

การพัฒนากระบวนการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์  
บนเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกโดยใช้โคโตซานเชื่อมโยง  
ด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นสารยึดติด

DEVELOPMENT OF IMMOBILIZATION PROCESS OF  
ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON COTTON/ACRYLIC  
BLEND YARN USING SODIUM TRIPOLYPHOSPHATE  
CROSSLINKED CHITOSAN AS BINDER



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)  
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2559

การพัฒนากระบวนการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์  
บนเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกโดยใช้โคโตซานเชื่อมโยง  
ด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นสารยึดติด

DEVELOPMENT OF IMMOBILIZATION PROCESS OF  
ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON COTTON/ACRYLIC  
BLEND YARN USING SODIUM TRIPOLYPHOSPHATE  
CROSSLINKED CHITOSAN AS BINDER



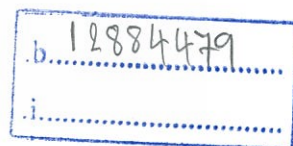
T149502

พิมพ์นารา บุญอุดม

พัชรพิมล อัครัญญวงศ์

เสาวลักษณ์ ชุมพล

สงทม  
เลขทะเบียน 149502  
วันเดือนปี - 8 ส.ค. 2561



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DEVELOPMENT OF IMMOBILIZATION PROCESS OF  
ZINC OXIDE NANOPARTICLES ON COTTON/ACRYLIC  
BLEND YARN USING SODIUM TRIPOLYPHOSPHATE  
CROSSLINKED CHITOSAN AS BINDER



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 2016

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การพัฒนากระบวนการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนเส้นด้าย  
ฝ้ายผสมอะคริลิกโดยใช้ไคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอสเฟอ-  
ฟอสเฟตเป็นสารยึดติด

Development of immobilization process of zinc oxide  
nanoparticles on cotton/acrylic blend yarn using sodium  
tripolyphosphate crosslinked chitosan as binder

ชื่อนักศึกษา

นางสาว พิมพ์นารา บุญอุดม รหัสนักศึกษา 56050550  
นางสาว พัตร์พิมล อัครัญญวงค์ รหัสนักศึกษา 56050556  
นางสาว เสาวลักษณ์ ชุมพล รหัสนักศึกษา 56050640

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)

ภาควิชา

เคมี

ปีการศึกษา

2559

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) อนุมัติให้  
โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (เคมี  
อุตสาหกรรม) ประจำปีการศึกษา 2559

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ กรรมการ	
ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การพัฒนากระบวนการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกโดยใช้โคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นสารยึดติด		
ชื่อนักศึกษา	นางสาว พิมพ์นารา บุญอุดม	รหัสนักศึกษา	56050550
	นางสาว พัชรพิมล อัครัญญ์วงศ์	รหัสนักศึกษา	56050556
	นางสาว เสาวลักษณ์ ชุมพล	รหัสนักศึกษา	56050640
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (เคมีอุตสาหกรรม)		
ภาควิชา	เคมี		
คณะ	วิทยาศาสตร์		
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)		
ปีการศึกษา	2559		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.ปณณมา ศิริพันธ์โนน		

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งพัฒนากระบวนการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Nano-ZnO) บนเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิก โดยทำการปรับปรุงพื้นผิวเส้นด้ายด้วยสารยึดติดโคโตซานเชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (STPP) แบบไอออนิก จากนั้นนำเส้นด้ายที่เคลือบผิวแล้วมาแช่ในสารละลายผสม 0.05 โมลาร์  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  และ 0.05 โมลาร์  $NH_4OH$  (Zn sol) เพื่อทำการตรึงอนุภาค Zn sol ลงบนพื้นผิวเส้นด้าย จากนั้นนำไปทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 100 °C เพื่อปลูกผลึก Nano-ZnO โดยปรับเปลี่ยนสภาวะในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นด้าย ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย STPP (0.01 0.05 และ 0.1 %w/w) ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  (0.01 และ 0.05 M) ระบบตัวกลางในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล (ระบบตัวกลาง Zn sol และระบบตัวกลาง  $NH_4OH$ ) และระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล (1 3 และ 24 ชั่วโมง) พบว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย STPP และความเข้มข้นของ  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  ส่งผลให้ปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่ก่อตัวบนเส้นด้ายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การปรับเปลี่ยนระบบตัวกลางที่ใช้จาก Zn sol เป็น  $NH_4OH$  และการเพิ่มระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลจะส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนเส้นด้าย โดยพบว่าเมื่อนำเส้นด้ายที่เคลือบผิวมาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในระบบตัวกลาง  $NH_4OH$  เป็นระยะเวลาที่ 24 ชั่วโมง จะก่อให้เกิดอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จึงมีความทนทานต่อการซักล้าง พื้นผิวเส้นด้ายที่ถูกตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO แสดงพฤติกรรมเป็น  
 กระจุกมากกว่าประจุบวก ทำให้สามารถยึดติดสีที่มีประจุบวกได้ดีและสามารถยับยั้งการ  
 เจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus*) ได้ดี

คำสำคัญ : การเชื่อมโยงแบบไอออนิก โคโตซาน โซเดียมไตรฟอสเฟต ปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มอล  
 เส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิก อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special project Title	Development of immobilization process of zinc oxide nanoparticles on cotton/acrylic blend yarn using sodium tripolyphosphate crosslinked chitosan as binder		
Students	Miss Pimnara	Boonudom	Student ID 56050550
	Miss Patpimon	Akkanwong	Student ID 56050556
	Miss Saowaluck	Chumpon	Student ID 56050640
Degree	Bachelor of Science (Industrial Chemistry)		
Department	Chemistry		
Faculty	Science		
University	King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)		
Academic Year	2016		
Advisor	Asst.Prof.Dr. Punnama Siriphannon		

### Abstract

This research aims to develop method for immobilization of ZnO nanoparticles (Nano-ZnO) on cotton/acrylic yarns. Firstly, the surfaces of yarns were treated with sodium tripolyphosphate (STPP) ionically crosslinked chitosan binder. The coated yarns were soaked in the mixed solution containing 0.05 M  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  and 0.05 M  $\text{NH}_4\text{OH}$  (Zn sol) in order to immobilize the Zn sol on the yarn surfaces. The coated yarns were hydrothermally reacted at 100 °C to grow the Nano-ZnO crystals. The treatment conditions were varied, i.e. concentration of STPP (0.01 0.05 and 0.1 %w/w), initial concentration of  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  (0.01 and 0.05 M), system of hydrothermal media (Zn sol and  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) and hydrothermal reaction time (1 3 and 24 hr.). It was found that the increases of concentrations of STPP and  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  resulted in the increase of amount of Nano-ZnO grown on the yarn surfaces. In addition, the change of hydrothermal media from Zn sol to  $\text{NH}_4\text{OH}$  and the increase of hydrothermal reaction time effected to the efficiency of Nano-ZnO particles immobilized on the yarns. It was found that the treated yarns hydrothermally reacted in  $\text{NH}_4\text{OH}$  system for 24 hrs could create the uniform dispersed ZnO particles immobilized on the yarn surfaces having the well adhesion, therefore, it possessed the washing durability. The surfaces of Nano-ZnO immobilized yarns exhibited

negative charge rather than positive charge, in which they were effectively stained with cationic dye and inhibited the growth of gram-positive bacteria (*S.aureus*).

**Keywords :** Ionic crosslinking, Chitosan, Sodium tripolyphosphate, Hydrothermal reaction, Cotton/acrylic yarn, Zinc oxide nanoparticles



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ปุณณมา ศิริพันธ์โนน อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการพิเศษ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา และข้อเสนอแนะ ตลอดจนตรวจทานแก้ไขโครงการพิเศษจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียนจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.อิทธิพล แจ่มชัด และผศ.ดร.สุภารัตน์ รักชลธิ ที่กรุณารับเป็นประธานกรรมการสอบโครงการพิเศษ ผศ.ดร.สุธา สุทธิเรืองวงศ์ ที่กรุณาเป็นกรรมการสอบโครงการพิเศษ ตลอดจนให้คำแนะนำและแก้ไขรูปเล่มเป็นอย่างดี อันเป็นประโยชน์ยิ่งต่อการทำโครงการพิเศษในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาในระดับบัณฑิตศึกษา

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

ขอขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การสนับสนุนโอกาสทางการศึกษาและเป็นกำลังใจจนโครงการพิเศษเล่มนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมทั้งเพื่อน ๆ ที่คอยเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

ท้ายสุดนี้ หากมีความผิดพลาดประการใด ผู้เขียนต้องขออภัยเป็นอย่างสูง และผู้เขียนหวังว่าโครงการพิเศษเล่มนี้จะเป็นประโยชน์บ้างไม่มากก็น้อยสำหรับผู้สนใจ

พิมพ์นารา บุญอุดม  
พัตรพิมล อัครัญญวงศ์  
เสาวลักษณ์ ชุมพล

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ณ
สารบัญรูป .....	ญ
คำย่อ/สัญลักษณ์.....	ฎ
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนของงานวิจัยและวิธีดำเนินงาน .....	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....</b>	<b>4</b>
2.1 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO).....	4
2.1.1 โครงสร้างผลึก (Crystal Structure) ของซิงค์ออกไซด์ .....	4
2.1.2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ .....	5
2.1.3 การสังเคราะห์หอนุภาคซิงค์ออกไซด์ .....	5
2.1.4 การประยุกต์ใช้ซิงค์ออกไซด์.....	9
2.2 เส้นใย .....	10
2.2.1 เส้นใยฝ้าย (Cotton).....	11
2.2.2 เส้นใยอะคริลิก.....	13
2.3 ไคโตซาน.....	14
2.4 โซเดียมไตรฟอสเฟต .....	16
2.5 การเชื่อมโยงแบบไอออนิก .....	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	18
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>	<b>23</b>
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	23
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3 วิธีการทดลอง.....	24
3.3.1 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นด้ายผสมด้วยโคโตซานและโคโตซานที่เชื่อมโยง .....	24
3.3.2 การตรึงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสม (Zn sol).....	26
3.3.3 การตรึงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส (NH <sub>4</sub> OH).....	28
3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์.....	30
3.4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	30
3.4.2 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ .....	30
3.4.3 เครื่องดีฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์.....	30
3.4.4 เครื่องฟลูอริเยอร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์.....	30
3.4.5 เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์.....	30
3.4.6 การทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย.....	30
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปรายผล.....</b>	<b>31</b>
4.1 การเคลือบผิวเส้นด้ายด้วยโคโตซาน.....	31
4.1.1 เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR.....	32
4.1.2 เทคนิค Differential Scanning Calorimeter, DSC.....	33
4.2 การตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนเส้นด้ายที่เคลือบผิวด้วยโคโตซาน.....	34
4.2.1 ผลของอัตราส่วนระหว่างโคโตซานกับสารเชื่อมโยง.....	35
4.2.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O.....	38
4.2.3 ผลของระบบในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล.....	41
4.2.4 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล.....	45
4.3 การย้อมติดสีของเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO.....	47
4.4 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายที่ตรึงอนุภาค Nano-ZnO.....	49
4.5 ความทนทานต่อการซักล้าง.....	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	52
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	52
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	53
เอกสารอ้างอิง.....	54
ภาคผนวก.....	58
ภาคผนวก ก.....	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมบัติทางเคมีของซิงค์ออกไซด์.....	5
2.2 ข้อดีและข้อเสียของผลิตภัณฑ์สังเคราะห์จากเส้นใย .....	11
3.1 สภาพที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นด้าย.....	25
3.2 สภาพในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสม.....	27
3.3 สภาพในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส.....	29
4.1 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของโคโตซานและโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP ด้วยเทคนิค DSC .....	33
4.2 ปริมาณ Zn บนเส้นด้ายตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP ที่ความเข้มข้นต่างกัน แล้วนำไปตรึงอนุภาค Nano-ZnO โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 24 h .....	38
4.3 ปริมาณ Zn บนเส้นด้ายตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP ที่ความเข้มข้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ และ $NH_4OH$ ต่างกัน โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 24 h .....	41
4.4 ปริมาณ Zn บนเส้นด้ายตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP แล้วนำไปตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO โดยใช้ระบบในการไฮโดรเทอร์มอลที่ต่างกัน โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 24 h.....	45
4.5 ปริมาณซิงค์บนเส้นด้ายโดยใช้ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอลที่ต่างกัน .....	47
4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สีย้อม Basic blue 66 และ Acid blue 29 บนเส้นด้ายผสมก่อนและหลังการตรึงอนุภาค Nano-ZnO .....	48
4.7 ขนาดพื้นที่ในการต้านทานแบคทีเรียชนิด <i>Escherichia coli</i> และ <i>Staphylococcus aureus</i> ของเส้นด้ายที่ตรึงอนุภาค Nano-ZnO โดยใช้ตัวอย่างปริมาตร 40 ไมโครลิตรต่อหลุม .....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างเวอรัตไซต์ของซิงค์ออกไซด์ .....	4
2.2 อุปกรณ์อโตเคลฟ .....	6
2.3 การต่อชุดทดลองไฟฟ้าเคมี .....	7
2.4 การเปลี่ยนสถานะจากโซลเป็นเจล .....	8
2.5 ลักษณะของปุ๋ยฝ้าย .....	11
2.6 โครงสร้างทางเคมีของโคโตซาน .....	14
2.7 โครงสร้างของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต .....	16
2.8 โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบไอออนิก .....	17
3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมสารละลายโคโตซาน .....	25
3.2 แผนภาพแสดงการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสม (Zn sol) .....	26
3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสม (Zn sol)..	27
3.4 แผนภาพแสดงการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส (NH <sub>4</sub> OH) .....	28
3.5 แผนภาพแสดงการเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส (NH <sub>4</sub> OH)..	29
4.1 ปฏิกิริยาการเชื่อมโยงระหว่างโคโตซานและโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต .....	31
4.2 สเปกตรัม FT-IR ของ (a) เส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว (b) เส้นด้ายผสมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซาน (Chi0.05) (c) เส้นด้ายผสมที่ผ่านการเชื่อมโยง แบบไอออนิก (Chi-S0.05) .....	32
4.3 ปฏิกิริยาการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ในโครงสร้างร่างแหโคโตซาน .....	34
4.4 สันฐานวิทยาของเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจาก สารละลายโคโตซานและสารละลาย STPP ที่ความเข้มข้น 0.01 %w/w (a) 0.05 %w.w (b) และ 0.1 %w/w (c) .....	36
4.5 กราฟปริมาณ Zn บนเส้นด้ายตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP ที่ความเข้มข้นต่างกัน แล้วนำไปตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO .....	38
4.6 สันฐานวิทยาของเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO เข้มข้น 0.01 M (a และ b) และ 0.05 M (c และ d) .....	39
4.7 สันฐานวิทยาของเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO เข้มข้น 0.05 M ในระบบตัวกลาง Zn sol (a และ b) และระบบตัวกลาง NH <sub>4</sub> OH (c และ d) .....	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 สัณฐานวิทยาของเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO เข้มข้น 0.05 M ที่ใช้ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล 1 h (a) 3 h (b) และ 24 h (c).....	46
4.9 กราฟเปรียบเทียบปริมาณ Zn หลังผ่านการซักล้างที่สภาวะต่าง ๆ .....	51



## คำย่อ/สัญลักษณ์

คำย่อ/สัญลักษณ์	คำอธิบาย
ZnO	Zinc oxide
NH <sub>4</sub> OH	Ammonium hydroxide
Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Zinc nitrate hexahydrate
SEM	Scanning electron microscope
AAS	Atomic absorption spectroscopy
FT-IR	Fourier transform infrared spectrometer
DSC	Differential scanning calorimeter
HDPE	High density polyethylene
PP	Polypropylene
UV	Ultraviolet
UVA	Ultraviolet A
UVB	Ultraviolet B
STPP	โซเดียมไตรฟอสเฟต
Zn-sol	สารละลายตัวกลางผสม
NH	สารละลายตัวกลางเบส
Nano-Zno	อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

## สัญลักษณ์

สัญลักษณ์	คำอธิบาย
g	กรัม
g/mol	กรัม/โมล
g/cm <sup>3</sup>	กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร
nm	นาโนเมตร
eV	อิเล็กตรอนโวลต์
mm	มิลลิเมตร
kg	กิโลกรัม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

°C	องศาเซลเซียส
ml	มิลลิลิตร
M	โมล
h	ชั่วโมง
W	วัตต์
mg/ml	มิลลิกรัม/มิลลิลิตร
kPa	กิโลปาสคาล
$E^0$	ค่าศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานของปฏิกิริยารีดักชัน
$\mu\text{m}$	ไมโครเมตร
$\Delta H$	เอนทัลปี
%w/v	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก/ปริมาตร
%w/w	เปอร์เซ็นต์น้ำหนัก/น้ำหนัก
%v/v	เปอร์เซ็นต์ปริมาตร/ปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

สิ่งทอถือมีความสำคัญต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ทั้งในส่วนของเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม อีกทั้งยังเข้ามามีบทบาทในการผลิตตกแต่งสิ่งของเครื่องใช้ที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน จึงมีความต้องการใช้งานผลิตภัณฑ์สิ่งทอเพิ่มสูงขึ้นมากตามอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากร ทำให้กระบวนการผลิตด้านสิ่งทอนั้นถูกพัฒนาจากหัตถกรรมในครัวเรือนไปสู่อุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ซึ่งวัตถุดิบที่สำคัญที่สุดในการผลิตสิ่งทอ คือ เส้นใย โดยแรกเริ่มมนุษย์ได้นำเส้นใยจากธรรมชาติมาถักทอ เพื่อใช้เป็นเครื่องนุ่งห่ม และเครื่องใช้ต่าง ๆ แต่เมื่อมนุษย์มีความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอเพิ่มมากขึ้น ทำให้เส้นใยธรรมชาติไม่เพียงพอต่อความต้องการของมนุษย์ และนอกจากนั้นเส้นใยธรรมชาติยังมีข้อด้อยบางประการ เช่น ยับง่าย และคงรูปได้ยาก เป็นต้น จึงได้มีการคิดค้นเส้นใยที่ใช้ทดแทนเส้นใยธรรมชาติ นั่นคือ เส้นใยสังเคราะห์ แต่เส้นใยสังเคราะห์นั้นมีสมบัติแตกต่างจากเส้นใยธรรมชาติคือมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้น้อย และระบายอากาศได้ไม่ดี เมื่อนำมาผลิตเป็นเครื่องนุ่งห่มแล้วทำให้ผู้ที่สวมใส่รู้สึกไม่สบายตัว

งานวิจัยจำนวนมากให้ความสนใจ และคิดค้นปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ผลิตจากเส้นใยธรรมชาติ เส้นใยสังเคราะห์ และเส้นใยผสม โดยใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ ซึ่งสารเคมีที่นิยมนำมาใช้ปรับปรุงเพื่อให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้นนั้นประกอบไปด้วยสารเคมีที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ไคโตซาน [1] เมทาคริลอกซีพรอพิล ไตรเมทอกซีไซเลน (Methacryloxypropyl-trimethoxysilane, MAPS) [2] อะมิโนพรอพิล ไตรเอทอกซีไซเลน (Aminopropyl triethoxysilane, APTES) [3] และสารเคมีที่เป็นสารอนินทรีย์ เช่น อนุภาคนาโนไทเทเนียม [4] อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ [5] และอนุภาคนาโนซิลเวอร์ [6] เป็นต้น

โดยในงานวิจัยนี้สนใจที่จะตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนเส้นใยฝ้ายผสมอะคริลิก เนื่องจากเส้นใยฝ้ายผสมอะคริลิกเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตถุงเท้า ซึ่งมีองค์ประกอบหลักเป็นฝ้าย 70% และอะคริลิก 30% เพื่อพัฒนาให้ผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ได้มีสมบัติที่ดีขึ้น โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ซึ่งมีสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรีย ที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นต่าง ๆ และก่อให้เกิดโรค อย่างไรก็ตามเส้นใยผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อาจเกิดการหลุดออก ทำให้มีประสิทธิภาพลดลงเมื่อผ่านการใช้งานหรือการซักล้าง งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาการปลูกผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์บนเส้นใยผสม โดยใช้ไคโตซานและ/หรือไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นสารยึดติด (Binder) ซึ่งไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากธรรมชาติ อีกทั้งยังมีสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และเชื้อราบางชนิด เมื่อนำมาเชื่อมโยงโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตจะทำให้เกิดการเชื่อมโยงกับชั้นเคลือบผิวไคโตซาน เกิดเป็นโครงร่างแหโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จะเติบโตภายใน

โครงร่างแห ซึ่งในการปลูกอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนเส้นใยผ้าจะใช้ปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal reaction) ซึ่งข้อดีของปฏิกิริยานี้คือ ทำได้ง่าย ใช้อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยาต่ำ สารเคมีที่ใช้ไม่เป็นพิษจึงเป็นเทคนิคที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และค่าใช้จ่ายไม่สูง

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ลงบนเส้นด้ายผลิตจากฝ้ายผสมอะคริลิกโดยใช้โคโคซานเป็นสารยึดติด
- 2) ตรวจสอบคุณสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาคซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1) ปลูกผลึกซิงค์ออกไซด์บนเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิก โดยมีปัจจัยศึกษาดังนี้
  - 1.1 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต ได้แก่ 0.01 0.05 และ 0.1 %w/w
  - 1.2 ความเข้มข้นของสารละลายซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรท ( $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ) ได้แก่ 0.01 และ 0.05 M
  - 1.3 ระบบตัวกลางในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ ตัวกลาง Zn sol และตัวกลาง  $NH_4OH$
  - 1.4 ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ได้แก่ 1 3 และ 24 h
- 2) ตรวจสอบคุณสมบัติเส้นด้ายที่ตรึงด้วยผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่
  - 2.1 การทดสอบสมบัติการเชื่อมโยงด้วยเครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential Scanning Calorimeter, DSC)
  - 2.2 หาปริมาณซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ปชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrometer, AAS)
  - 2.3 ตรวจสอบวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)
  - 2.4 วิเคราะห์หมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรด-สเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FT-IR)
  - 2.5 วิเคราะห์การดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible Spectrophotometer)
- 3) ทดสอบสมบัติการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) สามารถเตรียมเส้นด้ายที่ตรงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยใช้โคโตซานและ/หรือโคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยโซเดียมไตรฟอสเฟต ด้วยปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลได้

2) สามารถนำเส้นด้ายที่เตรียมได้ไปผลิตเป็นเสื้อผ้า เครื่องนุ่งห่ม และเครื่องใช้สอยต่าง ๆ ได้โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้มีสมบัติในการต้านเชื้อแบคทีเรีย

#### 1.5 ขั้นตอนของงานวิจัยและวิธีดำเนินงาน

แผนงาน	ระยะเวลาการดำเนินงาน										
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←→										
วางแผนงานและออกแบบการทดลอง		←→									
ทำการเตรียมปรับปรุงเส้นด้ายด้วยวิธีต่างๆ			←→								
ตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์			←→								
ทำรายงานสรุปผล										←→	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

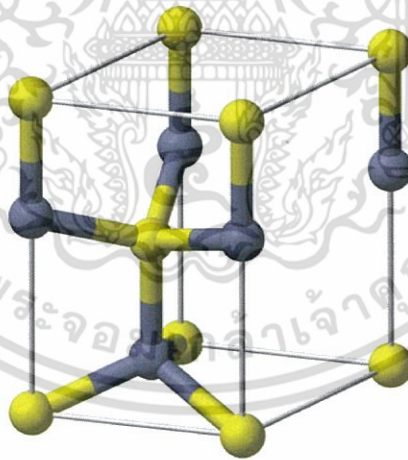
# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide, ZnO) [7-8]

ซิงค์ออกไซด์เป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถหาได้ง่าย และมีราคาถูก นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติที่หลากหลายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างระดับจุลภาคได้โดยการเจือธาตุอื่นลงไปเพื่อให้ช่วงของคุณสมบัติในการใช้งานนั้นกว้างขึ้น และแถบระดับพลังงานให้ได้สมบัติตามต้องการ เป็นวัสดุในกลุ่มโลหะออกไซด์ที่มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดพี (p-type semiconductors) และชนิดเอ็น (n-type semiconductor) มีความกว้างของช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap) ประมาณ 3.37 eV

#### 2.1.1 โครงสร้างผลึก (Crystal structure) ของซิงค์ออกไซด์

ซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างเฮกซะโกนอลที่เรียกว่า เวอร์ตไซต์ (Wurtzite) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 โดยมีแลตทิซพารามิเตอร์ (Lattice parameters)  $a = 0.3296$  nm และ  $c = 0.52065$  nm เป็นโครงสร้างสมมาตรที่ไม่มีอะตอมกลางและลักษณะผิวมีขั้ว



รูปที่ 2.1 โครงสร้างเวอร์ทไซต์ของซิงค์ออกไซด์ [9]

โครงสร้างของซิงค์ออกไซด์เกิดจากการยึดเกาะกันของ  $Zn^{2+}$  กับ  $O^{2-}$  ด้วยพันธะไอออนิก โดยอะตอมออกซิเจนเรียงตัวยึดกันแน่นชิดมากที่สุดแบบ Hexagonal close packing เกิดช่องว่างเตตระฮีดรอล (Tetrahedral hole) โดยมีอะตอมของโลหะแทรกอยู่ในช่องว่างเพียงครึ่งหนึ่งของจำนวนช่องที่มีอยู่ทั้งหมดหรือแบบ Hole เว้น Hole ซึ่งในโครงสร้างเวอร์ทไซต์ของซิงค์ออกไซด์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Zn^{2+}$  จะเกิดการโคออร์ดิเนตกับ  $O^{2-}$  ซึ่งไอออนชนิดหนึ่งจะถูกล้อมรอบด้วยไอออนตรงข้ามเป็นแบบเตตระฮีดรอล มีเลขโคออร์ดิเนชันเท่ากับ 4 : 47

### 2.1.2 สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของซิงค์ออกไซด์ [10]

ซิงค์ออกไซด์มีค่าดัชนีหักเหสูง (High refractive index) ประมาณ 1.95 - 2.10 โดยวัสดุที่เคลือบด้วยซิงค์ออกไซด์จะสะท้อนแสงได้ดี และวัสดุที่ถูกเคลือบจะมีความสว่างสูงและมีความเสถียรทางอุณหภูมิ ทำให้มีสมบัติในการเป็นตัวกลางไฟฟ้าได้ดี รวมทั้งทนความร้อนได้ดี

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalyst) ซึ่งทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีสมบัติของการเป็นสารกึ่งตัวนำ

ซิงค์ออกไซด์เป็นสารที่ใช้ยับยั้งแบคทีเรีย (Antibacterial agent) ตามธรรมชาติและไม่มีความเป็นพิษ โดยเป็นตัวป้องกันและยับยั้งแบคทีเรียในระยะเริ่มแรก ลดโอกาสการเปลี่ยนรูปของแบคทีเรีย และเมื่อทำซิงค์ออกไซด์ให้มีอนุภาคเล็กลงในระดับนาโนเมตร จะทำให้มีประสิทธิภาพในการต้านแบคทีเรียได้ดีมากโดยไม่จำเป็นต้องใช้แสงยูวี (UV) ในการเร่งปฏิกิริยา

### ตารางที่ 2.1 สมบัติทางเคมีของซิงค์ออกไซด์ [11]

สมบัติ	รายละเอียด
สูตรโมเลกุล	ZnO
น้ำหนักโมเลกุล	81.408 g/mol
สถานะ สี	ของแข็งสีขาว
ความหนาแน่น	5.606 g/cm <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	1975 °C
จุดเดือด	2360 °C
การละลายในน้ำ	ไม่ละลายน้ำ
ดัชนีหักเห	2.0041

### 2.1.3 การสังเคราะห์อนุภาคซิงค์ออกไซด์

- การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal method) [12]

กระบวนการไฮโดรเทอร์มอลสามารถใช้สังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ได้หลากหลายโครงสร้างสามารถสังเคราะห์ได้ที่อุณหภูมิต่ำ และกระบวนการไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยในปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนสภาวะในการสังเคราะห์ เช่น ค่าพีเอชของสารละลาย อุณหภูมิ และเวลา เพื่อสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์ที่มีโครงสร้างหลากหลาย ซึ่งวิธีการนี้จะเกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนแก่สารตั้งต้นในการทำปฏิกิริยา ซึ่งได้แก่สารจำพวกเกลือของโลหะออกไซด์ โลหะไฮดรอกไซด์ หรือผงโลหะต่างๆ ที่อยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอยซึ่งโดยปกติจะใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ปฏิกิริยาการสังเคราะห์

จะทำได้ในสภาวะที่มีการใช้อุณหภูมิมากกว่า 25 °C และความดันมากกว่า 100 kPa ในอโตเคลฟ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Autoclave) ที่ทำด้วยเหล็กกล้าที่มีความแข็งแรง ทนทาน และสามารถทนอุณหภูมิได้สูงตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

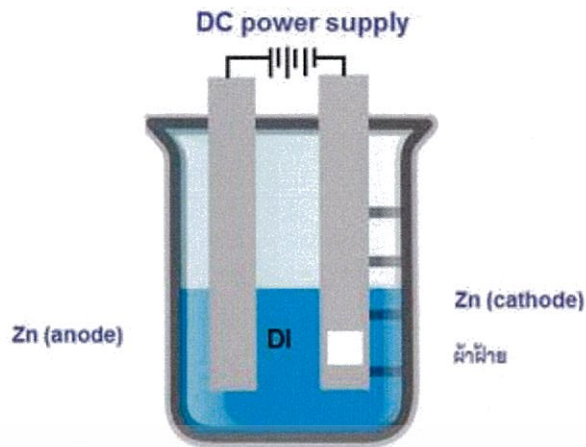


รูปที่ 2.2 อุปกรณ์อโตเคลฟ [13]

การตกตะกอนในสภาวะดังกล่าวจะทำให้เกิดสารผลิตภัณฑ์ที่ในลักษณะผงที่ปราศจากน้ำทำให้มีความสม่ำเสมอทั้งองค์ประกอบทางเคมีและขนาดของอนุภาคที่เล็กมากไม่จำเป็นต้องมีการเผาหรือการบดย่อยอีกต่อไป โดยทั่ว ๆ ไปจะมีขนาดประมาณ 10 - 12 nm มีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคแคบ โดยจะเห็นว่าการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้เรียบง่าย ต้นทุนต่ำ และไม่ต้องการระบบที่ซับซ้อน

- การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี (Electrochemistry) [14]

การสร้างสารประกอบเชิงซ้อนออกไซด์ให้เคลือบบนเส้นใยด้วยวิธีไฟฟ้าเคมีโดยใช้แผ่นสังกะสี 2 แผ่นในการสังเคราะห์ โดยต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง แผ่นสังกะสีที่มีผ้าติดอยู่ต่อกับขั้วแคโทด ส่วนแผ่นที่ไม่มีผ้าติดเป็นขั้วแอโนด ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การต่อชุดทดลองไฟฟ้าเคมี [15]

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) เมื่อให้ความต่างศักย์ระหว่างแผ่นสังกะสีที่จุ่มลงไปนในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ พบว่าแผ่นสังกะสีที่เป็นขั้วแอโนด (ลบ) จะให้อิเล็กตรอน (ออกซิไดซ์) กลายเป็นซิงค์ไอออน ( $Zn^{2+}$ ) อยู่ในสารละลาย ดังสมการที่ 2.1



ปฏิกิริยารีดักชัน (Reduction reaction) แผ่นสังกะสีที่ขั้วแคโทด (บวก) จะมีอิเล็กตรอนอยู่อย่างหนาแน่นจึงเกิดการแข่งขันของประจุบวกที่จะมารับอิเล็กตรอนดังกล่าว (รีดิวซ์) เมื่อพิจารณาค่า  $E^0$  รีดักชัน พบว่าไฮโดรเจนไอออน ( $H^+$ ) มีค่า  $E^0$  ที่เหมาะสมจึงเกิดปฏิกิริยารีดักชันได้ก๊าซไฮโดรเจน ( $H_2$ ) ดังสมการที่ 2.2



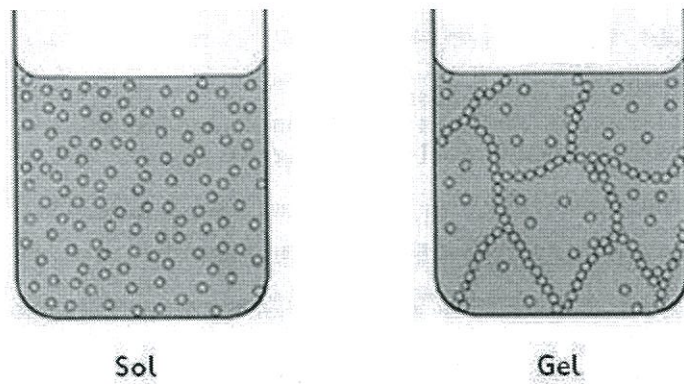
ซิงค์ไอออน ( $Zn^{2+}$ ) ที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาต่อกับไฮดรอกไซด์ไอออน ( $OH^-$ ) เกิดเป็นซิงค์ไฮดรอกไซด์ ( $Zn(OH)_2$ ) ดังสมการที่ 2.3 ซึ่งเป็นสารที่ไม่ค่อยเสถียร จึงเกิดปฏิกิริยาต่อและเกิดซิงค์ออกไซด์ ( $ZnO$ ) และน้ำ ( $H_2O$ ) ที่ขั้วแคโทด ดังสมการที่ 2.4



- การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซล-เจล (Sol-Gel) [16]

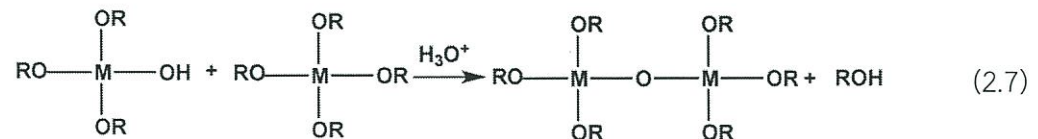
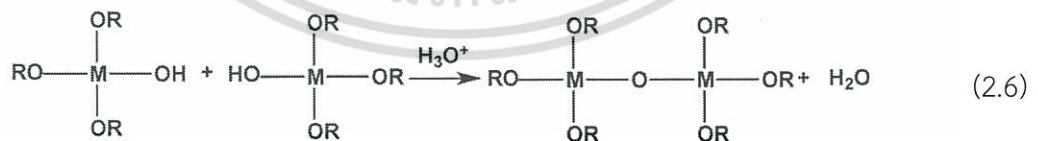
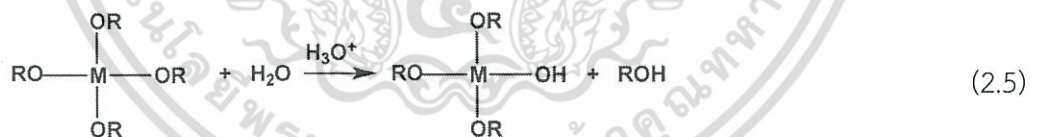
กระบวนการโซล-เจลเป็นกระบวนการผลิตวัสดุที่ต้องการความบริสุทธิ์สูง ซึ่งโดยทั่วไปกระบวนการโซล-เจลเป็น กระบวนการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวที่เรียกว่า “Sol” ซึ่งส่วนมากอยู่ในรูปของสารแขวนลอยที่มีอนุภาคประมาณ 0.1-1 ไมครอน และเป็นของแข็งที่เรียกว่า “Gel”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การเปลี่ยนสถานะจากโซลเป็นเจล [17]

โดยในขั้นตอนแรกของการทำโซลเจล คือ การผสมสารตั้งต้นกับน้ำดังสมการที่ 2.5 สารตั้งต้นที่นิยมใช้ในกระบวนการโซลเจลเป็นสารประกอบโลหะและกึ่งโลหะที่ล้อมรอบด้วยลิแกนด์ที่ไวต่อการเกิดปฏิกิริยา เช่น Metal Alkoxide เป็นสารตั้งต้นที่ได้รับความนิยมสูง เนื่องจากทำปฏิกิริยากับน้ำได้ดี เช่น เตตระเอทอกซีไซเรน (TEOS) ส่วนแอลคอกไซด์ (Alkoxide) ชนิดอื่น ๆ เช่น อลูมินา ไททานา และบอเรต ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายโดยมักใช้ร่วมกับ TEOS ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาดังสมการ 2.6 หรือ 2.7 สารที่เกิดขึ้นจะเกิดปฏิกิริยาควบแน่นเซชัน (Condensation) ต่อไปจนกลายเป็นโครงสร้างแบบโครงร่างตาข่าย (Network structure) ซึ่งอยู่ในสถานะที่เรียกว่า Gel จึงเรียกปฏิกิริยาพอลิควบแน่นเซชัน (Polycondensation)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาโซล-เจล

- ตัวเร่งปฏิกิริยา
- ค่าพีเอช
- อัตราส่วนโมลของน้ำและโลหะ
- อุณหภูมิ

ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการโซลเจลจะมีความบริสุทธิ์สูง เนื่องจากการเตรียมสารอยู่ในระดับโมเลกุลทำให้สามารถกำหนดสมบัติต่าง ๆ ที่ต้องการได้ง่าย ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่ออุตสาหกรรมหลายประเภทเช่น อุตสาหกรรมเคมี เทคโนโลยีพลังงาน อุตสาหกรรมรถยนต์ และ อุตสาหกรรมเซรามิก

- การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการตกตะกอน (Precipitation) [18]

การตกตะกอนเป็นการทำให้โมเลกุลหรือไอออนที่ละลายอยู่ในสารละลายเกิดการแยกตัวออกมาจากสารละลาย โดยอาศัยหลักการเติมสารที่ทำให้ตกตะกอนที่เหมาะสมอย่างช้า ๆ ในปริมาณที่เหมาะสม ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความดันเพื่อลดขีดความสามารถในการละลายลงทำให้ระบบมีการตกตะกอนเกิดขึ้น โดยการตกตะกอนประกอบไปด้วยกลไกสำคัญ คือ การเกิดนิวเคลียส (Nucleation) และการเติบโต (Growth) ของโมเลกุลหรือไอออนของสารแปลกปลอมที่ปะปนอยู่ในสารละลาย โดยการเกาะแนบอยู่กับพื้นผิวบางส่วนของอนุภาคอะตอมสามารถที่จะทำให้อัตราการเจริญเติบโตของระบบเปลี่ยนแปลงได้อยู่เสมอ และนอกจากนี้การเติบโตของตะกอนตามแนวแกนของผลึกด้วยอัตราการเติบโตที่แตกต่างกัน จะทำให้ตะกอนที่ได้มีรูปร่างเป็นแบบชั้นกับทิศทาง (Anisotropy)

โดยทั่วไปแล้วสามารถควบคุมการตกตะกอนได้โดยการควบคุมอัตราการผสมและอุณหภูมิของสารละลาย นอกจากนี้ยังมีตัวแปรที่สำคัญอื่น ๆ อีก ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลาย ค่าพีเอช อัตราการผสมกันและการกวนสารละลายให้เข้ากัน ในการตกตะกอนนั้นจำเป็นต้องมีการทิ้งสารละลายเอาไว้ช่วงเวลาหนึ่ง เพื่อให้การตกตะกอนเป็นไปอย่างสมบูรณ์ เทคนิคการตกตะกอนสามารถให้วัสดุที่มีความบริสุทธิ์สูงและมีขนาดอนุภาคเล็ก

#### 2.1.4 การประยุกต์ใช้ซิงค์ออกไซด์ [19-20]

- อุตสาหกรรมสิ่งทอ ผลิตภัณฑ์ป้องกันแบคทีเรียและเชื้อราการกำจัดกลิ่นของเสื้อผ้า เสื้อผ้าทำความสะอาดตัวเอง ผลิตภัณฑ์และสิ่งทอที่สามารถป้องกันรังสียูวีได้ เช่น การตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ให้คงทนอยู่บนผ้า ซึ่งนำมาใช้ผลิตเป็นเสื้อกาวน์ของแพทย์เพื่อสวมใส่ขณะปฏิบัติกร

- อุตสาหกรรมยาง นิยมใช้ในการเป็น Vulcanizing activator ซึ่งเป็นสารที่เติมลงไป ปริมาณน้อยในการผลิตยางเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาวัลคาไนซ์ การเติมซิงค์ออกไซด์จะช่วยพัฒนาสมบัติ

การนำความร้อนให้กับยาง โดยซิงค์ออกไซด์จะดูดความร้อนได้ดีช่วยเพิ่มสมบัติต้านทานความร้อน  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่เพื่อประโยชน์ทางการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้ทราบเนื้อหาสาระสำคัญของเอกสารแล้ว  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการทนการขีดข่วนได้ดี นอกจากนี้ยังเติมซิงค์ออกไซด์เพื่อเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการอบร้อนอีกด้วย

- อุตสาหกรรมเซรามิก ในอุตสาหกรรมกระเบื้องอาศัยลักษณะสมบัติการต้านทานความร้อนและทนอุณหภูมิสูงออกไซด์ ทำให้ผลิตภัณฑ์เซรามิกกระเบื้องไม่เกิดการขยายตัวเมื่อได้รับอุณหภูมิสูง และลดการเปลี่ยนแปลงของความหนืดของสารเคลือบผิว และซิงค์ออกไซด์ในปริมาณน้อยยังช่วยในการปรับปรุงพื้นผิวที่มันเงาและวาวของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

- อุตสาหกรรมสี เนื่องจากซิงค์ออกไซด์มีค่าดัชนีหักเหสูง (High refractive index) ทำให้มีความสว่าง มีสีขาวซึ่งเป็นที่รู้จักในชื่อของ “Zinc white” หรือ “Chinese white” จึงนิยมใช้เป็นส่วนผสมของสี เช่น สารให้สีขาวในกระดาษทำให้กระดาษมีสีขาวและสว่าง หรือน้ำยาเคลือบผิว

- อุตสาหกรรมพลาสติก นิยมใช้ซิงค์ออกไซด์เพื่อให้เกิดการต้านทานต่อความร้อน การเปลี่ยนแปลงเชิงกลและการกันน้ำหรือกันไฟ โดยใช้เป็นสารให้ความคงตัว (Stabilizer) ในการผลิตเรซินประเภทพอลิโอเลฟิน (Polyolefin) สำหรับการผลิตพลาสติกชนิด พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) พอลิโพรพิลีน (PP) พอลิเอสเตอร์ (Polyester) ที่ไม่อมตัว

- อุตสาหกรรมเครื่องสำอาง นำซิงค์ออกไซด์ไปเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ครีมกันแดด ครีมบำรุงผิว ครีมรองพื้น แป้งทาหน้า ครีมเพิ่มความชุ่มชื้น เนื่องจากซิงค์ออกไซด์จะทำให้เครื่องสำอางเหล่านี้มีติดผิวได้ดีและเป็นสารดูดซับแสงยูวี ซึ่งทำให้ผิวได้รับแสงยูวีน้อยลงทั้งในส่วนของ UVA และ UVB

- อุตสาหกรรมผลิตสารเร่งปฏิกิริยา การนำซิงค์ออกไซด์ไปใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา ซึ่งมักนิยมใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หลายชนิด เช่น ในการผลิตเมทานอล การผลิตไอโซบิวทิลแอลกอฮอล์ การผลิตพอร์มัลดีไฮด์

## 2.2 เส้นใย [21]

เส้นใยสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

1. เส้นใยจากธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยที่มีอยู่ในธรรมชาติ แบ่งได้เป็น

- เส้นใยจากพืช ได้จากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ป่าน ปอ ลินิน ฝ้าย
- เส้นใยจากสัตว์ ได้แก่ ขนสัตว์ ไหม ผม เล็บ เขา ใยไหม
- เส้นใยจากสินแร่ เช่น แร่ใยหิน ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี ทนไฟ ไม่นำไฟฟ้า

2. เส้นใยสังเคราะห์ เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์ เช่น พอลิเอไมด์ พอลิเอสเตอร์ พอลิอะคริโลไนไตรท์ เป็นต้น

3. เส้นใยกึ่งสังเคราะห์ เป็นเส้นใยที่ได้จากการนำสารจากธรรมชาติ มาปรับปรุงโครงสร้างให้เหมาะกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2.2 ข้อดีและข้อเสียของผลิตภัณฑ์สิ่งทอจากเส้นใย [21-22]

ชนิดของเส้นใย	ข้อดี	ข้อเสีย
เส้นใยธรรมชาติ	สวมใส่สบาย ระบายเหงื่อได้ดี ย้อมสีได้ง่าย ย่อยสลายได้	ไม่ทนต่อเชื้อรา สิ่งสกปรกเกาะติดง่าย ยับง่าย
เส้นใยสังเคราะห์	แข็งแรงและทนทาน ทนต่อเชื้อรา ไม่ยับง่าย	สวมใส่ไม่สบาย ระบายเหงื่อได้ไม่ดี ย่อยสลายได้ยาก

### 2.2.1 เส้นใยฝ้าย (Cotton) [22-23]

ต้นฝ้ายเป็นพืชที่ทนทานต่อความแห้งแล้ง สามารถปลูกขึ้นได้ดีในแถบที่มีอากาศอุ่นชื้น และมีแดดจัด หลังจากดอกฝ้ายผสมเกสรแล้วเติบโตเป็นลูกฝ้ายหรือที่เรียกกันทั่วไปว่าสมอฝ้าย เมื่อต้นฝ้ายแก่เต็มที่ สมอฝ้ายจะแตกออกเป็นปุยฝ้าย ดังแสดงในรูปที่ 2.5 จากนั้นนำมาแยกเอาเปลือกและเมล็ดออก เก็บปุยฝ้ายมาปั่นเป็นเส้นใยฝ้าย ฝ้ายเหมาะสมสำหรับการสวมใส่ในช่วงที่มีอากาศร้อนในฤดูร้อน หรือสามารถสวมใส่ได้ทุกวันกับประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้นทั้งปี เพราะในเนื้อเส้นใยฝ้ายนั้นสามารถซึมซับเหงื่อและระบายออกได้อย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.5 ลักษณะของปุยฝ้าย [22]

สมบัติต่างๆ ของเส้นใยฝ้าย มีดังนี้ [24-25]

#### 1. สมบัติทางกายภาพ

- ลักษณะภายนอก ฝ้ายจากธรรมชาติมีลักษณะหยาบเป็นหลอดแบนบิดขั้วกันเป็นเกลียวผิวของเส้นใยไม่เรียบและทึบแสง ซึ่งลักษณะผิวนี้มีผลต่อความเป็นมันวาว สมบัติต่อผิวสัมผัส เนื้อผ้า และการเปื้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขนาดเส้นใย 16 - 20  $\mu\text{m}$
- ความยาวเส้นใย เส้นใยแต่ละเส้นมีความยาวอยู่ในช่วง 3 - 63 mm ตรงส่วนกลางของเส้นใยจะกว้างกว่าส่วนหัวและปลาย ส่วนความยาวใยฝ้ายขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ขึ้นอยู่กับพันธุ์ฝ้าย สภาพดินฟ้าอากาศ และการเจริญเติบโต เส้นใยฝ้ายส่วนใหญ่จะยาวประมาณ 7/8 นิ้ว และขนาดที่นิยมนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรมสิ่งทอคือใยฝ้ายที่ยาวประมาณ 1/2 นิ้ว

- สี ฝ้ายมีสีขาว บางชนิดอาจพบสีครีมหรือสีน้ำตาล
- ความมันเงา มีความมันน้อย
- ความเหนียว ฝ้ายจะมีความเหนียวปานกลาง คือจะเหนียวประมาณ 3.0 - 5.0 กรัมต่อดีเนียร์ ความเหนียวจะเพิ่มขึ้นเมื่อเปียก ความเหนียวเมื่อเส้นใยเปียกจะมากกว่าความเหนียวเมื่อแห้งประมาณ 25 - 40% ความยืดหยุ่นและการยืดได้ในฝ้ายจะยืดหยุ่นได้ค่อนข้างต่ำ

- ความแข็งแรง ฝ้ายมีความแข็งแรงปานกลาง เมื่อเปียกน้ำฝ้ายจะมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นอีกประมาณ 10 - 20% โดยทั่วไปความแข็งแรงของฝ้ายแปรผันโดยตรงตามความยาวของเส้นใย

- ความคืนตัว ฝ้ายคืนตัวได้ต่ำ และยับง่ายมาก
- การดูดความชื้น ดูดความชื้นได้สูงถึง 7 - 10% จึงสามารถดูดซับความชื้นจากเหงื่อและน้ำได้ดีและสามารถระบายความชื้นได้เร็ว
- การติดไฟและทนความร้อน ฝ้ายติดไฟง่ายและเร็ว มีขี้เถ้าเหลือน้อยและมีสีเทา ถ้าถูกความร้อนที่อุณหภูมิ 149  $^{\circ}\text{C}$  จะทำให้เส้นใยเสื่อมคุณภาพ

## 2. สมบัติทางเคมี

- กรด กรดอินทรีย์ เช่น กรดแอสติกไม่เป็นอันตรายต่อฝ้าย แต่ถ้าเป็นกรดกำมะถันหรือกรดไฮโดรคลอริกจะละลายฝ้ายเป็นยางเหนียว

- ด่าง ฝ้ายทนต่อสารละลายด่างได้ดี ด่างแก่ที่ใช้เป็นสบู่ออกซิไดซ์ไม่มีผลต่อสมบัติของฝ้าย แต่สารซักฟอกประเภทสารออกซิไดซ์ เช่น โซเดียมไฮโปคลอไรต์ มีผลทำให้ฝ้ายมีสมบัติเปลี่ยนไป คือ มีความแข็งแรงลดลงจากเดิม ขาดง่ายเมื่อเปียก และเปลี่ยนเป็นสีเหลือง

- สารละลายอินทรีย์ ฝ้ายสามารถซักแห้งได้ เนื่องจากมีความทนทานต่อสารละลายอินทรีย์ส่วนใหญ่ดีมาก

- ระเบิด ฝ้ายเกิดระเบิดได้ง่าย เนื่องจากแบ่งที่ตกค้าง มาจากการลงแป้ง
- การย้อมสี ฝ้ายสามารถย้อมสีติดได้
- แสง ฝ้ายถ้าตากแดดจัดไว้นานเกินไป จะทำให้กลายเป็นสีเหลืองและเสื่อมคุณภาพได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การเก็บรักษา

ผ้าฝ้ายควรเก็บไว้ในที่แห้งและมีแสงสว่างน้อย ซึ่งทำให้ผ้าอยู่สภาพเดิมได้นาน อย่าเก็บผ้าฝ้ายไว้ที่อับชื้นและอุ่นเพราะผ้าฝ้ายจะขึ้นราง่าย ซึ่งจะทำให้ผ้าเสื่อมคุณภาพและขาดเร็วกว่าปกติ

### การนำไปใช้ประโยชน์

ปุ๋ยฝ้ายหรือเส้นใยจากเมล็ด สามารถนำไปใช้ทอเป็นผ้าฝ้าย เส้นด้าย สำลี ผสมในกระดาษ และกระดาษพิมพ์ ส่วนขนปุ๋ยสั้น ๆ ที่ติดอยู่ที่เมล็ดจะนำมาใช้ทำพรม โดยใช้พื้นรองพรมเป็นเส้นใยปอแก้ว ฝ้าย 10 kg จะให้เส้นใยประมาณ 3.5 kg ส่วนเมล็ดใช้สกัดเอาน้ำมันเรียกว่า “น้ำมันเมล็ดฝ้าย” ฝ้าย 10 kg จะให้น้ำมันประมาณ 1 kg

### 2.2.2 เส้นใยอะคริลิก [26]

เส้นใยอะคริลิก (Acrylic) เป็นเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งประกอบด้วยโพลิเมอร์ของอะคริโลไนไตรล์ (Acrylonitrile) อย่างน้อย 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก สามารถผลิตได้ทั้งแบบเปียก (Wet spinning) และแบบแห้ง (Dry spinning) เส้นใยอะคริลิกมีสมบัตินุ่ม เบา มีความยืดหยุ่นน้อย สามารถคืนตัวได้ดี ทนต่อแสง สารฟอกขาว เหงื่อ ราและแมลงได้ดี ไม่นำความร้อน จึงเหมาะสำหรับใช้ทำขนสัตว์เทียม

#### 1. สมบัติทางกายภาพ

- รูปร่างของเส้นใย มีลักษณะโปร่ง ไม่บิด โดยทั่วไปถ้าดูตามภาคตัดขวางจะเห็นเป็นรูปต่าง ๆ กัน แล้วแต่ชนิด
- ความเหนียว มีความเหนียวแตกต่างกันแล้วแต่ชนิด โดยเส้นใยแห้งจะมีค่าความเหนียวที่ประมาณ 2 - 4 กรัมต่อดีเนียร์ เมื่อเปียกความเหนียวจะลดลง
- การยืดหยุ่น มีความยืดหยุ่นที่แตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิด ซึ่งมักอยู่ช่วงระหว่าง 20 - 55% เมื่อเปียกเส้นใยจะยืดตัวได้มากกว่าเมื่อแห้ง
- การดูดความชื้น ดูดความชื้นได้ดี
- การคงรูป มีการคงรูปที่ดี ไม่ย้วยง่าย

#### 2. สมบัติทางเคมี

- กรด ทนต่อกรดแรงและกรดอินทรีย์เจือจางได้ดี กรดเข้มข้นทำให้ความเหนียวของเส้นใยลดลงและละลายได้
- ด่าง ทนต่อด่างอ่อน ๆ ได้ดี ด่างแก่ทำให้เส้นใยเปื่อยและขาดได้

#### 3. สมบัติทางชีวภาพ

- ทนต่อเชื้อรา แมลง และแบคทีเรียทั่วไปได้ดี

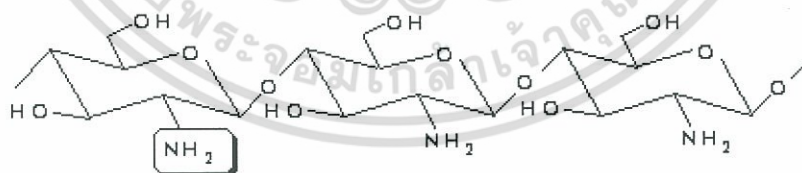
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การนำไปใช้ประโยชน์

เส้นใยอะคริลิกเป็นเส้นใยที่สะดวกในการดูแลรักษา มีน้ำหนักเบา เมื่อผลิตเป็นผ้า จะได้ผ้าที่มีผิวสัมผัสนุ่มนวล ให้ความอบอุ่นคล้ายเส้นใยขนสัตว์ จึงนิยมนำไปผสมกับเส้นใยขนสัตว์ ทำผ้าขนสัตว์เทียม เช่น ใช้ทำเป็นผ้าห่ม พรม เสื้อกันหนาว แต่เนื่องจากเส้นใยอะคริลิก ดูดความชื้น ได้ต่ำ ผ้าอะคริลิกจะสะสมประจุไฟฟ้าสถิต ทำให้สวมใส่ไม่สบาย การซักทำความสะอาด ซักได้ทั้งซัก เปียกและซักแห้ง ไม่ควรใช้ความร้อนในการซัก ไม่ควรต้มผ้า เพราะจะทำให้ผ้าหดเสียรูปทรงได้ ผ้าอะคริลิกมีชื่อการค้าหลายชื่อ เช่น Orlon, Acrilan, Zefran, Creslan

## 2.3 ไคโตซาน [27]

ไคโตซานจัดเป็นสารอนุพันธ์ของไคตินที่ผลิตได้จากการทำปฏิกิริยากับด่างเข้มข้นเพื่อกำจัด หมู่อะซิดิลออก ทำให้โมเลกุลเล็กลงและมีสมบัติที่อ่อนตัวสามารถขึ้นรูปเป็นเจล เม็ด เส้นใย หรือ คอลลอยด์ รวมถึงการใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ได้มากขึ้น นอกจากนี้ ไคโตซานประกอบด้วย หมู่อะมิโน ( $-NH_2$ ) และหมู่ไฮดรอกซิล ( $-OH$ ) ที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารอื่นเปลี่ยนเป็นสารอนุพันธ์ อื่น ๆ ได้หลากหลาย โครงสร้างโมเลกุลของไคโตซาน ดังแสดงในรูปที่ 2.6 โดยธรรมชาติแล้ว ไคโตซานจะไม่ละลายน้ำเช่นเดียวกับเปลือกกุ้ง กระจดองปู หรือเปลือกไม้ทั่วไป แต่ไคโตซานจะละลาย ได้ดีเมื่อใช้กรดอินทรีย์เป็นตัวทำละลาย สารละลายของไคโตซานจะมีความข้นเหนียวแต่ใสคล้ายวุ้น หรือพลาสติกใส ยืดหยุ่นได้เล็กน้อยจึงมีสมบัติที่พร้อมจะทำให้เป็นรูปแบบต่าง ๆ ได้ง่าย โดยเฉพาะถ้า ต้องการทำเป็นแผ่นหรือเยื่อบาง ๆ เป็นเจล หรือรูปร่างเป็นเม็ด เกล็ด เส้นใย สารเคลือบและคอล-ลอยด์ นอกจากนี้ไคโตซานยังย่อยสลายตามธรรมชาติจึงไม่เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตเมื่อกินเข้าไป และไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเติมลงไป在水里หรือในดินเพื่อการเกษตร



รูปที่ 2.6 โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน [28]

## การนำไปใช้ประโยชน์

ไคโตซานเป็นสารพอลิเมอร์ชีวภาพที่ถูกนำมาใช้ประโยชน์ในด้านต่าง ๆ มากมาย ดังต่อไปนี้

- อุตสาหกรรมอาหาร ไคโตซานมีสมบัติในการต่อต้านจุลินทรีย์และเชื้อราบางชนิด โดยมีกลไก

คือ ไคโตซานมีประจุบวกสามารถจับกับเซลล์เมมเบรนของจุลินทรีย์ที่มีประจุลบได้ ทำให้เกิดการ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร่วไหลของโปรตีนและสารอื่นของเซลล์ ในหลายประเทศได้ขึ้นทะเบียนโคโตซานให้เป็นสารที่ใช้เติมในอาหารได้ โดยนำไปใช้เป็นสารกักตุน สารช่วยรักษากลิ่น รส และสารให้ความข้นหนืด ใช้เป็นสารเคลือบอาหาร ผัก และผลไม้ เพื่อรักษาความสดหรือผลิตในรูปฟิล์มที่รับประทานได้ (Edible film) สำหรับบรรจุอาหาร นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารเติมแต่งในน้ำผลไม้ ด้วยการเติมสารโคโตซานเพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นสารช่วยตกตะกอน (Fining agent) และควบคุมสภาพความเป็นกรดของน้ำผลไม้ได้ดี

- อุตสาหกรรมกำจัดของเสีย โคโตซานมีคุณสมบัติที่สามารถดูดซับและจับกับสารอินทรีย์จำพวกโปรตีน ไขมัน สี รวมถึงสารจำพวกโลหะหนักได้ดี โดยทั่วไปน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหาร มีสารแขวนลอยสูง โคโตซานมีประจุบวกสามารถจับกับโปรตีนและไขมันได้ดี นอกจากนี้โคโตซานยังสามารถดูดซับไอออนของโลหะหนักและจับสีย้อม ซึ่งช่วยในการบำบัดน้ำเสีย

- ด้านอาหารเสริม โคโตซานช่วยลดคอเลสเตอรอลชนิด LDL และไขมันไตรกลีเซอไรด์ในเส้นเลือด โดยโคโตซานไปจับกับคอเลสเตอรอลทำให้ร่างกายไม่สามารถดูดซึมไปใช้หรือดูดซึมได้น้อยลงและคนไม่สามารถย่อยโคโตซานได้ทั้งหมดจึงถูกขับออกมาพร้อมกับอุจจาระ โดยที่มีคอเลสเตอรอลและไขมันส่วนเกินตามออกมาด้วย จึงนิยมนำโคโตซานผลิตเป็นอาหารเสริมเพื่อลดน้ำหนัก แต่โคโตซานสามารถจับวิตามินที่ละลายได้ในไขมัน (วิตามินเอ ดี อี เค) อาจทำให้ขาดวิตามินเหล่านี้ได้

- อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ โคโตซานมีคุณสมบัติสามารถอุ้มน้ำได้ดีและการเป็นฟิล์มบาง ๆ คลุมผิวหนังป้องกันการเสียความชุ่มชื้นของผิว โคโตซานจึงถูกนำไปใส่ในเครื่องสำอางค์สำหรับผิวหนังและเส้นผมเนื่องจากโคโตซานมีประจุบวกทำให้มันสามารถเกาะกับประจุลบของผิวหนังและเส้นผมได้ จึงถูกนำไปใส่ในเครื่องสำอางค์ที่มีส่วนผสมของกรดผลไม้ธรรมชาติที่เรียกว่า กรดแอลฟาไฮดรอกซี (Alpha hydroxyl acid; AHA) กรดพวกนี้จะกระตุ้นให้ผิวหนังเก่าหลุดลอกเพื่อสร้างผิวใหม่ทำให้ผิวดูอ่อนเยาว์ขึ้น ส่วนในการบำรุงเส้นผมโคโตซานจะทำให้เส้นผมคงสภาพนุ่มสลวยไม่เสียง่าย

- ใช้ในทางการแพทย์ โคโตซานมีคุณสมบัติสามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ได้ เป็นสารแอนติออกซิแดนซ์ (Antioxidant) มีคุณสมบัติเป็นสารก่อฟิล์ม สามารถนำมาเตรียมเป็นแผ่นฟิล์มที่มีลักษณะบางใส นำมาปิดรักษาบาดแผลผ่าตัด แผลไฟไหม้ น้ำร้อนลวก ช่วยป้องกันการติดเชื้อของแผล กระตุ้นให้มีการผลิตและสร้างเซลล์ใหม่ ซึ่งมีคุณสมบัติพิเศษกว่าพลาสติกปิดแผลทั่วไป เพราะโคโตซานซัลเฟตสามารถยับยั้งการแข็งตัวของเลือดและปลดปล่อยไลโปโปรตีนไลเปส (Lipoprotein lipase) โดยนำมาประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการฟอกเลือดเพื่อป้องกันการแข็งตัวของเลือด ใช้ผลิตหนังเทียม ผลิตยาลดไขมันในเลือด ใช้เคลือบยาเม็ดแคปซูล ใช้เป็นสารตัวกลางที่จะปลดปล่อยยาออกมาอย่างช้า ๆ ควบคุมคลอเรสเตอรอล ยับยั้งการเกิดมะเร็ง ด้านไวรัส

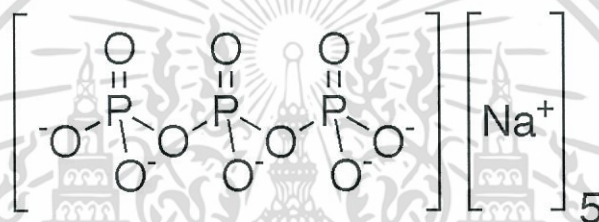
- อุตสาหกรรมเภสัชกรรม เนื่องจากโคโตซานมีคุณสมบัติเป็นสารก่อฟิล์มและเจลใสไม่มีสี ไม่มีกลิ่น สามารถนำมาฉีดพ่นเคลือบผิวเพื่อรักษาอายุของผลผลิตทางการเกษตรและมีคุณสมบัติยับยั้ง

เชื้อราและแบคทีเรียบางชนิดที่ก่อโรคแก่พืชได้ นอกจากนี้โคโตซานยังใช้เร่งการเจริญเติบโตของพืช เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำหน้าที่เป็นฮอร์โมนกระตุ้นการเกิดรากและใช้สำหรับปรับปรุงดิน เช่น เพิ่มธาตุอาหารในดิน ปรับปรุงดินเค็ม และปรับปรุงดินที่เป็นกรดเป็นต่าง

## 2.4 โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต [29]

โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (STPP - Sodium Tripolyphosphate) เป็นเกลือโซเดียมของกรดไตรฟอสฟอริก จากปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration) ระหว่าง โมโนโซเดียมออร์โทฟอสเฟต (Monosodium orthophosphate) และไดโซเดียมออร์โทฟอสเฟต (Disodium orthophosphate) จากสารตั้งต้นคือ กรดฟอสฟอริก (Phosphoric acid) และโซเดียมคาร์บอเนต (Sodium carbonate) เข้มข้นที่อุณหภูมิสูง มีลักษณะเป็นผงหรือเม็ดสีขาว ละลายน้ำได้ โดยมีสูตรเคมี คือ  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต [30]

การนำไปใช้ประโยชน์

โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตเป็นสารที่ทำให้เกิดการระคายเคืองเมื่อมีการสัมผัส ใช้มากในการผลิตผลิตภัณฑ์ทำความสะอาดที่ใช้ทั้งในอุตสาหกรรมและบ้านเรือน ผลิตภัณฑ์อาหาร อาหารสัตว์ โลหะ สี เยื่อกระดาษ และเซรามิก แต่ที่ใช้กันมากจะเป็นการผลิตผงซักฟอก

- อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ทำความสะอาด โดยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟตมีคุณสมบัติลดความกระด้างของน้ำช่วยให้การซักล้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น เป็นสารบัพเฟอร์ จับคราบสกปรกและกันไม่ให้สิ่งสกปรกย้อนกลับมาติดพื้นผิวอีก

- อุตสาหกรรมอาหาร จะช่วยเพิ่มการอุ้มน้ำของเนื้อสัตว์และอาหารทะเล ป้องกันโปรตีนเสื่อมคุณภาพ รักษาสีส้มของผลิตภัณฑ์ ลดการเหี่ยวในอาหารจำพวกไส้กรอก ลดการเกิดเจลในน้ำผลไม้ และเนื้อแฮมกระป๋อง

## 2.5 การเชื่อมโยงแบบไอออนิก [31]

การเชื่อมโยงแบบไอออนิก (Ionic crosslink) เป็นวิธีเตรียมอนุภาคนาโนจากพอลิเมอร์ธรรมชาติที่อาศัยหลักการแรงดึงดูดระหว่างประจุที่ตรงกันข้ามของพอลิเมอร์ธรรมชาติกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารเชื่อมโยง (Crosslinking agent) เช่น ไคโตซาน ซึ่งไคโตซานเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติที่มีประจุบวก สามารถเกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิกกับ STPP ที่มีประจุลบ

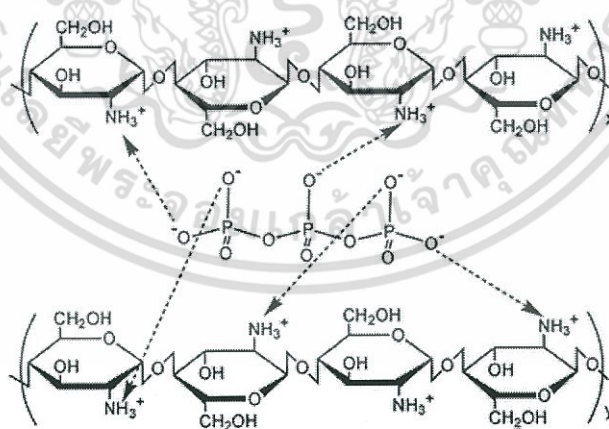
ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของอนุภาคนาโนและประจุบนพื้นผิวของอนุภาคที่ได้ เช่น

- น้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์ ซึ่งถ้าน้ำหนักโมเลกุลของพอลิเมอร์มากอนุภาคที่ได้จะมีขนาดใหญ่

- ความเข้มข้น ปริมาตร และอัตราส่วนของพอลิเมอร์ธรรมชาติกับสารเชื่อมโยง โดยทั่วไปแล้ว ถ้าต้องการให้ได้อนุภาคเล็กขนาดนาโนเมตรควรใช้ความเข้มข้นต่ำ ๆ เนื่องจากถ้าใช้ความเข้มข้นสูงมากจะได้อนุภาคขนาดใหญ่ และอาจเกิดการรวมตัวกัน (Aggregation) เกิดเป็นตกตะกอน

- สารลดแรงตึงผิวอื่น ๆ เพื่อเพิ่มความคงตัวให้กับอนุภาคที่ได้
- อัตราเร็วในการกวนเมื่อสารทั้งสองผสมกันและอัตราเร็วในการหยุดสาร
- ค่าพีเอชของสารละลาย
- อุณหภูมิ

อนุภาคนาโนจากพอลิเมอร์ธรรมชาติที่ใช้วิธีการเชื่อมโยงแบบไอออนิกที่นิยมใช้กันมาก คือ การเตรียมอนุภาคนาโนไคโตซานกับ STPP อนุภาคที่ได้จะมีลักษณะทรงกลม และมีประจุบวกบนพื้นผิว โดยไคโตซานมีระดับการแทนที่ของหมู่อะมิโน (Degree of deacetylation) ถ้าระดับการแทนที่ของหมู่อะมิโนมากอนุภาคที่ได้จะมีขนาดเล็ก เนื่องจากถ้าระดับการแทนที่ของหมู่อะมิโนมาก การละลายในกรดอ่อน เช่น กรดแอสติกและกรดแลคติกก็จะเพิ่มขึ้นด้วย



รูปที่ 2.8 โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบไอออนิก [32]

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยของ M. Shaban และคณะ [33] ได้ทำการศึกษาสมบัติการเร่งปฏิกิริยาโดยใช้แสงของเส้นใยผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เตรียมได้จากกระบวนการโซลเจล โดยเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จากซิงค์อะซิเตตไดไฮเดรต ( $Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$ ) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เริ่มจากเตรียมสารละลาย A โดยละลาย  $Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$  ความเข้มข้น 0.2 M ในเมทานอล 50 ml แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที และเตรียมสารละลาย B โดยละลาย NaOH ความเข้มข้น 0.1 M ในเมทานอล 50 ml แล้วปั่นกวนเป็นเวลา 1h ทำการผสมสารละลายที่เตรียมได้ข้างต้น โดยหยดสารละลาย B ลงใน A พร้อมปั่นกวนจนกระทั่งสารละลายมีค่าพีเอชเท่ากับ 9 นำของผสมที่ได้ไปกรอง แล้วอบที่อุณหภูมิ 50 °C เป็นเวลา 30 นาที และอบที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 30 นาที จะได้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ จากนั้นนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปเคลือบบนเส้นใยผ้าฝ้ายและตรวจวิเคราะห์ลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วย SEM พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีรูปร่างกลม (Spherical) ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 15 nm จากนั้นนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และผ้าที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มาทดสอบสมบัติการเร่งปฏิกิริยาในการดูดซับสีย้อมเมทิลออเรนจ์ ภายใต้แสงอาทิตย์และแสงจากหลอดไฟที่มีกำลัง 200 W พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แสดงสมบัติการเร่งปฏิกิริยาได้ โดยสามารถคำนวณเปอร์เซ็นต์การลดลงของสีย้อมภายใต้แสงอาทิตย์และภายใต้หลอดไฟได้เท่ากับ 93% และ 26.4% ตามลำดับ

งานวิจัยของ E. S. Ates และ H. E. Unalan [34] ทำการเคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีรูปร่างเป็นเส้นลวดระดับนาโนบนเส้นใยผ้าฝ้าย โดยทำการเตรียมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยใช้ซิงค์อะซิเตตไดไฮเดรต ( $Zn(C_2H_3O_2)_2 \cdot 2H_2O$ ) เฮกซะเมทิลลีนเตตราอามีน (Hexamethylenetetramine, HMTA) และ เอทานอลบริสุทธิ์เป็นสารตั้งต้น ทำการสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์โดยใช้คลื่นไมโครเวฟช่วยในการสังเคราะห์ ซึ่งทำให้สังเคราะห์ได้อย่างรวดเร็ว เมื่อนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปวิเคราะห์ด้วย SEM พบว่าเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์มีความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 450 nm และมีเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยเท่ากับ 95 nm จากนั้นทำการปลูกเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์บนเส้นใยผ้าฝ้ายด้วยวิธีการไฮโดรเทอร์มอล โดยเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้รับการปลูกบนเส้นใยผ้าฝ้าย แสดงสมบัติทำความสะอาดตัวเองได้ สมบัติความไม่ชอบน้ำยิ่งยวด และสมบัติป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต อีกทั้งพบว่าเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์บนเส้นใยผ้าฝ้ายมีความคงตัวจากการซักถึง 4 ครั้งและสามารถดูดซับสีย้อมเมทิลีนบลูภายใต้รังสีอัลตราไวโอเล็ตได้ ผลการศึกษานี้ชี้ให้เห็นว่าเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถเพิ่มประโยชน์ที่หลากหลายเหมาะสมสำหรับสิ่งทอ

งานวิจัยของ S. Kathirvelu และคณะ [35] ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และประยุกต์ใช้ในเส้นใยผ้าฝ้ายและเส้นใยผสมพอลิเอสเตอร์/ผ้าฝ้าย เพื่อปรับปรุงสมบัติการป้องกันรังสี UV ของเส้นใยที่เตรียมได้ ทำโดยสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยใช้ซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) และ NaOH เป็นสารตั้งต้น เริ่มจากนำ  $ZnCl_2$  5.5 g ละลายในน้ำ 200 ml ทำ

ในอ่างน้ำมันที่อุณหภูมิ 90 °C จากนั้นหยดสารละลาย NaOH ที่ความเข้มข้น 5 M ปริมาณ 16 ml ภายใต้การปั่นกวนที่อุณหภูมิ 90 °C เป็นเวลา 10 นาที ร่อนสารละลายตกตะกอน จากนั้นนำตะกอนไปล้างด้วยน้ำกลั่น 5 ครั้งและล้างด้วย NaCl อีก 1 ครั้งแล้วนำไปกระจายตัวใน 2-โพรพานอล ในอ่างอัลตราโซนิกที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 10 นาที เพื่อไม่ให้อนุภาคซิงค์ออกไซด์เกาะกลุ่มกัน จากนั้นนำสารผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปหมุนเหวี่ยงแยกตะกอนที่ความเร็ว 6,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 15 นาทีแล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 3 ครั้ง จากนั้นนำตะกอนไปอบที่อุณหภูมิ 250 °C เป็นเวลา 5 h จะได้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ในการสังเคราะห์ที่มีปัจจัยศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิในการไฮโดรเทอร์มอล (90 และ 150 °C) และสารละลายตัวกลางในการทำปฏิกิริยา (น้ำและ 1,2-ethanediol) จากนั้นตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยเทคนิค FT-IR TEM และ XRD พบว่าสภาวะที่ทำให้ปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 150 °C ในสารละลายตัวกลาง 1,2-ethanediol จะได้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดเล็กที่สุดและที่สภาวะใช้อุณหภูมิ 90 °C ที่สารละลายตัวกลางในการทำปฏิกิริยาเป็นน้ำ โดยทั้งสองกรณีได้อนุภาคนาโนที่รูปร่างค่อนข้างกลมและมีขนาดค่อนข้างเล็กจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ดีในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม เมื่อนำไปตรวจวิเคราะห์การดูดกลืนรังสียูวีด้วยเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าเส้นใยผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถดูดกลืนรังสียูวีได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยของ A. Meftahi และคณะ [36] ได้ทำการปรับปรุงสมบัติของผ้าไนลอน/ฝ้าย (NYCO) โดยการใช้อนุภาคนาโนคอมโพสิต ZnO/TiO<sub>2</sub> ที่มีบทบาทสำคัญในสิ่งทอและอุตสาหกรรมเสื้อผ้า ซึ่งผ้า NYCO เป็นผ้าที่นิยมใช้ในการผลิตเสื้อผ้ามากที่สุด เนื่องจากมีสมบัติที่ต้านทานการขีดถูและเสียดสีสูง มีความสามารถในการย้อมสี ทำให้มันเป็นผ้าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานที่หลากหลาย เช่น เสื้อผ้าใช้งานด้านแรงงาน เครื่องแบบและเครื่องแต่งกายทั่วไปโดยเตรียมสารผสมนาโน ZnO/TiO<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ได้แก่ 30 40 50 และ 60 ppm แล้วนำไปเคลือบบนผ้า NYCO จากนั้นนำไปอบที่ 80 °C เป็นเวลา 3 นาที และที่ 160 °C เป็นเวลา 3 นาที นำผ้าที่ได้ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย SEM เพื่อตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาและพื้นผิวของเส้นใย NYCO พบว่าอนุภาคนาโน ZnO/TiO<sub>2</sub> มีการกระจายตัวบนผ้าได้ดีนำผ้าที่เตรียมได้ไปทดสอบสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย *S.aureus* (แกรมบวก) และ *E.coli* (แกรมลบ) ได้ตามมาตรฐาน ASTM พบว่าผ้าที่เคลือบด้วย ZnO/TiO<sub>2</sub> ที่ความเข้มข้นที่ 60 ppm สามารถต้านทานการเจริญเติบโตของเชื้อแบคทีเรีย *E.coli* และ *S.aureus* ได้สูงที่สุด

งานวิจัยของ J. P. Carrola และคณะ [37] ทำการศึกษากระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของ ZnO และศึกษาการดูดซับแสงหลังจากการเติมฟลูออรีนเพื่อเพิ่มการต่อต้านเชื้อแบคทีเรียที่ก่อโรค เช่น *E.coli* และ *S.aureus* โดยเตรียม ZnO ด้วยวิธีการโซล-เจล เริ่มต้นจากผสมซิงค์แอสีเตต-ไดไฮเดรต (Zn(O<sub>2</sub>CCH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>2</sub>) 10.9 g กับสารละลายเอทานอล 300 ml ที่อุณหภูมิ 75 – 78 °C จะได้ส่วนผสม A และเตรียมส่วนผสม B โดยนำกรดออกซาลิก (Oxalic acid) 12.6 g ผสมกับสารละลายเอทานอล 200 ml ที่อุณหภูมิห้อง ในระหว่างการเตรียมส่วนผสม B มีการผสม

สารประกอบฟลูออรีนลงไปด้วย จากนั้นผสม ZnO และ Trifluoroacetic acid (TFA) ในอัตราส่วนต่าง ๆ ได้แก่ ZnO:TFA 1:1 และ ZnO:TFA 1:2 ตามลำดับ ซึ่งการสังเคราะห์จะเกิดจากการผสมระหว่างสารละลาย A และ B จะได้ ซีโรเจล (Xerogel) จากนั้นนำไปทำให้แห้ง จากการตรวจวิเคราะห์โดย XRD สามารถยืนยันได้ว่าองค์ประกอบภายในไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหลังจากเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง ZnO และ TFA และจากการศึกษาแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus* ATCC 6538) และแบคทีเรียแกรมลบ (*E.coli* ATCC 25922) จากการเพาะเลี้ยงเชื้อโดยใช้อาหารเลี้ยงเชื้อคือ Oxoid และ Difco เพื่อเลี้ยงเชื้อ *E.coli* และ *S. Aureus* ตามลำดับ ทั้งไว้ข้ามคืนที่อุณหภูมิ 37 °C จากนั้นปรับความเข้มข้นโดยบัฟเฟอร์ให้เหมาะสม โดยจากการทดลองพบว่า ZnO:TFA 1:1 มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อใช้กับแบคทีเรีย *S. Aureus* ( log Red = 4.62 ซึ่งเทียบเท่ากับการลดของประชากรได้ถึง 99.99% ) และ *E.coli* ( log Red = 2.88 หรือ 99.87% )

งานวิจัยของ Th. I. Shaheen และคณะ [5] ได้ศึกษาการสังเคราะห์เฮกซะเมทิลไตรเอท-ธิลีนเตตระมีน (HMTETA) และนำไปประยุกต์ใช้กับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เพื่อเคลือบลงบนเส้นใยผ้าฝ้าย โดยจะผสมอนุภาคซิงค์ไนเตรต ( $Zn(NO_3)_2$ ) ที่ความเข้มข้นต่างกันคือ 1 2 และ 3 g ลงในสารละลาย HMTETA 50 ml จากนั้นทำการปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 30 นาที ทำปฏิกิริยาได้เป็นสารละลายขุ่นก่อนที่จะมีการก่อตัวเป็นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ แล้วนำไปเคลือบบนเส้นใยผ้าฝ้าย เพื่อให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เข้าไปแทรกตัวอยู่ในเส้นใยผ้าฝ้าย จากนั้นนำไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย TEM FT-IR XRD และ SEM ทำให้ได้ขนาดและการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นไปตามรูปแบบที่กำหนดไว้ นอกจากนี้การฝังตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในเส้นใยผ้าฝ้ายช่วยให้สามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียและป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลตได้

งานวิจัยของ H. Liu และ C. Gao [38] ศึกษาผลของสภาวะการเชื่อมโยงโคโตซานด้วยโซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (STPP) ที่ส่งผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติการบรรจุและปลดปล่อยยา โดยทำการเตรียมสารละลายโคโตซานในกรดแอสติกที่ความเข้มข้น 1.0 - 5.0 mg/ml และเตรียมสารละลาย STPP ในน้ำกลั่นที่ความเข้มข้น 0.25 - 2.0 mg/ml จากนั้นเตรียมอนุภาคโคโตซานโดยเติมสารละลาย STPP 14 ml ลงในสารละลายโคโตซาน 35 ml พร้อมปั่นกวนที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำอนุภาคโคโตซานที่ได้ไปพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย TEM วิเคราะห์ขนาดอนุภาคด้วยเทคนิค Dynamic light scattering (DLS) และเครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ พบว่าขนาดอนุภาคของโคโตซานควบคุมด้วยอัตราส่วนระหว่างโคโตซานและ STPP ความเข้มข้นของสารละลาย และค่าพีเอชของสารละลาย อนุภาคโคโตซานที่เตรียมโดยใช้พีเอชของสารละลายเท่ากับ 4.8 และอัตราส่วนความเข้มข้นของของโคโตซานและ STPP เท่ากับ 2 : 1 mg/ml จะได้อนุภาคนาโนโคโตซานที่มีขนาด 300 nm เมื่อให้ความเข้มข้นของโคโตซานคงที่ แล้วเพิ่มความเข้มข้นของ STPP จะเป็นผลให้อนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กลง แต่เมื่อให้อัตราส่วนโดยมวลของโคโตซานและ STPP คงที่ ขนาดอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นเริ่มต้นของสารตั้งต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานวิจัยของ K. Pandiselvi และ S. Thambidurai [39] ได้ศึกษาการสังเคราะห์สารประกอบโคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์กับพอลิอะนิลีน (CS-ZnO/PANI) ด้วยกระบวนการตกตะกอนอย่างง่าย ร่วมกับปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์เรซิน ซึ่งสามารถเตรียมได้จากการนำโคโตซาน 0.12 g ไปละลายด้วยกรดอะซิติก 50 ml พร้อมการปั่นกวนเป็นเวลา 1 h จากนั้นเติมสารละลาย ZnCl<sub>2</sub> เข้มข้น 2.5 %w/v ปริมาตร 50 ml พร้อมปั่นกวนที่อุณหภูมิ 80 °C เป็นเวลา 1 h หลังจากนั้นทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้องแล้วเติม NaOH เข้มข้น 2 M จะได้ตะกอนสีขาว นำตะกอนที่ได้ล้างด้วยน้ำกลั่น จะได้สารประกอบโคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์ จากนั้นเตรียมสารละลายพอลิอะนิลีน โดยละลาย PANI 0.9 ml ด้วยกรด HCl เข้มข้น 1 M แล้วเติมแอมโมเนียมเปอร์ซัลเฟต (APS) 0.25 M ในอ่างที่อุณหภูมิ 0 - 5 °C เป็นเวลา 1 h จะเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์เรซินได้สารละลาย PANI แล้วผสมสารประกอบโคโตซาน-ซิงค์ออกไซด์กับสารละลาย PANI ภายใต้การปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งไว้ให้เกิดปฏิกิริยาสมบูรณ์เป็นเวลา 24 h แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น จากนั้นทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C จะได้สารประกอบ CS-ZnO/PANI โดยอนุภาคของสารประกอบมีสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย จากงานวิจัยนี้จะใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* และ *P. aeruginosa* ในขณะที่เชื้อราจะใช้เชื้อ *C. albicans* ซึ่งจะมีการแพร่กระจายได้ดี นอกจากนี้ได้ทำการพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Light microscope) กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเลเซอร์ (Confocal Laser Scanning Microscope, CLSM) FT-IR XRD และ TEM โดยสารประกอบ CS-ZnO/PANI มีขนาดอนุภาค 50-200 nm และพบว่าชั้นไบโอฟิล์มถูกทำลายเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงและกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสงเลเซอร์ โดยสารประกอบ CS-ZnO/PANI ว่ามีสเปกตรัมที่กว้างบ่งบอกถึงการต้านแบคทีเรียที่เพิ่มขึ้นอย่างมากในแบคทีเรียชนิด *S. aureus* และ *P. aeruginosa* และสามารถต้านทานเชื้อราชนิด *C. albicans* ได้มากกว่า 95% เมื่อเทียบกับ CS-ZnO

งานวิจัยของ R. D. Kale และ C. R. Meena [40] ทำการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าไนลอนเพื่อศึกษาสมบัติต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยงานวิจัยนี้สังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยสองวิธีที่แตกต่างกันได้แก่ วิธีโซลเจลและวิธีการตกตะกอน ซึ่งวิธีโซลเจลทำโดยละลายซิงค์อะซิเตทไดไฮเดรต 10.98 g ในเอทานอล 300 ml ที่อุณหภูมิ 60 °C เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเติมสารละลายกรดออกซาลิก พร้อมการปั่นกวน จะเกิดเจลสีขาว นำไปทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 °C ในขณะที่วิธีการตกตะกอนจะมีขั้นตอนในการทำเหมือนวิธีโซลเจลแต่จะใช้ไอเทนไดออล เป็นตัวทำละลาย จากนั้นนำสารที่สังเคราะห์ได้ไปทำการเคลือบบนเส้นใยไนลอนด้วยเทคนิคเลเยอร์บายเลเยอร์ (Layer-by-layer technique, Lbl) ซึ่งความหนาของแต่ละชั้นอยู่ในระดับนาโน จากนั้นนำตัวอย่างที่เคลือบผิวแล้วไปตรวจเอกลักษณ์ด้วย TEM ซึ่งอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ทั้ง 2 วิธี มีลักษณะทางสัณฐานวิทยามีรูปร่างกลม มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีโซลเจลและวิธีการตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 20 - 40 nm และ 20 - 50 nm ตามลำดับและวิเคราะห์ด้วย XRD พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความบริสุทธิ์สูง และจากพิกที่กว้างแสดงถึงขนาดอนุภาคที่สังเคราะห์ได้

ค่อนข้างเล็ก และพิกที่ปรากฏแสดงโครงสร้างแบบเฮกซะโกนอลของซิงค์ออกไซด์ โดยอนุภาคนาโนเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้พบว่ามีคุณภาพเทียบเคียงกับนาโนซิงค์ออกไซด์เชิงพาณิชย์ และมีประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย โดยเส้นใยไนลอนที่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เส้นใยผสม (Cotton 70%, Acrylic 30%) ห้างหุ้นส่วนจำกัด ชวนฮั่ว
2. ไคโตซาน (Chitosan) บริษัท ไบโอ21 จำกัด เกรดการค้า
3. โซเดียมไตรพอลิฟอสเฟต (Sodium tripolyphosphate, STPP) บริษัท รวมเคมี จำกัด

เกรดการค้า

4. แอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ (Ammonium hydroxide,  $\text{NH}_4\text{OH}$ ) Lab-Sca, Co.,Ltd.

เกรดวิเคราะห์

5. กรดแอซิดริก (Acetic acid,  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) J.T.Baker, Co.,Ltd. เกรดวิเคราะห์
6. ซิงค์ไนเตรทเฮกซะไฮเดรต (Zinc nitrate hexahydrate,  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )

Carlo Erba, Co.,Ltd. เกรดวิเคราะห์

7. กรดไนตริก (Nitric acid,  $\text{HNO}_3$ ) SD Fine-Chem Limited, Co.,Ltd. เกรดวิเคราะห์
8. น้ำกลั่น (Distilled water)
9. เชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ATCC, Co.,Ltd.
10. เชื้อแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ATCC, Co.,Ltd.

#### 3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscope, SEM)

Jeol, Co.,Ltd รุ่น JSM-5410LV

2. เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic absorption spectroscopy,

AAS) Shimadzu, Co.,Ltd รุ่น 200 NEW

3. เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer)

PG Instrument,co.,Ltd รุ่น T90

4. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (Differential scanning calorimeter, DSC

Netsch (Thailand) Co.,Ltd. รุ่น DSC 204 F1 Phoenix

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy, FT-IR) PERKIN ELMER, Co.,Ltd รุ่น FT-IR Spectrum GX

6. ตู้อบ บริษัท Fisher Science, Co.,Ltd รุ่น ISOTEMP

7. เครื่องชั่งน้ำหนักอย่างละเอียด 4 ตำแหน่ง Denver Instrument, Co.,Ltd.

รุ่น TC-254

8. ผลิตภัณฑ์เครื่องแก้ว

9. ขวดแก้วระบบปิด

### 3.3 วิธีการทดลอง

#### 3.3.1 การปรับปรุงพื้นผิวเส้นด้ายผสมด้วยไคโตซานและไคโตซานที่เชื่อมโยง

1. ทำความสะอาดเส้นด้าย โดยชั่งเส้นด้าย 0.1 g นำไปต้มในน้ำร้อนเป็นเวลา 20 นาที แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง

2. เตรียมสารละลายไคโตซานเข้มข้น 0.05% w/v โดยชั่งไคโตซาน 0.05 g เติมสารละลายกรดแอซิติกเข้มข้น 1% v/v 100 ml ลงในบีกเกอร์ และคนให้สารละลายผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

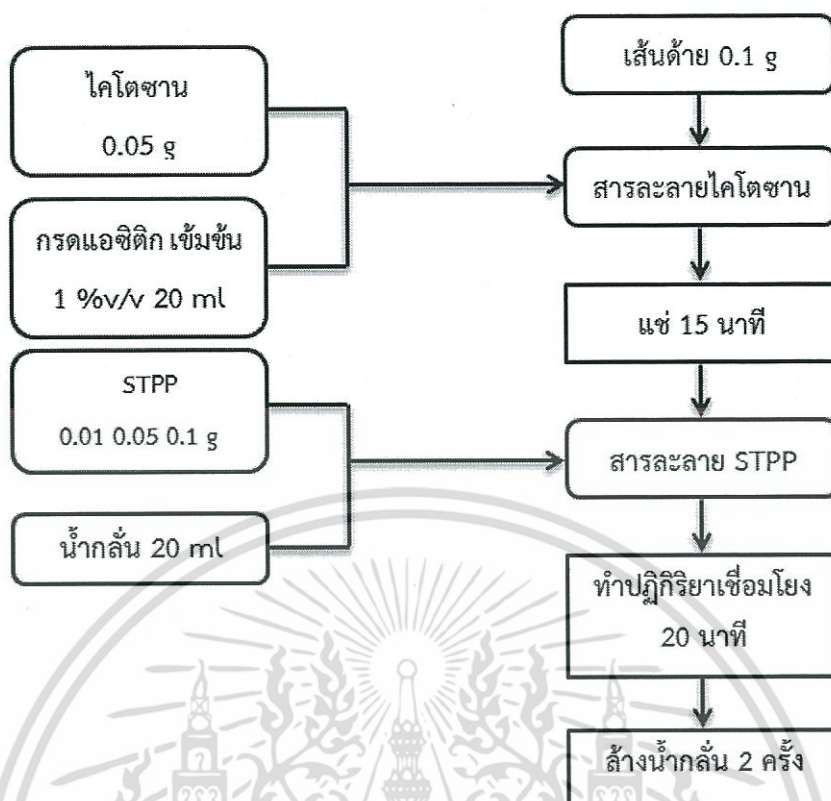
3. นำเส้นด้ายมาแช่ในสารละลายไคโตซาน 20 ml เป็นเวลา 15 นาที

4. เตรียมสารละลาย STPP ที่ความเข้มข้น 0.01 0.05 และ 0.1% w/w เติมน้ำกลั่น 20 ml ลงในบีกเกอร์ และคนให้สารละลายผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

5. นำเส้นด้ายที่ผ่านการแช่สารละลายไคโตซาน มาแช่ในสารละลาย STPP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 20 นาที

6. นำเส้นด้ายไปล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง

7. นำเส้นด้ายที่เคลือบด้วยไคโตซานและไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ไปตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ด้วย DSC



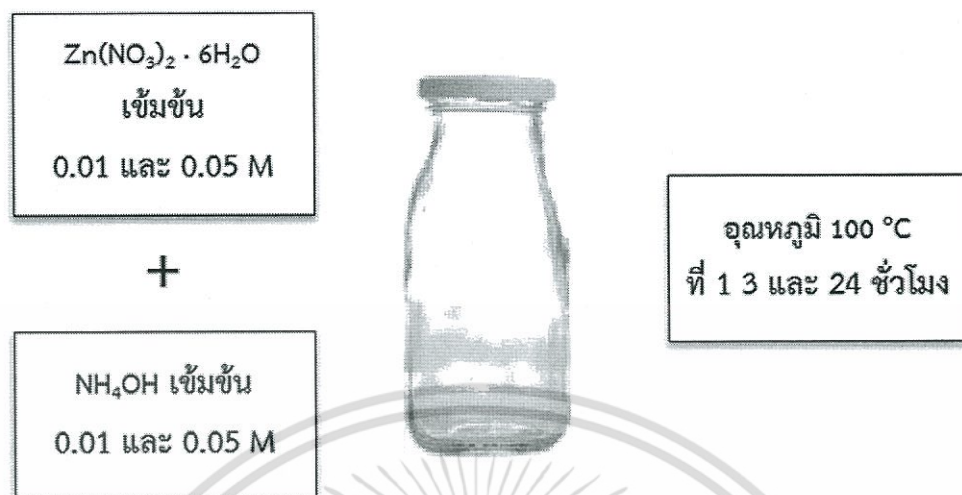
รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงการเตรียมสารละลายไคโตซาน

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการปรับปรุงพื้นผิวเส้นด้าย

ชื่อตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้	
	Chitosan (%w/v)	STPP (%w/w)
Chi-S0.01	0.05	0.01
Chi-S0.05		0.05
Chi-S0.1		0.1

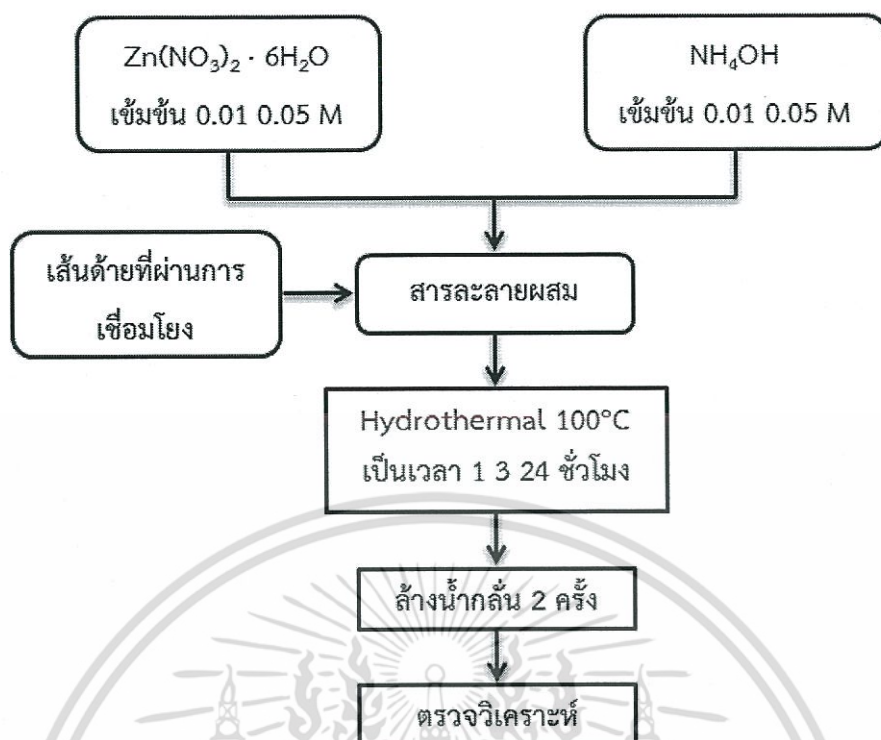
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.2 การตรึงอนุภาคซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสม (Zn sol)



รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสม (Zn sol)

1. เตรียมสารละลาย  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 M
2. เตรียมสารละลายเบส  $\text{NH}_4\text{OH}$  ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 M
3. นำสารละลาย  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  20 ml และสารละลายเบส  $\text{NH}_4\text{OH}$  20 ml ผสมลงในขวดแก้ว ดังรูปที่ 3.2
4. นำเส้นด้ายที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.3.1 มาใส่ลงในขวดแก้วข้างต้น
5. นำขวดแก้วที่เตรียมได้ข้างต้นมาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 100 °C โดยใช้เวลาต่างกัน คือ 1 3 และ 24 h
6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ SEM AAS FT-IR UV-visible spectrophotometer และ DSC

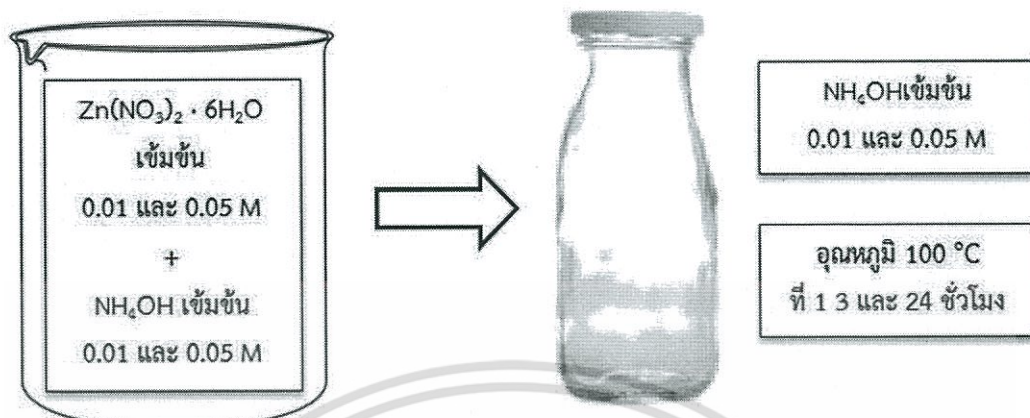


รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสม (Zn sol)

ตารางที่ 3.2 สภาวะในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสม (Zn sol) โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 1 3 และ 24 h

ชื่อตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้			
	Chitosan (%w/v)	STPP (%w/w)	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O (M)	NH <sub>4</sub> OH (M)
Chi-S0.01-Zn0.01/Sol	0.05	0.01	0.01	0.01
Chi-S0.05-Zn0.01/Sol		0.05		
Chi-S0.1-Zn0.01/Sol		0.1		
Chi-S0.01-Zn0.05/Sol	0.05	0.01	0.05	0.05
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol		0.05		
Chi-S0.1-Zn0.05/Sol		0.1		

### 3.3.3 การเตรียมอนุภาคซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )



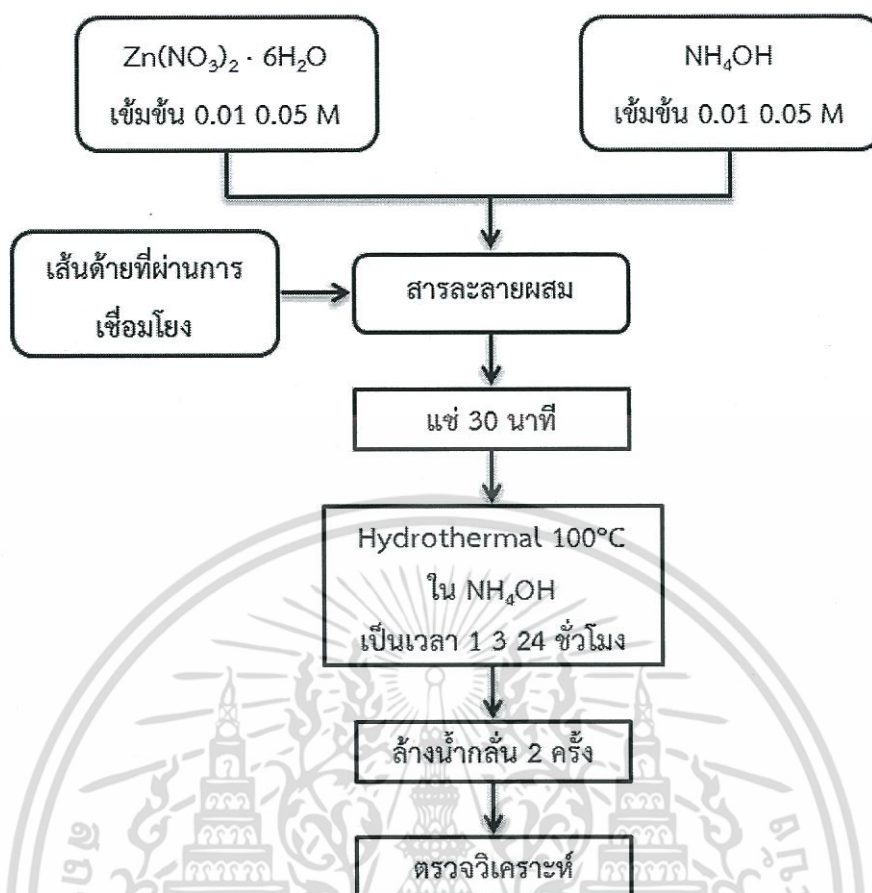
รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส ( $\text{NH}_4\text{OH}$ )

1. เตรียมสารละลาย  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 M
2. เตรียมสารละลายเบส  $\text{NH}_4\text{OH}$  ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 M
3. นำสารละลาย  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  20 ml และสารละลายเบส  $\text{NH}_4\text{OH}$  20 ml ผสม

ลงในบีกเกอร์ ดังรูปที่ 3.4

4. นำเส้นด้ายที่เตรียมได้จากหัวข้อ 3.3.1 มาแช่ในบีกเกอร์ข้างต้น เป็นเวลา 30 นาที
5. จากนั้นนำเส้นด้ายที่เตรียมได้ข้างต้นมาทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส  $\text{NH}_4\text{OH}$  ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 M ที่อุณหภูมิ 100 °C โดยใช้เวลาต่างกัน คือ 1 3 และ 24 h

6. นำผลิตภัณฑ์ที่ได้มาทำให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง แล้วนำไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ SEM AAS FT-IR UV-visible spectrophotometer และ DSC



รูปที่ 3.5 แผนภาพแสดงการเตรียมซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส (NH<sub>4</sub>OH)

ตารางที่ 3.3 สภาวะในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายเบส (NH<sub>4</sub>OH) โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 1 3 และ 24 h

ชื่อตัวอย่าง	สภาวะที่ใช้			
	Chitosan (%w/v)	STPP (%w/w)	Zn(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O (M)	NH <sub>4</sub> OH (M)
Chi-S0.01-Zn0.01/NH	0.05	0.01	0.01	0.01
Chi-S0.05-Zn0.01/NH		0.05		
Chi-S0.1-Zn0.01/NH		0.1		
Chi-S0.01-Zn0.05/NH	0.05	0.01	0.05	0.05
Chi-S0.05-Zn0.05/NH		0.05		
Chi-S0.1-Zn0.05/NH		0.1		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 การตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์

#### 3.4.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

นำเส้นด้ายที่ได้จากการเตรียมในขั้นตอนที่ 3.3.2 และ 3.3.3 มาตรวจวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเครื่อง SEM โดยนำเส้นด้ายไปเคลือบทองคำก่อนนำไปตรวจวัด โดยใช้กำลังขยาย 3000 และ 5000 เท่า

#### 3.4.2 เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (AAS)

ไปตรวจวิเคราะห์หาปริมาณซิงค์ (Zn) ด้วยเครื่อง AAS ทำได้โดยนำเส้นด้ายตัวอย่างไปเผาไฟแล้วนำไปแช่ในสารละลายกรดไนตริกเข้มข้น 6.5% นำไปกรองแล้วจึงนำสารละลายที่ได้ไปตรวจวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS

#### 3.4.3. เครื่องดิฟเฟอเรนเชียลสแกนนิ่งแคลอริมิเตอร์ (DSC)

นำเส้นด้ายที่ผ่านการเชื่อมโยงด้วยโคโตซานที่เตรียมในขั้นตอนที่ 3.3.1 มาตรวจวิเคราะห์การเชื่อมโยงโดยมีสถานะตั้งนี้ อุณหภูมิที่ใช้วิเคราะห์ คือ 50 - 300 °C อัตราการให้ความร้อน 10 °C /min อัตราการเย็นตัว 10 °C /min และอัตราการไหลก๊าซไนโตรเจน 20 ml/min

#### 3.4.4 เครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FT-IR)

ตรวจวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันและโครงสร้างทางเคมีโดยเทคนิคดักกลืนรังสีอินฟราเรดของเส้นด้ายเริ่มต้น เส้นด้ายที่ผ่านการเคลือบด้วยโคโตซานและเส้นด้ายที่เคลือบด้วยโคโตซานและเชื่อมโยงด้วย STPP โดยใช้ช่วงความยาวคลื่น 400-4000  $\text{cm}^{-1}$

#### 3.4.5 เครื่องยูวีวิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

นำเส้นด้ายเริ่มต้น และเส้นด้ายที่ผ่านการเตรียมในขั้นตอนที่ 3.3.2 และ 3.3.3 มาทำการย้อมติดสีด้วยสีย้อมประจุบวกและลบ เพื่อหาประจุที่อยู่บนพื้นผิวของเส้นด้าย โดยวัดจากค่าการดูดกลืนในช่วงความยาวคลื่นที่ 190 - 800 nm

#### 3.4.6 การทดสอบการต้านทานเชื้อแบคทีเรีย

นำเส้นด้ายที่ผ่านการตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 3 และ 24 h ทั้งในระบบตัวกลาง Zn sol และระบบตัวกลาง  $\text{NH}_4\text{OH}$  โดยใช้เทคนิค Primary screening โดยใช้เชื้อแบคทีเรีย 2 ชนิด ได้แก่ *S.aureus* และ *E.coli* ปริมาณ  $10^8$  CFU/ml

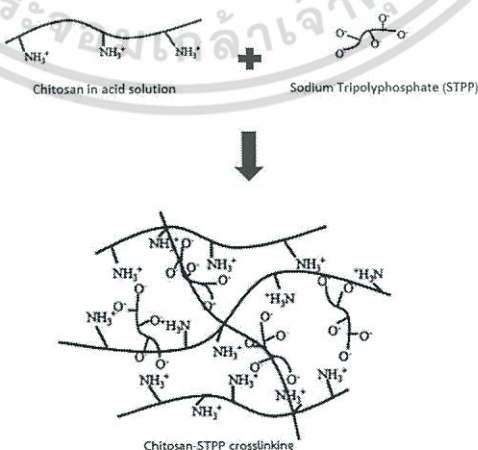
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

#### 4.1 การเคลือบผิวเส้นด้ายด้วยไคโตซาน

ในงานวิจัยนี้ได้นำเส้นด้ายผสมระหว่างฝ้ายและอะคริลิก (Cotton/acrylic) ซึ่งเป็นวัตถุดิบในการผลิตถุงเท้ามาปรับปรุงสมบัติให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยทำการปรับปรุงพื้นผิวของเส้นด้ายผสมด้วยไคโตซานซึ่งเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติและมีสมบัติยับยั้งแบคทีเรียมาเป็นสารยึดติดและทำการเชื่อมโยงไคโตซานด้วย STPP เพื่อให้เกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิก (ionic crosslink) ปฏิกริยาการเชื่อมโยงระหว่างไคโตซานและ STPP ดังแสดงในรูปที่ 4.1

ในการเคลือบผิวเส้นด้ายผสมใช้สารละลายไคโตซาน เข้มข้น 0.05 %w/v แล้วทำการปรับเปลี่ยนความเข้มข้นของสารละลาย STPP คือ 0.01 0.05 และ 0.1 %w/w และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่างสารละลายไคโตซานและสารละลาย STPP ให้มีอัตราส่วนเป็น 5:1 1:1 และ 1:2 โดยหลังจากเคลือบผิวเส้นด้ายด้วยไคโตซานจะทำให้พื้นผิวของเส้นด้ายมีประจุบวกของ  $\text{NH}_3^+$  เกิดขึ้น จากนั้นนำไปแช่ในสารละลาย STPP ซึ่งมีประจุลบของ  $\text{O}^-$  อยู่ ทำให้  $\text{O}^-$  ไปจับกับ  $\text{NH}_3^+$  ส่งผลให้โมเลกุลของไคโตซานบนพื้นผิวของเส้นด้ายเกิดการเชื่อมโยงแบบร่างแหขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.1 โดยเส้นด้ายที่ผ่านการเคลือบผิวถูกตรวจด้วยวิเคราะห์ด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังแสดงในหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2

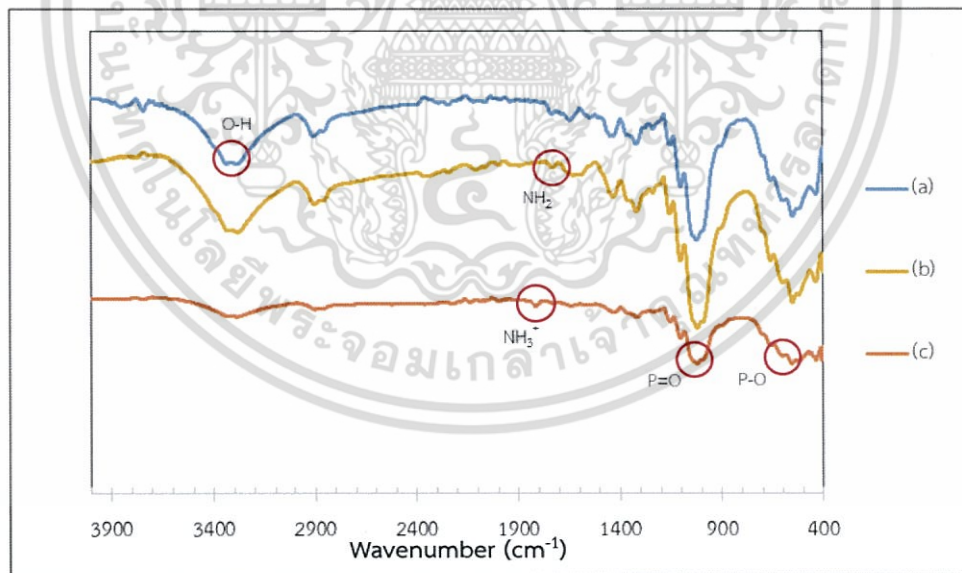


รูปที่ 4.1 แผนภาพแสดงการเชื่อมโยงระหว่างไคโตซานและโซเดียมไตรพอสเฟต [41]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.1 เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectrometer (FT-IR)

สเปกตรัม FT-IR ของเส้นด้ายผสมก่อนและหลังการเคลือบผิวด้วยไคโตซานและไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยพบว่าเส้นด้ายก่อนผสม Cotton/acrylic (รูปที่ 4.2 (a)) แสดงสเปกตรัมมีหมู่ฟังก์ชัน คือ O-H stretching ที่ความยาวคลื่น  $3232\text{ cm}^{-1}$  โดยทำการเคลือบผิวเส้นด้ายด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น  $0.05\text{ \%w/v}$  จะได้ตัวอย่าง Chi0.05 (รูปที่ 4.2 (b)) พบว่าสเปกตรัมมีหมู่ฟังก์ชันของไคโตซาน คือ N-H bending ที่ความยาวคลื่น  $1629\text{ cm}^{-1}$  จากนั้นนำเส้นด้ายที่ผ่านการยัดติดด้วยไคโตซานแล้วไปเชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP เข้มข้น  $0.05\text{ \%w/w}$  จะได้ตัวอย่างเป็น Chi-S0.05 (รูปที่ 4.2 (c)) ซึ่งสเปกตรัมจะพบการเลื่อนตำแหน่งของหมู่ N-H bending ของไคโตซาน โดยเลื่อนจากหมู่  $\text{NH}_2$  ที่  $1629\text{ cm}^{-1}$  ไปยังหมู่  $\text{NH}_3^+$  ที่ตำแหน่ง  $1637\text{ cm}^{-1}$  นอกจากนี้ยังพบสเปกตรัมที่แสดงถึงการเชื่อมโยงของสารละลาย STPP ได้แก่ สเปกตรัมของ P=O stretching ที่ความยาวคลื่น  $1170\text{ cm}^{-1}$  และสเปกตรัมของ P-O stretching  $684\text{ cm}^{-1}$  ซึ่งหมู่ฟอสเฟตดังกล่าวมีประจุเป็นลบจึงสามารถเกิดการเชื่อมโยงแบบไอออนิกกับหมู่  $\text{NH}_3^+$  ของไคโตซานได้



รูปที่ 4.2 สเปกตรัม FT-IR ของ (a) เส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ไม่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิว (b) เส้นด้ายผสมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซาน (Chi0.05) และ (c) เส้นด้ายผสมที่ผ่านการเชื่อมโยงแบบไอออนิก (Chi-S0.05)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 เทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC)

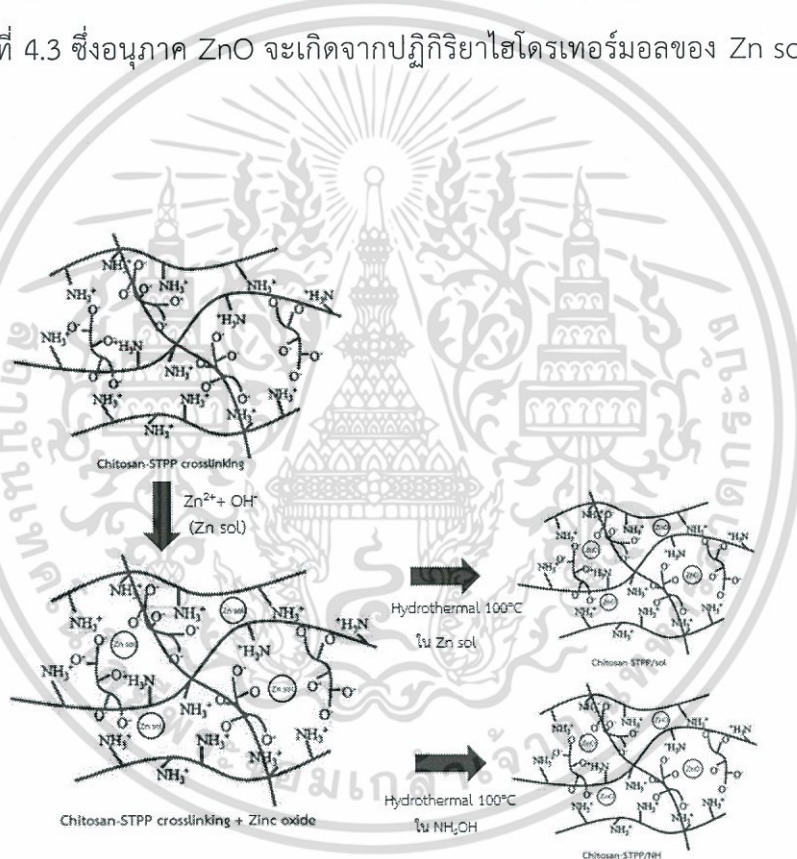
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์เส้นด้ายผสมก่อนและหลังการเคลือบผิวด้วย ไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP การวิเคราะห์ตัวอย่างเส้นด้ายผสมเริ่มต้น พบว่า เทอร์โมแกรมของ เส้นด้ายผสมปรากฏพีกที่ความร้อนที่ 238 °C ซึ่งเป็นค่าอุณหภูมิการสลายตัวของเส้นด้ายผสม เปรียบเทียบกับตัวอย่างเส้นด้ายที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน คือ Chi0.05 และเส้นด้ายที่เคลือบผิวด้วย ไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP คือ Chi-S0.01 Chi-S0.05 และ Chi-S0.1 พบว่า เส้นด้ายที่ผ่านการ เคลือบผิวด้วยไคโตซาน และ/หรือไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP จะปรากฏพีกจุดความร้อนที่ อุณหภูมิสูงกว่าเส้นด้ายผสมเริ่มต้น ทั้งนี้สันนิษฐานว่าเนื่องมาจากชั้นเคลือบไคโตซานจะช่วยเพิ่ม เสถียรภาพทางความร้อน จึงเป็นผลให้เส้นด้ายผสมเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูงขึ้น รวมทั้งใช้ ความร้อนในการสลายตัวเพิ่มขึ้น โดยสังเกตได้จากการเพิ่มของค่าเอนทัลปี ( $\Delta H$ ) ที่เพิ่มขึ้นอย่าง มีนัยสำคัญ นอกจากนี้ พบว่า ค่าอุณหภูมิการสลายตัวและค่า  $\Delta H$  ของตัวอย่าง Chi-S0.01 Chi-S0.05 และ Chi-S0.1 เพิ่มขึ้นตามลำดับ ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย STPP เป็นผลให้โมเลกุลไคโตซานที่เคลือบผิวบนเส้นด้ายผสมเกิดการเชื่อมโยงมากขึ้นจึงมีเสถียรภาพ ทางความร้อนมากขึ้น

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์สมบัติทางความร้อนของไคโตซานและไคโตซานที่เชื่อมโยง ด้วยสารละลาย STPP ด้วยเทคนิค DSC

ชื่อตัวอย่าง	ค่าอุณหภูมิ Onset ของพีกจุดความร้อน (°C)	$\Delta H$ (J/g)
Cotton/acrylic	238.0	16.24
Chi0.05	239.3	22.88
Chi-S0.01	275.5	40.86
Chi-S0.05	281.7	43.15
Chi-S0.1	286.0	48.49

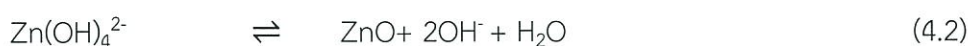
## 4.2 การตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนเส้นด้ายที่เคลือบผิวด้วยไคโตซาน

เมื่อนำเส้นด้ายที่เคลือบผิวด้วยไคโตซานที่เชื่อมโยงด้วย STPP มาแช่ในสารละลายผสมระหว่าง  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  กับ  $\text{NH}_4\text{OH}$  ซึ่งเกลือซิงค์ในเตรททำหน้าที่จ่ายซิงค์ไอออน ( $\text{Zn}^{2+}$ ) ให้ไปจับกับหมู่ฟอสเฟตของสารเชื่อมโยง STPP และ/หรือเกิดปฏิกิริยากับตัวกลาง ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) ซึ่งจะแตกตัวให้ไฮดรอกซิลไอออน ( $\text{OH}^-$ ) เกิดเป็นอนุภาค Zn sol ดังแสดงในสมการที่ 4.1 ซึ่งอนุภาค Zn sol จะไปเกิดอันตรกิริยากับโครงร่างแหไคโตซานบนผิวเส้นด้าย ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เมื่อนำเส้นด้ายที่ตรึง  $\text{Zn}^{2+}$  และ/หรืออนุภาค Zn sol ไปปลูกผลึก ZnO โดยทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่  $100^\circ\text{C}$  ภายใต้ระบบตัวกลางที่แตกต่างกัน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบตัวกลาง Zn sol และระบบตัวกลาง  $\text{NH}_4\text{OH}$  ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งอนุภาค ZnO จะเกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลของ Zn sol ดังแสดงในสมการที่ 4.2



รูปที่ 4.3 ปฏิกิริยาการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ในโครงสร้างร่างแหไคโตซาน [41]

ปฏิกิริยาที่เกิดขณะที่นำเส้นด้ายที่ผ่านการปรับปรุงพื้นผิวมาทำการไฮโดรเทอร์มอลกับสารละลายเบส ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) จะเกิดปฏิกิริยา ดังสมการต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากงานวิจัยของยฺวันตา เอี่ยมเผ่าจีน [42] ซึ่งศึกษาการตรึงอนุภาคนาโน ZnO บนผ้าฝ้าย โดยใช้พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดพอลิอิเล็กโทรไลต์ การตรึงอนุภาค Nano-ZnO อาศัยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลในสารละลาย ที่อุณหภูมิ 90 °C เมื่อนำผ้าตัวอย่างที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์สภาวะทางเคมีของอนุภาค Nano-ZnO ที่ตรึงบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค XPS พบว่าบริเวณพื้นผิวของผ้าฝ้ายพบบนอนุภาค ZnO และพบว่าอนุภาค ZnO บางส่วนถูกไฮโดรไลซ์กลายเป็น Zn(OH)<sub>2</sub> ผลการตรวจพิสูจน์เอกลักษณ์ข้างต้นจึงสามารถยืนยันได้ว่าผลึกนาโนที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวผ้าฝ้ายจากปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิต่ำ คือ ผลึก ZnO ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยนี้ที่ทำการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ลงบนเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกด้วยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิต่ำเช่นกัน

ปัจจัยศึกษาในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO มีดังต่อไปนี้

1. ความเข้มข้นของ STPP
2. ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O
3. ระบบในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล
4. ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล

#### 4.2.1 ผลของความเข้มข้นของสารละลาย STPP

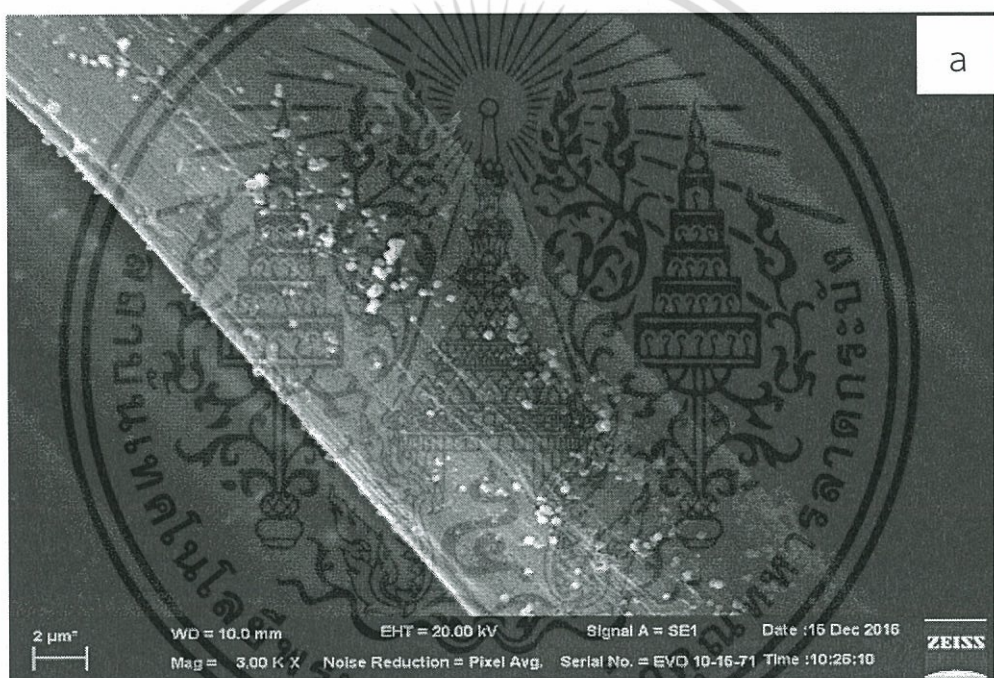
ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของสารละลาย STPP จะทำการเตรียมเส้นด้ายโดยจุ่มเคลือบด้วยสารละลายโคโตซานเข้มข้น 0.05 %w/v แล้วจึงทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP เข้มข้น 0.01 0.05 และ 0.1 %w/w จากนั้นนำเส้นด้ายไปไฮโดรเทอร์มอลในสารละลายผสมระหว่าง Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O กับ NH<sub>4</sub>OH (Zn sol) ที่ความเข้มข้น 0.05 M เป็นเวลา 24 h ได้เป็นสารตัวอย่าง Chi-Sx.xx-Zn0.05/sol เมื่อ x.xx หมายถึงความเข้มข้นของ STPP ที่ใช้ในการเชื่อมโยง

รูปที่ 4.4 (a) - (c) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานโดยใช้สารละลาย STPP ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นสารเชื่อมโยง แล้วนำไปตรึงอนุภาค Nano-ZnO พบว่าบนพื้นผิวเส้นด้ายทุกตัวอย่างมีอนุภาคนาโนขนาดเล็กก่อตัวขึ้นซึ่งอนุภาคนาโนดังกล่าวคือ อนุภาค Nano-ZnO ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล จากภาพ SEM พบว่าอนุภาค Nano-ZnO มีการกระจายตัวสม่ำเสมอบนพื้นผิวเส้นด้ายและมีบางส่วนที่เกาะตัวกันเป็นกลุ่ม โดยในตัวอย่าง Chi-S0.1-Zn0.05/sol มีปริมาณอนุภาค Nano-ZnO มากกว่าตัวอย่างอื่น

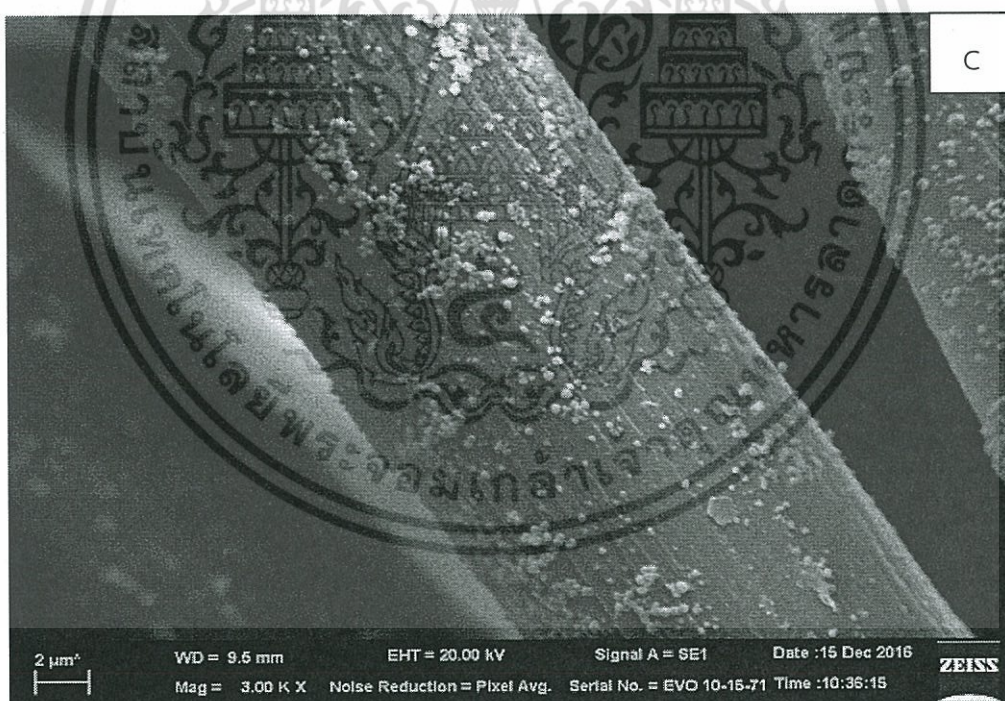
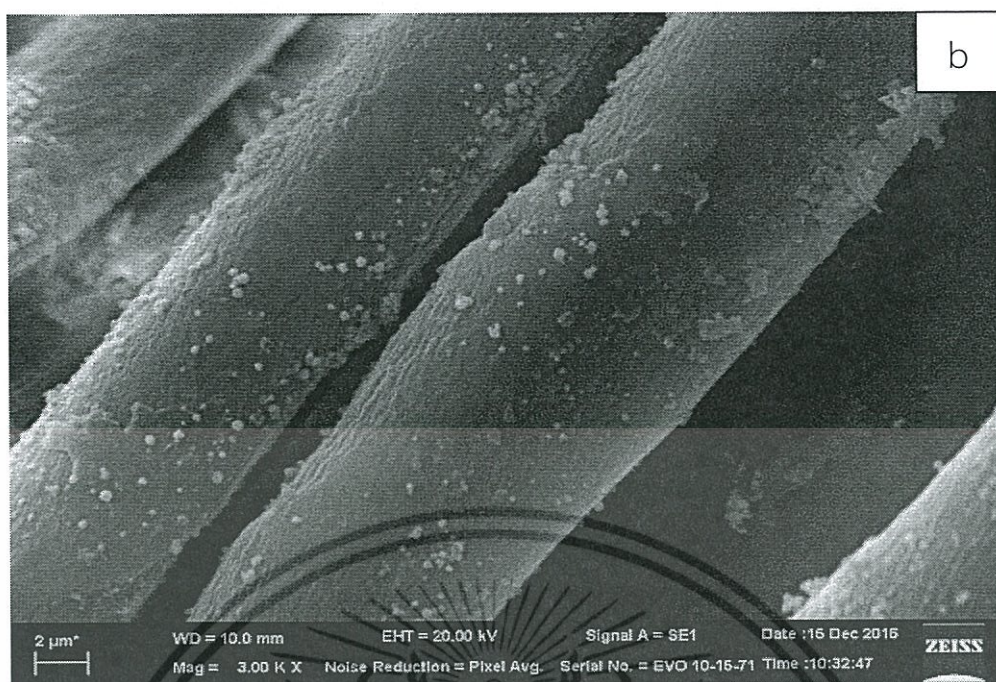
เมื่อนำตัวอย่างเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Zn ด้วย

เทคนิค AAS ได้ผลวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย STPP ค่าไม่ต่ำกว่าร้อยละ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีผลให้ปริมาณ Zn บนตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสันนิษฐานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย STPP ที่ใช้ในการเชื่อมโยงโคโตซานมีผลให้ปริมาณหมู่  $PO_4^{3-}$  ในชั้นเคลือบผิวโคโตซานมีมากขึ้น จึงสามารถเกิดอันตรกิริยากับ  $Zn^{2+}$  และ Zn sol จึงส่งผลให้ปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่ถูกตรึงบนเส้นด้ายมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการเพิ่มขึ้นของปริมาณ Zn บนตัวอย่าง จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความเข้มข้นสารละลาย STPP จาก 0.01 %w/w เป็น 0.05 %w/w ปริมาณ Zn บนตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลาย STPP จาก 0.05 %w/w เป็น 0.1 %w/w ดังจะเห็นได้จากภาพในรูปที่ 4.4 จากผลดังกล่าวในงานวิจัยจึงเลือกใช้ความเข้มข้นของ STPP 0.01 และ 0.05 %w/w ในการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

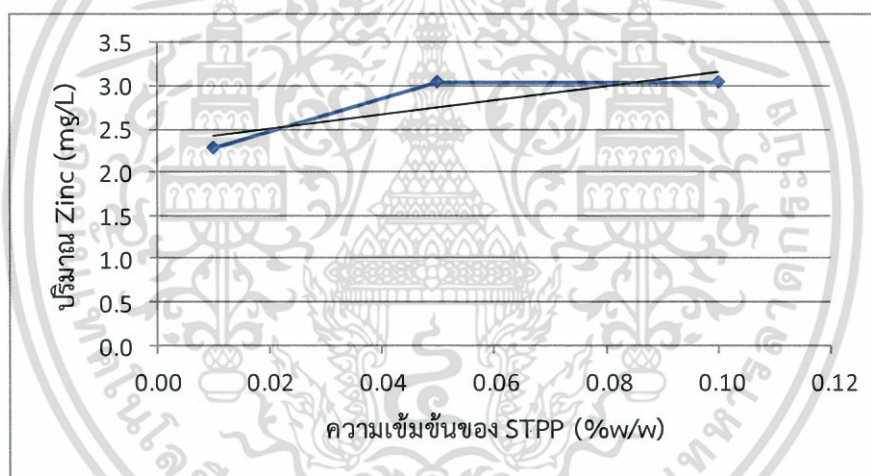


รูปที่ 4.4 สัณฐานวิทยาของเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ซึ่งเตรียมจาก สารละลายโคโตซานและสารละลาย STPP ที่ความเข้มข้น 0.01 %w/w (a) 0.05 %w/w (b) และ 0.1 %w/w (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ปริมาณ Zn บนเส้นด้ายตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP ที่ความเข้มข้นต่างกัน แล้วนำไปตรึงอนุภาค Nano-ZnO โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 24 h

ชื่อตัวอย่าง	ความเข้มข้นของ STPP (%w/w)	อัตราส่วนโดยน้ำหนักของ Chi : STPP	ปริมาณ Zn (mg/L)
Chi-S0.01-Zn0.05/Sol	0.01	5:1	2.27
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol	0.05	1:1	3.04
Chi-S0.1-Zn0.05/Sol	0.10	1:2	3.56



รูปที่ 4.5 กราฟปริมาณ Zn บนเส้นด้ายตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยไคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP ที่ความเข้มข้นต่างกัน แล้วนำไปตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO

#### 4.2.2 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$

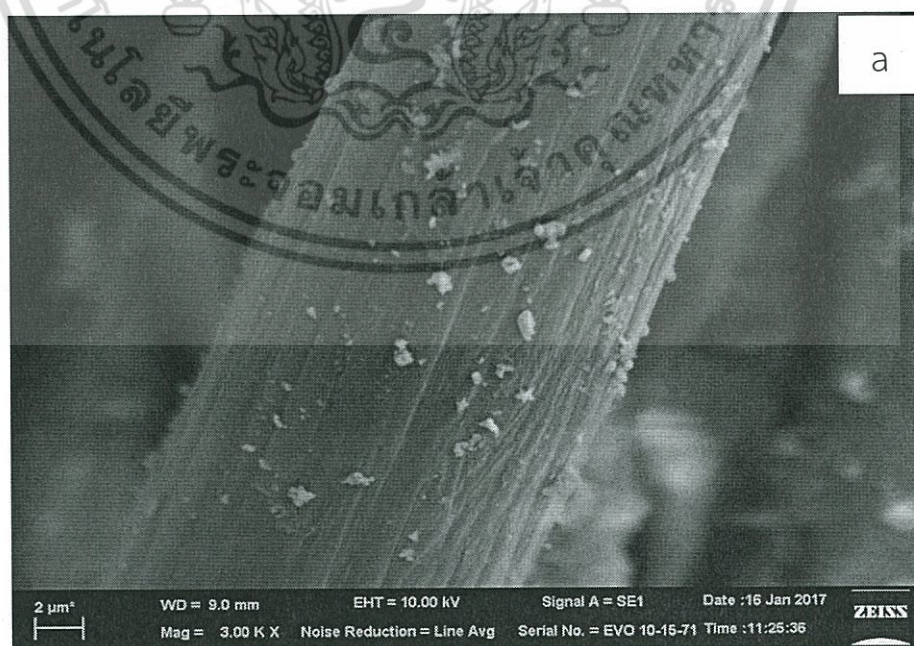
ในการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  ทำโดยนำเส้นด้ายที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายไคโตซานเข้มข้น 0.05 %w/v และเชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP เข้มข้น 0.01 และ 0.05 %w/w จากนั้นนำเส้นด้ายแช่ในสารละลายผสมระหว่าง  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  และ  $NH_4OH$  เข้มข้น 0.01 และ 0.05 M แล้วจึงนำตัวอย่างดังกล่าวไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

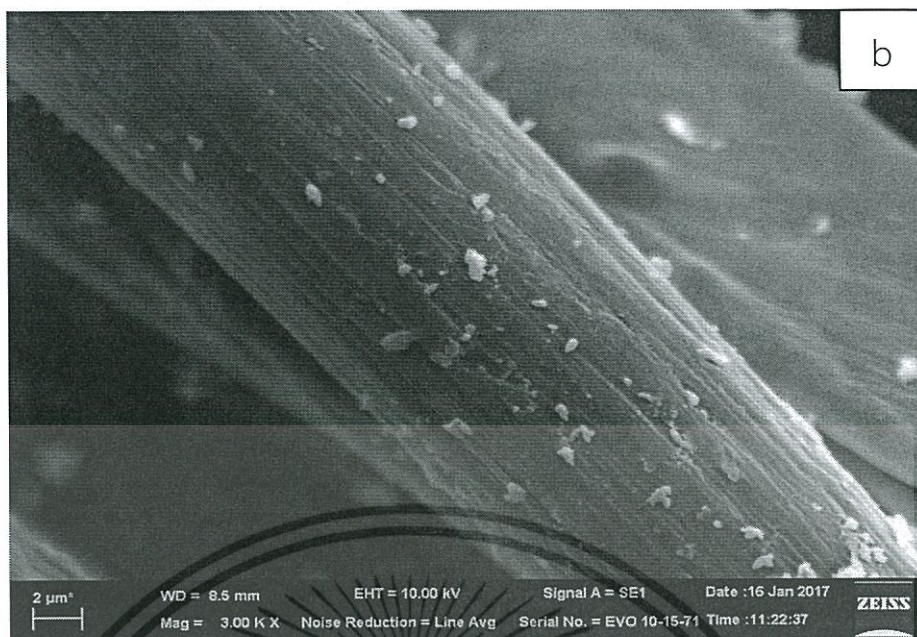
ไฮโดรเทอร์มอลเป็นเวลา 24 h ได้ตัวอย่างเป็น  $\text{Chi-Sx.xx-Zny.yy/sol}$  เมื่อ  $x.xx$  หมายถึง ความเข้มข้นของ STPP ที่ใช้ในการเชื่อมโยง และ  $y.yy$  หมายถึงความเข้มข้นของ  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

รูปที่ 4.6 (a) - (d) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP และตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของ  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  ที่ต่างกัน พบว่าบนพื้นผิวเส้นด้ายทุกตัวอย่างมีอนุภาค Nano-ZnO ก่อตัวขึ้น จากภาพ SEM พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีการกระจายตัวสม่ำเสมอบนพื้นผิวเส้นด้ายและสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างการกระจายตัวของอนุภาค Nano-ZnO โดยจะพบว่า  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  เข้มข้น 0.05 M มีการกระจายตัวของอนุภาค Nano-ZnO สม่าเสมอกว่า 0.01 M และตัวอย่าง  $\text{Chi-S0.05-Zn0.05/sol}$  มีปริมาณอนุภาค Nano-ZnO มากกว่าตัวอย่างอื่น

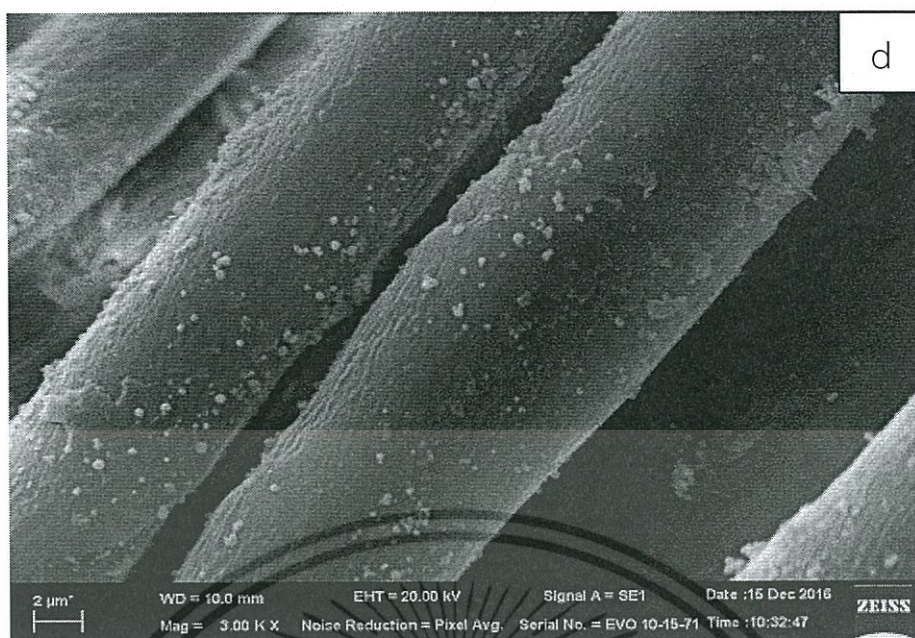
เมื่อนำตัวอย่างเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Zn ด้วยเทคนิค AAS ได้ผลวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.3 พบว่าที่ความเข้มข้น  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{NH}_4\text{OH}$  0.05 M มีผลทำให้ปริมาณ Zn บนตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งสามารถสันนิษฐานว่าการเพิ่มความเข้มข้นของ  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  มีผลให้ปริมาณ Zn ในระบบเพิ่มขึ้น จึงสามารถเกิดอันตรกิริยากับหมู่  $\text{PO}_4^{3-}$  ในชั้นเคลือบผิวโคโตซานได้เพิ่มขึ้น จึงส่งผลให้ปริมาณอนุภาค Nano-ZnO ที่ถูกตรึงบนเส้นด้ายมีค่าเพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากภาพในรูปที่ 4.6 ในงานวิจัยนี้จึงเลือกความเข้มข้น  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{NH}_4\text{OH}$  0.05 M เพื่อใช้ในการศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 สัณฐานวิทยาของเส้นด้ายผสมผ้าเยอะคริลิกที่ตรึงด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เข้มข้น 0.01 M (a และ b) และ 0.05 M (c และ d)

ตารางที่ 4.3 ปริมาณ Zn บนเส้นด้ายตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP ที่ความเข้มข้น  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  และ  $NH_4OH$  ต่างกัน โดยใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 24 h

ชื่อตัวอย่าง	ความเข้มข้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ (M)	ความเข้มข้น $NH_4OH$ (M)	ปริมาณ Zn (mg/L)
Chi-S0.01-Zn0.01/Sol	0.01	0.01	1.87
Chi-S0.05-Zn0.01/Sol			2.03
Chi-S0.01-Zn0.05/Sol	0.05	0.05	2.27
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol			3.04

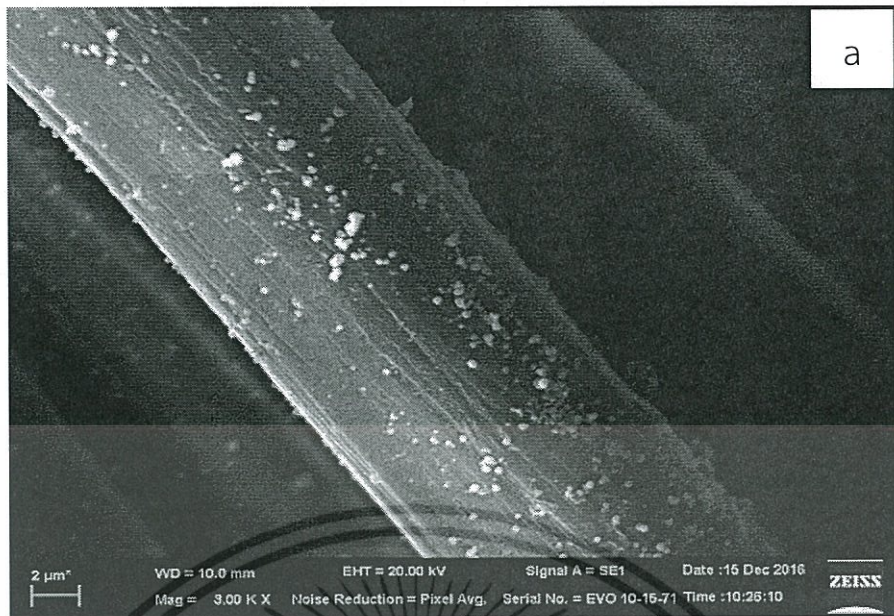
#### 4.2.3 ผลของระบบในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล

ในการศึกษาผลของระบบในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลทำโดยนำเส้นด้ายที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานเข้มข้น 0.05 %w/v และเชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

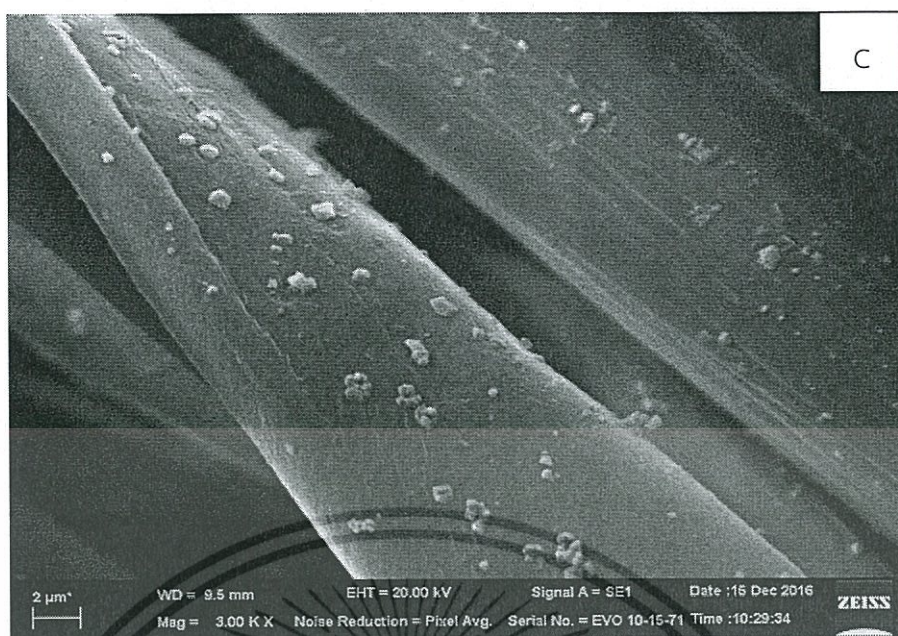
เข้มข้น 0.01 และ 0.05 %w/w จากนั้นนำเส้นด้ายไปปลูกผลึก ZnO โดยทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล ที่ 100 °C ภายใต้ระบบตัวกลางที่แตกต่างกัน 2 ระบบ ได้แก่ ระบบตัวกลาง Zn sol และระบบตัวกลาง NH<sub>4</sub>OH ได้เป็นสารตัวอย่าง Chi-Sx.xx-Zn0.05/sol และ Chi-Sx.xx-Zn0.05/NH ตามลำดับ

รูปที่ 4.7 (a) - (d) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเส้นด้ายฝ้ายผสมที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานโดยใช้สารละลาย STPP ที่ความเข้มข้น 0.01 และ 0.05 %w/w เป็นสารเชื่อมโยง แล้วนำไปตรึงอนุภาค Nano-ZnO พบว่าบนพื้นผิวเส้นด้ายทุกตัวอย่างมีอนุภาคขนาดเล็กก่อตัวขึ้น จากภาพ SEM สามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของอนุภาค Nano-ZnO โดยการปลูกผลึกในระบบตัวกลาง Zn sol พบว่าอนุภาค Nano-ZnO มีขนาดเล็กแต่มีขนาดไม่สม่ำเสมอ มีการกระจายตัวบนพื้นผิวเส้นด้าย ส่วนการปลูกผลึกในระบบตัวกลาง NH<sub>4</sub>OH พบว่าอนุภาค Nano-ZnO มีการกระจายตัวดี และอนุภาคบางส่วนมีลักษณะฝังตัวบนพื้นผิวเส้นด้ายได้มากกว่า ลอยตัวบนพื้นผิวเส้นด้ายดังเช่นระบบ Zn sol นอกจากนี้สามารถสังเกตลักษณะการยึดเกาะบนพื้นผิวเส้นด้ายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าระบบตัวกลาง NH<sub>4</sub>OH มีการยึดเกาะของอนุภาค Nano-ZnO มากกว่าระบบตัวกลาง Zn sol จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่า ในระบบตัวกลาง NH<sub>4</sub>OH มีการปลูกผลึก Nano-ZnO ก่อน แล้วนำไปไฮโดรเทอร์มอลเพื่อให้อนุภาค Nano-ZnO เติบโตภายในโครงร่างแห ทำให้อนุภาค Nano-ZnO มีการฝังตัวบนพื้นผิวเส้นด้ายได้ดีกว่าระบบ Zn sol

เมื่อนำตัวอย่างเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Zn ด้วยเทคนิค AAS ได้ผลวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ปริมาณ ZnO บนเส้นด้ายที่ปลูกผลึกโดยใช้ความเข้มข้นของ Zn<sup>2+</sup> เป็น 0.01 M ในระบบ Zn sol และ NH<sub>4</sub>OH มีปริมาณใกล้เคียงกัน แต่ในกรณีที่ใช้สารตั้งต้น Zn<sup>2+</sup> 0.05 M ปริมาณ ZnO บนเส้นด้ายจากระบบ Zn sol จะมีปริมาณมากกว่าเส้นด้ายจากระบบ NH<sub>4</sub>OH ทั้งนี้สันนิษฐานว่าในระบบ Zn sol จะมีการก่อผลึก ZnO บนเส้นด้าย ซึ่งในอนุภาค ZnO ที่เติบโตในตัวกลางบางส่วนจะไปเกาะบนพื้นผิวเส้นด้ายเพิ่ม จึงเป็นผลให้มีปริมาณอนุภาค ZnO มากกว่าระบบ NH<sub>4</sub>OH ซึ่งมีปริมาณ Zn<sup>2+</sup> จำกัด โดยเฉพาะในระบบที่สารตั้งต้นมีความเข้มข้น 0.05 M ดังจะเห็นได้จากภาพในรูปที่ 4.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สัณฐานวิทยาของเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnOเข้มข้น 0.05 M ในระบบตัวกลาง Zn sol (a และ b) และระบบตัวกลาง  $\text{NH}_4\text{OH}$  (c และ d)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ปริมาณ Zn บนเส้นด้ายตัวอย่างที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยโคโตซานเชื่อมโยงด้วย STPP แล้วนำไปตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO โดยใช้ระบบในการไฮโดรเทอร์มอลที่ต่างกัน และใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 24 h

ชื่อตัวอย่าง	ระบบในการไฮโดรเทอร์มอล	ปริมาณ Zn (mg/L)
Chi-S0.01-Zn0.05/Sol	Zn sol	2.27
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol		3.07
Chi-S0.01-Zn0.05/NH	NH <sub>4</sub> OH	2.39
Chi-S0.05-Zn0.05/NH		2.72

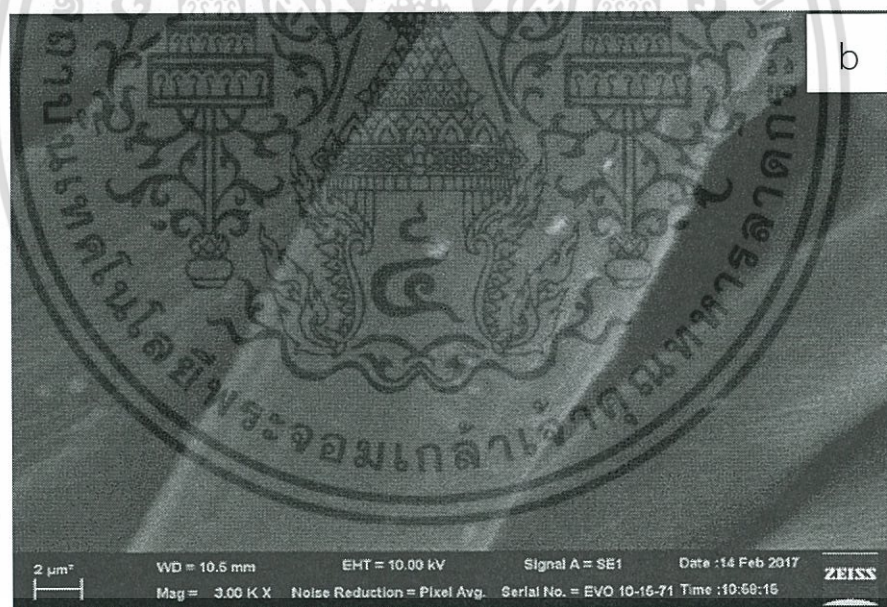
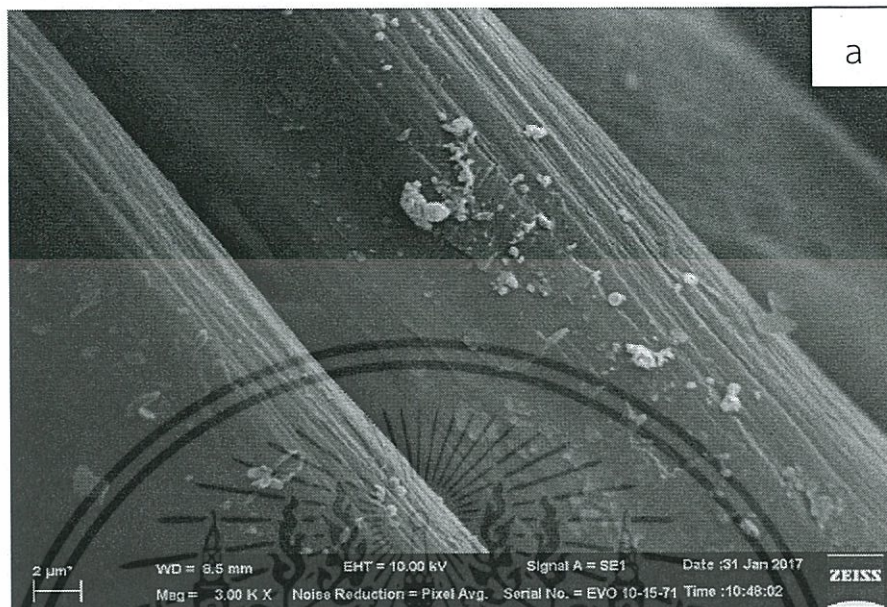
#### 4.2.4 ผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล

ในการศึกษาผลของระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลทำโดยนำเส้นด้ายที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานเข้มข้น 0.05 %w/v และเชื่อมโยงด้วยสารละลาย STPP เข้มข้น 0.05 %w/w จากนั้นนำเส้นด้ายไปปลูกผลึก ZnO โดยทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 100 °C ที่ Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O และ NH<sub>4</sub>OH เข้มข้น 0.05 M ภายใต้ระยะเวลาที่แตกต่างกัน ได้แก่ 1 3 และ 24 h

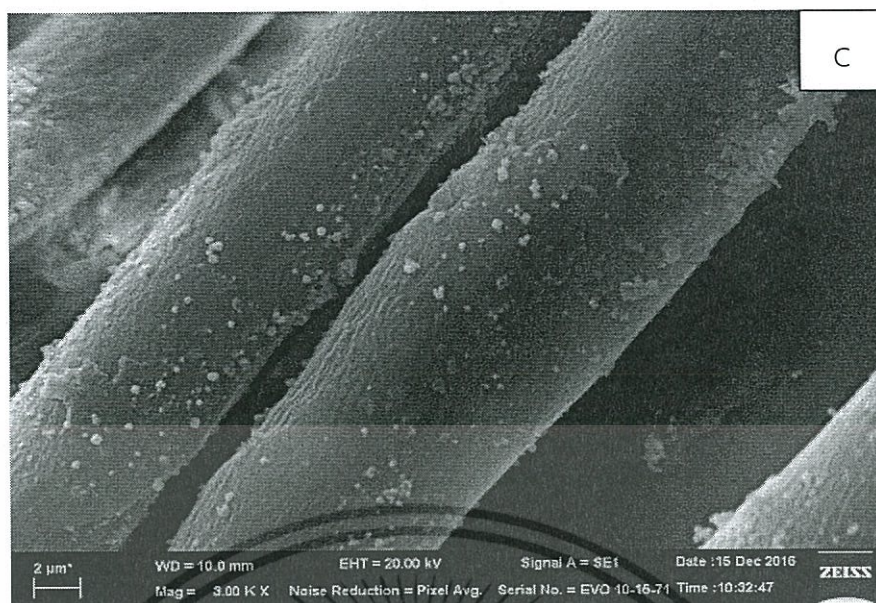
รูปที่ 4.8 (a) - (c) แสดงลักษณะสัณฐานวิทยาของพื้นผิวเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยสารละลายโคโตซานโดยใช้สารละลาย STPP เป็นสารเชื่อมโยง แล้วนำไปตรึงอนุภาค Nano-ZnO จากนั้นนำตัวอย่างเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ไปวิเคราะห์หาปริมาณ Zn ด้วยเทคนิค AAS ได้ผลวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.5 พบว่าระยะเวลาที่ใช้ในการทำไฮโดรเทอร์มอลที่ 1 3 และ 24 h มีปริมาณ Zn ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สันนิษฐานได้ว่าระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอลไม่มีผลต่อปริมาณ Zn และภาพจาก SEM พบว่าพื้นผิวเส้นด้ายทุกตัวอย่างมีอนุภาค Nano-ZnO ก่อตัวขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตเห็นความแตกต่างของขนาดอนุภาค Nano-ZnO โดยการไฮโดรเทอร์มอลที่ 1 และ 3 h พบว่าขนาดอนุภาคใกล้เคียงกันและมีบางส่วนที่เกาะกันเป็นกลุ่ม ต่างกับการไฮโดรเทอร์มอลที่ 24 ชั่วโมง ซึ่งมีการกระจายตัวบนพื้นผิวเส้นด้ายอย่างสม่ำเสมอจึงสามารถสันนิษฐานว่า ในการปลูกผลึกอนุภาค Nano-ZnO ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสมดุสสามารถผันกลับได้ ดังสมการ 4.2 โดย ZnO จะสามารถผันกลับมาเป็น Zn(OH)<sub>4</sub><sup>2-</sup> ได้ เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้นเรื่อยๆจะทำให้อนุภาค Nano-ZnO หลุดออกไปในสารละลายและสามารถกลับมายึดเกาะใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ ดังนั้นถ้าใช้ระยะเวลาไฮโดรเทอร์มอลมากขึ้น จะทำให้อนุภาค Nano-ZnO มีขนาดสม่ำเสมอ และมีการกระจายตัวดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 สัณฐานวิทยาของเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO เข้มข้น 0.05 M ที่ใช้ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล 1 h (a) 3 h (b) และ 24 h (c)

ตารางที่ 4.5 ปริมาณซิงค์บนเส้นด้ายโดยใช้ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอลที่ต่างกัน

ชื่อตัวอย่าง	ระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล (h)	ปริมาณ Zn (mg/L)
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol	1	3.28
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol	3	3.15
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol	24	3.04

#### 4.3 การย้อมติดสีของเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO

เมื่อนำเส้นด้ายก่อนและหลังการตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO มาทำการย้อมติดสีโดยใช้สีย้อม Basic blue 66 ซึ่งเป็นสีย้อมประจุบวกและ Acid blue 29 ซึ่งเป็นสีย้อมประจุลบ ได้ผลดังแสดงในตาราง 4.6 พบว่าเส้นด้ายที่ไม่ผ่านการตรึงอนุภาค Nano-ZnO จะย้อมติดสี Basic blue 66 ได้ดีกว่าสี Acid blue 29 ผลดังกล่าวเนื่องจากเส้นด้ายที่ไม่ผ่านการตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO มีองค์ประกอบหลักเป็นเซลลูโลสจากฝ้ายและอะคริลิก ซึ่งองค์ประกอบทั้งสองมีหมู่ฟังก์ชันหลักคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งมีสภาพขั้วเป็นลบ จึงสามารถยึดจับกับสี Basic blue 66 ที่สามารถแตกตัวในน้ำเป็นประจุบวกได้ดีกว่าสี Acid blue 29 ที่แตกตัวในน้ำเป็นประจุลบ

เมื่อนำเส้นด้ายที่ผ่านการตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ไปวิเคราะห์การย้อมติดสี พบว่าเส้นด้ายที่ผ่านการตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO สามารถย้อมติดสีได้ดีทั้งสีย้อม Basic blue 66 และ Acid blue 29 ดังแสดงในตารางที่ 4.6 จากผลดังกล่าวจึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าพื้นผิวบนเส้นด้ายที่ผ่านการเคลือบผิวและตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO นั้นประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันที่แสดงประจุทั้งบวกและลบ โดยหมู่ฟังก์ชันประจุบวกน่าจะมาจากผลึก ZnO ที่มี  $Zn^{2+}$  อยู่ที่ผิวหน้าผลึก และ/หรือหมู่  $NH_3^+$  ที่ไม่ถูกเชื่อมโยงในชั้นเคลือบโคโตซาน จึงทำให้สามารถย้อมติดสี Acid blue 29 ได้ และมีส่วนที่มีสภาพขั้วเป็นลบคือ บริเวณบนพื้นผิวผลึก ZnO ที่มี  $O^-$  อยู่ที่ผิวหน้าผลึก และ/หรือบริเวณหมู่ฟอสเฟตที่เป็นประจุลบของสารเชื่อมโยง STPP ที่อยู่บนผิวเส้นด้าย ซึ่งประจุลบบางส่วนไม่เกิดอันตรกิริยากับอนุภาค Nano-ZnO จึงสามารถยึดจับกับประจุบวกของสีย้อม Basic blue 66 ได้ดี จากตารางที่ 4.6 สามารถเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อมระหว่างสี Basic blue 66 และ Acid blue 29 พบว่าเส้นด้ายที่ผ่านการตรึงอนุภาค Nano-ZnO มีการย้อมติดสีของ Basic blue 66 ได้ดีกว่า Acid blue 29 และจากการศึกษาพบว่าระยะเวลาและระบบในการไฮโดรเทอร์มอลไม่แสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากอนุภาค Nano-ZnO และโคโตซานมีปริมาณใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซับที่สีย้อม Basic blue 66 และ Acid blue 29 บนเส้นด้ายผสม ก่อนและหลังการตรึงอนุภาค Nano-ZnO

ชื่อตัวอย่าง	เวลาในการไฮโดรเทอร์มอล (h)	สีย้อมที่เหลืออยู่ (mg/L)	เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม Basic blue 66	เปอร์เซ็นต์การดูดซับสีย้อม Acid blue 29
Cotton/acrylic	-	2.41	92.99	1.94
Chi-S0.01-Zn0.05/Sol	3	8.92	74.05	18.27
Chi-S0.01-Zn0.05/NH		9.53	72.27	14.74
Chi-S0.01-Zn0.05/Sol	24	8.92	74.05	12.43
Chi-S0.01-Zn0.05/NH		12.75	62.90	10.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 ความสามารถในการต้านทานเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายที่ตรึงอนุภาค

##### Nano-ZnO

ในการทดสอบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO ที่เตรียมได้ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ขนาดพื้นที่ในการต้านทานแบคทีเรียชนิด *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ของเส้นด้ายที่ตรึงอนุภาค Nano-ZnO โดยใช้ตัวอย่างปริมาตร 40 ไมโครลิตร ต่อหลุม

ชื่อตัวอย่าง	เวลาในการไฮโดรเทอร์มอล (h)	ขนาดพื้นที่การยับยั้งเชื้อ (mm)		การยับยั้ง
		<i>E.coli</i>	<i>S.aureus</i>	
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol	3	-	-	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง
Chi-S0.05-Zn0.05/NH		-	-	ไม่มีฤทธิ์ยับยั้ง
Chi-S0.05-Zn0.05/Sol	24	-	8.6	มีฤทธิ์ยับยั้ง
Chi-S0.05-Zn0.05/NH		-	8.0	มีฤทธิ์ยับยั้ง

จากตารางที่ 4.7 พบว่าตัวอย่างเส้นด้ายที่ตรึงอนุภาค Nano-ZnO โดยการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล 3 h ไม่มีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้งชนิดแกรมบวกและแกรมลบ และตัวอย่างที่ใช้ระยะเวลาการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล 24 h ทั้งในระบบตัวกลาง  $\text{NH}_4\text{OH}$  และในระบบ Zn sol พบว่ามีฤทธิ์ยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมบวก ซึ่งมีประสิทธิภาพยับยั้งเชื้อแบคทีเรียใกล้เคียงกัน โดยพบว่าขนาดพื้นที่ของการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียแกรมบวกมีค่าเฉลี่ย 8.3 mm แต่ไม่พบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียชนิดแกรมลบจากผลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า พื้นผิวเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO มีสภาพขรุขระเป็นลบสูงกว่าบวก จึงสามารถเกิดอันตรกิริยากับ *S.aureus* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมบวกได้ดี มีผลให้สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้ดีกว่า *E.coli* ซึ่งเป็นแบคทีเรียแกรมลบ ซึ่งผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลการทดสอบการย้อมติดสี Basic blue 66 ได้ดีกว่า Acid blue 29 จึงแสดงให้เห็นว่าพื้นผิวบนเส้นด้ายมีประจุลบเป็นหลัก อย่างไรก็ตามงานวิจัยก่อนหน้านี้มีการทดสอบว่า ZnO สามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบ แต่การเตรียมตัวอย่างในการนำมาวิเคราะห์เป็นการวิเคราะห์ทางอ้อม ซึ่งการทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้วยวิธีนี้ จะนำเส้นด้ายที่ผ่านการตรึงอนุภาค Nano-ZnO แผลงในน้ำกลั่นบริสุทธิ์ เพื่อให้อนุภาค Nano-ZnO ที่อยู่บนพื้นผิวเส้นด้ายเกิดการหลุดออก จากนั้นนำน้ำที่ผ่านการแช่เส้นด้ายไปทดสอบการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่า น้ำกลั่นบริสุทธิ์ที่ผ่านการแช่เส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO มีปริมาณอนุภาค Nano-ZnO อยู่่น้อย เนื่องจากเส้นด้ายที่ผ่านการตรึงอนุภาค Nano-ZnO จะเกิดการหลุดออกของอนุภาค Nano-ZnO ได้ยาก อีกทั้งใช้ปริมาณเส้นด้ายตัวอย่างในปริมาณน้อย จึงทำให้ไม่สามารถเห็นผลการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียทั้ง *S.aureus* และ *E.coli* ในบางตัวอย่างได้

#### 4.5 ความทนทานต่อการซักล้าง

เส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO อาจเกิดการหลุดออกของอนุภาค Nano-ZnO เมื่อผ่านการใช้งานหรือการซักล้าง ทำให้มีประสิทธิภาพลดลง ในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการจำลองการซักล้างเพื่อประเมินความสามารถในการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนพื้นผิวเส้นด้ายด้วยสารยึดติดโคโตซาน เชื่อมโยงด้วย STPP โดยนำตัวอย่างเส้นด้ายที่ตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO จากสภาวะการเตรียมที่แตกต่างกันไป ซักล้าง 5 10 และ 15 รอบ แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ Zn ที่เหลืออยู่ด้วยเทคนิค AAS เช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2 โดยมีปัจจัยศึกษา คือ อัตราส่วนระหว่างโคโตซานกับสารเชื่อมโยงและระบบที่ใช้ในการไฮโดรเทอร์มอล

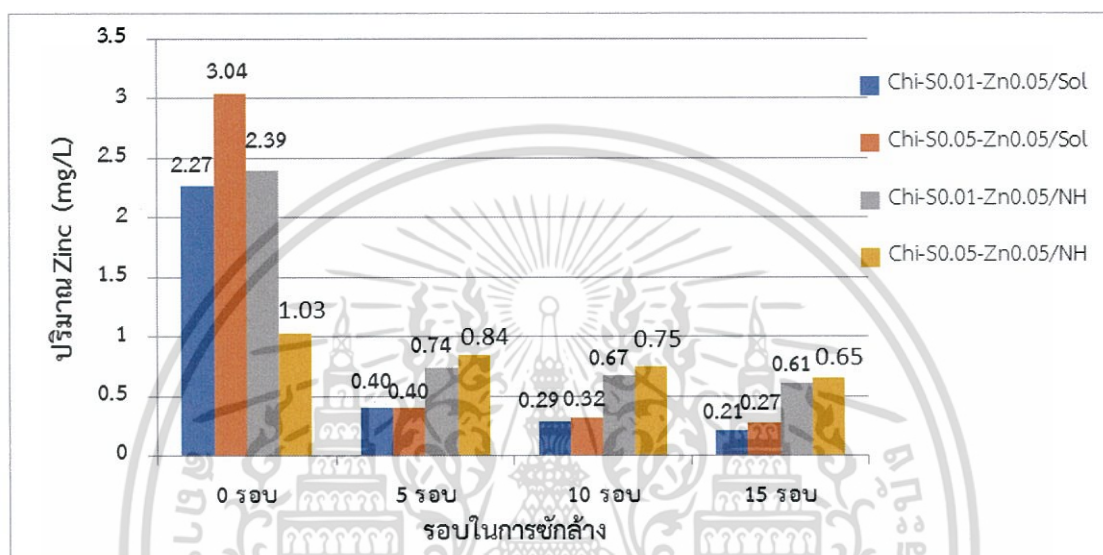
##### - ผลของความเข้มข้นของ STPP

จากการศึกษาผลของความเข้มข้น STPP เมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Zn ในตัวอย่างที่ไม่ผ่านการซักล้างพบว่าความเข้มข้น STPP ที่ 0.01 %w/w (รูปที่ 4.9 (a และ c)) จะมีปริมาณ Zn เริ่มต้นมากกว่าแต่เมื่อนำไปซักล้างแล้วกลับพบว่าปริมาณ Zn ลดลงมากกว่าที่ความเข้มข้น 0.05 (รูปที่ 4.9 (b และ d)) จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าที่ความเข้มข้น 0.05 เกิดโครงร่างแหมากกว่า ทำให้อนุภาค Nano-ZnO สามารถเกาะอยู่ภายในโครงร่างแหได้มาก ดังนั้นอนุภาค Nano-ZnO ที่อยู่ภายในจึงหลุดออกมาได้ยาก

##### - ผลของระบบในการไฮโดรเทอร์มอล

จากการศึกษาผลของระบบในการไฮโดรเทอร์มอลเมื่อเปรียบเทียบปริมาณ Zn ของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการซักล้างในระบบไฮโดรเทอร์มอลในตัวกลาง Zn sol (รูปที่ 4.9 (a และ b)) จะมีปริมาณ Zn มากแต่เมื่อผ่านการซักล้างแล้ว ปริมาณ Zn จะลดลงมากอย่างเห็นได้ชัด ต่างกับระบบไฮโดรเทอร์มอลในตัวกลาง  $\text{NH}_4\text{OH}$  (รูปที่ 4.9 (c และ d)) และเมื่อพิจารณาปริมาณ Zn ที่ผ่านการซักล้าง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้ว พบว่าระบบไฮโดรเทอร์มอลในตัวกลาง  $\text{NH}_4\text{OH}$  มีปริมาณ Zn เหลือมากกว่า จึงสามารถสันนิษฐานได้ว่าอนุภาค Nano-ZnO สามารถยึดเกาะได้ดี เนื่องจากการปลูกผลึก Nano-ZnO ก่อนทำการไฮโดรเทอร์มอลเช่นเดียวกับหัวข้อ 4.2.3 แสดงให้เห็นว่าระบบไฮโดรเทอร์มอลในตัวกลาง  $\text{NH}_4\text{OH}$  มีประสิทธิภาพในการยึดติดของอนุภาค Nano-ZnO ดีกว่าระบบไฮโดรเทอร์มอลในตัวกลาง Zn sol



รูปที่ 4.9 กราฟเปรียบเทียบปริมาณ Zn หลังผ่านการซักล้างที่สภาวะต่าง ๆ

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้สามารถพัฒนากระบวนการตรึงอนุภาคซิงค์ออกไซด์บนเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิก โดยใช้โคโตซานเป็นสารยึดติดเชื่อมโยงโซเดียมไฮดรอกไซด์ฟอสเฟต (STPP) โดยปรับเปลี่ยนสภาวะที่ใช้ปรับปรุงพื้นผิวเส้นด้ายผสมและการทำปฏิกิริยาปลูกผลึก ZnO จะส่งผลต่อปริมาณ ZnO ที่ถูกตรึงบนเส้นด้าย

งานวิจัยสามารถสรุปได้ว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ STPP ที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเชื่อมโยงโคโตซานและความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  ที่ใช้ในการตรึงบนเส้นด้าย ทำให้ปริมาณ ZnO ที่ถูกตรึงบนเส้นด้ายผสมมีค่าเพิ่มขึ้น

การปรับเปลี่ยนระบบตัวกลางที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอล พบว่าระบบตัวกลางที่เป็นสารละลายผสม  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  และ  $NH_4OH$  หรือ Zn sol จะมีปริมาณอนุภาค ZnO ที่ยึดติดของเส้นด้ายผสมในปริมาณมาก แต่เมื่อนำไปทดสอบความทนทานต่อ พบว่าอนุภาค ZnO จะเกิดการหลุดออกได้ ต่างกับการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลใน  $NH_4OH$  ซึ่งมีการตรึงอนุภาค Zn sol ก่อนแล้วนำไปไฮโดรเทอร์มอลเพื่อให้อนุภาค ZnO เติบโตภายในโครงร่างแหของสารยึดติดโคโตซาน ทำให้อนุภาค ZnO มีการฝังตัวบนพื้นผิวเส้นด้ายและสามารถทนทานต่อการซักล้างได้ดีกว่าระบบ Zn sol

การปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการไฮโดรเทอร์มอล พบว่าการตรึงอนุภาค ZnO บนเส้นด้ายในระบบ Zn sol ที่ใช้ระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลที่ 24 ชั่วโมง จะได้อนุภาค Nano-ZnO ที่มีขนาดสม่ำเสมอ กระจายตัวดี อย่างไรก็ตามการปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการทำปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มอลไม่ส่งผลต่อปริมาณอนุภาค ZnO ที่ถูกตรึงบนพื้นผิวเส้นด้ายอย่างมีนัยสำคัญ

การศึกษาการนำเส้นด้ายที่เคลือบผิวด้วยโคโตซานและตรึงด้วยอนุภาค ZnO มาข้อมติดีสี พบว่า เส้นด้ายที่ถูกตรึงด้วยอนุภาค ZnO มีพื้นผิวแสดงพฤติกรรมของประจุลบมากกว่าประจุบวก ทำให้สามารถข้อมติดีสีที่มีประจุบวกได้ดีกว่าและสามารถต้านทานเชื้อแบคทีเรียแกรมบวก (*S.aureus*) ได้ดี

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. นำเส้นด้ายที่ผ่านการตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO มาทอเป็นชิ้นผ้า เพื่อทดสอบสมบัติอื่น ๆ เช่น สมบัติการป้องกันรังสียูวี สมบัติการซึมผ่านไอน้ำ เป็นต้น
2. ทำการตรึงอนุภาค Nano-ZnO ลงเส้นใยธรรมชาติอื่น ๆ เช่น ผ้าป่าน ฝ้ายลินิน เป็นต้น
3. พัฒนาระบบการตรึงอนุภาค Nano-ZnO บนเส้นด้ายด้วยโคโตซานและ STPP สู่กระบวนการในการผลิตแบบอุตสาหกรรม
4. ทดสอบสมบัติการต้านทานเชื้อแบคทีเรียด้วยอื่น เช่น Inhibitory Minimum Concentration โดยนำเส้นด้ายที่ผ่านการตรึงด้วยอนุภาค Nano-ZnO มาทอเป็นชิ้นผ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] L. Haoa, R. Wanga, K. Fanga and Y. Cai. 2017. The modification of cotton substrate using chitosan for improving its dyeability towards anionic microencapsulated nano-pigment particles. *Industrial Crops and Products* 95 : 348-356.
- [2] Q. Gaoa, J. Hua, R. Li, L. Panga, Z. Xing, L. Xua, M. Wang, X. Guo and G. Wu. 2016. Preparation and characterization of superhydrophobic organic-inorganic hybrid cotton fabrics via-radiation-induced graft polymerization. *Carbohydrate Polymers* 149 : 308-316.
- [3] Y. Liu, Y. Pan, X. Wang, P. Acuña, P. Zhua, U. Wagenknecht, G. Heinrich, X. Zhang, R. Wang and D. Wang. 2016. Effect of phosphorus-containing inorganic-organic hybrid coating on the flammability of cotton fabrics: Synthesis, characterization and flammability. *Chemical Engineering Journal* 294 : 167-175.
- [4] L. Karimi, M.E. Yazdanshenas, R. Khajavi, A. Rashidi and M. Mirjalili. 2015. Optimizing the photocatalytic properties and the synergistic effects of graphene and nano titanium dioxide immobilized on cotton fabric. *Applied Surface Science* 332 : 665-673.
- [5] Th.I. Shaheen, M.E. El-Naggar, A.M. Abdelgawad and A. Hebeish. 2016. Durable antibacterial and UV protections of in situ synthesized zinc oxide nanoparticles onto cotton fabrics. *International Journal of Biological Macromolecules* 83 : 426-432.
- [6] Z. Wanga, W. Wanga, Z. Jiangc and D. Yu. 2016. Low temperature sintering nano-silver conductive ink printed on cotton fabric as printed electronics. *Progress in Organic Coatings* 101 : 604-611.
- [7] Ü. Özgür, Y.I. Alivov, C. Liu, A. Teke, M.A. Reshchikov, S. Doğan, V. Avrutin, S.-J. Cho and H. MorkoçdU. 2005. A comprehensive review of ZnO materials and devices. *Journal of Applied Physics* 98 : 112-118.
- [8] สุพิณ แสงสุข. 2551. ความเป็นมาของซิงค์ออกไซด์. [Online]. Available: <http://www.material.chula.ac.th/Articles/nanoZing.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [9] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2559. โครงสร้าง wurtzite ของซิงค์ออกไซด์. [Online]. Available: [http://www.wikiwand.com/en/Wurtzite\\_crystal\\_structure](http://www.wikiwand.com/en/Wurtzite_crystal_structure). เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [10] สถาบันวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2555. สมบัติของซิงค์ออกไซด์. [Online]. Available: [http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat\\_id=2&p\\_id=130](http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat_id=2&p_id=130). เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [11] สุพิณ แสงสุข. 2551. สมบัติทางเคมีของซิงค์ออกไซด์. [Online]. Available: <http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=5&ID=6>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [12] ศุภมาส ตำนานวิทยากุล. 2543. การสังเคราะห์ซิงค์ออกไซด์. [Online]. Available: <https://opac.psu.ac.th/BibDetail.aspx?bibno=372545>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [13] บริษัท อาลีเอ็กซ์เพรส จำกัด. 2553. อุปกรณ์อัตโนมัติเคลฟ. [Online]. Available: <https://www.aliexpress.com/popular/automatic-autoclave.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [14] ณททัย ไวโรจน์พันธุ์ ผุสชา คงสุด และพรชัย ศิริวรรณ. 2555. การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการไฟฟ้าเคมี. [Online]. Available: <http://nanozincoxide.blogspot.com/2012/08/1.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [15] ธาณิชร์ แต่งควารัมย์. 2555. การต่อชุดทดลองไฟฟ้าเคมี. [Online]. Available: [http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/Teacher\\_training202011/ไฟฟ้าเคมี202011-4p.pdf](http://www.science.mju.ac.th/chemistry/download/Teacher_training202011/ไฟฟ้าเคมี202011-4p.pdf). เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [16] ณัฐวุฒิ เนียมจันทร์. 2553. การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการโซลเจล (Sol-Gel Process). [Online]. Available: [http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Natthawut\\_Neamjan/fulltext.pdf](http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Natthawut_Neamjan/fulltext.pdf). เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [17] Giulio Malucelli. 2559. การเปลี่ยนสถานะจากโซลเป็นเจล. [Online]. Available: <http://www.mdpi.com/2079-6412/6/3/33>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [18] มหาวิทยาลัยรามคำแหง. 2554. การสังเคราะห์ด้วยกระบวนการตกตะกอน. [Online]. Available: <http://e-book.ram.edu/e-book/c/CM334/CM334-1.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] สถาบันวิจัยเพื่อความเป็นเลิศทางวิชาการด้านวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อม. 2555. การประยุกต์ใช้ซิงค์ออกไซด์. [Online]. Available: [http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat\\_id=2&p\\_id=131](http://web.eng.nu.ac.th/eng2012/cei/nanodatabase/info2.php?cat_id=2&p_id=131). เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [20] กิตติพงษ์ อำนาจสวัสดิ์. 2557. วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์. [Online]. Available: [http://www.nano.kmitl.ac.th/files/nano\\_innovation/2557/03-วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์.pdf](http://www.nano.kmitl.ac.th/files/nano_innovation/2557/03-วัสดุนาโนซิงค์ออกไซด์.pdf). เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [21] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค). 2540. เส้นใย. [Online]. Available: [http://www2.mtec.or.th/th/research/textile/textile\\_sci.html](http://www2.mtec.or.th/th/research/textile/textile_sci.html). เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [22] อภิชิต สนธิสมบัติ. 2555. เส้นใยฝ้าย. [Online]. Available: <https://www.ruedee.com/th/fabric/cotton>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [23] อัจฉรา สโรบล. 2549. เส้นใยฝ้าย. เอกสารประกอบการสอนภาควิชามนุษย์สัมพันธ์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [24] จารุวรรณ อัมพฤกษ์. 2555. การวิเคราะห์เส้นใยธรรมชาติ. [Online]. Available: [http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Jaruwan\\_Ampruk/fulltext.pdf](http://www.thapra.lib.su.ac.th/objects/thesis/fulltext/snamcn/Jaruwan_Ampruk/fulltext.pdf). เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [25] หจก.เชนต้า ควิลตัง. 2560. คุณสมบัติของผ้า cotton. [Online]. Available: <http://www.beddingthai.com/คุณสมบัติของผ้า-cotton>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [26] ดรรชนี พัทธวรการ. 2555. เส้นใยอะคริลิก. [Online]. Available: <http://www.inc.science.cmu.ac.th/thai/upload/article/file/12-11-05-37a74.pdf>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 5 ม.ค. 60.
- [27] สยามเคมี. 2559. ไคโตซาน. [Online]. Available: <http://www.siamchemi.com/ไคโตซาน>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 60.
- [28] วรณี ศรีนุตตระกูล. 2552. โครงสร้างทางเคมีของไคโตซาน. [Online]. Available: <http://www0.tint.or.th/nkc/nkc53/pictures/nkc53-062c.jpg>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 60.
- [29] บริษัท เวิลด์ เคมีคอล ฟาร์อีสท์ จำกัด (จังหวัดเชียงใหม่). 2557. โซเดียม ไตรโพลีฟอสเฟต. [Online]. Available: <http://www.worldchemical.co.th/th/product-detail-137โซเดียม-ไตรโพลีฟอสเฟต.html>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 60.
- [30] วิกีพีเดีย สารานุกรมเสรี. 2559. โครงสร้างของโซเดียม ไตรโพลีฟอสเฟต. [Online].

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium\\_triphosphate](https://en.wikipedia.org/wiki/Sodium_triphosphate). เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 60.

- [31] Warayuth Sajomsang. 2558. ไอออนิกโครสลิงค์. [Online]. Available: <http://wsajomsang.blogspot.com>. เข้าถึงเมื่อวันที่ 10 ม.ค. 60.
- [32] C. Yang, Y. Lin, K. Huang, Y. Huang, E. Wang, J. Jhong and C. Kuo. 2009. Microfluidic assisted synthesis of silver nanoparticle–chitosan composite microparticles for antibacterial applications. *International Journal of Pharmaceutics*. 510 : 493-500.
- [33] M. Shaban, S. Abdallah and A.A. Khalek. 2016. Characterization and photocatalytic properties of cotton fibers modified with ZnO nanoparticles using sol–gel spin coating technique. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*. 5 : 277-283.
- [34] E.S. Ates and H.E. Unalan. 2012. Zinc oxide nanowire enhanced multifunctional coatings for cotton fabrics. *Thin Solid Films*. 520 : 4658-4661.
- [35] S. Kathirvelua, L. D’Souza and B. Dhurai. 2009. UV protection finishing of textiles using zno nanoparticles. *Indian Journal of Fibre & Textile Research*. 34 : 267-273.
- [36] A. Meftahi, F. Salehi, F. Yadegari, S. Alibakhshi, S. Vatandoost and H. Mohammadi. 2015. Finishing of Nylon/Cotton Fabric with ZnO/TiO<sub>2</sub> Nanocomposite. *Procedia Materials Science*. 11 : 600-604.
- [37] J.P. Carrola, A. Mylesa, B. Quiltyc, D.E. McCormacka, R. Fagana, S.J. Hinderd, D.D. Dionysiou<sup>e</sup> and S.C. Pillaia. 2017. Antibacterial properties of F-doped ZnO visible light photocatalyst. *Journal of Hazardous Materials*. 324 : 39-47.
- [38] H. Liu and C. Gao. 2011. Ionically cross-linked chitosan microspheres for controlled release of bioactive. *International Journal of Pharmaceutics*. 421 : 283-290.
- [39] K. Pandiselvi and S. Thambidurai. 2015. Synthesis, characterization and

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

antimicrobial activity of chitosan–zinc oxide/polyaniline composites. *Materials Science in Semiconductor Processing*. 31 : 573-581.

- [40] R.D. Kale and C.R. Meena. 2011. Synthesis and application of zinc oxide nanoparticles on nylon fabric by layer by layer technique as antimicrobial property. *International Journal of Basic and Applied Chemical Sciences*. 1 : 1-8.
- [41] F. Hsieh, C. Huang and J. Lin. 2008. Study of sodium tripolyphosphate-crosslinked chitosan beads entrapped with *Pseudomonas putida* for phenol degradation. *Process Biochemistry* 43 : 83-92.
- [42] ยุวันดา เอี่ยมเผ่าจีน. การตรึงอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายโดยใช้พอลิสไตรีนซัลโฟนิคแอซิดพอลิเอ็กโทไรไลต์. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพอลิเมอร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2553.



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ก.

ภาพการทดสอบการต้านเชื้อแบคทีเรียของเส้นด้ายฝ้ายผสมอะคริลิกที่ผ่านการตรึงด้วย  
อนุภาค Nano-ZnO

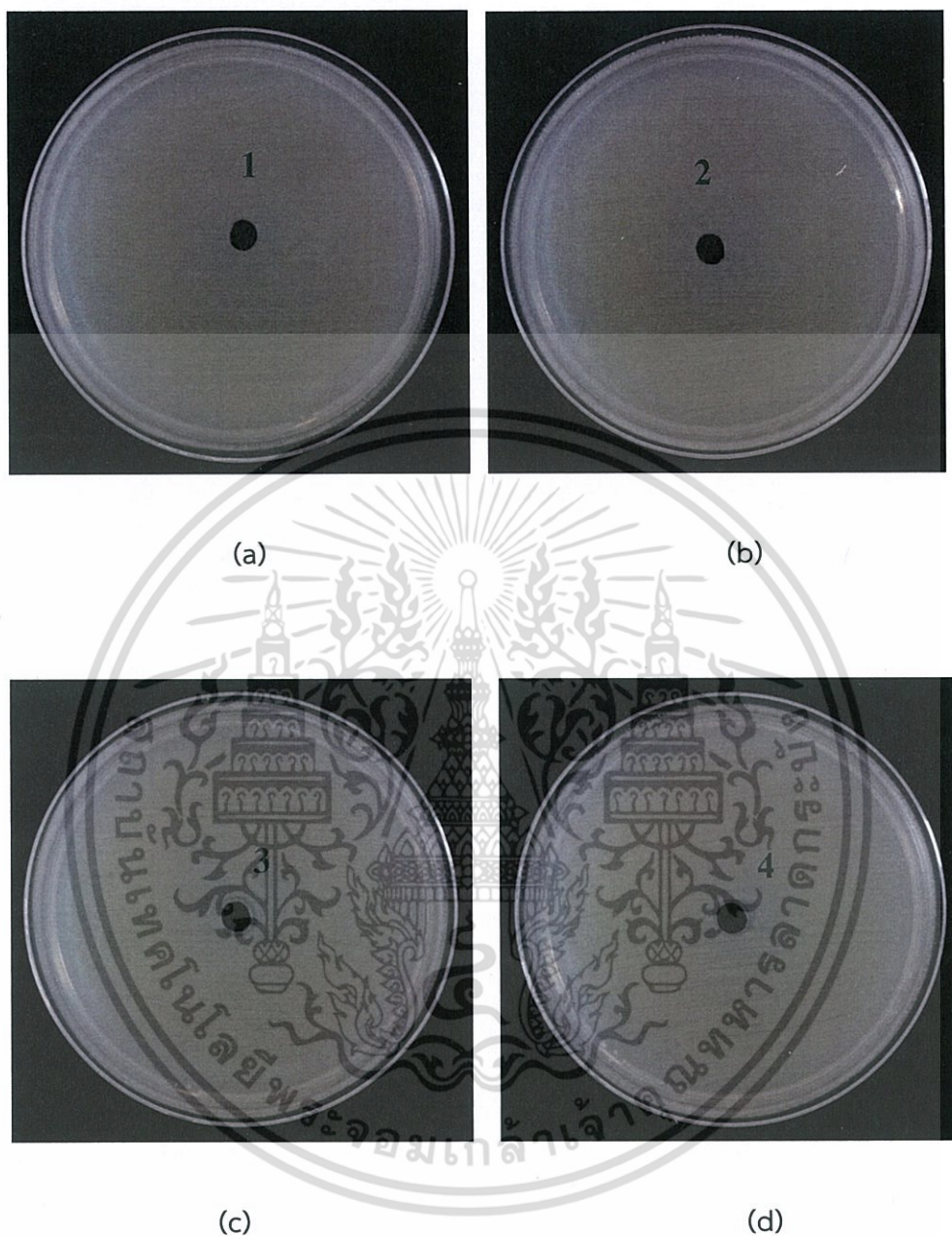
*Escherichia coli* ATCC 25922



รูปที่ ก.1 ภาพวงใสที่เกิดจากการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *E. coli* (a) Chi-S0.01-Zn/Sol, (b) Chi-S0.01-Zn0.05/NH, (c) Chi-S0.05-Zn0.05/Sol และ (d) Chi-S0.05-Zn0.05/NH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*Staphylococcus aureus* ATCC 25923



รูปที่ ก.2 ภาพวงใสที่เกิดจากการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *S. aureus* (a) Chi-S0.01-Zn/Sol, (b) Chi-S0.01-Zn0.05/NH, (c) Chi-S0.05-Zn0.05/Sol และ (d) Chi-S0.05-Zn0.05/NH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

