

การพัฒนาผ้ายับยั้งแบคทีเรียบนวัสดุสิ่งทอ

**THE DEVELOPMENT OF ANTIBACTERIAL FABRIC ON TEXTILE  
MATERIALS**

เสศรา แก้วคง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีนวัตกรรม

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

# การพัฒนาฝ่ายบัญชีแบบที่เรียนนวัตดุสิงทอ



ณศรา แก้วคง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีนวัตกรรม  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
ปีการศึกษา 2557  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาผ้ายับยั้งแบคทีเรียบนวัสดุสิ่งทอ
ชื่อ - นามสกุล	นางสาวณศร่า แก้วคง
สาขาวิชา	เคมีนวัตกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศิริวรรณ ตีฏู, ปร.ค.
ปีการศึกษา	2557

## บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้เพื่อพัฒนาผ้าให้มีสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรีย ด้วยสารอนินทรีย์ และสารอินทรีย์ โดยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของสารอนินทรีย์ (อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนเงิน) และสารอินทรีย์ (ไมโครแคปซูลของเคอร์คิวมิน)

การทดลองแรกสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอนภายใต้สภาวะต่างๆ ผลการทดลองพบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้สารทำให้คงตัว โดยใช้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาด 200-400 นาโนเมตร ขึ้นต่อไปสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน โดยวิธีรีดักชันสองสภาวะคือที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิต่ำ การสังเคราะห์อนุภาคของนาโนเงินที่ควบคุมอุณหภูมิให้ต่ำ ให้อนุภาคของนาโนเงินที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดที่เล็กกว่าที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง สำหรับการสกัดสารอินทรีย์เคอร์คิวมินจากขมิ้น พบว่าสภาวะที่เหมาะสมคือ เอทานอล ความเข้มข้น 80 % ปริมาตรต่อปริมาตร และเวลาในการสกัด 1 ชั่วโมง จากนั้นนำสารสกัดเคอร์คิวมินไปเตรียมเป็นแคปซูลด้วยเทคนิคไมโครเอนแคปซูลชัน ต่อไปนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเงิน และไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมิน ไปทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้มากที่สุด

ผลจากการทดลองพบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* เท่ากับ 84 % และ 65 % ตามลำดับ และผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านการซัก 14 ครั้ง ยังคงมีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อยู่บนผ้าฝ้าย และสามารถยับยั้ง *Staphylococcus aureus* ได้ 29 % และ *Escherichia coli* ได้ 18 %

**คำสำคัญ:** การยับยั้งแบคทีเรีย อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเงิน  
ไมโครแคปซูลของเคอร์คิวมิน ผ้าฝ้าย

<b>Thesis Title</b>	The Development of Antibacterial Fabric on Textile Materials
<b>Name-Surname</b>	Miss Nassara Keawkhong
<b>Program</b>	Innovative Chemistry
<b>Thesis Advisor</b>	Assistant Professor Siriwan Teepoo, Ph.D.
<b>Academic Year</b>	2014

## ABSTRACT

The objective of this research was to develop antibacterial fabric by inorganic and organic compound. The comparison between the antibacterial efficiency of both inorganic compound (Zinc nanoparticles and Silver nanoparticles) and organic compound (Curcumin microcapsules) were studied.

First experiment, zinc nanoparticles were synthesized by precipitation method under different conditions. The results showed that synthesized zinc nanoparticles via precipitation method by using stabilizer provided nanoparticles in spherical form with the size in the range of 200-400 nm. Next step, silver nanoparticles were synthesized by reduction method with two conditions of under room temperature and low temperature. The synthesized silver nanoparticles by reduction method at low temperature showed spherical particles and smaller size than that obtained at room temperature condition. For curcumin extraction from turmeric, optimum conditions were 80% (v/v) of ethanol with 1 h for extraction time. Next step, extracted curcumin was encapsulated by microencapsulation technique. Following step, zinc nanoparticles, silver nanoparticles and curcumin microcapsules were evaluated antibacterial activity of *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. It was found that the zinc nanoparticles showed excellent antibacterial activity.

The result was found that the cotton coated with zinc nanoparticles showed 84 % and 65 % microbial reduction against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*, respectively. After 14 cycles washing, the zinc nanoparticles retain on cotton fabric with antibacterial activity up to 29 % for *Staphylococcus aureus* and 18 % for *Escherichia coli*.

**Keywords:** antibacterial, zinc oxide nanoparticles, silver nanoparticles, microencapsules of curcumin, cotton fabric



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยความเมตตากรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.เนตรนภิส แก้วช่วย ประธานกรรมการ ดร.รัตนพล มงคลรัตนสิทธิ กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ และ ผศ.ดร.ศิริวรรณ ตี๋ภู อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และให้คำปรึกษา ตลอดจนให้ความช่วยเหลือ แก่ใจข้อบกพร่องต่างๆ เพื่อให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ซึ่งผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณห้องปฏิบัติการนาโนเซนเซอร์ ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์คอลลอยด์ ภาควิชาเคมี ศูนย์เครื่องมือ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ภาควิชาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และสถาบันวิจัยสิ่งทอ ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ทำวิจัย ทำให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณบุคลากรบัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดช่วงเวลาของการศึกษา

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา บ่มเพาะจนผู้วิจัยสามารถนำเอาหลักการมาประยุกต์ใช้อ้างอิงในการวิจัยในครั้งนี้ คุณค่าอันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอมอบเพื่อบูชาพระคุณบิดา มารดา ครู อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน

ณสรรา แก้วคง



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(10)
สารบัญรูป.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	15
1.3 สมมติฐานการวิจัย.....	15
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	15
1.5 กรอบแนวคิดของการวิจัย.....	16
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	18
บทที่ 2 วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.1 แบคทีเรียบนเสื้อผ้า.....	19
2.2 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย.....	21
2.2.1 อนุภาคนาโนสังกะสีออกไซด์ (Zinc oxide nanoparticles).....	21
2.2.2 อนุภาคนาโนเงิน (Silver nanoparticles).....	24
2.2.3 ไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมินจากขมิ้น.....	26
2.3 กระบวนการตกแต่งวัสดุสิ่งทอ ด้วยเทคนิค จุ่ม อัด อบแห้ง.....	33
2.4 วิธีการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียบนสิ่งทอ.....	35
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	37
3.1 สารเคมี วัสดุและเครื่องมือ.....	37
3.1.1 สารเคมี.....	37
3.1.2 วัสดุ.....	37
3.1.3 เครื่องมือ.....	37

## สารบัญ (ต่อ)

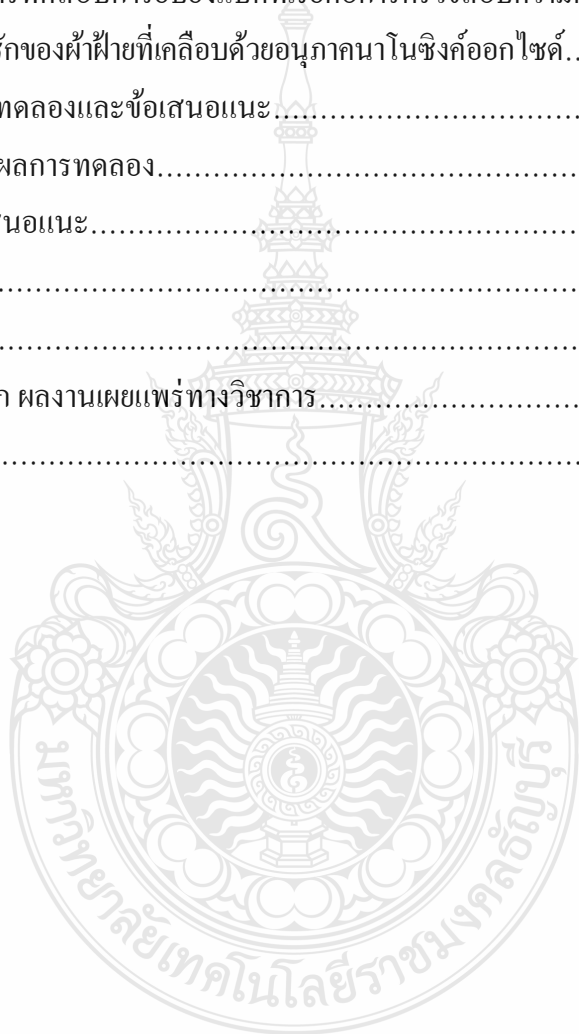
	หน้า
3.2	แผนผังของการวิจัย.....39
3.3	วิธีการสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....41
3.3.1	การสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน.....41
3.3.2	การสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน.....42
3.3.3	การสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันด้วยเครื่องไฮโดรเทอร์มอล.....43
3.3.4	การสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน โดยใช้สารทำให้งอกตัว.....44
3.4	วิธีการสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนเงิน.....45
3.4.1	การสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะ การทดลองที่อุณหภูมิห้อง.....45
3.4.2	การสังเคราะห์ห่อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะ การทดลองที่อุณหภูมิต่ำ.....46
3.5	วิธีการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้นด้วยตัวทำละลายเอทานอล.....47
3.6	การเตรียมไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมิน.....48
3.7	วิธีการตรวจสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพ.....49
3.7.1	วิธีการตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....49
3.7.2	วิธีตรวจสอบลักษณะพื้นฐาน ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....50
3.7.3	วิธีการหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง.....51
3.7.4	วิธีการตรวจสอบโครงสร้างของอนุภาค ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน.....52
3.7.5	วิธีการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....53
3.8	วิธีทดสอบการยับยั้ง <i>Staphylococcus aureus</i> และ <i>Escherichia coli</i> .....54
3.8.1	วิธีทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพ.....54

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.8.2 วิธีทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณ.....	54
3.9 การเคลื่อนอนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์บนผ้าคอตตอน.....	59
3.10 การตรวจสอบความคงทนต่อการซักของผ้าคอตตอนที่เคลือบ ด้วยอนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์.....	60
บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล.....	61
4.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์.....	61
4.1.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน.....	61
4.1.2 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน.....	62
4.1.3 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันเครื่องไฮโดรเทอร์มอล.....	63
4.1.4 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน โดยใช้สารทำให้คงตัว.....	64
4.2 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน.....	66
4.2.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะ การทดลองที่อุณหภูมิห้อง.....	66
4.2.2 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะ การทดลองที่อุณหภูมิต่ำ.....	67
4.3 ผลการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้นด้วยตัวทำละลายเอทานอล.....	68
4.4 ผลการเตรียมไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมิน.....	70
4.5 ผลทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย <i>Staphylococcus aureus</i> และ <i>Escherichia coli</i> .....	71
4.6 ผลการต้านรังสียูวีของอนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์.....	73
4.7 ผลการทำความสะอาดตัวเองของอนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์.....	74
4.8 ผลของความเข้มข้นของสารช่วยยึติดัดสำหรับเคลือบ อนุภาคนาโนซึ่งค้ออกไซด์บนผ้าฝ้าย.....	75

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.9 ผลของการตรวจสอบความคงทนต่อการซักของผ้าฝ้ายที่เคลือบ ด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	77
4.10 ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียต่อการตรวจสอบความคงทนต่อ การซักของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	79
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	81
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	83
บรรณานุกรม.....	84
ภาคผนวก.....	94
ภาคผนวก ก ผลงานเผยแพร่ทางวิชาการ.....	95
ประวัติผู้เขียน.....	112



## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1	แสดงผลการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้นด้วยตัวทำละลายเอทานอล.....69
ตารางที่ 4.2	แสดงผลทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพ.....73
ตารางที่ 4.3	แสดงผลทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณเพื่อตรวจสอบความคงทนต่อ การซักของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....79



## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย.....	20
รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการยับยั้งแบคทีเรียโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	22
รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการทำปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนเงินบนแบคทีเรีย.....	25
รูปที่ 2.4 เหง้าขมิ้น.....	27
รูปที่ 2.5 แสดงโครงสร้างทางเคมีของเคอร์คูมิน.....	27
รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างกลุ่มเคอร์คิวมิน.....	28
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของไมโครแคปซูล.....	29
รูปที่ 2.8 เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชั้นแบบการเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด.....	30
รูปที่ 2.9 การไมโครเอนแคปซูลชั้นแบบเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย.....	31
รูปที่ 2.10 เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชั้นแบบโคอะเซอเวชัน.....	32
รูปที่ 2.11 เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชั้นแบบเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย.....	32
รูปที่ 2.12 แสดงกระบวนการทำงานของเทคนิค จุ่ม อัด อบแห้ง.....	33
รูปที่ 2.13 ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยอนุภาคนาโนผสมระหว่างไลโดซาน และสมุนไพร.....	35
รูปที่ 3.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน.....	41
รูปที่ 3.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน.....	42
รูปที่ 3.3 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันเครื่องไฮโดรเทอร์มอล.....	43
รูปที่ 3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน โดยใช้สารทำให้คงตัว.....	44
รูปที่ 3.5 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะ การทดลองที่อุณหภูมิห้อง.....	45
รูปที่ 3.6 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะ การทดลองที่อุณหภูมิต่ำ.....	46
รูปที่ 3.7 การสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้นด้วยตัวทำละลายเอทานอล.....	47

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.8 การเตรียมไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมิน.....	48
รูปที่ 3.9 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์.....	49
รูปที่ 3.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	50
รูปที่ 3.11 เครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง.....	51
รูปที่ 3.12 เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน.....	52
รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	53
รูปที่ 3.14 ขั้นตอนของวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง.....	59
รูปที่ 3.15 เครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติ.....	60
รูปที่ 4.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน.....	61
รูปที่ 4.2 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน.....	62
รูปที่ 4.3 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน ภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันเครื่องไฮโดรเทอร์มอล.....	63
รูปที่ 4.4 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอน โดยใช้สารทำให้คงตัว.....	64
รูปที่ 4.5 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของผลิตภัณฑ์ด้วยเครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน.....	65
รูปที่ 4.6 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะ การทดลองที่อุณหภูมิห้อง.....	66
รูปที่ 4.7 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะ การทดลองที่อุณหภูมิต่ำ.....	67
รูปที่ 4.8 ผลการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้น.....	68
รูปที่ 4.9 ไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมินที่หุ้มด้วยพอลิเมอร์ ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง.....	70
รูปที่ 4.10 ภาพการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	71
รูปที่ 4.11 ภาพการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงิน.....	72
รูปที่ 4.12 ภาพการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมิน.....	72



## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.13 แสดงผลการด้านรังสีวิทยาของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	73
รูปที่ 4.14 แสดงผลการสลายตัวของเมทิลีน บลูโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์.....	74
รูปที่ 4.15 ผลการเคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้าย โดยใช้สารช่วยยึดติดที่ความเข้มข้น.....	76
รูปที่ 4.16 แสดงผลของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เมื่อผ่านการซักต่างๆกัน.....	78



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อน มีสภาพแวดล้อมที่มีความเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และโลกมีแนวโน้มว่าจะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นเรื่อยๆ จากการทำกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ เช่น กระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม การเผาไหม้เชื้อเพลิงต่างๆ และการตัดต้นไม้ทำลายป่า ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่ที่มีภูมิอากาศอยู่ในเขตร้อน จึงมีความเสี่ยงที่จะสัมผัสกับเชื้อโรคและแบคทีเรียชนิดต่างๆ ที่อาศัยอยู่ในฝุ่นมลภาวะต่างๆในสิ่งแวดล้อมรอบๆตัวเรา เนื่องจากการประกอบอาชีพรวมถึงการทำกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันนั้น จึงทำให้มีเหงื่อ และกลิ่นไม่พึงประสงค์ และทำให้เสื้อผ้าเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและแบคทีเรียได้เป็นอย่างดี ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดโรคต่างๆทางผิวหนังตามมา

ประชาชนที่อาศัยอยู่ในพื้นที่เขตร้อนจะมีเหงื่อที่ออกง่ายกว่าปกติ และเวลามีเหงื่อจะรู้สึกไม่มั่นใจ เพราะกลิ่นไม่พึงประสงค์จะตามมาทีหลัง ดังนั้นประชาชนส่วนใหญ่จึงมักจะนิยมเลือกซื้อเสื้อผ้าที่มีความสามารถในการดูดซับเหงื่อได้ดี ระบายอากาศได้ดี และเลือกซื้อเสื้อผ้าที่ใช้วัตถุดิบที่ได้จากธรรมชาติมาใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งผ้าฝ้ายเป็นผ้าที่มีวัตถุดิบได้มาจากธรรมชาติดูดซับเหงื่อได้ดี และมีราคาถูก แต่เมื่อเนื้อผ้ามีความสามารถในการดูดซับเหงื่อได้ดี จึงเป็นแหล่งสะสมของแบคทีเรียและเชื้อโรคต่างๆ ทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจจะก่อให้เกิดต่างๆทางผิวหนัง ดังนั้นจึงเป็นปัญหาทางด้านสุขภาพของประชาชน ในตอนนี้ นับว่าเป็นปัญหาที่สำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากสภาพแวดล้อมและมลภาวะรอบตัวของเรามีเชื้อโรครออยู่เป็นจำนวนมาก แต่ที่ใกล้ตัวเรามากที่สุดก็คือแบคทีเรีย ที่มักจะสะสมอยู่ในเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดโรคผิวหนังต่างๆ และเมื่อแบคทีเรียรวมตัวกับความเปียกชื้นจากเหงื่อก็จะทำให้เกิดปัญหาหากลิ้นอับ ซึ่งเป็นสิ่งไม่พึงประสงค์ กลิ่นอับชื้นเกิดจากเสื้อผ้าเมื่อผ่านการสวมใส่แล้วย่อมจะเกิดคราบสกปรกต่างๆ ซึ่งก็คือ คราบ โปรตีนและไขมัน ภายใต้สภาวะความชื้นและอุณหภูมิที่พอเหมาะจะเกิดขบวนการย่อยสลายโปรตีน และไขมันเหล่านั้นโดยเชื้อแบคทีเรียซึ่งมีอยู่ทั่วไปในบรรยากาศ แล้วเกิดเป็นกลิ่นเหม็นอับชื้น

ดังนั้นในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีต่างๆ มีการขยายตัวอย่างกว้างขวางเกิดขึ้นในหลายด้านเช่น ด้านวิทยาศาสตร์ ด้านอุตสาหกรรมถึงทอ เป็นต้น ที่ได้มีการพัฒนานำนวัตกรรมใหม่ๆ มาปรับใช้ทางด้านอุตสาหกรรมต่างๆ เช่นมีการคิดค้นพัฒนางานวิจัยทางด้านต่างๆ

เช่น สารที่มีฤทธิ์ในการยับยั้งแบคทีเรีย และในปัจจุบันได้มีหลายหน่วยงานที่สนใจในเรื่องนี้ เพื่อผลิตเสื้อผ้าและเครื่องนุ่งห่ม ที่มีสมบัติพิเศษ เช่น สามารถสารยับยั้งแบคทีเรียได้ เพื่อเป็นทางเลือกให้แก่ผู้บริโภคเลือกซื้อสินค้าและผลิตภัณฑ์นวัตกรรมแบบใหม่ๆ ที่มุ่งเน้นการรักษาสุขภาพเพื่อลดความเสี่ยงต่อการเกิดกลิ่นเหม็นอับ กลิ่นเหม็น กลิ่นไม่พึงประสงค์ในเสื้อผ้า และการเกิดโรคต่างๆทางผิวหนัง

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้สนใจที่จะพัฒนาผ้าที่มีสมบัติยับยั้งแบคทีเรีย โดยใช้สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์ สารอนินทรีย์ที่จะนำมาศึกษาสมบัติในการยับยั้งแบคทีเรียได้แก่ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนเงิน สำหรับสารอินทรีย์ ได้แก่สารสกัดเคอร์คิวมินจากขมิ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 สังเคราะห์สารอนินทรีย์ และสกัดสารอินทรีย์
- 1.2.2 เปรียบเทียบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของสารอนินทรีย์และสารอินทรีย์
- 1.2.3 เคลือบสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์บนผ้า
- 1.2.4 ทดสอบประสิทธิภาพของผ้าที่เคลือบสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์ในการยับยั้งแบคทีเรีย

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

- 1.3.1 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเงิน และสารสกัดจากขมิ้น สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้
- 1.3.2 ผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเงิน หรือสารสกัดจากขมิ้น สามารถยับยั้งแบคทีเรียและสามารถผ่านกระบวนการซักได้หลายครั้ง

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาวิธีการสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์
- 1.4.2 ศึกษาวิธีการสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพของอนุภาคนาโนเงิน
- 1.4.3 ศึกษาวิธีการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้น
- 1.4.4 เตรียมแคปซูลของสารเคอร์คิวมินโดยวิธีไมโครเอนแคปซูลชัน
- 1.4.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเงินและแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมิน

- 1.4.6 ศึกษาวิธีการเคลือบผ้าด้วยสารที่ได้จากข้อ 1.4.5 โดยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง
- 1.4.7 ทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าที่ได้จากข้อ 1.4.6
- 1.4.8 ทดสอบประสิทธิภาพความคงทนของสารเคลือบบนผ้าฝ้ายต่อการซักล้าง

### 1.5 กรอบแนวคิด

เนื่องจากแบคทีเรียที่กระจายอยู่รอบๆตัวเรานั้นมีการการแพร่กระจายอยู่เป็นจำนวนมากและเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดโรคต่างๆทางผิวหนัง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดเพื่อที่จะพัฒนาผ้าฝ้ายยับยั้งแบคทีเรียบนวัสดุสิ่งทอ จึงทำให้ในงานวิจัยนี้สนใจที่สังเคราะห์สารอินทรีย์ได้แก่ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนเงิน และสารอินทรีย์ ได้แก่สารสกัดจากขมิ้น ที่มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย และเลือกสารที่มีสมบัติในการยับยั้งเชื้อแบคทีเรียที่ดีที่สุดมาเคลือบบนผ้าฝ้าย โดยมีกรอบแนวความคิดในการวิจัยดังนี้ เพื่อให้ผ้าที่มีสมบัติยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย





## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้อุณหภูมิโนซิงค์ออกไซด์ อุณหภูมิโนเงินและแคลปซูลของสารเคอร์คิวมินที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย
- 1.6.2 ได้ผ้าฝ้ายที่มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย
- 1.6.3 ได้เผยแพร่ผลงานวิจัย



## บทที่ 2

### วรรณกรรมหรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แบคทีเรียบนเสื้อผ้า

เสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่มเป็นปัจจัยสี่ที่มีความสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นชุดทำงาน ชุดกีฬา ผ้าผ่าน ถูงเท้า ผ้าเช็ดหน้า ฯลฯ และเนื่องมาจากการทำกิจกรรมต่างๆ ในรอบวันนั้นทำให้ผู้สวมใส่เสื้อผ้าเกิดมีเหงื่อ มีกลิ่นตัว จนทำให้เสื้อผ้าเหม็นอับ และสาเหตุเหล่านี้จะเป็นอาหารและแหล่งสะสมของแบคทีเรีย ผ้าที่นำมาตัดเย็บเป็นเครื่องนุ่งห่มได้จากการนำวัสดุธรรมชาติหรือวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นมาสานหรือทอเป็นเนื้อเดียวกัน เส้นใยธรรมชาติที่นิยมนำมาตัดเย็บเป็นเสื้อผ้า เช่น ฝ้าย ลินิน ผ้าไหม และผ้าขนสัตว์ แบคทีเรียสามารถสะสมบนเส้นใยธรรมชาติเหล่านี้ได้ดี เนื่องจากในเส้นใยธรรมชาติมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก มีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิล (-OH) ซึ่งเป็นหมู่ที่ชอบน้ำ (Hydrophilic) ในขณะที่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียมีหมู่ฟังก์ชันไฮดรอกซิลเช่นเดียวกัน ดังนั้นแบคทีเรียจึงสามารถเกาะติดอยู่บนผ้าที่ผลิตมาจากเส้นใยธรรมชาติได้ด้วยแรงชอบน้ำ (Hydrophilic force) [1] สำหรับเส้นใยสังเคราะห์ได้แก่ ไนลอน พอลิเอสเตอร์ อะคริลิก และ สแปนเดกซ์ สามารถเป็นแหล่งสะสมของแบคทีเรียได้เช่นเดียวกัน เนื่องจากการนำวัสดุตกแต่งเช่น สารฟอกขาว แป้งและสี ที่นำมาตกแต่งบนเส้นใยสังเคราะห์ ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของแบคทีเรียทำให้แบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดี ดังนั้นทั้งเสื้อผ้าที่ได้จากเส้นใยธรรมชาติและเส้นใยสังเคราะห์สามารถเกิดการสะสมของแบคทีเรียได้ [2] นอกจากนี้แล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการสะสมของแบคทีเรียบนผ้า ได้แก่

1) ออกซิเจน โดยแบคทีเรียมีทั้งชนิดที่ต้องการออกซิเจน (Aerobe) ในการเจริญเติบโต และชนิดที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต (anaerobe) แบคทีเรียที่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตได้แก่ *Escherichia* และ *Pseudomonas* ส่วนแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโตได้แก่ *Clostridium*

2) พีเอช ส่วนใหญ่มีพีเอชที่เหมาะสมในการเติบโตอยู่ระหว่าง 6.5-7.5 มีบางชนิดเท่านั้นที่สามารถเจริญเติบโตได้ในพีเอชที่เป็นกรดมากๆ

3) ความชื้น แบคทีเรียส่วนใหญ่ต้องการความชื้น แต่แบคทีเรียบางชนิดที่มีสปอร์ทนต่อความแห้งแล้งได้ดี สามารถเจริญเติบโตในสภาวะแห้งแล้งได้ดี เช่น *Tubercle bacilli* และ *Staphylococcus aureus*

4) อุณหภูมิ แบคทีเรียแต่ละชนิดมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตต่างกัน เช่น *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Alkaligenes*, *Micrococcus*, *Serratia* เป็นแบคทีเรียที่

เจริญเติบโตได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ 12-15 องศาเซลเซียส และ *Neisseria gonorrhoeae*, *Staphylococcus aureus* อุณหภูมิที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต อยู่ในช่วง 30-45 องศาเซลเซียส เป็นต้น

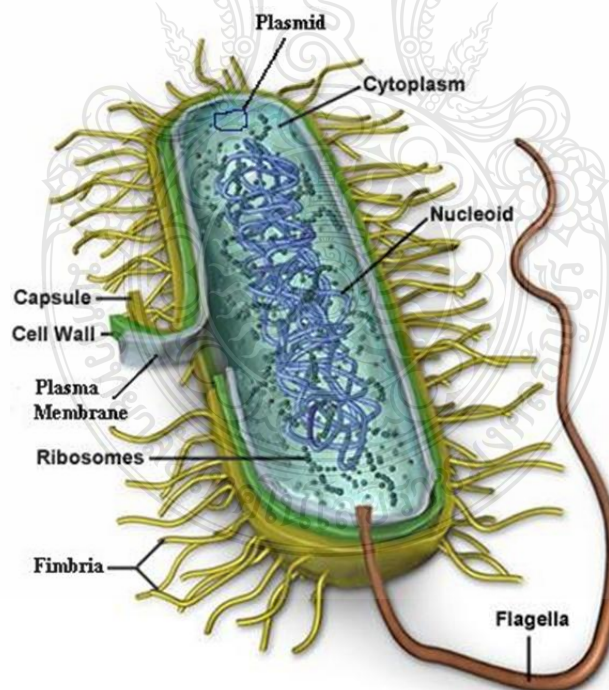
### โครงสร้างของแบคทีเรีย

แบคทีเรียมีขนาดเล็ก เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.3-2 ไมโครเมตร โดยมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.1 แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1) Cell envelope เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ปกป้องเซลล์ ทำให้เซลล์มีรูปร่างแตกต่างกันไป ได้แก่ ส่วนของเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) ผนังเซลล์ (cell wall) และไกลโคคาลิกซ์ (glycocalyx) ซึ่งเป็นเปลือกนอกพวกแคปซูล (capsule) หรือสารเมือก (slime layers)

2) Protoplasm ซึ่งเป็นของเหลว (Cytoplasm) ภายในประกอบด้วยออร์แกเนลล์ (organelle) หลายชนิด ได้แก่ ไรโบโซม (ribosome) และนิวคลีโออยด์ (nucleoid)

3) Appendages เป็นส่วนที่ยื่นออกจากเซลล์ ทำหน้าที่เคลื่อนที่ เช่น แฟลกเจลลา (flagella) และ ฟิมเบรีย (fimbriae) หรือ พิล (pili) ซึ่งอาจมีหรือไม่มีก็ได้



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของแบคทีเรีย [3]



แบคทีเรียที่มักพบบนเสื้อผ้ามีทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ได้แก่ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*

*Staphylococcus aureus* เป็นแบคทีเรียแกรมบวก มีรูปทรงกลม มักพบอยู่เดี่ยวๆหรือเป็นคู่ และเนื่องจากมีการแบ่งตัวมากกว่าหนึ่งระนาบทำให้มีลักษณะเป็นกลุ่มคล้ายพวงองุ่น เป็นเชื้อที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ ในสภาพที่มีออกซิเจนจะสร้างกรดแต่ไม่สร้างแก๊ส ภายใต้ออกซิเจนมีการสร้างเอนไซม์ (Enzyme) และสารพิษที่ขับออกนอกเซลล์ (Exotoxin) อุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต อยู่ระหว่าง 35-40 องศาเซลเซียส พีเอชที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตอยู่ระหว่าง 7.0-7.5 แบคทีเรียชนิดนี้ส่วนใหญ่เจริญเติบโตได้ดีในที่ที่มีเกลือแคงประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ จึงทำให้มักพบตามผิวหนังและรูขุมขน จึงมีโอกาสที่จะสะสมบนเสื้อผ้าได้สูง เมื่อ *Staphylococcus aureus* เข้าไปในร่างกายจะไปสร้างสารพิษเอนเทอโรทอกซิน โดยสารพิษนี้ทำให้เกิดอาการ อาเจียน ปวดท้องและอ่อนเพลีย [4]

*Escherichia coli* เป็นแบคทีเรียแกรมลบ มีรูปร่างเป็นท่อนสั้น ขนาด 1-2 ไมโครเมตร ไม่สร้างสปอร์ เป็นแบคทีเรียที่ไม่ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเจริญเติบโต คือ 37-41 องศาเซลเซียส เป็นแบคทีเรียที่สามารถทนต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดี เช่น สามารถมีชีวิตอยู่ตามเสื้อผ้าและในฝุ่นละอองได้หลายวัน *Escherichia coli* เป็นแบคทีเรียก่อโรคทางอาหารทำให้ท้องร่วง กระเพาะปัสสาวะอักเสบ และเยื่อหุ้มสมองอักเสบ [5]

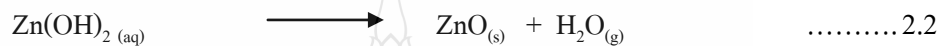
## 2.2 สารที่มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย

### 2.2.1 อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (Zinc oxide nanoparticles)

ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา อนุภาคนาโน (Nanoparticles) ซึ่งมีขนาดอนุภาคอยู่ในช่วง 1-100 นาโนเมตร ได้เข้ามามีบทบาทในงานด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี อนุภาคนาโนที่ได้จากการสังเคราะห์สารอนินทรีย์ออกไซด์ เช่น คอปเปอร์ออกไซด์ [6] เหล็กออกไซด์ [7] และซิงค์ออกไซด์ [8] อนุภาคนาโนออกไซด์เหล่านี้มีสมบัติเด่นคือ มีฤทธิ์ยับยั้งแบคทีเรีย จึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เพื่อเพิ่มสมบัติพิเศษให้กับวัสดุสิ่งทอ อีกทั้งสารเหล่านี้ยังมีความเสถียรและความปลอดภัยต่อผู้สวมใส่ ได้มีงานวิจัยศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียระหว่างอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ คอปเปอร์ออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ ในการยับยั้งแบคทีเรียแกรมลบคือ *Escherichia coli* และ *Pseudomonas aeruginosa* และแบคทีเรียแกรมบวกคือ *Staphylococcus aureus* และ *Bacillus subtilis* ผลการศึกษาพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้ง

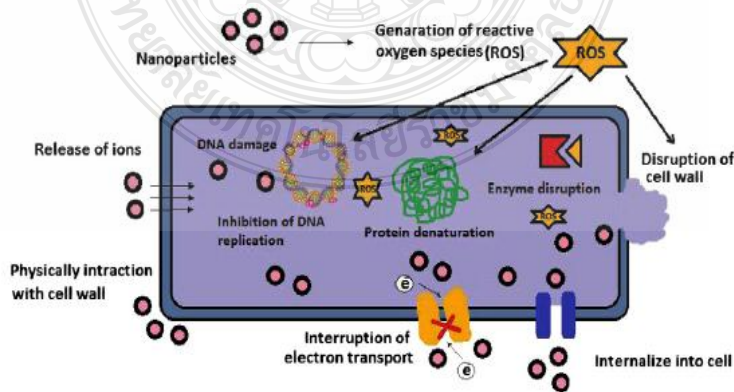
แบคทีเรียได้มากกว่าที่สุด รองลงมาคืออนุภาคนาโนคอปเปอร์ออกไซด์ และอนุภาคนาโนเหล็กออกไซด์ตามลำดับ [9]

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนเป็นวิธีที่นิยม ทั้งนี้เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และไม่ต้องอาศัยเครื่องมือ วิธีตกตะกอนใช้ซิงค์ไนเตรท (Zinc nitrate) เป็นสารตั้งต้น โซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นสารตกตะกอนร่วม และใช้น้ำแป้งเป็นสารช่วยความเสถียร (Stabilizing agent) สมการการเกิดอนุภาคเป็นดังสมการที่ 2.1 และ 2.2



นำตะกอนของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้ไปอบให้แห้งที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำออกจากผลึกของแข็ง จนในที่สุดได้เป็นอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO) [10]

อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย ด้านรังสียูวี และสามารถทำความสะอาดตัวเอง (self-cleaning) จึงนิยมนำมาตกแต่งบนวัสดุสิ่งทอ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้งแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ โดยเฉพาะแบคทีเรียที่สามารถสร้างสปอร์ ที่ทนความร้อนและความดันสูง โดยมีกลไกการยับยั้งแบคทีเรียโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้หลายวิธี เป็นดังรูปที่ 2.2 ตัวอย่างเช่น อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประจุบวกสามารถจับกับผิวของแบคทีเรียที่มีประจุลบได้ด้วยแรงทางประจุ (Electrostatic force) ทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียมีช่องว่าง อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถเข้าไปทำลายเซลล์ นอกจากนี้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังสามารถเข้าไปขัดขวางกระบวนการส่งผ่านอิเล็กทรอนิกส์ของชั้นเมมเบรน (Membrane) เมื่อกิจกรรมภายในเซลล์ของแบคทีเรียถูกทำลาย จึงทำให้แบคทีเรียตายลงในที่สุด [11]

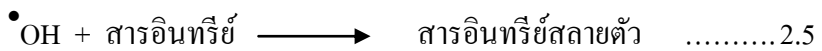


รูปที่ 2.2 แสดงกลไกการยับยั้งแบคทีเรียโดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ [11]

เมื่อนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปเคลือบบนผ้า ผลการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียแกรมบวก *Staphylococcus aureus* และแบคทีเรียแกรมลบ *Escherichia coli* ได้ 94 และ 86% ตามลำดับ ในขณะที่ซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ได้อยู่ในรูปของอนุภาคนาโนมีความสามารถในการยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้เพียง 47 และ 40% ตามลำดับ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียมากกว่าซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็กกว่า จึงทำให้สามารถเข้าไปในเซลล์ของแบคทีเรียได้ง่ายและเร็วกว่า ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีกว่า [10] นอกจากนี้แล้วขนาดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังมีผลต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดเล็กจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียมากกว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่ [12]

นอกจากสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียแล้ว อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังสามารถต้านรังสีอัลตราไวโอเล็ตหรือรังสียูวีได้อีกด้วย อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการต้านรังสียูวีได้ทั้งรังสียูวีเอ (UV-A) และ รังสียูวีบี (UV-B) ในช่วงความยาวคลื่น 290-400 นาโนเมตร เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการต้านรังสียูวีระหว่างอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ขนาด 20 นาโนเมตร กับซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่กว่านาโนเมตร โดยการนำไปเคลือบบนวัสดุสิ่งทอ เพื่อช่วยในการยับยั้งแบคทีเรียและต้านรังสียูวี พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถต้านรังสียูวีได้ดีกว่าซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพราะอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็กกว่า มีพื้นที่ผิวมาก สามารถเคลือบบนผ้าคอตตอนได้ดีกว่า จึงทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการต้านรังสียูวีได้ดีกว่า [13] ได้มีรายงานวิจัยพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดอยู่ระหว่าง 21-25 นาโนเมตร สามารถต้านรังสียูวี ในช่วงความยาวคลื่น 290-400 นาโนเมตรได้ถึง 78% [13]

สมบัติในการทำความสะอาดตัวเอง เป็นสมบัติหนึ่งของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เมื่อได้รับแสงจะมีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ เมื่ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับพลังงาน ทำให้อิเล็กตรอนถูกกระตุ้น เปลี่ยนที่อยู่จากแถบวาเลนซ์ไปยังแถบการนำไฟฟ้า ทำให้เกิดสถานะขาดอิเล็กตรอนที่แถบวาเลนซ์ เรียกว่า โฮล ( $h^+_{VB}$ ) ดังสมการที่ 2.3 เมื่อโฮลทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของน้ำทำให้เกิดอนุมูลไฮดรอกซิล (Hydroxyl radical;  $\bullet OH$ ) ดังสมการที่ 2.4 ซึ่งอนุมูลไฮดรอกซิลเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรง สามารถกำจัดคราบสกปรกที่เป็นสารอินทรีย์ต่างๆ ได้ โดยการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ ดังสมการที่ 2.5 ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวไป [14]



### 2.2.2 อนุภาคนาโนเงิน (Silver nanoparticles)

ตั้งแต่ในอดีตเป็นที่รู้กันว่าโลหะเงินไม่ว่าจะอยู่ในรูปของ  $\text{Ag}^0$  หรือ  $\text{Ag}^+$  ก็มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ ปัจจุบันได้มีการนำเอานาโนเทคโนโลยีมาสังเคราะห์ให้เงินมีขนาดเล็กลงในระดับนาโนเมตร เรียกว่า อนุภาคนาโนเงิน ขนาดของอนุภาคที่เล็กลงระดับ 1-100 นาโนเมตร ทำให้ไปเพิ่มพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับแบคทีเรีย ส่งผลให้อนุภาคนาโนเงินมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้มากกว่าโลหะเงิน [15]

วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินส่วนใหญ่สังเคราะห์โดยวิธีรีดักชัน (Reduction Method) เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่ายและค่าใช้จ่ายในการสังเคราะห์ต่ำ [16] เป็นวิธีการสังเคราะห์ที่อาศัยการเกิดปฏิกิริยารีดักชันของสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต โดยใช้ตัวรีดิวซ์ต่างๆ ได้แก่ กรดแอสคอร์บิก (Ascorbic acid) [17] ไคโตซาน (Chitosan) [18] โซเดียมซิเตรด (Sodium citrate) [19] หรือ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride) [20] เป็นต้น จากตัวรีดิวซ์ดังกล่าว โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงและทำให้ได้อนุภาคนาโนเงินที่มีขนาดเล็ก จึงนิยมนำมาใช้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน โดยมีปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการสังเคราะห์ ดังสมการที่ 2.6 สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ) ถูกรีดิวซ์ด้วยสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) ทำให้เปลี่ยนไอออนเงิน ( $\text{Ag}^+$ ) ไปเป็นอนุภาคเงิน ( $\text{Ag}^0$ )



การสังเคราะห์โดยวิธีรีดักชันที่ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์จะได้อนุภาคนาโนเงินมีขนาดอยู่ในช่วง  $12 \pm 2$  นาโนเมตร [21]

สำหรับการยับยั้งแบคทีเรียโดยอนุภาคนาโนเงิน เมื่ออยู่ในสารละลาย เช่น น้ำ อนุภาคนาโนเงินจะเปลี่ยนไปเป็นไอออนเงิน ไอออนเงินดังกล่าวจะเข้าไปยับยั้งแบคทีเรียโดยมีกลไกการยับยั้งแบคทีเรีย ดังรูปที่ 2.3 [22]

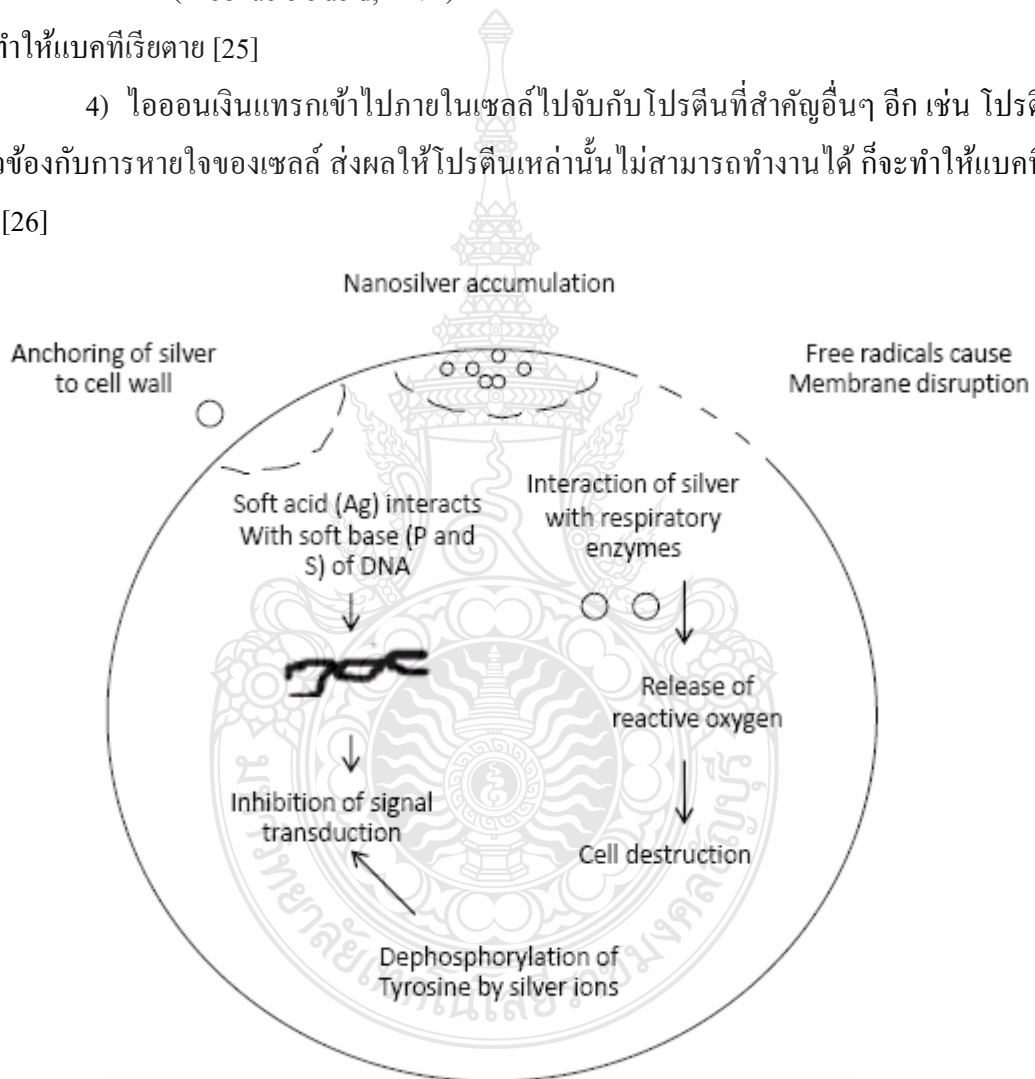
1) เมื่ออนุภาคนาโนเงินกลายเป็นไอออนเงิน ไอออนเงินซึ่งมีประจุบวกจะเข้าไปจับกับหมู่ซัลเฟต ที่มีประจุลบของโปรตีนบนผนังเซลล์ของแบคทีเรีย การจับกันทำให้ผนังเซลล์ของ

แบคทีเรียเกิดช่องว่าง ทำให้ของเหลวภายในเซลล์ไหลออกจากแบคทีเรีย ส่งผลให้แบคทีเรียตายในที่สุด [23]

2) ไอออนเงินไปยับยั้งโปรตีนไซโตโครม (Cytochrome) ที่ทำหน้าที่ส่งผ่านอิเล็กตรอนภายในแบคทีเรีย ทำให้กระบวนการถ่ายเทอิเล็กตรอนภายในแบคทีเรียไม่ทำงาน [24]

3) ไอออนเงินไปจับกับกรดดีออกซีไรโบนิวคลีอิก (Deoxyribonucleic acid; DNA) และกรดไรโบนิวคลีอิก (Ribonucleic acid; RNA) ของแบคทีเรีย เซลล์ของแบคทีเรียจึงไม่สามารถแบ่งตัวได้ ทำให้แบคทีเรียตาย [25]

4) ไอออนเงินแทรกเข้าไปภายในเซลล์ไปจับกับโปรตีนที่สำคัญอื่นๆ อีก เช่น โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการหายใจของเซลล์ ส่งผลให้โปรตีนเหล่านั้นไม่สามารถทำงานได้ ก็จะทำให้แบคทีเรียตาย [26]



รูปที่ 2.3 แสดงกลไกการทำปฏิกิริยาของอนุภาคนาโนเงินบนแบคทีเรีย [27]

ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงินขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างเช่น ขนาดและรูปร่างของอนุภาคนาโนเงิน ถ้าอนุภาคนาโนเงินมีขนาดเล็ก ทำให้มีพื้นที่ผิวมาก ส่งผลทำให้มีความสามารถในการแทรกผ่านชั้น peptidoglycan ของผนังเซลล์และชั้นเมมเบรนของแบคทีเรียได้เพิ่มขึ้น ทำให้มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีกว่าอนุภาคนาโนเงินที่มีขนาดใหญ่กว่า [28] สำหรับปัจจัยรูปร่างของอนุภาคนาโนเงินที่มีผลต่อประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย เมื่อเปรียบเทียบรูปร่างของอนุภาคนาโนเงิน 3 รูปร่าง คือ รูปร่างทรงกลม ทรงแท่ง และทรงสามเหลี่ยม พบว่าอนุภาคนาโนเงินทรงสามเหลี่ยม มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้มากที่สุด เพราะบริเวณผิวหน้าของอนุภาคนาโนเงินมีปริมาณอะตอมของเงินมากที่สุด จึงส่งผลให้สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดี [29]

นอกจากอนุภาคนาโนเงินมีข้อเด่นคือ มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบแล้ว อนุภาคนาโนเงินยังมีข้อดีอื่นๆอีก ได้แก่ สัมผัสง่าย และราคาถูก จึงทำให้มีการนำอนุภาคนาโนเงินมาประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอหลากหลาย เช่น การนำอนุภาคนาโนเงินเคลือบบนผ้าปิดจมูก จากนั้นนำไปทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* โดยวิธีมาตรฐาน AATCC 100-1999 พบว่าผ้าปิดจมูกที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนเงิน มีประสิทธิภาพในการยับยั้งทั้ง *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ได้ 100% เมื่ออนุภาคนาโนเงินสัมผัสกับแบคทีเรีย 48 ชั่วโมง และพบว่าผิวหนังของคนสวมผ้าปิดจมูกไม่เกิดอาการแพ้ที่ผิวหนัง แสดงว่าผ้าปิดจมูกเหมาะสมที่จะนำไปใช้งานได้จริงกับผู้ป่วยในโรงพยาบาล เพื่อเป็นอุปกรณ์ในการป้องกันแบคทีเรีย [30] นอกจากนี้ยังมีการนำอนุภาคนาโนเงินไปเคลือบบนผ้าไหมเพื่อยับยั้งแบคทีเรีย เนื่องจากผ้าไหมเป็นเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งมีความชื้นสูง เป็นสาเหตุทำให้เกิดการสะสมและเจริญเติบโตของแบคทีเรียบนผ้าไหมได้ง่าย นอกจากสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงินแล้ว ยังพบว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงให้กับเส้นใยของผ้าไหมได้อีกด้วย เส้นใยไหมที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนเงินมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 27% [31]

## 2.2.3 ไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมินจากขมิ้น

### 2.2.3.1 สารสกัดเคอร์คิวมิน

ขมิ้นเป็นพืชสมุนไพรที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Curcuma longa* Linn. เป็นพืชสมุนไพรตระกูลขิง เป็นพืชล้มลุกมีลำต้นเหนือดินที่เกิดจากการอัดตัวกันของกาบใบ ส่วนลำต้นที่อยู่ใต้ดินเป็นลำต้นจริง เรียกว่าเหง้า ซึ่งเหง้าขมิ้นประกอบด้วยสองส่วนคือ เหง้าหลักที่อยู่ใต้ดินเป็น

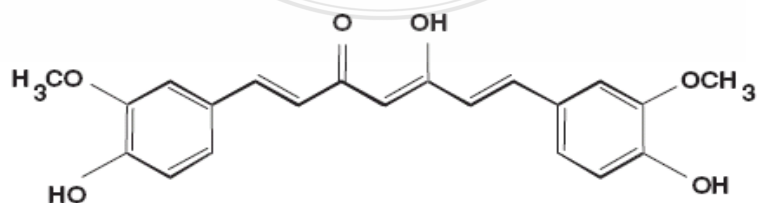
แกนกลางของเหง้า เรียกว่า หัวแม่ ส่วนที่เป็นแขนงแตกออกจากเหง้าหลักเรียกว่า แง่ง มีลักษณะดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 เหง้าขมิ้น [32]

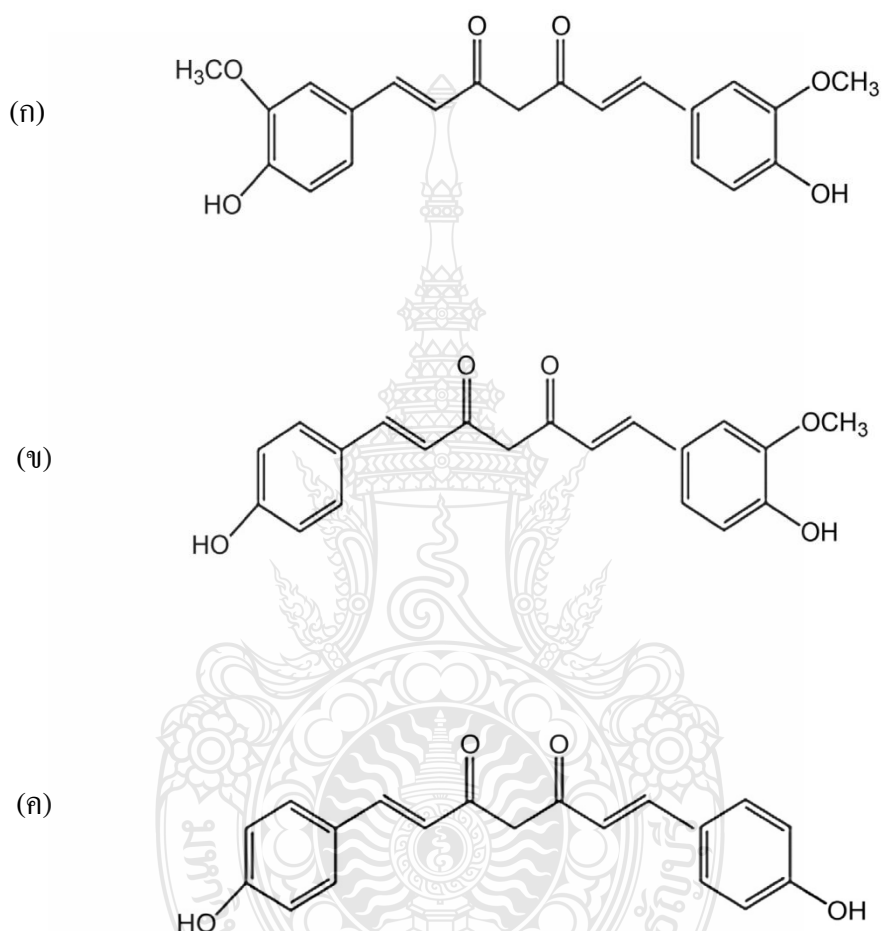
เนื้อมัน มีสีเหลืองส้ม มีกลิ่นเฉพาะ นิยมนำขมิ้นมาใช้ในการปรุงแต่งสีอาหารเพื่อให้อาหารมีสีเหลือง เช่น ข้าวหมกไก่ ผงแกงกะหรี่ หรือนอกจากนั้นยังใช้ขมิ้นในการย้อมผ้า เช่น ผ้าแพร ผ้าฝ้าย ผ้าไหม เพื่อให้มีสีเหลือง คุณสมบัติเด่นอีกอย่างหนึ่งของขมิ้น คือ ใช้เป็นยารักษาโรค แพทย์โบราณได้ใช้ทั้งขมิ้นสดและแห้งเพื่อเป็นยารักษาโรคต่างๆ เช่น ทาเป็นยาสมานแผล แก้ท้องอืด ท้องเฟ้อ ท้องร่วง และใช้บำบัดโรคเกี่ยวกับกระเพาะอาหารอักเสบ [33]

วิธีการสกัดสารสำคัญออกจากขมิ้น นิยมสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่น น้ำ และแอลกอฮอล์ จะได้สารสกัดสองส่วน คือ ส่วนที่เป็นน้ำมัน และส่วนที่เป็นของแข็ง สีน้ำตาลเหลือง สารสำคัญจะอยู่ในชั้นของน้ำมัน มีชื่อเรียกว่า สารกลุ่มเคอร์คิวมินอยด์ (Curcuminoids) องค์ประกอบหลักมีสูตรโครงสร้างทางเคมีดังรูปที่ 2.5 [34-36]



รูปที่ 2.5 โครงสร้างทางเคมีของเคอร์คิวมินอยด์ [34]

เคอร์คิวมินอยด์ เป็นกลุ่มพอลิฟีนอล (Polyphenol) ที่ประกอบด้วยสารหลัก 3 สาร คือ (1) เคอร์คิวมิน (Curcumin) มีปริมาณ 77% (2) ดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน (Demethoxy curcumin) มีปริมาณ 17% และ (3) บิสดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน (Bisdemethoxy curcumin) มีปริมาณ 3% [37] สารแต่ละตัวมีสูตรโครงสร้างดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สูตรโครงสร้างกลุ่มเคอร์คิวมินอยด์ ได้แก่ เคอร์คิวมิน (ก) ดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน (ข) และ บิสดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน (ค) [37]

เคอร์คิวมินเป็นองค์ประกอบหลักที่ได้จากการสกัดขมิ้น โครงสร้างของเคอร์คิวมินประกอบด้วยหมู่ orthomethoxylated phenol จำนวน 2 หมู่มาเชื่อมกันด้วย  $\beta$ -diketone เคอร์คิวมินมีจุดหลอมเหลว 176-177 องศาเซลเซียส ละลายน้ำได้น้อย ละลายได้ดีในแอลกอฮอล์ เมื่อเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียของสารกลุ่มเคอร์คิวมินอยด์ ทั้งสามสารคือ เคอร์คิวมิน ดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน และ บิสดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน

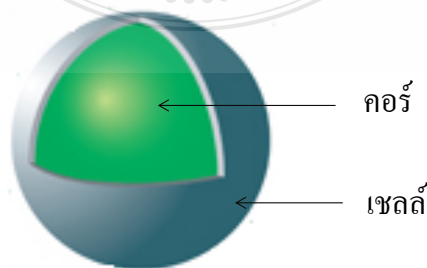


คิวมิน และบิสตีเมทอกซีเคอร์คิวมิน ที่สกัดได้จากขมิ้น โดยใช้ น้ำและเอทานอลเป็นตัวทำละลาย และแยกสารทั้งสามออกจากกันด้วยเทคนิค คอลัมน์โครมาโทกราฟี (Column chromatography) และเมื่อนำสารดังกล่าวไปทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *Bacillus subtilis*, *Klebsiella pneumonia*, *Escherichia coli*, *Enterobacter aerogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* และ *Proteus mirabilis* ด้วยวิธี Agar well diffusion ผลการทดลองพบว่า เคอร์คิวมินสามารถยับยั้งแบคทีเรียดังกล่าวได้ มากกว่าบิสตีเมทอกซีเคอร์คิวมินและดีเมทอกซีเคอร์คิวมิน [38]

สารเคอร์คิวมินสามารถยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียได้โดยการแพร่เข้าไปในเซลล์แบคทีเรีย สารเคอร์คิวมินจะเข้าไปยับยั้งการทำงานของระบบ SOS response ของแบคทีเรีย ซึ่งเป็นระบบการซ่อมแซมสารควบคุมทางพันธุกรรมของแบคทีเรีย สารเคอร์คิวมินจะไปทำให้คู่เบสในสายดีเอ็นเอเปลี่ยนไป เมื่อระบบซ่อมแซมสารทางพันธุกรรมของแบคทีเรียถูกทำลายไป ทำให้แบคทีเรียไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ [39] จากประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของสารเคอร์คิวมิน ทำให้มีการนำสารเคอร์คิวมินมาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ เช่น ทางการแพทย์ [40-41] ทางอาหาร [42-43] และอุตสาหกรรมด้านสิ่งทอ [44-45]

### 2.2.3.2 เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชัน (Microencapsulation)

เอนแคปซูลชัน เป็นกระบวนการหุ้มสารสำคัญด้วยพอลิเมอร์เป็นชั้นบางๆ การหุ้มสารมีลักษณะคล้ายแคปซูล มีขนาด 1-1,000 ไมโครเมตร เพื่อรักษาสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของสารที่ต้องการหุ้มไว้ภายในเปลือกของพอลิเมอร์ เช่นสารนั้นอาจจะเป็นสารที่ไวต่อแสง และถูกออกซิไดซ์ได้ง่าย ทำให้มีความคงตัวดีขึ้นและเก็บรักษาได้ยาวนาน หรือเพื่อควบคุมปริมาณและเวลาในการปลดปล่อยสารไปยังบริเวณที่ต้องการ แคปซูลประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนหลักคือ สารที่ถูกหุ้มที่อยู่ภายในแคปซูล เรียกว่า คอรั (Core) และเปลือกพอลิเมอร์ที่หุ้มสารไว้เรียกว่า เซลล์ (Shell) (รูปที่ 2.7) การสังเคราะห์ด้วยเทคนิคไมโครเอนแคปซูลชันแบ่งออกเป็นวิธีทางเคมีและกายภาพ [46]



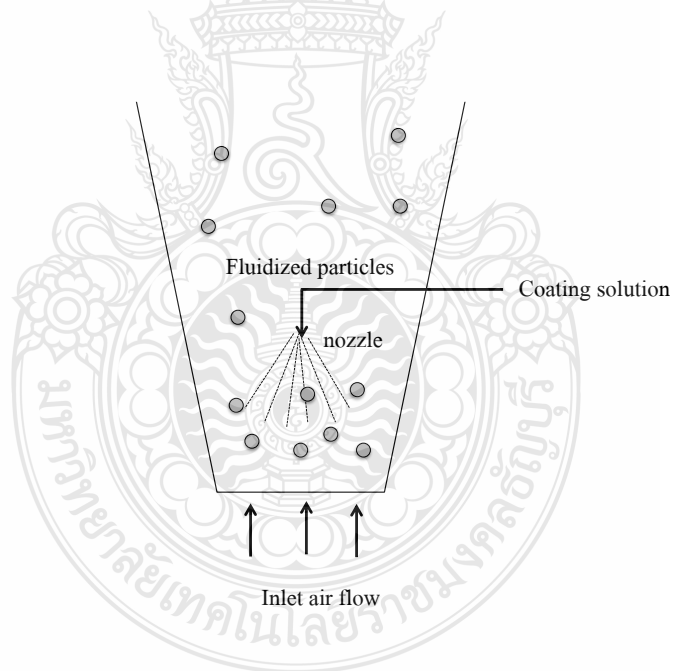
รูปที่ 2.7 โครงสร้างของไมโครแคปซูล

## 1) เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันทางกายภาพ

เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันทางกายภาพ เป็นการทำให้เกิดไมโครแคปซูลโดยใช้เครื่องมือ ได้แก่ การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด (Fluidized bed coating) และเทคนิคการอบแห้งพ่นฝอย (Spray drying technique)

### (1) การเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด

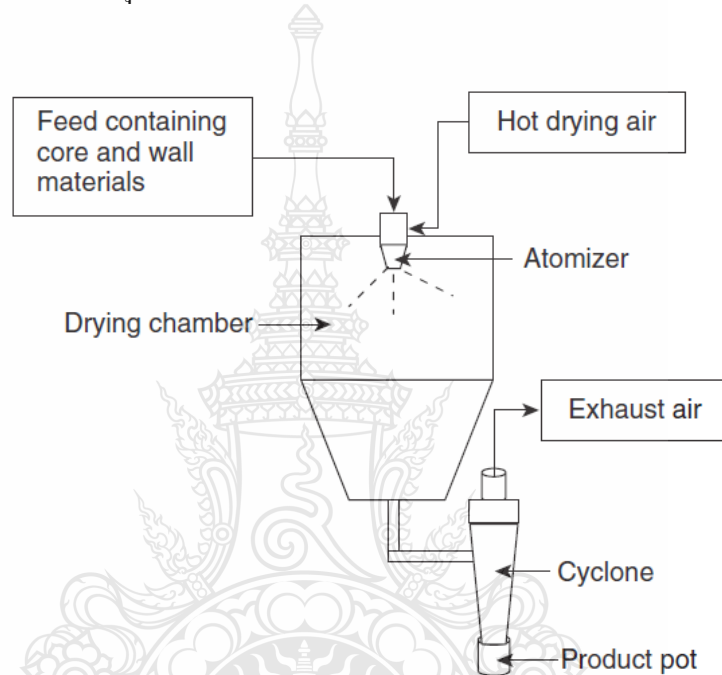
เทคนิคนี้เป็นการหุ้มสารสำคัญที่เป็นของแข็งด้วยสารเคลือบโดยใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดส์เบด อนุภาคที่ต้องการหุ้มจะถูกทำให้ลอยตัว (Fluidized) อยู่ในกระแสอากาศที่ร้อนภายในห้องอบแห้ง จากนั้นเครื่องจะพ่นสารเคลือบไปยังอนุภาคที่ต้องการเคลือบในขั้นตอนนี้จะทำให้เกิดแผ่นฟิล์มรอบๆ อนุภาค จากนั้นอบให้แห้งด้วยลมร้อน เพื่อระเหยตัวทำละลายที่อยู่ในสารเคลือบออก ทำให้เหลือเฉพาะสารเคลือบเกาะติดอยู่ที่ผิวของอนุภาคของแข็ง ดังรูปที่ 2.8 แคปซูลที่ได้จากเทคนิคนี้จะมีขนาดใหญ่ประมาณ 500 ไมโครเมตร โดยทั่วไปเทคนิคนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมยา [47]



รูปที่ 2.8 เทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชันแบบการเคลือบโดยใช้เทคนิคฟลูอิดไดส์เบด [47]

## (2) เทคนิคการอบแห้งพ่นฝอย

หลักการของเทคนิคนี้ เป็นการหุ้มแคปซูลโดยการผสมสารสำคัญที่ต้องการจะหุ้มและสารละลายที่ใช้เคลือบ จากนั้นนำสารผสมดังกล่าวเข้าเครื่อง Spray dryer ดังรูปที่ 2.9 แล้วพ่นออกมาทำการระเหยสารละลายออกด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิสูง สารละลายที่ใช้เคลือบจะกลายเป็นของแข็งหุ้มสารที่ต้องการไว้ภายใน ซึ่งจะทำให้ได้ขนาดอนุภาคประมาณ 10-150 ไมโครเมตร เทคนิคนี้นิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร [48]



รูปที่ 2.9 เทคนิคไมโครเอนแคปซูลแบบเทคนิคการอบแห้งแบบพ่นฝอย [48]

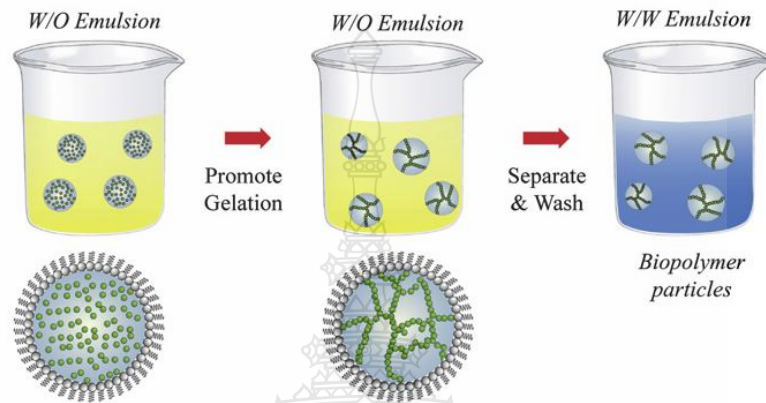
## 2) เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชั้นทางเคมี

การเตรียมไมโครเอนแคปซูลชั้นทางเคมี เป็นการอาศัยการเกิดปฏิกิริยาเคมีเพื่อทำให้กลายเป็นแคปซูล เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชั้นทางเคมี ได้แก่ เทคนิคโคอะเซอร์เวชัน (Coacervation) และเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย (Solvent evaporation)

### (1) เทคนิคโคอะเซอร์เวชัน

หลักการของเทคนิคโคอะเซอร์เวชันอาศัยปรากฏการณ์การเกิดคอลลอยด์ ระหว่างชั้นของสารละลายที่แตกต่างกัน 3 ชั้นที่ไม่ละลายซึ่งกันและกัน ได้แก่ ชั้นต่อเนื่อง (Continuous phase) ชั้นของสารที่ต้องการจะหุ้ม (Core material) และชั้นของพอลิเมอร์ที่

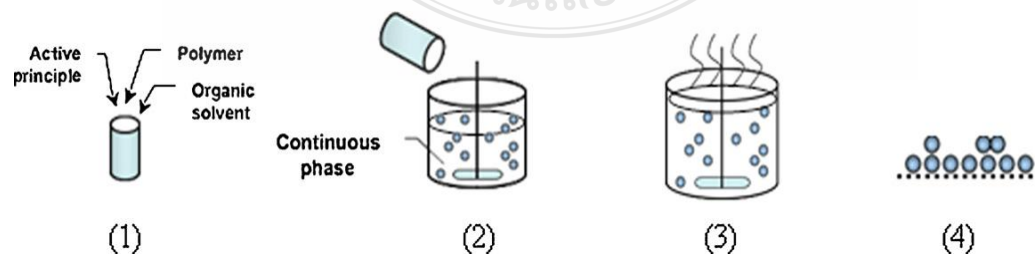
ต้องการเคลือบ (Coating material phase) โดยการผสมสารที่ต้องการจะหุ้มลงในพอลิเมอร์ที่ต้องการ จะใช้เป็นสารเคลือบของแคปซูล จากนั้นทำให้พอลิเมอร์และสารสำคัญแยกชั้นกัน โดยขั้นตอนการ ต่างๆ ได้แก่ เดิมเกลือ ปรับพีเอช หรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ เป็นต้น เพื่อให้พอลิเมอร์เคลื่อนที่ มาหุ้มตรงบริเวณผิวหน้าของสารที่ต้องการหุ้ม เพื่อให้เกิดเป็นแคปซูล ดังรูปที่ 2.10 [49]



รูปที่ 2.10 เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชั้นแบบ โคอะเซอเวชัน [49]

## (2) เทคนิคการระเหยตัวทำละลาย

วิธีการเตรียมไมโครเอนแคปซูลชั้น โดยเทคนิคการระเหยตัว ทำละลาย ชั้นแรกผสมสารที่ต้องการจะหุ้ม (ขอบน้ำน้อย) กับสารที่จะนำมาเคลือบเป็นเปลือกแคปซูล (ขอบน้ำมาก) แล้วนำมาละลายในตัวทำละลาย ผสมให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน จากนั้นนำไปใส่ใน น้ำแล้วทำการปั่น ในขั้นนี้สารที่จะนำมาเคลือบเป็นเปลือกแคปซูลที่ขอบน้ำมากกว่าจะเคลื่อนที่มาหุ้ม สารที่ต้องการจะหุ้มไว้ ขั้นต่อไปนำไปประเหยเพื่อกำจัดตัวทำละลายออกไป สุดท้ายจะได้เป็นแคปซูล ดังรูปที่ 2.11 [50]

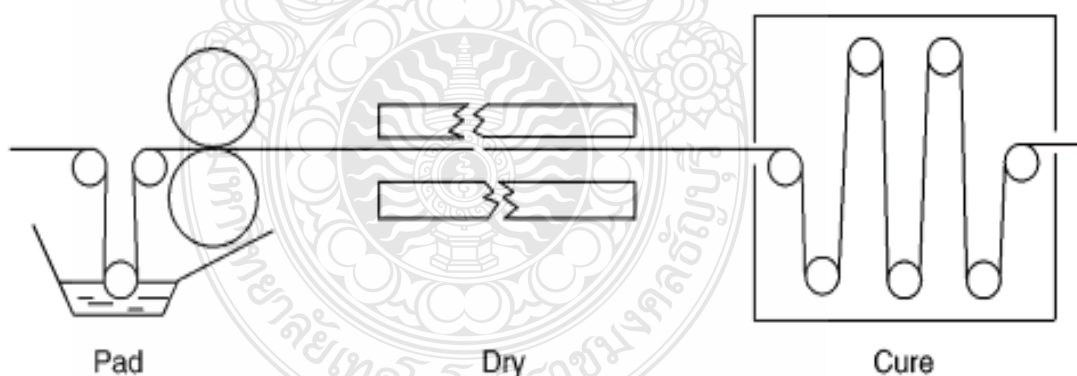


รูปที่ 2.11 เทคนิคไมโครเอนแคปซูลชั้นแบบเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย [50]

สำหรับการประยุกต์ใช้เคอร์คิวมินเพื่อการยับยั้งแบคทีเรีย ส่วนใหญ่นิยมนำมาเตรียมเป็นแคปซูล เนื่องจากสารเคอร์คิวมินเป็นสารที่สลายตัวได้ง่าย ในสภาวะที่มีแสง ออกซิเจนและความร้อน [51] จึงได้มีการนำสารสกัดเคอร์คิวมินมาหุ้มไว้ภายในแคปซูล ด้วยเทคนิคไมโครเอนแคปซูลชัน โดยวิธีทางเคมี ซึ่งใช้สารต่างๆ ที่นำมาเคลือบเป็นเปลือกแคปซูล เช่น Poly-lactic-co-glycolic acid [52] Gelatin [53] และ Poly-c-glutamic acid [54] เป็นต้น

### 2.3 กระบวนการตกแต่งวัสดุสิ่งทอ ด้วยเทคนิค จุ่ม อัด อบแห้ง

กระบวนการตกแต่งสามารถทำบนวัสดุสิ่งทอชนิดต่างๆ ได้แก่ บนผ้าถัก ผ้าทอ และผ้าไม่ทอ การตกแต่งวัสดุสิ่งทอเพื่อให้มีลักษณะที่พึงประสงค์บนผ้า ซึ่งกระบวนการตกแต่งมี 2 ประเภท คือ การตกแต่งเชิงกล (Mechanical finishing) และการตกแต่งเชิงเคมี (Chemical finishing) การตกแต่งเชิงกล เป็นการตกแต่งที่อาศัยกระบวนการทางเชิงกล เช่น กระบวนการขัดมัน อัดดอก เป็นต้น ส่วนกระบวนการตกแต่งเชิงเคมี เป็นกระบวนการที่ใช้สารเคมีเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมี โดยใช้ความร้อนชิดเหนี่ยวกับเส้นใย จึงทำให้การตกแต่งประเภทนี้มีความคงทนสูง กระบวนการตกแต่งเชิงเคมี โดยทั่วไปประกอบด้วย วิธีการบีบอัด (Pad) แล้วทำให้แห้ง (Drying) เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาด้วยความร้อน (Curing) ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า Pad Dry Cure ดังรูปที่ 2.12 [55]



รูปที่ 2.12 กระบวนการทำงานของเทคนิค จุ่ม อัด อบแห้ง [55]

กระบวนการ จุ่ม อัด อบแห้ง ขั้นตอนแรกคือ การ จุ่ม เป็นขั้นตอนการนำผ้าไปจุ่มในสารละลายที่ต้องการเคลือบบนผ้า และผสมกับสารเคมีเชื่อมใย (Binder) ซึ่งเป็นสารโพลีเมอร์ เช่น Acrylic binder จากนั้นนำผ้าเข้าเครื่อง อัด ซึ่งมีลูกกลิ้งที่จะเก็บสารไว้ตามปริมาณที่ต้องการ

เรียกว่า % Pick up จากนั้นเป็นขั้นตอน อบแห้ง และ บ่มด้วยความร้อน เป็นการนำผ้าที่ผ่านกระบวนการ อัด ไปอบแห้งในตู้อบเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ในขั้นตอนนี้สารที่ต้องการตกแต่งจะเกิดปฏิกิริยากับสารเชื่อมไขว้ ทำให้สารตกแต่งเกิดการฝังตัวไปในเส้นใย [55]

วิธีการตกแต่งผ้าแบบ จุ่ม อัด อบแห้ง เป็นวิธีทั่วไปที่นิยมใช้ในการตกแต่งผ้า ทั้งนี้เพราะเป็นวิธีที่ง่าย ค่าใช้จ่ายน้อย และวัสดุหรือสารที่ต้องการตกแต่งสามารถฝังตัวในเส้นใยผ้าด้วยพันธะทางเคมี ทำให้เกิดความคงทนสูง [56] จึงทำให้มีการนำวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง ไปประยุกต์ใช้ในการตกแต่งผ้า เพื่อให้ได้ผ้าที่มีสมบัติเด่นตามความต้องการ และสามารถตรวจสอบการเกาะติดของวัสดุที่นำไปตกแต่งด้วยเทคนิคต่างๆ เช่น กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Transmission electron microscopy, TEM) กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) และ เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffraction, XRD) เป็นต้น ตัวอย่างเช่น ใน คศ. 2013 Yan และ Zheng [57] ได้ปรับปรุงผ้าฝ้ายให้มีความสามารถในการนำไฟฟ้าได้ โดยใช้ทองแดงตกแต่งบนผ้าฝ้ายด้วยเทคนิค จุ่ม อัด อบแห้ง และ เทคนิค Polymerization ร่วมกัน โดยใช้ [2- (methacryloyloxy) ethyl] trimethyl-ammonium chloride (METAC) เป็นมอนอเมอร์เพื่อให้เกิดเป็นแผ่นฟิล์มบางของทองแดงบนผ้าฝ้าย และนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที และนำผ้าที่ได้ไปตรวจสอบการเกาะติดด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เครื่องวิเคราะห์ธาตุ และ เครื่องหาชนิดและปริมาณของสารโดยวัดการดูดกลืนแสงของสาร (Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR) พบว่าทองแดงสามารถเกาะติดเป็นเส้นใยของผ้าฝ้ายได้ และมีสมบัติสามารถนำไฟฟ้าได้  $10^3 - 10^1 \Omega/\text{sq}$  และเมื่อนำผ้าไปซักด้วยมือ หลังจากผ่านการซัก 5 ครั้ง ค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ  $5 \Omega/\text{sq}$  นอกจากนี้ยังมีการนำอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ขนาด 50 นาโนเมตร มาตกแต่งบนผ้าโพลีเอสเตอร์ เพื่อด้านต้านรังสียูวี และสามารถทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง โดยจุ่มผ้าลงในอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่ pH 4-5 นำผ้าที่ได้ไปเข้าเครื่อง Laboratory Pad mangle โดยมี % Pick-up เท่ากับ 80% ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 นาที จากนั้นนำไปอบให้แห้งที่ 180 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 80 นาที พบว่าผ้าโพลีเอสเตอร์ที่ตกแต่งด้วยอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์สามารถต้านรังสียูวีได้ทั้ง UV-A และ UV-B และสามารถสลายสีข้อมบนผ้าได้ด้วยตัวเองภายใต้แสงยูวี เป็นเวลา 96 ชั่วโมง [58]

ข้อดีของวิธีการตกแต่งผ้าแบบ จุ่ม อัด อบแห้ง คือสารที่นำมาตกแต่งบนผ้าจะสามารถยึดเกาะบนผ้าได้นาน ทนต่อการซักล้างได้หลายครั้ง [59-61]



## 2.4 วิธีการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียบนสิ่งทอ

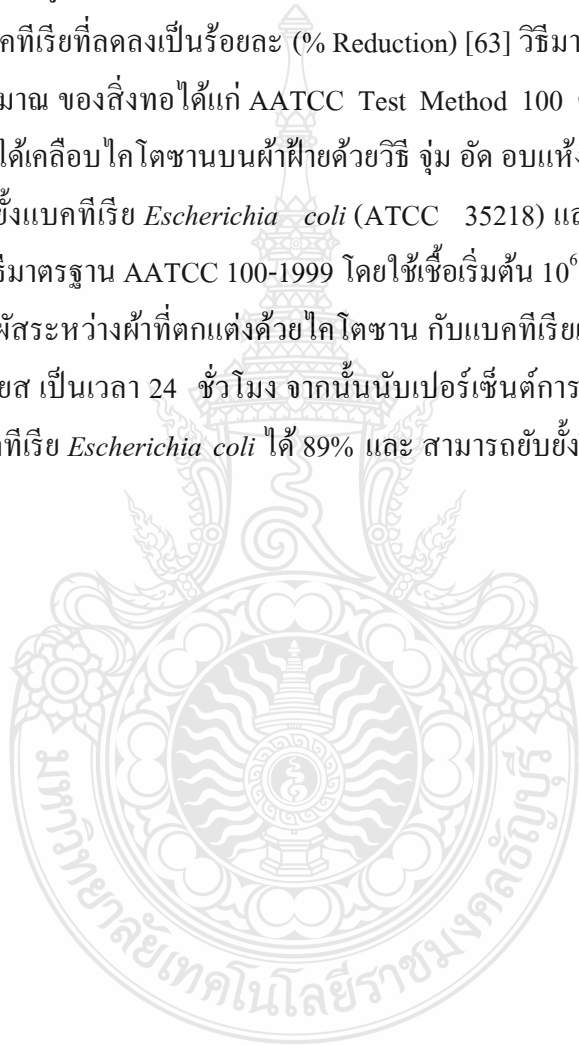
การทดสอบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียของสิ่งทอ นิยมใช้แบคทีเรีย *Escherichia coli* เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ และ *Staphylococcus aureus* เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก วิธีการทดสอบประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียของสิ่งทอ แบ่งได้ 2 ประเภท คือ การทดสอบเชิงคุณภาพ (Qualitative test) และการทดสอบเชิงปริมาณ (Quantitative test) สำหรับการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพ เป็นการแสดงผลการทดสอบว่าสารที่ใช้ทดสอบมีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียได้หรือไม่ โดยวัดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณ โซนใสของการยับยั้ง (Clear zone inhibition) เรียกวิธีนี้ว่า Disc diffusion method เป็นวิธีการทดสอบโดยการวางแผ่นกระดาษกรองมาตรฐานที่อบฆ่าเชื้อแล้ว ที่อ้อมด้วยสารที่ต้องการทดสอบ จากนั้นวางลงบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่ได้ผสมเชื้อแบคทีเรียที่ต้องการทดสอบลงไป ทำการบ่มเพาะ แล้ววัดขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณ โซนใส ซึ่งเป็นผลจากการยับยั้งแบคทีเรียของสิ่งที่ทดสอบ ถ้ามีบริเวณดังกล่าว แสดงว่าสารที่ต้องการทดสอบสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ ถ้าไม่เกิดบริเวณใสรอบๆกระดาษ แสดงว่าไม่สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ วิธีมาตรฐานที่ใช้ทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพของสิ่งทอ ได้แก่ AATCC 147 เช่น มีงานวิจัยสังเคราะห์อนุภาคนาโนผสมระหว่างไคโตซานและสเมคตไนไฟร แล้วนำไปเคลือบบนผ้าที่ใช้ในทางการแพทย์ จากนั้นนำผ้าที่ได้ไปทดสอบ การยับยั้งแบคทีเรีย *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* ด้วยวิธีมาตรฐาน AATCC 147 โดยตัดผ้าที่เคลือบด้วยวัสดุอนุภาคนาโนผสมระหว่างไคโตซานกับสเมคตไนไฟร ขนาด  $20 \pm 1$  มิลลิเมตร นำไปวางบนอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีแบคทีเรีย *Escherichia coli* หรือ *Staphylococcus aureus* จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 2.13 จากนั้นวัดเส้นผ่านศูนย์กลางบริเวณ โซนใส พบว่า *Escherichia coli* มีขนาด 31 mm และ *Staphylococcus aureus* มีขนาด 29 มิลลิเมตร แสดงว่าวัสดุอนุภาคนาโนไคโตซานและสเมคตไนไฟรสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ [62]



*Escherichia coli*    *Staphylococcus aureus*

รูปที่ 2.13 ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียด้วยอนุภาคนาโนผสมระหว่างไคโตซานและสเมคตไนไฟร [62]

สำหรับการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณเป็นการใส่เชื้อ (Inoculate) แบคทีเรียลงบนชิ้นทดสอบ 2 ประเภท คือ ชิ้นทดสอบที่มีสารต้านแบคทีเรีย (Test swatches) และชิ้นทดสอบที่ไม่มีสารต้านแบคทีเรียที่มีคุณภาพและการตกแต่งเช่นเดียวกับชิ้นทดสอบที่มีสารต้านแบคทีเรีย (Control swatches) บ่มเพาะเชื้อ (Incubate) แล้วแยก (Elute) แบคทีเรียออกจากชิ้นทดสอบ โดยการเขย่าในสารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง (Neutralizing solution) ที่ทราบปริมาณแน่นอน นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่อยู่ในสารละลายที่เป็นกลางนี้เป็นจำนวนโคโลนีต่อตัวอย่าง และคำนวณจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่ลดลงเป็นร้อยละ (% Reduction) [63] วิชามาตรฐานสำหรับทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณ ของสิ่งทอ ได้แก่ AATCC Test Method 100 ตัวอย่างเช่น ในปีค.ศ. 2011 Tayel และคณะ [64] ได้เคลือบไคโตซานบนผ้าฝ้ายด้วยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง และนำผ้าที่ได้ไปทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรีย *Escherichia coli* (ATCC 35218) และ ยีสต์ *Candida albicans* (ATCC 10231) ด้วยวิชามาตรฐาน AATCC 100-1999 โดยใช้เชื้อเริ่มต้น  $10^6$  cell/ml เลี้ยงในอาหารเลี้ยงเชื้อใช้เวลาในการสัมผัสระหว่างผ้าที่ตกแต่งด้วยไคโตซาน กับแบคทีเรียเป็นเวลาประมาณ 60 นาที บ่มที่ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนับเปอร์เซ็นต์การลดลงของแบคทีเรีย พบว่าสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli* ได้ 89% และสามารถยับยั้งยีสต์ *Candida albicans* ได้ 82%





## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 สารเคมี วัสดุและเครื่องมือ

##### 3.1.1 สารเคมี

- 3.1.1.1 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide; NaOH , Ajax Finechem)
- 3.1.1.2 ซิงค์ไนเตรต (Zinc Nitrate; ZnNO<sub>3</sub> , Sigma-Alorich)
- 3.1.1.3 น้ำแป้ง (Starch; (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>)<sub>n</sub> , Asia Pacific)
- 3.1.1.4 เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol; C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH , BDH PROLABO)
- 3.1.1.5 ซิงค์คลอไรด์ (Zinc chloride; ZnCl<sub>2</sub> , Ajax Finechem)
- 3.1.1.6 โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (Sodium borohydride; NaBH<sub>4</sub> , Sigma-Aldrich)
- 3.1.1.7 ซิลเวอร์(I)ไนเตรต (Silver nitrate; AgNO<sub>3</sub> , POCH)
- 3.1.1.8 เฮกเซน (Hexane; C<sub>6</sub>H<sub>14</sub> , P&N Labchem)
- 3.1.1.9 ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane; CH<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> , P&N Labchem)
- 3.1.1.10 พอลิแลคติกแอซิด (Poly-L-lactic acid; PLLA, Sigma-Aldrich)
- 3.1.1.11 พอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinly alcohol; PVA , Sigma-Aldrich)
- 3.1.1.12 พอลิอะคริลิก (Poly Acrylic Binder 816; RADCHA CHEMICAL)
- 3.1.1.13 เมทิลีน บลู (Methylene blue; Scharlau)

##### 3.1.2 วัสดุ

- 3.1.2.1 ผงขม้น จากร้านเจ้ากรมเปือ
- 3.1.2.2 ผ้าฝ้ายล็กที่ผ่านการทำความสะอาดและฟอกขาว ความหนา 0.447 มิลลิเมตร น้ำหนัก 166.53 กรัมต่อตารางเมตร จำนวนห่วงแนวตั้ง 42 เส้น จำนวนห่วงแนวนอน 58 เส้น

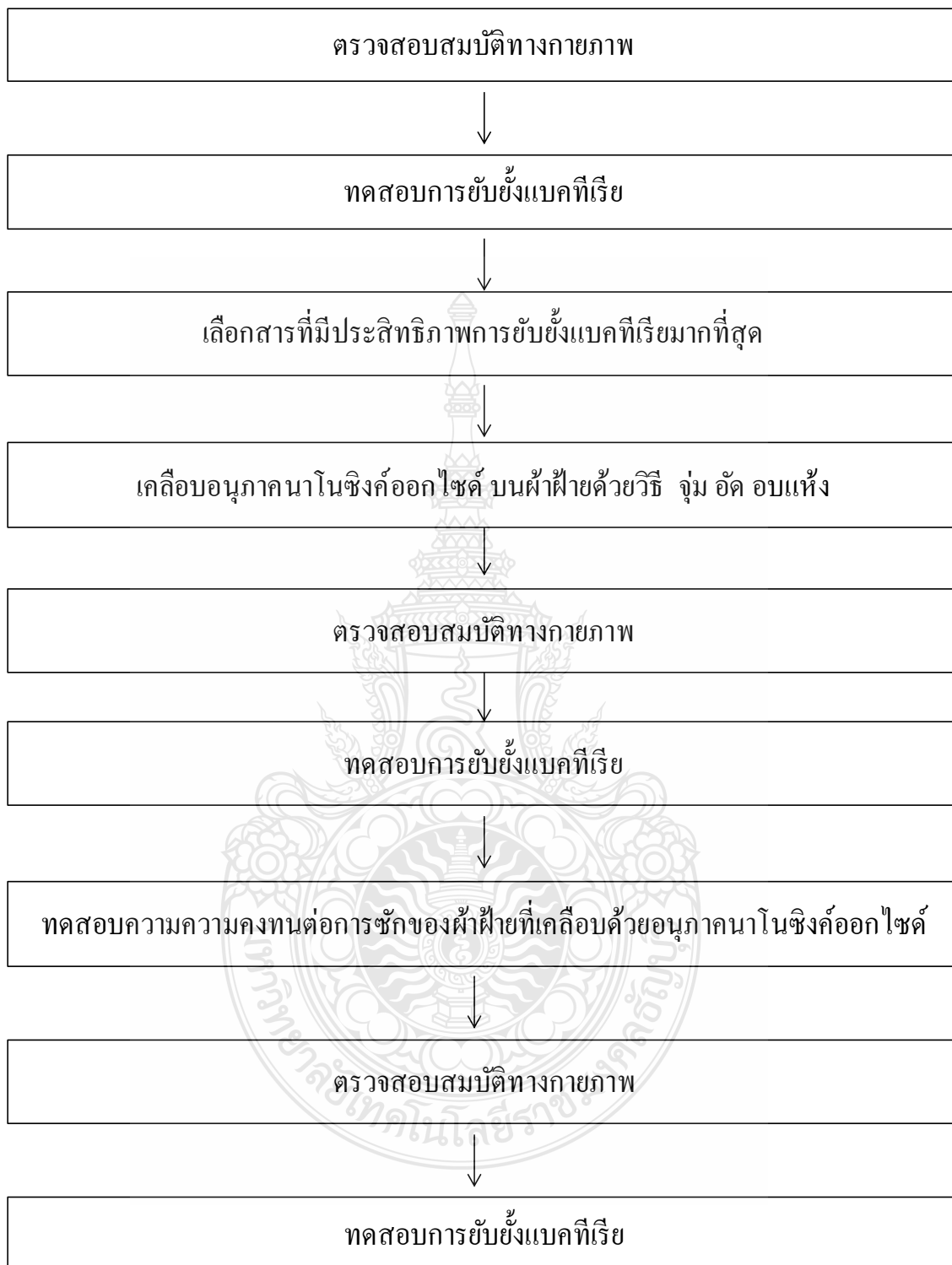
##### 3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

- 3.1.2.1 เครื่อง ยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (UV-visible spectrophotometer; UV, UV-1601, SHIMATSU)
- 3.1.2.2 เครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง (Dynamic light scattering; DLS, Delsa™ Nano C, BECKMAN COULTER)

- 3.1.2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM, JSM-6510, JEOL)
- 3.1.2.4 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคชัน (X-ray diffractometer; XRD, X'Pert PRO, PANalytical)
- 3.1.2.5 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical microscope; OM, UC1320, UPIX CAMERA)
- 3.1.2.6 เครื่องเหวี่ยงสารให้ตกตะกอน (Centrifuge; ROTOFIX 32 A, Hettich ZENTRIFUGEN)
- 3.1.2.7 ตู้อบลมร้อน (Oven; WTB binder, SCIENTIFIC PROMOTION)
- 3.1.2.8 เครื่องกวนแม่เหล็กพร้อมแมกเนติกบาร์ (Magnetic stirrer; IKA RH basic 1)
- 3.1.2.9 เครื่องไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal ผลิตโดยสาขาวิศวกรรมวัสดุและโลหะการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี )
- 3.1.2.10 เครื่องโฮโมจีไนเซอร์ (Homogenizer; IKA® T25, digital ULTRA-TURRAX®)
- 3.1.2.11 เครื่องจุ่ม อัด อบแห้ง (Pad Dry Cure; Rapid, XIAMEN RAPID CO LTD)
- 3.1.2.12 เครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติ (Washing Machine; Fuzzy Logic 7 Kg, LG)

### 3.2 แผนผังของการวิจัย





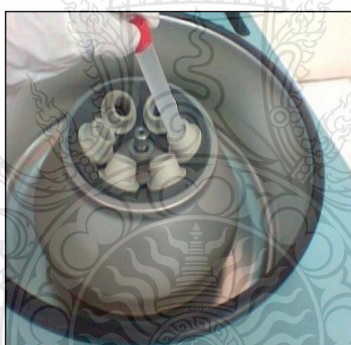
### 3.3 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

#### 3.3.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน

ขั้นตอนแรกเทสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.9 โมลาร์ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ จากนั้นนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที ขั้นต่อไป ค่อยๆ หยดสารละลายซิงค์ในเตรต ความเข้มข้น 0.45 โมลาร์ ปริมาตร 500 มิลลิลิตร อย่างช้าๆ ให้ผ่านผนังบีกเกอร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.1 คนสารละลายตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง ในขั้นนี้จะเกิดตะกอนสีขาว จากนั้นคนต่อไปอีก 2 ชั่วโมง วางทิ้งไว้ให้ตะกอนแยกชั้น ล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นและเอทานอล ขั้นต่อไปนำตะกอนที่ได้ไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เพื่อกำจัดน้ำ หลังจากอบจะได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว นำตะกอนที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตรวจสอบลักษณะสัณฐานของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวัดขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง



(ก)



(ข)



(ค)

**รูปที่ 3.1** การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน (ก) หยดสารละลายซิงค์ในเตรต ลงในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ข) ปั่นเหยียงด้วยเครื่องปั่นเหยียงความเร็วสูง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที และ (ค) อบตะกอนด้วยตู้อบลมร้อนที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

### 3.3.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน

ทำการทดลองภายในอ่างน้ำมันแบบควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.2 โดยเติมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 โมลาร์ ปริมาตร 16 มิลลิลิตร และซิงค์คลอไรด์ จำนวน 5.5 กรัม ลงในขวดแก้วที่วางอยู่ในอ่างน้ำมันที่มี 90 องศาเซลเซียส ผสมสารละลายให้เป็นเนื้อเดียวกันด้วย โดยคนสารละลายตลอดเวลา เป็นเวลานาน 30 นาที ในขั้นตอนนี้จะเกิดตะกอนสีขาวล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งจนน้ำล้างตะกอนมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 จากนั้นทำการแยกตะกอนออกจากน้ำโดยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที นำตะกอนสีขาวที่ได้ไปอบที่ 250 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ในขั้นนี้จะได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว นำตะกอนที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวัดขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องไดนามิกไลซ์สแกตเตอร์ริง



(ก)



(ข)

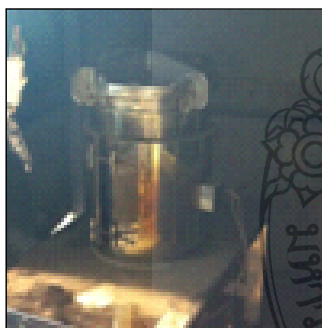


(ค)

**รูปที่ 3.2** การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน (ก) ผสมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ และซิงค์คลอไรด์ ลงในขวดแก้วในอ่างน้ำมัน (ข) ปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที และ (ค) อบตะกอนที่ 250 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง

### 3.3.3 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันด้วยเครื่องไฮโดรเทอร์มอล

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้อุณหภูมิและความดันสูงด้วยเครื่องไฮโดรเทอร์มอล เป็นดังรูปที่ 3.3 เดิมสารละลายซิงค์ไนเตรท ความเข้มข้น 0.5 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในเทปลอนไลน์ จากนั้นค่อยๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 1 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร แล้วปิดฝาเครื่องไฮโดรเทอร์มอล ทำการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง จากนั้นลดอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิห้อง วางทิ้งไว้ให้สารตกตะกอนเป็นเวลา 1 คืน นำตะกอนที่ได้ไปล้างด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งจนน้ำล้างตะกอนมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 และแยกตะกอนออกจากน้ำโดยเครื่องปั่นเหวี่ยงความเร็วสูง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นจึงนำตะกอนไปอบที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง จะได้ซิงค์ออกไซด์ที่มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาว นำตะกอนที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและวัดขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง



(ก)



(ข)



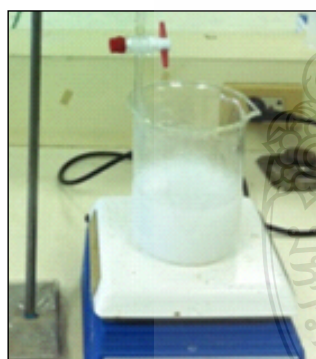
(ค)

**รูปที่ 3.3** การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันด้วยเครื่องไฮโดรเทอร์มอล (ก) ผสมสารละลายซิงค์ไนเตรทและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในเทปลอนไลน์ (ข) ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที และ (ค) อบตะกอนที่ 60 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง

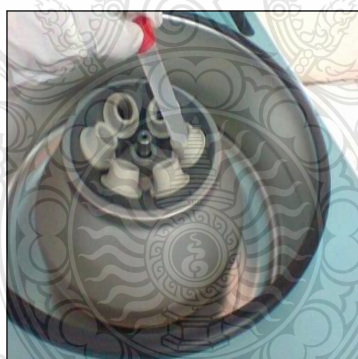


### 3.3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้สารทำให้คงตัว

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้น้ำแข็งสูงเป็นสารทำให้คงตัว (Stabilizer) ขั้นตอนแรกตม้มน้ำแข็งความเข้มข้นร้อยละ 0.1% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ในน้ำกลั่นจนได้สารละลายใส จากนั้นเติมสารละลายซิงค์ไนเตรดความเข้มข้น 0.1 โมลาร์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนสารละลายตลอดเวลา จากนั้นจึงค่อยๆ หยดสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.2 โมลาร์ ปริมาตร 200 มิลลิลิตร ทีละหยดผ่านผนังบีกเกอร์ เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.4 จากนั้นวางทิ้งไว้ให้เกิดการตกตะกอนให้สมบูรณ์ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง ล้างตะกอนที่ได้ด้วยน้ำกลั่นหลายๆ ครั้งจนน้ำล้างตะกอนมีค่าพีเอชเท่ากับ 7 จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็วสูงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เพื่อแยกตะกอนออกจากน้ำ สุดท้ายนำตะกอนไปอบที่ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จะได้ตะกอนเป็นผงละเอียดสีขาว นำตะกอนที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตรวจสอบลักษณะพื้นฐานของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด วัดขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง และตรวจสอบโครงสร้างของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 3.4 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้สารทำให้คงตัว (ก) ผสมสารละลายซิงค์ไนเตรด สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์และน้ำแข็งลงในบีกเกอร์ (ข) ปั่นเหวี่ยงด้วยเครื่องปั่นเหวี่ยงที่ความเร็วสูง ที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบต่อนาที และ (ค) อบตะกอนที่ 80 องศาเซลเซียส นาน 12 ชั่วโมง



### 3.4 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน

#### 3.4.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีปักชั้นภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลองจะต้องแช่กรดไนตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร นาน 12 ชั่วโมง และตามด้วยการแช่เครื่องแก้วในน้ำปราศจากไอออนนาน 12 ชั่วโมง แล้วจึงนำเครื่องแก้วไปอบให้แห้ง เติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในขวดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนสารละลายต่อเนื่องเพื่อให้ผสมเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 3 นาที ดังรูปที่ 3.5 ในขั้นนี้จะเกิดเป็นสารคอลลอยด์สีเหลือง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตรวจสอบลักษณะสัณฐานของอนุภาคนาโนเงินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวัดขนาดอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.5 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีปักชั้นภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง  
(ก) ผสมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ลงในขวดทดลอง  
และ (ข) สารละลายอนุภาคนาโนเงิน

3.4.2 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีดักจับภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ เครื่องแก้วที่ใช้ในการทดลองจะต้องแช่กรดไนตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตร นาน 12 ชั่วโมง และตามด้วยการแช่เครื่องแก้วในน้ำปราศจากไอออนนาน 12 ชั่วโมง แล้วจึงนำเครื่องแก้วไปอบให้แห้ง เติมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในขวดทดลองที่แช่ในอ่างน้ำแข็งที่อุณหภูมิ  $2\pm 1$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ดังรูปที่ 3.6 จากนั้นเติมสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ความเข้มข้น 0.01 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร คนสารละลายต่อเนื่องเพื่อให้ผสมเป็นสารละลายเนื้อเดียวกันที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 3 นาที ในขั้นนี้จะเกิดเป็นสารคอลลอยด์สีเหลืองส้ม จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ตรวจสอบลักษณะสัญญาณของอนุภาคนาโนเงินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวัดขนาดอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.6 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีดักจับภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ (ก) ผสมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์และสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ลงในขวดทดลองที่ควบคุมอุณหภูมิ  $2\pm 1$  องศาเซลเซียส และ (ข) สารละลายอนุภาคนาโนเงิน

### 3.5 วิธีการสกัดสารเคอร์คิวมินนอยด์จากขมิ้นด้วยตัวทำละลายเอทานอล

ศึกษาหาความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอล ผลการคนสารละลายและเวลาในการสกัดที่เหมาะสมพร้อมกัน เพื่อให้ได้สารสกัดกลุ่มเคอร์คิวมินนอยด์มากที่สุด โดยขั้นตอนแรกนำผงขมิ้นชัน ไปแช่ในสารละลายเฮกเซนเพื่อขจัดไขมันบางชนิดออก จากนั้นอบให้แห้ง แล้วชั่งผงขมิ้นชันแห้งปริมาณ 5 กรัม ละลายในเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 60% 80% และ 99.9% ปริมาตรต่อปริมาตร จำนวน 75 มิลลิลิตร จากนั้นปิดฝาภาชนะ โดยศึกษาผลของการคนและไม่คนสารละลายโดยใช้แท่งแม่เหล็ก (Magnetic stirrer) ดังรูปที่ 3.7 ที่ใช้ตัวทำละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ และสุดท้ายหาเวลาในการสกัดที่เหมาะสม โดยศึกษาเวลาที่ใช้ในการสกัดคือ 10 20 และ 40 นาที 1 3 6 9 12 15 18 21 และ 24 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ของแต่ละสภาวะการทดลองไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.7 การสกัดสารเคอร์คิวมินนอยด์จากขมิ้นด้วยตัวทำละลายเอทานอล (ก) ไม่คนสารละลาย และ (ข) คนสารละลายด้วยแท่งแม่เหล็ก

### 3.6 การเตรียมไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมิน

เป็นการเตรียมไมโครแคปซูลโดยเทคนิคไมโครเอนแคปซูเลชัน ด้วยเทคนิคการระเหยตัวทำละลาย ชั้นแรกซึ่งพอลิแลกติกแอซิด 3.4 กรัมลงในขวดทดลอง จากนั้นเติมสารละลายไคคลอโรมีเทน 8 กรัม แล้วปิดฝาให้สนิท คนตลอดเวลาด้วยแท่งแม่เหล็ก จนผสมเป็นสารละลายเนื้อเดียวกัน จากนั้นเติมสารเคอร์คิวมิน 1.6 กรัม จากนั้นเติมพอลิไวนิล แอลกอฮอล์ ปริมาตร 45 มิลลิลิตร ขึ้นต่อไปนำสารละลายที่ได้ไปปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ ที่ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ดังรูปที่ 3.8 ในขั้นนี้จะได้สารละลายอิมัลชัน นำสารละลายอิมัลชันไประเหยเพื่อกำจัดตัวทำละลายไคคลอโรมีเทน โดยการตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 5 วัน ในขั้นนี้จะได้ไมโครแคปซูลสารสกัดเคอร์คิวมินที่หุ้มด้วยพอลิแลกติกแอซิด นำไมโครแคปซูลที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง



(ก)



(ข)

**รูปที่ 3.8** การเตรียมไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมินนอยด์ (ก) ผสมสารพอลิแลกติกแอซิดและสารละลายไคคลอโรมีเทนลงในขวดทดลอง และ (ข) การปั่นด้วยเครื่องโฮโมจีไนเซอร์ที่ ความเร็วรอบ 5,000 รอบต่อนาที



### 3.7 วิธีการตรวจสอบสมบัติทางเคมีและกายภาพ

#### 3.7.1 วิธีการตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รูปที่ 3.9) นำสารตัวอย่าง (อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อ 3.3 และอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อ 3.4) ใส่ในคิวเวทที่ทำจากควอทซ์โดยมีระยะทางที่แสงส่องผ่าน 1 เซนติเมตร (Path length) สำหรับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ตรวจวัดที่ความยาวคลื่นจาก 200 ถึง 600 นาโนเมตร และอนุภาคนาโนเงินตรวจวัดที่ความยาวคลื่น 300 ถึง 700 นาโนเมตร



รูปที่ 3.9 เครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

### 3.7.2 วิธีตรวจสอบลักษณะสัญญาณด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ขั้นตอนแรกนำคาร์บอนเทปปิดบนสตัปเพื่อเป็นตัวยึดเกาะ นำผงตัวอย่างที่แห้งสนิทมาโรยบนคาร์บอนเทปที่อยู่บนสตัป จากนั้นนำแผ่นสตัปที่ได้ไปเคลือบทอง ด้วยเทคนิคสปัตเตอร์ริง (Sputtering) เพื่อปรับสภาพให้สามารถนำไฟฟ้าได้ ต่อจากนั้นจึงนำเข้าเครื่องเพื่อดูลักษณะสัญญาณ รูปร่าง โดยใช้กล้องที่กำลังขยายที่ 15 kV



รูปที่ 3.10 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



### 3.7.3 วิธีการหาขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง

การตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง ดังรูปที่ 3.11 ขั้นตอนแรก ใส่สารตัวอย่าง (อนุภาคนาโนซึ่งค้่ออกไซด์ที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อ 3.3 และอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ข้อ 3.4) ใส่ในคิวเวทท์ทำจากพลาสติกโดยมีระยะทางที่แสงส่องผ่าน 1 เซนติเมตร ซึ่งทำการวัดทั้งหมด 3 ครั้ง



รูปที่ 3.11 เครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง

### 3.7.4 วิธีการตรวจสอบโครงสร้างของอนุภาคด้วยเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน

ศึกษาลักษณะโครงสร้างของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยใช้เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ขั้นตอนแรกนำตัวอย่างไปอบจนแห้งสนิท ใส่ในแผ่นสไลด์ที่เป็นหลุม จากนั้นอัดให้แน่น แล้วนำเข้าเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน ภายใต้สภาวะการทดลอง Start angle [s]: 5 End angle [s]: 80 Step size [s]: 0.010 ทำการวัดเป็นเวลา 30 นาที



รูปที่ 3.12 เครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน



### 3.7.5 วิธีการตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

หยดสารตัวอย่าง (สารสกัดเคอร์คิวมินที่ได้จากกระบวนการพอลิเมอไรเซชันแบบอิมัลชัน) ลงบนแผ่นแก้วสไลด์ (Glass slide) จากนั้นเลือกกำลังขยายที่ 40 เท่า แล้วทำการบันทึกรูป



รูปที่ 3.13 กล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง



### 3.8. วิธีทดสอบการยับยั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*

#### 3.8.1 วิธีทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพ

การทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพโดยวิธีการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้ง (Inhibition zone) ในการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียใช้ *Staphylococcus aureus* AATCC 6538 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* AATCC 8739 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ โดยเฉพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร NUTRIENT BROTH (NB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปรับปริมาณของเชื้อเริ่มต้นโดยเปิดเชื้อมา 5 มิลลิลิตร โดยใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหาร NUTRIENT BROTH (NB) 100 มิลลิลิตร แล้วจึงฉูดเชื้อ *S. aureus* หรือ *E. coli* ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในงานเพาะเชื้อ เทอาหารแข็ง Nutrient Agar (NA) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร (ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส) ลงไป จากนั้นให้กระจายอาหารให้ทั่วงานเพาะเชื้อ วางทึงไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอาหารแข็งตัว สำหรับการเตรียมแผ่นทดสอบ ทำได้โดยการหยดสาร(สารที่ต้องการทดสอบได้แก่อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเงินและไมโครแคปซูล ) 50 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองที่ปราศจากเชื้อ แล้วนำแผ่นทดสอบไปวางบนงานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้งที่เกิดขึ้นด้วยไม้บรรทัด

#### 3.8.2 วิธีทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณ

วิธีการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณเป็นการหาเปอร์เซ็นต์ลดลงของแบคทีเรีย ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสิ่งทอ โดยใช้วิธี AATCC Test Method 147-2004 มีวิธีการดังนี้

##### 1) การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย

1.1) การเตรียมเชื้อแบคทีเรีย (Bacteria cultures) วิธีการนี้สำหรับการเตรียมแบคทีเรียที่ใช้ทดสอบจากเชื้อต้นตอ (Stock) และจากแบคทีเรียสายพันธุ์ทดสอบ (Test strain of bacteria)

##### 1.2) การเพาะเชื้อที่เลี้ยงในอาหารวุ้นเพาะเชื้อ

1.2.1) นำเชื้อ (ที่เลี้ยงบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อ) ที่มีอายุไม่เกิน 4 สัปดาห์ ใส่เชื้อลงในอาหารเหลวเพาะเชื้อ เขย่าให้เชื้อกระจายในอาหารเหลวเพาะเชื้อ

1.2.2) นำเชื้อที่ได้จากข้อ (1.2.1) ไปทำการถ่ายเชื้อต่อช่วง (Liquid to liquid transfer) 3 ครั้ง ถึง 4 ครั้ง โดยใส่เชื้อลงในอาหารเหลวเพาะเชื้อที่เตรียมไว้ เพื่อให้ได้ปริมาณเชื้อใช้

งานตามที่กำหนด ( $1-2 \times 10^5$  cfu/ml) การถ่ายเชื้อต่อช่วงต้องไม่เกิน 3 วัน เพื่อให้มั่นใจว่าเชื้อที่ได้ซึ่งนำมาใช้ทดสอบไม่มีการปนเปื้อน หากไม่สามารถทำได้ต่อเนื่อง อาจเก็บเชื้อที่มีอายุ 16 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง ในตู้เย็น อุณหภูมิ ( $5 \pm 1$ ) องศาเซลเซียส

1.2.3) ตรวจสอบความบริสุทธิ์ของเชื้อโดยนำเชื้อจากข้อ 1.2.1 ไปจีดบนจานเพาะเชื้อ (Streak plate) ที่มีอาหารวุ้นเพาะเชื้อ นำไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ ( $37 \pm 2$ ) องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง ตรวจสอบยืนยันลักษณะเฉพาะของเชื้อโดยการย้อมสีแกรมของแบคทีเรีย

1.2.4) ทวนสอบความบริสุทธิ์โคโลนีของเชื้ออีกครั้ง โดยการนำเชื้อที่ได้จากการถ่ายต่อช่วงครั้งสุดท้ายไปเพาะบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อในจานเพาะเชื้อโดยวิธีการกระจายเชื้อ (Spread plate) ให้ตรวจสอบยืนยันลักษณะเฉพาะของเชื้อด้วยการย้อมสีแกรมของแบคทีเรียและตรวจดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

1.3) เมื่อแบคทีเรียสำหรับใช้งาน (Working culture) มีอายุครบ 1 สัปดาห์ ให้ทำลายทั้งหมด โดยใช้หม้อนึ่งอัดไอน้ำที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 103 กิโลพาสคัล นาน 30 นาที

## 2) การเตรียมชิ้นทดสอบ

2.1) การเตรียมชิ้นทดสอบ ตัดชิ้นทดสอบเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ( $48 \pm 1$ ) มิลลิเมตร จำนวนชิ้นทดสอบขึ้นอยู่กับชนิดของเส้นใยและโครงสร้างของผ้าโดยใช้จำนวนชิ้นทดสอบให้เพียงพอที่จะดูดซับสารที่มีเชื้อแบคทีเรียทดสอบปริมาตร ( $1.0 \pm 0.1$ ) มิลลิลิตรได้ เช่น ผ้าฝ้ายจะใช้ชิ้นทดสอบประมาณ 4 ชิ้น

2.2) การทำไร้เชื้อบนชิ้นทดสอบก่อนการทดสอบ โดยนำชิ้นทดสอบไปผ่านการทำไร้เชื้อ โดยเลือกวิธีที่เหมาะสมกับชนิดเส้นใยและการตกแต่งสำเร็จ ดังนี้

2.2.1) ชิ้นทดสอบทำจากเส้นใยฝ้าย เส้นใยแอซิเตต (Acetate) และเส้นใยประดิษฐ์ ให้ทำไร้เชื้อด้วยหม้อนึ่งอัดไอน้ำ

2.2.2) ชิ้นทดสอบทำจากขนแกะ ให้ทำไร้เชื้อด้วยแก๊สเอทิลีนออกไซด์ (Ethylene oxide) หรือใช้ไอน้ำไหลผ่าน (Flowing steam)

## 3) การทดสอบ

การทดสอบควรทำในตู้ปลอดเชื้อ หรือห้องที่ควบคุมสภาวะไม่ให้ปนเปื้อนจากเชื้อ

3.1) วางชั้นทดสอบ (จำนวนเพียงพอที่จะดูดซับสารละลายที่มีเชื้อแบคทีเรียทดสอบ ( $1.0 \pm 0.1$ ) มิลลิลิตร) บนจานเพาะเชื้อที่ผ่านการทำให้เชื้อแล้ว โดยไม่ให้ซ้อนกันหรือซ้อนกันน้อยที่สุด

3.2) ปิเปตสารละลายเชื้อแบคทีเรียทดสอบ (ข้อ 1.2.2) ปริมาตร ( $1.0 \pm 0.1$ ) มิลลิลิตร (มีจำนวนแบคทีเรีย  $1-2 \times 10^5$  cfu/ml) ใส่ลงบนชั้นทดสอบ ให้เชื้อกระจายบนชั้นทดสอบอย่างทั่วถึง

3.3) ย้ายชั้นทดสอบที่อยู่ในจานเพาะเชื้อใส่ขวดแก้วปากกว้างที่ผ่านการทำให้เชื้อจำนวน 6 ขวดต่อเชื้อ ปิดฝาขวดให้แน่นเพื่อป้องกันการระเหย โดย

ขวดที่ 1 และขวดที่ 2 ใส่ชั้นทดสอบจากตัวอย่างที่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียและได้รับการใส่เชื้อ

ขวดที่ 3 และขวดที่ 4 ใส่ชั้นทดสอบจากตัวอย่างที่ไม่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียและได้รับการใส่เชื้อ

ขวดที่ 5 และขวดที่ 6 ใส่ชั้นทดสอบจากตัวอย่างที่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียและไม่ได้รับการใส่เชื้อ

นำขวดที่ 1 และขวดที่ 3 ไปทดสอบตามข้อ 3.4 ทันทีหลังจากการใส่เชื้อ

นำขวดที่ 2 และขวดที่ 4 ไปทดสอบตามข้อ 3.5 ไปทดสอบตามข้อ 3.6

นำขวดที่ 6 ทำให้เปียกและบ่มเชื้อเพาะที่อุณหภูมิ ( $37 \pm 2$ ) องศาเซลเซียสเป็นเวลา 18 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง

3.4) การคำนวณโคโลนีของแบคทีเรียที่เวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์ (“0” contact time)

3.4.1) เทสารละลายที่เป็นกลาง ปริมาตร ( $100 \pm 1$ ) มิลลิลิตร ลงในขวดที่ใส่ชั้นทดสอบ (ข้อ 3.3 ขวดที่ 1 และขวดที่ 3) เขย่าขวดอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที เพื่อแยกแบคทีเรียออกจากชั้นทดสอบ

3.4.2) แบ่งสารละลายในขวดออกมาเจือจางเป็นลำดับ (Serial dilution) ด้วยสารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง และเพาะเชื้อ (Spread plate หรือ Pour plate) ลงบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ระดับการเจือจางละ 2 ซ้ำ ส่วนมากระดับความเจือจางที่เหมาะสมคือที่ 1 เท่า ( $10^0$  dilution) 10 เท่า ( $10^1$  dilution) และ 100 เท่า ( $10^2$  dilution) ตามลำดับ

3.4.3) นำจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ ( $37 \pm 2$ ) องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิอื่นที่เหมาะสม เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.4.4) นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อ บันทึกค่าเป็นโคโลนีของแบคทีเรียต่อตัวอย่าง ที่เวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์ (ไม่ใช่โคโลนีของแบคทีเรียต่อมิลลิลิตรของสารละลายที่เป็นกลาง)

3.5) การหาจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียที่บ่มเพาะเชื้อ 18 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง

3.5.1) บ่มเพาะขวดเชื้อที่ใส่ชั้นทดสอบ (ข้อ 3.3 ขวดที่ 2 และขวดที่ 4) ที่อุณหภูมิ (37±2) องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.5.2) เทสารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง ปริมาตร (100±1) มิลลิลิตร ลงในขวดที่ใส่ชั้นทดสอบ (ข้อ 3.3 ขวดที่ 2 และขวดที่ 4) เขย่าขวดอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที เพื่อแยกแบคทีเรียออกจากชั้นทดสอบ

3.5.3) แบ่งสารละลายในขวดออกมาเจือจางเป็นลำดับ ด้วยสารละลายที่เป็นกลาง และเพาะเชื้อลงบนจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ระดับการเจือจางละ 2 ซ้ำ ส่วนมากระดับความเจือจางที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างทดสอบที่ตกแต่งด้วยสารต้านทานแบคทีเรีย คือ 1 เท่า 10 เท่า และ 100 เท่า ตามลำดับ สำหรับตัวอย่างทดสอบที่ไม่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียอาจต้องมีการทดสอบที่ระดับการเจือจางหลายระดับมากขึ้น ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาการบ่มเพาะเชื้อ

3.5.4) นำจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ (37±2) องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิอื่นที่เหมาะสม เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.5.5) นับจำนวนโคโลนีของแบคทีเรียบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อ บันทึกค่าเป็นโคโลนีของแบคทีเรียต่อตัวอย่าง ซึ่งบ่มเพาะเชื้อไว้ 18 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง

3.6) ตรวจสอบใช้ได้ของการทดสอบ

3.6.1) ชั้นทดสอบจากตัวอย่างที่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียและไม่ได้รับการใส่เชื้อ (ข้อ 3.3 ขวดที่ 5) ต้องไม่มีโคโลนีของแบคทีเรียสายพันธุ์ทดสอบดังนี้

3.6.1.1) เทสารละลายสำหรับปรับสภาพให้เป็นกลาง ปริมาตร (100±1) มิลลิลิตร ลงในขวดที่ใส่ชั้นทดสอบ (ข้อ 3.3 ขวดที่ 5) เขย่าขวดอย่างแรงเป็นเวลา 1 นาที เพื่อแยกแบคทีเรียออกจากชั้นทดสอบ

3.6.1.2) แบ่งสารละลายในขวดออกมาเจือจางเป็นลำดับ ด้วยสารละลายที่เป็นกลาง และเพาะเชื้อลงบนจานอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ระดับการเจือจางละ 2 ซ้ำ ส่วนมากระดับความเจือจางที่เหมาะสม คือ 1 เท่า 10 เท่า และ 100 เท่า ตามลำดับ

3.6.1.3) นำจานเพาะเชื้อไปบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ (37±2) องศาเซลเซียส หรืออุณหภูมิอื่นที่เหมาะสม เป็นเวลา 48 ชั่วโมง

3.6.1.4) นับจำนวน โคลิฟอร์มของแบคทีเรียบนอาหารวุ้นเพาะเชื้อ ผลที่ได้จะต้องไม่มีโคลิฟอร์มของแบคทีเรีย เพื่อยืนยันว่าการทดสอบนี้ไม่มีการปนเปื้อนจากเชื้อภายนอก

3.6.2) ขึ้นทดสอบจากตัวอย่างที่ไม่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียและได้รับการใส่เชื้อ เมื่อบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ (37±2) องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง (ข้อ 3.5.5 ขวดที่ 4) ต้องมีจำนวนโคลิฟอร์มของแบคทีเรียมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขึ้นทดสอบที่เวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์ (ข้อ 3.4.4 ขวดที่ 3)

#### 4) การคำนวณผล

คำนวณจำนวน โคลิฟอร์มของแบคทีเรียที่ลดลง เป็นร้อยละ จากสูตรใดสูตรหนึ่งต่อไปนี้

สูตร 
$$R = \frac{(B-A)}{B} \times 100$$

เมื่อ  $R$  คือ จำนวนโคลิฟอร์มของแบคทีเรียที่ลดลง (Reduction) เป็นร้อยละ

$A$  คือ จำนวนโคลิฟอร์มของแบคทีเรียที่นับได้จากขึ้นทดสอบที่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรียซึ่งบ่มเพาะเชื้อที่อุณหภูมิ (37±2) องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมงข้อ 3.5.5 ขวดที่ 2)

$B$  คือ จำนวนโคลิฟอร์มของแบคทีเรียที่นับได้จากขึ้นทดสอบที่ตกแต่งด้วยสารต้านแบคทีเรีย ซึ่งมีเวลาสัมผัสเชื้อเท่ากับศูนย์ (ข้อ 3.4.4 ขวดที่ 1)

### 3.9 การเคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้าย

เคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายด้วยวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง ดังรูปที่ 3.14 ขั้นตอนแรก ตัดผ้าฝ้าย กว้าง 210 มิลลิเมตร และยาว 297 มิลลิเมตร จุ่มลงในสารละลาย Binder 816 (Poly Acrylic) ซึ่งเป็นสารเคมีช่วยยึดติด ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.1 0.3 0.5 0.7 0.9 1.0 1.3 1.5 1.7 และ 2.0 % โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่ทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เคลือบบนผ้าได้มากที่สุด จากนั้นนำผ้าที่ได้ไปแช่ในอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ 2% โดยน้ำหนักต่อปริมาตร เป็นเวลา 5 นาที และต่อไปนำผ้าที่ได้ไปทำการบีบอัดสาร (Padding Mangle) ที่ Pick up 100 เปอร์เซ็นต์ และนำผ้างดังกล่าวไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 นาที และทำการบ่มที่ 120 องศาเซลเซียส อีก 1 นาที จากนั้นนำผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปตรวจสอบการเกาะติดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.14 ขั้นตอนของวิธี จุ่ม อัด อบแห้ง (ก) เครื่องบีบอัดสาร และ (ข) ตู้อบ

### 3.10 การตรวจสอบความคงทนต่อการซักของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

นำผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปตรวจสอบความคงทนต่อการซักโดยวิธี AATCC 135-2004 โดยนำผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปซักด้วยเครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติ ดังรูปที่ 3.15 รุ่น Fuzzy Logic 7 Kg ยี่ห้อ LG ระดับอุณหภูมิของน้ำที่ซัก 26 องศาเซลเซียส ใช้ระดับน้ำในการซัก ระดับ S โดยน้ำยาซักผ้ายี่ห้อโฟนีไลน์ ทำการซักทั้งหมด 20 รอบ จากนั้นนำมาที่ผ่านการซักแต่ละครั้งไปตรวจสอบการเกาะติดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายด้วยเครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และทดสอบประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณตามข้อ 3.8.2



รูปที่ 3.15 เครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติ



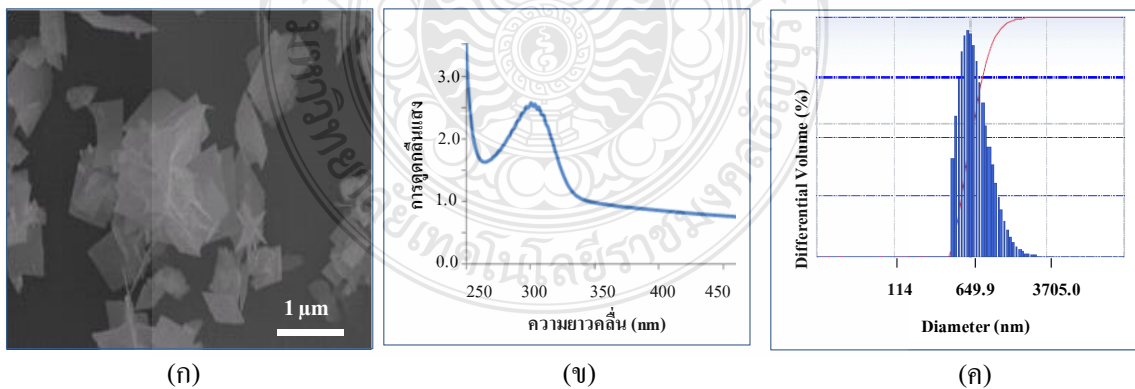
## บทที่ 4

### ผลการวิจัยและอภิปรายผล

#### 4.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

##### 4.1.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน

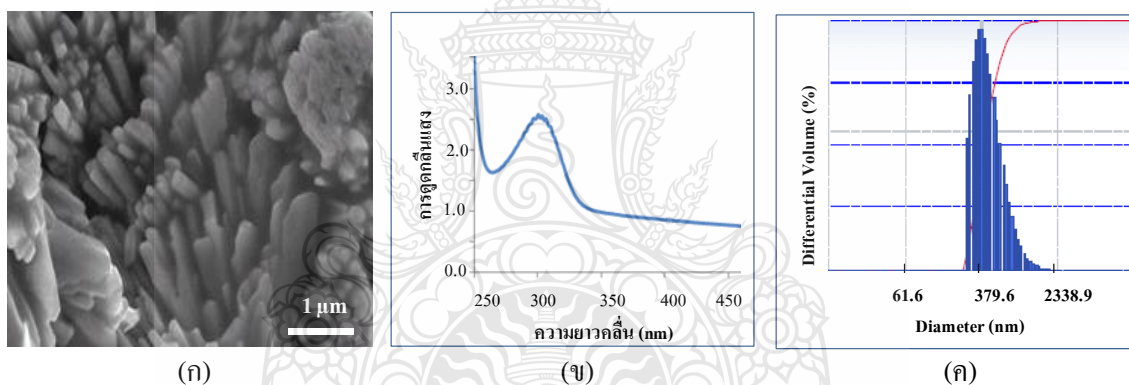
แสดงผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน ได้ตะกอนสีขาว เมื่อนำไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่า มีลักษณะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมและมีผิวเรียบ ดังรูปที่ 4.1 (ก) ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.1 (ข) แสดงว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้เป็นซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากซิงค์ออกไซด์ มีความสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วง 290-400 นาโนเมตร [65] และเมื่อนำไปตรวจสอบขนาดอนุภาค ด้วยเครื่องไดนามิก ไลส์ สแกตเตอร์ริง พบว่าขนาดอนุภาคมีขนาด 756 นาโนเมตรดังรูปที่ 4.1 (ค) ผลการทดลองสรุปได้ว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้มีรูปร่างและขนาดไม่เหมาะสมสำหรับการนำมาเคลือบบนวัสดุสิ่งทอ เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่



รูปที่ 4.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน (ก) ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ข) ค่าการดูดกลืนแสง และ (ค) ตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลส์ สแกตเตอร์ริง

#### 4.1.2 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน

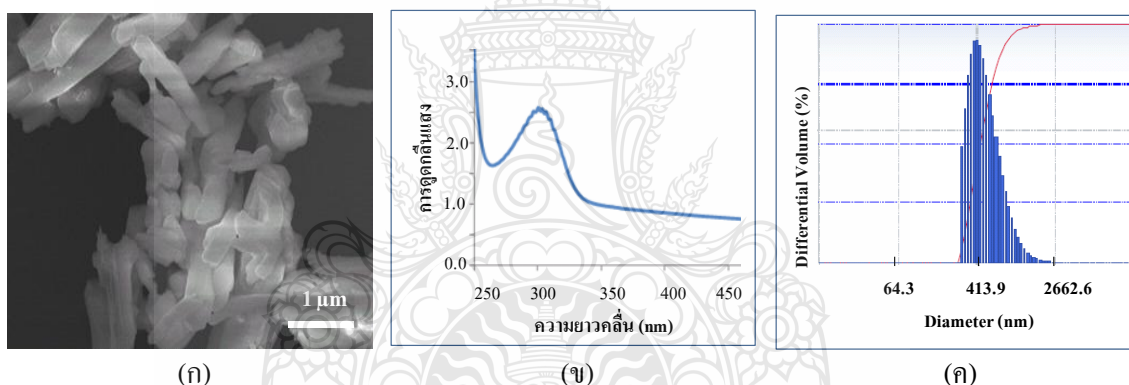
ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน ได้ตะกอนสีขาวจากผลการทดลองพบว่าเมื่อนำไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ได้ผลดังรูปที่ 4.2 (ก) พบว่ามีลักษณะเป็นแท่งผลึกเกาะติดกันเป็นจำนวนมากและมีลักษณะพื้นผิวเรียบ และให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตร (รูปที่ 4.2 (ข)) แสดงว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้เป็นซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการดูดกลืนแสงได้ในช่วง 200-400 นาโนเมตร จากนั้นตรวจสอบด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบว่าขนาดอนุภาคมีขนาด 463 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.2 (ค) จากผลการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้ไม่เหมาะสมที่จะนำไปเคลือบบนวัสดุสิ่งทอ เนื่องจากอนุภาคมีขนาดใหญ่และเกาะกันเป็นก้อน



รูปที่ 4.2 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน (ก) ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ข) ค่าการดูดกลืนแสง และ (ค) ตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง

### 4.1.3 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันเครื่องไฮโดรเทอร์มอล

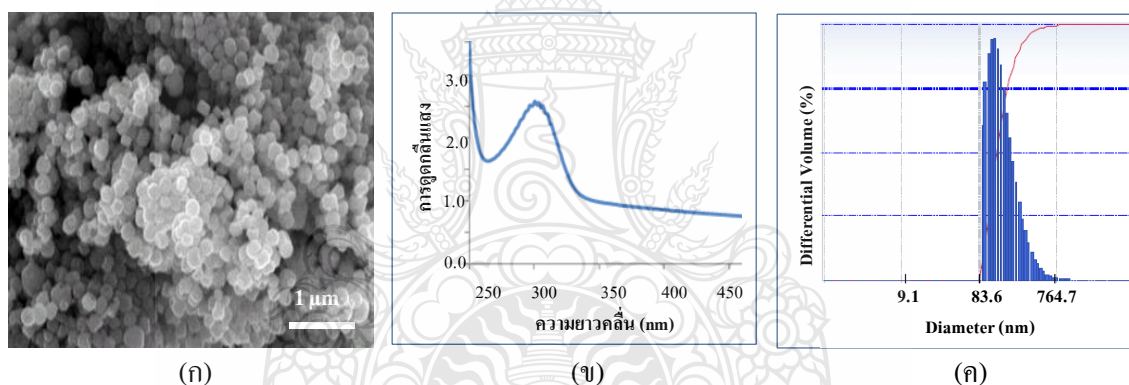
ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันเครื่องไฮโดรเทอร์มอล ได้ตะกอนสีขาว เมื่อนำตะกอนที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.3 (ก) พบว่ามีลักษณะรูปร่างเป็นแท่งผลึก มีค่าการดูดกลืนแสง ที่ 300 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.3 (ข) และเมื่อนำไปตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบว่าขนาดของอนุภาคมีขนาด 522 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.3 (ค) ผลการสังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันเครื่องไฮโดรเทอร์มอล โดยการควบคุมอุณหภูมิที่ 60 องศาเซลเซียส และควบคุมแรงดันของเครื่อง ทำให้ผลึกที่ได้มีขนาดเล็กลง แต่ยังมีรูปร่างที่ไม่เหมาะสมจึงไม่เลือกที่จะนำไปเคลือบบนวัสดุสิ่งทอ เนื่องจากอนุภาคที่สังเคราะห์ได้นั้นมีขนาดใหญ่



รูปที่ 4.3 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันเครื่องไฮโดรเทอร์มอล (ก) ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ข) ค่าการดูดกลืนแสง และ (ค) ตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง

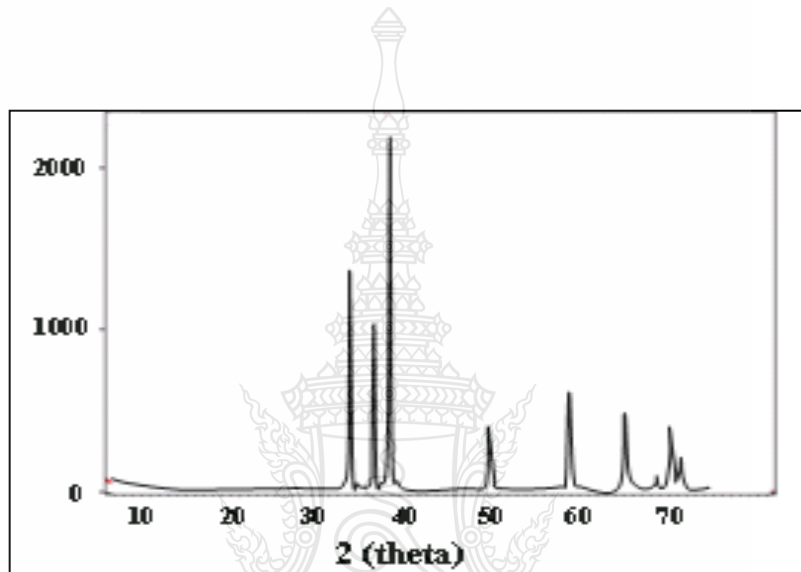
#### 4.1.4 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้สารทำให้คงตัว

ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้น้ำแป้งเป็นสารทำให้คงตัว ได้ผงตะกอนสีขาว เมื่อนำตะกอนที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.4 (ก) พบว่าอนุภาคที่ได้มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาด 100-200 นาโนเมตร เพราะน้ำแป้งนอกจากจะเป็นสารที่ทำหน้าที่ช่วยให้อนุภาคนาโนคงตัวแล้ว น้ำแป้งยังทำหน้าที่หยุดการเติบโต (Growth) ของอนุภาคนาโนจึงทำให้อนุภาคมีลักษณะเป็นทรงกลม และมีขนาดอยู่พบอยู่ในระดับนาโนเมตร และให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 300 นาโนเมตรดังรูปที่ 4.4 (ข) จากนั้นตรวจสอบด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบว่าขนาดอนุภาคมีขนาด 174 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.4 (ค) จากผลการทดลองพบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีนี้ให้อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาด จึงเลือกวิธีนี้สำหรับสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เพื่อนำไปเคลือบบนวัสดุสิ่งทอต่อไป



รูปที่ 4.4 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอน โดยใช้สารทำให้คงตัว (ก) ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ข) ค่าการดูดกลืนแสง และ (ค) ตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง

จากนั้นจึงนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้ไปตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์เฟรคชั่น ได้ผลการทดลองดังรูป 4.5 พบว่า X-ray diffraction pattern ของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสอดคล้องกับฐานข้อมูลของสารซิงค์ออกไซด์ ซึ่งมีสูตรเป็น ZnO ในแฟ้มข้อมูลของ JCPDS โดยมีตำแหน่ง 2-theta ที่ 32, 35, 36, 48, 57, 63, 66, 68 and 69 แสดงว่าอนุภาคที่สังเคราะห์ได้เป็นซิงค์ออกไซด์ ดังนั้นจึงเลือกวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์แบบวิธีนี้ เพื่อนำไปศึกษาการยับยั้งแบคทีเรียต่อไป

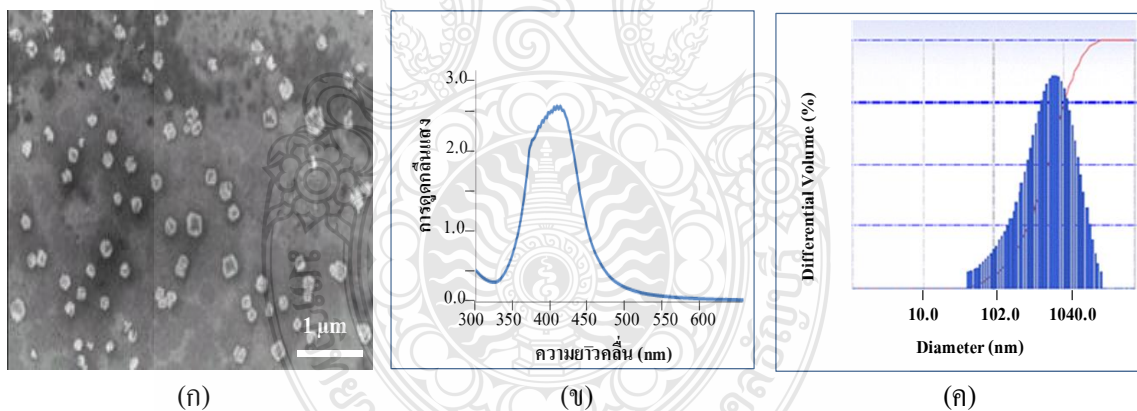


รูปที่ 4.5 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบทางเคมีของผลึกด้วยเครื่องเอกซเรย์เฟรคชั่น

## 4.2 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน

### 4.2.1 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง พบว่ามีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่มีสีเหลือง เมื่อนำอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่ามีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม ดังรูปที่ 4.6 (ก) และเมื่อนำไปตรวจสอบทดสอบทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่าอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ 400 นาโนเมตร แสดงว่าอนุภาคที่ได้เป็นอนุภาคนาโน เนื่องจากช่วงค่าดูดกลืนแสงของอนุภาคนาโนเงินคือที่ความยาวคลื่น 400 ถึง 420 นาโนเมตร [66] จากนั้นตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบว่ามีขนาดอยู่ในระดับ 812 นาโนเมตร เนื่องจากอนุภาคที่ได้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจึงไม่เหมาะที่จะนำไปเคลือบบนวัสดุสิ่งทอ



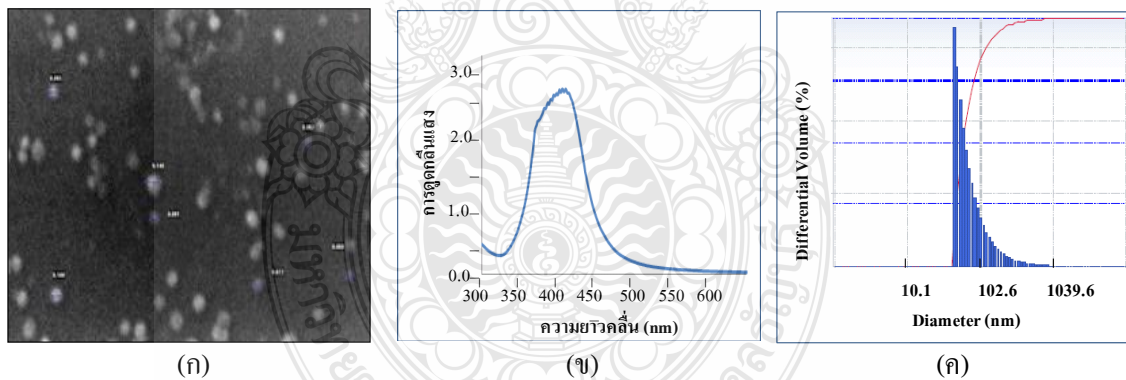
รูปที่ 4.6 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง

(ก) ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ข) ตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และ (ค) ตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง



#### 4.2.2 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ

ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ พบว่ามีลักษณะเป็นคอลลอยด์ที่มีสีเหลือง เมื่อนำอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ได้ด้วยวิธีนี้ไปตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดพบว่ามีลักษณะเป็นทรงกลมขนาดเล็กกระจายกันอยู่เป็นจำนวนมาก และมีลักษณะกลมกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ดังรูปที่ 4.7 (ก) จากนั้นตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์พบว่าอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุดที่ 400 นาโนเมตร และเมื่อนำไปตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบว่าขนาดอนุภาคมีขนาดอยู่ในระดับ 84 นาโนเมตร จากผลการทดลองที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้ขนาดของอนุภาคมีขนาดเล็กและมีรูปร่างเป็นทรงกลม เนื่องมาจากการสังเคราะห์ที่สภาวะอุณหภูมิต่ำนั้น จะเกิดอนุภาคได้ช้าลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ จึงได้อนุภาคที่มีรูปร่างเป็นทรงกลม ดังนั้นจึงเลือกวิธีนี้ในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน



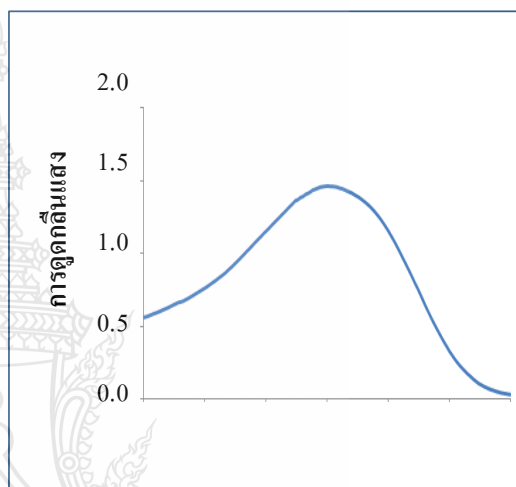
รูปที่ 4.7 ผลการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ (ก) ตรวจสอบสมบัติทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (ข) ตรวจสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และ (ค) ตรวจสอบขนาดอนุภาคด้วยเครื่องไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง

### 4.3 ผลการสกัดสารเคอร์คิวมินนอยด์จากขมิ้นด้วยตัวทำละลายเอทานอล

การสกัดสารเคอร์คิวมินออกจากขมิ้น โดยใช้เอทานอลเป็นตัวทำละลาย พบว่าได้สารละลายแยกเป็นสองชั้น ชั้นล่างเป็นผงขมิ้น ส่วนชั้นบนเป็นชั้นของน้ำมันมีสีเหลืองเข้ม ดังรูปที่ 4.8 (ก) และเมื่อนำไปตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสงพบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร ดังรูปที่ 4.8 (ข) แสดงว่าเป็นสารกลุ่มเคอร์คิวมิน เนื่องจากสารกลุ่มที่จะสามารถดูดกลืนแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 450 นาโนเมตร [67]



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.8 ผลการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้น (ก) ภาพถ่ายของสารสกัดเคอร์คิวมิน และ (ข) ช่วงการดูดกลืนแสง



ตารางที่ 4.1 ผลการสกัดสารเคอร์คิวมินนอยต์จากขมิ้นด้วยตัวทำละลายเอทานอล

เวลาในการสกัด (ชั่วโมง)	ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 425 นาโนเมตร					
	เอทานอล 60% (v/v)		เอทานอล 80%(v/v)		เอทานอล 99.9%(v/v)	
	กวน	ไม่กวน	กวน	ไม่กวน	กวน	ไม่กวน
10 นาที	0.664	0.515	1.052	1.006	1.143	1.075
20 นาที	0.782	0.606	1.114	1.082	1.178	1.132
40 นาที	0.844	0.695	1.226	1.168	1.253	1.217
1	1.012	0.842	1.446	1.259	1.457	1.264
3	1.050	0.887	1.458	1.327	1.464	1.339
6	1.085	0.910	1.471	1.350	1.483	1.371
9	1.097	0.926	1.492	1.385	1.504	1.398
12	1.105	1.063	1.524	1.407	1.535	1.425
15	1.116	1.095	1.541	1.448	1.569	1.496
18	1.124	1.108	1.577	1.472	1.595	1.517
21	1.135	1.117	1.593	1.515	1.621	1.532
24	1.144	1.126	1.608	1.563	1.632	1.592

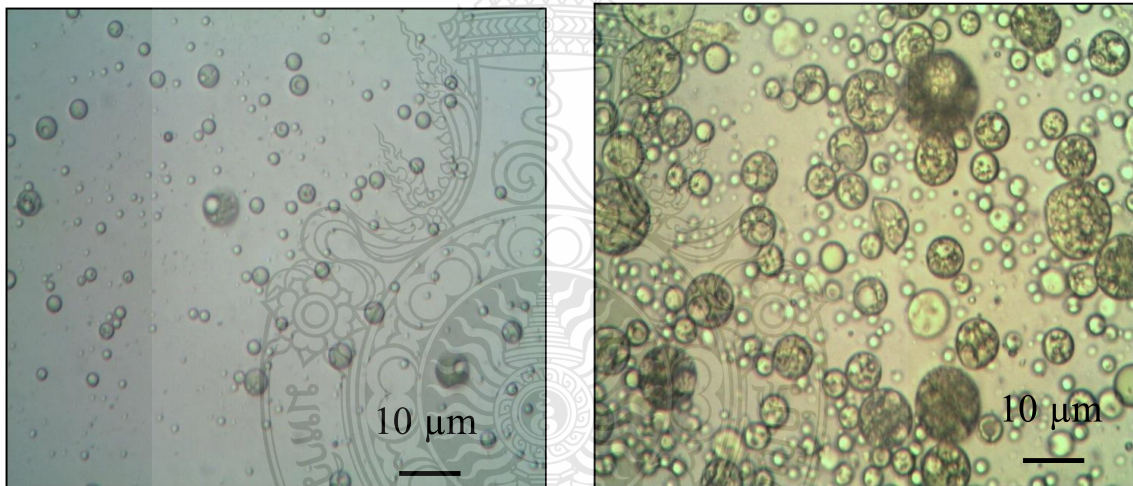
ผลการศึกษาหาสภาวะการสกัดที่เหมาะสมโดยศึกษาความเข้มข้นของเอทานอล ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของตัวทำละลายเอทานอลที่ใช้ในการสกัด พบว่าเมื่อความเข้มข้นของเอทานอลเพิ่มขึ้นจาก 60 ถึง 99.9 % (v/v) ให้ค่าการดูดกลืนแสงเพิ่มขึ้น แสดงว่าสารเคอร์คิวมินสามารถถูกสกัดออกมาจากขมิ้นได้มาก แต่เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้นของเอทานอล 80% (v/v) และ 99.9% (v/v) พบว่าให้ค่าการดูดกลืนแสงไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบด้วยสถิติ t-test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ดังนั้นการทดลองจึงเลือกเอทานอลที่ความเข้มข้น 80% (v/v) เพราะใช้สารเคมีที่น้อยกว่า เมื่อพิจารณาระยะเวลาในการสกัด จาก 10 นาที ถึง 24 ชั่วโมง พบว่าเมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงจะเพิ่มขึ้น เมื่อเวลาที่ใช้ในการสกัดมากกว่า 1 ชั่วโมงค่าการดูดกลืนแสงจะเริ่มคงที่ เมื่อนำค่าการดูดกลืนแสงไปทดสอบค่าทางสถิติพบว่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้เวลาในการสกัดที่ 1 ชั่วโมง เพราะใช้เวลาน้อย สุดท้ายเมื่อ

พิจารณาผลของการกวนสารสกัดพบว่าการกวนขณะสกัดให้ค่าการดูดกลืนแสงที่มากกว่าไม่กวน เนื่องจากตัวทำละลายมีโอกาสได้สัมผัสกับเนื้อไขมันได้มากกว่า

สรุปสถานะที่เหมาะสมในการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้น คือใช้เอทานอล 80% (v/v) เวลาที่ใช้ในการสกัดคือ 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะการกวนสารสกัดตลอดเวลา

#### 4.4 ผลการเตรียมไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมินนอยด์

ผลการเตรียมไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมินนอยด์ด้วยกระบวนการไมโครเอมูชันแคปซูลแบบระเหยตัวทำละลาย เมื่อนำไมโครแคปซูลที่เตรียมได้ไปตรวจสอบลักษณะการหุ้มแคปซูลพบว่ามีลักษณะเป็นเม็ดกลม 2 ชั้น แยกกันอย่างเห็นได้ชัดเจน ดังรูป 4.9 (ก) เมื่อตัวทำละลายระเหยหมดก็จะกลายเป็นเม็ดกลมสีดำ (รูป 4.9 (ข)) ซึ่งแสดงว่าภายในแคปซูลเป็นสารสกัดเคอร์คิวมินที่ถูกหุ้มด้วยพอลิเมอร์อย่างสมบูรณ์



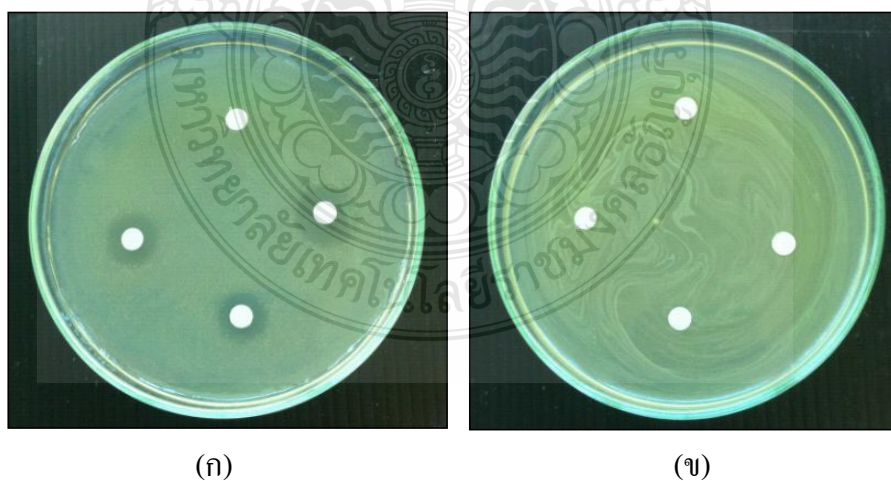
(ก)

(ข)

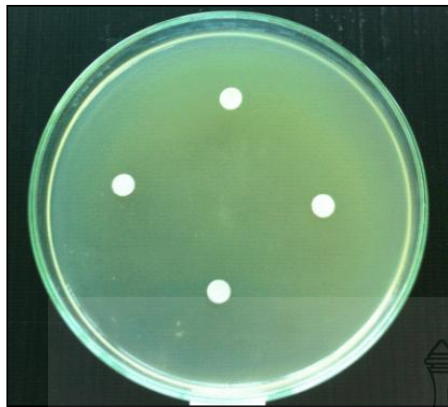
รูปที่ 4.9 ไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมินที่หุ้มด้วยพอลิเมอร์ได้จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (ก) ก่อนการระเหยสาร และ (ข) หลังการระเหยตัวทำละลาย

#### 4.5 ผลทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*

ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ได้จากการสังเคราะห์ข้อ 3.3.4) อนุภาคนาโนเงิน (ได้จากการสังเคราะห์ข้อ 3.4.2) และไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมิน (ได้จากการสังเคราะห์ข้อ 3.6) โดยใช้วิธีทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพ ตามมาตรฐาน AATCC 147 ตรวจสอบผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* โดยวิธีการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้ง ดังรูปที่ 4.10 แสดงภาพถ่ายของการเจริญเติบโตของเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ อนุภาคนาโนเงิน (รูปที่ 4.11) และไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมิน (รูปที่ 4.12) และตารางที่ 4.2 แสดงขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้งในหน่วยมิลลิเมตร ผลการทดสอบพบว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพสูงสุด ในการยับยั้งแบคทีเรียและรองลงมาคืออนุภาคนาโนเงิน และไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมิน ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถแทรกผ่านแบคทีเรียและเข้าไปทำลายกระบวนการทำงานภายในเซลล์ของแบคทีเรียได้หลายวิธี ได้แก่ Reactive Oxygen Species (ROS) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักในการมีชีวิตของแบคทีเรีย นอกจากนี้ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ยังเข้าไปทำลายผนังเซลล์ของแบคทีเรีย [68] จึงเป็นสาเหตุให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีที่สุด นอกจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์จะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีแล้วยังสามารถป้องกันรังสียูวีและสามารถทำความสะอาดได้ด้วยตัวเอง ดังผลการทดลองที่ 4.6 และ 4.7 ดังนั้นจึงเลือกอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปเคลือบบนผ้าฝ้ายต่อไป



รูปที่ 4.10 ภาพการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ (ก) *Staphylococcus aureus* และ (ข) *Escherichia coli*



(ก)

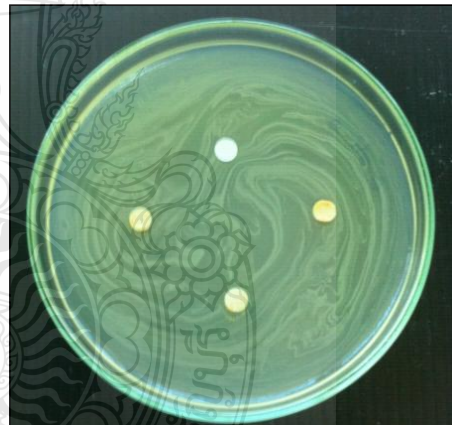


(ข)

รูปที่ 4.11 ภาพการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงิน (ก) *Staphylococcus aureus* และ (ข) *Escherichia coli*



(ก)



(ข)

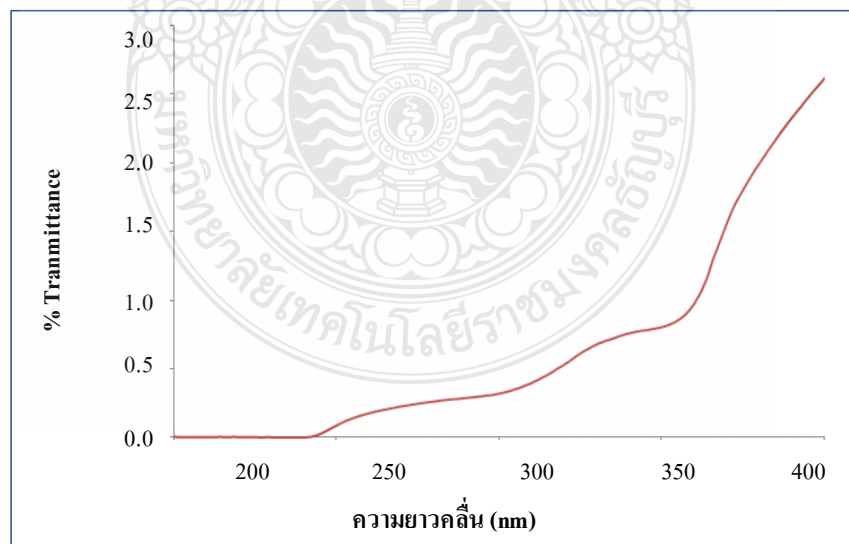
รูปที่ 4.12 ภาพการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของไมโครแคปซูลของสารสกัดเคอร์คิวมิน (ก) *Staphylococcus aureus* และ (ข) *Escherichia coli*

ตารางที่ 4.2 ตารางผลทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพ

รายการวิเคราะห์	ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ (mm)	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>
อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	5.22	1.44
อนุภาคนาโนเงิน	0.22	1.44
สารสกัดเคอร์คิวมินหุ้มแคปซูล	ไม่ยับยั้ง	1.00

#### 4.6 ผลการต้านรังสียูวีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

สมบัติการต้านรังสียูวีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ สามารถตรวจสอบได้โดยใช้เครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยนำสารอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ไปวัดเปอร์เซ็นต์การส่องผ่านของแสง (% Transmittance) ในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 400 นาโนเมตร ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.13 พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ให้ค่าการส่องผ่านของแสงยูวีที่ต่ำในช่วงยูวีบี (ความยาวคลื่น 250-315 นาโนเมตร) แสดงว่าสามารถดูดกลืนแสงได้ดี และให้ค่าส่องผ่านของแสงในช่วงยูวีเอเพิ่มขึ้น (ความยาวคลื่น 315-370 นาโนเมตร) แสดงว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการต้านรังสียูวีบีได้ดีกว่ารังสียูวีเอ

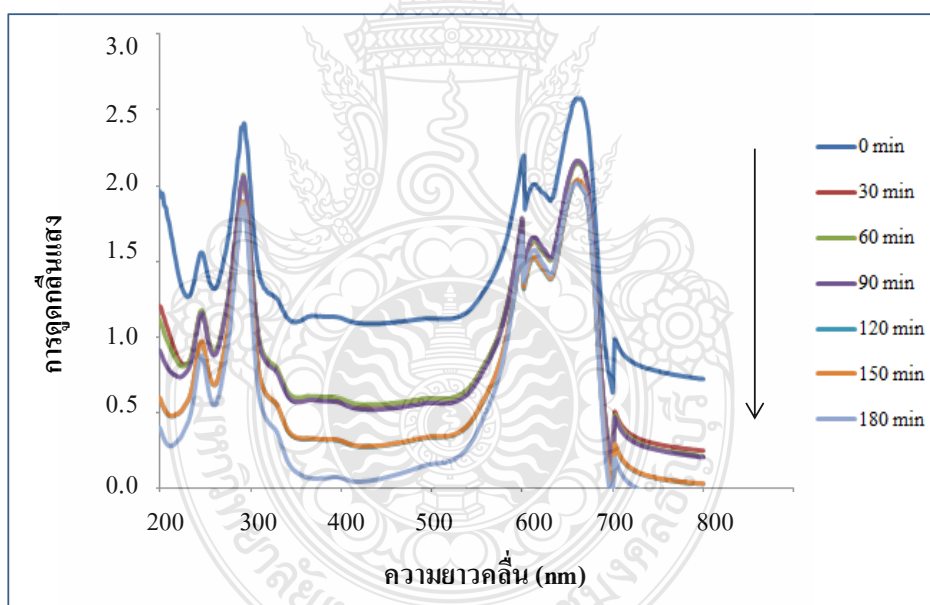


รูปที่ 4.13 แสดงผลการต้านรังสียูวีของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์



#### 4.7 ผลการทำความสะอาดตัวเองของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ศึกษาความสามารถของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ในการทำความสะอาดตัวเองสำหรับกำจัดสารอินทรีย์ โดยเลือกใช้เมทิลีน บลู เป็นตัวแทนของสารอินทรีย์เนื่องจากเป็นสารที่มีสีฟ้า โดยการผสมอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์กับเมทิลีน บลู และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ที่เวลาต่างๆ เริ่มตั้งแต่ 30 นาที ถึง 180 นาที เพื่อเปรียบเทียบกับ การดูดกลืนแสงของเมทิลีน บลู ผลการทดลองเป็นดังรูปที่ 4.14 พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถกำจัดสีของเมทิลีน บลู ได้ เมื่อเวลาในการสัมผัสระหว่างอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์กับเมทิลีน บลู เพิ่มขึ้น ค่าการดูดกลืนแสงในช่วง 200 ถึง 800 นาโนเมตรลดลง ดังนั้นแสดงว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สามารถสลายสีของเมทิลีน บลู ได้ เพราะเมื่ออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ได้รับแสงจะทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ได้ดี ทำให้สารอินทรีย์สลายตัวไปได้

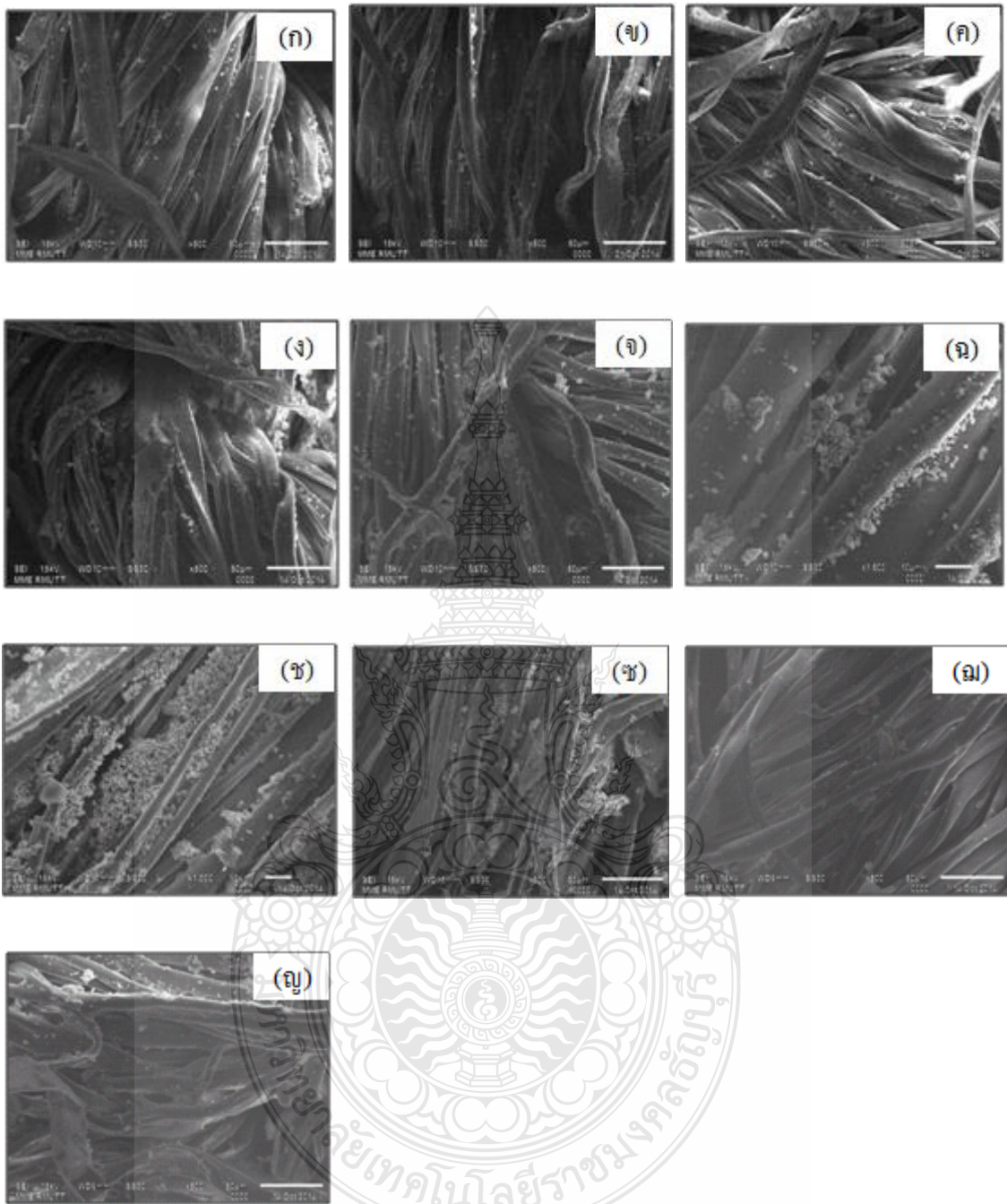


รูปที่ 4.14 แสดงผลการสลายตัวของเมทิลีน บลู โดยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

#### 4.8 ผลของความเข้มข้นของสารช่วยยึดติดสำหรับเคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้าย

การเคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้าย โดยใช้ความเข้มข้นของสารช่วยยึดติดหรือสารเชื่อมไขว้ที่ความเข้มข้นต่างๆ คือ 0.1 0.3 0.5 0.7 0.9 1 1.3 1.5 1.7 และ 2 % (v/v) โดยตรวจสอบลักษณะการเกาะติดด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ที่กำลังขยาย 500 เท่า ดังรูปที่ 4.15 แสดงภาพถ่ายที่ได้จากการตรวจสอบลักษณะการเกาะติดด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เมื่อใช้ปริมาณสารช่วยยึดติดในปริมาณที่แตกต่างกัน เมื่อใช้ปริมาณสารช่วยยึดติดในปริมาณที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เคลือบบนเส้นใยได้มากขึ้น จนถึงเข้มข้นของสารช่วยยึดติดที่ 1 % (v/v) พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นของสารช่วยยึดติดที่มากกว่า 1 % (v/v) ทำให้พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เกาะติดกันเองเป็นกลุ่ม และลักษณะของเส้นใยมีความหนาและมันวาว เนื่องจากสารช่วยยึดติดมีปริมาณมากเกินไป จึงมีส่วนที่เหลือตกค้างบนเส้นใย ดังนั้นจึงเลือกปริมาณสารช่วยยึดติดที่ 1 % (v/v) สำหรับใช้ในการเคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายต่อไป





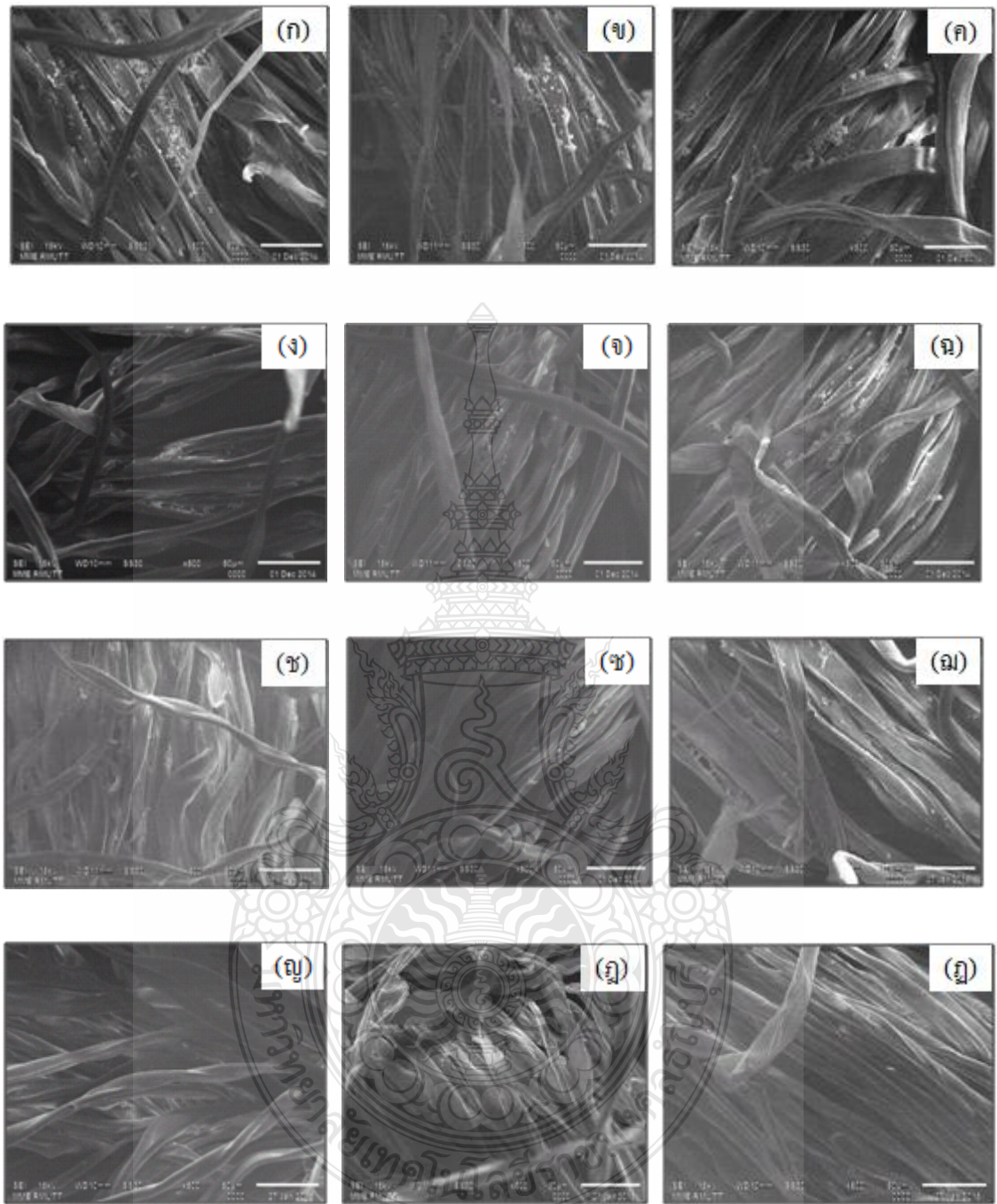
รูปที่ 4.15 ผลการเคลือบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายโดยใช้สารช่วยยึดติดที่ความเข้มข้น (ก) 0.1 (ข) 0.3 (ค) 0.5 (ง) 0.7 (จ) 0.9 (ฉ) 1 (ช) 1.3 (ซ) 1.5 (ฌ) 1.7 และ (ญ) 2% (v/v)



#### 4.9 ผลของการตรวจสอบความคงทนต่อการซักของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ผลของการซักผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยวิธี AATCC 135-2004 ด้วยเครื่องซักผ้าแบบอัตโนมัติ โดยทำการซักทั้งหมด 20 ครั้ง ดังรูปที่ 4.16 แสดงภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ปริมาณของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนเส้นใยน้อยลง หลังผ่านการซักในแต่ละครั้ง และพบว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ผ่านการซักล้างมากกว่า 14 ครั้ง จากภาพถ่ายจะเห็นได้ว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนเส้นใยมีจำนวนลดลงมากขึ้น จนถึงเมื่อซักครั้งที่ 20 ไม่พบอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์อยู่บนเส้นใย





รูปที่ 4.16 แสดงผลของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อผ่านการซักต่างๆกัน (ก) ครั้งที่ 1 (ข) ครั้งที่ 3 (ค) ครั้งที่ 5 (ง) ครั้งที่ 7 (จ) ครั้งที่ 9 (ฉ) ครั้งที่ 11 (ช) ครั้งที่ 13 (ช) ครั้งที่ 14 (ฉ) ครั้งที่ 15 (ญ) ครั้งที่ 17 (ฎ) ครั้งที่ 19 และ (ฏ) ครั้งที่ 20

#### 4.10 ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียที่เรียต่อการตรวจสอบความคงทนต่อการซักของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

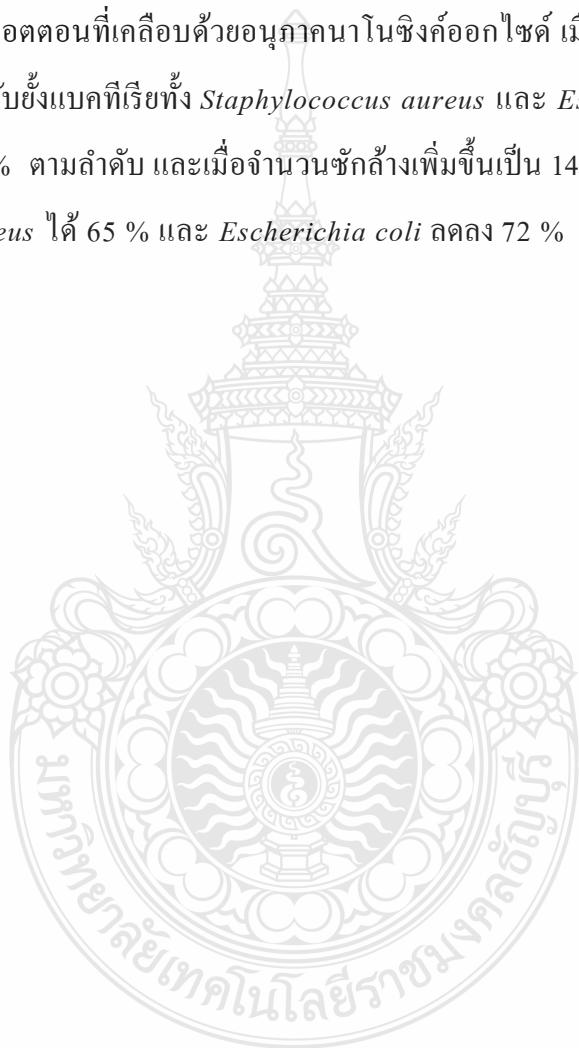
ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ด้วยวิธีเชิงปริมาณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ลดลงของแบคทีเรีย ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสิ่งทอ โดยใช้วิธี AATCC Test Method 135-2004 ดังตารางที่ 4.3 แสดงผลการยับยั้งการเจริญเติบโตของ *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ของผงซิงค์ออกไซด์ และ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ผ้าที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อผ่านการซักในครั้งที่ 7 และครั้งที่ 14 ซึ่งมีจำนวนการเกาะติดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ลดปริมาณลงเรื่อยๆ

ตารางที่ 4.3 ตารางผลทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณเพื่อตรวจสอบความคงทนต่อการซักของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

รายการวิเคราะห์	ผลการทดสอบการยับยั้งเชื้อ (เปอร์เซ็นต์)	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>
ผงซิงค์ออกไซด์	75	40
อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	88	72
ผ้าเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์	84	65
ผ้าเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านการซักครั้งที่ 1	77	63
ผ้าเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านการซักครั้งที่ 7	68	56
ผ้าเคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ผ่านการซักครั้งที่ 14	29	18

เมื่อเปรียบเทียบผลการยับยั้งแบคทีเรียระหว่างผงซิงค์ออกไซด์กับอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์พบว่าอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียทั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้มากกว่าผงซิงค์ออกไซด์ เนื่องจากอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีขนาดเล็ก

ระดับนาโนเมตร สามารถแทรกซึมผ่านผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ง่ายและมากกว่าผงซิงค์ออกไซด์ จึงทำให้สามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดีกว่า และเมื่อนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปเคลือบบนผ้าและทำการซัก พบว่าเมื่อผ่านการซักครั้งที่ 7 สามารถยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้ 68 และ 56% ตามลำดับ และเมื่อผ่านการซักครั้งที่ 14 พบว่าเปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* ได้ 29 % และ *Escherichia coli* ได้ 18% จากผลการทดลองสรุปได้ว่าผ้าคอตตอนที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เมื่อผ่านการซักล้าง 7 ครั้ง มีความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียทั้ง *Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli* ได้น้อยลงคือ 19 % และ 14 % ตามลำดับ และเมื่อจำนวนซักล้างเพิ่มขึ้นเป็น 14 ครั้ง เปอร์เซ็นต์การยับยั้ง *Staphylococcus aureus* ได้ 65 % และ *Escherichia coli* ลดลง 72 %



## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาวิธีการสังเคราะห์สารอนินทรีย์ และสกัดสารอนินทรีย์ที่มีสมบัติในด้านการยับยั้งแบคทีเรีย สารอนินทรีย์ที่ศึกษาคืออนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์และอนุภาคนาโนเงิน ส่วนสารอนินทรีย์คือสารสกัดเคอร์คิวมินจากขมิ้น โดยเปรียบเทียบความสามารถในการยับยั้งแบคทีเรียของสารอนินทรีย์ และสกัดสารอนินทรีย์ จากนั้นเลือกสารอนินทรีย์ หรือสารสกัดอินทรีย์ที่มีสมบัตียับยั้งแบคทีเรียที่ดีที่สุด เพื่อนำไปเคลือบบนวัสดุสิ่งทอ คือผ้าฝ้ายต่อไป

ขั้นตอนแรกศึกษาวิธีสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยมีวิธีการสังเคราะห์ที่แตกต่างกันคือ การสังเคราะห์โดยวิธีการตะกอน การสังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิด้วยอ่างน้ำมัน การสังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนภายใต้การควบคุมอุณหภูมิและความดันสูงด้วยเครื่องไฮโดรเทอร์มอล และการสังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้สารทำให้คงตัว ซึ่งวิธีการสังเคราะห์แต่ละวิธีนั้น ได้รูปร่างและขนาดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ต่างกัน โดยงานวิจัยนี้ต้องการอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ซึ่งผลการทดลองพบว่าวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้สารทำให้คงตัวให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ส่วนวิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน ได้ทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันภายใต้อุณหภูมิที่ต่างกันคือ การสังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง และการสังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองควบคุมอุณหภูมิต่ำ ซึ่งผลการสังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิต่ำ ได้อนุภาคของนาโนเงินรูปร่างทรงกลมและมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง สำหรับสารอนินทรีย์ ขั้นแรกศึกษาวิธีการสกัดสารเคอร์คิวมินจากขมิ้น พบว่าตัวทำละลายที่เหมาะสมในการสกัด คือ เอทานอล ความเข้มข้น 80 % (v/v) และเวลาที่ใช้ในการสกัด 1 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะการกวนสารตลอดเวลาในการสกัด จากนั้นนำสารสกัดเคอร์คิวมินที่ได้ไปเตรียมไมโครแคปซูลด้วยเทคนิคไมโครเอมัลชันแบบระเหยตัวทำละลาย พบว่าได้แคปซูลที่หุ้มเคอร์คิวมินไว้ภายในขนาด 500 ถึง 900 นาโนเมตร จากนั้นนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์

ที่สังเคราะห์โดยวิธีตกตะกอนโดยใช้สารทำให้คงตัว อนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ด้วยวิธีรีดักชันภายใต้สภาวะการทดลองควบคุมอุณหภูมิต่ำ และไมโครแคปซูลจากสารสกัดเคอร์คิวมิน ไปทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงคุณภาพตามมาตรฐาน AATCC 147 โดยใช้ *Staphylococcus aureus* AATCC 6538 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก และใช้ *Escherichia coli* AATCC 8739 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ ผลการทดลองพบว่า อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ดีที่สุด รองลงมาคืออนุภาคนาโนเงิน และสารสกัดเคอร์คิวมิน ตามลำดับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์เคลือบบนผ้าฝ้าย

ขั้นตอนต่อไปศึกษาความเข้มข้นของพอลิอะคริลิก 816 ซึ่งเป็นสารช่วยยึดติดระหว่างอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์กับผ้าฝ้ายการทดลอง พบว่าที่ความเข้มข้นของสารช่วยยึดติด 1% (v/v) สามารถทำให้อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ เกาะติดบนเส้นใยได้ปริมาณมากและมีการกระจายตัวของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์สม่ำเสมอบนเส้นใย

จากนั้นศึกษาความคงทนต่อการซักของผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ โดยได้ทำการซักทั้งหมด 20 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งตรวจสอบลักษณะการเกาะติดด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ผลการทดลองปรากฏว่า ปริมาณการเกาะติดของอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนผ้าฝ้ายนั้นมีจำนวนลดลงเรื่อยๆ จนถึงการซักครั้งที่ 20 ไม่พบ อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์บนเส้นใย

สุดท้ายนำผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ไปทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียเชิงปริมาณเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ลดลงของแบคทีเรีย โดยใช้วิธี AATCC Test Method 147-2004 พบว่าเมื่อนำผ้าผ่านการซักเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพการยับยั้งแบคทีเรียลดลง เมื่อผ่านการซักครั้งที่ 14 เปอร์เซ็นต์การยับยั้งแบคทีเรียยังคงเหลือ 29 เปอร์เซ็นต์สำหรับ *Staphylococcus aureus* และ 18 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ *Escherichia coli*

สรุปได้ว่าผ้าฝ้ายที่เคลือบด้วยอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์มีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้สูง ทนต่อการซักล้าง นอกจากนี้ยังมีความสามารถในการต้านรังสียูวี และสามารถทำความสะอาดตัวเองได้อีกด้วย

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาผลของขนาดอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ที่มีต่อประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรีย

5.2.2 ควรศึกษาการนำอนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ ไปเคลือบบนผ้าชนิดอื่นๆ เช่น ผ้าไหม เป็นต้น



## บรรณานุกรม

- [1] Vidushi, B., Shailendra, B., Jha, M.K., Apurba, D., & Subrata, G. (2011). Microbial adherence on textile materials: a review. **Journal of Environmental Research and Development**, 5, 666-672.
- [2] Sharkar, R.K., Purushottam, D., & Chauhan, P.D. (2003). Bacteria-resist finish on cotton fabrics using natural herbal extracts. **Indian Journal Fibre & Textile Research**, 28, 322-331.
- [3] แบคทีเรีย, รูปแบคทีเรีย (*online*), 2558, <http://micro.magnet.fsu.edu/cells/bacteriacell.html>. (12 มกราคม 2558)
- [4] Yuji, H., Mamoru, A., Mickiko, H., Takeshi, S., Hirofumi, K., Osamu, F., Toshio, K., & Shotaro, T. (2000). Antibody response to toxic shock syndrome toxin-1 of *Staphylococcus aureus* in dairy icows. **Veterinary Microbiology**, 72, 321-327.
- [5] Zhu, M.J., Olsen, S.A., Sheng, L., Xue, Y., & Yue, W. (2015). Antimicrobial efficacy of grape seed extract against *Escherichia coli* O157:H7 growth, motility and Shiga toxin production. **Food Control**, 51, 177-182.
- [6] Amin, B.Y., Rong, W., & Rong, X. (2015). Simple method of deposition of CuO nanoparticles on a cellulose paper and its antibacterial activity. **Chemical Engineering Journal**, 262, 999-1008.
- [7] Mohd, H., Alimuddin, Sagar, E.S., Meena, S.S., Kotnala, R.K., Ameena, P., Aashis, R.S., Shalendra, K., Pramod, B., & Ravi, K. (2013). Investigation of structural, dielectric, magnetic and antibacterial activity of Cu-Cd-Ni-FeO<sub>4</sub> nanoparticles. **Journal of Magnetism and Magnetic Material**, 341, 148-157.



## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [8] Ramesh, M., Anbuvarnan, M., & Viruthagiri, G. (2015). Green synthesis of ZnO nanoparticles using *Solanum nigrum* leaf extract and their antibacterial activity. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, *136*, 864-870.
- [9] Ameer, A., Arham, S.A., Mohammad, O., Mohammad, K.S., Sami, H.S., & Adnan, M. (2012). Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria: a comparative study. **International Journal of nanomedicine**, *7*, 6003-6009.
- [10] Rajendran, R., Balakumar, C., Hasabo, A.M.A., Jayakumar, S., Vaideki, K., & Rajesh, E.M. (2010). Use of zinc oxide nano particles for production of antimicrobial textiles. **International Journal of Engineering, Science and Technology**, *2*, 202-208.
- [11] Solmaz, D.M., Farzaneh, L., Mohammad, B.J., Mohammad, Z.H., & Khosro, A. (2014). Antimicrobial activity of the metals and metal oxide nanoparticles. **Materials Science and Engineering C**, *44*, 278-284.
- [12] Zarrindokht, E.K. & Pegah, C. (2011). Antibacterial activity of ZnO nanoparticle on gram-positive and gram-negative bacteria. **African Journal of Microbiology Research**, *5*, 1368-1373.
- [13] Yadav, A., Prasad, V., Kathe, A.A., Sheela, R., Deepti, Y., Sundaramoorthy, C., & Vigneshwaran, N. (2006). Function finishing in cotton fabrics using zinc oxide nanoparticles. **Bulletin of Materials Science**, *29*, 641-645.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [14] Hadi, M.F., Abdollah, S.F., & Mohammad, Z.A. (2011). Photocatalytic self-cleaning properties of cellulosic fibers modified by nano-sized zinc oxide. **Thin Solid Films**, *519*, 3641-3646.
- [15] Simon, S., & Le, P.T. (1996). Bacterial heavy metal resistance: new surprises. **Annual Review of Microbiolog**, *50*, 753-789.
- [16] Zain, N.M., Stapley, A.G.F., & Shama, G. (2014). Green synthesis of silver and copper nanoparticles using ascorbic acid and chitosan for antimicrobial applications. **Carbohydrate Polymers**, *112*, 195-202.
- [17] Debabrata, S., Nabajeet, B., & Kalyanasis, S. (2014). A facile synthesis of high optical quality silver nanoparticles by ascorbic acid reduction in reverse micelles at room temperature. **Journal of Colloid and Interface Science**, *413*, 37-42.
- [18] Dušan, B.K., Lidija, T.V., Adriaan, L.S., & Vladimir, D. (2010). Green' synthesis and optical properties of silver-chitosan complexes and nanocomposites. **Reactive & Functional Polymers**, *70*, 869-873.
- [19] Sebastian, W. & Andrzej, K. (2012). Influence of oxygen on the process of formation of silver nanoparticles during citrate/borohydride synthesis of silver sols. **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects**, *410*, 45-51.
- [20] Wagner, J., Tshikhudo, T.R., & Köhler, J.M. (2008). Microfluidic generation of mrtal nanoparticles by borohydride reduction. **Chemical Engineering Journal**, *135S*, S104-S109.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [21] Sally, S.D., Mozghan, B., Aravindan, J.V., Susan, R.A., & Charles, B. (2007). Synthesis and study of silver nanoparticles. **Journal of Chemical Education**, 84, 322-325.
- [22] Robert, P.Y. & Adam, F.J. (2013). Nanotechnology as a therapeutic tool to combat microbial resistance. **Advanced Drug Delivery Reviews**, 65, 1803-1815.
- [23] Humberto, L.H., Nilda, A.N.V., Liliana, T.D.C.I., & Cristina, P.R. (2010). Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, 26, 615-621.
- [24] Liyi, H., Tianhong, D., Yi, X., George, T.P., & Michael, H.R. (2011). Synergistic combination of chitosan acetate with nanoparticle silver as a topical antimicrobial: efficacy against bacterial burn infections. **Antimicrobial Agents Chemotherapy**, 55, 3432-3438.
- [25] Menno, K.L.W. & Leo, K.H. (2011). New strategies in the development of antimicrobial coatings: the example of increasing usage of silver and silver nanoparticles. **Polymers**, 3, 340-366.
- [26] Ashley, B.N., Kathryn, S., Tova, S.A., Jiangrui, L., Sherine, O.O., & Maria, S.E. (2012). Nanoparticles functionalized with ampicillin destroy multiple-antibiotic-resistant isolates of *Pseudomonas aeruginosa* and *Enterobacter aerogenes* and Methicillin-Resistant *Staphylococcus aureus*. **Applied and Environmental Microbiology**, 78, 2768-2774.
- [27] Sukumaran, P., & Eldho, P.K. (2012). Silver nanoparticles: mechanism of antimicrobial action, synthesis, medical application, and toxicity effects. **International Nano Letters**, 2, 1-10.
- [28] Kan, C.W. (2007). Evaluating antistatic performance of plasma-treated polyester. **Fibers and Polymers**, 8, 629-634.
- [29] Sukdeb, P., Yu, T.K., & Joon, S.M. (2007). Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? a study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. **Applied and Environmental Microbiology**, 73, 1712-1720.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [30] Li, Y., Leung, P., Yao, L., Song, Q.W., & Newton, E. (2006). Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. **Journal of Hospital Infection**, *62*, 58-63.
- [31] Zhisong, L., Mei, M., Yanke, J., & Jiale, X. (2014). UV-assisted *in situ* synthesis of silver nanoparticles on silk fibers for antibacterial applications, **Colloids and Surfaces A: Physicochem. Engineering. Aspects**, *447*, 1-7.
- [32] ป้องกันโรคด้วยขมิ้น, รูปขมิ้น (*online*), 2558, <https://www.google.co.th/search?q=curcumin&biw>.  
(19 มกราคม 2558)
- [33] Aggarwal, B.B., Sundaram, C., Malani, N., & Ichikawa, H. (2007). Curcumin: the Indian solid gold. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, *595*, 1-75.
- [34] Venugopal, M.P. & Adluri, S.R. (2007). Antioxidant and anti-inflammatory properties of curcumin. **Advances in Experimental Medicine and Biology**, *595*, 105-125.
- [35] Khosro, M., Katherine, T.H., Brian, P.O., Tim, S., Candice, M., Elena, P., Violet, Y.G., John, M.H., & Chris, O. (2005). Synthesis and characterization of dual function vanadyl, gallium and indium curcumin complexes for medicinal applications. **Journal of Inorganic Biochemistry**, *99*, 2217-2225.
- [36] Hatcher, H., Planalp, R., Cho, J., Torti, F.M., & Torti, S.V. (2008). Curcumin: from ancient medicine to current clinical trials. **Cellular and Molecular Life Sciences**, *65*, 1631-1652.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [37] Jaggi, L., Sushil, G.K., Thavaselvam, D., & Dau, A.D. (2013). Biological activity, design, synthesis and structure activity relationship of some novel derivatives of curcumin containing sulfonamides. **European Journal of Medicinal Chemistry**, *64*, 579-588.
- [38] Rana, S.P. & Jain, D.A. (2012). Evaluation of antimicrobial activity of curcuminoids isolated from turmeric. **International Journal of Pharmacy & Life Sciences**, *3*, 1368-1376.
- [39] Pierangelo, B., Fabrizia, B., Mariagrazia, P., Alessia, S., Carlo, B., Bernardetta, S., Domenico, S., Gianfranco, A., & Giuseppe, C. (2014). Curcumin inhibits the SOS response induced by levofloxacin in *Escherichia coli*. **Phytomedicine**, *21*, 430-434.
- [40] Kunnavakkam, S.V., Duraipandy, N., Shajitha, B., Rachita, L., Usha, R., Purna, K.S., & Syamala, K.S. (2015). Effect of curcumin caged silver nanoparticle on collagen stabilization for biomedical applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, *75*, 306-315.
- [41] Chandrasekar, N. & Rengarajulu, P. (1996). Effect of curcumin on certain lysosomal hydrolases in isoproterenol-induced myocardial infarction in rats. **Biochemical Pharmacology**, *51*, 47-51.
- [42] Camila, M.S., Cristiane, M., Ana, N.C., Francielle, S., Mauro, B.L., Antônio, N.M., & Graciette, M. (2014). Curcumin- $\beta$ -cyclodextrin inclusion complex: Stability, solubility, characterisation by FT-IR, FT-Raman, X-ray diffraction and photoacoustic spectroscopy, and food application. **Food Chemistry**, *153*, 361-370.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [43] Chuan-Chuan, L., Hung-Yin, L., Ming-Hung, C., Chin-Min, S., Hwan-Wen, C., Wen-Jen, Y., & Mei-Hwa, L. (2014). Preparation of curcumin microemulsion with food-grade soybean oil/lecithin and their cytotoxicity on the HepG2 cell line. **Food Chemistry**, *154*, 282-290.
- [44] Shinyoung, H., & Yiqi, Y. (2005). Antimicrobial activity of wool fabric treated with curcumin. **Dyes and Pigments**, *64*, 157-161.
- [45] Yuyang, Z., Jue, Z., Ren-Cheng, T., & Jun, Z. (2015). Simultaneous dyeing and functionalization of silk with three natural yellow dyes. **Industrial Crops and Products**, *64*, 224-232.
- [46] María, O.C., José, C.G., Laura, I., Mónica, N.A., & Coralia, O. (2015). Microencapsulation of betalains obtained from cactus fruit (*Opuntia ficus-indica*) by spray drying using cactus cladode mucilage and maltodextrin as encapsulating agents. **Food Chemistry**, *187*, 174-181.
- [47] Dewettinck, K., & Huyghebaert, A. (1999). Fluidized bed coating in food technology. **Trends in Food Science & Technology**, *10*, 163-168.
- [48] Fang, Z. (2012). **Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and nutraceuticals: Spray drying, freeze drying and related processes for food ingredient and nutraceutical encapsulation** (1st ed). USA: Woodhead Publishing Limited.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [49] Alison, M., Owen, J.G., & David, M.J. (2011). Structured biopolymer-based delivery systems for encapsulation, protection, and release of lipophilic compounds. **Food Hydrocolloids**, 25, 1865-1880.
- [50] Ming, L., Olivier, R., & Denis, P. (2008). Microencapsulation by solvent evaporation: State of the art for process engineering approaches. **International Journal of Pharmaceutics**, 363, 26-39.
- [51] Ornachuma, N., Siriporn, O., Raymond, S.M., & Wim, H.E. (2014). Curcumin nanoformulation: a review of pharmaceutical properties and preclinical studies and clinical data related to cancer treatment. **Biomaterials**, 35, 3365-3383.
- [52] Shaikh, J., Ankola, D.D., Beniwal, V., Singh, D., & Ravi Kumar, M.N.V. (2009). Nanoparticle encapsulation improves oral bioavailability of curcumin by at least 9-fold when compared to curcumin administered with piperine as absorption enhancer. **European Journal of Pharmaceutical Sciences**, 37, 223-230.
- [53] Sowbhagya, H.B., Smitha, S., Sampathu, S.R., Krishnamurthy, N., & Suwendu, B. (2005) Stability of water-solution turmeric colourant in an extruded food product during storage. **Journal of Food Engineering**, 67, 367-371.
- [54] Wen-Ching, K., Chao-Kai, C., Hsiu-Ju, W., Shian-Jen, W., & Chang-Wei, H. (2015). Process optimization of microencapsulation of curcumin in  $\gamma$ - polyglutamic acid using response surface methodology. **Food Chemistry**, 172, 497-503.
- [55] Schindler, W.D. & Hause, P.J. (2004). **Chemical Finishing of Textiles: Chemical finishing process**. (1st ed). USA: Woodhead Publishing Ltd.

## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [56] Siriwan, K., Natnicha, H., & Wanida J. (2012). Comparative multifunctional properties of partially carboxymethylated cotton gauze treated by the exhaustion or pad-dry-cure methods. **carbohydrate Polymers**, 87, 16-23.
- [57] Casey, Y.; & Zijian, Z. (2013). The development of pad-dry-cure compatible method for preparing electrically conductive copper coated cotton woven fabrics. **Journal of Fiber Bioengineering and Informatics**, 6, 117-128.
- [58] Alenka, O., Karin, K.S., Darinka, F. (2013) Characterization of nano-sized TiO<sub>2</sub> suspensions for functional modification of polyester fabric. **Surface & Coatings Technology**, 226, 68-74.
- [59] Selvam, S., Rajiv Gandhi, R., Suresh, J., Gowri, S., Ravikumar, S., & Sundrarajan, M. (2012). Antibacterial effect of novel synthesized sulfated  $\beta$ -cyclodextrin crosslinked cotton fabric and its improved antibacterial activities with ZnO, TiO<sub>2</sub> and Ag nanoparticles coating. **International Journal of Pharmaceutics**, 434, 366-374.
- [60] Hossam, E.E. & Zahran, M.K. (2015). Ag<sup>0</sup> nanoparticles containing cotton fabric: synthesis, characterization, color data and antibacterial action. **International Journal of Biological Macromolecules**, 75, 106-114.
- [61] Abd El-Hady, M.M., Farouk, A., & Sharaf, S. (2013). Flame retardancy and UV protection of cotton based fabrics using nano ZnO and polycarboxylic acids. **Carbohydrate polymers**, 92, 400-406.

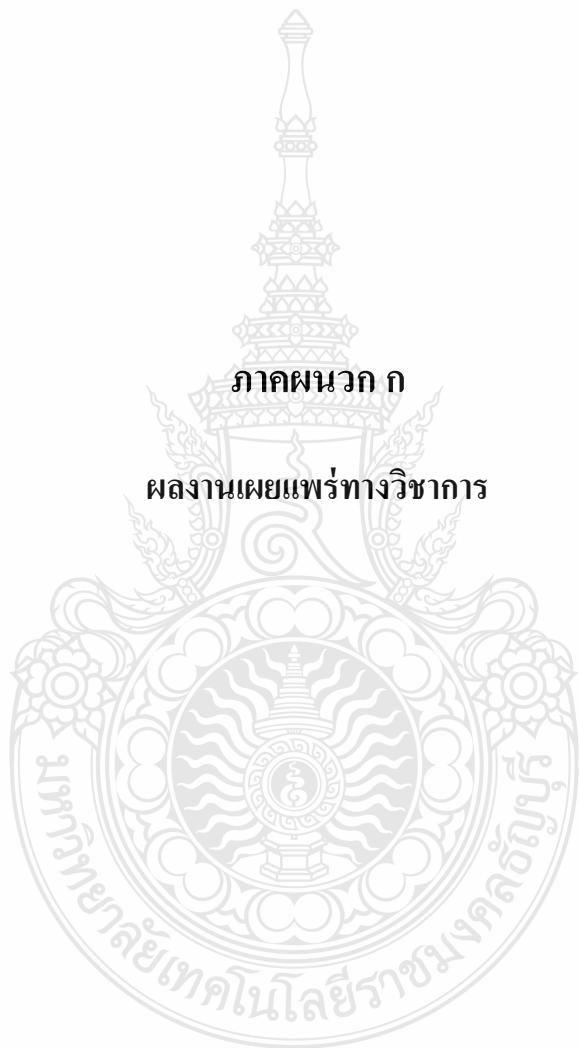


## บรรณานุกรม (ต่อ)

- [62] Chandrasekar, S., Vijayakumar, S., & Rajendran, R. (2014). Application of chitosan and herbal nanocomposites to develop antibacterial medical textile. **Biomedicine & Aging Pathology**, *4*, 59-64.
- [63] มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม วิธีทดสอบสิ่งทอ. (2552). สมอ./กว.1010 เล่ม 30 การประเมินการต้านแบคทีเรียของสิ่งมีชีวิต (วิธีเชิงปริมาณ). สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- [64] Tayel, A.A., Moussa, S.H., El-Tras, W.F., Elguindy, N.M., & Opwis, K. (2011). Antimicrobial textile treated with chitosan from *Aspergillus niger* mycelial waste. **International Journal of Biological Macromolecules**, *49*, 241-245.
- [65] Goh, E.G., Xu, X., & McCormick, P.G. (2014). Effect of particle size on the UV absorbance of zinc oxide nanoparticles. **Scripta Materialia**, *78-79*, 49-52.
- [66] Patil, G.A., Bari, M.L., Bhanvase, B.A., Vivek, G., Mishra, S., & Sonawane, S.H. (2012). Continuous synthesis of functional silver nanoparticles using microreactor: Effect of surfactant and process parameters. **Chemical Engineering and Processing**, *62*, 69-77.
- [67] Anisha, D., Bornali, B., Arun, M.K., Biren, G., Palash, S.M., & Robin, D.K. (2013). Stabilization of diketo tautomer of curcumin by premicellar anionic surfactants: UV-Visible, fluorescence, tensiometric and TD-DFT evidences. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, *104*, 150-157.
- [68] Amna, S., Shahrom, M., Azman, S., Noor, K.M.H., Ling, A.C., Siti, B.M.K., Habsah, H., & Dasmawati M. (2015). Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. **Nano-Micro Letters**, *10*, 15-24.

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

ผลงานเผยแพร่ทางวิชาการ



การสังเคราะห์ และตรวจสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติการยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย  
ของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์โดยวิธีรีดักชันทางเคมี  
(Synthesis and characterization of physical and antimicrobial properties of  
silver nanoparticles synthesis based on chemical reduction method)

เดศรา แก้วคง<sup>1</sup>, เดศดรงค์ ศรีพนม<sup>1</sup>, เจ๊ะสาซัน เจ๊ะอุบง<sup>1</sup>, ศิริวรรณ เตัญ<sup>1\*</sup>

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

อ. ธัญบุรี จ. ปทุมธานี 12110

\*siriwan@mail.rmUTT.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิธีสังเคราะห์และตรวจสอบสมบัติของอนุภาคนาโนเงินเพื่อประยุกต์ใช้ใน  
งานด้านสิ่งทอ การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินทำได้ด้วยวิธีรีดักชันทางเคมีโดยใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตั  
ยรีดิวซ์ที่สภาวะที่ถ่ายเทที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปตรวจสอบสมบัติของ  
อนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ กัดองจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และเครื่อง  
ไดนามิก ไลซ์ สแกตเตอร์ริง พบว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียสให้อนุภาคที่มี  
รูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเล็กลงกว่าการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินที่อุณหภูมิห้อง โดยมีขนาดอนุภาคเฉลี่ย  
84±5 นาโนเมตร และมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 391 นาโนเมตร เมื่อนำอนุภาคนาโนเงินไป  
ทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย *Staphylococcus aureus* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 6538 และ *Escherichia*  
*coli* สายพันธุ์มาตรฐาน AATCC 8739 พบว่าอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งการทำงานของเชื้อแบคทีเรียได้ทั้ง  
*Staphylococcus aureus* และ *Escherichia coli*

คำสำคัญ: อนุภาคนาโนเงิน, วิธีรีดักชันทางเคมี, ยับยั้งแบคทีเรีย, สิ่งทอ

Received: Oct 29, 2014

Revised: Dec 08, 2014

Accepted: Dec 14, 2014

### Abstract

This research was studied for synthesis and characterization methods of silver nanoparticles for textiles applications. The synthesis of silver nanoparticles was based on chemical reduction method using sodium borohydride as reducing agent under different temperatures (room temperature and 2 degree Celcius). The silver nanoparticles were characterized with spectrophotometer, scanning electron microscope and dynamic light scattering apparatus and found that, silver nanoparticles (at 2 degree Celcius condition) was provided sphere shape and smaller diameter than room temperature condition. The silver nanoparticles had an average diameter of about  $84 \pm 5$  nm with wavelength of maximum absorbance at 391 nm. Then the antibacterial property of the silver nanoparticles was evaluated against *Staphylococcus aureus* AATCC 6538 and *Escherichia coli* AATCC. The results found that the silver nanoparticles have potential to be used as antimicrobial agent *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*.

**Keywords:** silver nanoparticles, chemical reduction method, antimicrobial, textile

### 1. บทนำ (Introduction)

อุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นอุตสาหกรรมที่มีความสำคัญต่อเศรษฐกิจของประเทศ สามารถสร้างรายได้จากการส่งออกได้ถึง 250,000 ล้านบาทต่อปี [1] ต่อมาเมื่อมีสินค้านำเข้าจากต่างประเทศมาเป็นคู่แข่งตลาดส่งผลให้อุตสาหกรรมสิ่งทอต้องเสียดุลการค้า การสร้างนวัตกรรมและการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตสิ่งทอให้มีสมบัติพิเศษจึงเป็นทางเลือกหนึ่งในการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์สิ่งทอ เพราะนอกจากจะเป็นการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันแล้วยังเป็นการเพิ่มทางเลือกให้กับผู้บริโภคในยุคปัจจุบันอีกด้วย คาดว่า 4 ใน 5 ของผู้บริโภคจะมองหาเสื้อผ้าแฟชั่น หรือเสื้อผ้าที่มีคุณสมบัติพิเศษ [2] เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนและมีสภาพภูมิอากาศเหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย จากสภาพแวดล้อมและมลภาวะรอบตัวของเราทำให้มีเชื้อโรคกระจายอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ที่ใกล้ตัวเราที่สุดก็คือแบคทีเรีย ที่มักจะสะสมอยู่ในเสื้อผ้าเครื่องนุ่งห่ม เกิดจากการทำกิจกรรมต่างๆ ในชีวิตประจำวันเช่น การประกอบอาชีพ และออกกำลังกาย เป็นต้น ซึ่งนับว่าเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยให้กับเชื้อจุลินทรีย์นานาชนิดได้เป็นอย่างดีจากสภาวะที่เหมาะสมทั้งอุณหภูมิ ความชื้น และแหล่งอาหาร เป็นสาเหตุหลักของการเกิดปัญหาหากลิ้นอับชื้น จุดด่างดำบนเส้นใย เป็นสาเหตุการแบ่งตัวเพิ่มจำนวนของจุลินทรีย์ก่อโรคที่สะสมอยู่บนเสื้อผ้าจากสภาพปัจจัยต่างๆ ที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโต ทำให้แบคทีเรียที่สะสมอยู่ในเสื้อผ้าเจริญเติบโต [2] ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้นพัฒนาสารยับยั้งเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคดังกล่าวออกมาเป็นจำนวนมากและพบว่า โลหะเงินเป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการยับยั้งจุลินทรีย์ได้เป็นอย่างดี [3] จึงได้มีการผลิตผืนผ้าเพื่อต่อต้านและยับยั้งเชื้อแบคทีเรียโดยกระบวนการตกแต่งสำเร็จ (finishing process) ด้วยการนำอนุภาคโลหะเงินที่มีขนาดเล็กระดับนาโนมาเคลือบเพื่อให้แทรกซึมเข้าไปในเส้นใยสิ่งทอและส่งผลต่อความคงทนต่อการซัก ซึ่งผลการวิจัยพบว่า การ

นำอนุภาคนาโนเงินมาตกแต่งบนผ้าคอตตอน พบว่ามีประสิทธิภาพในการยับยั้งจุลินทรีย์ที่ก่อโรคได้ทั้ง *Staphylococcus* (*S. aureus*) และ *Escherichia coli* (*E. coli*) และสามารถทนต่อการซักล้างด้วยเครื่องซักผ้า โดยใช้น้ำยาซักผ้าได้ถึง 10 ครั้ง [4]

ในงานวิจัยนี้ได้นำเชื้อแบคทีเรียที่เป็นตัวแทนของแบคทีเรียก่อโรคแกรมบวกคือ *S. aureus* และตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบคือ *E. coli* โดยเชื้อทั้งสองชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 25-35 องศาเซลเซียส สามารถทนความร้อน แสงแดด และสารเคมีได้ มีรายงานว่าเชื้อกลุ่ม *S. aureus* เป็นสาเหตุสำคัญของโรคติดเชื้อบนผิวหนัง [5] และยังเป็นสาเหตุของโรคระบาดที่เรียกว่า Staphylococcal food poisoning มีแหล่งที่มาจากคนที่เป็โรคระบาดทางเดินหายใจ คนที่มีบาดแผลเป็นหนองและมีโอกาสสัมผัสกับอาหาร ส่วน *E. coli* เป็นแบคทีเรียในกลุ่มโคลิฟอร์มสามารถทนต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ ได้ดี โดยสามารถรอดชีวิตเมื่อเกาะตามเสื้อผ้าแห้งและฝุ่นละอองได้หลายวัน แบคทีเรียชนิดนี้ทำให้เกิดอาการท้องร่วง [6] และเมื่อแบคทีเรียเหล่านี้สะสมอยู่บนเสื้อผ้าจะเจริญเติบโตและเกิดการย่อยเศษอาหารทำให้เกิดกลิ่นเหม็นอับ วัสดุที่มีขนาดระดับนาโนเมตรที่มีความสามารถยับยั้งแบคทีเรียมีหลากหลาย เช่น อนุภาคนาโนเงิน [7-9] อนุภาคนาโนซิงค์ออกไซด์ [10] และอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์ [11] แต่พบว่าอนุภาคนาโนเงินเป็นวัสดุที่มีสมบัติเด่นคือสามารถยับยั้งแบคทีเรียได้ดี สามารถเข้าไปจับกับอะตอมซัลเฟอร์ของเอนไซม์โปรตีนสทำให้เอนไซม์หยุดทำงานจนทำให้แบคทีเรียหยุดเจริญเติบโตและตายลงไปในที่สุด [12] พบว่าประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียด้วยอนุภาคนาโนเงินขึ้นอยู่กับขนาดและความเข้มข้นของอนุภาค [13] โดยการนำอนุภาคนาโนเงินมาเคลือบบนผ้าโดยวิธี Pad-dry-cure [14-16]

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินมีหลายวิธีดังตารางที่ 1 วิธีรีดักชันทางเคมีเป็นวิธีที่ใช้ทั่วไปเนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย ใช้สารเคมีน้อย และสามารถควบคุมขนาดของอนุภาคนาโนเงินได้ ตัวรีดิวซ์ที่นิยมใช้ได้แก่ โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ไตรโซเดียมซิเตรต เซลลูโลส เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจที่จะสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินโดยใช้วิธีรีดักชันทางเคมี จุดเด่นของงานวิจัยนี้คือ การหาสภาวะการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินโดยวิธีรีดักชันทางเคมี ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ เพียงสารเดียว เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายและเพื่อความเหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในภาคอุตสาหกรรมต่อไป ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยอื่นเช่น Ibrahim และคณะ [17] ใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ และ poly(amide-amine) เป็นตัวรีดิวซ์ นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและสมบัติการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ได้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอต่อไป

ตารางที่ 1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน

วิธีการสังเคราะห์	สารตั้งต้น	ตัวรีดิวซ์	อ้างอิง
วิธีรีดักชันทางเคมี	ซิลเวอร์ไนเตรต	โซเดียมโบโรไฮไดรด์ และพอลิ เอไมด์-เอมีน	[17]
วิธีรีดักชันทางเคมี	ซิลเวอร์ซัลเฟต	โซเดียมโบโรไฮไดรด์ และซิเตรต	[18]
วิธีรีดักชันด้วยไมโครเวฟ	ซิลเวอร์ไนเตรต	โซเดียมอัลจินต	[19]
วิธีไมเซลล์	ซิลเวอร์ไนเตรต	โซเดียมโคเคตซิลซัลเฟต	[20]

## 2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย (Materials and Experiment)

### 2.1 วิธีการสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน

เติมโซเดียม โบโรไฮไดรด์ (ALDRICH) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ลงในขวดทดลอง (ในกรณีสภาวะที่อุณหภูมิ  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส ทำการทดลองโดยแช่ขวดทดลองในอ่างน้ำแข็ง) จากนั้นเติมซิลเวอร์ไนเตรต (POCH) ความเข้มข้น 3 โมลาร์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ผสมให้เป็นสารละลายเนื้อเดียวกันนาน 3 นาที สุดท้ายจะเกิดเป็นสารคอลลอยด์สีเหลือง จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (รุ่น UV - 1601 บริษัท SHIMADZU) ตรวจสอบลักษณะสัณฐานของอนุภาคนาโนเงินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (รุ่น JSM-6510 บริษัท JEOL) และวัดขนาดอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องไดนามิค ไลซ์ สแกตเตอร์ริง (รุ่น Delsa™ Nano C บริษัท BECKMAN COULTER) สำหรับเครื่องแก้วที่นำมาใช้ในการทดลองจะต้องแช่กรดไนตริกที่ความเข้มข้นร้อยละ 10 โดยปริมาตรต่อปริมาตร นาน 12 ชั่วโมงและล้างด้วยการแช่เครื่องแก้วในน้ำปราศจากไอออนนาน 12 ชั่วโมงแล้วจึงนำเครื่องแก้วไปอบให้แห้ง

ทำการทดลอง 2 สภาวะคือที่อุณหภูมิห้อง ( $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส) [21] และอุณหภูมิ  $25 \pm 1$  องศาเซลเซียส [22] ทำการทดลองโดยนำขวดทดลองแช่ในอ่างน้ำแข็ง ส่วนสภาวะของการทดลองอื่นๆ เหมือนกัน

### 2.2 วิธีการทดสอบสมบัติการยับยั้งด้วยแบคทีเรียมาตรฐานตามวิธีของ Rajendran และคณะ (2010) [23]

ในการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียใช้ *Staphylococcus aureus* AATCC 6538 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก และ *Escherichia coli* AATCC 8739 เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ โดยเฉพาะเลี้ยงเชื้อในอาหาร NUTRIENT BROTH (NB) บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาปรับปริมาณของเชื้อเริ่มต้นโดยเปิดเชื้อมา 5 มิลลิลิตร โดยใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีอาหาร NUTRIENT BROTH (NB) 100 มิลลิลิตร แล้วจึงจุดเชื้อ *S. aureus* หรือ *E. coli* ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในจานเพาะเชื้อ เทอาหารแข็ง Nutrient Agar (NA) ปริมาตร 15 มิลลิลิตร (ที่อุณหภูมิ 45-50 องศาเซลเซียส) ลงไป จากนั้นให้กระจายอาหารให้ทั่วจาน

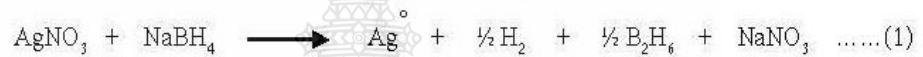


เพาะเชื้อ วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องจนอาหารแข็งตัว สำหรับการเตรียมแผ่นทดสอบอนุภาคนาโนเงิน (เตรียมจาก 2.1) ทำได้โดยการหยดสารดังกล่าว 50 ไมโครลิตร ลงบนกระดาษกรองที่ปราศจากเชื้อ แล้วนำแผ่นทดสอบไปวางบนจานเพาะเชื้อที่เตรียมไว้ นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลานำมาวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้ง (inhibition zone) ที่เกิดขึ้นด้วยไม้บรรทัด

### 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 3.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน

สังเคราะห์อนุภาคนาโนเงิน โดยกระบวนการรีดักชันทางเคมี โดยใช้ โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต เปลี่ยนไอออนเงินให้เป็นอนุภาคนาโนดังปฏิกิริยาที่ 1



(ก)



(ข)

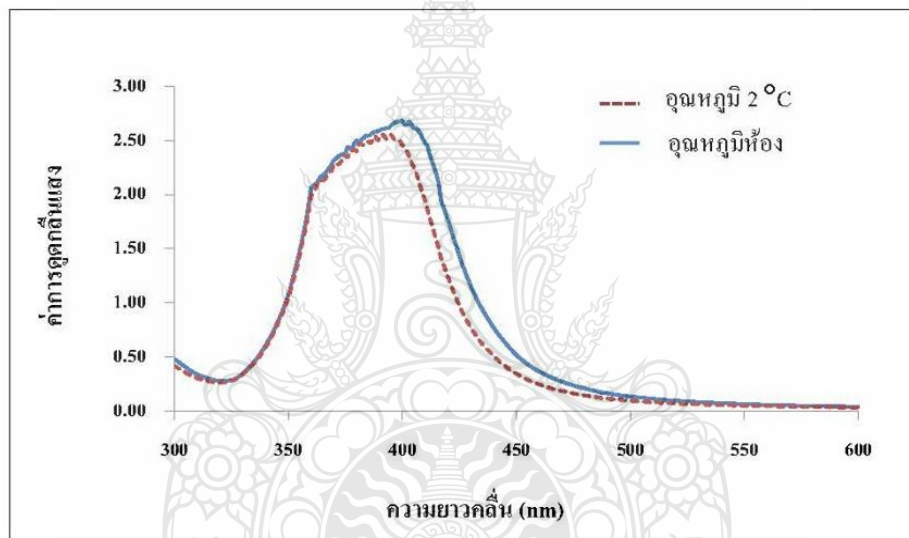
รูปที่ 1 อนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองอุณหภูมิห้อง (ก) และ อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส (ข)

จากรูปที่ 1 รูป ก อนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง ได้สารละลายสีเหลืองเข้ม และรูปที่ ข อนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ได้สารละลายสีเหลืองอ่อน



### 3.2 การตรวจสอบสมบัติทางเคมีของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์

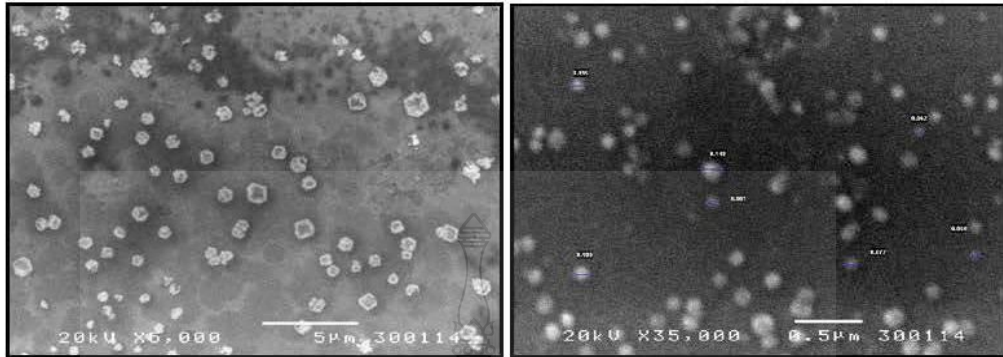
นำอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ทั้งสภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ไปทดสอบสมบัติทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าอนุภาคนาโนเงิน (ที่อุณหภูมิห้อง) จะได้สารละลายสีเหลืองเข้มมีค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 400 นาโนเมตร ส่วนอนุภาคนาโนเงิน (ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส) จะได้สารละลายสีเหลืองอ่อน มีการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นสูงสุด 391 นาโนเมตร ซึ่งพบว่าค่าการดูดกลืนแสงอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 350-450 นาโนเมตร แสดงให้เห็นว่าในสารละลายมีอนุภาคของนาโนเงินปรากฏอยู่ [24] โดยอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง แสดงว่าได้อนุภาคที่เล็กกว่า [24]



รูปที่ 2 ยูวี สเปกตรัมของอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส

### 3.3 การตรวจสอบลักษณะสัณฐานของอนุภาคนาโนเงินด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

ตรวจสอบลักษณะสัณฐานทางกายภาพของอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ได้ทั้งสองสภาวะอุณหภูมิด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3 จะเห็นได้ว่าอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยม (รูปที่ 3 ก) ส่วนอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นทรงกลม (รูปที่ 3 ข) ทั้งนี้เนื่องจากจากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้การก่อเกิดเป็นอนุภาคช้าลง จึงมีระยะเวลาในการเกิดปฏิกิริยาได้นานขึ้น ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจึงสมบูรณ์ทำให้อนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กและมีรูปร่างเป็นทรงกลม ส่วนการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องทำให้การก่อเกิดเป็นอนุภาคเร็วขึ้น ทำให้ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไม่สมบูรณ์และส่งผลให้อนุภาคที่ได้มีขนาดไม่สม่ำเสมอและมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยม [25]



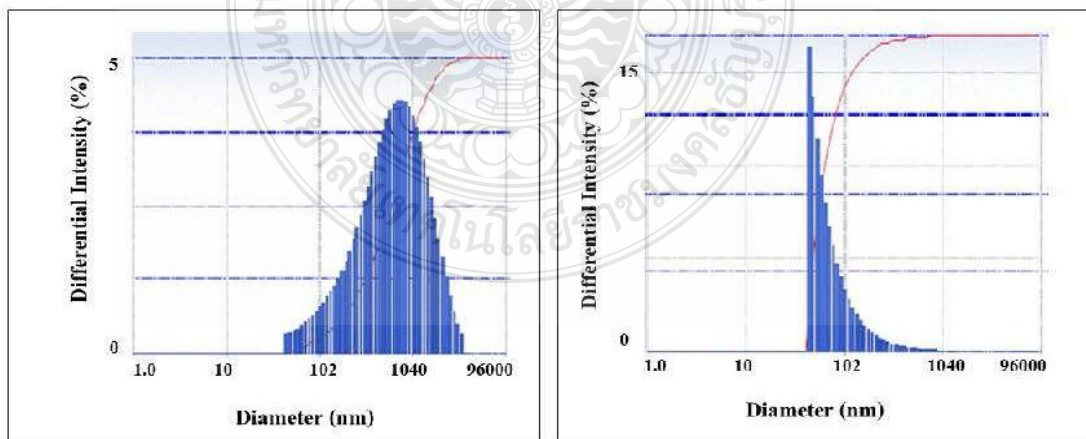
(ก)

(ข)

**รูปที่ 3** ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ของอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองอุณหภูมิห้อง (ก) และอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส (ข)

**3.4 การวัดขนาดของอนุภาคนาโนเงินด้วยเครื่องไดนามิกไลซ์ สแกตเตอร์ริง**

วัดขนาดของอนุภาคนาโนเงินโดยใช้เครื่องไดนามิกไลซ์ สแกตเตอร์ริง เป็นเทคนิคที่อาศัยการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ขึ้นอยู่กับขนาดของอนุภาค ภายใต้แสงเลเซอร์ อนุภาคที่มีขนาดต่างๆ กัน จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน ผลการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนเงินที่สังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิห้อง มีขนาดเฉลี่ย 812±13 นาโนเมตร (รูปที่ 4 (ก)) และอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส มีขนาดเฉลี่ย 84±5 นาโนเมตร (รูปที่ 4 (ข)) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกวิธีสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส เพราะอนุภาคที่ได้มีขนาดเล็กและมีรูปร่างเป็นทรงกลม



(ก)

(ข)

**รูปที่ 4** ผลจากเครื่องไดนามิกไลซ์ สแกตเตอร์ริงของอนุภาคนาโนเงินที่ได้จากการสังเคราะห์ภายใต้สภาวะการทดลองอุณหภูมิห้อง (ก) และอุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส (ข)



### 3.5 การทดสอบสมบัติการยับยั้งแบคทีเรีย

ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียของอนุภาคนาโนเงิน โดยวิธีสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 2 องศาเซลเซียส ด้วยวิธี disk diffusion (มาตรฐาน AATCC 147) แสดงดังตารางที่ 2 โดยนำไปทดสอบการยับยั้งแบคทีเรียโดยใช้เชื้อแบคทีเรีย *S. aureus* (เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมบวก) และ *E. coli* (เป็นตัวแทนของแบคทีเรียแกรมลบ) เมื่อตรวจผลการทดสอบการยับยั้งการเจริญของเชื้อ โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้งในหน่วยมิลลิเมตร ผลการทดลองพบว่าอนุภาคนาโนเงินสามารถยับยั้งแบคทีเรียทั้งสองชนิดได้ ทั้งเนื่องจากอนุภาคนาโนเงินมีขนาดเล็กทำให้สามารถแทรกเข้าสู่ผนังเซลล์ของแบคทีเรียได้ง่าย อนุภาคนาโนเงินจะเข้าไปจับกับอะตอมซัลเฟอร์ของเอนไซม์โปรตีนส ทำให้เอนไซม์หยุดทำงาน จนทำให้แบคทีเรียหยุดเจริญเติบโตและตายลงไปในที่สุด [12] สาเหตุที่อนุภาคนาโนเงินยับยั้ง *E. coli* ได้ดีกว่า *S. aureus* เนื่องจาก *E. coli* เป็นแบคทีเรียแกรมลบมีชั้นผนังเซลล์บางกว่าแบคทีเรียแกรมบวก อนุภาคนาโนเงิน จึงสามารถซึมผ่านเข้าเยื่อหุ้มเซลล์ของแบคทีเรียแกรมลบได้ง่ายกว่าแบคทีเรียแกรมบวก [26]

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการยับยั้งแบคทีเรีย

สารทดสอบ	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโซนยับยั้ง (มิลลิเมตร)	
	<i>S. aureus</i> ( $1.69 \times 10^8$ โคโลนี/มิลลิลิตร)	<i>E. coli</i> ( $4.69 \times 10^9$ โคโลนี/มิลลิลิตร)
อนุภาคนาโนเงิน	0.22	1.44

## 4. สรุปผลการวิจัย

การสังเคราะห์อนุภาคนาโนเงินด้วยวิธีรีดักชันทางเคมี โดยใช้ โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ สารละลายซิลเวอร์ไนเตรต ให้เป็นอนุภาคเงิน ภายใต้สภาวะควบคุมอุณหภูมิที่ 2 องศาเซลเซียส เป็นวิธีที่ดีกว่าการสังเคราะห์ที่อุณหภูมิห้อง การสังเคราะห์โดยวิธีนี้มีข้อดีคือ ง่าย และรวดเร็ว อนุภาคนาโนเงินที่ได้มีรูปร่างเป็นทรงกลมและมีขนาดเฉลี่ย  $84 \pm 5$  นาโนเมตร ความเข้มข้น 3 โมลาร์ มีความยาวคลื่นสูงสุดที่ 391 นาโนเมตร และมีประสิทธิภาพในการยับยั้งแบคทีเรียได้ทั้ง *S. aureus* และ *E. coli* แสดงว่าอนุภาคนาโนเงินมีความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านสิ่งทอได้ เพื่อใช้ในการยับยั้งแบคทีเรียต่อไป

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] <http://www.material.chula.ac.th/RADIO48/May/radio5-4.htm>
- [2] อ. เศรษฐกรเกียรติกร. นาโนเทคโนโลยีกับการพัฒนาสิ่งทอเฉพาะทาง. วารสารเศรษฐกิจอุตสาหกรรม. 4 (2551): 11-14.

- [3] R. Dastjerdi, M. Montazer. A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties. *Colloids Surf. B.* **79** (2010): 5–18.
- [4] S. Perera, B. Bhushan, R. Bandara, G. Rajapakse, S. Rajapakse, C. Bandarad. Morphological, antimicrobial, durability, and physical properties of untreated and treated textiles using silver-nanoparticles. *Colloids Surf. A.* **436** (2013): 975–989.
- [5] K.M. McCabe, J. Turner, M.T. Hernandez. A method for assessing the disinfection response of microbial bioaerosols retained in antimicrobial filter materials and textiles. *J. Microbiol. Methods.* **92** (2013): 11-13.
- [6] V. Bajpai, S. Bajpai, M.K. Jha, A. Day, S. Ghosh. Microbial adherence on textile materials : a review. *J. Environ. Res Dev.* **5** (2011): 666–672.
- [7] I. Sondi, B. Salopek-Sondi. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. *J. Colloid Int. Sci.* **275** (2004): 177-182.
- [8] C.-H. Xue, J. Chen, W. Yin, S.T. Jia, J.Z. Ma. Superhydrophobic conductive textiles with antibacterial property by coating fibers with silver nanoparticles. *Appl. Surf. Sci.* **258** (2012): 2468-2472.
- [9] E. Matyjas-Zgondek, A. Bacciarelli, E. Rybicki, M.I. Szyrkowska, M. Kolodziejczyk. Antibacterial Properties of Silver-Finished Textiles. *Fibres Text. East. Eur.* **5** (2008): 101-107.
- [10] N. Padmavathy, R. Vijayaraghavan. Enhanced bioactivity of ZnO nanoparticles—an antimicrobial study. *Sci. Technol. Advanced Mater.* **9** (2008):1-7.
- [11] A.A. Hebeish, M.M. Abdelhady, A.M. Youssef. TiO<sub>2</sub> nanowire and TiO<sub>2</sub> nanowire doped Ag-PVP nanocomposite for antimicrobial and self-cleaning cotton textile. *Carbohydr. Polym.* **91** (2013):549-559.
- [12] M.A.S. Melo, S.F.F. Guedes, H.H.K. Xu, L.K.A. Rodrigues. Nanotechnology-based restorative materials for dental caries management. *Trends Biotechnol.* **31** (2013): 459-467.
- [13] D. Kalpana, Y.S. Lee. Synthesis and characterization of bactericidal silver nanoparticles using cultural filtrate of simulated microgravity grown *Klebsiella pneumonia*. *Enzyme Micro. Technol.* **52** (2013): 151-156.
- [14] N. Durán, P.D. Marcato, G.I.H. De Souza, O.L. Alves, E. Esposito. Antibacterial effect of silver nanoparticles produced by fungal process on textile fabrics and their effluent treatment. *J. Biomed. Nanotechnol.* **3** (2007): 203-208.
- [15] Y. Li, P. Leung, L. Yao, Q.W. Song, E. Newton. Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. *J. Hosp. Infect.* **62** (2006): 58-63.

- [16] S. Selvam, R. Rajiv Gandhi, J. Suresh, S. Gowri. S. Ravikumar, M. Sundrarajan. Antibacterial effect of novel synthesized sulfated  $\beta$ -cyclodextrin crosslinked cotton fabric and its improved antibacterial activities with ZnO, TiO<sub>2</sub> and Ag nanoparticles coating. *Int. J. Pharm.* **434** (2012): 366 -374.
- [17] N.A. Ibrahim, B.M. Eid, H. El-Batal. Novel approach for adding smart functionalities to cellulosic fabrics. *Carbohydr. Polym.* **87** (2012): 744– 751.
- [18] D.P Chattopadhyay, B.H. Patel. Improvement in physical and drying properties of natural fibres through pre-treatment with silver nanoparticles. *Indian J. Fibre Text.* **34** (2009): 368-373.
- [19] X. Zhao, Y. Xia, Q. Li., X. Ma., F. Quan. C. Geng., Z. Han. Microwave-assisted synthesis of silver nanoparticles using sodium alginate and their antibacterial activity. *Colloids Surf. A.* **444** (2014): 180– 188.
- [20] A.L. Garden, K. Scholz, D.R. Schwass, C.J. Meledandri. Optimized colloidal chemistry for micelle-templated synthesis and assembly of silver nanocomposite materials. *Colloids Surf. A.* **441** (2014): 367– 377.
- [21] J.J. Wu, G.J. Lee, Y.S. Chen, T.L. Hu, The synthesis of nano-silver/polypropylene plastics for antibacterial application. *Curr. Appl. Phys.* **12** (2012): 589-595.
- [22] G.A. Patil, M.L. Bari, B.A. Bhanvase, V. Gunvir, S. Mishra, S.H. Sonawane. Continuous synthesis of functional silver nanoparticles using microreactor: Effect of surfactant and process parameters. *Chem. Eng. Process.* **62** (2012): 69-77.
- [23] R. Rajendran, C. Balakumar, H.A. Mohammed Ahammed, S. Jayakumar, K. Vaideki, E.M. Rajesh. Use of zinc oxide nano particles for production of antimicrobial textiles. *Int. J. Eng. Sci. Technol.* **2** (2010): 202-208.
- [24] E.Saion, E. Gharibshahi, K. Naghavi. Size-Controlled and Optical Properties of Monodispersed Silver Nanoparticles Synthesized by the Radiolytic Reduction Method. *Int. J. Mol. Sci.* **14**( 2013): 7880-7896.
- [25] X.C. Jiang, W.M. Chen, C.Y. Chen, S.X. Xiong, A.B. Yu. Role of Temperature in the growth of silver nanoparticles through a synergetic reduction approach. *Nanoscale Res. Lett.* **6**(2011): 2-9.
- [26] S. Shrivastava, T. Bera, A. Roy, G. Singh, P. Ramachandrarao, D. Dash, Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles. *Nanotechnology.* **18**(2007): 225103– 225112.

# Synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles for production of antimicrobial textiles

Nassara Keawkhong<sup>1,a</sup>, Lertnarong Sripanom<sup>1,b</sup>, Netnapit Kaewchuay<sup>1,c</sup> and Siriwan Teepoo<sup>1,d,\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110

<sup>a</sup>ann999@windowslivw.com, <sup>b</sup>lertnarong@hotmail.co.th, <sup>c</sup>jnetnapit@gmail.com, <sup>d,\*</sup>siriwan@mail.rmutt.ac.th

## Abstract

In this paper, the synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles have been carried out for textiles applications. The ZnO nanoparticles have been synthesized by precipitation method. This technique is based on precipitation procedure by using zinc nitrate and sodium hydroxide as precursors. The scanning electron microscopy, dynamic light scattering, UV-Visible spectrophotometry and X-ray diffraction were used to characterize the particle size and morphology. The synthesized ZnO nanoparticles were spherical with the size in the range of 200-400 nm. Next step, the ZnO nanoparticles were directly applied on to the fabric using pad-dry-cure method. Finally, the antibacterial efficiency of modified fabrics was quantitatively evaluated and compared against gram-negative *Escherichia coli* and aerobic gram-positive *Staphylococcus aureus* according to AATCC 147. The results showed that the modified fabric demonstrated significant antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. These results suggest that synthesized ZnO nanoparticles could be used effectively for textiles applications.

**Keywords:** ZnO nanoparticle, Precipitation method, Antibacterial, Textiles

## 1. Introduction

Nowadays, nanoparticles have become an area of extensive research for textiles applications because of their special physical properties including photocatalytic, electrical, optical, dermatological and antibacterial properties. There are several metal nanoparticles such as titanium dioxide, silver and zinc oxide have been applied for coating material for textile fabrics to provide functions such as antibacterial activity [1]. Among these, zinc oxide nanoparticles (ZnO) are widely used due to not only antibacterial but also UV protection properties [2]. ZnO nanoparticles may exhibit stronger antibacterial activity than zinc oxide itself [3]. Because the nanosize of ZnO particles is easily penetrate through the cell membrane than normal bulk ZnO, produce some type of injury and inhibit the growth of the cells [4]. Many studies have recently reported improved UV blocking and antibacterial properties for cotton fabrics containing ZnO nanoparticles [5-6]. Precipitation method is widely used due to it is an inexpensive method to create ZnO nanoparticles. Therefore, this paper was focused on the synthesis of ZnO nanoparticles by using precipitation method. The ZnO nanoparticles were characterized by using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), UV-Visible spectrophotometry (UV-Visible) and dynamic light scattering (DLS). Further, the antimicrobial activities of ZnO nanoparticles were carried out against

gram-negative *Escherichia coli* and aerobic gram-positive *Staphylococcus aureus* to coat ZnO nanoparticles onto textile fabrics.

## 2. Experimental

### 2.1 Chemical and materials

The chemical reagents such as  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , NaOH and HCl were of analytical grade (Sigma) and were used without further treatment. Deionized water was used to synthesize ZnO nanoparticles.

### 2.2 Instrumentation for characterisation of ZnO nanoparticles

The UV–vis absorption spectra were recorded by using UV–vis spectrophotometer (UV–1601, Shi-madzu). The particle sizes of ZnO nanoparticles were determined by DLS (Delsa™ Nano C, BECKMAN COULTER) and morphology of ZnO nanoparticles were observed by SEM (JSM-6510, JEOL), XRD study was carried out by using X-ray diffractometer (X'Pert PRO, PANalytical).

### 2.3 Synthesis of ZnO nanoparticles

The ZnO nanoparticles were synthesized following the reported procedure by precipitation method. This method was carried out using zinc nitrate and sodium hydroxide as precursors and soluble starch as stabilizing agent [7]. Soluble starch of 0.1% (w/v) and 0.1 M  $\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  were mixed using magnetic stirrer to completely dissolve the zinc nitrate. Then 0.2 M NaOH was added into above solution with drop by drop for 2 h to complete the growth of particles. Next, this mixture solution was allowed to settle for overnight. After that, the precipitated resultant was heated at 80 °C for overnight to obtain ZnO nanoparticles.

### 2.4 Antimicrobial activity of ZnO nanoparticles

The antibacterial activities of the synthesized ZnO nanoparticles were examined against *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. Antibacterial efficiency was carried out according to AATCC 147. *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* were dropped over the surface of the nutrient agar plates. The plates were then incubated at 37°C for 24 hours. After incubation, ZnO nanoparticles were added on agar plates and incubated at 37°C for 24 hours. Then, the zone of inhibition was measured.

### 2.5 Coating ZnO nanoparticles onto fabrics

The ZnO nanoparticles were applied on 100% cotton using pad-dry-cure method. The cotton fabric was cut to the size of 21×30 cm. Then this fabric was immersed in the solution of 2% (w/v) ZnO nanoparticles and 1% (w/v) acrylic binder for 5 min and then it was padded to give a wet pick-up of 100%. After that, the fabric was air-dried and then cured for 1 min at 130 °C. Next step, the fabric was washed with fine wash detergent to remove unbound ZnO nanoparticles and binder. Finally, the finished fabrics were kept in ambient condition for 24 hours before characterization with SEM and antimicrobial activity evaluation tests.

## 3. Results and discussion

### 3.1 Synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles

The ZnO nanoparticles were synthesized by using precipitation method. The formation of ZnO nanoparticles was initially confirmed by using SEM, DLS, UV-Visible and XRD. The synthesized ZnO nanoparticles morphology was characterized using SEM. Fig. 1a shows the SEM image of ZnO nanoparticles. The ZnO nanoparticles are spherical in shape with smooth surface. The particle



size of ZnO nanoparticles was measured with DLS technique. The sizes of zinc oxide nanoparticles were 200-400 nm (Fig. 1b). Fig. 1c shows the absorption spectrum of ZnO nanoparticles. The absorption peak located at 300 nm resulting from the surface plasmon absorption of ZnO nanoparticles. The structural characterisation was done by X-ray diffractometer. The result was shown in Fig. 1d The dominant peaks:  $2\theta^\circ = 32, 35, 36, 48, 57, 63, 66, 68$  and  $69$  match to the XRD JCPDS of ZnO which indicated the formation of pure wurtzite structure of ZnO nanoparticles.

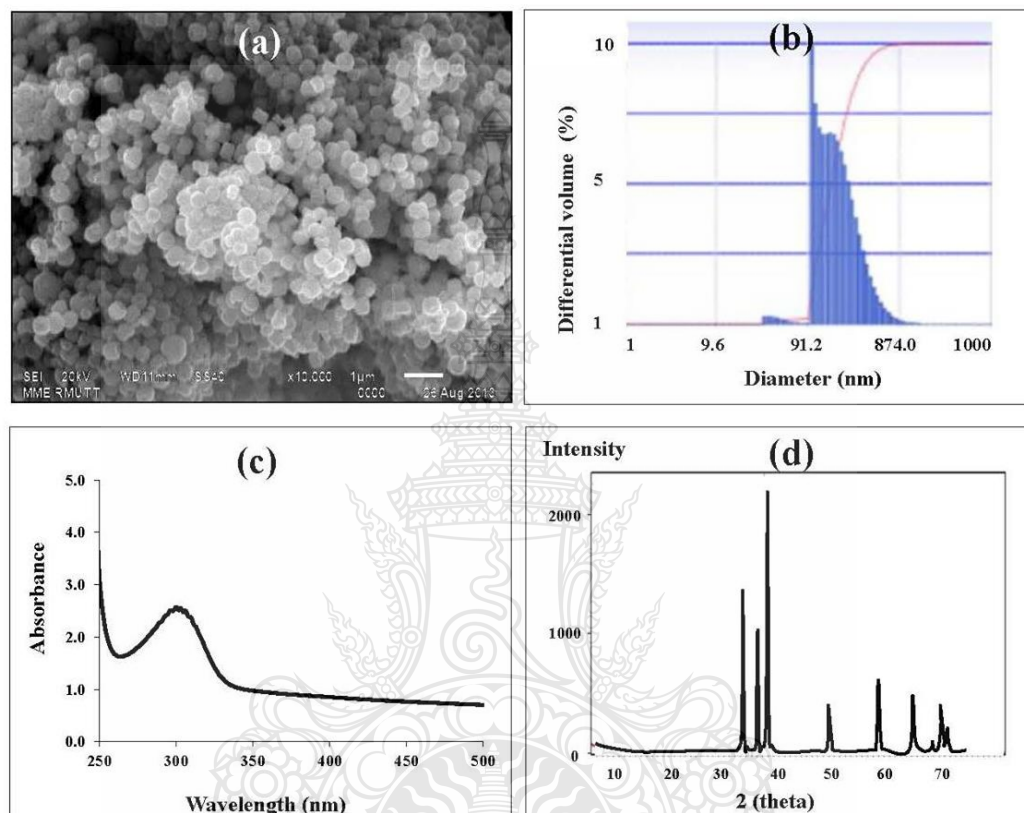


Fig. 1 Characterization of ZnO nanoparticles; (a) SEM image, (b) DLS result, (c) UV-Visible spectrum and (d) XRD patterns

### 3.1 Coating ZnO nanoparticles onto fabric

The surface of uncoated and ZnO nanoparticles coated cotton fabric were observed by scanning electron microscopy and the images obtained were shown in Fig. 2. The SEM image of the coated fabrics showed ZnO nanoparticles embedded on to the fabrics (Fig. 2b), which is absent in case of the uncoated fabrics in Fig. 2a.

### 3.2 Antimicrobial activity of ZnO nanoparticles

Antibacterial properties of cotton fabric coated with ZnO nanoparticles are measured according to the inhibition zone method. The diameter of inhibition zone for *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were 1.44 and 5.22 mm, respectively. The results were found that ZnO nanoparticles had strong antibacterial activity against.



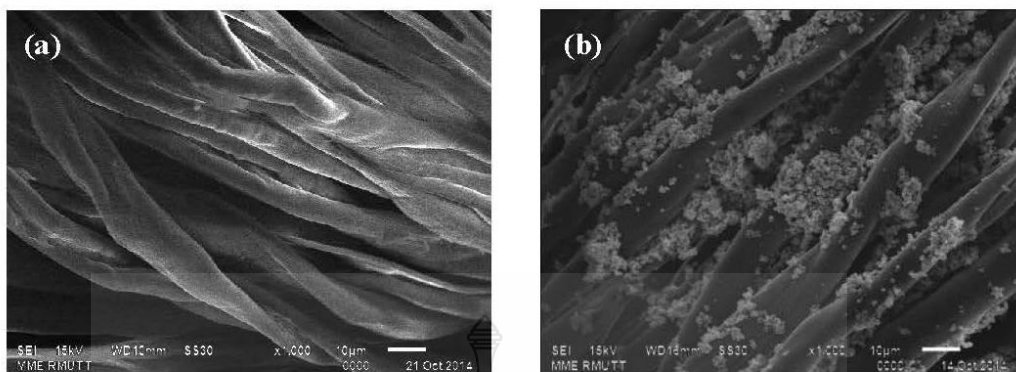


Fig. 2 SEM image of cotton fabric (a) uncoated and (b) coated with ZnO nanoparticles

#### 4. Conclusions

The synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles were investigated. The ZnO nanoparticles were synthesized using precipitation method. The obtained nanoparticles were investigated using SEM, DLS, UV-Visible and XRD analysis. Based on SEM and DLS analysis, they are shown nanoparticles in spherical form with average diameter 200-400 nm. For UV-Visible and XRD results, they indicated the formation of pure wurtzite structure of ZnO nanoparticles. Then ZnO nanoparticles were coated on cotton fabric. The ZnO nanoparticles exhibited good antibacterial properties against gram-positive and gram-negative bacteria. The advantages of this method for ZnO nanoparticles synthesis were simple, low cost and could be used effectively for textiles applications.



#### References:

- [1] R. Dastjerdi, M. Montazer, A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties, *Colloids Surf., B.* 79 (2010) 5–18.
- [2] B.A Cakir., L. Budama, O. Topel, N. Hoda, Synthesis of ZnO nanoparticles using PS-b-PAA reverse micelle cores for UV protective, self-cleaning and antibacterial textile applications. *Colloids Surf., A.* 414 (2012) 132– 139.
- [3] C. Wang, L.L. Liu, A.T. Zhang, P. Xie, J.J. Lu and X.T. Zou, Antibacterial effects of zinc oxide nanoparticles on *Escherichia coli* K88, *Afr. Biotechnol.* 11 (2012) 10248-10254.
- [4] R.Y. Pelgrift, A.J. Friedman, Nanotechnology as a therapeutic tool to combat microbial resistance, *Adv. Drug Deliver. Rev.* 65 (2013) 1803–1815.
- [5] K.R. Chandrika, P.K. Mayi, R.V.S.S.N.R. Kumar, Role of nanoparticles in enhancing the antibacterial activity of antibiotics, *Asian. J. Pharm. Clin. Res.* 5 (2012) 97-99.
- [6] P. Katangur, P.K. Patra, S.B. Warner, Nanostructured ultraviolet resistant polymer coatings, *Polym. Degrad. Stabil.* 91 (2006) 2437-2442.
- [7] R. Rajendran, C. Balakumar, A. Hasabo, M. Ahammed, S. Jayakumar, K. Vaideki, E.M. Rajesh, Use of zinc oxide nano particles for production of antimicrobial textiles. *Int. J. Eng. Sci.* 2 (2010) 202-208.

# การนำเสนอผลงาน

## Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles for UV protect, PACCON 2014,

January 8-10, 2014.



### Synthesis and characterization of ZnO nanoparticles

**For UV protection**  
Nassara Keawkhong, Siriwan Teepee\*

Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110, Thailand

\*E-mail: [siriwan@mail.rmutt.ac.th](mailto:siriwan@mail.rmutt.ac.th)

**Abstract**

The synthesis and characterization of ZnO nanoparticles have been carried out in the present work for textiles applications. The ZnO nanoparticles were prepared by using wet chemical method. The technique is based on precipitation procedure, using soluble starch as stabilizing agent and zinc nitrate and sodium hydroxide as precursors. Scanning electron microscopy, X-ray diffractometry and UV-Vis spectrophotometry were used to characterize the synthesized ZnO nanoparticles composition, their size, shape, crystallinity and optical properties. The result of nanoparticle size measurement of powder samples by scanning electron microscope was 150-200 nm. All diffraction peaks of ZnO nanoparticles powder matched well with standard pattern of ZnO (JCPDS 36-1451) indicating the products consisted of a pure phase. In addition, ZnO nanoparticles showed strong absorption in the UV range resulting in successful for textiles applications to protect UV radiation.

**Introduction**

The applications of ZnO nanoparticles are being used industrially for several purposes including modifications to textiles, cosmetics, spray, plastics, paints. The ZnO nanoparticle powders are semiconductor materials, occurring in a variety of structures, widely used due to their unique properties, such as photocatalytic, electrical, optical, dermatological and antibacterial. A common feature of the ZnO nanoparticle is widely direct band gap (3.37 eV) semiconductor with a high chemical stability and a relatively high excitation binding energy (60 meV), the ZnO nanoparticle are generally applied to cotton and fabrics in order to evaluate the UV protection.

**Objective**

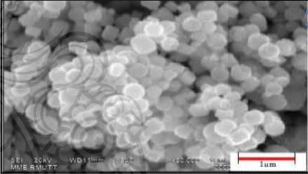
To synthesize and characterize the ZnO nanoparticles

**Method**

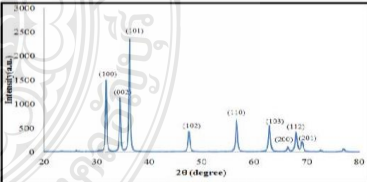
The 0.1% starch solution was heated and was used as stabilizing agent. 0.1 M of zinc nitrate was added into the above solution and was then stirred constantly with magnetic stirrer. Next, this mixture solution was then added with 0.2 M of sodium hydroxide by drop wise along the side walls following stirred constantly for 2 hours and leaved it over night, so that the separation of sediment and water happened. Then it was centrifuged at 10,000 rpm. Finally, this sediment was heated at 80 °C to obtain ZnO nanoparticles.

**Results**

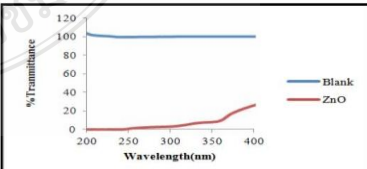
**Fig. 1** Scanning electron microscopy (SEM) image of the ZnO nanoparticles



**Fig. 2** X-ray diffractometry (XRD) pattern of the ZnO nanoparticles



**Fig. 3** UV spectra of the ZnO nanoparticles



**Acknowledgment**

We would like to thank faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, for financial support. The authors also thank Department of Materials and Metallurgical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi for SEM and XRD results.

**Conclusion**

We reported the synthesis of the ZnO nanoparticles by wet chemical method. The SEM analysis reveals the size of the nanoparticles was 150-200 nm. XRD showed have hexagonal unit cell structure. Finally, UV-Vis absorption spectrum provided an absorption band at 200-400 nm. Therefore, the prepared the ZnO nanoparticles showed UV protection properties and were then already to apply for textile application.

# Synthesis and characterisation of ZnO nanoparticle for production of antimicrobial

textiles, Nanothailand 2014. November 26-28, 2014



## Synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles for production of antimicrobial textiles



Department of Chemistry, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathumthani 12110

### Abstract

In this paper, the synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles have been carried out for textiles applications. The ZnO nanoparticles have been synthesized by precipitation method. This technique is based on precipitation procedure by using zinc nitrate and sodium hydroxide as precursors. The scanning electron microscopy, dynamic light scattering, UV-Vis spectrophotometry and X-ray diffraction were used to characterize the particle size and morphology. The synthesized ZnO nanoparticles were spherical with the size in the range of 200-400 nm. Next step, the ZnO nanoparticles were directly applied on to the fabric using pad-dry-cure method. Finally, the antibacterial efficiency of modified fabrics was quantitatively evaluated and compared against gram-negative *Escherichia coli* and aerobic gram-positive *Staphylococcus aureus* according to AATCC 147. The results show that the modified fabric demonstrated significant antibacterial activity against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. These results suggest that synthesized ZnO nanoparticles could be used effectively for textiles applications.

### Introduction

Nowadays, nanoparticles have become an area of extensive research for textiles applications because of their special physical properties including photocatalytic, electrical, optical, dermatological, and antibacterial properties. There are several metal nanoparticles such as titanium dioxide, silver and zinc oxide have been applied for coating material for textile fabrics to provide functions such as antibacterial activity. Among these, zinc oxide nanoparticles (ZnO) are widely used due to not only antibacterial but also UV protection properties. ZnO nanoparticles may exhibit stronger antibacterial activity than zinc oxide itself. Because the nanosize of ZnO particles is easily penetrate through the cell membrane than normal bulk ZnO, produce some type of injury, and inhibit the growth of the cells. Many studies have recently reported improved UV blocking and antibacterial properties for cotton fabrics containing ZnO nanoparticles. Precipitation method is widely used due to it is an inexpensive method to create ZnO nanoparticles. Therefore, this paper was focused on the synthesis of ZnO nanoparticles by using Precipitation method. The ZnO nanoparticles were characterized by using X-ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM), UV-Vis spectrophotometry (UV-Visible) and dynamic light scattering (DLS). Further, the antimicrobial activity of ZnO nanoparticles were carried out against gram-negative *Escherichia coli* and aerobic gram-positive *Staphylococcus aureus* to coat ZnO nanoparticles onto textile fabrics.

### Objective

To synthesize and characterize the ZnO nanoparticles for antimicrobial textiles

### Method

#### 1.1 Synthesis of ZnO nanoparticles

Soluble starch of 0.1% w/v and 0.1 M  $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  were mixed using magnetic stirrer to completely dissolve the zinc nitrate. Then 0.2 M NaOH was added into above solution by drop by drop for 2 h to complete the growth of particles. Next, this mixture solution was allowed to settle for overnight. After that, the precipitated resultant was heated at 80 °C for overnight to obtain ZnO nanoparticles.

#### 1.2 Coating ZnO nanoparticles onto fabric

The cotton fabric was cut to the size of 21x30 cm. Then this fabric was immersed in the solution of 2% w/v ZnO nanoparticles and 1% w/v acrylic binder for 5 min and then it was padded to give a wet pick-up of 100% w/v. After that, the fabric was air-dried and then cured for 1 min at 130 °C.

### Results

#### 2.1 Characterisation of ZnO nanoparticles

Fig. 1 shows the SEM image of ZnO nanoparticles. The ZnO nanoparticles are spherical in shape with smooth surface. The sizes of zinc oxide nanoparticles were 200-400 nm.

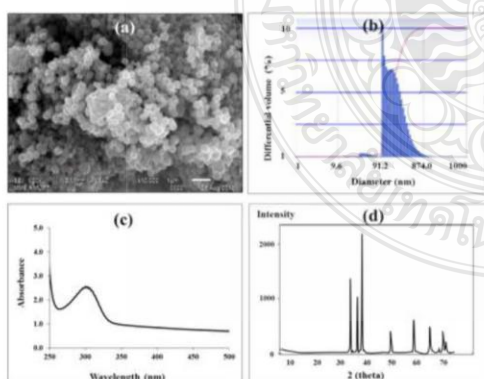


Fig. 1 Characterisation of ZnO nanoparticles; (a) SEM image, (b) DLS result, (c) UV-Vis spectrum and (d) XRD patterns

#### 2.2 Coating ZnO nanoparticles onto fabric

The SEM image of the coated fabrics showed ZnO nanoparticles embedded on to the fabrics (Fig. 2b), which is absent in case of the uncoated fabrics in Fig. 2a.

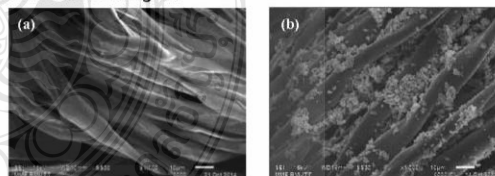


Fig. 2 SEM image of cotton fabric (a) uncoated and (b) coated with ZnO nanoparticles

#### 2.3 Antimicrobial activity of ZnO nanoparticles

Antibacterial properties of cotton fabric coated with ZnO nanoparticles are measured according to the inhibition zone method. The diameter of inhibition zone for *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus* were 1.44 and 5.22 mm, respectively.

### Conclusion

The synthesis and characterisation of ZnO nanoparticles were investigated. The ZnO nanoparticles were synthesized using precipitation method. ZnO nanoparticles showed in spherical form with average diameter 200-400 nm. The ZnO nanoparticles exhibited good antibacterial properties against gram-positive and gram-negative bacteria. The advantages of this method for ZnO nanoparticles synthesis were simple, low cost and could be used effectively for textiles applications.

### References

- [1] R. Dastjerdi, M. Montazer, A review on the application of inorganic nano-structured materials in the modification of textiles: Focus on anti-microbial properties, *Colloids Surf.*, B. 79 (2010) 5–18.
- [2] B.A Cakur., L.Budama, O.Topel, N. Hoda, Synthesis of ZnO nanoparticles using PS-b-PAA reverse micelle cores for UV protective, self-cleaning and antibacterial textile applications. *Colloids Surf.*, A. 414 (2012) 132–139.

### Acknowledgment

We would like to thank faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, for financial support. The authors also thank Department of Materials and Metallurgical Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi for SEM and XRD results.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวณศร่า แก้วคง
วัน เดือน ปีเกิด	9 เมษายน 2524
ที่อยู่	43 หมู่ 17 ต.บ้านควน อ.หลังสวน จ.ชุมพร 86170
การศึกษา	สำเร็จการศึกษาวិทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
การทำงาน	ตำแหน่งนักวิชาการศึกษา ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

