

การเตรียมผ้าฝ้ายทำความสะอาดตนเองด้วย
การตรึงอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

PREPARATION OF SELF-CLEANING COTTON FABRIC BY
IMMOBILIZATION OF COPPER (II) OXIDE PARTICLES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

การเตรียมผ้าฝ้ายทำความสะอาดตนเองด้วย
การตรึงอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

PREPARATION OF SELF-CLEANING COTTON FABRIC BY
IMMOBILIZATION OF COPPER (II) OXIDE PARTICLES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2560

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PREPARATION OF SELF-CLEANING COTTON FABRIC BY
IMMOBILIZATION OF COPPER (II) OXIDE PARTICLES



NUTNICHIA

SRIBURANAPIOB

NATTANIDA

YAMNUAL

NATSIMAPORN

PROMWIHARN

A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR
THE DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (INDUSTRIAL CHEMISTRY)
DEPARTMENT OF CHEMISTRY, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การเตรียมผ้าฝ้ายทำความสะอาดตนเองด้วยการตรึงอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์
 Preparation of self-cleaning cotton fabric by immobilization of Copper (II) oxide particles

ชื่อนักศึกษา นางสาวณัฐนิชา ศรีบูรณพิภพ รหัสนักศึกษา 57050409
 นางสาวณัฐนิตา ย่านวล รหัสนักศึกษา 57050411
 นางสาวณัฐศิมาพร พรหมวิหาร รหัสนักศึกษา 57050412

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
 ภาควิชา เคมี
 ปีการศึกษา 2560
 อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

คณะวิทยาศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2560

คณะกรรมการสอบ	ลายเซ็น
รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธี กรรมการ	
ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การเตรียมผ้าฝ้ายทำความสะอาดตนเองด้วยการตรึงอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์
ชื่อนักศึกษา	นางสาวณัฐนิชา ศรีบูรณพิภพ รหัสนักศึกษา 57050409
	นางสาวณัฐนิตา ย่านวล รหัสนักศึกษา 57050411
	นางสาวณัฐศิมาพร พรหมวิหาร รหัสนักศึกษา 57050412
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2560
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการปรับปรุงสมบัติผ้าฝ้ายที่ใช้ในงานทันตกรรมด้วยการตรึงอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ (CuO) ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส โดยมีการใช้สารยึดติดพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด (PSS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตรึงอนุภาค CuO โดยในขั้นแรกศึกษาหาชนิดสารละลายเบสที่เหมาะสมในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เข้มข้น 0.1 mol/L และแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (NH_4OH) เข้มข้น 0.1 mol/L พบว่าสารละลาย NaOH สามารถก่อผลึกของคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์ ($\text{Cu}(\text{OH})_2$) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นในการก่อผลึก CuO ได้ดีกว่าสารละลาย NH_4OH ในการตรึงอนุภาค CuO บนผ้าฝ้ายทำโดยปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เข้มข้นเป็น 0.5 0.7 และ 0.9 mol/L และได้ศึกษาการเพิ่มจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์โดยใช้ PSS เข้มข้น 0.1 mol/L เป็นสารยึดติดสลับกับการจุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ โดยปรับเปลี่ยนจำนวนรอบของการจุ่มเคลือบเป็น 1 2 และ 3 รอบ ก่อให้เกิดเป็นชั้นเคลือบของ PSS/ Cu^{2+} บนผ้าฝ้าย จากนั้นนำผ้าฝ้ายตัวอย่างที่เคลือบแล้วไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย NaOH เข้มข้น 0.1 mol/L ที่อุณหภูมิ $100 \text{ }^\circ\text{C}$ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง พบว่าอนุภาค CuO มีการก่อตัวบนผ้าฝ้ายในทุกตัวอย่างโดยปริมาณ Cu ที่ถูกตรึงบนผ้าฝ้ายมีปริมาณเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ อนุภาค CuO มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ และสามารถยึดติดกับผ้าฝ้ายได้ดี จึงมีความทนทานต่อการซักล้าง เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการตรึงอนุภาค CuO จะส่งผลให้อนุภาคมีขนาดใหญ่ อนุภาค CuO แสดงพฤติกรรมเป็นประจุลบ จึงสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของ *S.aureus* ที่เป็นเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวกได้ดี ผ้าตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้สารละลายตั้งต้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เข้มข้น 0.7 mol/L สลับกับการจุ่มเคลือบสารยึดติดจำนวน 2 รอบ มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับทุกตัวอย่าง ดังนั้นจึงมีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียได้ดี

คำสำคัญ : คอปเปอร์ออกไซด์, ตัวเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง, ปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล, พอลิสไตรีนซัลโฟเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Preparation of self-cleaning cotton fabric by immobilization of Copper (II) oxide particles	
Students	Miss Nutnicha Sriburanapipob	Student ID 57050409
	Miss Nattanida Yamnual	Student ID 57050411
	Miss Natsimaporn Promwiharn	Student ID 57050412
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)	
Department	Chemistry	
Faculty	Science	
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)	
Academic Year	2017	
Advisor	Asst.Prof.Dr. Punnama Siriphannon	

Abstract

This research has improved the properties of cotton used in dentistry by immobilization of copper (II) oxide (CuO) using hydrothermal reaction in basic solution. Poly 4-styrenesulfonic acid (PSS) binding agent was used in order to increase the immobilization efficiency of CuO particles. Firstly, the suitable basic solutions for hydrothermal reaction were studied, i.e. 0.1 mol/L sodium hydroxide (NaOH) and 0.1 mol/L ammonium hydroxide (NH₄OH). It was found that the NaOH solution could induce the formation of copper hydroxide (Cu(OH)₂) in which it was a precursor of CuO crystallization better than the NH₄OH solution. The immobilization of CuO particles on the cotton fabric was performed by varying the concentrations of CuSO₄·5H₂O starting solution, i.e. 0.5 0.7 and 0.9 mol/L. In addition, the increase of number of CuSO₄·5H₂O coating cycle was studied by layer-by-layer technique using 0.1 mol/L PSS binder alternate dipping with the CuSO₄·5H₂O solution. The number of coating cycle was 1 2 and 3 cycles to obtain the PSS/Cu²⁺ multilayers coated on the cotton. The coated cotton fabrics were hydrothermally treated in 0.1 mol/L NaOH solution at 100°C for 24 h, resulting in the formation of CuO particles on every cotton sample. The amount of immobilized Cu increased with the increase of concentration of the CuSO₄·5H₂O solutions. The CuO particles uniformly distributed and well adhered on the surface of cotton fabrics, therefore, they possessed the washing durability. When the number of PSS/Cu²⁺ coating cycles was increased, the particle size of hydrothermally grown CuO particles would increase. The surface of CuO particles immobilized on cotton was negative charge, in which they were inhibited the growth of gram-positive bacteria (*S.aureus*). The cotton sample prepared by using 0.7 mol/L CuSO₄·5H₂O starting solution with PSS binder stepwise dipping 2 cycles was the best performance compared to every cotton sample. Therefore, it exhibited the best antibacterial property.

Keywords: Copper oxide particles, Photocatalyst, Hydrothermal reaction, Polystyrene sulfonate

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้ประสบความสำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผศ.ดร.ปทุมมา ศิริพันธ์โนน เป็นผู้ให้ความรู้ คำปรึกษา และข้อเสนอแนะต่าง ๆ รวมถึงการตรวจสอบแก้ไขโครงการพิเศษและคณะกรรมการการสอบ ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ ที่กรุณารับเป็น คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ และให้คำแนะนำ แก้ไขรูปเล่มโครงการเป็นอย่างดี ซึ่งเป็น ประโยชน์ยิ่งต่อการทำโครงการพิเศษขึ้นนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้ความรู้ในทุกวิชาที่สามารถมาประยุกต์ใช้กับโครงการนี้ได้

ขอขอบพระคุณ คุณสุรินทร์ เหล่าพระจันทร์ นักวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี ที่ให้ความช่วยเหลือ ในการตรวจวิเคราะห์สารตัวอย่างโดยใช้เทคนิคอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรสโกปี (Atomic Absorption Spectroscopy, AAS)

ขอขอบพระคุณร้านคุณตึกจำหน่ายผ้าคลุมหน้าเจาะรูและผ้าห่อเครื่องมือแพทย์ราคาถูก ที่ให้การสนับสนุนผ้าฝ้ายที่ใช้ในการทดลองโครงการพิเศษ

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนโอกาสทางการศึกษาและเป็นกำลังใจ จนโครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดเวลา

สุดท้ายนี้ หากมีความผิดพลาดประการใดทางผู้เขียนต้องขออภัย ณ ที่นี้ และทางผู้เขียนหวังว่าโครงการพิเศษเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย

ณัฐนิชา ศรีบูรณพิภพ

ณัฐนิตา ย่านวล

ณัฐศิมาพร พรหมวิหาร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	ก
Abstract.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ช
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ซ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 คอปเปอร์ (II) ออกไซด์ (Copper (II) oxide; CuO).....	3
2.1.1 โครงสร้างผลึกและสมบัติทางกายภาพของคอปเปอร์ (II) ออกไซด์.....	3
2.1.2 การสังเคราะห์หอนภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์.....	4
2.2 พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (Polystyrene sulfonate).....	5
2.2.1 พอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes).....	5
2.2.2 สมบัติของพอลิอิเล็กโทรไลต์.....	6
2.3 เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-layer technique).....	6
2.4 เซลลูโลส (Cellulose).....	7
2.4.1 ฝ้าย (Cotton).....	8
2.5 โฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis).....	8
2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส.....	9
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	14
3.1 สารเคมี.....	14
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	14
3.3 วิธีการทดลอง.....	15
3.3.1 การเตรียมผ้าฝ้ายและสารละลายตั้งต้น.....	15
3.3.2 การศึกษาผลของสารละลายเบส.....	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นและจำนวนรอบในการตรึงคอปเปอร์ (II) ออกไซด์	16
3.3.4 การทดสอบความทนทานต่อการซักล้าง	18
3.4 วิธีการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และทดสอบผ้าตัวอย่าง	18
3.4.1 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic absorption spectroscopy, AAS)	18
3.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)	19
3.4.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์	19
3.4.4 การทดสอบการฟอกจางสี	19
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	20
4.1 การศึกษาผลของสารละลายเบส	20
4.2 การปลูกผลึกคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้าฝ้าย	21
4.2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	22
4.2.2 ผลของจำนวนครั้งในการจุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	23
4.3 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO	27
4.4 การฟอกจางสีของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO	28
4.5 ความทนทานต่อการซักล้าง	29
4.6 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO หลังจากซักล้าง	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	33
5.1 สรุปผลการวิจัย	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35
ภาคผนวก	37

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของสารละลายเบส	15
3.2 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของความเข้มข้นและจำนวน รอบในการตรึงคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้า.....	17
4.1 ปริมาณเบสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ความเข้มข้น 0.5 mol/l	21
4.2 ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ใช้ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน ...	22
4.3 ปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลายตั้งต้นที่มีความเข้มข้นและ จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบที่แตกต่างกัน	25
4.4 ขนาดพื้นที่ในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย <i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>) และ <i>Staphylococcus aureus</i> (<i>S.aureus</i>) ของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO	27
4.5 ความสามารถในการฟอกจางสีของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO	29
4.6 ปริมาณ Cu บนพื้นผิวตัวอย่างผ้าฝ้ายและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ Cu หลังการซักล้าง.....	30
4.7 ขนาดพื้นที่ในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> ของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วย อนุภาค CuO ที่ผ่านการซักล้าง.....	32

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของคอปเปอร์ (II) ออกไซด์แบบโมโนคลินิก.....	3
2.2 โครงสร้างของพอลิสไตรีนซิลโฟเนต.....	5
2.3 ขั้นตอนเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์.....	7
2.4 โครงสร้างเซลลูโลส.....	7
2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน.....	9
2.6 รูปแบบการสังเคราะห์ตัวอย่างในงานวิจัยของ W. Vidotto da Costa และคณะ.....	12
3.1 ขั้นตอนการเตรียมผ้าตัวอย่างสำหรับการศึกษาผลของสารละลายเบส.....	16
3.2 ขั้นตอนการเตรียมผ้าตัวอย่างสำหรับการศึกษาจำนวนรอบและความเข้มข้นในการตรึงคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้า.....	18
4.1 สัณฐานวิทยาของตัวอย่าง a) CuB-0.5 NaOH และ b) CuB-0.5 NH ₄ OH.....	21
4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวผ้าฝ้ายของตัวอย่าง a) Cu-0.5 NaOH b) Cu-0.7 NaOH และ c) Cu-0.9 NaOH.....	23
4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่าง a) Cu1-0.5 NaOH b) Cu1-0.7 NaOH c) Cu1-0.9 NaOH d) Cu2-0.5 NaOH g) Cu3-0.5 NaOH h) Cu3-0.7 NaOH i) Cu3-0.9 NaOH e) Cu2-0.7 NaOH และ f) Cu2-0.5 NaOH.....	25
4.4 กราฟปริมาณ Cu บนผ้าตัวอย่างเมื่อทำการจุ่มเคลือบ 1 2 และ 3 รอบ.....	27
4.5 กราฟปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายตัวอย่างก่อนและหลังการซักล้าง.....	31

คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
CuO	Copper (II) Oxide
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Coppersulfatepentahydate
PSS	Polystyrene sulfonate
NH_4OH	Ammonium Hydroxide
NaOH	Sodium Hydroxide
HNO_3	Nitric acid
Nano-CuO	อนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์
SEM	Scanning electron microscope
AAS	Atomic absorption spectroscopy
H	ไฮโดรเจน
B	สารละลายเบส
CuX-0.Y ZZ	X = จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบสารละลายตั้งต้น 0.Y = ความเข้มข้นของสารละลายตั้งต้น ZZ = ชนิดของสารละลายเบส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สิ่งทอถือว่ามีมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ หนึ่งในนั้นคือการนำมาใช้งานในทางการแพทย์ เช่น ชุดผ่าตัดของแพทย์และพยาบาล ผ้าคลุมผ่าตัด เป็นต้น โดยส่วนใหญ่สิ่งทอผลิตมาจากเส้นใยธรรมชาติโดยเฉพาะเส้นใยฝ้าย เนื่องจากมีสมบัติที่ดี คือ สวมใส่สบาย ระบายอากาศได้ดี และทำความสะอาดได้ง่าย แต่ข้อเสีย คือ ยับง่าย การยืดหยุ่นไม่ดี โดยวัสดุที่นำมาใช้ในทางการแพทย์ ต้องมีความสะอาด ปราศจากเชื้อแบคทีเรีย การใช้เส้นใยธรรมชาติบริสุทธิ์โดยปราศจากการปรับปรุงของเส้นใยก่อให้เกิดเชื้อแบคทีเรียซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดโรคต่างๆ ดังนั้นผ้าหรือสิ่งทอจากเส้นใยธรรมชาติที่ใช้ในทางการแพทย์ต้องทิ้งทันทีหลังการใช้งาน หรือหากนำไปทำความสะอาดโดยการซักล้างสามารถนำกลับมาใช้งานได้ไม่ก็ครั้ง เนื่องจากประสิทธิภาพในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียลดลง ซึ่งถือว่าการสิ้นเปลืองทรัพยากรทางธรรมชาติและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการปรับปรุงสิ่งทอที่ทำมาจากเส้นใยธรรมชาติเพื่อการใช้งานทางการแพทย์ โดยลดการเกิดของเชื้อแบคทีเรียและเพิ่มคุณสมบัติในการทำความสะอาดตัวเองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งาน

งานวิจัยจำนวนมากมีความสนใจในการศึกษาการปรับปรุงสมบัติของผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ผลิตจากเส้นใยฝ้ายเพื่อความเหมาะสมในการใช้งาน โดยการใช้สารเคมีประเภทสารอนินทรีย์ เช่น อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ [1-3] อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ [4] อนุภาคนาโนซิลเวอร์ [5] อนุภาคนาโนไทเทเนียม [6] และสารเคมีที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น โคโตซาน [7] เมทาคริลอกซีพรอพิล ไตรเอทอกซีไซเลน (Methacryloxypropyl trimethoxysilane, MAPS) [8] พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (Polystyrene sulfonate) [9] อะมิโนพรอพิล ไตรเอทอกซีไซเลน (Aminopropyl triethoxysilane, APTES) [10] เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้ มีความสนใจในการศึกษาการตรึงอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ลงบนผ้าฝ้ายเพื่อพัฒนาสมบัติของผ้าฝ้ายสำหรับการประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ เนื่องจากอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์มีสมบัติต้านทานเชื้อแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* (*E.coli*) ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นและโรคต่างๆ ได้แก่ โรคอุจจาระร่วง โรคติดเชื้อในทางเดินปัสสาวะ โรคเยื่อหุ้มสมองอักเสบในเด็กเกิดใหม่ โรคปอดบวม เป็นต้น และเชื้อแบคทีเรียชนิด *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) ซึ่งก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นและโรคอาหารเป็นพิษ อย่างไรก็ตามผ้าฝ้ายที่สังเคราะห์โดยการตรึงด้วยอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์อาจเกิดการหลุดออกของอนุภาคนาโน ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้งานลดลง เมื่อผ่านการซักล้าง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปลูกอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายในสถานะที่ใช้และไม่ใช้สารยึดติด (Binder) โดยใช้กระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method) ซึ่งข้อดีของปฏิริยานี้คือ สามารถทำได้ง่าย อุดหนุนภูมิและความดันในการทำปฏิริยาไม่สูง ประหยัดค่าใช้จ่าย และสารเคมีที่ใช้ไม่มีความเป็นพิษจึงเป็นเทคนิคที่มีความเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรึงอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ลงบนผ้าฝ้าย
- 2) ศึกษาสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ตรึงด้วยอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้าฝ้าย
- 3) ศึกษาความทนทานต่อการซักล้างของอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้าฝ้าย
- 4) ตรวจสอบคุณสมบัติของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาคคอปเปอร์(II)ออกไซด์ที่เตรียมได้

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ศึกษาการปลูกผลึกคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้าฝ้าย โดยมีปัจจัยศึกษาดังนี้
 1. ชนิดของสารละลายเบส ได้แก่ NaOH และ NH_4OH
 2. ความเข้มข้นของสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ได้แก่ 0.5 0.7 และ 0.9 mol/L
 3. สารยัดติดพอลิไทรินซัลโฟนิกแอซิด เข้มข้น 0.1 mol/L
 4. จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรตบนผ้าฝ้าย (ขนาด 3x3 ตารางเซนติเมตร) ได้แก่ 1 2 และ 3 รอบ
 5. ใช้วิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 100 °C
 6. ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล 24 h
- 2) ทดสอบการยัดติดของผลึกคอปเปอร์(II)ออกไซด์บนผ้าฝ้าย
- 3) ตรวจสอบคุณสมบัติของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยผลึกคอปเปอร์(II)ออกไซด์ ด้วยเทคนิคต่างๆ ได้แก่
 1. หาปริมาณคอปเปอร์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic absorption spectrometer; AAS)
 2. ตรวจสอบวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope; SEM)
- 4) ทดสอบสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์
- 5) ทดสอบการฟอกจางสีด้วยหลอดรังสียูวี

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับ

- 1) สามารถเตรียมผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลได้
- 2) สามารถนำผ้าฝ้ายที่เตรียมได้ไปผลิตเป็นผ้าทางการแพทย์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย
- 3) ผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์มีความสามารถในการทำความสะอาดตัวเองได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

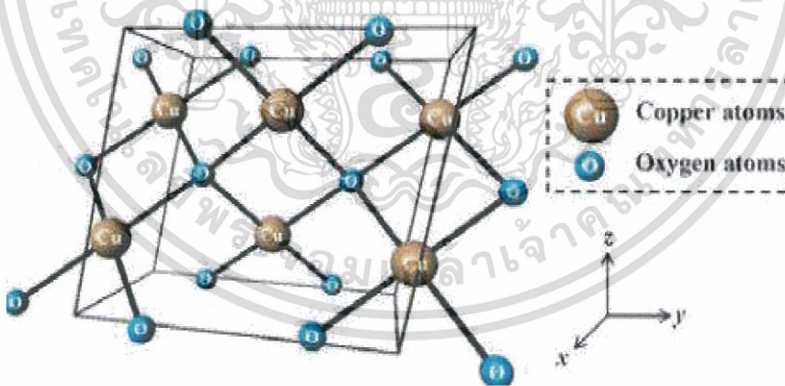
2.1 คอปเปอร์ (II) ออกไซด์ (Copper (II) oxide; CuO)

คอปเปอร์ (II) ออกไซด์ [11] เป็นวัสดุที่มีสมบัติทางแสงและสมบัติทางเคมีที่น่าสนใจ จัดอยู่ในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type semiconductor) สามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ ทั้งแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์และสายไฟฟ้า การสังเคราะห์มีหลายวิธี เช่น การเคลือบด้วยไอเคมี (Chemical vapor deposition; CVD) การเคลือบด้วยไอเคมีโดยใช้สารตั้งต้นเป็นเมทัลออร์แกนิก (Metal-organic chemical vapor deposition ; MOCVD) การสังเคราะห์ด้วยวิธีอินซิทู (In situ synthesis) และ การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method)

2.1.1 โครงสร้างผลึกและสมบัติทางกายภาพของคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

คอปเปอร์ (II) ออกไซด์มีช่องว่างแถบพลังงาน (Band Gap) เท่ากับ 1.2 eV และมีค่าแลตทิซพารามิเตอร์ (Lattice parameters)

$$\text{ดังนั้น } a = 4.6837 \text{ b} = 3.4226 \text{ c} = 5.1288 \quad \alpha = 90^\circ \quad \beta = 99.54^\circ \quad \gamma = 90^\circ$$



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของคอปเปอร์ (II) ออกไซด์แบบโมนอคลินิก [12]

สมบัติทางกายภาพของคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

น้ำหนักโมเลกุล	79.545 g/mol
สัดส่วนน้ำหนักของอะตอมทองแดง	79.89 %
สัดส่วนน้ำหนักของอะตอมออกซิเจน	20.11 %
ความหนาแน่น	6310 kg/m ³
จุดหลอมเหลว	1326 °C
จุดเดือด	2000 °C
ช่องว่างแถบพลังงาน	1.2 eV
โครงสร้าง	monoclinic
Enthalpy of fusion	52.30 kJ/mol
ความเป็นแม่เหล็ก	antiferromagnetic

2.1.2 การสังเคราะห์อนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

- การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method) [11,13-14]

การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล เป็นวิธีการทำให้เกิดผลึกในสภาวะที่ใช้ อุณหภูมิและความดัน มีตัวทำละลายเป็นน้ำ อาจใช้อุปกรณ์ทรงกระบอกมีฝาปิด ซึ่งเรียกว่า ออโตเคลป (Autoclave) สำหรับใส่สารเคมีและตัวทำละลาย วัสดุที่ใช้ต้องทนกรด ต่าง ความร้อนและความดันได้

วิธีการไฮโดรเทอร์มอลสามารถใช้สังเคราะห์วัสดุระดับนาโนสำหรับการใช้งานทางด้านเทคโนโลยี เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ประเภท วัสดุเก็บข้อมูลแบบแม่เหล็ก อุปกรณ์สำหรับการใช้งานด้านชีวการแพทย์ และลิเทียมไอออนแบตเตอรี่

ข้อดีของวิธีนี้คือ สามารถควบคุมขนาดผลึกโดยการปรับอัตราส่วนของสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบ และปรับสภาวะในการสังเคราะห์ ผลึกที่ได้มีคุณภาพดี และเป็นวิธีการสังเคราะห์ที่ง่ายและมีค่าใช้จ่ายต่ำ

วิธีการไฮโดรเทอร์มอลสามารถใช้สังเคราะห์คอปเปอร์ (II) ออกไซด์ได้ โดยใช้ตะกอนคอปเปอร์ไฮดรอกไซด์เป็นสารตั้งต้นและมีกลไกดังแสดงในสมการที่ 2.1 – 2.2

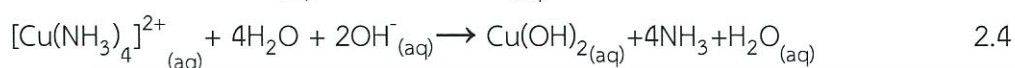
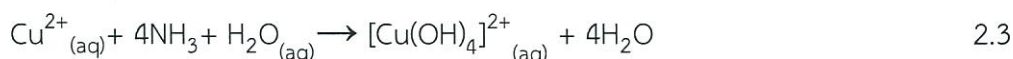


- การสังเคราะห์ด้วยการใช้คลื่นเสียง (Sonication method) [15]

การสังเคราะห์ด้วยการใช้คลื่นเสียง คือ การเพิ่มอันตรกิริยาของสารเคมีในระบบด้วยการปั่นกววนจากคลื่นกระแทก (Shock wave) และเกิดคลื่นกระแทกขนาดเล็ก (Microjet) หรือเรียกว่า เกิดปฏิกิริยาโซโนเคมี (Sonochemical reaction)

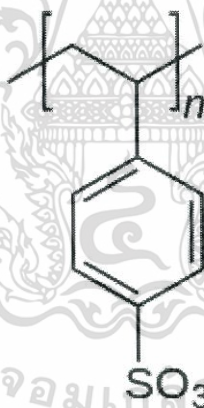
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปฏิกิริยาไซโนเคมี เกิดจากสองสาเหตุคือความร้อนและโพรงอากาศ (Cavitation) ซึ่งเป็นการก่อตัวของโพรงอากาศที่สามารถเติบโตและแตกตัวได้ โพรงอากาศขนาดเล็กที่แตกตัวใกล้บริเวณพื้นผิวของสารตั้งต้นที่เป็นของแข็งจะก่อให้เกิดคลื่นกระแทกและไมโครเจต ส่งผลให้เกิดการเพิ่มอันตรกิริยาของสารเคมีในระบบด้วยแรงเชิงกล ซึ่งการเกิดโพรงอากาศในระบบเนื้อผสม (Heterogeneous system) ส่งผลดีกว่าระบบเนื้อเดียว (Homogeneous system) หลายร้อยเท่า มีงานวิจัยรายงานกลไกการก่อตัวของอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ ดังแสดงในสมการที่ 2.3 – 2.5



2.2 พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (Polystyrene sulfonate)

พอลิสไตรีนซัลโฟเนตเป็นโพลิเมอร์ที่ได้จากพอลิสไตรีนโดยการเติมซัลโฟเนต มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเพื่อขจัดไอออนออกจากสารละลาย เช่น โพแทสเซียม แคลเซียม และโซเดียม โดยใช้เป็นไอออนเรซิน (Ion-exchange resins) ในงานด้านเทคนิคหรือทางการแพทย์ พอลิสไตรีนซัลโฟเนตสามารถละลายน้ำได้ และมีการแตกตัวเป็นไอออนลบ (Anion) ซึ่งจะมีโครงสร้างแบบร่างแห มีความเป็นพอลิอิเล็กโทรไลต์ [16]



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิสไตรีนซัลโฟเนต [9]

2.2.1 พอลิอิเล็กโทรไลต์ (Polyelectrolytes)

พอลิอิเล็กโทรไลต์เป็นกลุ่มของพอลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเฉพาะ คือ มีหน่วยย่อยที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุหรือแตกตัวเป็นประจุได้ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบที่มีประจุไฟฟ้าซึ่งอาจมีประจุบวก (Cationic polyelectrolytes) ประจุลบ (Anionic polyelectrolytes) หรือมีทั้งประจุบวกและประจุลบ (Polyampholytes) และอาจไม่มีประจุ หรือมีประจุน้อยมาก (Nonionic polyelectrolytes) ตัวอย่างของพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดต่างๆ [9]

- พอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดบวก (Cationic polyelectrolytes)
เป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีหน่วยย่อยที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุบวกหรือแตกตัวเป็นประจุบวกได้
- พอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดลบ (Anionic polyelectrolytes)
เป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีหน่วยย่อยที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบหรือแตกตัวเป็นประจุลบได้
- พอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดบอกละและลบ (Polyampholytes)
เป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์โมเลกุลใหญ่ที่ประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่แตกตัวเป็นประจุลบหรือประจุบวก มักจะให้ประจุบวกที่พีเอชต่ำ ให้ประจุลบที่พีเอชสูง ซึ่งจัดเป็น Zwitterion
- พอลิอิเล็กโทรไลต์ไม่มีประจุ (Nonionic polyelectrolytes)
เป็นสารพอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีหน่วยย่อยที่สามารถแตกตัวเป็นประจุได้ต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ในสารละลาย

2.2.2 สมบัติของพอลิอิเล็กโทรไลต์

สมบัติขึ้นพอลิอิเล็กโทรไลต์ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ ประจุของพอลิอิเล็กโทรไลต์ ความหนาแน่นของประจุ และชนิดของโมเลกุลเล็กๆที่มีประจุตรงกันข้าม [9]

ประจุของพอลิอิเล็กโทรไลต์ สามารถแบ่งตามความแรงของประจุได้ 2 ชนิด คือ ชนิดแก่กับชนิดอ่อน พอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดอ่อนจะแตกตัวบางส่วนในบางช่วงพีเอช ส่วนพอลิอิเล็กโทรไลต์ชนิดแก่สามารถแตกตัวได้อย่างสมบูรณ์ในทุกช่วงพีเอช ทำให้มีความสามารถในการนำไฟฟ้าสูง

ความหนาแน่นประจุ พอลิอิเล็กโทรไลต์ที่มีความหนาแน่นของประจุสูงจะมีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้สูง

ชนิดของโมเลกุลเล็กๆที่มีประจุตรงกันข้าม หากในระบบของพอลิอิเล็กโทรไลต์มีโมเลกุลขนาดเล็กที่มีประจรร่วมอยู่ด้วยกัน โมเลกุลที่มีประจุจะมีอิทธิพลสูงต่อสมบัติโดยรวมของระบบสารละลาย

2.3 เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-layer technique)

เทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์เป็นเทคนิคที่อาศัยแรงดึงดูดทางไฟฟ้าสถิตระหว่างซับสเตรต (Substrate) ที่พื้นผิวมีประจุกับสารตัวอย่างที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดชั้นของสารตัวอย่างบนซับสเตรต [9] โดยที่ความหนาของแต่ละชั้นมีความหนาอยู่ในระดับนาโนเมตร มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

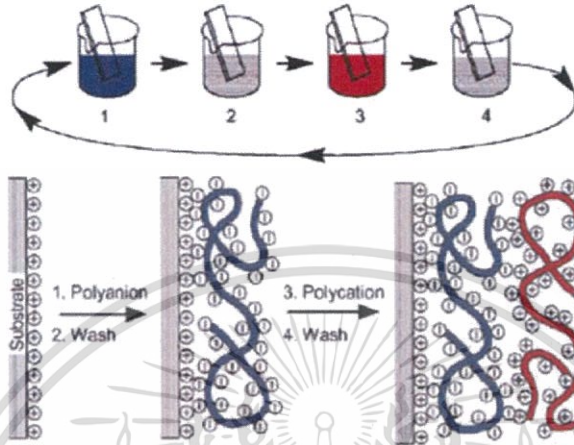
ขั้นที่ 1 นำซับสเตรตที่มีประจุบวกไปจุ่มในสารละลายตัวอย่างชนิดแรกที่มีประจุเป็นลบ (ประจุตรงข้ามกับซับสเตรต) ทำให้พื้นผิวของซับสเตรตถูกปกคลุมด้วยชั้นสารตัวอย่างที่มีประจุแตกต่างไปจากตอนแรก

ขั้นที่ 2 นำชั้นตัวอย่างไปจุ่มลงในน้ำกลั่นเพื่อกำจัดสารเคลือบที่ไม่เกิดอันตรกิริยากับพื้นผิวซับสเตรต

ขั้นที่ 3 นำชิ้นตัวอย่างไปจุ่มในสารละลายตัวอย่างชนิดที่สองที่มีประจุเป็นบวก (ประจุตรงข้ามกับสารละลายชนิดแรก) ทำให้พื้นผิวของชิ้นตัวอย่างถูกปกคลุมด้วยชั้นสารตัวอย่างที่มีประจุแตกต่างจากชั้นเคลือบชั้นแรก

ขั้นที่ 4 นำชิ้นตัวอย่างไปจุ่มล้างในน้ำกลั่น

หากต้องการเพิ่มความหนาของชั้นเคลือบ ทำได้โดยการจุ่มชิ้นตัวอย่างซ้ำในขั้นที่ 1-4



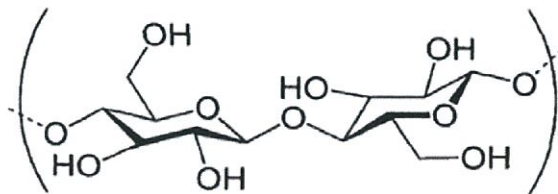
รูปที่ 2.3 ขั้นตอนเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ [9]

ข้อดีของเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์

เป็นเทคนิคที่ทำได้ง่าย ไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของชิ้นงาน ไม่จำเป็นต้องมีเครื่องจักรที่แพง เป็นระบบที่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ดังนั้นจึงไม่เป็นอันตราย ใช้สารเคมีในปริมาณน้อย ประหยัดพลังงาน และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

2.4 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง เป็นองค์ประกอบหลักที่อยู่ในพืช เช่น ฝ้าย ไม้ และกระดาษ หมู่ฟังก์ชันที่สำคัญที่สุดในเซลลูโลส คือ หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group) เซลลูโลสมีโครงสร้างเป็นสายโซ่ตรงโดยที่สายโซ่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวแบบเส้นตรง (Fully extended chains) ซึ่งจะมีแรงดึงดูดระหว่างสายโซ่โมเลกุลด้วยพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีผลทำให้เกิดโครงสร้างผลึกขึ้น ทำให้เส้นใยมีความแข็งแรง ดังนั้นเซลลูโลสจะไม่ละลายน้ำ [9]



รูปที่ 2.4 โครงสร้างเซลลูโลส [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ฝ้าย (Cotton)

- สมบัติทางกายภาพ

ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะเป็นเกลียว ผิวของเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง ความยาวเส้นใยแต่ละเส้นอยู่ในช่วง 3-63 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น พันธุ์ฝ้าย สภาพดินฟ้าอากาศ และการเจริญเติบโต ปกติแล้วฝ้ายจะมีสีขาว บางชนิดอาจพบเป็นสีครีมหรือน้ำตาล ฝ้ายมีความแข็งแรงปานกลาง เมื่อเปียกน้ำฝ้ายจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น ประมาณ 10-20 เปอร์เซ็นต์ โดยทั่วไปความแข็งแรงของฝ้ายจะแปรผันโดยตรงตามความยาวของเส้นใย เมื่อนำมาตีเกลียวเป็นด้าย เส้นใยยาวจะมีจุดสัมผัสและการเกาะกันมากกว่าเส้นใยสั้นส่งผลให้ทนต่อแรงดึงสูง การยืดตัวของฝ้ายสามารถยืดตัวได้ประมาณ 3-7 เปอร์เซ็นต์ จึงนำมาปั่นเป็นด้ายได้ง่าย การคืนตัวของใยฝ้ายและผ้าฝ้ายคืนตัวได้ต่ำและง่าย การดูดความชื้น การติดไฟและการทนความร้อนของผ้าฝ้ายนั้น สามารถดูดความชื้นได้สูงถึง 7-10 เปอร์เซ็นต์ จึงสามารถดูดซับความชื้นจากเหงื่อและน้ำได้ดีและสามารถระบายความชื้นได้เร็ว นอกจากนี้ฝ้ายสามารถติดไฟได้ง่ายและเร็ว เมื่อเผาจะมีกลิ่นเหมือนเผากรดาศ มีเข็มน้อยและมีสีเทา [9]

- สมบัติทางเคมี

ฝ้ายสามารถทนกรดและด่างได้ดี เช่น กรดอินทรีย์และด่างที่ใช้เป็นสบู่ในการซักล้างก็ไม่มีผลต่อสมบัติของฝ้าย ถึงแม้ว่าสารซักล้างตามท้องตลาดจะไม่มีผลต่อผ้าฝ้ายแต่สารซักฟอกประเภทสารออกซิไดซ์ เช่น โปแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และโซเดียมไฮโปคลอไรต์ มีผลทำให้ฝ้ายมีสมบัติเปลี่ยนไป คือ มีความแข็งแรงลดลงจากเดิมขาดง่ายเมื่อเปียกน้ำและเกิดการเปลี่ยนสีเป็นสีเหลือง การย้อมสีของฝ้ายสามารถย้อมติดสีได้หลายชนิด เช่น สีรีแอคทีฟ สีเดเรก และสีเบสิก เป็นต้น นอกจากนี้ฝ้ายเกิดราขึ้นได้ง่าย และเมื่อนำผ้าฝ้ายไปตากแดดจัดไว้นานเกินไป จะทำให้กลายเป็นสีเหลืองและเสื่อมคุณภาพได้ ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้งานของฝ้ายไม่ให้ถูกแสงแดดโดยตรง [9]

- ประโยชน์ใช้สอยของผ้าฝ้าย

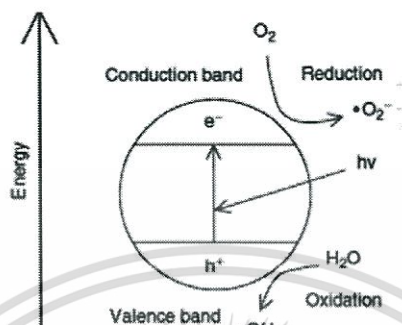
ผ้าฝ้ายสามารถใช้ทำเป็นเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่มได้หลากหลายรูปแบบ นอกจากนี้ยังเป็นผ้าที่ใช้ประโยชน์ทั่วไปในครัวเรือน เช่น ผ้าปูโต๊ะ ผ้าตักเตียงบ้าน เป็นต้น และผ้าฝ้ายยังนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมได้อย่างดีอีกด้วย ทั้งนี้เนื่องจากผ้าฝ้ายมีคุณสมบัติหลายประการ เช่น สวมสบาย ซักได้ง่าย และดูดซึมน้ำและความชื้นได้ดี นอกจากนี้ผ้าฝ้ายยังย้อมติดสีได้ง่าย สีไม่ตกและทนต่อการซักล้าง ทนต่อความร้อนและระบายความร้อนได้ดีอีกด้วย [9]

2.5 โฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis)

กระบวนการโฟโตคะตะไลซิสเป็นกระบวนการดูดซับโฟตอนที่มีพลังงานมากกว่าแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ ซึ่งคอปเปอร์ออกไซด์เป็นสารกึ่งตัวนำ ประกอบด้วยระดับพลังงาน 2 ระดับ คือ แถบวาเลนซ์ และแถบคอนดักชัน โดยแถบวาเลนซ์เป็นระดับพลังงานที่มีอิเล็กตรอนบรรจุอยู่เต็ม และแถบคอนดักชันเป็นระดับพลังงานที่มีอิเล็กตรอนว่างและมีพลังงานสูงกว่าแถบวาเลนซ์ โดยผลต่างระหว่างระดับพลังงานทั้งสอง มีค่าพลังงาน 1.8-2.5 eV เมื่อคอปเปอร์ออกไซด์ถูกกระตุ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่สูงกว่า 1.8-2.5 eV ทำให้อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์กระโดดขึ้นไปอยู่ที่แถบคอนดักชัน ส่งผลให้เกิดช่องว่าง (hole, h^+) ขึ้นที่แถบวาเลนซ์ และเกิดอิเล็กตรอน (e^-) ขึ้นที่แถบคอนดักชัน โดยช่องว่างสามารถรวมตัวกับน้ำเกิดเป็นไฮดรอกซิลเรดิคัล (OH^\bullet) ส่วนอิเล็กตรอนสามารถจับกับ ออกซิเจนเกิดเป็นซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัล ($\bullet O_2^-$) ซึ่งทั้งสองตัวเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ [17]



รูปที่ 2.5 กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกออกซิเดชัน [18]

2.5.1 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ได้แก่ ค่าพีเอช (pH) ความเข้มข้นของอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ ปริมาณออกซิเจนละลาย (Dissolved oxygen) และความเข้มข้นของแสง [17]

1. ค่าพีเอช

ประสิทธิภาพของกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส ขึ้นอยู่กับค่าพีเอช ในสารละลายซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยา เนื่องจากค่าพีเอชมีผลต่อความสามารถในการดูดเกาะของสารประกอบอินทรีย์และอนินทรีย์ที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยา โดยประจุไฟฟ้าที่ผิวของตัวเร่งปฏิกิริยาจะเปลี่ยนไป เมื่อค่าพีเอชสูงขึ้น และโพลจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการโฟโตคะตะไลซิส เมื่อค่าพีเอชน้อยกว่า 3 ในขณะที่ไฮดรอกซิลเรดิคัลมีความสำคัญในการทำปฏิกิริยาที่ค่าพีเอชน้อยกว่า 3 และค่าพีเอชที่เปลี่ยนแปลงไป ยังทำให้ช่องว่างพลังงานของสารกึ่งตัวนำประเภทโลหะออกไซด์ เปลี่ยนแปลงได้ 0.059 มิลลิโวลต์ต่อหนึ่งหน่วยพีเอช

2. ความเข้มข้นของอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

อนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ในสารละลาย ทำหน้าที่ให้ไฮดรอกซิลเรดิคัล และเร่งให้เกิดปฏิกิริยาการกำจัดสารปนเปื้อน และทำหน้าที่เป็นตัวกลางให้สารอินทรีย์ในสารละลายยึดเกาะ โดยการยึดเกาะของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ขึ้นอยู่กับปริมาณและขนาดอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ ดังนั้นพื้นที่ผิวจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการควบคุมการเกิดปฏิกิริยา แต่ปริมาณคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ที่มากเกินไปในสารละลาย จะทำให้ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสลดลงเนื่องจากอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์จะไปขัดขวางแสงที่ส่องไปยังสารละลาย ทำให้ปริมาณคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ที่ถูกกระตุ้นด้วยอนุภาคแสง และปริมาณไฮดรอกซิลเรดิคัลลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ปริมาณออกซิเจนละลาย (dissolved oxygen)

อัตราการเกิดปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น เมื่อความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในสารละลายเพิ่มขึ้น ออกซิเจนเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส เพราะออกซิเจนจะยึดเกาะบนผิวตัวเร่งปฏิกิริยา ทำหน้าที่ยึดจับอิเล็กตรอนในแถบคอนดักชัน ทำให้เกิดซูเปอร์ออกไซด์เรดิคัลและจะทำปฏิกิริยากับไฮโดรเจนอออน ต่อไปได้เป็นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ด้วยเหตุนี้ออกซิเจนจึงเป็นตัวยึดเวลาการกลับมารวมตัวกันใหม่ของอิเล็กตรอนในแถบคอนดักชันและไฮโดรเจนอออน และออกซิเจนยังทำให้เกิดไฮดรอกซิลเรดิคัลอีกด้วย

4. ความเข้มข้นของแสง (light intensity)

เนื่องจากความเข้มของแสง คือพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ต่อหน่วยเวลา นั่นคืออนุภาคแสง 1 โฟตอนที่มีความถี่ (ν) จะมีพลังงาน (E) = $h\nu$ หรือคิดเป็น 1 ควอนตัม ซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานแสงโดยตรง ถ้าให้พลังงานของแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ของผิวหน้าโลหะ E_f ดังนั้น

$$\begin{aligned} \text{จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบน} &= \frac{\text{พลังงานของแสงทั้งหมดที่ตกกระทบบน}}{\text{พลังงานของแสง 1 โฟตอน}} \\ &= \frac{E_f}{h\nu} \\ \text{จำนวนโฟตอนที่ตกกระทบบนต่อ 1 วินาที} &= \frac{\text{ความเข้มแสง}}{h\nu} \end{aligned}$$

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. Sedighi และคณะ [1] ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ (Cu_2O) ด้วยวิธีอินซิทู (In situ synthesis) เพื่อปรับปรุงพื้นผิวของผ้าฝ้ายสำหรับการประยุกต์ใช้ในเชิงการแพทย์ โดยซักผ้าฝ้ายด้วยผงซักฟอกชนิดไม่มีประจุ (Nonionic detergent) และเตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulfate; CuSO_4) เข้มข้น 8 %w/w นำผ้าฝ้ายผสมกับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟต จากนั้นนำไปให้อุณหภูมิ เดิมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 1.6 %w/w รอจนเดือด แล้วลดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิห้อง จากนั้นหยดสารละลายแอมโมเนียพร้อมปั่นกวน พบว่าโดยวิธีการนี้สามารถสังเคราะห์คอปเปอร์ (I) ออกไซด์บนพื้นผิวของผ้าฝ้ายได้ และผ้าฝ้ายทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ (Reduced agent) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ส่งผลให้เกิดการบวมตัวของผ้าฝ้ายโดยทำลายพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุล เป็นเหตุให้อนุภาคนาโนแทรกเข้าสู่ผิวผ้าได้ง่าย การก่อดั้วของโซเดียมเซลลูโลส (Na-cellulose) ส่งผลให้ความสัมพันธ์ของไอออนคอปเปอร์ (I) ออกไซด์ที่เป็นประจุบวกกับประจุลบของพื้นผิวเส้นใยฝ้ายเพิ่มขึ้น สารละลายแอมโมเนีย-คอปเปอร์เอมีนเพิ่มขึ้นจากการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนของ (Copper-amine complex) ส่งผลให้ปริมาณของคอปเปอร์ที่แทรกเข้าสู่ผ้าฝ้ายเพิ่มขึ้น จากเทคนิค XRD ยืนยันว่า อนุภาคนาโนคอปเปอร์ (I) ออกไซด์มีโครงสร้างผลึกแบบ คิวบิกและมีขนาดผลึกเท่ากับ 28 นาโนเมตร จากเทคนิค EDX พบว่ามีทองแดงและไนโตรเจนบนพื้นผิวผ้า จากเทคนิค SEM พบว่าอนุภาคนาโนบนผ้ามีการกระจายที่ดี โดยหมู่ไฮดรอกซิลของผ้าฝ้ายทำหน้าที่เป็นนิวคลีเอชันไซต์เพื่อป้องกันการรวมตัวของอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

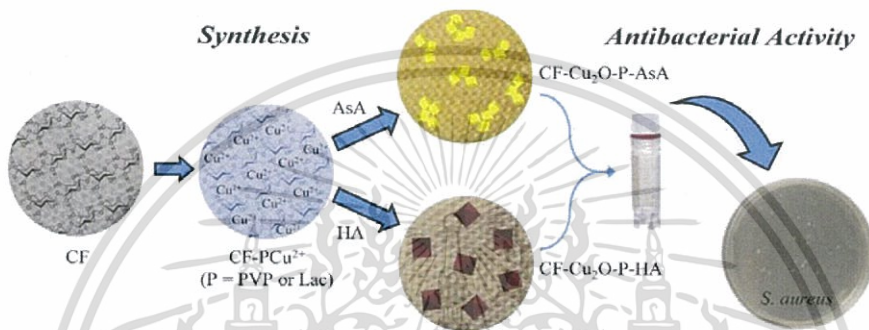
นาโนและปรับขนาดของอนุภาคนาโน นอกจากนี้ความไม่ชอบน้ำของผ้าฝ้ายที่ผ่านการปรับปรุงแล้วมีค่าสูงกว่าผ้าที่ยังไม่ผ่านการปรับปรุง เนื่องจากเกิดพันธะไฮโดรเจนของคอปเปอร์ (I) ออกไซด์กับหมู่ไฮดรอกซิลของเซลลูโลส ความแข็งแรงดึง (Tensile strength) ที่มีค่าต่ำและความเครียดแรงดึง (Tensile strain) ที่มีค่าสูง เป็นผลมาจากการมีอนุภาคนาโนคอปเปอร์ (I) ออกไซด์บนผิวผ้าฝ้าย ด้านประสิทธิภาพการต้านทานแบคทีเรีย พบว่าผ้าที่ผ่านการปรับปรุงมีความต้านทานต่อแบคทีเรียชนิด *E.coli* และ *S.aureus* และมีค่าการต้านทานแบคทีเรียชนิด *S.aureus* สูงกว่า *E.coli*

งานวิจัยของ S. Nourbaksh และคณะ [2] ทำการศึกษาการตรึงอนุภาคนาโนคอปเปอร์บนพื้นผิวผ้าฝ้ายสำหรับต้านทานเชื้อแบคทีเรียและศึกษาสมบัติความทนทานต่อการยับของผ้าฝ้าย โดยนำผ้าฝ้ายไปทำปฏิกิริยาด้วยกรดมาเลอิก (Maleic acid) ซึ่งใช้เป็นตัวเชื่อมขวาง (Crosslink agent) ที่ความเข้มข้นต่างกัน และใช้โซเดียมไฮโปฟอสไฟต์ (NaH_2PO_2) เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาโดยใช้วิธีการสังเคราะห์ 2 วิธี คือการแยกวิธีการทดลอง (Separate method) และการทดลองพร้อมกัน (Simultaneous method) จากนั้นนำมาทดสอบความคงทนด้วยการซัก วิธีการสังเคราะห์ด้วยการแยกวิธีการทดลอง ทำได้โดยจุ่มผ้าฝ้ายในกรดมาเลอิกที่ความเข้มข้น 2 4 6 และ 10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักผ้า (%owf) จากนั้นจุ่มลงในโซเดียมไฮโปฟอสไฟต์ (Sodium hypophosphite) ที่ความเข้มข้น 1 2 3 และ 5 % owf ทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 100°C และที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปจุ่มสารละลายอนุภาคนาโนคอปเปอร์ที่ความเข้มข้น 0.1 % owf บ่มที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 2 นาที วิธีการสังเคราะห์โดยการทดลองพร้อมกัน ทำได้โดยจุ่มผ้าฝ้ายในกรดมาเลอิกที่ผสมกับสารละลายที่มีอนุภาคนาโนคอปเปอร์ โดยใช้ความเข้มข้นเดียวกับการแยกวิธีการทดลอง จากนั้นบ่มที่อุณหภูมิ 80°C เป็นเวลา 30 นาที นำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นนำไปทดสอบความทนทาน (Durability) โดยนำไปซักที่อุณหภูมิ 47°C เป็นเวลา 30 นาที จำนวน 5 ครั้ง จากการทดสอบ ผ้าฝ้ายโดยการย้อมด้วยสีเมทิลีนบลู (Methylene blue) พบว่าการดูดซับของสีย้อมเมทิลีนบลูเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มความเข้มข้นของกรดมาเลอิก จากการทดสอบความทนทานต่อการยับของผ้าฝ้าย พบว่ามุมของการคืนตัวรอยยับเพิ่มขึ้นจากการเพิ่มความเข้มข้นของกรดมาเลอิก นอกจากนี้ การสังเคราะห์โดยการแยกวิธีการทดลองมีการดูดซับคอปเปอร์บนพื้นผิวผ้าฝ้ายและน้ำหนักของ ผ้าฝ้ายมากกว่าการสังเคราะห์โดยการทดลองพร้อมกัน

W. Vidotto da Costa และคณะ [3] ทำการศึกษาผ้าฝ้ายที่ถูกตรึงด้วยอนุภาคนาโนคอปเปอร์ (I) ออกไซด์และศึกษาสมบัติการต้านทานแบคทีเรียชนิด *S.aureus* โดยทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีอินซิทู (In situ Cu^{2+} reduction) ซึ่งเตรียมตัวอย่างโดย นำผ้าฝ้ายแช่สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 4 M นำผ้า CF แช่ในสารละลายคอปเปอร์ไนเตรตไตรไฮเดรต (Copper nitrate trihydrate) เข้มข้น 0.08 mol/L มี PVA หรือ Lac เป็นตัวป้องกัน โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของตัวป้องกันต่อคอปเปอร์ไอออนเป็น 1 : 1 เป็นเวลา 24 h จากนั้นนำผ้าตัวอย่างแช่ในน้ำกลั่นพร้อมปิ่นกวน เติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 mol/L จนมีค่าพีเอชเท่ากับ 12.5 เติมแอสคอร์บิก (AsA) หรือไฮดรอกซิลามีน (HA) ซึ่งเป็นตัวรีดิวซ์ (Reduced agent) ในอัตราส่วนโดยโมล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของตัวรีดิวซ์ต่อคอปเปอร์ไอออนเป็น 1:1 จากนั้นนำไปปั่นจน แล้วล้างผ้าตัวอย่างที่ได้ด้วยน้ำกลั่น และอบให้แห้ง ผ้าตัวอย่างที่ได้ทั้งหมดมี 4 ชนิด ได้แก่ CF-Cu₂O-Lac-AsA, CF-Cu₂O-Lac-HA, CF-Cu₂O-PVP-AsA, CF-Cu₂O-PVA-HA จากการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค SEM TEM และ XRD การทดสอบโดยการหามุมสัมผัส (Contact angle; θ) และการศึกษาการต้านทานแบคทีเรียชนิด *S.aureus* พบว่าการสังเคราะห์คอปเปอร์(II)ออกไซด์เกิดปฏิกิริยารีดักชันของ Cu²⁺ บนพื้นผิวของเส้นใยผ้าฝ้าย ตัวรีดิวซ์ชนิด AsA ให้การเคลือบผิวด้วยคอปเปอร์ (I) ออกไซด์บนผ้าฝ้ายที่ดี และให้ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าการใช้ตัวรีดิวซ์ชนิด HA นอกจากนี้ค่าดัชนีของผลึกของเซลลูโลส และขนาดของผลึกของผ้าตัวอย่างทั้ง 4 ตัวอย่าง ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



รูปที่ 2.6 รูปแบบการสังเคราะห์ตัวอย่างในงานวิจัยของ W. Vidotto da Costa และคณะ [3]

I. Perelshtein และคณะ [15] ทำการปลูกผลึกอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์บนพื้นผิวผ้าฝ้ายโดยใช้คลื่นเสียง (Sonication method) ซึ่งเตรียมโดยใช้สารละลายคอปเปอร์ (II) อะซิเตท (Copper (II) acetate) เข้มข้น 0.005 M ในอัตราส่วนของเอทานอลต่อน้ำเท่ากับ 10:1 จากนั้นนำของผสมไปทำปฏิกิริยาโดยใช้คลื่นเสียงที่ความถี่ 20 kHz กำลัง 750 W เป็นระยะเวลา 5 นาที เติมสารละลายแอมโมเนียปริมาตร 0.5 mL ทำการปั่นและฉายรังสีจนสารละลายเกิดการเปลี่ยนสีจากสีฟ้าเป็นสีน้ำเงินเข้ม และสีน้ำตาลเข้มตามลำดับ จากนั้นนำผ้าที่ได้ไปล้างเพื่อกำจัดแอมโมเนียและเอทานอล อบให้แห้งภายใต้ความดัน จากการตรวจสอบปริมาณความเข้มข้นของคอปเปอร์ที่อยู่บนเส้นใยด้วยการไตเตรทกับ EDTA พบว่ามีปริมาณคอปเปอร์เท่ากับ 1.1 %w/w จากการทดสอบการต้านทานแบคทีเรียโดยใช้เชื้อ *S.aureus* และ *E. coli* พบว่าผ้าที่เคลือบด้วยคอปเปอร์ออกไซด์สามารถต้านเชื้อ *E.coli* ได้ จากเทคนิค XRD พบว่าอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์มีขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วง 10–15 nm จากเทคนิค HR-SEM พบว่าที่กำลังขยาย 10,000–20,000 เท่า พบอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ติดอยู่บนเส้นใย และจากการทดสอบเชิงกลพบว่าผ้าที่เคลือบและไม่เคลือบด้วยคอปเปอร์ออกไซด์มีสมบัติเชิงกลไม่แตกต่างกัน

V. Maria Vinosel และคณะ [19] ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ด้วยวิธีการที่ง่ายและมีต้นทุนต่ำ โดยเตรียมจากคอปเปอร์ (II) คลอไรด์ (Copper (II) chloride) เข้มข้น 0.2 M และโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.4 M นำสารละลายผสมไปไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 12 h นำตะกอนสีดำที่ได้ไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนและอะซิโตน จากนั้นนำไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อบแห้งที่อุณหภูมิ 75 °C เป็นเวลา 6 h นำอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อ *S.aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวก เป็นเวลา 1 วัน ที่อุณหภูมิ 37 °C พบว่าสารที่สังเคราะห์ได้สามารถต้านเชื้อ *S.aureus* ได้และสามารถอนุมานได้ว่าสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกอื่นได้ จากเทคนิค XRD และเทคนิค HR-SEM พบว่าอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์มีลักษณะเป็นแท่ง (Nanorod-like) มีขนาดผลึกโดยเฉลี่ยเป็น 25 nm และมีธาตุองค์ประกอบ ได้แก่ Cu และ O จากเทคนิค FT-IR พบว่าอนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ให้สัญญาณการสั่นทั้งแบบสมมาตรและไม่สมมาตรที่ 493 cm^{-1} และ 613 cm^{-1} จากเทคนิค UV-Visible spectrophotometer พบว่ามีแถบพลังงานเท่ากับ 1.4 eV. และแถบพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

3.1 สารเคมี

1. คอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) CARLO ERBA REAGENTS S.A.S. เกรดวิเคราะห์
2. พอลิสไตรีนซัลโฟเนต (Polystyrene sulfonate PSS) Sigma-Aldrich Ptd Lte เกรดวิเคราะห์
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium Hydroxide NaOH) CARLO ERBA REAGENTS S.A.S. เกรดวิเคราะห์
4. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium Hydroxide NH_4OH) CARLO ERBA REAGENTS S.A.S. เกรดวิเคราะห์
5. กรดไนตริก (Nitric acid HNO_3) CARLO ERBA REAGENTS S.A.S. เกรดวิเคราะห์
6. สารซักล้าง D-nee Neo Corporate Co., Ltd
7. น้ำกลั่น (Distilled water)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic absorption spectroscopy, AAS) บริษัท Shimadzu รุ่น 200 NEW
2. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM) บริษัท JEOL รุ่น JSM-5410LV
3. หลอดรังสียูวี
4. ผ้าฝ้าย ขนาด $4 \times 4 \text{ cm}^2$ หรือ $3 \times 3 \text{ cm}^2$
5. ปีกเกอร์ ขนาด 250 ml และ 25 ml
6. ขวดวัดปริมาตร 100 ml
7. ขวดแก้วพร้อมฝาปิด
8. กระดาษกรอง
9. ครูซิเบิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 การเตรียมผ้าฝ้ายและสารละลายตั้งต้น

1. นำผ้าฝ้ายมาตัดให้ได้ขนาด $3 \times 3 \text{ cm}^2$ นำไปต้มในน้ำร้อนเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$

2. เตรียมสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 0.5 0.7 และ 0.9 mol/L โดยละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ปริมาณ 7.98045 11.1726 และ 14.3648 g ตามลำดับ ในแต่ละความเข้มข้นจะละลายด้วยน้ำกลั่นและปรับปริมาตรด้วยขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL ทำการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3. เตรียมสารละลายพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด (PSS) เข้มข้น 0.1 mol/L โดยเตรียม PSS ปริมาตร 1 mL นำมาปรับปริมาตรด้วยขวดวัดปริมาตรขนาด 100 mL จากนั้นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

3.3.2 การศึกษาผลของสารละลายเบส

1. จุ่มเคลือบผ้ากับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) เข้มข้น 0.5 mol/L ปริมาตร 25 mL จากนั้นล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วอบที่อุณหภูมิ $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 นาที

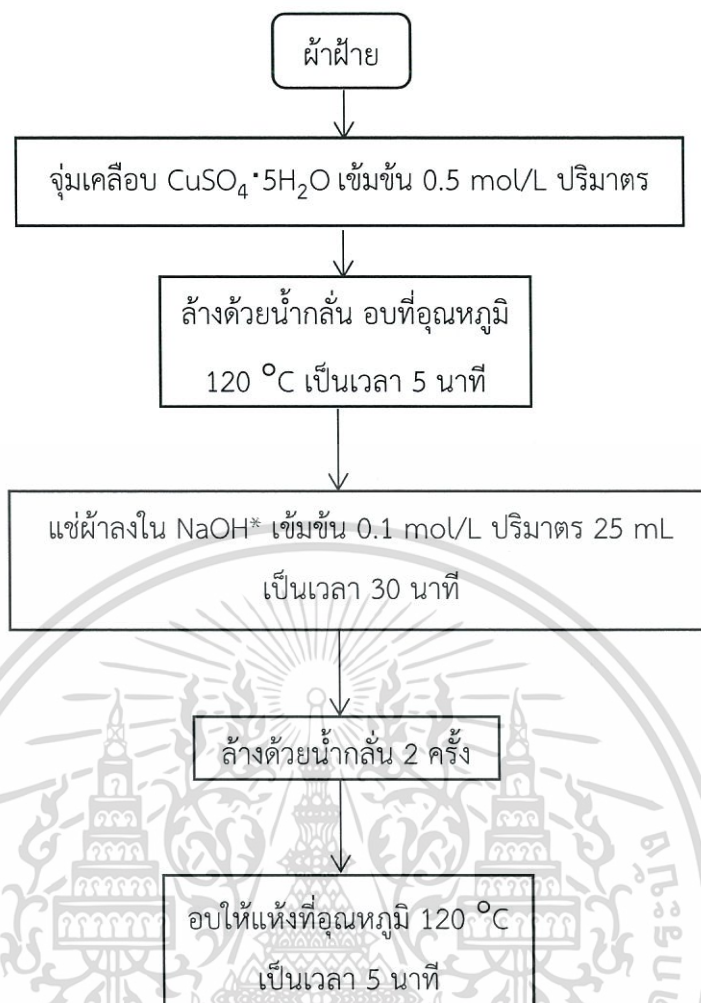
2. แช่ผ้าลงในสารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 mol/L ปริมาตร 25 mL เป็นเวลา 30 นาที

3. นำผ้าตัวอย่างล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 นาที

4. ทำซ้ำข้อ 1-4 โดยปรับเปลี่ยนสารละลายเบสเป็นสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 mol/L ปริมาตร 25 mL ซึ่งวิธีการทดลองและสารละลายตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของสารละลายเบส

สารตัวอย่าง	$[\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}]$ (mol/L)	$[\text{NaOH}]$ (mol/L)	$[\text{NH}_4\text{OH}]$ (mol/L)
CuB-0.5 NaOH	0.5	0.1	-
CuB-0.5 NH_4OH		-	0.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการเตรียมผ้าตัวอย่างสำหรับการศึกษาผลของสารละลายเบส

*หมายเหตุ ทำการทดลองซ้ำโดยปรับเปลี่ยนสารละลายเบสเป็นสารละลายแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์

3.3.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นและจำนวนรอบในการตรึงคอปเปอร์ (II) ออกไซด์

1. จุ่มเคลือบผ้ากับสารละลายคอปเปอร์ซัลเฟตเพนตะไฮเดรต ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ที่มีความเข้มข้นแตกต่าง ๆ กัน ได้แก่ 0.5 0.7 และ 0.9 mol/L ปริมาตร 10 mL เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลา 5 นาที จะได้ผ้าตัวอย่างที่ผ่านการจุ่มเคลือบ 1 รอบ

2. ทำการเพิ่มขึ้นเคลือบโดยการแช่ผ้าในสารละลายพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด (PSS) เข้มข้น 0.1 mol/L ปริมาตร 10 mL เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำกลั่นและอบให้แห้ง จากนั้นแช่ผ้าลงในสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้นเดียวกับความเข้มข้นที่จุ่มเคลือบในข้อ 1 นำไปล้างด้วยน้ำกลั่นแล้วอบให้แห้งอีกครั้งจะได้ผ้าตัวอย่างที่ผ่านการจุ่มเคลือบ 2 รอบ

3. ทำซ้ำในข้อ 2 จะได้ผ้าตัวอย่างที่ผ่านการจุ่มเคลือบ 3 รอบ

4. นำผ้าตัวอย่างที่จุ่มเคลือบ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ลงในสารละลายเบสโซเดียมไฮดรอกไซด์ เข้มข้น 0.1 mol/L ปริมาตร 25 mL แล้วนำไปไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 24 h

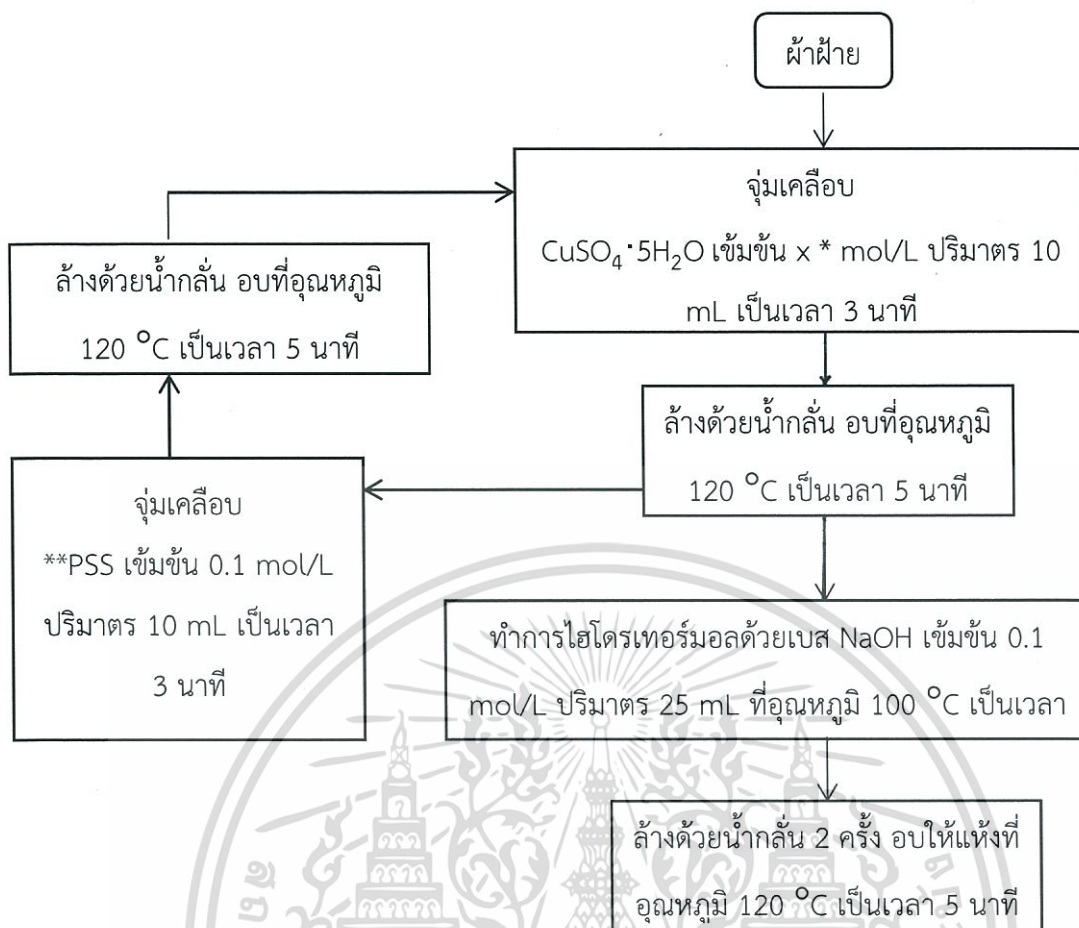
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. นำผ้าตัวอย่างที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 °C ซึ่งวิธีการทดลองและสารตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สารตัวอย่างและสภาวะที่ใช้ในการทดลองสำหรับการศึกษาผลของความเข้มข้นและจำนวนรอบในการตรึงคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้า

สารตัวอย่าง	จำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ (รอบ)	[CuSO ₄ ·5H ₂ O] (mol/L)	[NaOH] (mol/L)	สภาวะที่ใช้ในการไฮโดรเทอร์มอล
Cu1-0.5 NaOH	1	0.5	0.1	100 °C 24 h
Cu1-0.7 NaOH		0.7		
Cu1-0.9 NaOH		0.9		
Cu2-0.5 NaOH	2	0.5		
Cu2-0.7 NaOH		0.7		
Cu2-0.9 NaOH		0.9		
Cu3-0.5 NaOH	3	0.5		
Cu3-0.7 NaOH		0.7		
Cu3-0.9 NaOH		0.9		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมผ้าตัวอย่างสำหรับการศึกษาจำนวนรอบและความเข้มข้นในการตรึงคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้า

*หมายเหตุ เตรียม x ที่ความเข้มข้น 0.5 0.7 และ 0.9 mol/L ตามลำดับ

**หมายเหตุ กรณีใช้จุ่มเคลือบ รอบที่ 2-3

3.3.4 การทดสอบความทนทานต่อการซักล้าง

นำผ้าตัวอย่าง (Cu1-0.7 NaOH, Cu2-0.7 NaOH และ Cu-3-0.7 NaOH) มาทำการซักล้าง 5 10 และ 15 รอบ โดยใช้ปริมาณสารซักล้างปริมาณ 4.5 mL ผสมน้ำกลั่น 150 mL โดยปั่นผ้าตัวอย่างในสารซักล้างรอบละ 5 นาที แล้วล้างด้วยน้ำสะอาด ปริมาณ 150 mL เป็นเวลา 5 นาที

3.4 วิธีการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์และทดสอบผ้าตัวอย่าง

3.4.1 เครื่องอะตอมมิค แอบซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ (Atomic absorption spectroscopy, AAS)

นำผ้าตัวอย่างที่เตรียมได้เผาในครุชีเบล จากนั้นล้างครุชีเบลที่เผาผ้าตัวอย่างด้วยกรดไนตริก (HNO_3) ความเข้มข้น 6.5 %w/v จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS โดยวิธี Flame atomization เพื่อตรวจวัดปริมาณ Cu ที่อยู่ในสารละลาย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

นำผ้าตัวอย่างที่เตรียมได้มาตัดให้ได้ขนาด $0.5 \times 0.5 \text{ cm}^2$ นำผ้าตัวอย่างไปเคลือบด้วยทอง จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วย SEM

3.4.3 การทดสอบฤทธิ์ต้านเชื้อจุลินทรีย์

นำผ้าตัวอย่างที่เตรียมได้มาตัดให้มีขนาด $1 \times 1 \text{ cm}^2$ จากนั้นนำไปทดสอบการต้านทานแบคทีเรียโดยใช้แบคทีเรียทั้งแกรมบวกชนิด *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923) และแกรมลบชนิด *Escherichia coli* (ATCC 25922) ใช้ Potency test เป็นวิธีมาตรฐานในการอ่านค่า Inhibition zone (Clear zone)

3.4.4 การทดสอบการฟอกจางสี

ทำการทดสอบโดยการนำซีอิ้วขาวมาหยดลงบนผ้าตัวอย่างให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.5 cm^2 แล้วนำเข้าสู่ UV เพื่อดูการฟอกจางสีของซีอิ้วขาวโดยฉายแสง UV เป็นเวลา 30 60 และ 90 นาที ผ้าตัวอย่างที่ใช้ทดสอบได้แก่ Cu1-0.7 NaOH, Cu2-0.7 NaOH และ Cu-3-0.7 NaOH



บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การศึกษาผลของสารละลายเบส

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการปลูกผลึก CuO บนผ้าฝ้าย เพื่อปรับปรุงสมบัติของผ้าฝ้ายเพื่อประยุกต์ใช้ในทางการแพทย์ โดยในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารละลายเบส 2 ชนิดซึ่งเป็นเบสแก่และเบสอ่อนคือ NaOH และ NH₄OH ตามลำดับ เมื่อนำผ้าฝ้ายที่ ชุบเคลือบด้วยไอออน Cu²⁺ จาก CuSO₄•5H₂O มาทดสอบแช่ในสารละลายเบสทั้ง 2 ชนิด ซึ่งสารละลายเบสจะแตกตัวให้ OH⁻ ทำให้เกิดปฏิกิริยากับ Cu²⁺ ที่ถูกดูดซับบนผ้าฝ้ายดังแสดงในสมการที่ 4.1



ในการศึกษาเพื่อพิจารณาชนิดเบสที่เหมาะสมใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลโดยการนำผ้าฝ้ายไปจุ่มเคลือบสารละลาย CuSO₄•5H₂O เข้มข้น 0.5 mol/L นำไปแช่ในตัวกลางเบสที่ต่างชนิดกันนี้คือระบบตัวกลางเบส NaOH เข้มข้น 0.1 mol/L และ NH₄OH เข้มข้น 0.1 mol/L เป็นเวลา 30 นาที ได้ตัวอย่าง CuB-0.5 NaOH และ CuB-0.5 NH₄OH ตามลำดับ ที่มีอนุภาค Cu(OH)₂ ซึ่งเป็น Precursor ในการก่อผลึก CuO ขึ้นบนเส้นใยผ้าฝ้าย

จากรูปที่ 4.1 ลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วย CuSO₄•5H₂O ความเข้มข้น 0.5 mol/L แล้วนำไปตรึง CuO ที่ระบบตัวกลางเบสต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที จากภาพ SEM บนพื้นผิวผ้าฝ้ายตัวอย่างทั้งสองระบบมีลักษณะของผลึกและการกระจายตัวของอนุภาค Cu(OH)₂ ที่ไม่แตกต่างกัน

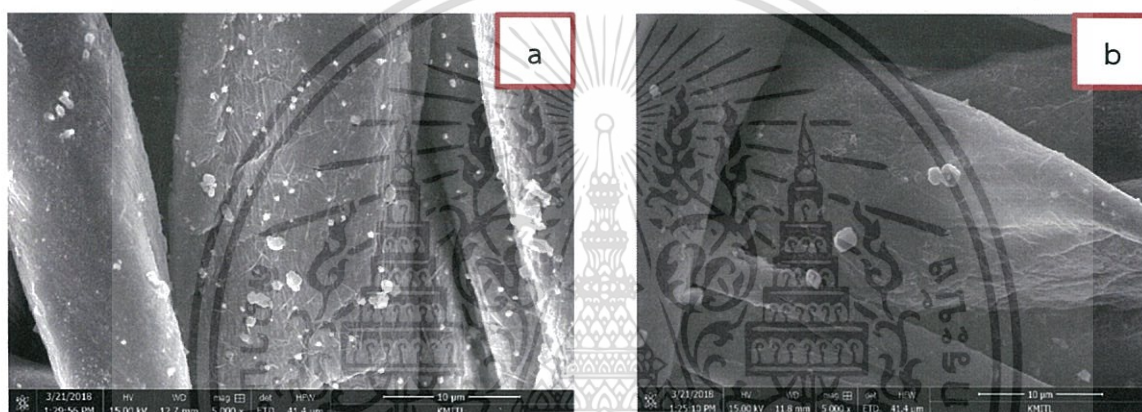
เมื่อนำตัวอย่าง CuB-0.5 NaOH และ CuB-0.5 NH₄OH ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Cu ด้วยเทคนิค AAS ได้ผลวิเคราะห์ดังตารางที่ 4.1 พบว่าตัวอย่าง CuB-0.5 NaOH มีปริมาณการก่อผลึก Cu(OH)₂ มากกว่าตัวอย่าง CuB-0.5 NH₄OH ซึ่งสันนิษฐานว่าการใช้ระบบตัวกลางเบส NaOH ซึ่งเป็นเบสแก่จะแตกตัวให้ OH⁻ ดีกว่าระบบตัวกลางเบส NH₄OH ซึ่งเป็นเบสอ่อน ทำให้ไอออน Cu²⁺ ทำปฏิกิริยากับ OH⁻ ได้ Cu(OH)₂ ในปริมาณที่มากกว่าและเร็วกว่าระบบตัวกลางเบส NH₄OH ทำให้ไอออนของ Cu²⁺ เกิดปฏิกิริยาเป็น Cu(OH)₂ บนผ้าฝ้ายได้ดีกว่า ดังนั้นจึงได้ปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายที่มากกว่าระบบตัวกลางเบส NH₄OH ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้สารละลายเบส NaOH ที่ความเข้มข้น 0.1 mol/L ในการใช้ทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ปริมาณเบสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ความเข้มข้น 0.5 mol/L

ชื่อสารตัวอย่าง	เบสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล	ความเข้มข้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mol/L)	ความเข้มข้น PSS (mol/L)	ปริมาณ Cu บนผ้าฝ้าย (mg/g)*
CuB-0.5 NaOH	NaOH	0.5	0.1	2.05
CuB-0.5 NH_4OH	NH_4OH			0.97

*วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS



รูปที่ 4.1 สัณฐานวิทยาของตัวอย่าง a) CuB-0.5 NaOH และ b) CuB-0.5 NH_4OH

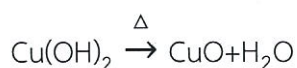
4.2 การปลูกผลึกคอปเปอร์ (II) ออกไซด์บนผ้าฝ้าย

ในการศึกษาตอนนี้ได้นำผ้าฝ้ายที่ใช้ในทางการแพทย์มาปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มีสมบัติดีขึ้น โดยการปลูกผลึกคอปเปอร์ (II) ออกไซด์ (Copper (II) Oxide, CuO) ที่มีสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย โดยใช้สารยึดติดพอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิด (PSS) เพื่อใช้ในการเชื่อมโยงแบบไอออนิกระหว่างชั้นของอนุภาค CuO

ในการตรึง CuO บนผ้าฝ้ายจะใช้ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ดังนี้คือ 0.5 0.7 และ 0.9 mol/L โดยจะเกิดอันตรกิริยาระหว่างผ้าฝ้ายที่มีหมู่ไฮดรอกซิล บนโครงสร้างเซลลูโลสกับประจุบวกของคอปเปอร์ (Cu^{2+}) และเพิ่มปริมาณ Cu^{2+} โดยใช้สารละลาย PSS เข้มข้น 0.1 mol/L ที่มีประจุลบทำหน้าที่เป็นสารยึดติดทำให้สามารถเพิ่มปริมาณอนุภาค CuO ที่ตรึงบนผ้าฝ้ายได้

เมื่อนำผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยไอออน Cu^{2+} และ PSS แล้วมาทำปฏิกิริยากับสารละลายเบส NaOH ความเข้มข้น 0.1 mol/L แล้วนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งเป็นการทำปฏิกิริยาโดยใช้ความร้อนจะทำให้ไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) จากสารละลายเบสก่อผลึกร่วมกับ Cu^{2+} เป็นอนุภาค CuO ที่ตรึงบนผ้าฝ้าย ดังสมการที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



4.2

ปัจจัยศึกษาในการปลูกผลึก CuO มีดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
2. จำนวนครั้งในการจุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

4.2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ คือความเข้มข้น 0.5, 0.7 และ 0.9 mol/L แล้วทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลกับสารละลายเบส NaOH ความเข้มข้น 0.1 mol/L เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จะได้สารตัวอย่าง Cu-x NaOH เมื่อ x หมายถึง ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา

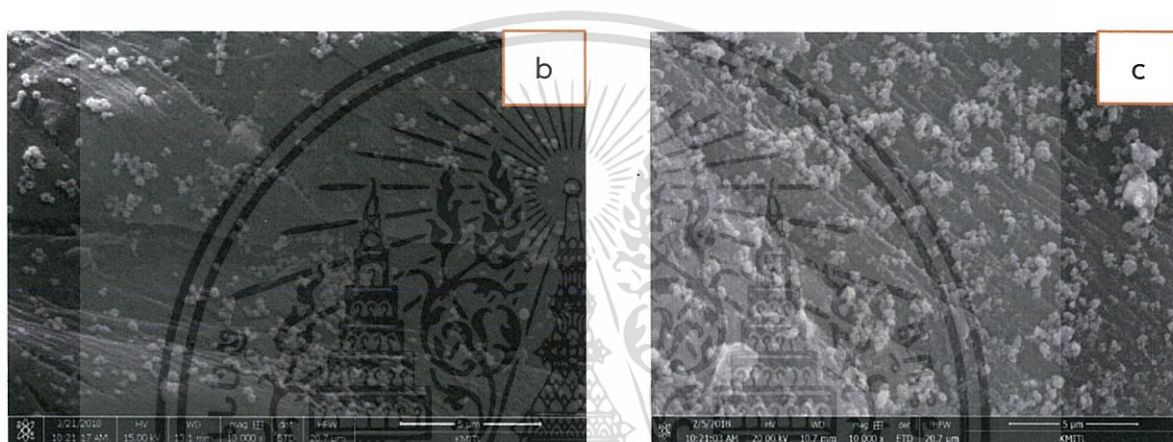
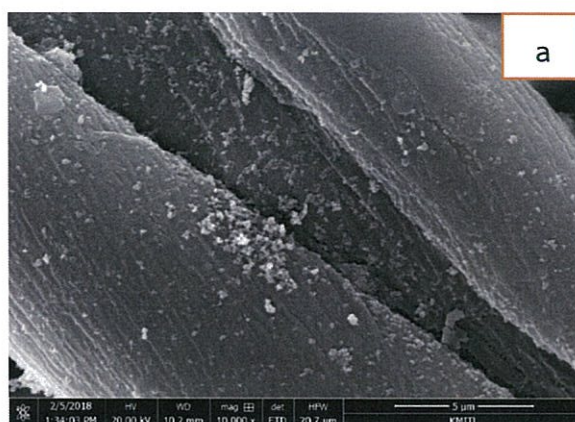
จากรูปที่ 4.2 แสดงให้เห็นถึงลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวผ้าฝ้าย ที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ และใช้สารยึดติดเป็นสารละลาย PSS ความเข้มข้น 0.1 mol/L จากภาพ SEM จะพบว่าอนุภาค CuO มีการกระจายตัวบนเส้นใยบางส่วนมีความสม่ำเสมอและมีบางส่วนเกาะกลุ่มกัน โดยในตัวอย่างที่มีสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 0.5 และ 0.7 mol/L สารตัวอย่าง Cu-0.5 NaOH และ Cu-0.7 NaOH ดังแสดงในรูปที่ 4.2 (a) - (b) มีการกระจายตัวของ CuO ดีกว่าตัวอย่างที่ Cu-0.9 NaOH ดังแสดงใน รูปที่ 4.2 (c)

เมื่อนำตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ตรึงอนุภาค CuO แล้วไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS เพื่อหาปริมาณ Cu ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าปริมาณ Cu เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่ใช้ในการเตรียมตัวอย่างโดยตัวอย่าง Cu-0.9 NaOH มีปริมาณ Cu สูงสุด

ตารางที่ 4.2 ปริมาณคอปเปอร์ออกไซด์บนตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ใช้ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้นที่แตกต่างกัน

ชื่อสารตัวอย่าง	ความเข้มข้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mol/L)	ความเข้มข้น PSS (mol/L)	ปริมาณ Cu บนผ้าฝ้าย (mg/g) *
Cu-0.5 NaOH	0.5	0.1	12.71
Cu-0.7 NaOH	0.7		13.67
Cu-0.9 NaOH	0.9		23.15

*วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS



รูปที่ 4.2 ลักษณะสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวผ้าฝ้ายของตัวอย่าง a) Cu-0.5 NaOH b) Cu-0.7 NaOH และ c) Cu-0.9 NaOH

4.2.2 ผลของจำนวนครั้งในการจุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

ในการศึกษาจำนวนครั้งในการจุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เป็น 1 2 และ 3 รอบ ได้ปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของ Cu^{2+} เป็น 0.5 0.7 และ 0.9 mol/l และมีการใช้สารยึดติด PSS เข้มข้น 0.1 mol/l สลับกับการจุ่มเคลือบ Cu^{2+} ในแต่ละครั้ง จากนั้นนำไปแช่ในสารละลายเบส NaOH เข้มข้น 0.1 mol/l นำไปไฮโดรเทอร์มอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ตัวอย่างที่ใช้ชื่อย่อเป็น CuX-y NaOH เมื่อ X คือ จำนวนครั้งในการจุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ และ y คือ ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาบนพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่มีความเข้มข้นของ Cu^{2+} 0.5 0.7 และ 0.9 mol/l จำนวน 1 2 และ 3 รอบ พบว่าบนพื้นผิวเส้นใยผ้าฝ้ายทุกตัวอย่างจะมีอนุภาคนาโนต่าง ๆ กันก่อตัวขึ้น ซึ่งอนุภาคดังกล่าวคืออนุภาค CuO ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลของไอออน Cu^{2+} ในสารละลายเบส NaOH โดยสามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

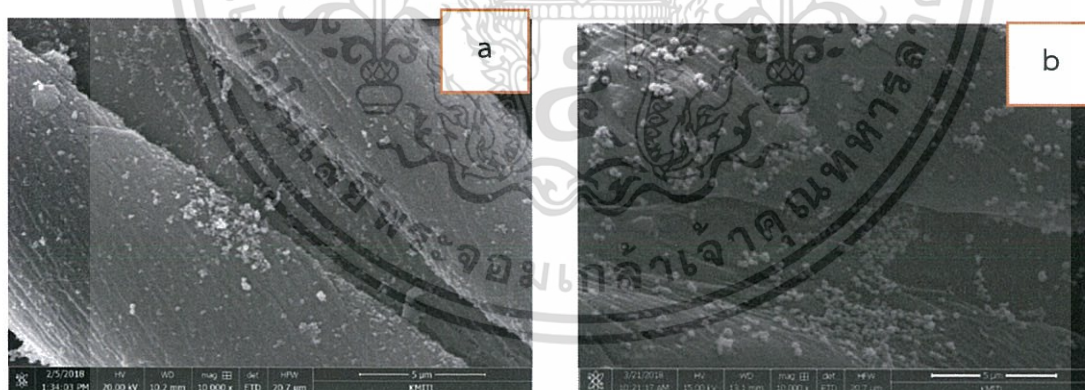
สังเกตเห็นว่าผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ใช้สภาวะในการจุ่มเคลือบ Cu^{2+} จำนวน 1 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (a) – (c) มีอนุภาค CuO ขนาดเล็ก แต่เมื่อเพิ่มจำนวนครั้งในการจุ่มเคลือบเป็น 2 และ 3 รอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (d) – (i) จะพบอนุภาค CuO ขนาดใหญ่ขึ้น สันนิษฐานว่าการจุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จำนวน 2 และ 3 รอบ โดยใช้สารยึดติด PSS ระหว่างชั้น ทำให้ปริมาณไอออน Cu^{2+} บนผ้าตัวอย่างเพิ่มมากขึ้น เนื่องจาก PSS ที่มีประจุลบและมีโครงสร้างร่างแห ที่ยึดจับ Cu^{2+} ไว้ อย่างไรก็ตามเมื่อนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล และในสารละลายเบส NaOH ไอออน Cu^{2+} บนชั้น PSS บางส่วนอาจก่อผลึกเป็นอนุภาค CuO ก่อนแล้วทำหน้าที่เป็นจุดก่อผลึก ในขณะที่ไอออน Cu^{2+} บางส่วนที่มากเกินไปอาจหลุดออกไปทำปฏิกิริยากับ OH^- เกิดเป็นอนุภาค $\text{Cu}(\text{OH})_2$ แขนงลอยอยู่ในสารละลาย เกิดอันตรกิริยากับอนุภาค CuO เดิม ทำให้ได้เป็นอนุภาค CuO ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นร่วมกับอนุภาคขนาดเล็กดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.3 (d) – (i) ในขณะที่สารตัวอย่างที่จุ่มเคลือบ 1 รอบ สามารถล้างไอออน Cu^{2+} ที่มากเกินไปออกไปได้หมด เนื่องจากจุ่มเคลือบแค่ครั้งเดียวและไม่ได้ใช้ PSS ทำให้เกิดอนุภาค CuO ที่ไม่ได้ผ่านการปลูกผลึกซ้ำดังแสดงในรูปที่ 4.3 (a) – (c)

เมื่อนำผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ตรงอนุภาค CuO ไปวิเคราะห์ปริมาณ Cu ด้วยเทคนิค AAS ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.4 พบว่าผ้าฝ้ายตัวอย่างที่จุ่มเคลือบ 1 รอบ ให้ปริมาณ Cu มากที่สุด แต่เมื่อเพิ่มจำนวนรอบการจุ่มเคลือบ จะให้ปริมาณ Cu ลดลง สันนิษฐานว่าผ้าฝ้ายเริ่มต้นไม่ได้ผ่านการปรับปรุงสมบัติเพื่อให้มีการยึดติดกับสารเคลือบที่ดี อันตรกิริยาระหว่างผ้าฝ้ายกับอนุภาค CuO มีเพียงหมู่ไฮดรอกซิลซึ่งมีสภาพขั้วเป็นลบที่สามารถยึดติดกับไอออน Cu^{2+} ได้ ทั้งนี้ในการจุ่มเคลือบที่มีจำนวนรอบมากขึ้นนั้น ต้องผ่านการชะล้างด้วยน้ำกลั่นหลายครั้ง ถึงแม้จะมีการเพิ่มจำนวนชั้นก็ตาม แต่ในตอนชะล้างครั้งสุดท้าย ไอออน Cu^{2+} ที่เกาะบนผ้าอาจหลุดออกเนื่องจากการชะล้าง การยึดเกาะของ Cu บนผ้าไม่แข็งแรง ส่งผลให้เกิดการหลุดออกที่มากกว่าการจุ่มเคลือบครั้งเดียวโดยเฉพาะตัวอย่างที่มีการจุ่มเคลือบ 3 รอบ นอกจากนี้สันนิษฐานว่าการเพิ่มจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบอนุภาค CuO ที่เกิดขึ้น จึงมีขนาดใหญ่ และอาจหลุดออกจากผ้าฝ้ายได้ง่ายกว่าอนุภาค CuO ที่มีขนาดเล็ก ทำให้มีปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายลดลง โดยเฉพาะตัวอย่างที่จุ่มเคลือบ 3 รอบ

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายตัวอย่างที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่มีความเข้มข้นและจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบที่แตกต่างกัน

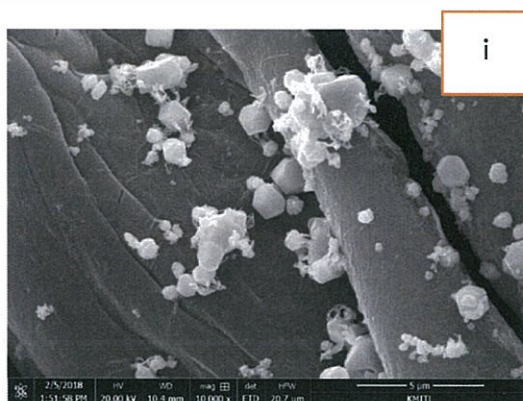
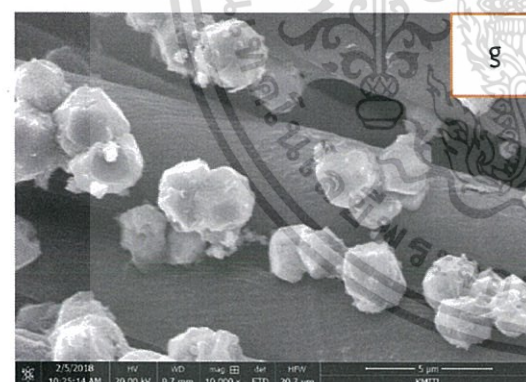
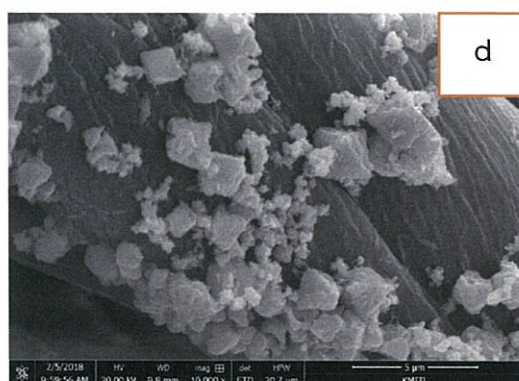
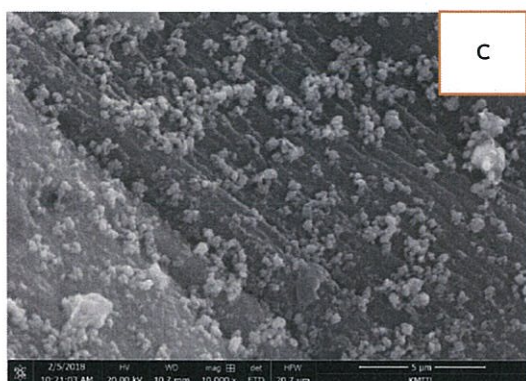
ชื่อสารตัวอย่าง	จำนวนครั้งในการ จุ่มเคลือบ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	ความเข้มข้น PSS (mol/L)	ความเข้มข้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (mol/L)	ปริมาณ Cu บน ผ้าฝ้าย (mg/g)*
Cu1-0.5 NaOH	1 ครั้ง	0.1	0.5	12.71
Cu1-0.7 NaOH			0.7	13.67
Cu1-0.9 NaOH			0.9	23.15
Cu2-0.5 NaOH	2 ครั้ง		0.5	11.16
Cu2-0.7 NaOH			0.7	13.15
Cu2-0.9 NaOH			0.9	21.06
Cu3-0.5 NaOH	3 ครั้ง		0.5	7.41
Cu3-0.7 NaOH			0.7	9.13
Cu3-0.9 NaOH			0.9	12.22

*วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS



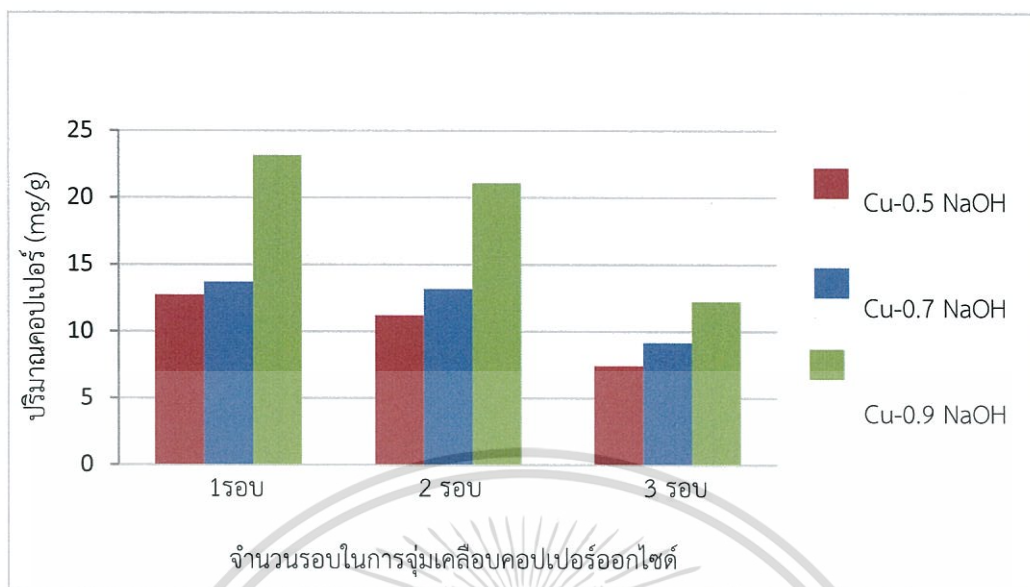
รูปที่ 4.3 ลักษณะสัณฐานวิทยาของตัวอย่าง a) Cu1-0.5 NaOH b) Cu1-0.7 NaOH c) Cu1-0.9 NaOH d) Cu2-0.5 NaOH g) Cu3-0.5 NaOH h) Cu3-0.7 NaOH i) Cu3-0.9 NaOH e) Cu2-0.7 NaOH และ f) Cu2-0.5 NaOH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูป 4.3 (ต่อ)



รูปที่ 4.4 กราฟปริมาณ Cu บนผ้าตัวอย่างเมื่อทำการจุ่มเคลือบ 1 2 และ 3 รอบ

4.3 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO

ในการทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO ที่เตรียมได้ดังแสดงตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ขนาดพื้นที่ในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* (*E.coli*) และ *Staphylococcus aureus* (*S.aureus*) ของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO

ชื่อตัวอย่าง	ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล (ชั่วโมง)	ขนาดพื้นที่การยับยั้งเชื้อ (มิลลิเมตร)		การยับยั้ง
		<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>	
Cu1-0.5 NaOH	24	-	16.70	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu2-0.5 NaOH	24	-	15.50	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu3-0.5 NaOH	24	-	6.80	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu1-0.7 NaOH	24	-	18.20	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu2-0.7 NaOH	24	-	16.50	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu3-0.7 NaOH	24	0.07	14.80	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu1-0.9 NaOH	24	0.07	18.90	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu2-0.9 NaOH	24	0.06	16.80	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu3-0.9 NaOH	24	0.08	16.40	มีฤทธิ์ยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 พบว่าตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO โดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวก (*S.aureus*) แต่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบ (*E.coli*) ได้น้อยมากหรือแทบจะไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง ผลดังกล่าวสันนิษฐานว่าผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกซึ่งมีประจุบวก จึงจับกับอนุภาค CuO ซึ่งมักมีสภาพพื้นผิวเป็นประจุลบ ทำให้ผนังเซลล์ของเชื้อแบคทีเรียเสียหายและสามารถสลายเชื้อแบคทีเรียได้ดีกว่าแบคทีเรียชนิดแกรมลบที่มีผนังเซลล์เป็นประจุลบ ซึ่งตัวอย่างที่เตรียมโดยใช้ความเข้มข้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ มากขึ้นจะมีฤทธิ์ยับยั้งมากขึ้น และในกรณีที่เตรียมโดยความเข้มข้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เท่ากัน เมื่อเพิ่มจำนวนในการจุ่มเคลือบด้วยสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จะมีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียลดลง สังเกตได้จากขนาดของพื้นที่ยับยั้งเชื้อ ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายดังแสดงในตารางที่ 4.3 และของลักษณะฐานวิทยานบนพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ จากเทคนิคดังแสดงในรูปที่ 4.3 คือเมื่อยังมีอนุภาค CuO ตรึงบนผ้าฝ้ายในปริมาณมาก จะมีความสามารถในการต้านแบคทีเรียได้มากตามไปด้วย

4.4 การฟอกจางสีของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO

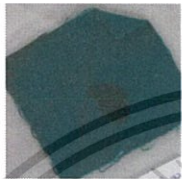




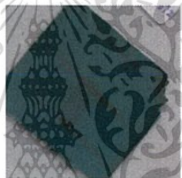






เนื่องจากอนุภาค CuO สามารถเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิส (Photocatalysis) ซึ่งสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ ดังนั้นผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO จึงมีคุณสมบัติทำความสะอาดตัวเองได้เมื่อเจอแสงแดดซึ่งในการศึกษาส่วนนี้จึงนำผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO สังเคราะห์ขึ้นมาทดสอบหาค่าของซีอีวขาวลงบนตัวอย่างผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO แล้วนำไปฉายแสง UV เป็นเวลาดังนี้คือ 30 60 และ 90 นาที แล้วสังเกตการจางหายไปของสีของซีอีวขาวบนตัวอย่างที่จุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ที่จำนวนรอบต่าง ๆ โดยเลือกใช้ตัวอย่างที่เตรียมใช้ความเข้มข้นของ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เป็น 0.7 mol/L เนื่องจากในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ดังกล่าวข้างต้นพบมีลักษณะการกระจายตัวที่ดีกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากความเข้มข้นที่ 0.9 mol/L ดังแสดงในรูปที่ 4.2 อีกทั้งมีประสิทธิภาพในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ดีกว่าตัวอย่างที่เตรียมจากความเข้มข้น 0.5 mol/L ดังแสดงในตารางที่ 4.4

ในการทดสอบความสามารถในการฟอกจางสีของซีอีวขาวผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO ที่เตรียมได้โดยใช้สารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ เข้มข้น 0.7 mol/L จุ่มเคลือบที่จำนวนรอบต่างๆมาใช้ในการศึกษาดังแสดงตารางที่ 4.5 พบว่าผ้าฝ้ายตัวอย่าง Cu3-0.7 NaOH มีความสามารถในการฟอกจางสีที่ดีที่สุด ซึ่งสันนิษฐานว่าตัวอย่างที่มีปริมาณของ CuO มาก จะเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสมากขึ้น และถ้าเพิ่มระยะเวลาในการฉายแสง UV มากขึ้นก็จะยิ่งเกิดปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสมากขึ้น อย่างไรก็ตามผลที่ได้ในการทดสอบนี้อาจมีความไม่แม่นยำเนื่องจากใช้สายตาในการประเมินลักษณะของสีที่เกิดขึ้น และตัวอย่างที่เกิดการฟอกจางสีไม่เป็นไปตามแนวโน้มของปริมาณ CuO ที่ทดสอบด้วยเทคนิค AAS ดังแสดงในตารางที่ 4.3 คือตัวอย่าง Cu1-0.7 NaOH ต้องมีปริมาณการฟอกจางที่มากกว่าตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH และ Cu3-0.7 NaOH เนื่องจากการลักษณะการกระจายตัวของอนุภาคและขนาดของอนุภาคแตกต่างกัน โดยตัวอย่าง Cu3-0.7 NaOH ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (h) มีขนาดของอนุภาคใหญ่กว่าตัวอย่าง Cu1-0.7NaOH และ Cu2-0.7 NaOH ดังแสดงในรูปที่ 4.3 (b)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ (e) ทำให้บริเวณที่หยดซีอิ๊วขาวเพื่อทดสอบ จะพบปริมาณของ CuO ที่มากกว่า ทำให้เกิดการฟอกจางสีที่มากกว่า

ตารางที่ 4.5 ความสามารถในการฟอกจางสีของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO

ลำดับ	ชื่อตัวอย่าง	ลักษณะของตัวอย่างก่อนการฉายแสง UV	ระยะเวลาการฉายแสง UV		
			30 นาที	60 นาที	90 นาที
1	Cu1-0.7 NaOH				
2	Cu2-0.7 NaOH				
3	Cu3-0.7 NaOH				

4.5 ความทนทานต่อการซักล้าง

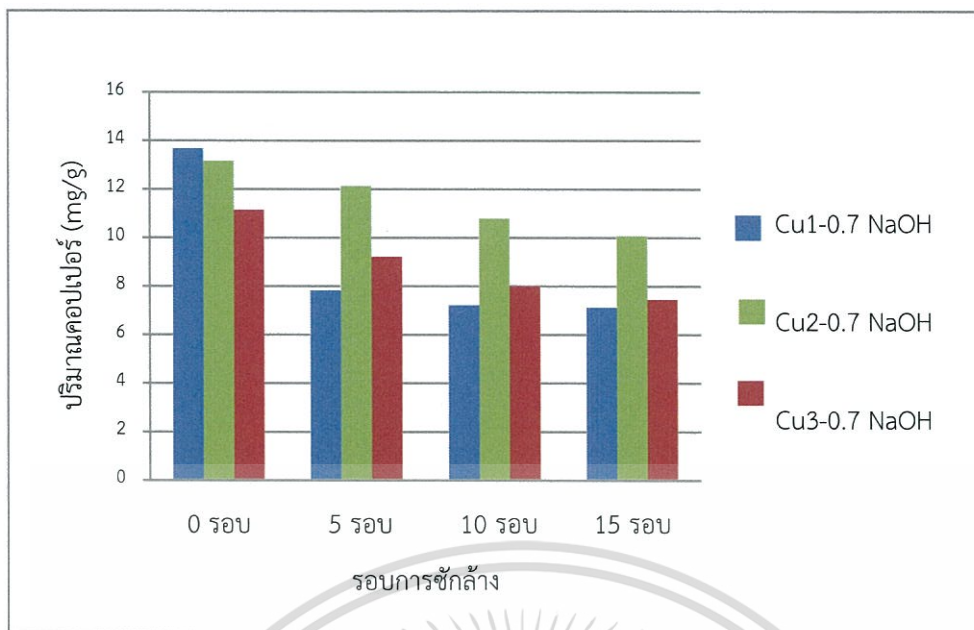
ผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO อาจเกิดการหลุดออกของอนุภาค CuO เมื่อผ่านการใช้งานหรือการซักล้าง ทำให้มีประสิทธิภาพลดลง ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการจำลองการซักล้างเพื่อประเมินความสามารถในการตรึงอนุภาค CuO บนผ้าฝ้ายโดยการใช้สารย้อมติดคือสารละลาย PSS จากสภาวะการเตรียมตัวอย่างที่แตกต่างกัน โดยนำมาซักล้างจำนวน 5 10 และ 15 รอบ แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ Cu ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค AAS เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2 โดยเลือกตัวอย่างที่ปรับเปลี่ยนจำนวนครั้งในการจุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้น 0.7 mol/l เนื่องจากตัวอย่างนี้มีลักษณะการกระจายตัวของอนุภาค CuO บนพื้นผิวผ้าฝ้ายที่ดีกว่าตัวอย่างที่ใช้ $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ความเข้มข้นที่ 0.9 mol/l ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และมีประสิทธิภาพในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียที่ดีกว่าตัวอย่างที่ใช้ความเข้มข้น $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.5 mol/l ดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาตัวอย่างที่จุ่มเคลือบสารละลาย $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 0.7 mol/L จำนวน 1 2 และ 3 รอบ คือตัวอย่าง Cu1-0.7 NaOH, Cu2-0.7 NaOH และ Cu3-0.7 NaOH ตามลำดับ ปริมาณ Cu บนพื้นผิวตัวอย่างก่อนและหลังการชักล้างดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.5 ในตัวอย่างที่ Cu2-0.7 NaOH พบว่าปริมาณ Cu บนพื้นผิวผ้าฝ้ายในทั้งสามตัวอย่างมีปริมาณลดลงภายหลังการชักล้าง แต่มีอัตราการลดลงของปริมาณ Cu น้อยลงเมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการชักล้าง ตัวอย่างเช่นในตัวอย่าง Cu1-0.7 NaOH ภายหลังการชักล้าง 5 รอบแรกปริมาณ Cu ลดลง 42.79 % แต่ภายหลังการชักล้างใน 5 รอบถัดมา (10 รอบ) ปริมาณ Cu ลดลงแค่ประมาณ 5 % จาก 42.79 % เป็น 47.23% ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า CuO ที่หลุดออกในช่วงแรกของการชักล้าง น่าจะเป็น CuO ที่ตรึงอยู่ภายนอกเส้นใยซึ่งยึดติดไม่แน่นมาก แต่ในภายหลังจะเหลือ CuO ที่ตรึงได้ดีและ/หรือฝังตัวอยู่ภายในเกลียวเส้นใย โดยตัวอย่าง Cu1-0.7 NaOH มีปริมาณ Cu ลดลงจากตอนเริ่มต้นมากกว่าตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH และ Cu3-0.7 NaOH จึงสันนิษฐานว่าเป็นผลมาจากตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH และ Cu3-0.7 NaOH มีการใช้ PSS เป็นสารยึดติดซึ่งมีโครงสร้างร่างแหที่มีความเกาะเกาะมาก ทำให้สามารถตรึงอนุภาค CuO บางส่วนอยู่ในสายโซ่ที่เกาะเกาะของ PSS ทำให้เวลาชักล้างเกิดการหลุดออกที่ยากกว่าตัวอย่างที่ Cu1-0.7 NaOH ที่ไม่ได้ใช้สารยึดติด PSS แต่การที่เพิ่มจำนวนชั้นของ Cu ในผ้าตัวอย่างต้องผ่านการให้ความร้อนในการทำให้แห้งหลายครั้ง อาจทำให้เส้นใยของผ้าฝ้ายเสื่อมสภาพและเกิดการขาดได้ในขณะที่ทำการชักล้าง อย่างไรก็ตามตัวอย่าง Cu3-0.7 NaOH ถึงแม้จะมีการใช้สารยึดติด PSS ระหว่างชั้น แต่มีอัตราการลดลงของปริมาณ Cu ที่มากกว่าตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH ทั้งนี้ น่าจะเนื่องมาจากขนาดอนุภาค CuO ที่ใหญ่กว่าดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.2.2 จึงยึดติดได้ไม่ดี ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH มีความทนทานต่อการชักล้างได้ดีกว่าทุกตัวอย่าง

ตารางที่ 4.6 ปริมาณ Cu บนพื้นผิวตัวอย่างผ้าฝ้ายและเปอร์เซ็นต์การลดลงของ Cu หลังการชักล้าง

ชื่อตัวอย่าง	ปริมาณ Cu ก่อนชักล้าง (mg/g)	จำนวนรอบในการชักล้าง		
		5 รอบ	10 รอบ	15 รอบ
Cu1-0.7 NaOH	13.67	7.82 mg/g (-42.79 %)	7.21 mg/g (-47.23 %)	7.12 mg/g (-47.96 %)
Cu2-0.7 NaOH	13.15	12.13 mg/g (-7.78 %)	10.78 mg/g (-18.00 %)	10.07 mg/g (-23.40 %)
Cu3-0.7 NaOH	11.14	9.22 mg/g (-17.26 %)	8.00 mg/g (-28.20 %)	7.45 mg/g (-33.09 %)



รูปที่ 4.5 กราฟปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายตัวอย่างก่อนและหลังการซักล้าง

4.6 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO หลังจากซักล้าง

ในการทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO หลังจากซักล้างแล้วได้แสดงในตารางที่ 4.7

จากตารางที่ 4.7 ได้มีการตรวจสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียเพียงเชื้อแบคทีเรียชนิด *S.aureus* (แบคทีเรียชนิดแกรมบวก) เท่านั้น เนื่องจากการทดสอบก่อนการซักล้างพบว่าทุกตัวอย่างไม่มีการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิด *E.coli* (แบคทีเรียแกรมลบ) โดยพบว่าตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH หลังการซักล้างทั้งหมด 15 รอบ และตัวอย่าง Cu3-0.7 NaOH หลังซักล้างจำนวน 5 รอบ มีฤทธิ์การยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย โดยเฉพาะตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH นั้นมีการยับยั้งสูงสุดเนื่องจากหลังซักล้างมีอัตราการลดลงของปริมาณ CuO น้อยกว่าและมีปริมาณ CuO เริ่มต้นก่อนซักล้างมากกว่าตัวอย่างอื่น กล่าวคือตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH มีปริมาณ Cu เริ่มต้นเท่ากับ 13.15 mg/g หลังซักล้าง 5 รอบ มี CuO หลุดออกมา 7.78 % และถัดมาอีก 10 และ 15 รอบ มี CuO หลุดออกจากรอบซักล้างเดิมประมาณ 10.22 % จาก 7.78 % เป็น 18.00 % และ 4.60 % จาก 18.00 % เป็น 23.40 % ตามลำดับ ซึ่งตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH มีปริมาณของ Cu เริ่มต้นมากกว่าตัวอย่าง Cu3-0.7 NaOH แต่น้อยกว่าตัวอย่าง Cu1-0.7 NaOH ซึ่งให้เหตุผลไว้ในหัวข้อ 4.2.2 และตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH มีอัตราการหลุดของ CuO น้อยที่สุด ถัดมาคือตัวอย่าง Cu3-0.7 NaOH และตัวอย่าง Cu1-0.7 NaOH ตามลำดับ ซึ่งให้เหตุผลไว้ในหัวข้อ 4.4 ดังนั้นตัวอย่าง Cu2-0.7 NaOH จึงมีปริมาณ CuO ที่เหลืออยู่บนผ้าตัวอย่างมากกว่า ส่งผลให้มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียมากที่สุด

ตาราง 4.7 ขนาดพื้นที่ในการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ของผ้าฝ้ายที่ตรงด้วยอนุภาค CuO ที่ผ่านการซักล้าง

ชื่อตัวอย่าง	จำนวนครั้งในการซักล้าง	ขนาดพื้นที่ยับยั้งเชื้อ (มิลลิเมตร)		การยับยั้ง
		<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>	
Cu1-0.7 NaOH	5	-	-	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu1-0.7 NaOH	10	-	-	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu1-0.7 NaOH	15	-	-	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu2-0.7 NaOH	5	-	15.0	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu2-0.7 NaOH	10	-	12.8	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu2-0.7 NaOH	15	-	12.4	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu3-0.7 NaOH	5	-	12.2	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu3-0.7 NaOH	10	-	-	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง
Cu3-0.7 NaOH	15	-	-	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้สามารถพัฒนากระบวนการตรึงอนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายด้วยปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้สารยึดติดเป็นพอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PSS) โดยปรับเปลี่ยนสภาวะที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวและปลูกผลึก CuO บนผ้าฝ้าย ได้แก่ความเข้มข้นของสารตั้งต้นคอปเปอร์และจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบคอปเปอร์ ซึ่งปัจจัยทั้งสองจะ ส่งผลต่อปริมาณและขนาดอนุภาค CuO ที่ถูกตรึงบนผ้าฝ้าย

การปรับเปลี่ยนระบบตัวกลางเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล พบว่าการใช้ NaOH เป็นเบส ตัวกลางสามารถปลูกผลึก Cu(OH)₂ บนผ้าฝ้ายได้ปริมาณมากกว่าการใช้ NH₄OH เนื่องจาก NaOH เป็นเบสแก่กว่า NH₄OH ดังนั้นจึงแตกตัวได้ดีกว่า ทำให้เกิดปฏิกิริยากับไอออนคอปเปอร์ได้มากกว่า จึงเลือกใช้เบส NaOH เพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล

งานวิจัยสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย CuSO₄•5H₂O ในการจุ่มเคลือบของผ้าฝ้าย จะเป็นผลทำให้มีปริมาณอนุภาค CuO ที่ตรึงบนผ้าฝ้ายมีค่าเพิ่มขึ้น แต่การกระจายตัวของอนุภาค CuO จะลดลง ในขณะที่การเพิ่มจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบของสารละลาย CuSO₄•5H₂O บนผ้าฝ้าย โดยมีสารยึดติดเป็นพอลิสไตรีนซัลโฟเนต (PSS) พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนรอบเพิ่มขึ้น อนุภาคของ CuO จะมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่มีปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายลดลง เนื่องจากภายหลังการซักล้างส่วนที่มีมากเกินพอหลังใช้ไฮโดรเทอร์มอล อนุภาค CuO ที่มีขนาดใหญ่จะหลุดง่ายกว่าขนาดเล็ก โดยสภาวะที่มีปริมาณ Cu สูงสุดได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย CuSO₄•5H₂O เข้มข้น 0.9 mol/L และจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบ 1 รอบ (Cu1-0.9 NaOH)

การทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย พบว่าผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO สามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus*) ได้ดี โดยประสิทธิภาพของการต้านทานเชื้อแบคทีเรียขึ้นอยู่กับปริมาณของ CuO บนผ้าฝ้าย คือยิ่งปริมาณ Cu มากที่ตรึงบนพื้นผิวมีค่าความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียก็มากตามไปด้วย

การทดสอบการฟอกจางสีของสารปนเปื้อนของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO พบว่ามีสมบัติโฟโตคะตะไลซิส เนื่องจากบนผ้าฝ้ายมี CuO จึงความสามารถในการฟอกจางสีได้

การทดสอบความทนทานต่อการซักล้างพบว่าผ้าฝ้ายที่มีการเพิ่มจำนวนรอบในการจุ่มเคลือบของสารละลาย CuSO₄•5H₂O และใช้สารยึดติด (PSS) สามารถเพิ่มการยึดติดของ CuO บนผ้าฝ้ายได้ แต่ถ้าหากอนุภาคของ CuO มีขนาดใหญ่มากเกินไป จะทำให้อนุภาค CuO หลุดได้ง่ายภายหลังการซักล้าง ดังนั้นตัวอย่างที่จุ่มเคลือบด้วยสารละลาย CuSO₄•5H₂O 2 รอบ มีความทนทานต่อการซักล้างดีกว่าทุกตัวอย่าง

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ทดสอบสมบัติอื่น ๆ ของเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO เช่น สมบัติการป้องกันรังสียูวีสมบัติการซึมผ่านไอน้ำ เป็นต้น
2. ทดสอบระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอลของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO
3. พัฒนาระบวนการตรึงอนุภาค CuO บนผ้าฝ้าย สู่กระบวนการในการผลิตแบบอุตสาหกรรม
4. พัฒนาระบวนการตรึง CuO บนผ้าฝ้าย สู่การตรึง Nano-CuO บนผ้าฝ้าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Sedighi, M. Montazer and N. Samadi. "Synthesis of nano Cu_2O on cotton: Morphological, physical, biological and optical sensing characterizations." *Carbohydrate Polymers* 110 (2014) 489–498.
- [2] M. Rahimzadeh, S. Habibi and S. Nourbakhsh. "Copper nano-particles for antibacterial properties of wrinkle resistant cotton fabric." *Materials Today: Proceedings* 4 (2017) 7032–7037.
- [3] A. Adelina Winkler Hechenleitner, B. da Silva Pereira, D. Martins Fernandes de Oliveira, E. Alfonso Gomez Pineda, E. Kimura, M. Camotti Montanha and W. Vidotto da Costa. "Hybrid materials based on cotton fabric- Cu_2O nanoparticles with antibacterial properties against *S. aureus*." *Materials Chemistry and Physics* 201 (2017) 339-343.
- [4] A. Hebeish, A. M. Abdelgawad, M. E. El-Naggar and Th. I. Shaheen. "Durable antibacterial and UV protections of in situ synthesized zinc oxide nanoparticles onto cotton fabrics." *International Journal of Biological Macromolecules* 83 (2016) 426-432.
- [5] D. Yu, W. Wang, Z. Jiang and Z. Wang. "Low temperature sintering nano-silver conductive ink printed on cotton fabric as printed electronics." *Progress in Organic Coatings* 101 (2016) 604-611.
- [6] A. Rashidi, L. Karimi, M. E. Yazdanshenas, M. Mirjalili and R. Khajavi. "Optimizing the photocatalytic properties and the synergistic effects of graphene and nano titanium dioxide immobilized on cotton fabric." *Applied Surface Science* 332 (2015) 665-673.
- [7] K. Fanga, L. Haoa, R. Wang, and Y. Cai. "The modification of cotton substrate using chitosan for improving its dyeability towards anionic microencapsulated nano-pigment particles." *Industrial Crops and Products* 95 (2017) 348-356.
- [8] G. Wu, J. Hua, R. Li, L. panga, L. Xua, M. Wang, Q. Gaoa, X. Guo and Z. Xing. "Preparation and characterization of superhydrophobic organic-inorganic hybrid cotton fabrics via-radiation-induced graft polymerization." *Carbohydrate Polymers* 149 (2016) 308-316.
- [9] ยูวันดา เอี่ยมเผ่าจัน. 2554. "การตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายโดยใช้พอลิ-สไตรีน-ซัลโฟนิคแอซิดพอลิเล็กโทไรต์." วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพอลิเมอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

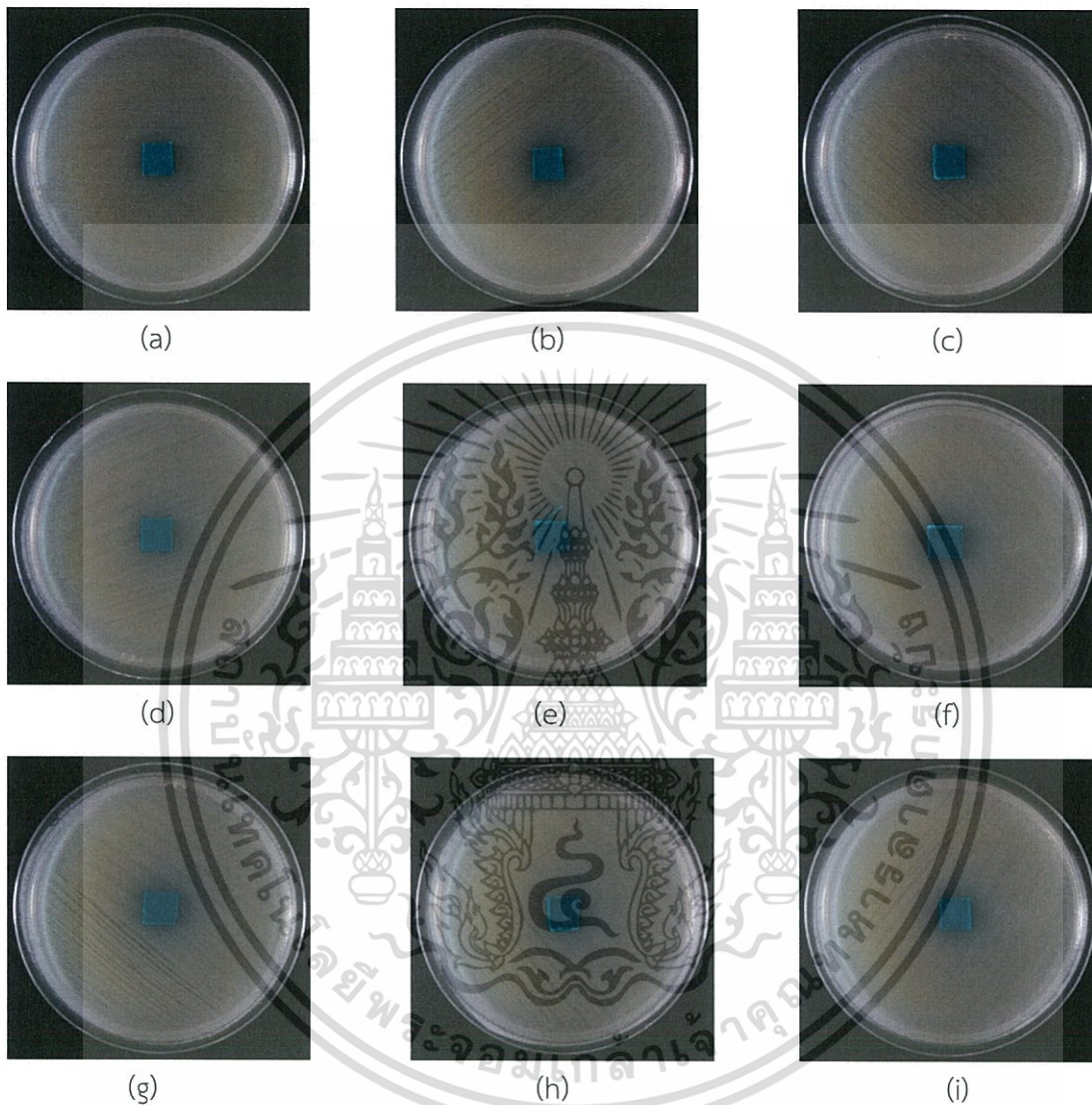
- [10] D. Wang, G. Heinirichc, P. Acuna, P. Zhua, R. Wang, U. Wagenknecht, X. Wang, X. Zhang, Y. Liu and Y. Pan. “Effect of phosphorus-containing inorganic-organic hybrid coating on the flammability of cotton fabrics: Synthesis, characterization and flammability.” *Chemical Engineering Journal* 294 (2016) 167-175.
- [11] D. Geetha, K.Kannaki and P.S.Ramesh. “Hydrothermal synthesis of CuO Nanostructure and Their Characterizations.” *International Journal of Scientific and Engineering Research* 3 (2012) 2-4.
- [12] T.H. Tran and V.T. Nguyen. 2014. **Copper (II) Oxide**. [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/286547047_Copper_Oxide_Nanomaterials_Prepared_by_Solution_Methods_Some_Properties_and_Potential_Applications_A_Brief_Review?_sg=uxKdph5yKPHeFjtpDDgpioh2qaRKsy38zyVUbXCubqqT2ExZKED4ET60HiH11qQhQCYGss48MA สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2561
- [13] K. Byrappa and T. Adschiri. “Hydrothermal technology for nanotechnology.” *Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials* 53 (2007) 117-166.
- [14] P. Barnes and M. Vickers. 2006. **Hydrothermal Synthesis**. [Online]. Available : <http://pd.chem.ucl.ac.uk/pdnn/mod2/hydro.htm> สืบค้นเมื่อวันที่ 5 มีนาคม พ.ศ. 2561
- [15] I. Perelshtein, G. Applerot, N. Perkas, E. Wehrshuetz, A. Hasmann, G. Guebitz and A. Gedanken. “CuO – cotton nanocomposite: Formation, morphology, and antibacterial activity.” *Surface and Coatings Technology* 204 (2009) 54-57.
- [16] J. W. Masks. 2017. **Polystyrene sulfonate**. [Online]. Available : https://www.medicinenet.com/sodium_polystyrene_sulfonate-powder/article.htm สืบค้นเมื่อวันที่ 29 พฤษภาคม พ.ศ. 2561
- [17] เสาวลักษณ์ บุญยอด. 2554. “ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลติกและพฤติกรรมการฆ่าเชื้อแบคทีเรียของฟิล์มบางไทเทเนียมไดออกไซด์บนพอลิเมอร์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- [18] วีระชัย แสงฉาย. 2559. “สมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ได้บเหล็กเคลือบบนใยแก้ว.” วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา. 9 (1) : 87-99.
- [19] A, Persis Amaliya, V. Maria Vinosel, S. Blessi and S. Pauline. “Facile Synthesis of CuO nanoparticles by Hydrothermal Method and Their Application on Antibacterial Activity.” *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 4 (2017) 106-109.



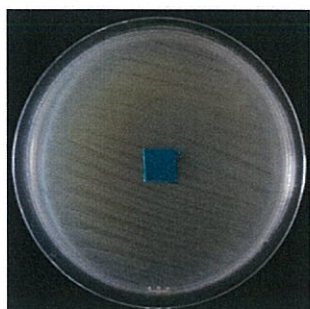
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

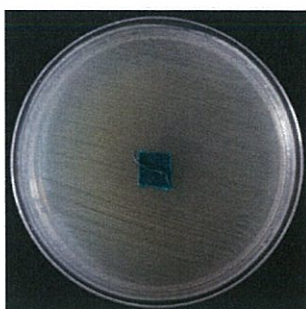
ภาพการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO

Escherichia coli ATCC 25922

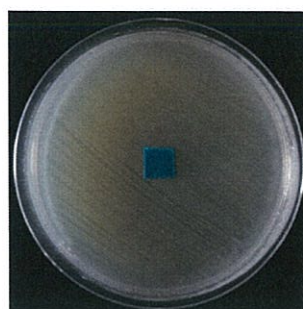
รูปที่ ก.1 ภาพวงใสที่เกิดจากการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E.coli* (a) Cu1-0.5 NaOH, (b) Cu2-0.5 NaOH, (c) Cu3-0.5 NaOH, (d) Cu1-0.7 NaOH, (e) Cu2-0.7 NaOH, (f) Cu3-0.7 NaOH, (g) Cu1-0.9 NaOH, (h) Cu2-0.9 NaOH, (i) Cu3-0.9 NaOH, (j) CuB-0.5 NaOH, (k) CuB-0.5 NH₄OH, (l) CuH-0.5 NaOH, (m) CuH-0.5 NH₄OH



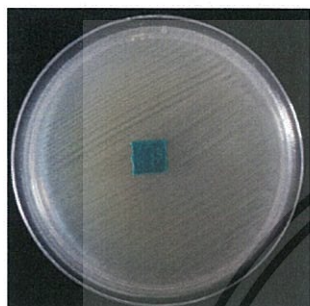
(j)



(k)



(l)



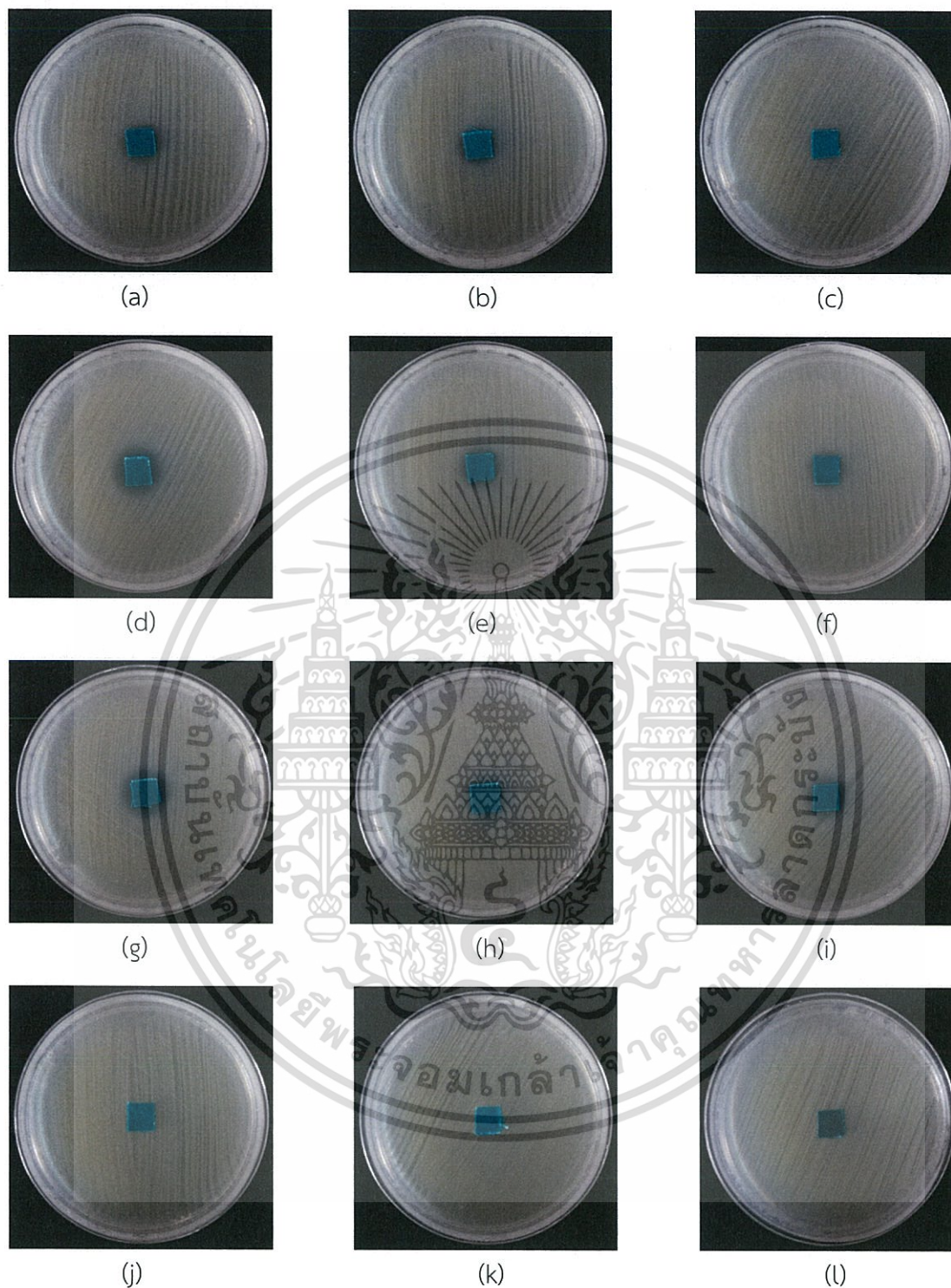
(m)



รูปที่ ก.1 (ต่อ)

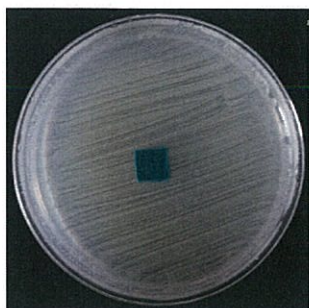
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Staphylococcus aureus ATCC 25923



รูปที่ ก.2 ภาพวงใสที่เกิดจากการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S.aureus* (a) Cu1-0.5 NaOH, (b) Cu2-0.5 NaOH, (c) Cu3-0.5 NaOH, (d) Cu1-0.7 NaOH, (e) Cu2-0.7 NaOH, (f) Cu3-0.7 NaOH, (g) Cu1-0.9 NaOH, (h) Cu2-0.9 NaOH, (i) Cu3-0.9 NaOH, (j) CuB-0.5 NaOH, (k) CuB-0.5 NH₄OH, (l) CuH-0.5 NaOH, (m) CuH-0.5 NH₄OH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(m)

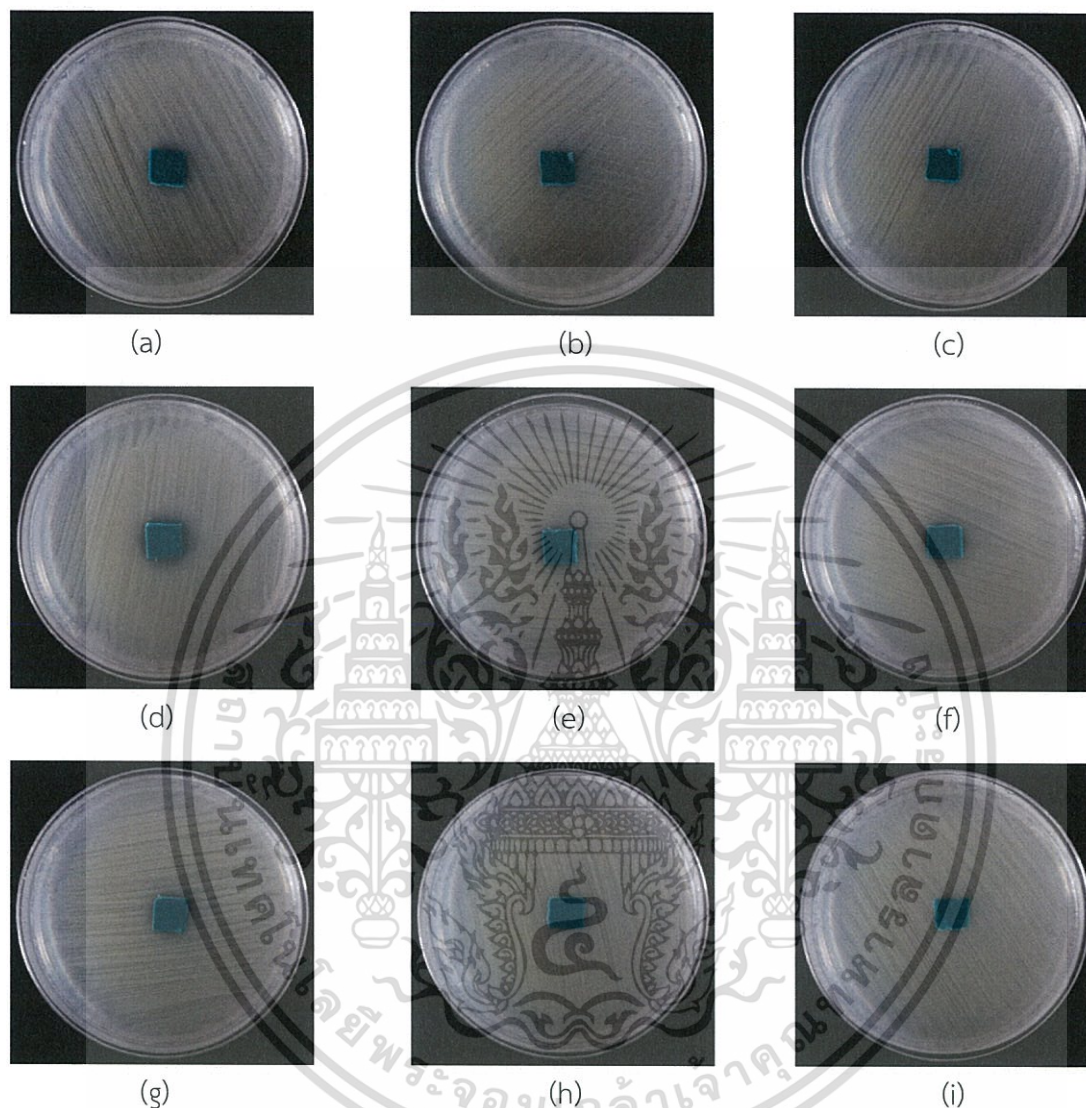
รูปที่ 2 (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

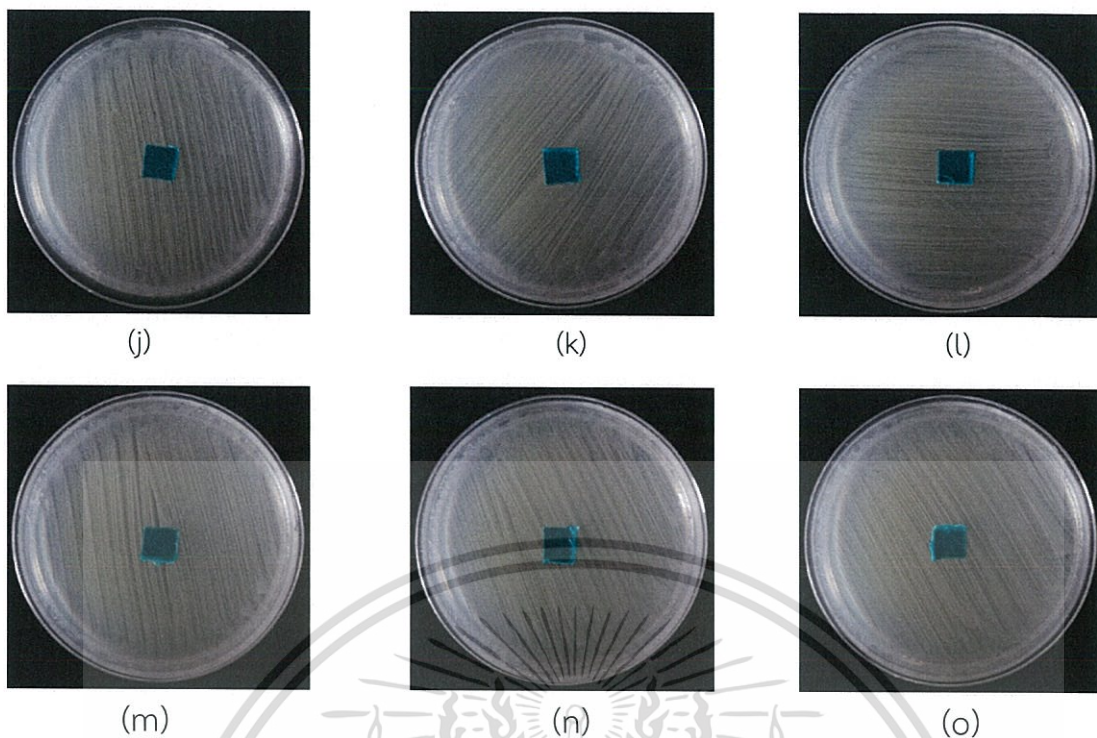
ภาพการทดสอบการต้านแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค CuO ที่ผ่านการซักล้าง

Staphylococcus aureus ATCC 25923



รูปที่ ก.3 ภาพวงใสที่เกิดจากการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S.aureus* (a) Cu1-0.7 NaOH ซักล้าง 5 รอบ, (b) Cu1-0.7 NaOH ซักล้าง 10 รอบ, (c) Cu1-0.7 NaOH ซักล้าง 15 รอบ, (d) Cu2-0.7 NaOH ซักล้าง 5 รอบ, (e) Cu2-0.7 NaOH ซักล้าง 10 รอบ, (f) Cu2-0.7 NaOH ซักล้าง 15 รอบ, (g) Cu3-0.7 NaOH ซักล้าง 5 รอบ, (h) Cu3-0.7 NaOH ซักล้าง 10 รอบ, (i) Cu3-0.7 NaOH ซักล้าง 15 รอบ, (j) CuB-0.5 NaOH ซักล้าง 5 รอบ, (k) CuB-0.5 NaOH ซักล้าง 10 รอบ, (l) CuB-0.5 NaOH ซักล้าง 15 รอบ, (m) CuB-0.5 NH₄OH ซักล้าง 5 รอบ, (n) CuB-0.5 NH₄OH ซักล้าง 10 รอบ, (o) CuB-0.5 NH₄OH ซักล้าง 15 รอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.3 (ต่อ)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

การคำนวณหาปริมาณ Cu บนผ้าฝ้ายตัวอย่างจากเทคนิค AAS

นำผ้าตัวอย่างที่ผ่านการเตรียมด้วยปัจจัยศึกษาต่างๆมาเผาแล้วละลายด้วยกรดไนตริก ความเข้มข้น 6.5 % ปริมาณ 10 ml จากนั้นนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค AAS จะได้ความเข้มข้นของ Cu (mg/l)

โดยนำมาคำนวณได้ดังนี้

$$\frac{\text{ความเข้มข้นของ Cu (mg) จากเทคนิค AAS}}{1 \text{ L}} \times 10 \text{ ml (กรดไนตริกความเข้มข้น 6.5\%)} \times \frac{1\text{L}}{1000 \text{ ml}}$$

= ปริมาณ Cu บนผ้าฝ้าย (mg)

$$\text{จะได้อัตราส่วนระหว่างปริมาณ Cu ต่อน้ำหนักผ้า} = \frac{\text{ปริมาณ Cu บนผ้าฝ้าย (mg)}}{\text{น้ำหนักผ้าฝ้าย (g)}}$$



งานทะเบียนคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คำรับรองเล่มโครงการพิเศษ/ปัญหาพิเศษ/สหกิจศึกษา

วันที่ 3 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2561

ข้าพเจ้า นางสาวณัฐนิชา ศรีบูรณพิภพ รหัสประจำตัว 57050409

นางสาวณัฐนิตา ย่านวล รหัสประจำตัว 57050411

นางสาวณัฐศิมาพร พรหมวิหาร รหัสประจำตัว 57050412

นักศึกษาหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชา เคมีอุตสาหกรรม ภาควิชา เคมี ขอรับรองว่า
โครงการพิเศษ

เรื่อง การเตรียมผ้าฝ้ายทำความสะอาดตนเองด้วยการตรึงอนุภาคคอปเปอร์ (II) ออกไซด์
PREPARATION OF SELF-CLEANING COTTON FABRIC BY IMMOBILIZATION OF COPPER (II)
OXIDE PARTICLES ปีการศึกษา 2560

เป็นผลงานวิจัยที่มีได้คัดลอกหรือละเมิดลิขสิทธิ์ของผู้อื่นและได้ผ่านการตรวจสอบความซ้ำซ้อน
เรียบร้อยแล้ว และได้แนบเอกสารการตรวจสอบการลอกเลียนงานวรรณกรรมที่ตรวจสอบจากเล่ม
โครงการพิเศษฉบับสมบูรณ์แล้ว
โปรแกรมอักขราวิสุทธิ์ 0.44%

ลงชื่อ.....

(ณัฐนิชา ศรีบูรณพิภพ)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....

(ณัฐนิตา ย่านวล)

นักศึกษา

ลงชื่อ.....

(ณัฐศิมาพร พรหมวิหาร)

นักศึกษา

ข้าพเจ้า ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ได้ตรวจสอบโครงการพิเศษ
ของนักศึกษาข้างต้น แล้ว ขอรับรองว่าเป็นผลงานวิจัยของนักศึกษาจริงและมีเนื้อหาสมบูรณ์ จึงลง
ชื่อไว้เป็นหลักฐาน

ลงชื่อ.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้