคโลนีในจานเพาะเชื้อจำนวนมากทั้งเชื้อ *เอสเชอริเชีย โคไล* และเชื้อ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* ตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2 สำหรับเชื้อ *เอสเชอริเชีย โคไล* และตารางที่ 4.3 สำหรับเชื้อ *สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสมาผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน พบว่าจำนวนโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดในจานเพาะเชื้อลดลงมาก ส่วนผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน 3 ระดับที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกันนั้นแทบจะไม่พบโคโลนีของเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิด

บนจานเพาะเชื้อเลย ทั้งนี้เป็นเพราะสารซิลเวอร์เกิดการแตกตัวกลายเป็นซิลเวอร์ไอออน ( $Ag^+$ ) และไปเกาะที่ผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย จากนั้นซิลเวอร์ไอออนจะแทรกเข้าไปภายในเซลล์ของเชื้อแบคทีเรีย และไปเกาะกับหมู่ซัลไฟดริล (-SH) ของเอนไซม์ที่มีอะตอมของซัลเฟอร์เป็นองค์ประกอบจึงเกิดการจับตัวกับซิลเวอร์ รบกวนระบบเมทาโบลิซึมทำให้เกิดการยับยั้งการเจริญเติบโตของเซลล์แบคทีเรีย เกิดการทำลายระบบหายใจ ส่งผลทำให้เชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดไม่สามารถเจริญเติบโตต่อไปได้

ตารางที่ 4.2 จานเพาะเชื้อเอสเชอริเชีย โคไลของผ้าฝ้ายกอกชและผ้าฝ้ายกอกชตัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	No silver	silver (no UV)	silver (UV1)	silver (UV2)	silver (UV3)
Control gauze					
CM-gauze (DS=0.128)					
CM-gauze (DS=0.385)					
CM-gauze (DS=0.843)					

ตารางที่ 4.3 จานเพาะเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียสของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปร ที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	No silver	silver (no UV)	silver (UV1)	silver (UV2)	silver (UV3)
Control gauze					
CM-gauze (DS=0.128)					
CM-gauze (DS=0.385)					
CM-gauze (DS=0.843)					

ค่าร้อยละการลดลงของเชื้อแบคทีเรียที่เรียกว่าค่านวนได้นั้น ได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.4 สำหรับเชื้อ เอสเซอริเชีย โคไล และตารางที่ 4.5 สำหรับเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส พบว่าทั้งผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปร (control gauze) และผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน ไม่สามารถต้านได้ทั้งเชื้อเอสเซอริเชีย โคไล และเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส แต่เมื่อนำทั้งผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน 3 ระดับมาผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ผ่านการดัดแปรที่เคลือบด้วยสารซิลเวอร์และไม่ผ่านการฉายแสงยูวีจะมีค่าร้อยละการลดลงของเชื้อ เอสเซอริเชีย โคไลที่ 89.63 เปอร์เซ็นต์ และของเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียสที่ 90.45 เปอร์เซ็นต์ แต่เมื่อทำการดัดแปรผ้าฝ้ายกอสด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ระดับการแทนที่ที่แตกต่างกัน และ

นำมาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์และไม่ผ่านการฉายแสงยูวี จะมีร้อยละการลดลงของเชื้อเอสเชอริเชีย โคไลเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ สำหรับค่าร้อยละการลดลงของเชื้อสเตฟิโลค็อกคัส ออเรียสก็เกือบ 100 เปอร์เซ็นต์เช่นกัน แสดงว่าการดัดแปรผ้าฝ้ายกอชด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันช่วยทำให้การยึดจับสารซิลเวอร์ดีขึ้น ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้งสองชนิดดีขึ้น

ตารางที่ 4.4 ความสามารถในการต้านเชื้อเอสเชอริเชีย โคไลของผ้าฝ้ายกอลและผ้าฝ้ายกอลดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	จำนวนแบคทีเรีย CFU/ml (0 ชม.)	จำนวนแบคทีเรีย CFU/ml (24 ชม.)	ร้อยละการ ลดลงของ แบคทีเรีย
Blank	$2.7 \times 10^5$	-	-
Control gauze	-	$>3.0 \times 10^6$	0
Control gauze + silver (no UV)	-	$2.8 \times 10^4$	89.63
Control gauze + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
Control gauze + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
Control gauze + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.843) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99

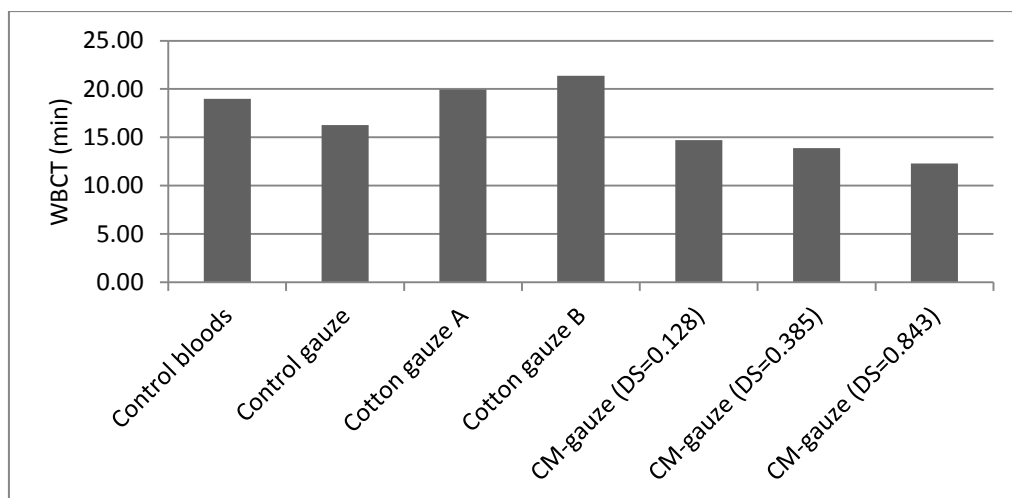
ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการต้านเชื้อสแตฟิโลค็อกคัส ออเรียสของผ้าฝ้ายกอซและผ้าฝ้ายกอซตัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	จำนวนแบคทีเรีย CFU/ml (0 ชม.)	จำนวนแบคทีเรีย CFU/ml (24 ชม.)	ร้อยละการ ลดลงของ แบคทีเรีย
Blank	$2.2 \times 10^5$	-	-
Control gauze	-	$>3.0 \times 10^6$	0
Control gauze + silver (no UV)	-	$2.1 \times 10^4$	90.45
Control gauze + silver (UV1)	-	$2.0 \times 10^3$	99.09
Control gauze + silver (UV2)	-	$1.0 \times 10^3$	99.54
Control gauze + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	-	$1.3 \times 10^4$	94.09
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.843) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99

#### 4.8 สมบัติทางด้านการแข็งตัวของเลือด (whole blood clotting time)

การสรุปการแข็งตัวของเลือด พบว่าผ้าฝ้ายกอกชแต่ละประเภทนั้นสรุปได้ค่อนข้างยาก ทั้งนี้ เพราะมีผลของกลุ่มเลือดของผู้บริจาคโลหิตเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย ซึ่งหมู่เลือดของผู้บริจาคที่ไม่เหมือนกัน อาจส่งผลให้การแข็งตัวของเลือดแตกต่างกันออกไป จากการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบผ้าฝ้ายกอกชที่ใช้ในการทำวิจัยกับผ้าฝ้ายกอกช 2 ชนิด คือผ้าฝ้ายกอกช A และผ้าฝ้ายกอกช B จากกราฟในรูปที่ 4.16 พบว่าผ้าฝ้ายกอกชที่ใช้ในงานวิจัยนี้ช่วยให้เลือดแข็งตัวได้เร็วกว่าผ้าฝ้ายกอกชทั้ง 2 ชนิด โดยผ้าฝ้ายกอกช B ใช้เวลาในการแข็งตัวของเลือดมากที่สุดคือใช้เวลา 21.38 นาที รองลงมาคือผ้าฝ้ายกอกช A ใช้เวลา 19.95 นาที ซึ่งผ้าฝ้ายกอกชทั้ง 2 ชนิดนี้ไม่มีสมบัติช่วยให้เลือดแข็งตัวเร็วกว่าปกติ แต่ผ้าฝ้ายกอกชที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีสมบัติช่วยให้เลือดแข็งตัวเร็วกว่าปกติ ประมาณ 3 นาที

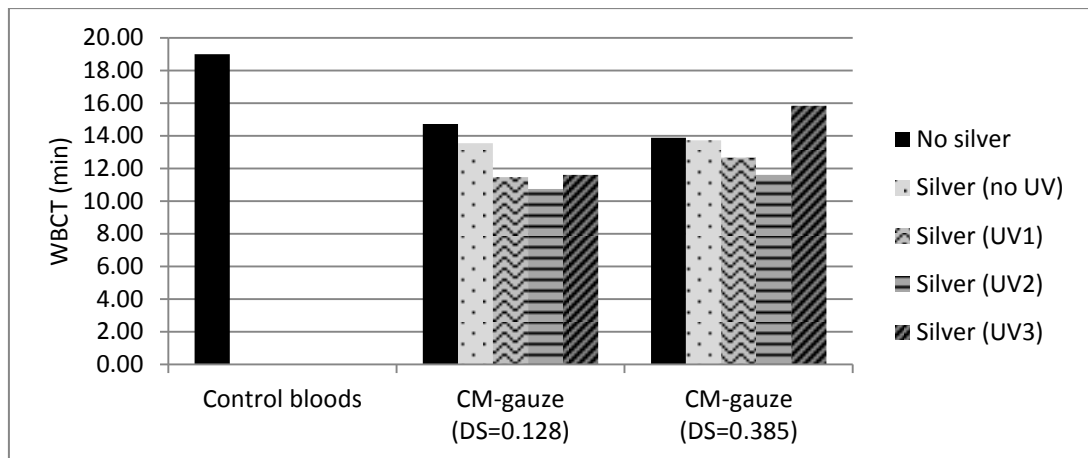
ส่วนผ้าฝ้ายกอกชที่ผ่านการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน พบว่าช่วยให้เลือดแข็งตัวได้เร็วขึ้น และเมื่อผ้าฝ้ายกอกชมีระดับการแทนที่สูงขึ้น ช่วยให้เลือดแข็งตัวได้เร็วขึ้น โดยผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 ช่วยให้เลือดแข็งตัวเร็วกว่าปกติประมาณ 4 นาที ผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 ช่วยให้เลือดแข็งตัวเร็วกว่าปกติประมาณ 6 นาที และผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 ช่วยให้เลือดแข็งตัวเร็วกว่าปกติประมาณ 7 นาที แต่เนื่องจากผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 มีลักษณะผ้าที่เริ่มเสียสภาพเมื่อผ่านขั้นตอนการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์และอาจมีลักษณะที่ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นผ้าฝ้ายกอกชปิดแผลได้ จึงเลือกเฉพาะผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 ไปทำการศึกษาต่อถึงผลของการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ และผลของความเข้มแสงยูวีที่มีต่อสมบัติการแข็งตัวของเลือด



รูปที่ 4.16 ความสามารถในการแข็งตัวของเลือดของผ้าฝ้ายกอสที่ใช้ในการวิจัย ผ้าฝ้ายกอส A ผ้าฝ้ายกอส B และผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน

สำหรับผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 เมื่อผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ และผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 และ 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร มีผลทำให้การแข็งตัวของเลือดเร็วขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ แต่ผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร กลับให้ผลการแข็งตัวของเลือดช้าลงเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงต่ำกว่า อาจเป็นผลมาจากการมีอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ลดลง ตามที่ได้แสดงผลไว้ในหัวข้อ 4.3 เมื่ออนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์มีปริมาณลดลง การเกิดซิลเวอร์ไอออนที่มีประจุบวกจึงเกิดได้น้อยลง ความสามารถในการดูดซับกับเกล็ดเลือดที่มีพื้นผิวเป็นโปรตีนที่มีประจุลบจึงลดลง ส่งผลให้การแข็งตัวของเลือดช้าลง





รูปที่ 4.17 ความสามารถในการแข็งตัวของเลือดของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการดัดแปรผ้าฝ้ายกอสด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันแบบวิธีการดูดซับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 โดยนำหนักต่อปริมาตร และกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เวลาในการทำปฏิกิริยา 4 ชั่วโมง เพื่อเปลี่ยนหมู่ไฮดรอกซิลของผ้าฝ้ายกอสให้เป็นหมู่คาร์บอกซิล หลังจากนั้นทำการเคลือบผ้าฝ้ายกอสทั้งที่ไม่ดัดแปรและที่ดัดแปรด้วยสารซิลเวอร์ หลังจากนั้นทำการฉายแสงยูวีที่ระดับความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับ คือที่ความเข้มแสงยูวี 300 500 และ 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร และทำการศึกษาสมบัติการแข็งตัวของเลือด สมบัติการต้านแบคทีเรีย และสมบัติทางกายภาพ เช่น ความต้านทานต่อแรงดันทะลุ การดูดซับน้ำเกลือ และความขาว จากผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ดังนี้

1) จากกราฟ ATR-FTIR ของผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ดัดแปรและผ้าฝ้ายกอสที่ดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน ผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรจะปรากฏพีกที่ตำแหน่งประมาณ  $1605\text{ cm}^{-1}$  ที่เด่นมาก ซึ่งเป็นพีกที่ยืนยันว่ามีหมู่คาร์บอกซิล ( $\text{COO}^-$ ) เกิดขึ้นบนผ้าฝ้ายกอสดัดแปร แสดงว่าการแทนที่หมู่ไฮดรอกซิลด้วยหมู่คาร์บอกซิลบนผ้าฝ้ายกอสดัดแปร

2) สภาวะการดัดแปรผ้าฝ้ายกอสด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันแบบวิธีการดูดซับในสภาวะที่ใช้ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์คงที่และเวลาในการทำปฏิกิริยาที่เท่ากันที่ 4 ชั่วโมง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นกรดโมโนคลอโรแอซิดิก มีผลทำให้ค่าระดับการแทนที่เพิ่มมากขึ้น โดยผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการดัดแปรด้วยกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่ความเข้มข้นร้อยละ 15 20 และ 25 โดยนำหนักต่อปริมาตร มีระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 0.385 และ 0.843 ตามลำดับ

3) จากกราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการตกแต่งด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวีและผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้น ปรากฏพีกที่ตำแหน่งใกล้เคียงกับพีกที่ปรากฏในผ้าฝ้ายกอส โดยไม่พบพีกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์

4) จากกราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 และ 0.385 ปรากฏพีคในส่วนของเซลล์ลูโลสที่มีความเข้มพีคต่ำลง เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสตัดแปรนี้ไปผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่ผ่านการฉายแสงและผ่านการฉายแสง 3 ระดับ ลักษณะพีคยืนยันได้ว่าผลึกของอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์เป็นชนิด chlorargyrite แสดงว่าการตัดแปรช่วยให้การยึดเกาะซิลเวอร์ไอออนดีขึ้น แต่ที่ความเข้มแสงยูวี 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ความสูงพีคต่ำลงเพราะอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ลดลง แต่กรณีผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เมื่อผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ ผ้าเกิดการเสียหาย จึงพบอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์น้อยกว่าบนผ้าฝ้ายกอสที่ตัดแปรด้วยกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่ความเข้มข้นต่ำกว่า

5) จากภาพ SEM ของผ้าฝ้ายกอส เส้นใยมีพื้นผิวที่เรียบ เมื่อผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี พบอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ขนาดเล็กกระจายตัวสม่ำเสมอบนพื้นผิวเส้นใย เมื่อนำมาผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้นพบว่าอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์มีความหนาแน่นมากขึ้น เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสมาผ่านการตัดแปรด้วยกรดโมโนคลอโรแอซิดิกที่ความเข้มข้นสูงขึ้น พบว่าพื้นผิวเส้นใยยังคงเรียบเหมือนผิวเส้นใยของผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปร แต่ผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่เคลือบสารซิลเวอร์มีอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ยึดเกาะบนพื้นผิวเส้นใยมากกว่าเส้นใยที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปร และอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์บนพื้นผิวเส้นใยหนาแน่นมากขึ้นเมื่อผ้าฝ้ายกอสตัดแปรมีระดับการแทนที่สูงขึ้น เมื่อนำผ้าฝ้ายกอสทั้งที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่เคลือบสารซิลเวอร์มาผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้นพบว่าอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์เกาะกลุ่มกันใหญ่ขึ้น และหนาแน่นมากกว่าในผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรที่เคลือบสารซิลเวอร์และไม่ผ่านการฉายแสงยูวี

6) ผ้าฝ้ายกอสตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันมีความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือมากกว่าผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ผ่านการตัดแปร เมื่อผ้าฝ้ายกอสตัดแปรมีระดับการแทนที่สูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือมากขึ้น และเมื่อนำมาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวี ความสามารถในการดูดซับน้ำเกลือลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ไม่มีการเคลือบสารซิลเวอร์

7) ผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการตัดแปรจะมีความขาวลดลง และค่าความขาวลดลงอย่างมากเมื่อผ่านขั้นตอนการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ และยังลดต่ำลงเมื่อฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้น

8) ผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่ทั้ง 3 ระดับ มีความต้านทานต่อแรงดันทะลุสูงกว่าผ้าฝ้ายกอส แต่ความต้านทานต่อแรงดันทะลุจะลดลงเมื่อผ้าฝ้ายกอสตัดแปรมีระดับการแทนที่สูงขึ้น เป็นผลมาจากการหดตัวของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรน้อยลงเมื่อระดับการแทนที่มากขึ้น และเมื่อนำผ้าฝ้ายกอสทั้งที่ไม่ได้ผ่านการตัดแปรและผ่านการตัดแปรมาเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงที่แตกต่างกันและไม่ผ่านการฉายแสงยูวี พบว่าผลของการต้านทานต่อแรงดันทะลุไม่แตกต่างกันมากนัก โดยการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงสูงขึ้นไปให้ผลการต้านทานต่อแรงดันทะลุที่สูงกว่าเล็กน้อย

9) ทั้งผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันที่ไม่ได้เคลือบสารซิลเวอร์จะไม่มีผลในการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง*เอสเชอริเชีย โคไล* และ*สแตฟิโลค็อกคัส ออเรียส* แต่เมื่อผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน 3 ระดับและที่ไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ให้ผลการต้านเชื้อแบคทีเรียทั้ง*เอสเชอริเชีย โคไล* และ*สแตฟิโลค็อกคัส-ออเรียส* ได้ดีขึ้นอย่างมาก

10) ผ้าฝ้ายกอสที่ผ่านการตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันช่วยให้เลือดแข็งตัวได้เร็วกว่าผ้าฝ้ายกอสที่ไม่ผ่านการตัดแปร และเลือดจะแข็งตัวเร็วขึ้นอีกเมื่อผ้าฝ้ายกอสตัดแปรมีระดับการแทนที่สูงขึ้น เมื่อผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์และฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 300 และ 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร เลือดจะแข็งตัวเร็วขึ้น แต่เมื่อฉายแสงที่ความเข้มแสง 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร เลือดแข็งตัวช้าลง เนื่องจากปริมาณอนุภาคซิลเวอร์คลอไรด์ลดลง

โดยสรุปผ้าฝ้ายกอสตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันแบบวิธีการดูดซับด้วยไซเดียม-ไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร และกรดโมโนคลอโรแอซิดิกความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง ที่มีระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 และผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์โดยผ่านการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสง 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร เป็นสภาวะที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้เป็นวัสดุปิดแผลที่สุด เนื่องจากสามารถช่วยดูดซับของเหลวจากบาดแผล ด้านแบคทีเรียและช่วยให้เลือดแข็งตัวได้เร็วขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองที่กล่าวมาข้างต้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมดังนี้

- 1) ศึกษาความเป็นพิษของผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ผ่านการเคลือบ สารซิลเวอร์ต่อสัตว์ทดลองก่อนที่จะนำมาใช้งานได้จริง
- 2) ศึกษาประสิทธิภาพในการเกิดรีดักชันของซิลเวอร์ไอออน ด้วยวิธีทางเคมี เปรียบเทียบกับการฉายแสงยูวี

## รายการอ้างอิง

- [1] Disayaphong Jainaknan. The Alchemist. [Online]. 2008. Available from:  
<http://disayaphong.wordpress.com/2008/11/03/nanosilver/>  
[2013, August 20]
- [2] อัจฉรา วัจนภิญญ. คู่มือการปฐมพยาบาล. กรุงเทพมหานคร : ยูไนเต็ดบุ๊กส์, 2530.
- [3] วิจิตรา กุสุมภ์. การพยาบาลผู้ป่วยที่มีบาดแผล. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพมหานคร :  
โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- [4] จีรา พलगูร, ดารณี ชุมนุมศิริวัฒน์, และสมทรง เลขะกุล. การห้ามเลือดและการแข็งเป็น  
ลิ่มของเลือด. กรุงเทพมหานคร : พรประเสริฐ พรินติ้ง, 2536.
- [5] พัชรีย์ วิชยานุวัติ. การห้ามเลือด ชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล เล่ม 2.  
กรุงเทพมหานคร : บริษัท ธรรมสาร จำกัด, 2542.
- [6] Mirza Muhammad Adnan. Experts in Platelet Aggregation Platelet Functional Tests  
and trials. [Online]. 2008. Available from: <http://medicinembbs.blogspot.com/2011/02/normal-hemostasis.html> [2013, August 20]
- [7] Ruggeri ZM. Platelets in atherothrombosis. Natural Medicines 11, 8(2002):  
1227-1234.
- [8] Laurie Swezey. Wound Dressing Selection. [Online]. Available from:  
<http://www.woundsource.com/blog/wound-dressing-selection-types-and-usage> [2013, August 25]
- [9] Murakami, K.; Aoki, H.; Nakamura, S.; Nakamura, S.; Takikawa, M.; Hanzawa, M.;  
Kishimoto, S.; Hattori, H.; Tanaka, Y.; Kiyosawa, T.; Sato, Y.; and Ishihara,  
M. Hydrogel blends of chitin/chitosan, fucoidan and alginate as healing-  
impaired wound dressings. Biomaterials 22, 31(2010): 83-90.

- [10] Muangman, P.; Muangman, S.; Opananon, S.; Keorochana, K.; and Chuntrasakul, C. Benefit of hydrocolloid SSD dressing in the outpatient management of partial thickness burns. Journal of the Medical Association of Thailand 92, (2009): 1300-1305.
- [11] Trial, C.; Darbas, H.; Lavigne, J. P.; Sotto, A.; Simoneau, G.; Tillet, Y.; and Téot, L. Assessment of the antimicrobial effectiveness of a new silver alginate wound dressing. Journal of Wound Care 19, (2010): 20-26.
- [12] Muangman, P.; Pundee, C.; Opananon, S.; and Muangman, S. A prospective randomized trial of silver containing hydrofiber dressing versus 1% silver sulfadiazine for the treatment of partial thickness burns. International Wound Journal 7(2010): 271-276.
- [13] วิมลรัตน์ ศรีจรัสสิน. เทคโนโลยีสิ่งทอเบื้องต้น. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : กราฟแมนเพรส, 2551.
- [14] รศ.ดร.ดุษฎี อุดภาพ. สมบัติทางเคมีของคาร์โบไฮเดรต-ไฮโดรคอลลอยด์. [ออนไลน์]. 2555. แหล่งที่มา: <http://eu.lib.kmutt.ac.th/elearning/Courseware/BCT611/chapter4.html> [10 สิงหาคม 2556]
- [15] ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์. คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส ซีเอ็มซี. [ออนไลน์]. 2552. แหล่งที่มา: <http://www.foodnetworksolution.com/vocab/word/1439/CMC> [10 สิงหาคม 2556]
- [16] กฤษณา ศิริเลิศมุกด. เซลลูโลสจากเปลือกทุเรียน. [ออนไลน์]. 2547. แหล่งที่มา: <http://www.material.chula.ac.th/RADIO47/September/radio9-4.htm> [10 สิงหาคม 2556]
- [17] วิทวัส จิรัฐพงศ์. การศึกษาปริมาณเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนินจากของเหลือทิ้ง. [ออนไลน์]. 2554. แหล่งที่มา: <http://www.chem.eng.psu.ac.th/tiche2011/T-CHE/data/paper/thai/tes/oral/tes007.pdf> [10 สิงหาคม 2556]

- [18] สุวณี สุภเวทย์ และมาลัย วรจิตร. แบคทีเรียพื้นฐาน. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ ศิริยอด, 2540.
- [19] ไสภณ คงสำราญ และคณะ. แบคทีเรียทางการแพทย์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์พิมพ์มเนศ, 2524.
- [20] Matthew Banks. E coli. [Online]. 2004. Available from: <http://earthspared.org/?p=224> [2013, August 24]
- [21] Kenneth Todar. Staphylococcus aureus and Staphylococcal Disease. [Online]. 2000. Available from: <http://textbookofbacteriology.net/staph.html> [2013, August 24]
- [22] Rahimi, S.; Milani, S. A.; Ghasemi N.; and Shahi, S. Antibacterial Agents in Dental Treatments. Dental and Periodontal Research Center, Faculty of Dentistry, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz 333-344.
- [23] Feng, Q. L.; Wu, J.; Chen, G. Q.; Cui, F. Z.; Kim, T. N.; and Kim, J. O. A mechanistic study of the antibacterial effect of silver ions on Escherichia coli and Staphylococcus aureus. Journal of Biomedical Materials Research 52(2000): 662-668.
- [24] Steve Barwick. Clinical Studies on the Germ-Fighting Effects of Silver Ions. [Online]. 2008. Available from: <http://www.thelittlegymrama3.com/index> [2013, August 24]
- [25] Kholoud, M. M.; Nour, E. A.; Eftaiha, A. A.; Warthan, A. A.; and Reda, A. A. Synthesis and applications of silver nanoparticles. Arabian Journal of Chemistry 3(2000): 135-140.
- [26] Gurav, A.; Kodas, T.; Wang, L.; Kauppinen, E.; and Joutsensaari, J. Generation of nano-meter size fullerene particles via aerosol routes. Chemical Physics Letters 218(1994): 304-308.



- [27] Jung, J. H.; Oh, H. C.; Noh, H. S.; Ji, J. H.; and Kim, S. S. Metal nanoparticle generation using a small ceramic heater with a local heating area. Journal of Aerosol Science 37(2006): 1662-1670.
- [28] Mafune, F.; Kohno, J.; Takeda, Y.; Kondow, T.; and Sawabe, H. Formation of gold nanoparticles by laser ablation in aqueous solution of surfactant. Journal of Physical Chemistry B 104(2000): 9111-9117.
- [29] Hwang, C.; Fu, Y.; Lu, Y.; Jang, S.; Chou, T.; Wang, C.; and Yu, S. Synthesis, Characterization and Highly Catalytic Reactivity of Suspended Palladium Nanoparticles. Journal of Catalysis 195(2000): 336-341.
- [30] Tao, A.; Sinsermsuksaku, P.; and Yang, P. Polyhedral Silver Nanocrystals with Distinct Scattering Signatures. Angewandte Chemie International edition 45(2006): 4597-4601.
- [31] Lee, P.; and Meisel, D. Adsorption and surface-enhanced Raman of dyes on silver and gold sols. Journal of Physical Chemistry 86(1982): 3391-3395.
- [32] Oliveira, M.; Ugarte, D.; Zanchet, D.; and Zarbin, A. Influence of synthetic parameters on the size, structure, and stability of dodecanethiol-stabilized silver nanoparticles. Journal of Colloid Interface Science 292(2005): 429-435.
- [33] Bai, J.; Li, Y.; Du, J.; Wang, S.; Zheng, J.; Yang, Q.; and Chen, X. One-pot synthesis of polyacrylamide-gold nanocomposite. Materials Chemistry and Physics 106(2007): 412-415.
- [34] Huang, H.; and Yang, Y. Preparation of silver nanoparticles in inorganic clay suspensions. Composite Science and Technology 68(2008): 2948-2953.
- [35] Sharma, V. K.; Yngard, R. A.; and Lin, Y. Silver nanoparticles: green synthesis and their antimicrobial activities. Advances in Colloid and Interface Science 145(2009): 83-96.
- [36] Vilchis-Nestor, A.; Sanchez-Mendieta, V.; and Camacho-Lopez, M. A. Solventless synthesis and optical properties of Au and Ag nanoparticles using *Camellia sinensis* extract. Materials Letters 62(2008): 3103-3105.

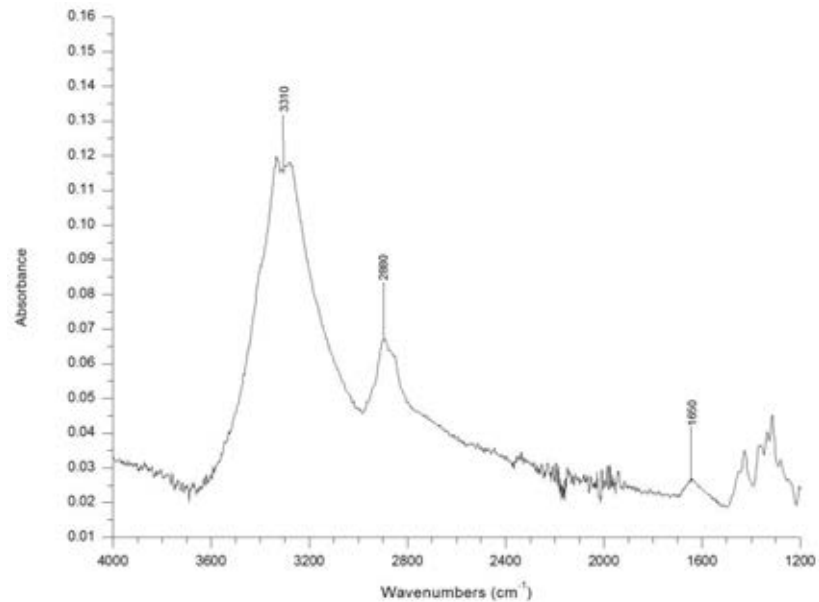
- [37] Kalishwaralal, K.; Deepak, V.; Ramkumarpandian, S.; Nellaiah, H.; and Sangiliyandi, G. Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles by culture supernatant of *bacillus licheniformis*. Materials Letters 62(2008): 4411-4413.
- [38] Ravindra, S.; Mohan, Y. M.; Reddy, N. N.; and Raju, K. M. Fabrication of antibacterial cotton fibres loaded with silver nanoparticles via "Green Approach". Colloids and Surfaces A 367(2010): 31-40.
- [39] Ilic, V.; Saponjic, Z.; Vodnik, V.; Potkonjak, B.; Jovancic, P.; Nedeljkovic, J.; and Radetic, M. The influence of silver content on antimicrobial activity and color of cotton fabrics functionalized with Ag nanoparticles. Carbohydrate Polymers 78(2009): 564-569.
- [40] Filipowska, B.; Rybicki, E.; Walawska, A.; and Matyjas-Zgondek, E. New Method for the Antibacterial and Antifungal Modification of Silver Finished Textiles. Fibres & Textiles in Eastern Europe 19(2011): 124-128.
- [41] Tian, J.; Wong, K.; Chi, H.; and Chun, L. Topical Delivery of Silver Nanoparticles Promotes Wound Healing. ChemMedChem 2(2007): 129-136.
- [42] Chen, C. Y.; and Chiang, C. L. Preparation of cotton fibers with antibacterial silver nanoparticles. Materials Letters 62(2008): 3607-3609.
- [43] Kittinaovarat, S.; Hengprapakron, N.; and Janvikul, W.; Comparative multifunctional properties of partially carboxymethylated cotton gauze treated by the exhaustion or pad-dry-cure methods. Carbohydrate Polymers 87(2012): 16-23.
- [44] Burapha University. Attenuated Total Reflectance Spectroscopy. [Online]. 1996. Available from: [http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer Chemistry/image\\_files/chapter5.html](http://www.sci.buu.ac.th/~chemistry/staff/thanida/Polymer%20Chemistry/image_files/chapter5.html) [2013,September 2]

- [45] Abbasi, R. A.; and Morsal, A. Ultrasound-assisted coating of silk yarn with silver chloride nanoparticles. Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects 371(2010): 113-118.
- [46] Cleveland analytical. X-ray diffraction. [Online]. 2006. Available from: <http://www.clevelandanalytical.co.nz/X-Ray%20Diffractometers/XRD%20in%20the%20Workplace%20-%20Practical%20XRD%20Techniques%20In%20The%20Workplace> [2013,September 2]
- [47] Australian Microscopy and Microanalysis Research Facility. SEM basic principle. [Online]. 2006. Available from: <http://www.ammrf.org.au/myscope/sem/practice/principles/layout.php> [2013,September 2]
- [48] Parikh, V. D.; Fink, T.; DeLucca, J. A.; and Parikh, D. A. Absorption and swelling characteristics of silver (I) antimicrobial wound dressings. Textile Research Journal 81(2010): 494-503.

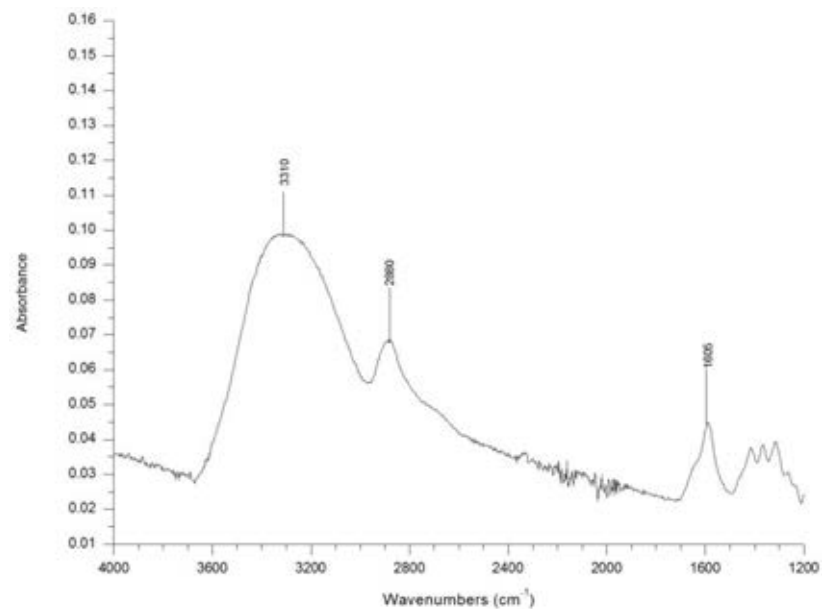
ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

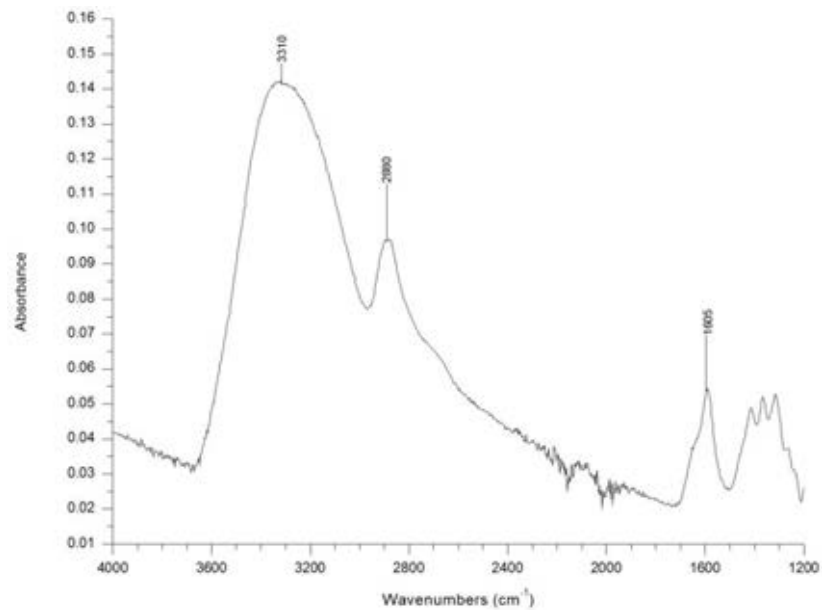
ผลการตรวจสอบหาหมู่ฟังก์ชันด้วยเครื่อง ATR-FTIR



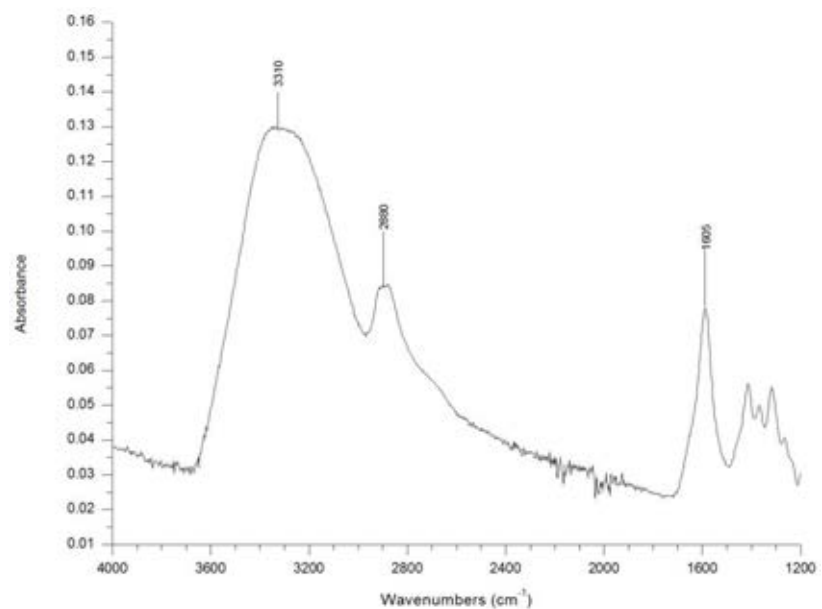
รูปที่ ก.1 กราฟ ATR-FTIR ของผ้าฝ้ายกอกชไม่ดัดแปร



รูปที่ ก.2 กราฟ ATR-FTIR ของผ้าฝ้ายกอกชดัดแปรด้วยคาร์บอกซีเมทิลเลชันที่ความเข้มข้นกรดโมโนคลอโรแอซิดร้อยละ 15 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ความเข้มข้นโซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง



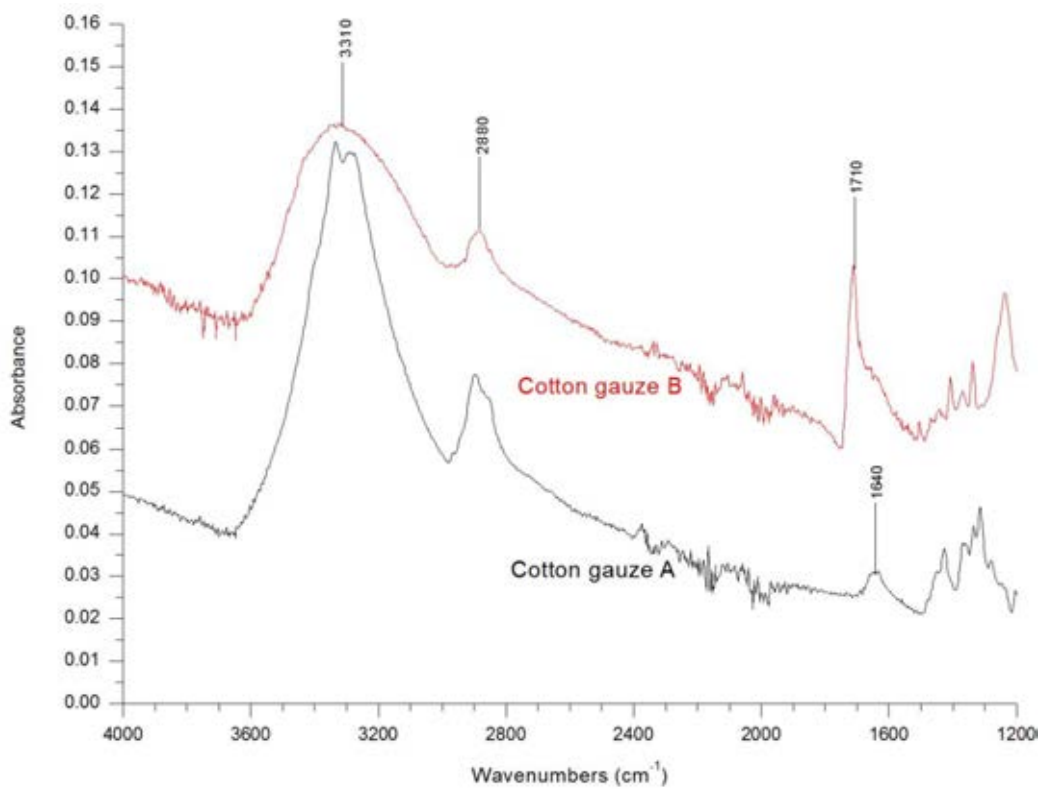
รูปที่ ก.3 กราฟ ATR-FTIR ของผ้าฝ้ายกอสที่ตัดแปรด้วยคาร์บอนซีเมทิลเลชันที่ความชื้นกรดโมโนคลอโรแอซิดที่ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ความชื้นไซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง



รูปที่ ก.4 กราฟ ATR-FTIR ของผ้าฝ้ายกอสที่ตัดแปรด้วยคาร์บอนซีเมทิลเลชันที่ความชื้นกรดโมโนคลอโรแอซิดที่ร้อยละ 25 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ความชื้นไซเดียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 35 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ทำปฏิกิริยาเป็นเวลา 4 ชั่วโมง

ตารางที่ ก.1 แสดงภาวะของตัวแปรที่มีผลต่อระดับการแทนที่ของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชันแบบวิธีการดูดซับ

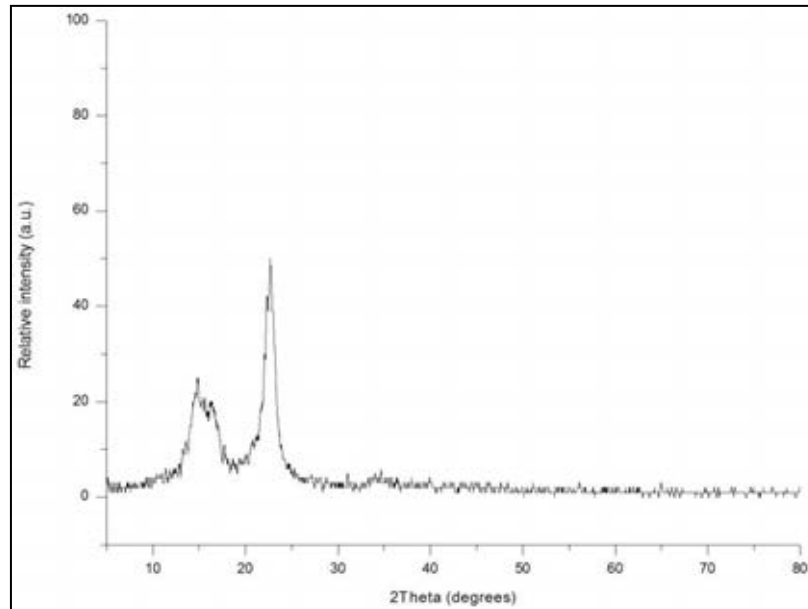
ความเข้มข้น (%โดยน้ำหนักต่อปริมาตร)		เวลา ชั่วโมง	ระดับการแทนที่					ค่าเฉลี่ย
โซเดียม- ไฮดรอกไซด์	กรดโมโน- คลอโรแอซิดิก		1	2	3	4	5	
35	15	4	0.176	0.111	0.083	0.154	0.127	0.128 ± 0.04
35	20	4	0.454	0.364	0.400	0.294	0.417	0.385 ± 0.06
35	25	4	0.846	0.800	0.818	0.960	0.796	0.843 ± 0.06



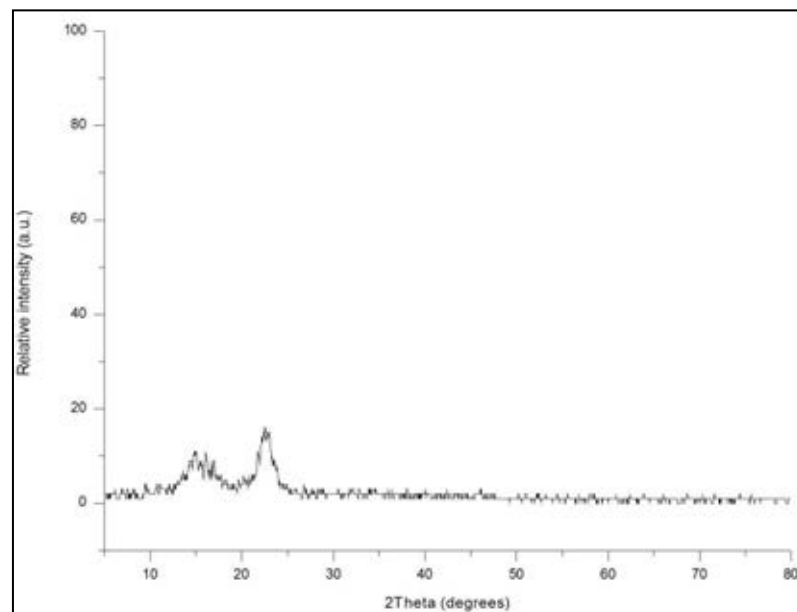
รูปที่ ก.5 กราฟ ATR-FTIR ของผ้าฝ้ายกอส A และผ้าฝ้ายกอส B

## ภาคผนวก ข

ผลการตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD

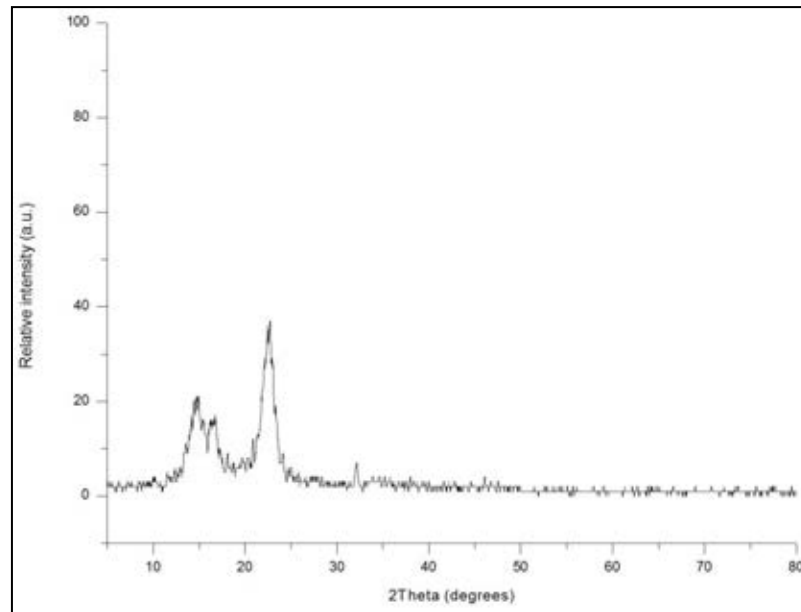


รูปที่ ข.1 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอม

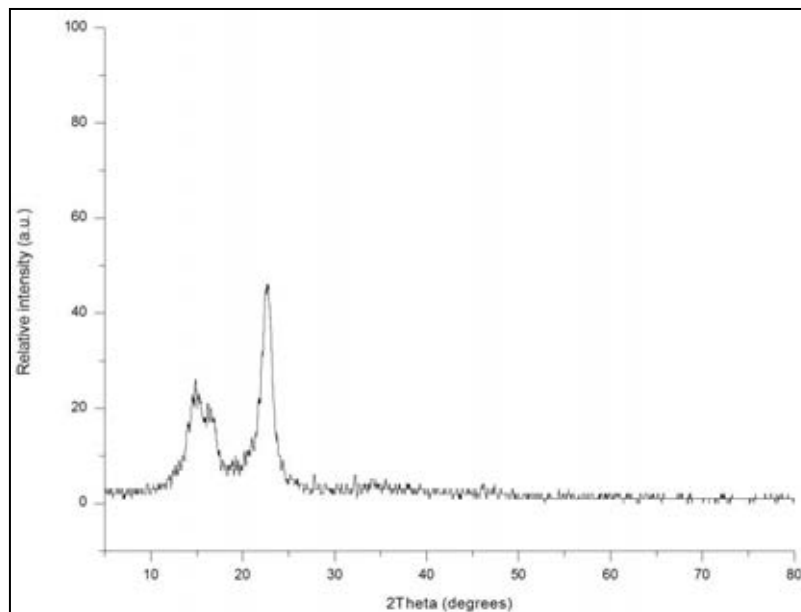


รูปที่ ข.2 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอมเคลือบสารซิลเวอร์ ไม่ฉายแสงยูวี

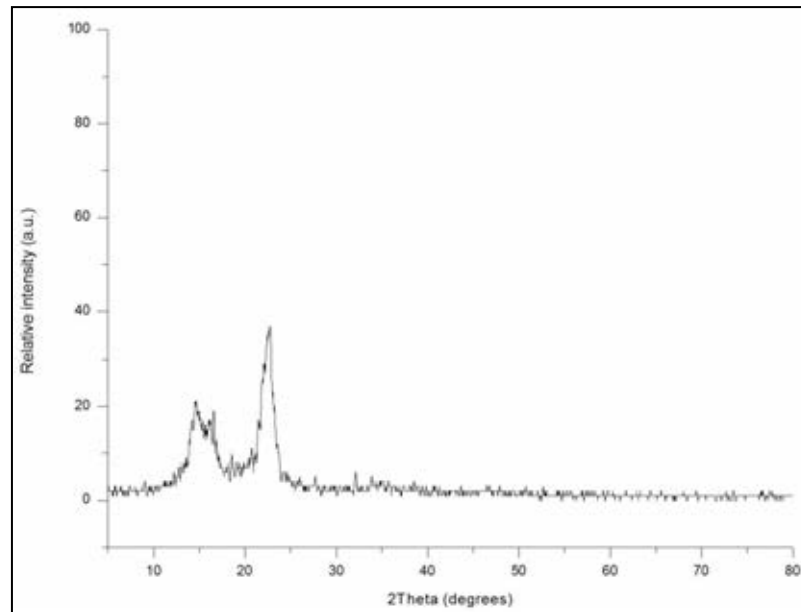




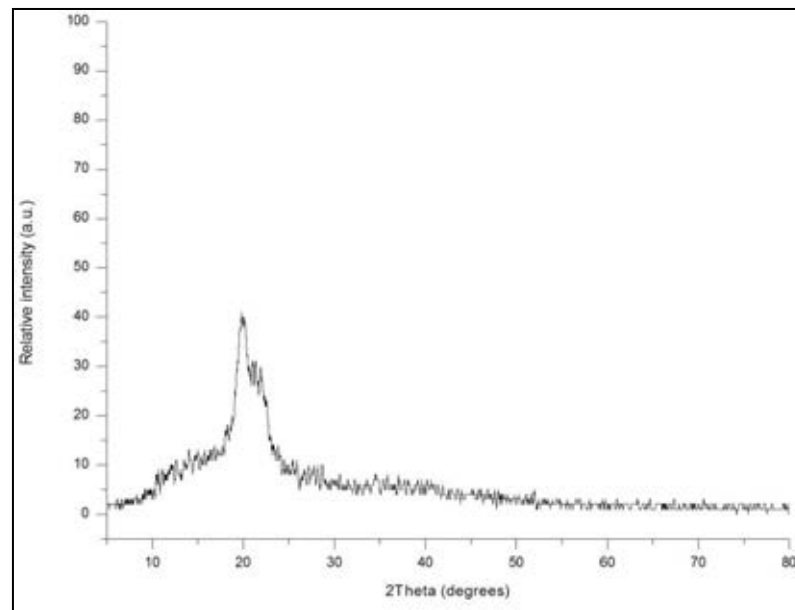
รูปที่ ข.3 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอบซเคลือบสารซิลเวอร์ฉายแสงยูวี 300 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



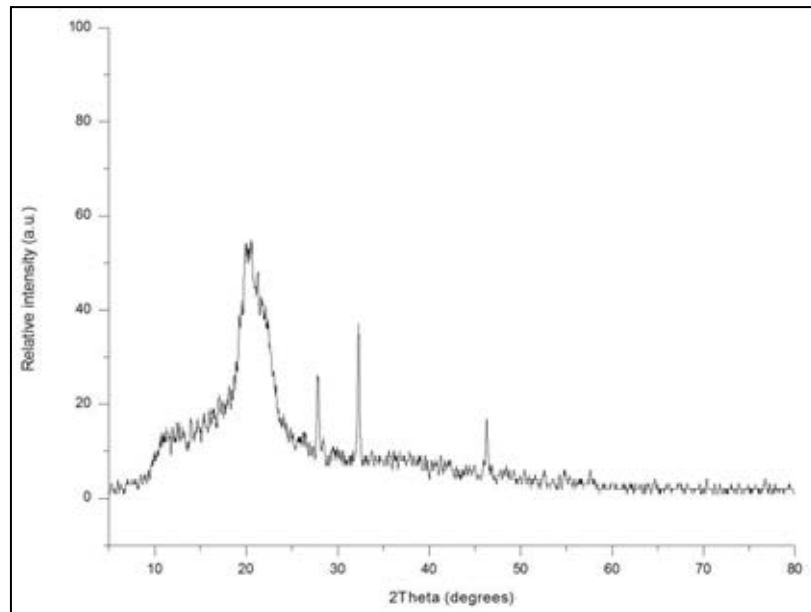
รูปที่ ข.4 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอบซเคลือบสารซิลเวอร์ฉายแสงยูวี 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



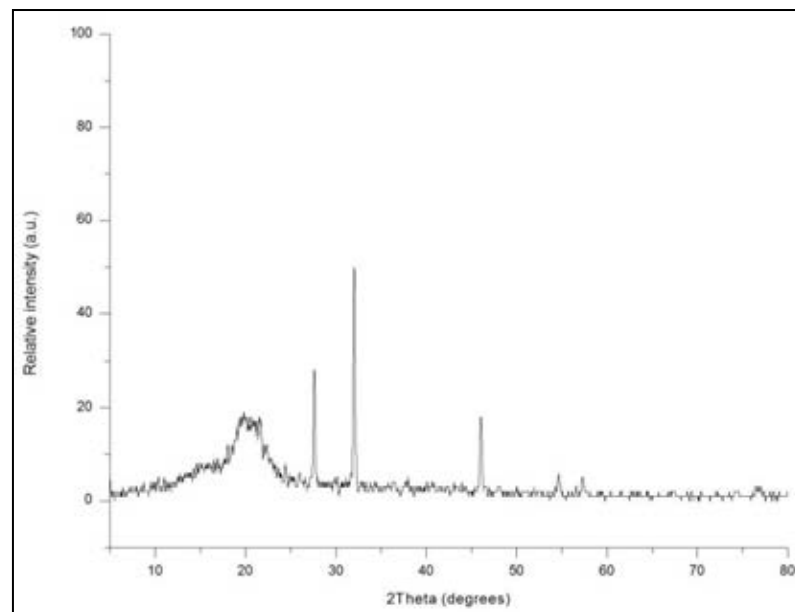
รูปที่ ข.5 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอลเซลลูโลสสารซิลเวอร์ฉายแสงยูวี 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



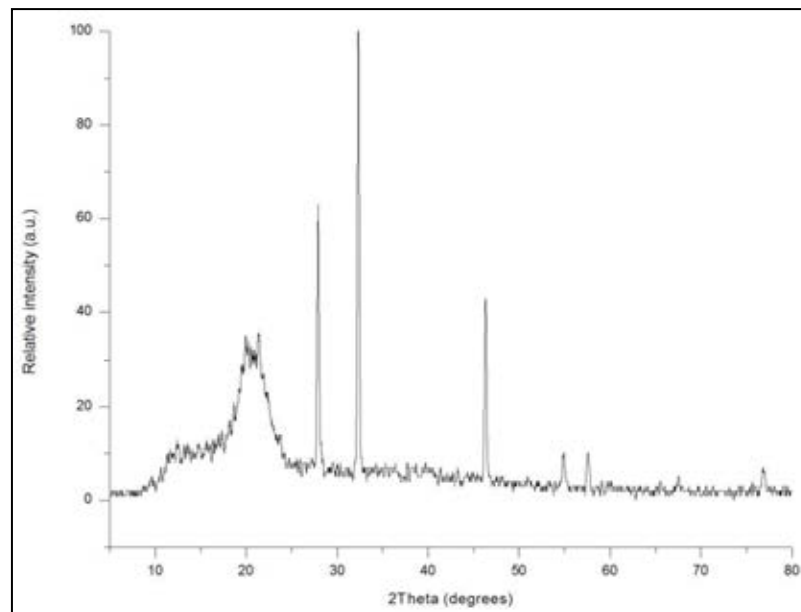
รูปที่ ข.6 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอลซัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128



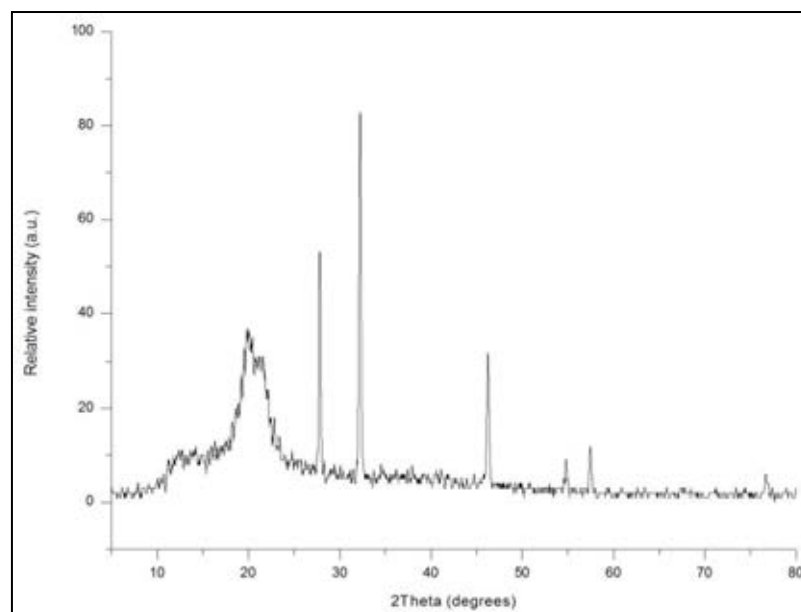
รูปที่ ข.7 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 เคลือบสารซิลเวอร์ ไม่ฉายแสงยูวี



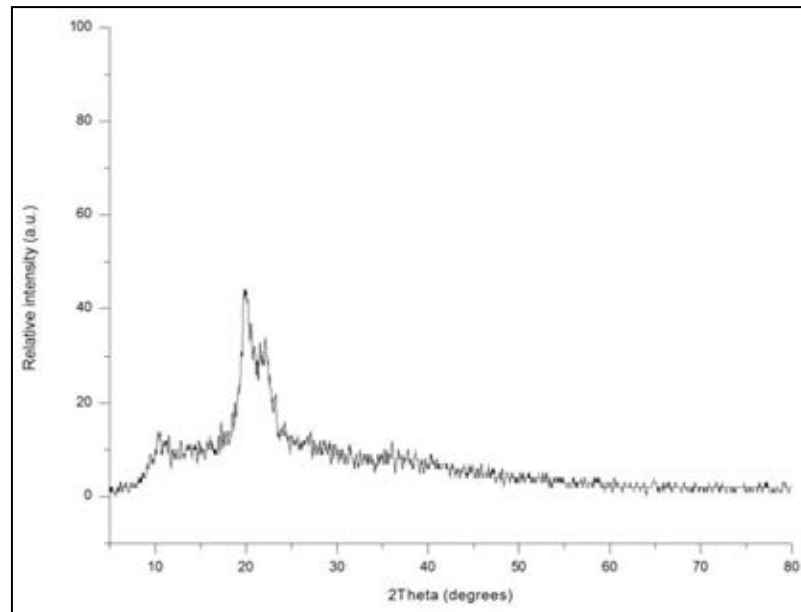
รูปที่ ข.8 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 300 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



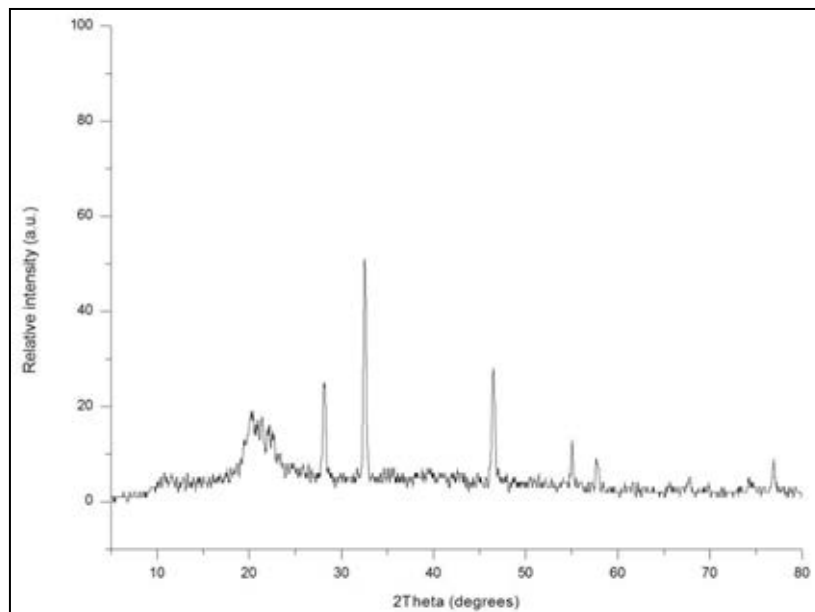
รูปที่ ข.9 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



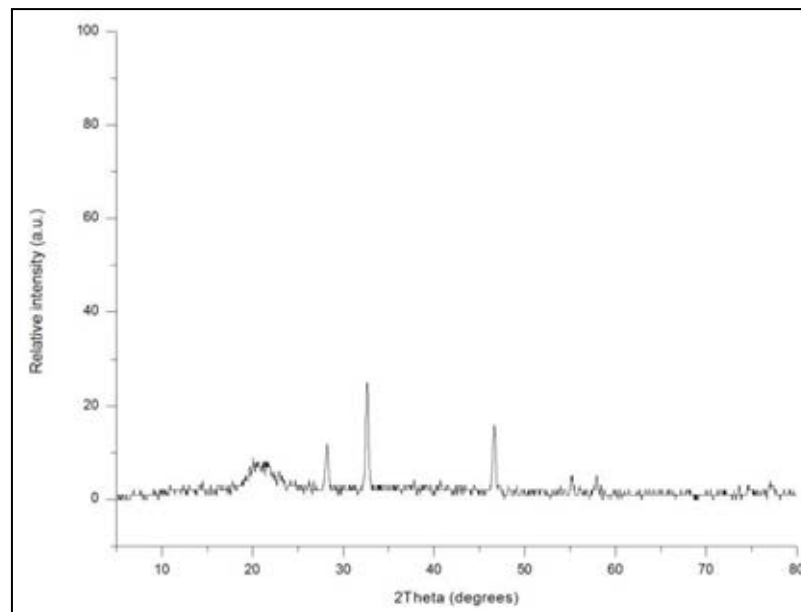
รูปที่ ข.10 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



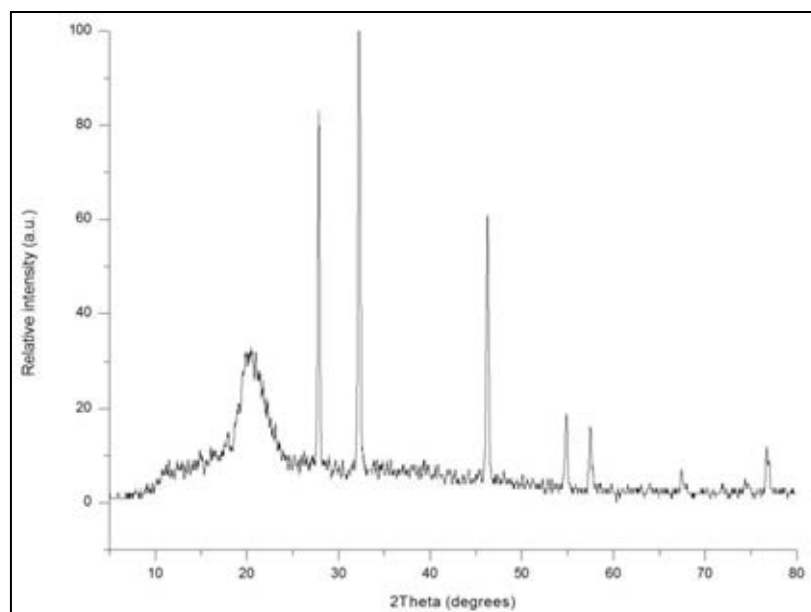
รูปที่ ข.11 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385



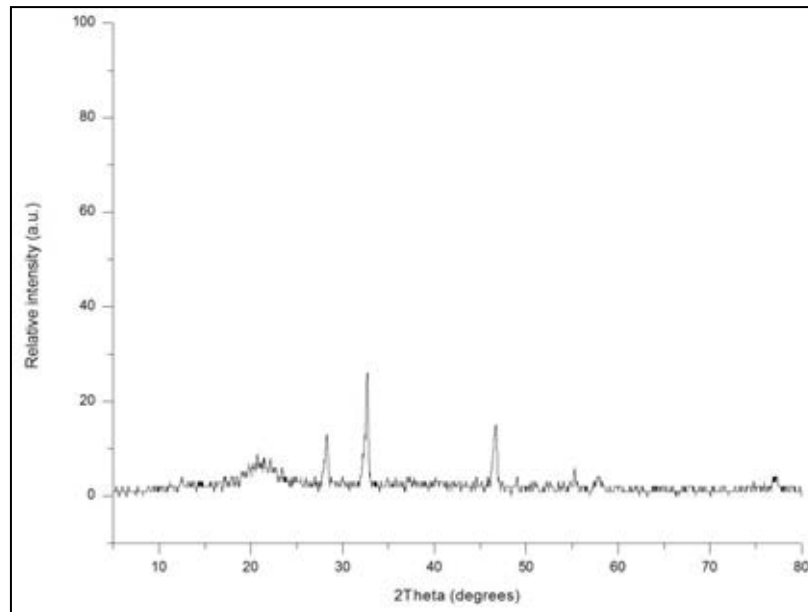
รูปที่ ข.12 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 เคลือบสารซิลเวอร์ ไม่ฉายแสงยูวี



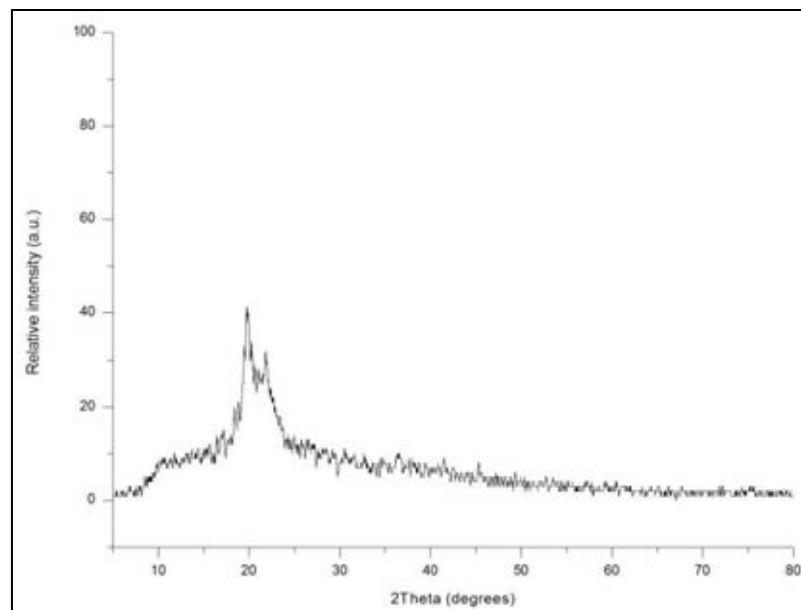
รูปที่ ข.13 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 300 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



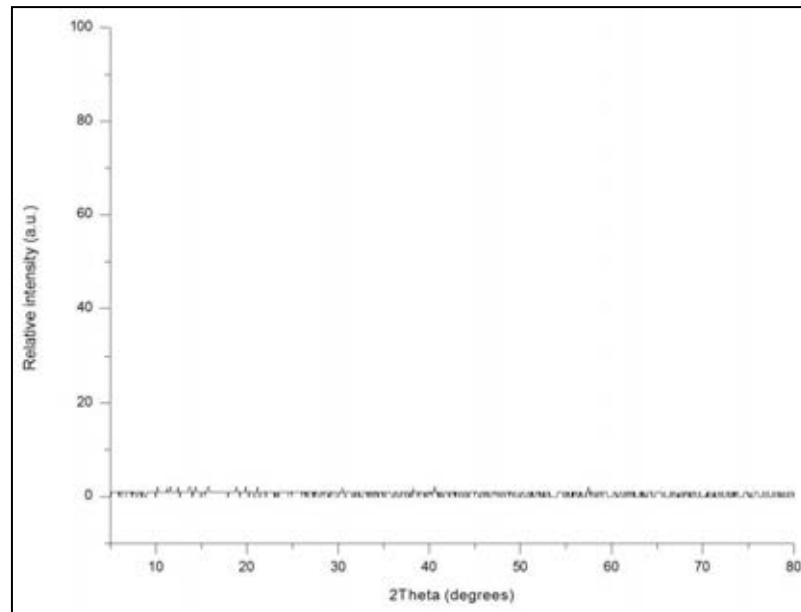
รูปที่ ข.14 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



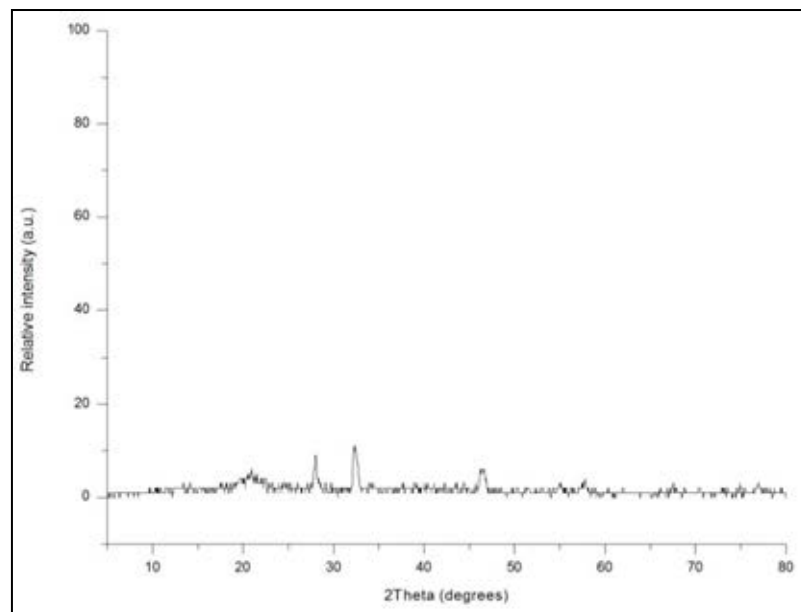
รูปที่ ข.15 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



รูปที่ ข.16 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843

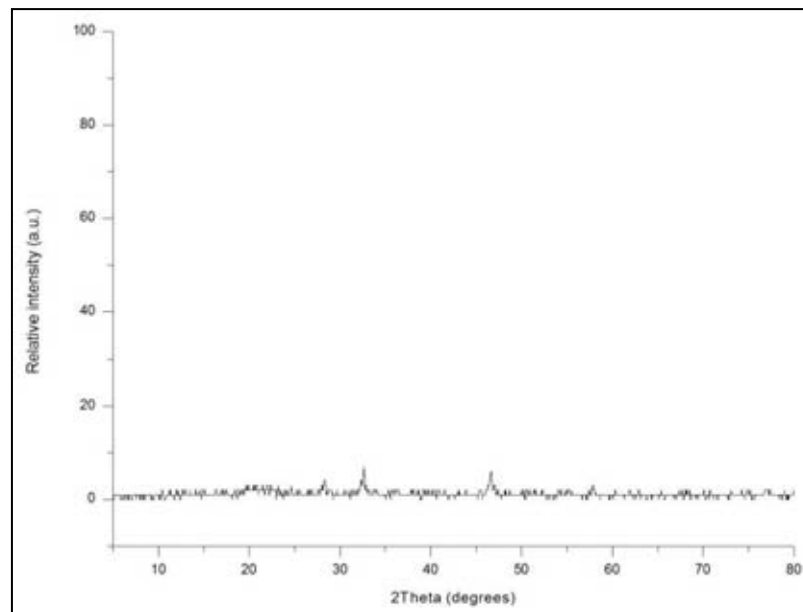


รูปที่ ข.17 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์ ไม่ฉายแสงยูวี

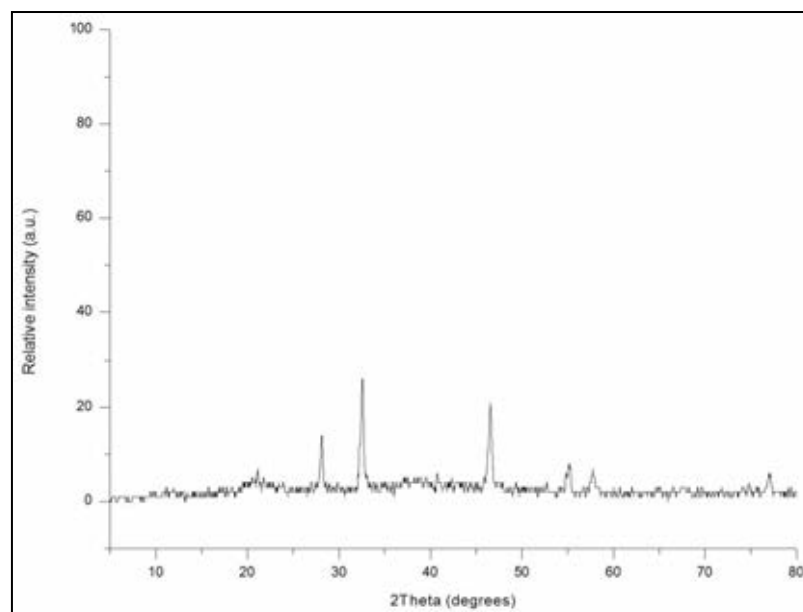


รูปที่ ข.18 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 300 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร





รูปที่ ข.19 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร



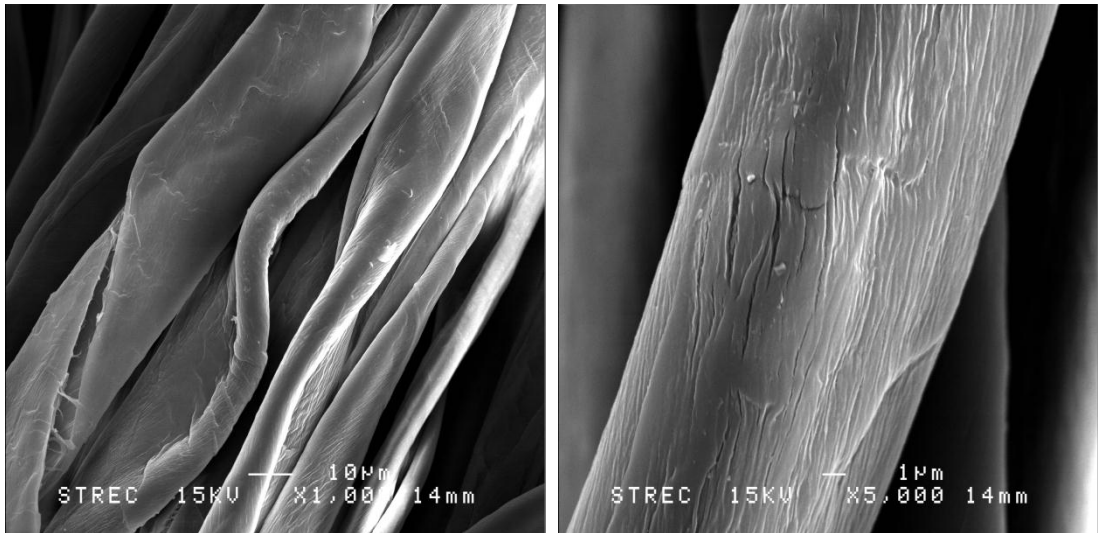
รูปที่ ข.20 กราฟ XRD ของผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ ข.1 ขนาดอนุภาคสารซิลเวอร์คอลลอยด์บนผ้าฝ้ายกอชและผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกันทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

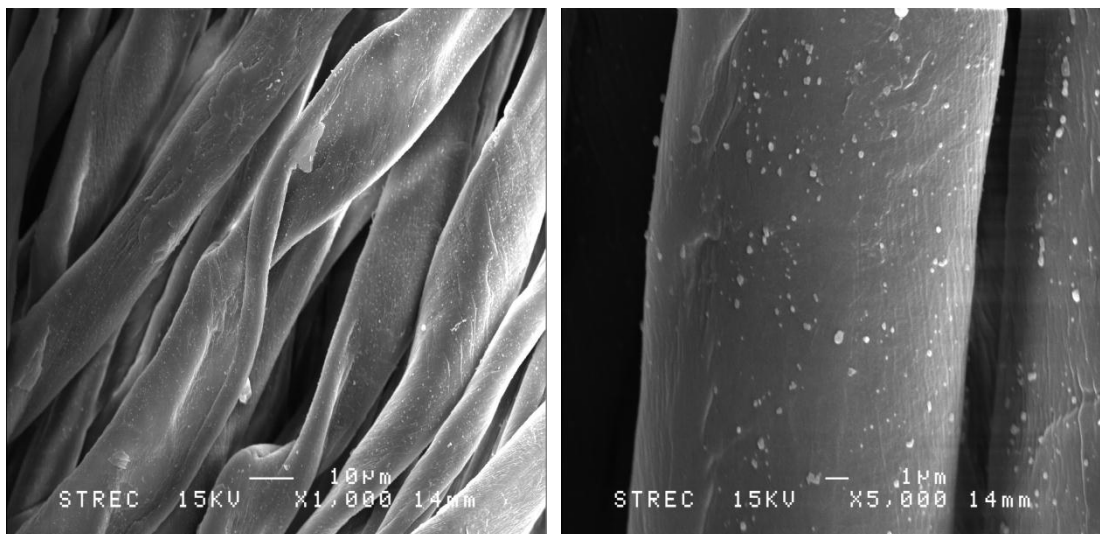
ตัวอย่าง	full-width at half maximum ระนาบ 200 ตำแหน่ง 32.24 องศา (เรเดียน)	ขนาดผลึก (นาโนเมตร)
Control gauze	-	-
Control gauze + silver (no UV)	-	-
Control gauze + silver (UV1)	0.005178	27.59
Control gauze + silver (UV2)	0.005466	26.14
Control gauze + silver (UV3)	0.004603	31.04
CM-gauze (DS=0.128)	-	0
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	0.004603	31.04
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	0.004134	34.55
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	0.005178	27.59
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	0.005178	27.59
CM-gauze (DS=0.385)	-	0
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	0.006616	21.59
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	0.006616	21.59
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	0.004027	35.47
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	0.006617	21.59
CM-gauze (DS=0.843)	-	0
CM-gauze (DS=0.843) + silver (no UV)	-	0
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV1)	0.010644	12.71
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV2)	0.003739	19.07
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV3)	0.006329	20.66

### ภาคผนวก ค

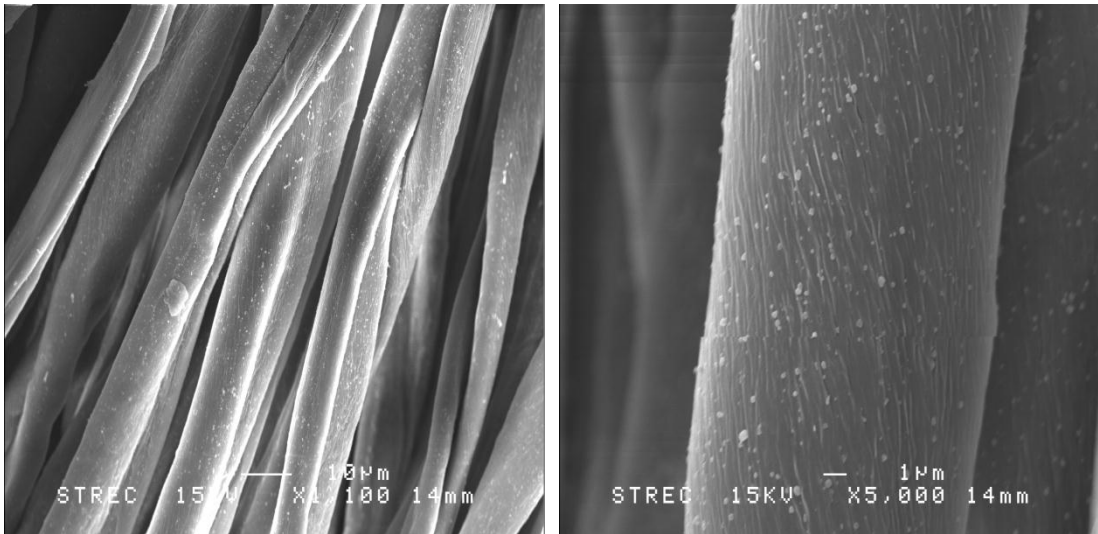
ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและความสามารถในการกระจายตัวด้วยเครื่อง SEM



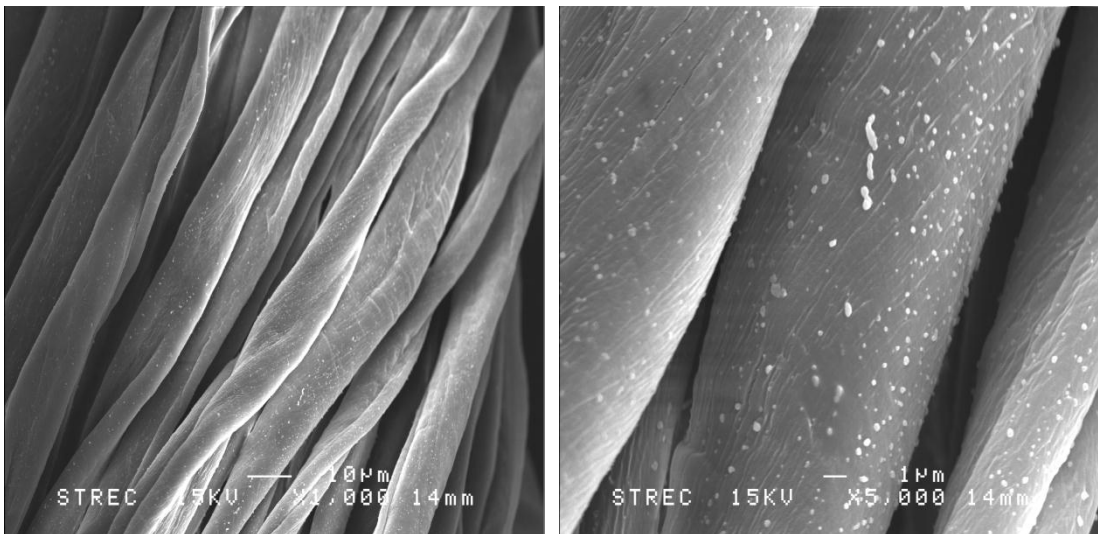
รูปที่ ค.1 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอกชที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



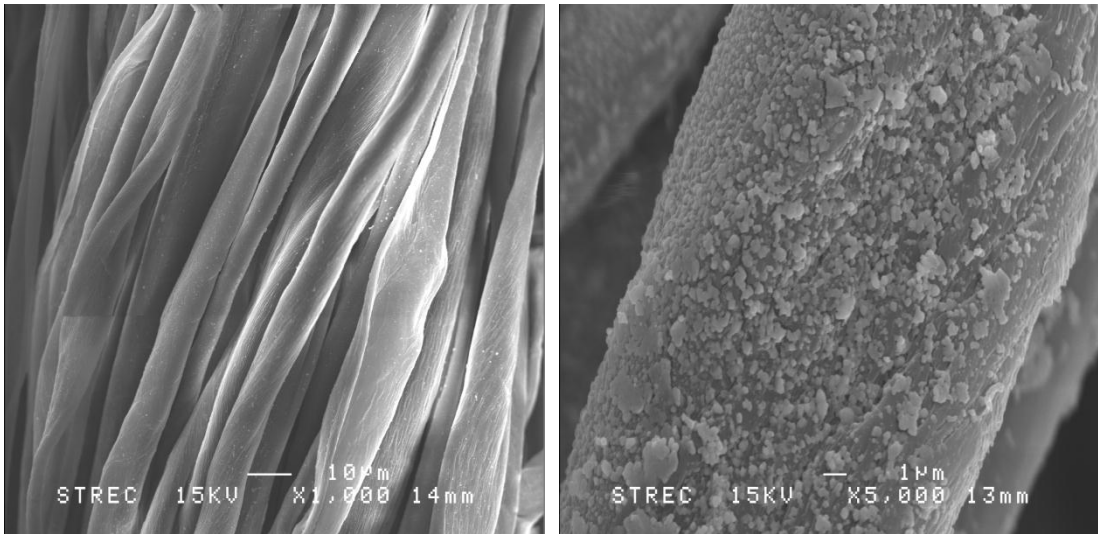
รูปที่ ค.2 สัณฐานวิทยาของของผ้าฝ้ายกอกชเคลือบซิลเวอร์ ไม่ฉายแสงยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



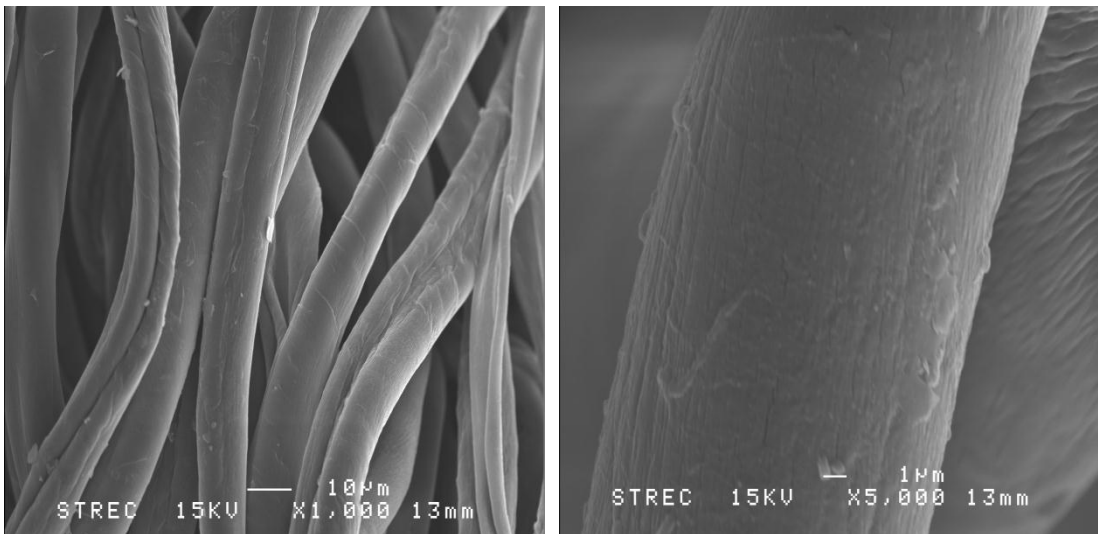
รูปที่ ค.3 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกชเคลือบซิลเวอร์ฉายแสงยูวี 300 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



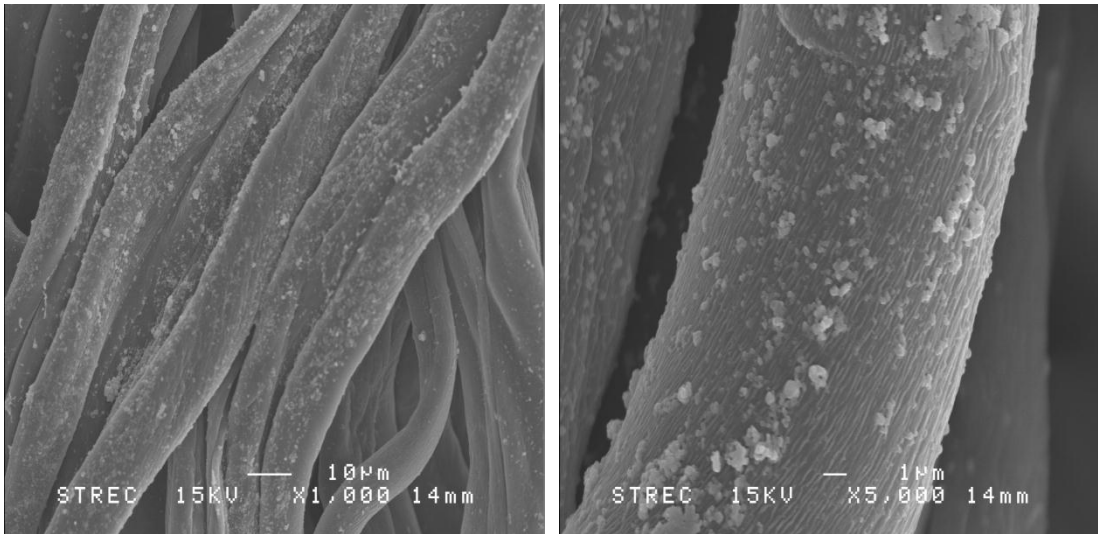
รูปที่ ค.4 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกชเคลือบซิลเวอร์ฉายแสงยูวี 500 มิลลิกรัมต่อตารางเซนติเมตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



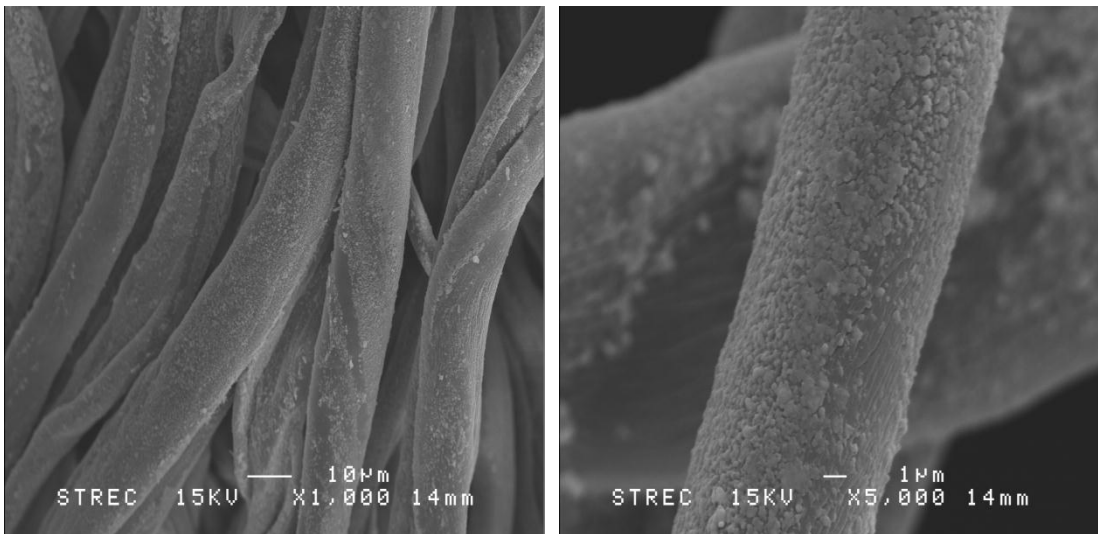
รูปที่ ค.5 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสเคลือบซิลเวอร์ขนาดแสงยูวี 700 มิลลิเมตรต่อตาราง เซนติเมตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



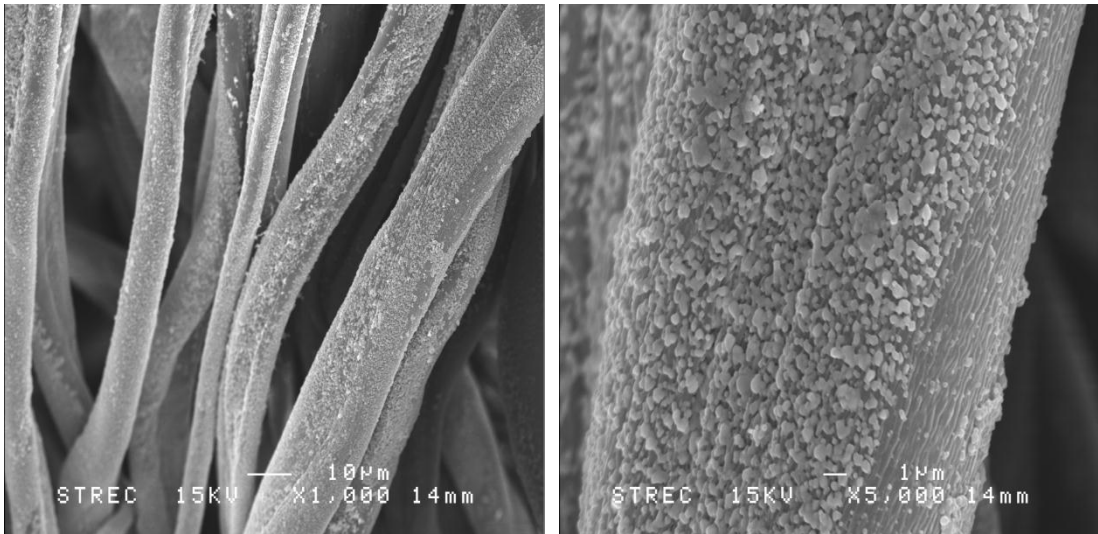
รูปที่ ค.6 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



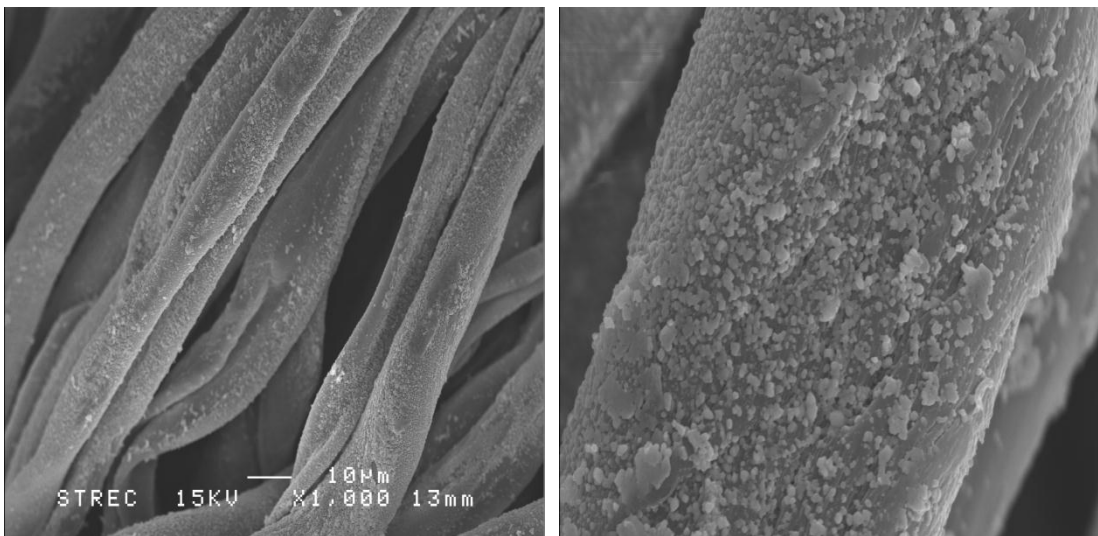
รูปที่ ค.7 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 เคลือบสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวีที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



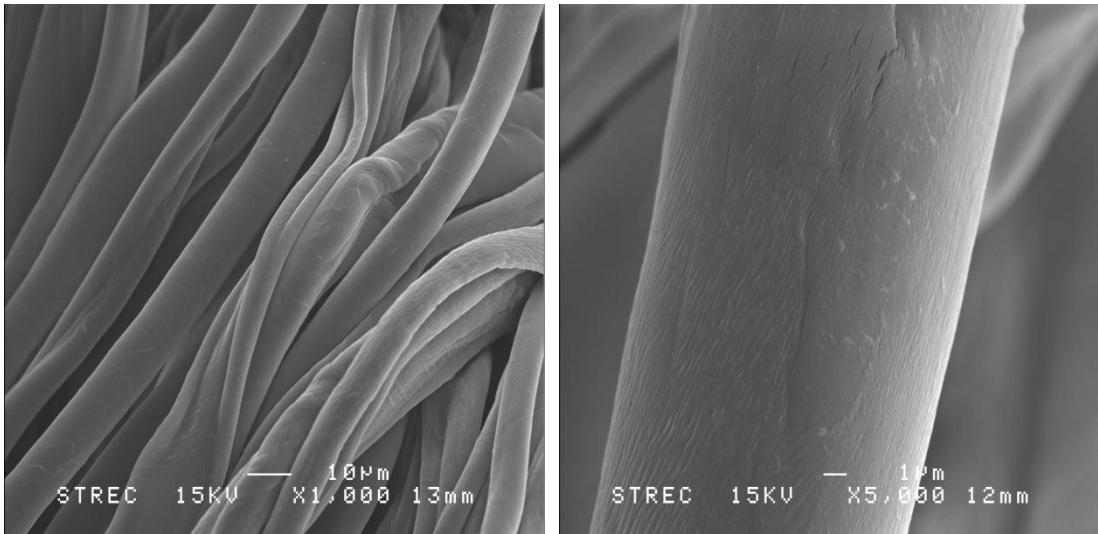
รูปที่ ค.8 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอตดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 300 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



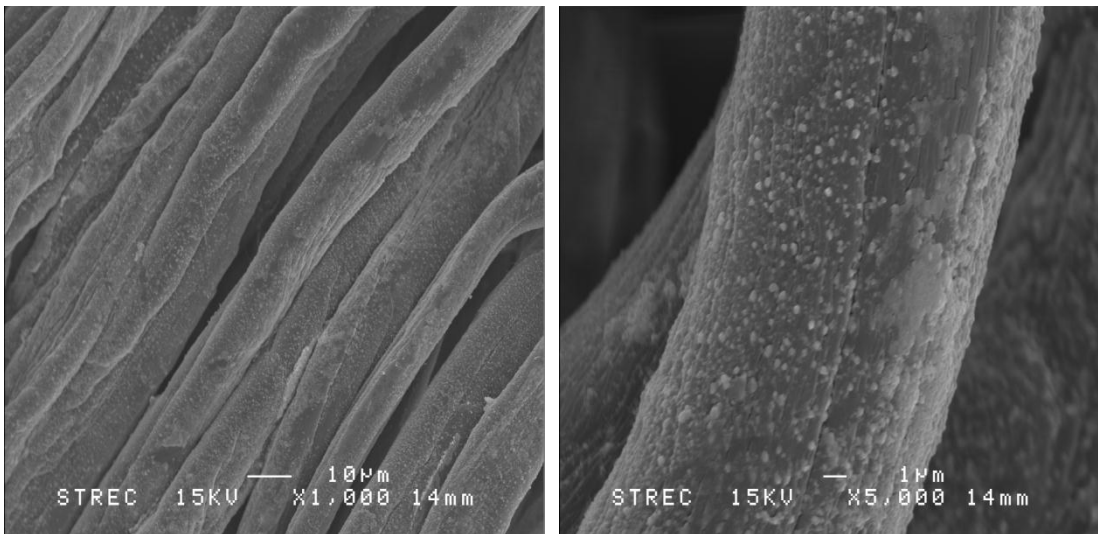
รูปที่ ค.9 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



รูปที่ ค.10 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตรที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

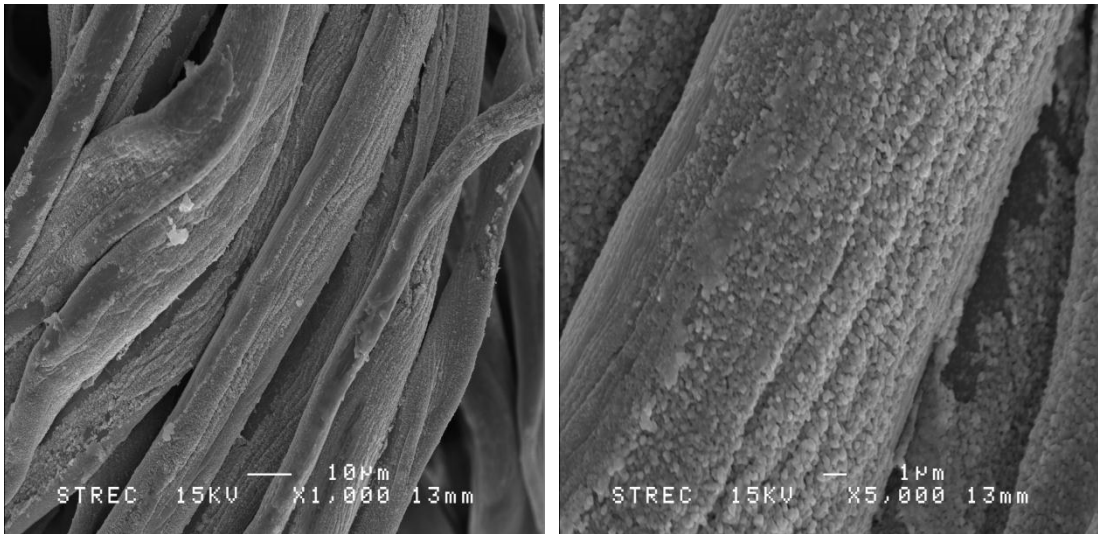


รูปที่ ค.11 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 ที่ได้จาก การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

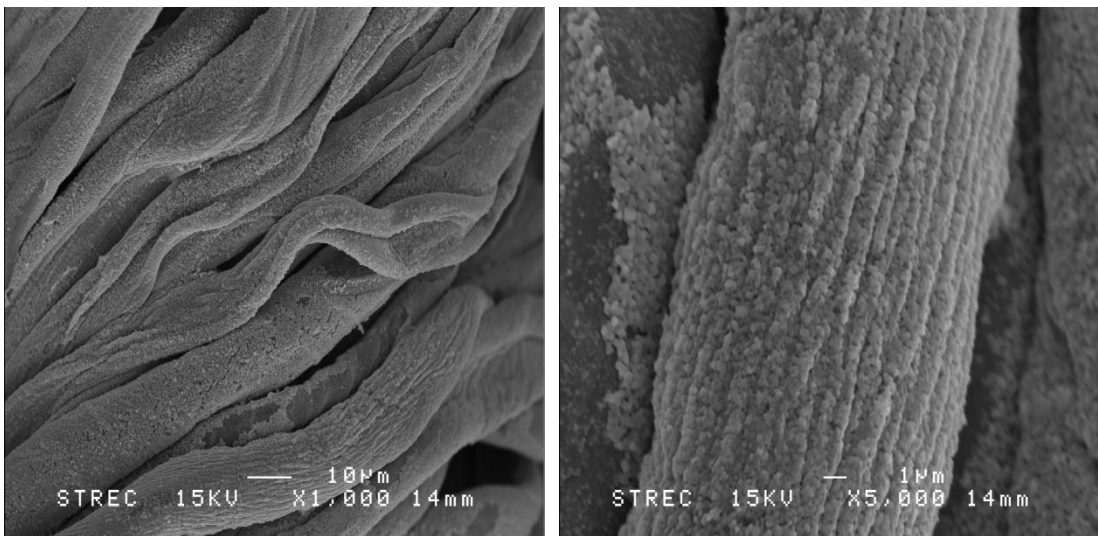


รูปที่ ค.12 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 เคลือบ สารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ที่ได้จาก การวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

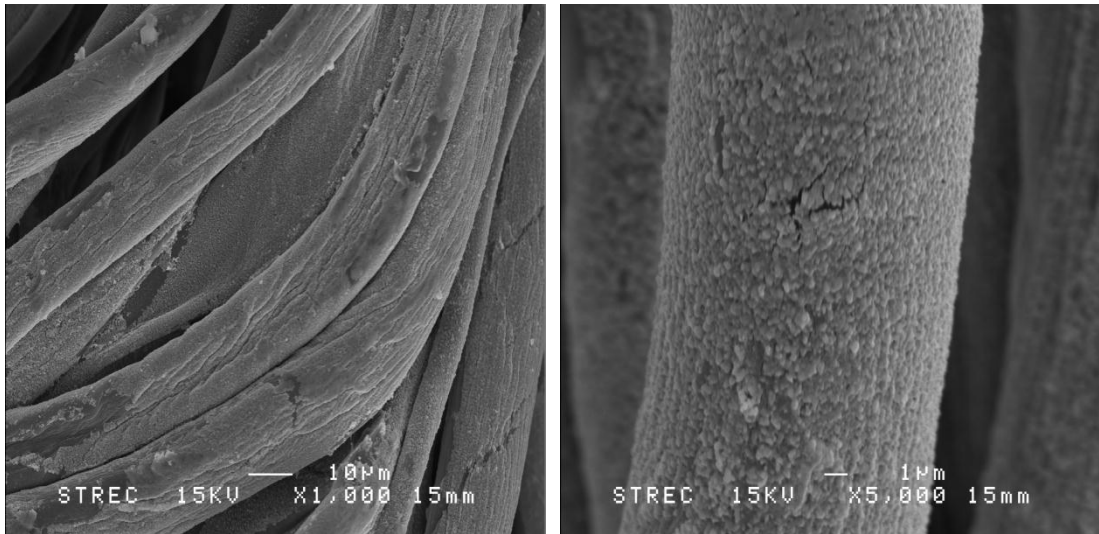




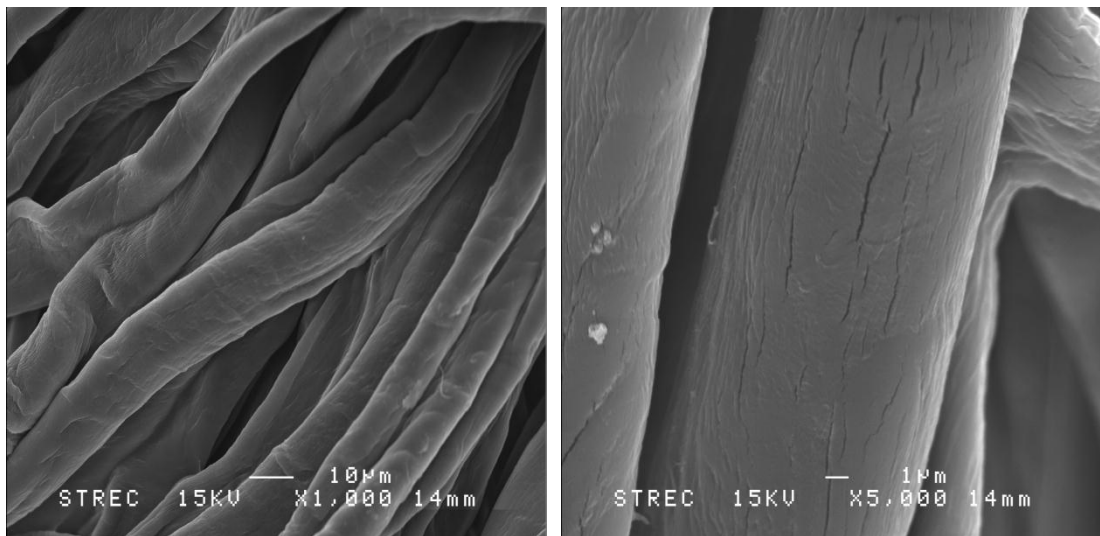
รูปที่ ค.13 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกทัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 300 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



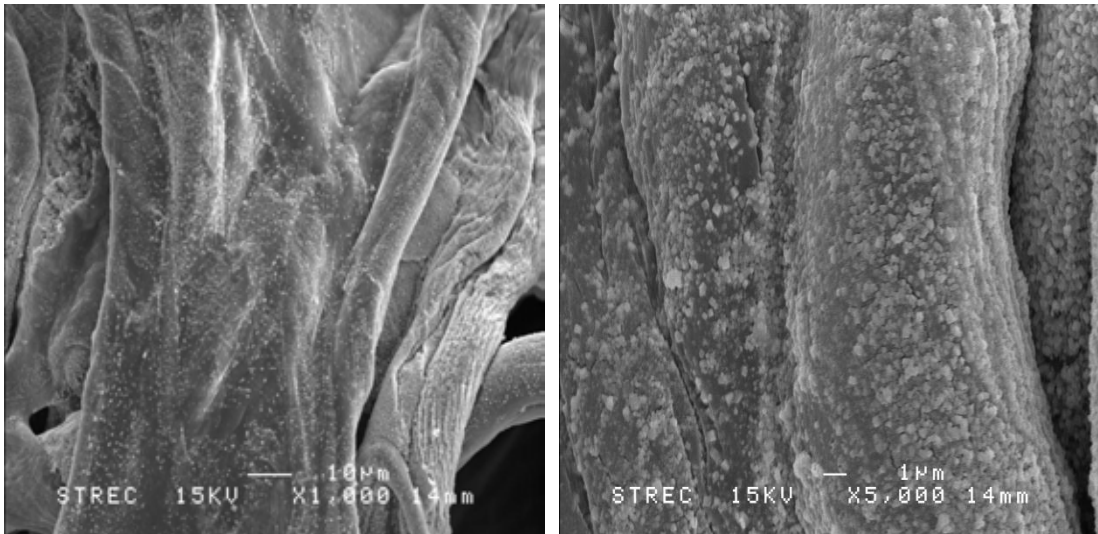
รูปที่ ค.14 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกทัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



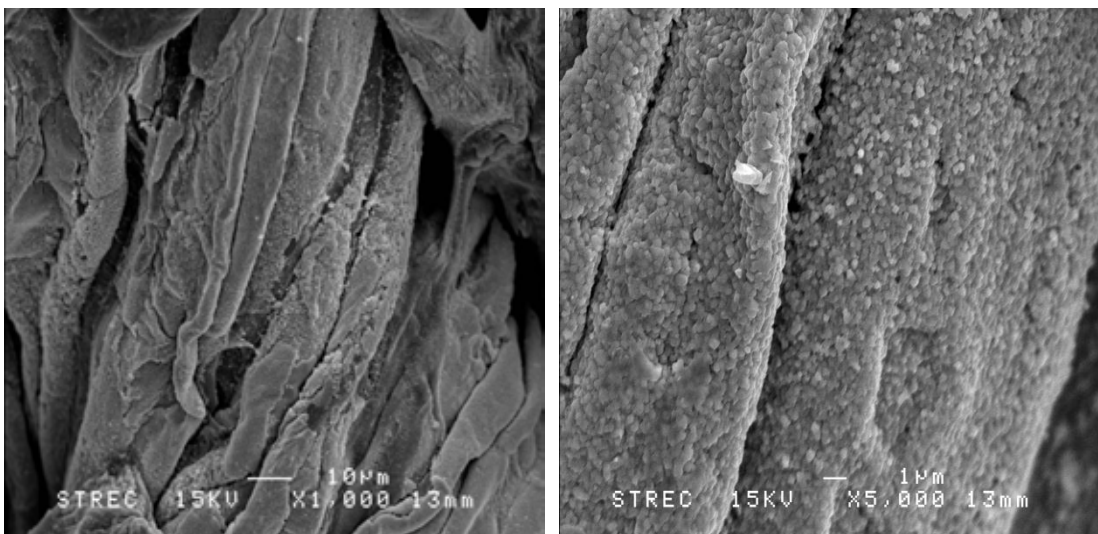
รูปที่ ค.15 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกทัดดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



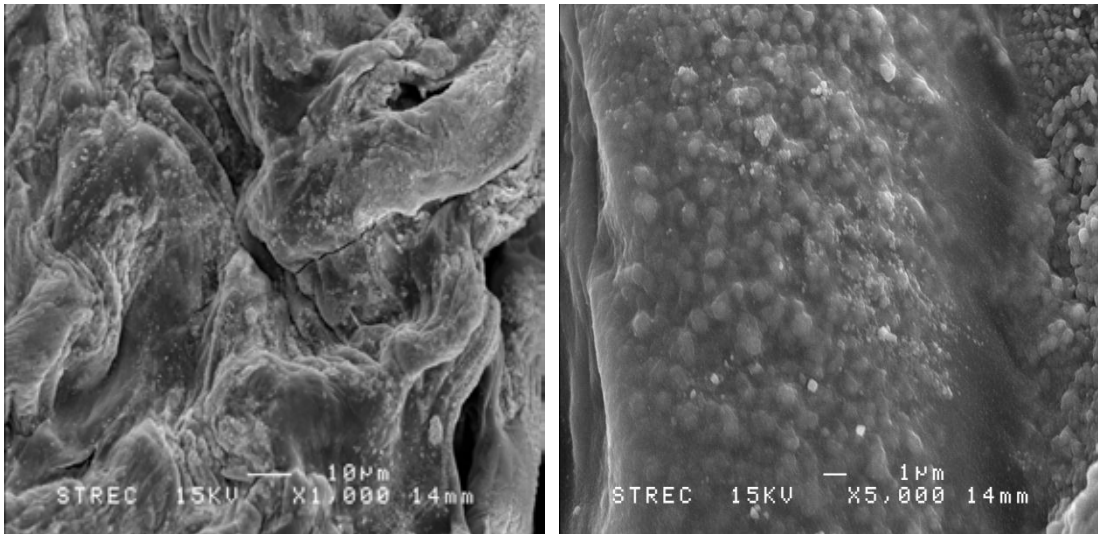
รูปที่ ค.16 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกทัดดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



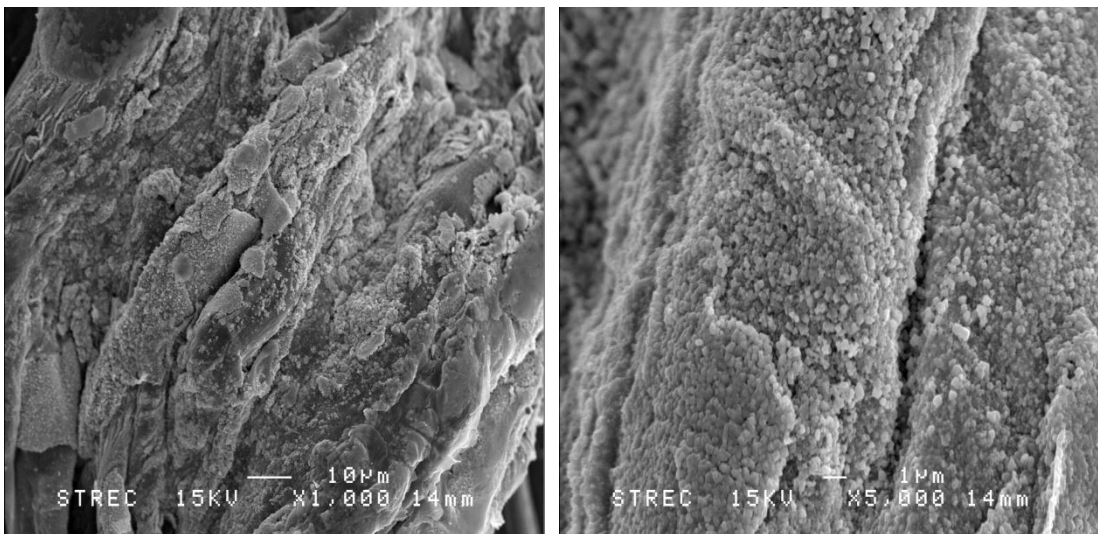
รูปที่ ค.17 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกทตัดแปรรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์โดยไม่ผ่านการฉายแสงยูวี ที่ได้จากกรวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



รูปที่ ค.18 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกทตัดแปรรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 300 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากกรวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



รูปที่ ค.19 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 500 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM



รูปที่ ค.20 สัณฐานวิทยาของผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843 เคลือบสารซิลเวอร์ และฉายแสงยูวี 700 มิลลิจูลต่อตารางเซนติเมตร ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง SEM

## ภาคผนวก ง

## ผลการทดสอบสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ ง.1 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกทัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128

ชั้นที่	ขนาดก่อน			ขนาดหลัง			เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	
1	27.5	36.0	0.099	16.0	20.0	0.032	67.677
2	27.5	36.5	0.100	16.0	20.0	0.032	68.125
3	27.5	36.5	0.100	15.2	19.5	0.030	70.471
4	27.5	35.7	0.098	15.3	19.0	0.029	70.390
5	27.7	36.7	0.101	15.0	22.0	0.033	67.539
6	27.0	37.0	0.100	14.7	18.6	0.027	72.631
7	27.5	36.5	0.100	16.0	20.2	0.032	67.801
8	27.0	36.2	0.098	15.5	19.8	0.031	68.600
9	27.2	36.0	0.098	14.5	19.0	0.028	71.865
10	27.0	36.0	0.097	15.0	19.0	0.029	70.679
11	27.5	35.8	0.098	15.0	20.0	0.030	69.527
12	27.0	34.0	0.092	15.0	19.7	0.030	67.810
13	27.5	36.0	0.099	15.0	19.0	0.029	71.212
14	27.0	36.2	0.098	15.0	20.0	0.030	69.306
15	27.3	36.5	0.100	16.0	19.0	0.030	69.492
16	27.3	36.2	0.099	14.5	20.0	0.029	70.655
17	27.0	36.0	0.097	15.0	20.0	0.030	69.136
18	27.5	36.3	0.100	16.0	19.6	0.031	68.585
19	27.0	36.5	0.099	14.5	20.0	0.029	70.573
20	27.0	36.5	0.099	15.8	18.7	0.030	70.019
21	27.0	36.7	0.099	15.0	19.0	0.028	71.238
22	26.4	36.4	0.096	15.0	20.0	0.030	68.781
23	27.0	36.6	0.099	14.5	20.2	0.029	70.360
24	26.7	35.7	0.095	14.0	19.0	0.026	72.093
25	27.3	36.0	0.098	13.5	17.0	0.023	76.648
26	27.0	37.0	0.099	15.0	18.5	0.028	72.222

ตารางที่ ง.1 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.128

ชั้นที่	ขนาดก่อน			ขนาดหลัง			เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	
27	27.0	36.0	0.097	15.0	18.5	0.028	71.451
28	27.5	36.7	0.100	14.0	17.5	0.024	75.725
29	27.5	36.2	0.100	15.0	18.0	0.027	72.878
30	27.5	36.0	0.099	15.2	20.0	0.030	69.293
31	27.0	36.3	0.098	15.6	20.3	0.032	67.689
32	27.3	36.5	0.100	15.0	20.0	0.030	69.893
33	27.8	36.2	0.100	15.5	19.5	0.030	69.966
34	27.6	36.3	0.100	15.5	19.0	0.029	70.605
35	27.0	36.0	0.097	15.0	18.2	0.027	71.913
36	27.5	36.2	0.099	14.0	19.5	0.027	72.576
37	27.3	37.0	0.101	15.5	20.0	0.031	69.310
38	27.3	36.0	0.098	15.5	20.0	0.031	68.457
39	27.5	36.0	0.099	15.5	19.0	0.029	70.252
40	27.5	36.4	0.100	15.8	19.5	0.031	69.221

ตารางที่ ง.2 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385

ชั้นที่	ขนาดก่อน			ขนาดหลัง			เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	
1	28.0	36.5	0.102	16.0	20.5	0.032	67.906
2	27.5	36.5	0.100	16.0	21.0	0.034	66.526
3	27.5	36.5	0.100	17.0	20.0	0.034	66.127
4	27.8	36.3	0.101	17.0	19.8	0.034	66.645
5	27.5	36.2	0.099	15.5	21.0	0.033	67.303
6	28.0	36.7	0.099	16.5	20.0	0.033	67.443
7	27.0	36.7	0.099	16.5	20.5	0.034	65.864
8	27.5	36.5	0.100	16.0	20.0	0.032	68.119
9	27.5	36.5	0.100	16.0	20.0	0.032	68.119
10	27.8	36.5	0.100	16.0	21.0	0.034	66.887
11	28.0	36.5	0.102	15.3	21.5	0.032	67.813

ตารางที่ ง.2 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.385

ชั้นที่	ขนาดก่อน			ขนาดหลัง			เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	
12	27.5	36.2	0.099	17.0	20.5	0.034	64.992
13	28.0	36.5	0.102	16.0	21.0	0.034	67.123
14	27.6	36.8	0.101	16.5	20.0	0.033	67.509
15	28.0	36.5	0.102	16.5	20.5	0.034	66.903
16	28.0	36.7	0.103	15.5	20.0	0.031	69.832
17	28.0	36.5	0.102	16.0	20.5	0.033	67.906
18	27.5	36.5	0.100	16.0	21.0	0.034	66.525
19	27.3	37.0	0.101	15.8	20.7	0.033	67.621
20	27.8	36.2	0.101	17.0	20.5	0.035	65.370
21	27.6	36.8	0.102	16.0	21.0	0.034	66.918
22	28.0	36.5	0.102	16.5	20.0	0.033	67.710
23	28.0	36.5	0.102	15.5	20.5	0.032	68.909
24	28.0	36.5	0.102	16.5	20.0	0.033	67.710
25	28.0	36.5	0.102	15.5	20.7	0.032	68.605
26	28.0	36.2	0.101	16.0	21.0	0.034	66.850
27	27.7	36.3	0.100	17.5	20.0	0.035	65.192
28	27.7	36.5	0.101	17.0	21.5	0.037	63.849
29	27.5	36.5	0.100	17.0	21.0	0.035	64.433
30	28.0	36.0	0.100	16.5	20.0	0.033	67.261
31	27.7	36.3	0.100	16.5	20.5	0.034	66.360
32	28.0	36.3	0.102	16.0	20.4	0.033	67.886
33	28.0	36.0	0.101	16.2	20.5	0.033	67.053
34	28.0	36.5	0.102	15.7	21.0	0.033	67.739
35	28.0	36.5	0.102	17.5	20.0	0.035	65.753
36	28.0	36.6	0.102	17.0	20.2	0.034	66.491
37	27.5	36.3	0.099	16.0	21.0	0.034	66.341
38	27.5	36.0	0.099	16.8	20.0	0.033	66.060
39	27.5	36.5	0.100	16.5	20.5	0.034	66.301
40	27.7	36.2	0.100	17.0	20.0	0.034	66.093

ตารางที่ ง.3 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกทัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843

ชั้นที่	ขนาดก่อน			ขนาดหลัง			เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	
1	29.5	37.0	0.109	19.0	24.0	0.0456	58.222
2	28.0	36.5	0.102	19.8	23.5	0.0465	54.471
3	27.5	36.0	0.099	19.0	23.5	0.0446	54.898
4	27.8	35.5	0.098	18.5	23.8	0.0440	55.385
5	26.5	35.5	0.094	19.5	23.5	0.0458	51.288
6	27.0	35.8	0.096	19.8	23.0	0.0455	52.886
7	27.4	36.0	0.098	19.0	24.0	0.0456	53.771
8	27.0	36.0	0.097	19.5	24.0	0.0468	51.851
9	27.3	36.2	0.098	20.3	24.0	0.0487	50.701
10	27.8	36.0	0.100	20.2	24.8	0.0501	49.944
11	27.8	36.2	0.100	20.3	25.0	0.0507	49.570
12	27.7	36.4	0.100	19.5	25.5	0.0497	50.683
13	27.8	36.6	0.101	19.7	25.2	0.0496	51.208
14	26.6	35.3	0.093	19.0	24.5	0.0465	50.424
15	27.7	35.8	0.099	20.5	24.5	0.0502	49.352
16	27.4	36.0	0.098	20.0	24.7	0.0494	49.918
17	27.5	36.2	0.099	20.0	24.0	0.0480	51.783
18	27.3	36.0	0.098	19.0	24.0	0.0456	53.602
19	27.5	36.0	0.099	19.0	25.0	0.047	52.020
20	28.0	36.0	0.100	19.6	24.6	0.048	52.166
21	27.7	36.0	0.099	19.0	25.0	0.047	52.366
22	28.0	36.0	0.100	19.0	24.0	0.045	54.761
23	27.5	36.2	0.099	19.5	25.0	0.048	51.029
24	27.7	36.5	0.101	19.0	24.5	0.046	53.958
25	28.0	36.0	0.100	21.0	24.0	0.050	50.000
26	28.0	36.5	0.102	19.4	24.7	0.047	53.113
27	27.7	36.5	0.101	20.0	25.0	0.050	50.546
28	28.0	36.3	0.101	19.5	25.5	0.049	51.077
29	27.5	36.5	0.100	19.2	25.5	0.049	51.223



ตารางที่ ง.3 (ต่อ) เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่เท่ากับ 0.843

ชั้นที่	ขนาดก่อน			ขนาดหลัง			เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	
30	27.5	36.5	0.100	19.3	25.5	0.049	50.968
31	27.7	36.5	0.101	20.0	25.0	0.050	50.546
32	27.7	36.5	0.101	20.5	24.5	0.050	50.323
33	27.0	36.5	0.098	20.0	25.0	0.050	49.264
34	27.5	36.0	0.099	19.0	24.0	0.045	53.939
35	28.0	36.5	0.102	20.0	25.0	0.050	51.076
36	28.0	36.5	0.102	20.5	23.0	0.047	53.864
37	28.0	36.5	0.102	19.0	23.5	0.044	56.311
38	28.0	36.5	0.102	19.5	24.0	0.046	54.207
39	28.0	36.5	0.102	19.7	24.5	0.048	52.773
40	28.0	36.6	0.102	20.0	23.5	0.047	54.137

ตารางที่ ง.4 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของผ้าฝ้ายกอชในน้ำกลั่นที่สภาวะเดียวกันกับขั้นตอนการดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน

ชั้นที่	ขนาดก่อน			ขนาดหลัง			เปอร์เซ็นต์การหดตัว
	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	กว้าง	ยาว	พื้นที่ (ตร.ม.)	
1	28.5	36.0	0.103	26.3	33.0	0.087	15.409
2	27.5	37.0	0.102	26.5	32.5	0.086	15.356
3	28.0	37.0	0.104	25.5	34.0	0.087	16.313
4	28.0	37.0	0.104	24.5	33.5	0.082	20.777
5	28.0	36.5	0.102	26.0	33.0	0.086	16.047

ตารางที่ ง.5 สรุปเปอร์เซ็นต์การหดตัวและลักษณะทางกายภาพหลังผ่านการดัดแปรของผ้าฝ้าย กอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน และผ้าฝ้ายกอชในน้ำกลั่นที่สภาวะเดียวกันกับขั้นตอน การดัดแปรด้วยวิธีคาร์บอกซีเมทิลเลชัน

ชิ้นงานตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์การหดตัว	ลักษณะทางกายภาพ
CM-gauze (DS=0.128)	70.316 ± 1.02	คงสภาพเป็นผ้า ผิวสัมผัสนุ่ม
CM-gauze (DS=0.385)	66.902 ± 0.49	คงสภาพเป็นผ้า ผิวสัมผัสนุ่ม
CM-gauze (DS=0.843)	52.242 ± 1.60	คงสภาพเป็นผ้า ผิวสัมผัสแข็งกระด้าง
Cotton gauze in distilled water at carboxymethylation condition	16.780 ± 2.27	คงสภาพเป็นผ้า ผิวสัมผัสนุ่ม

ตารางที่ ง.6 ปริมาณการดูดซับน้ำเกลือของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่  
แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่  
ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ปริมาณการดูดซับน้ำเกลือ (กรัมต่อ 100 ตารางเซนติเมตร)					
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Control gauze	2.82	2.84	2.87	2.87	2.82	2.84 ± 0.024
Control gauze + silver (no UV)	3.39	3.38	3.37	3.40	3.43	3.39 ± 0.024
Control gauze + silver (UV1)	3.56	3.62	3.66	3.64	3.67	3.63 ± 0.045
Control gauze + silver (UV2)	3.42	3.37	3.32	3.28	3.49	3.38 ± 0.080
Control gauze + silver (UV3)	3.33	3.42	3.40	3.35	3.52	3.41 ± 0.076
CM-gauze (DS=0.128)	7.58	7.49	7.64	7.70	7.66	7.62 ± 0.081
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	7.16	7.15	7.29	7.02	7.06	7.14 ± 0.104
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	6.38	6.22	6.16	6.22	6.27	6.25 ± 0.083
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	6.28	6.12	6.41	6.27	6.18	6.25 ± 0.109
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	6.19	6.19	6.12	6.05	6.15	6.14 ± 0.056
CM-gauze (DS=0.385)	8.19	8.13	8.13	8.00	8.01	8.09 ± 0.084
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	7.00	6.98	6.91	6.99	7.06	6.99 ± 0.053
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	6.96	7.04	6.84	6.90	7.05	6.96 ± 0.088
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	7.57	7.55	7.48	7.69	7.61	7.58 ± 0.079
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	7.01	7.21	7.13	7.14	7.24	7.15 ± 0.088
CM-gauze (DS=0.843)	10.07	9.90	9.80	9.76	9.89	9.89 ± 0.012
CM-gauze (DS=0.843) + silver (no UV)	9.06	9.13	9.02	9.08	9.26	9.11 ± 0.091
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV1)	11.15	11.08	11.30	11.23	11.17	11.19 ± 0.083
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV2)	11.34	11.25	11.26	11.21	11.23	11.26 ± 0.048
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV3)	12.00	12.15	12.13	12.15	12.05	12.10 ± 0.068

ตารางที่ ง.7 ค่าดัชนีความขาวของผ้าฝ้ายกอชและผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่  
แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่  
ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าดัชนีความขาว					
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Control gauze	72.94	74.43	73.96	74.13	74.25	73.94 ± 0.58
Control gauze + silver (no UV)	57.09	56.47	55.97	57.16	56.04	56.54 ± 0.56
Control gauze + silver (UV1)	29.48	30.44	31.19	30.32	32.55	30.79 ± 1.15
Control gauze + silver (UV2)	26.33	26.89	26.68	26.73	26.58	26.64 ± 0.21
Control gauze + silver (UV3)	20.50	18.35	19.29	19.60	21.28	19.80 ± 1.13
CM-gauze (DS=0.128)	70.49	72.42	71.79	72.82	70.19	71.54 ± 1.16
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	41.77	35.26	38.52	35.35	36.60	37.50 ± 2.72
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	16.10	16.43	17.19	16.11	16.24	16.41 ± 0.45
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	12.68	12.81	13.18	12.65	12.91	12.84 ± 0.21
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	10.59	10.26	10.51	10.39	11.81	10.71 ± 0.63
CM-gauze (DS=0.385)	69.48	67.54	67.42	68.51	68.70	68.33 ± 0.86
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	44.36	40.73	38.45	39.43	44.26	41.44 ± 2.74
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	15.83	15.92	15.65	14.31	16.18	15.57 ± 0.73
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	11.96	12.14	12.84	12.45	10.81	12.04 ± 0.76
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	6.38	6.43	6.50	5.97	6.23	6.30 ± 0.21
CM-gauze (DS=0.843)	66.41	66.02	67.48	63.26	65.65	65.76 ± 1.56
CM-gauze (DS=0.843) + silver (no UV)	28.68	32.56	28.42	31.03	27.78	29.69 ± 2.02
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV1)	13.38	6.74	5.39	9.55	10.72	9.15 ± 3.18
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV2)	6.09	4.56	4.12	9.23	6.06	6.01 ± 2.00
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV3)	2.77	1.11	4.03	3.05	5.51	3.29 ± 1.62





















ตารางที่ ง.8 ค่าความต้านทานต่อแรงทะลุของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการ  
แทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวี  
ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	ค่าความต้านทานต่อแรงทะลุ (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)					
	1	2	3	4	5	เฉลี่ย
Control gauze	0.306	0.204	0.255	0.357	0.306	0.286 ± 0.058
Control gauze + silver (no UV)	0.491	0.296	0.323	0.415	0.352	0.375 ± 0.078
Control gauze + silver (UV1)	0.540	0.714	0.510	0.428	0.520	0.542 ± 0.104
Control gauze + silver (UV2)	0.714	0.510	0.744	0.581	0.612	0.632 ± 0.096
Control gauze + silver (UV3)	0.561	0.632	0.734	0.663	0.622	0.642 ± 0.063
CM-gauze (DS=0.128)	1.275	1.377	1.020	1.020	1.173	1.173 ± 0.157
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	1.152	1.245	1.261	1.152	1.096	1.181 ± 0.069
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	1.071	0.969	1.275	1.377	1.224	1.183 ± 0.162
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	1.020	1.377	1.428	1.275	1.020	1.224 ± 0.194
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	1.071	0.969	1.326	1.428	1.377	1.234 ± 0.202
CM-gauze (DS=0.385)	1.173	0.867	1.020	1.428	1.122	1.122 ± 0.207
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	1.139	1.121	1.205	1.085	1.142	1.138 ± 0.043
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	1.203	1.275	0.969	1.020	1.377	1.169 ± 0.171
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	1.683	1.377	1.224	0.969	1.122	1.275 ± 0.272
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	1.601	1.224	1.020	1.173	1.377	1.279 ± 0.221
CM-gauze (DS=0.843)	0.816	0.816	0.918	0.510	0.561	0.724 ± 0.178
CM-gauze (DS=0.843) + silver (no UV)	0.921	0.762	0.511	0.609	0.837	0.728 ± 0.166
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV1)	0.867	0.663	0.816	0.714	0.561	0.724 ± 0.121
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV2)	1.040	1.061	0.969	1.020	0.887	0.995 ± 0.069
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV3)	1.020	1.122	0.969	0.867	0.612	0.918 ± 0.194

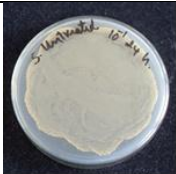



















### ภาคผนวก จ

ผลการทดสอบความสามารถในการต้านแบคทีเรีย

ตารางที่ จ.1 จานเพาะเชื้อเอสเชอริเชีย โคไลของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสตัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	No silver	silver (no UV)	silver (UV1)	silver (UV2)	silver (UV3)
Control gauze					
CM-gauze (DS=0.128)					
CM-gauze (DS=0.385)					
CM-gauze (DS=0.843)					

ตารางที่ ๑.2 งานเพาะเชื้อสแตฟไฟโลค็อกคัส ออเรียสของผ้าฝ้ายกอลและผ้าฝ้ายกอลดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	No silver	silver (no UV)	silver (UV1)	silver (UV2)	silver (UV3)
Control gauze					
CM-gauze (DS=0.128)					
CM-gauze (DS=0.385)					
CM-gauze (DS=0.843)					

ตารางที่ ๑.3 ความสามารถในการต้านเชื้อเอสเชอริเชีย โคไล ของผ้าฝ้ายกอชและผ้าฝ้ายกอชตัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	จำนวนแบคทีเรีย CFU/ml (0 ชม.)	จำนวนแบคทีเรีย CFU/ml (24 ชม.)	ร้อยละการ ลดลงของ แบคทีเรีย
Blank	$2.7 \times 10^5$	-	-
Control gauze	-	$>3.0 \times 10^6$	0
Control gauze + silver (no UV)	-	$2.8 \times 10^4$	89.63
Control gauze + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
Control gauze + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
Control gauze + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.843) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99



ตารางที่ ๑.4 ความสามารถในการต้านเชื้อสแตฟฟิโลค็อกคัส ออเรียส ของผ้าฝ้ายกอชและผ้าฝ้ายกอชดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	จำนวนแบคทีเรีย CFU/ml (0 ชม.)	จำนวนแบคทีเรีย CFU/ml (24 ชม.)	ร้อยละการ ลดลงของ แบคทีเรีย
Blank	$2.2 \times 10^5$	-	-
Control gauze	-	$>3.0 \times 10^6$	0
Control gauze + silver (no UV)	-	$2.1 \times 10^4$	90.45
Control gauze + silver (UV1)	-	$2.0 \times 10^3$	99.09
Control gauze + silver (UV2)	-	$1.0 \times 10^3$	99.54
Control gauze + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	-	$1.3 \times 10^4$	94.09
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843)	-	$>3.0 \times 10^6$	0
CM-gauze (DS=0.843) + silver (no UV)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV1)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV2)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99
CM-gauze (DS=0.843) + silver (UV3)	-	$<1.0 \times 10^2$	99.99

## ภาคผนวก จ

### ผลการทดสอบสมบัติการแข็งตัวของเลือด

ตารางที่ จ.1 เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของเลือดของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปรที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน

ตัวอย่าง	เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของเลือด (นาที)				
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5
Control bloods	18	18	49	20	20
Control gauze	16	12	43	18	19
Cotton gauze A	-	-	-	21	21
Cotton gauze B	-	-	-	22	23
CM-gauze (DS=0.128)	19	14	24	-	-
CM-gauze (DS=0.385)	17	14	23	-	-
CM-gauze (DS=0.843)	14	14	19	-	-
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	15	-	29	-	-
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	14	-	21	-	-
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	13	-	20	-	-
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	15	-	19	-	-
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	-	13	-	-	-
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	-	12	-	-	-
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	-	11	-	-	-
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	-	15	-	-	-

ตารางที่ จ.2 เปอร์เซ็นต์เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของเลือดของผ้าฝ้ายกอสและผ้าฝ้ายกอสดัดแปร ที่ระดับการแทนที่แตกต่างกัน ทั้งที่ไม่ผ่านและผ่านการเคลือบด้วยสารซิลเวอร์ ทั้งที่ไม่มีและมีการฉายแสงยูวีที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน เมื่อเทียบให้เลือดคอนโทรลใช้เวลาในการแข็งตัวของเลือด เท่ากับ 100%

ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์เวลาที่ใช้ในการแข็งตัวของเลือด (%)					เฉลี่ย
	คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	
Control bloods	100	100	100	100	100	100
Control gauze	88.89	66.67	87.75	90	95	85.66
Cotton gauze A	-	-	-	105	105	105.00
Cotton gauze B	-	-	-	110	115	112.50
CM-gauze (DS=0.128)	105.55	77.78	48.98	-	-	77.44
CM-gauze (DS=0.385)	94.44	77.78	46.94	-	-	73.05
CM-gauze (DS=0.843)	77.78	77.78	38.77	-	-	64.78
CM-gauze (DS=0.128) + silver (no UV)	83.33	-	59.18	-	-	71.26
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV1)	77.78	-	42.86	-	-	60.32
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV2)	72.22	-	40.82	-	-	56.52
CM-gauze (DS=0.128) + silver (UV3)	83.33	-	38.77	-	-	61.05
CM-gauze (DS=0.385) + silver (no UV)	-	72.22	-	-	-	72.22
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV1)	-	66.67	-	-	-	66.66
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV2)	-	61.11	-	-	-	61.11
CM-gauze (DS=0.385) + silver (UV3)	-	83.33	-	-	-	83.33

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววรรณพร พินดวง เกิดวันที่ 17 เมษายน พ.ศ. 2532 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาปิโตรเคมีและวัสดุพอลิเมอร์ ภาควิชาวิทยาการและวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ปีการศึกษา 2554 จากนั้นเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ประยุกต์และเทคโนโลยีสิ่งทอ ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อภาคต้นปีการศึกษา 2554 และสำเร็จการศึกษาในภาคต้น ปีการศึกษา 2556