

การพัฒนาสารเคลือบป้องกันการติดเชื้อจากซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์สำหรับวัสดุหนังหุ้ม



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา) สหสาขาวิชาธุรกิจเทคโนโลยีและ  
การจัดการนวัตกรรม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2564  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF SILVER COPPER ZEOLITE ANTIFOULING COATING ON LEATHER



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science in Technopreneurship and Innovation  
Management

Inter-Department of Technopreneurship and Innovation Management

GRADUATE SCHOOL

Chulalongkorn University

Academic Year 2021

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาสารเคลือบป้องกันการติดเชื้อจากซิลเวอร์คอปเปอร์ซีไอโอไลต์สำหรับวัสดุหนังหุ้ม
โดย	น.ส.จิตตมาศ ตรีรัตนภรณ์
สาขาวิชา	ธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการนวัตกรรม (สหสาขาวิชา)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ยุทธนา ฉัพพรรณรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.สนอง เอกสิทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก  
(รองศาสตราจารย์ ดร.คณศ วงษ์ระวี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม  
(ศาสตราจารย์ ดร.ชวลิต รัตนธรรมสกุล)

..... กรรมการ  
(ดร.ชูพรรณ โกวานิชย์)



# # 6380153720 : MAJOR TECHNOPRENEURSHIP AND INNOVATION MANAGEMENT

KEYWORD: Antifouling coating Antiviral Leather Textiles Silver Copper Zeolite

Jittamas Treeruttanaporn : DEVELOPMENT OF SILVER COPPER ZEOLITE ANTIFOULING COATING ON LEATHER. Advisor: Asst. Prof. KANET WONGRAVEE, Ph.D. Co-advisor: Prof. CHAVALIT RATANATAMSKUL, Ph.D.

Due to pandemic situation of Covid-19, the infection possibility from daily touched-surface have been concerned. One of major touched material was leather covering for furniture and car seats. To avoid the infection, anti-virus spray has been used, however, the efficiency of the spray affect in short time and deteriorated material coating. To extend lifetime of leather and prolong antifouling, antifouling coated agent by silver copper ion in zeolite was developed with some modification for stability of antifouling. The silver copper ion in zeolite transformed to nanoparticles were subsequently prepared by reducing the impregnated  $\text{Ag}^+$  with sodium borohydride and ascorbic acid. The ratio of the reducing agent to the zeolite during the reduction process were optimized. By SEM-EDX, it was found that main structure of zeolite was initially destroyed when high ratio of  $\text{NaBH}_4$  has been used and the reduction of ascorbic acid on the impregnated  $\text{Ag}^+$  in zeolite will preserve main structure. The  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  have better antibacterial effectiveness of E. coli (Gram negative) as ASTM E2149-10 than  $\text{AgNPs}$  in  $\text{CuZeolite}$  reduced by  $\text{NaBH}_4$  and ascorbic acid, respectively. Coated  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  3% in PU base coating solution on leather was evaluated by using ISO21702 of Sars CoV2 which 99.99% of antifouling effectiveness. However, the durability of the antifouling usage was dramatically decreased under alkaline soaking (representative of people sweat).

Field of Study: Technopreneurship and  
Innovation Management

Student's Signature .....

Academic Year: 2021

Advisor's Signature .....

Co-advisor's Signature .....

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. คณศ วังษ์ระวี อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ และเสียสละเวลาในการตรวจสอบแก้ไข วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วยความเอาใจใส่และเมตตาอย่างสูง ผู้วิจัยมีที่มาจากวิศวกรที่ถนัดแค่ด้านประยุกต์ใช้งานแต่สามารถเติบโตในฐานะนักวิจัยได้ด้วยคำแนะนำของท่าน นอกจากนี้ท่านมีความเชี่ยวชาญระดับต้นๆของมหาลัยในด้านงานวิจัยเกี่ยวกับซิลเวอร์แล้ว ท่านยังมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ออกมาให้ผู้วิจัย ทำให้สามารถเข้าถึงความรู้ และนำไปประยุกต์ใช้ได้เอง ท่านมีความอดทนที่จะอธิบายหลายรอบเพื่อให้ผู้วิจัยเข้าใจ ทั้งการบรรยายกลไกต่างๆผ่านการวาดรูปภาพ การสอนใช้งานโปรแกรมต่างๆเพื่อทำเล่มวิจัย พร้อมทั้งให้ผู้วิจัยได้ลงมือทำการทดลองเอง เสียสละเวลาส่วนตัวเพื่อติดตามงานวิจัยอยู่ตลอดเวลา ทำให้งานวิจัยสามารถสำเร็จได้ตั้งแต่ในเชิงทฤษฎี จนถึงทำผลิตภัณฑ์จริงภายในเวลาไม่นาน เป็นอาจารย์ตัวอย่างที่ผู้วิจัยอีกหลายท่านมีความประทับใจอย่างมาก ขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. ขวลิต รัตนธรรมสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ให้ความรู้ด้านซีไอโอไลต์ ผู้เชี่ยวชาญในด้านวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมซึ่งมีการประยุกต์ใช้ซีไอโอไลต์ในงานบำบัดน้ำเสีย จนทำให้ความรู้เหล่านี้มาประยุกต์ใช้กับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้อย่างมาก ขอขอบพระคุณนาโนเทค ที่ให้การช่วยเหลือด้านผลการวิเคราะห์การต้านเชื้อ ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. สนอง เอกสิทธิ์ที่ให้เกียรติเป็นประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ท่านเป็นทั้งนักวิชาการและผู้ที่ประสบความสำเร็จในด้านงานวิจัยอย่างมาก และท่านยังช่วยให้คำแนะนำด้านงานวิจัยนี้ตั้งแต่ตอนเริ่มต้นจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชูพรรณ โกวานิชย์ ผู้บริหารมืออาชีพ และผู้ประกอบการที่ประสบความสำเร็จที่ให้เกียรติเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ท่านได้ถ่ายทอดความชำนาญด้านการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี แนะนำให้ผู้วิจัยคิดให้ครอบคลุมถึงวิธีการนำเทคโนโลยีออกสู่ตลาด ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ดำเนินไปอย่างถูกต้อง ขอขอบพระคุณ หลักสูตรธุรกิจเทคโนโลยีและการจัดการ นวัตกรรม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และอาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ให้ผู้วิจัยสามารถนำมาต่อยอดจนเกิดเป็นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอขอบคุณเพื่อนๆ CUTIP สำหรับมิตรภาพและการสนับสนุน ขอขอบพระคุณ น้องแอล ญัฐสุดา และน้องโอม จักรวรรดิ ที่ให้สอนการใช้เครื่องมือห้องแลปคณะวิทยาศาสตร์เคมี และช่วยวิเคราะห์ผลต่างๆ จนทำให้เกิดนวัตกรรมที่มีความเป็นไปได้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณแม่ ที่ให้ความรัก เป็นกำลังใจให้ตัวผู้วิจัยเสมอมา วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้จากการสนับสนุนของทุกท่าน



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## สารบัญ

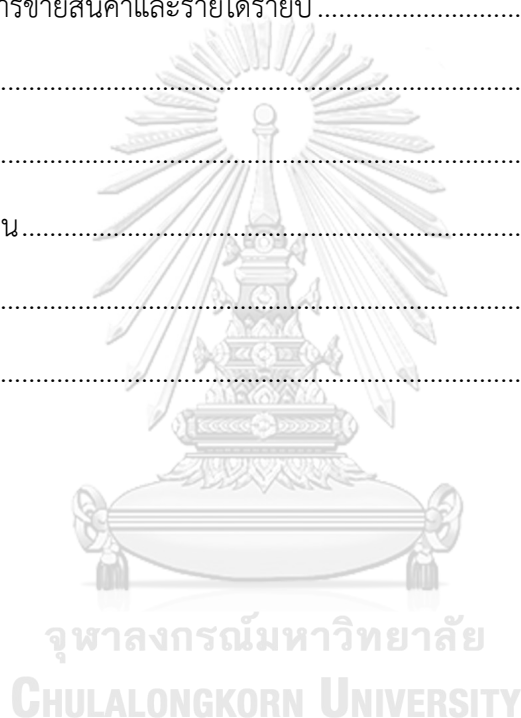
	หน้า
.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
ABBREVIATIONS.....	15
บทที่ 1 บทนำ.....	16
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	16
1.2 แนวคิดโครงการ.....	17
1.3 วัตถุประสงค์.....	19
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	19
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรม.....	20
2.1 ทฤษฎีที่สำคัญ.....	20
2.1.1 เทคโนโลยีไอออนโลหะกับการต้านเชื้อ.....	20
2.1.2 เทคโนโลยีโครงสร้างซีโอไลต์.....	22
2.1.3 โครงสร้างของวัสดุหนังหุ้มแท้.....	23
2.1.4 ชนิดของแบคทีเรีย.....	24
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	26



2.2.1	การประยุกต์ใช้ไอออนโลหะกับการต้านไวรัส.....	26
2.2.2	การประยุกต์ใช้โครงสร้างซีโอไลต์กับไอออนโลหะเพื่อการต้านไวรัส.....	31
2.2.3	การพัฒนาวัสดุหนังที่มีการเคลือบสารต้านเชื้อ.....	35
2.2.4	การคัดเลือกเทคโนโลยีจากงานวิจัย .....	37
บทที่ 3	การทดลอง.....	39
3.1	วัสดุหนังที่ใช้เคลือบ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้.....	39
3.1.1	วัสดุหนังที่ใช้เคลือบ.....	39
3.1.2	สารเคลือบที่ใช้บนวัสดุหนัง.....	39
3.1.3	สารต้านไวรัสตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนขนาดอนุภาคโลหะ.....	40
3.2	การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในสารเคลือบหนัง.....	40
3.2.1	การศึกษาอัตราส่วนสารรีดิวซ์ที่เพียงพอต่อการเปลี่ยนอนุภาคเป็นขนาดใหญ่ขึ้นในโพรงซีโอไลต์.....	40
3.2.2	ศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านเชื้อระหว่าง Ag <sup>+</sup> CuZeolite และ AgNP-CuZeolite .. ตามมาตรฐาน ASTM E2149-10 พร้อมอัตราส่วนของสารต้านเชื้อที่เหมาะสมต่อการเคลือบพอลิยูเรเทนบนวัสดุหนัง.....	42
3.2.3	ศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อก่อนใช้งานและหลังใช้งานโดยจำลองสภาวะหลังการขจัดเหงื่อและสภาวะหลังโดนสารเคมีจ้ำพวกเหงื่อจ้ำลอง (Alkaline perspiration) และทดสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อไวรัส Sars CoV2 ตามมาตรฐาน ISO21702.....	43
3.3	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	44
3.4	แผนการดำเนินงาน .....	45
บทที่ 4	ผลการทดลอง .....	47
4.1	สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในโพรงซีโอไลต์.....	47
4.1.1	การเปลี่ยนแปลงสาร Ag <sup>+</sup> CuZeolite จากปฏิกิริยารีดักชัน .....	47
4.1.2	การตรวจวัดอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วย UV-Vis Spectroscopy .....	49

4.1.3	การตรวจสอบพันธะเคมีในโครงสร้างไอไลต์ด้วย FTIR.....	52
4.1.4	การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM-EDX.....	53
4.2	ศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านเชื้อระหว่าง Ag <sup>+</sup> CuZeolite และ AgNP-CuZeolite พร้อมอัตราส่วนของสารต้านเชื้อที่เหมาะสมต่อการเคลือบในโพลียูเรเทนบนวัสดุหนัง.....	57
4.2.1	ศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านเชื้อแบคทีเรียของสารประกอบ AgNP-CuZeolite...	57
4.2.2	ศึกษาอัตราส่วนของสารต้านเชื้อที่เหมาะสมระหว่าง2%และ3% ต่อการเคลือบในโพลียูเรเทนบนวัสดุหนัง.....	59
4.3	ประสิทธิภาพการต้านเชื้อของวัสดุหนังหุ้มเมื่อผ่านการใช้งานในสภาวะต่างๆ.....	60
บทที่ 5	สรุปผลการทดลอง .....	62
บทที่ 6	การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์ .....	63
	คำนิยามของ TIM และ Output/ Outcome/ Impact .....	63
	6.1 TIM .....	63
	6.2 Output/ Outcome/ Impact.....	63
บทที่ 7	การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด .....	64
	7.1 การวิเคราะห์คู่แข่งในอุตสาหกรรม.....	64
	7.2 การวิเคราะห์ด้วยSWOT ANALYSIS.....	64
	7.3 การวิเคราะห์ Six force model.....	65
	7.4 แบบทดสอบแสดงความต้องการวัสดุหนังหุ้มด้านไวรัส .....	66
บทที่ 8	การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการดำเนินงานและการจัดการ .....	67
	8.1 เป้าหมายของผลิตภัณฑ์ .....	67
	8.2 มูลค่า .....	67
	8.3 ห่วงโซ่คุณค่าและตำแหน่งห่วงโซ่.....	67
	8.3.1 กิจกรรมหลัก .....	67
	8.3.2 กิจกรรมสนับสนุน.....	68

8.4 มูลค่าเพิ่มที่ได้รับ.....	68
8.5 ขั้นตอนการทำงาน.....	68
8.6 การประเมินความเสี่ยงธุรกิจ.....	68
บทที่ 9 การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงิน.....	69
9.1 สมมติฐานทางการเงิน.....	69
9.2 งบประมาณเพื่อผลิตต้นแบบ.....	69
9.3 ประมาณการในการขายสินค้าและรายได้รายปี.....	69
9.4 งบกำไรขาดทุน.....	70
9.5 งบกระแสเงินสด.....	70
9.6 บทสรุปทางการเงิน.....	71
บรรณานุกรม.....	72
ประวัติผู้เขียน.....	75



## สารบัญตาราง

	หน้า
<u>ตารางที่ 1</u> ตารางแสดงการคัดเลือกเทคโนโลยีสารเคลือบต้านไวรัสตามเกณฑ์ต่างๆ .....	38
<u>ตารางที่ 2</u> ส่วนประกอบของสารเคลือบที่ใช้ในการทดลอง.....	39
<u>ตารางที่ 3</u> ส่วนประกอบของอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลอง .....	40
<u>ตารางที่ 4</u> แสดงการเตรียมสารและสัดส่วนโมลของReducing agentที่ใช้ในระบบ .....	41
<u>ตารางที่ 5</u> ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบค่าการต้านแบคทีเรีย .....	42
<u>ตารางที่ 6</u> การเตรียมชิ้นงานตามปริมาณ $Ag^+Cu^+$ Zeoliteต่อสารเคลือบในสัดส่วนที่แตกต่างกัน..	42
<u>ตารางที่ 7</u> ตารางแสดงคู่แข่งทางตรงผู้ผลิตหนังในเอเชีย.....	64
<u>ตารางที่ 8</u> ตารางแสดงคู่แข่งทางอ้อม .....	64
<u>ตารางที่ 9</u> ตารางแสดงงบประมาณเพื่อดำเนินการประเมินการผลิตต้นแบบ .....	69
<u>ตารางที่ 10</u> ตารางแสดงประมาณการในการขายสินค้าและรายได้รายปี .....	70
<u>ตารางที่ 11</u> ตารางแสดงงบกำไรขาดทุนในระยะเวลา5ปี .....	70
<u>ตารางที่ 12</u> ตารางแสดงงบกระแสเงินสดรอบระยะเวลา5ปี.....	70
<u>ตารางที่ 13</u> ตารางแสดงการวิเคราะห์ทางการเงินภายในระยะเวลา5ปี.....	71

## สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 a) การใช้สเปร์ย์แอลกอฮอล์พ่นมือ, b) การเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์หุ้ม, c) การสะสมของไวรัสบนผลิตภัณฑ์หุ้ม.....	16
รูปที่ 1-2 แผนผังแสดงกลไกต้านไวรัสของไอออนโลหะ.....	17
รูปที่ 1-3 แผนภาพอธิบายแนวคิดโครงการพัฒนาสารเคลือบต้านไวรัสเพื่อวัสดุหนึ่ง.....	18
รูปที่ 2-1 ลักษณะการทำงานของอนุภาคโลหะไอออนเมื่ออยู่ในโครงสร้างซีโอไลต์.....	22
รูปที่ 2-2 สเปกตรัม FT-IR ของรายละเอียด (a) NaA และ (b) faujasite NaY ซีโอไลต์.....	22
รูปที่ 2-3 ลักษณะโครงสร้างของหนังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์.....	23
รูปที่ 2-4 ชั้นของสารเคลือบบนวัสดุหนังแท้.....	24
รูปที่ 2-5 ความแตกต่างของแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ.....	26
รูปที่ 2-6 ผลการมีอยู่ของเชื้อแบคทีเรียบนผิววัสดุแก้วที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคโลหะชนิดต่างๆ.....	27
รูปที่ 2-7 กลไกสำหรับพฤติกรรมการต้านจุลชีพของโพลีเมอร์ / โลหะนาโนคอมโพสิตตามเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติก.....	28
รูปที่ 2-8 แผนภาพแสดงหลักการต้านเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน.....	29
รูปที่ 2-9 แผนภาพเปรียบเทียบหลักการการทำงานของซิลเวอร์ไอออนและซิลเวอร์นาโน.....	29
รูปที่ 2-10 การถ่ายโอน AgNPs ไปยังตัวทำละลายอินทรีย์โดยใช้ GO เป็นตัวพา.....	30
รูปที่ 2-11 สเปกตรัม IR ในบริเวณโหมดการตัด CH ที่บันทึกไว้หลังจากการดูดซับของปริมาณ.....	32
รูปที่ 2-12 Micrograph SEM ของ (a) ฟิล์มซีโอไลต์หลังจากการเจริญเติบโตของอนุภาคเงินและ (b) ภาพขยายของพื้นผิวแสดง AgNP.....	34
รูปที่ 2-13 ภาพประกอบแผนผังของการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน ลงในกรอบซีโอไลต์โดยreducing ด้วยNaBH <sub>4</sub> .....	35
รูปที่ 2-14 การสแกนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวหนังแท้ดัดแปลง Ag ((a, b) กำลังขยายที่แตกต่างกัน) และแผงหนังเทียม ((c,d) กำลังขยายที่แตกต่างกัน) ลูกศรเน้นกระจุกอนินทรีย์บนพื้นผิวดังกล่าว.....	36

รูปที่ 2-15 สารต้านเชื้อผ่านวิธีการแพร่กระจายบนแผ่นกับเชื้อ Bacillus subtilis (A); Staphylococcus aureus (B); เอสเชอริเชียโคไล (C); Pseudomonas aeruginosa (D) และ Candida albicans (E) หนึ่งเปล่า (1); หนึ่งอ้างอิง (2); หนึ่ง / Ag NPs 300 ppm (3); หนึ่ง/Ag NPs 500 ppm (4) และหนึ่ง/Ag NPs 10 0 0 ppm (5)..... 37

รูปที่ 3-1 การหาสถานะที่เหมาะสมของปริมาณ Reducing agent ในการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน ... 41

รูปที่ 3-2 แสดงการหาการกระจายตัวของอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์..... 43

รูปที่ 3-3 แผนภาพแสดงวิธีการทดสอบการขัดถูชิ้นงานด้วยวิธีการ Taber abrasion..... 43

รูปที่ 3-4 แผนภาพแสดงวิธีการทดสอบความต้านทานสาร Alkaline perspiration ..... 44

รูปที่ 4-1 ปฏิกริยารีดักชันระหว่างสาร Ag<sup>+</sup>CuZeolite กับกรดแอสคอร์บิกในอัตราส่วนสาร Ag<sup>+</sup>CuZeolite ต่อกรดแอสคอร์บิกสูงสุด A1 = 1:1 A2 = 1:2, A3 = 1:3 และ A4 = 1:4 ..... 48

รูปที่ 4-2 ปฏิกริยารีดักชันระหว่างสาร Ag<sup>+</sup>CuZeolite กับโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในอัตราส่วนสาร Ag<sup>+</sup>CuZeolite ต่อกรดแอสคอร์บิกสูงสุด BH1 = 1:1 BH2 = 1:2, BH3 = 1:3 และ BH4 = 1:4 49

รูปที่ 4-3 UV-Vis spectroscopy รุ่น GENESYS 10S UV-Visible spectrophotometer..... 50

รูปที่ 4-4 ลักษณะสารตัวอย่างก่อนนำไปตรวจ UV-Vis spectroscopy..... 50

รูปที่ 4-5 กราฟแสดงผลการดูดกลืนแสงของ Ag<sup>+</sup>CuZeolite หลังถูกรีดิวซ์ด้วย Ascorbic acid..... 51

รูปที่ 4-6 กราฟแสดงผลการดูดกลืนแสงของ Ag<sup>+</sup>CuZeolite หลังถูกรีดิวซ์ด้วย NaBH<sub>4</sub> ..... 51

รูปที่ 4-7 เครื่อง FTIR รุ่น iD7 ATR NICOLET iS5 เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่างเทียบก่อนและหลังรีดิวซ์..... 52

รูปที่ 4-8 FTIR ของสารที่ถูกรีดิวซ์ด้วย Ascorbic acid และ NaBH<sub>4</sub> reducing agent ..... 53

รูปที่ 4-9 เครื่อง SEM-EDX รุ่น Hitachi S-4800, 20 kV..... 54

รูปที่ 4-10 รูป SEM แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงสร้างซีโอไลต์หลังจากปฏิกริยารีดิวซ์ที่อัตราส่วนของสารรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน ด้วยกำลังขยาย 2,000 เท่า..... 55

รูปที่ 4-11 รูป SEM แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงสร้างซีโอไลต์หลังจากปฏิกริยารีดิวซ์ที่อัตราส่วนของสารรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน ด้วยกำลังขยาย 4,000 เท่า..... 55

รูปที่ 4-12 รูป SEM แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงสร้างซีโอไลต์หลังจากปฏิกริยารีดิวซ์ที่อัตราส่วนของสารรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน ด้วยกำลังขยาย 10,000 เท่า a) Ag<sup>+</sup>CuZeolite, (b-c) AgNP-CuZeolite

ที่รีดิวซ์ด้วยกรดแอสคอร์บิกที่อัตราส่วน 1:1 และ 1:4, (d-e) AgNP-CuZeolite ที่รีดิวซ์ด้วย NaBH <sub>4</sub> ที่อัตราส่วน 1: 1 และ 1: 4.....	56
รูปที่ 4-13 กราฟแสดงปริมาณซิลเวอร์หลังจากปฏิกิริยารีดิวซ์ที่อัตราส่วนของสารรีดิวซ์ที่ต่างกัน ..	57
รูปที่ 4-14 สารผสมตัวอย่าง 3 ชนิดเพื่อทดสอบการต้านเชื้อ.....	58
รูปที่ 4-15 ประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของ (A-B) Ag <sup>+</sup> CuZeolite, (C-D) AgNP(AA)-CuZeolite และ (E-F) AgNP(BH)-CuZeolite ตามมาตรฐาน ASTM E2149-10 ด้วยเชื้อแบคทีเรียกับ E.Coli เป็นเวลา 24 ชั่วโมงนับโดย CFU / ml.....	58
รูปที่ 4-16 กราฟแสดงการต้านเชื้อของหนังที่มีสาร Ag(ion)Zeolite solution ในปริมาณ 2% และ 3% .....	59
รูปที่ 4-17 แสดงการต้านเชื้อ SAR COV2 ของหนังที่ได้รับการเคลือบด้วยสารเคลือบพอลิยูเรเทนผสม Ag <sup>+</sup> Zeolite 2% และ 3% หลังจาก 0 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง.....	59
รูปที่ 4-18 กราฟแท่งแสดงถึงประสิทธิภาพการต้านไวรัสของ Ag <sup>+</sup> CuZeolite ที่เคลือบภายใต้การขัดถู Taber (การพ่นน้ำเงิน) และภายใต้สภาวะอัลตราโซนิก (กราฟสีส้ม) ที่ 5 นาที 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ.....	60
รูปที่ 4-19 ลักษณะพื้นผิว (a-d) และหน้าตัด (e-h) ของแต่ละตัวอย่างที่ทดสอบโดยการตรวจสอบ SEM ที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวของ (a) ไม่มี Ag <sup>+</sup> CuZeolite, (b) เคลือบด้วย Ag <sup>+</sup> CuZeolite, (c) หลังจากขัด Ag <sup>+</sup> CuZeolite เคลือบ (d) หลังจากหยดสารอัลตราโซนิกของ Ag <sup>+</sup> CuZeolite เคลือบ และส่วนตัดขวางที่สอดคล้องกัน (e-h).....	61
รูปที่ 7-1 แบบสำรวจความต้องการวัสดุหนังหุ้มด้านไวรัสสำหรับรถครอบครัวและรถสาธารณะ ....	66
รูปที่ 8-1 ห่วงโซ่ผู้เกี่ยวข้อง .....	67
รูปที่ 8-2 ขั้นตอนการผลิตวัสดุหนังด้านไวรัส .....	68

## ABBREVIATIONS

Ag <sup>+</sup> CuZeolite	The standard Ag+CuZeolite
AgNP-CuZeolite	The silver nanoparticles in CuZeolite
AgNP(AA)-CuZeolite	The AgNP zeolite composite reducing by ascorbic acid
AgNP(BH)-CuZeolite	The AgNP zeolite composite reducing by sodium
AgNPs	silver nanoparticles
Ag <sup>+</sup>	silver ion
DNA	deoxyribonucleic acid
NaBH <sub>4</sub>	sodium borohydride
DI	de-ionized
UV-Vis	ultraviolet-visible
FT-IR	Fourier-transform infrared spectroscopy
SEM	scanning electron microscope
EDX	energy dispersive X-ray spectrometer
ft <sup>2</sup>	square feet
nm	nanometer
g	gram
mg	milligram
L	liter
mL	milliliter
° C	degree celsius minute
min	minute
wt%	weight-weight percentages
% w/v	percentage of weight per volume
cm <sup>-1</sup>	wave number (inverse relationship between wavelength and frequency)



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

จากสถานการณ์ที่มีการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด ทำให้ปัจจุบันมีงานวิจัยจำนวนมาก มุ่งเน้นไปที่การพัฒนาสารออกฤทธิ์เพื่อป้องกันหรือฆ่าเชื้อโรคบนผิวสัมผัสแบบต่าง ๆ ผลิตรั้วกันหนึ่ง หุ้มนั้นเป็นผิวสัมผัสที่เสี่ยงต่อการสะสมเชื้อโรค โดยเฉพาะผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้มในรถยนต์ที่ผู้โดยสารต้อง อยู่ในระบบปิดเป็นเวลานานขณะโดยสาร และยังเป็นระบบโดยสารสาธารณะเช่น รถแท็กซี่ รถขนส่ง สาธารณะ จึงมีความต้องการสารเคลือบผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้มเพื่อป้องกันและหยุดยั้งการเติบโตของเชื้อ โรคจึงมีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในปัจจุบัน

เพื่อป้องกันการสะสมของเชื้อโรคแล้ว การใช้เจลหรือสเปรย์แอลกอฮอล์ก็เป็นวิธีที่ใช้กันมาก แต่หากใช้เจลหรือ สเปรย์แอลกอฮอล์แล้วสัมผัสผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้มที่นั่นเป็นสาเหตุที่ทำให้ผิวหน้าของ ชั้นหนังหลุดลอกได้ง่าย หนังจะเสื่อมสภาพเร็วขึ้น (รูปที่ 1.1 b) ดังนั้น หากผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้มมีสารเคลือบ ที่สามารถต้านการสะสมของเชื้อไวรัสและเชื้อแบคทีเรียได้ (รูปที่ 1.1 c) ก็สามารถลดการใช้เจลหรือสเปรย์แอลกอฮอล์เมื่อสัมผัสผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้มได้ สามารถยืดอายุของผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้มได้ และง่ายต่อการใช้งาน ไม่เหนอะเลอะมือเมื่อสัมผัสอีกด้วย

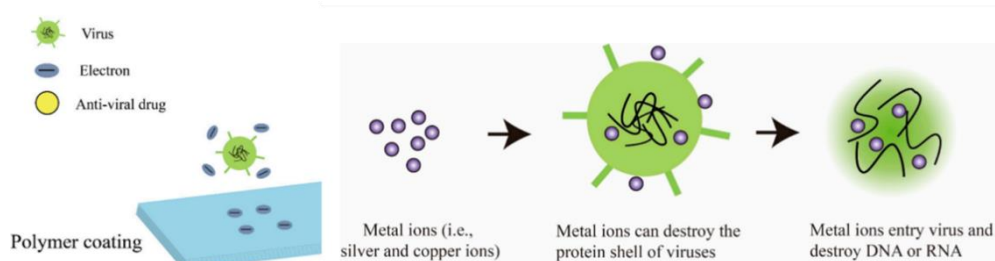


**รูปที่ 1-1** a) การใช้สเปรย์แอลกอฮอล์พ่นมือ, b) การเสื่อมสภาพของผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้ม, c) การสะสมของไวรัสบนผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้ม

เทคโนโลยีสารเคลือบที่ใช้ต้านเชื้อส่วนใหญ่ที่นั่น มาจากการปล่อยไอออนของอนุภาคโลหะที่สามารถผสมรวมเข้ากับโพลีเมอร์ สารเคลือบ สิ่งทอ และอื่นๆ ได้ จึงทำให้ผลิตรั้วกันหนึ่งหุ้มเหล่านั้นสามารถป้องกันการเจริญเติบโตของแบคทีเรียได้อย่างต่อเนื่อง

ธาตุเงิน (Silver) และธาตุทองแดง (Copper) ถูกนำมาใช้เป็นสารในการต้านจุลชีพมานานแล้ว อนุภาคซิลเวอร์และอนุภาคคอปเปอร์ เป็นอนุภาคโลหะที่สามารถปล่อยประจุไอออนบวก ทำให้

ดูไวรัสที่มีประจุลบมาสัมผัสกับผิวเคลือบ จากนั้นทำการแทรกซึมลงไปชั้นเมมเบรนที่เป็นชั้นหุ้มโปรตีนของตัวไวรัส ไอออนของเงิน( $Ag^+$ )จะทำลายชั้นโปรตีนที่หุ้มตัวดีเอ็นเอของไวรัส จากนั้นสามารถเข้าไปทำลายดีเอ็นเอของไวรัสจนตายได้ ดังแสดงในรูปที่ 1-2



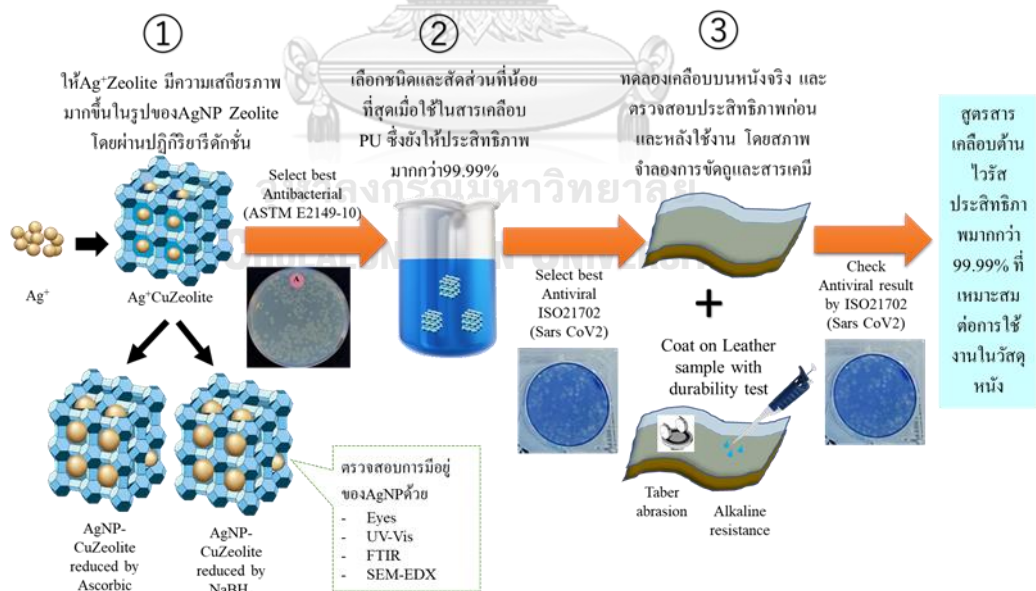
**รูปที่ 1-2** แผนผังแสดงกลไกต้านไวรัสของไอออนโลหะ

อย่างไรก็ตาม การประยุกต์ใช้ไอออนของเงิน( $Ag^+$ )กับสารเคลือบวัสดุหนึ่งเพื่อเพิ่มคุณสมบัติความต้านทานไวรัสบนพื้นผิวหนึ่งหุ้มนั้น มีข้อจำกัดหลายด้าน เช่นไอออนของเงิน( $Ag^+$ )มักละลายในตัวทำละลายมีขั้วได้ดี แต่หากประยุกต์กับตัวทำละลายอินทรีย์เช่นพอลิยูเรเทนที่ใช้เป็นสารเคลือบหนังที่มีสภาพความไม่มีขั้ว (non-polar) จะไม่ละลายและส่งผลให้การกระจายตัวเวลาเคลือบไม่สม่ำเสมอ ไอออนของเงิน( $Ag^+$ )จะจับตัวกันง่าย จนทำให้เกิดกลุ่มก้อนกระจายตัวไม่ดีและมีโมเลกุลที่หนักกว่าพอลิยูเรเทนเบสเมื่อรวมตัว ทำให้กลุ่มก้อนไอออนของเงิน( $Ag^+$ )ตกตะกอนลงไปบนผิวเคลือบชั้นใน ไม่สามารถทำงานที่ผิวชั้นบนได้อย่างเต็มที่บนชั้นผิวด้านบน หากอยู่ในรูปไอออนจะไม่เสถียรทำให้เกิดการแพ้ได้ง่าย รวมไปถึงเรื่องสีของอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ ที่ส่งผลต่อสีของผลิตภัณฑ์เนื่องจากข้อจำกัดเหล่านี้ ส่งผลให้มีการพัฒนาสารเคลือบโดยการปรับสัดส่วนของอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ที่ใช้ รวมถึงวิธีการเคลือบสารบนวัสดุหนึ่งที่ยังคงความเสถียรภาพ มีการกระจายตัวที่ดี มีการต้านเชื้อไวรัสที่เพิ่มขึ้นและยังคงคุณสมบัติของความแข็งแรงด้านอื่น ๆ ได้ตามมาตรฐานที่ใช้กับผลิตภัณฑ์หนังเพื่อวัสดุหุ้ม

## 1.2 แนวคิดโครงการ

จากที่กล่าวมาถึงข้อจำกัดในการประยุกต์ใช้สารซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์ ( $Ag^+CuZeolite$ ) ที่ผสมในพอลิยูเรเทนเบสเพื่อเคลือบวัสดุหนึ่งหุ้มนั้น จึงมีการพัฒนาสูตรจากสารละลาย  $Ag^+CuZeolite$  ที่สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายพอลิยูเรเทนเบส ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดี และมีความเสถียรมากขึ้นโดยสังเคราะห์ให้ไอออนโลหะแปรรูปจากไอออนของเงิน( $Ag^+$ )เป็นอนุภาค

เงินระดับนาโน(AgNP) ที่ฝังตัวอยู่ในโพรงซีโอไลต์ด้วยปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างโซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $\text{NaBH}_4$ ) และแอสคอร์บิกแอซิด (Ascorbic acid) ซึ่งทำการตรวจสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอนุภาค โดยSEM-EDX เพื่อดูปริมาณไอออนโลหะที่เกาะบนโพรงซีโอไลต์ และ UVกราฟและ FTIR กราฟ เพื่อตรวจสอบความแตกต่างของคลื่นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดอนุภาค จากนั้นเปรียบเทียบความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรีย ASTM E2149-10 ของ $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  และ  $\text{AgNP-CuZeolite}$  ที่ถูกรีดิวซ์จากทั้งสองreducing agent เพื่อทำการเลือก $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  หรือ  $\text{AgNP-CuZeolite}$  ที่ให้ประสิทธิภาพมากที่สุด จากนั้นนำสารที่ถูกเลือกไปผสมกับสารเคลือบผิวพอลิยูเรเทนตามอัตราส่วนต่างและทดสอบประสิทธิภาพการต้านไวรัสของผิวชั้นบนโดยเทียบความสามารถในการติดเชื้อไวรัส (Infectivity Titer (PFU/Vial)) เพื่อศึกษาอัตราส่วนที่เพียงพอที่ทำให้ยังคงมีประสิทธิภาพการต้านไวรัสมากกว่า99.99%ตามมาตรฐาน ISO21702 จากนั้น ทำการจำลองสภาพหลังชิ้นงานที่มีการเคลือบสารต้านไวรัสถูกใช้งาน ด้านหลังการขัดถูและหลังการถูกสัมผัสด้วยสารเคมีที่ทดแทนเหงื่อมนุษย์ เพื่อตรวจสอบว่าสารเคลือบต้านไวรัส ยังคงมีประสิทธิภาพเพียงพอหลังการใช้งานหรือไม่ ซึ่งได้มีการอธิบายแนวคิดโครงการพัฒนาสารเคลือบต้านไวรัสเพื่อวัสดุหนัง ดังตามแผนรูปที่1.3 ด้านล่าง



รูปที่ 1-3 แผนภาพอธิบายแนวคิดโครงการพัฒนาสารเคลือบต้านไวรัสเพื่อวัสดุหนัง

### 1.3 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาไอออนของเงินในโพรงซีโอไลต์ ( $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$ ) ให้เปลี่ยนเป็นอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรในโพรงซีโอไลต์ ( $\text{AgNP-CuZeolite}$ ) เพื่อเพิ่มความเสถียรภาพ
2. เลือกชนิดและความเข้มข้นของสารต้านเชื้อที่มีประสิทธิภาพของการยับยั้งเชื้อที่ดีที่สุด
3. ศึกษาการความเป็นไปได้ของการเคลือบ  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  ในโพลีเอทิลีนบนวัสดุหนัง พร้อมทั้งตรวจสอบประสิทธิภาพของชิ้นงานหนังทั้งสภาวะก่อนและหลังใช้งาน

### 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนสารรีดิวซ์ที่เพียงพอต่อการเปลี่ยนอนุภาคเป็นขนาดใหญ่ขึ้นในโพรงซีโอไลต์ โดยวัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นจาก คุณลักษณะจำเพาะทางกายภาพด้วยสลายตา การเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างสารเคมี FT-IR และ UV-Visible spectrophotometer และการเปลี่ยนแปลงลักษณะโครงสร้างที่สามารถตรวจสอบได้ด้วยเครื่อง SEM-EDX
2. ศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านเชื้อระหว่าง  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  และ  $\text{AgNP-CuZeolite}$  ตามมาตรฐาน ASTM E2149-10 พร้อมอัตราส่วนของสารต้านเชื้อที่เหมาะสมระหว่าง 2% และ 3% ต่อการเคลือบในโพลีเอทิลีนบนวัสดุหนัง
3. ศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อก่อนใช้งานและหลังใช้งานโดยจำลองสภาวะหลังการขจัดอุจจาระและสภาวะหลังโดนสารเคมีจำพวกเหงื่อจำลอง (Alkaline perspiration) และทดสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อไวรัส Sars CoV2 ตามมาตรฐาน ISO21702

## บทที่ 2

### ทบทวนวรรณกรรม

#### 2.1 ทฤษฎีที่สำคัญ

##### 2.1.1 เทคโนโลยีไอออนโลหะกับการต้านเชื้อ

เงินเป็นธาตุที่มีราคาแพง รู้จักกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยมีการนำมาใช้เป็นเงินตรา สำหรับซื้อขายสินค้า เป็นเครื่องประดับตกแต่ง เป็นต้น สมบัติที่ดีของเงินที่คนโบราณรู้จักใช้กันมานานแล้วคือการฆ่าเชื้อโรค เช่น การแช่เหรียญเงินไว้ในถังน้ำนม เพื่อชะลอการบูดเน่า ใช้เงินทำเป็นภาชนะสำหรับกักเก็บน้ำ หรือใส่อาหารเพื่อป้องกันไม่ให้อาหารเน่าเสียได้ง่าย เป็นต้น ธาตุเงินพบอยู่ในแร่หลายชนิดเช่น อาร์เจนไทต์ (argentite;  $\text{Ag}_2\text{S}$ ) , คลอไรต์ (chlorargyrite;  $\text{AgCl}$ ) นอกจากนี้ยังพบปะปนอยู่ในแร่ของโลหะอื่น ๆ เช่น ทองแดง ทอง ตะกั่วและสังกะสี ดังนั้นโลหะเงินที่ผลิตได้ส่วนใหญ่จึงเป็นผลพลอยได้จากการแยกโลหะดังกล่าวให้ บริสุทธิ์ เงินบริสุทธิ์นำความร้อนและไฟฟ้าได้ดีกว่าโลหะอื่นทุกชนิด นอกจากนี้ยังเป็นโลหะที่กัดได้ง่ายจึงมีการนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นอย่างหลากหลาย

ธาตุเงินและสารประกอบของเงินมีสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคได้หลายชนิด แต่เมื่อนำมาทำให้มีขนาดเล็กลงจนอยู่ในระดับนาโนเมตรจะทำให้มีพื้นที่ผิวมากขึ้น จึงมีโอกาสสัมผัสกับเชื้อโรคมากขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการฆ่าเชื้อโรคเพิ่มขึ้นด้วย กลไกการฆ่าเชื้อโรคของอนุภาคเงินระดับนาโน ( $\text{AgNP}$ ) เริ่มจากการแตกตัวเป็นไอออน ( $\text{Ag}^+$ ) จากนั้นจะไป เกาะที่ผนังของเชื้อโรคและแทรกเข้าไป ภายในโดยไปเกาะกับหมู่ไทออล(-SH) ของเอนไซม์ที่ทำหน้าที่ เผาผลาญออกซิเจนและพลังงาน ทำให้เอนไซม์ไม่สามารถทำหน้าที่ได้ จึงทำให้เชื้อโรคขาดอาหารและตายในที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า  $\text{AgNP}$  ไม่มีผลกระทบต่อเซลล์ของสัตว์ชั้นสูงหรือเซลล์ของสัตว์ เลี้ยงลูกด้วยนม

จากสมบัติที่ดีดังกล่าวจึงได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์มากมายดังต่อไปนี้

- สิ่งทอ ได้มีการทำอนุภาคเงินให้แทรกเข้าไปในเส้นใยของสิ่งทอ เช่น พอลิโพรพิลีน ไนลอน เป็นต้น เพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เกิดจากการหมักหมมของเหงื่อบนผิวหนัง ซึ่งเหมาะกับการ นำไปใช้ผลิตเป็นเสื้อผ้าสำหรับนักกีฬา เครื่องแบบสำหรับทหาร ตำรวจ เป็นต้น

- เครื่องใช้ไฟฟ้า ผู้ผลิตเครื่องใช้ไฟฟ้าได้ทำการเพิ่มมูลค่าของสินค้า โดยนำอนุภาคเงินมาใช้ ใน ด้านของการฆ่าเชื้อโรคในเครื่องใช้ไฟฟ้าหลายชนิด เช่น เครื่องปรับอากาศ ตู้เย็น เครื่องซักผ้า

เครื่องดูดฝุ่น เป็นต้น เนื่องจากอนุภาคเงินเมื่อแตกตัวเป็นประจุแล้วสามารถ ฆ่าเชื้อโรคได้ ทั้งในอากาศและในน้ำ

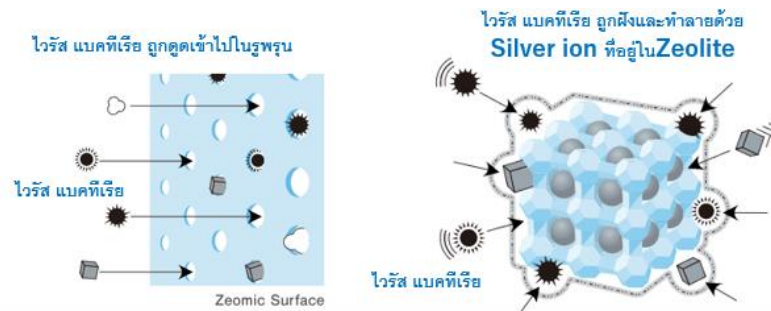
- สุขภัณฑ์ มีการนำอนุภาคเงินมาใช้ฆ่าเชื้อโรคในเครื่องสุขภัณฑ์โดยใช้เป็นสารเคลือบผิวสุขภัณฑ์ ซึ่งทำได้โดยการฉีดพ่นสารละลายของAgNPร่วมกับสารละลายของอนุภาคนาโนไทเทเนียมไดออกไซด์บนผิวของสุขภัณฑ์ที่ต้องการ จากนั้นนำไปเผาจะทำให้สารยับยั้ง เชื้อโรคและสุขภัณฑ์เป็นเนื้อเดียวกันและสมบัติในการฆ่าเชื้อโรคจะติดทนตลอดอายุการใช้งาน

- อุปกรณ์ทางการแพทย์ ได้มีการพัฒนาสารเคลือบที่เป็นโพลิเมอร์ที่มีประจุบวกตรึงด้วยอนุภาคของ ซิลเวอร์โบรไมด์ (AgBr) ซึ่งจะให้  $Ag^+$  ที่สามารถทำลายแบคทีเรียได้ทั้งแกรมบวกและแกรมลบทั้ง ที่อยู่บนพื้นผิวและในสารละลายจึงสามารถใช้ป้องกันการติดเชื้อจากอุปกรณ์ที่ใช้ทางการแพทย์ เช่น สายยางหรือท่อโลหะที่ใช้สอดเข้าไปในร่างกาย วัสดุเทียมที่ใช้แทนอวัยวะ หรือเนื้อเยื่อปลูกถ่าย เป็นต้น

**ทองแดง** เป็นวัสดุ ด้านจุลชีพ ตามธรรมชาติ ในยุคโบราณใช้ประโยชน์จากคุณสมบัติด้านจุลชีพของทองแดงมานานก่อนที่แนวคิดเรื่องจุลินทรีย์จะถูกเข้าใจในศตวรรษที่สิบเก้า นอกเหนือจากการเตรียมยาหรือเกี่ยวกับการแพทย์ ยังพบว่าศตวรรษที่ผ่านมาว่าน้ำที่มีอยู่ในภาชนะทองแดงหรือขนส่งในระบบการขนส่งผ่านท่อทองแดงมีคุณภาพที่ดีขึ้น (เช่น ไม่มีการก่อตัวของแบคทีเรียหรือจุลชีพ biofouling ) มากกว่าน้ำที่บรรจุหรือขนส่งผ่านท่อด้วยวัสดุอื่น คุณสมบัติด้านจุลชีพของทองแดงยังอยู่ภายใต้การวิจัยที่เข้มข้น นักวิทยาศาสตร์ยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงของโลหะผสมทองแดง “ผิวสัมผัส” เพื่อทำลายจุลินทรีย์หลากหลายชนิดที่ก่อให้เกิดผลกระทบที่ไม่ดีต่อสุขภาพของมนุษย์ จากการศึกษาและงานวิจัยพบว่าโลหะผสมทองแดงหรือทองเหลือง ที่มีส่วนผสมระหว่างทองแดงและสังกะสีนั้น มีความสามารถในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียพวกนี้ได้ ซึ่งก็ตรงกับความเชื่อของชาวเอเชียโบราณโดยเฉพาะในอินเดียและตะวันออกเฉียงที่นิยมนำน้ำเก็บไว้ในภาชนะที่ทำด้วยทองเหลือง โดยธาตุที่มีต่อการฆ่าเชื้อแบคทีเรียนั้นก็คือทองแดงนั่นเอง ไอออนของทองแดงที่ปลดปล่อยออกมาในน้ำนั้นจะไปรบกวนระบบชีววิทยาของแบคทีเรีย โดยการไปทำลายเยื่อหุ้มเซลล์ และมีผลต่อการทำงานของเอนไซม์ภายในเซลล์

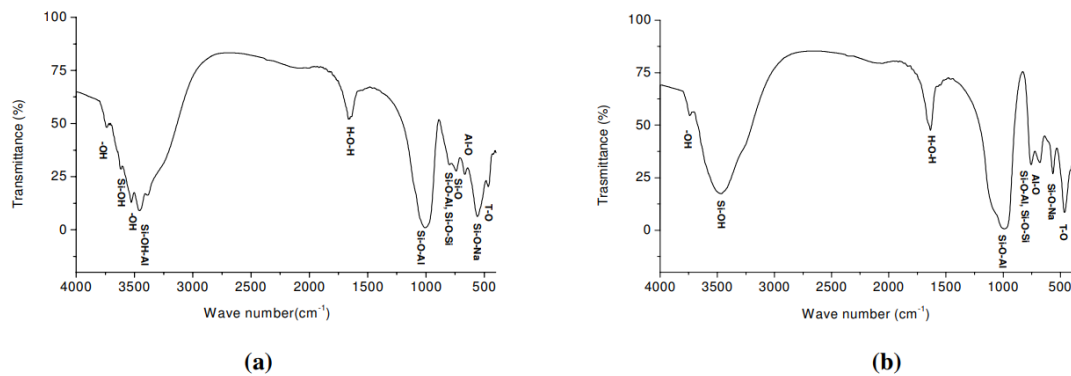
### 2.1.2 เทคโนโลยีโครงสร้างซีโอไลต์

ซีโอไลต์เป็นโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของหน่วยทรงสี่หน้าของซิลิเกตและอะลูมินต จากการทำตัวที่เป็นระเบียบดังกล่าวทำให้ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์เกิดมีรูพรุนและโพรงที่มีขนาดใหญ่เพียงพอกับการแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดกระบวนการดูดซับและคายซับโมเลกุลสารอินทรีย์จาก ขนาดเล็กจนถึงขนาด 1 นาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2-1



**รูปที่ 2-1** ลักษณะการทำงานของอนุภาคโลหะไอออนเมื่ออยู่ในโครงสร้างซีโอไลต์

มีงานวิจัยจำนวนมากได้ทำการตรวจสอบถึงลักษณะโครงสร้างทางเคมีโดยสังเกตจากตำแหน่งแถบอินฟราเรด FT-IR ซึ่งพบว่าจะมีพันธะ Si-O-Al ที่ wavenumber  $1,000\text{cm}^{-1}$  ทั้งซีโอไลต์ชนิด NaA และ ชนิด NaY ตามรูปที่ 2-2 ดังนี้



**รูปที่ 2-2** สเปกตรัม FT-IR ของรายละเอียด (a) NaA และ (b) faujasite NaY ซีโอไลต์

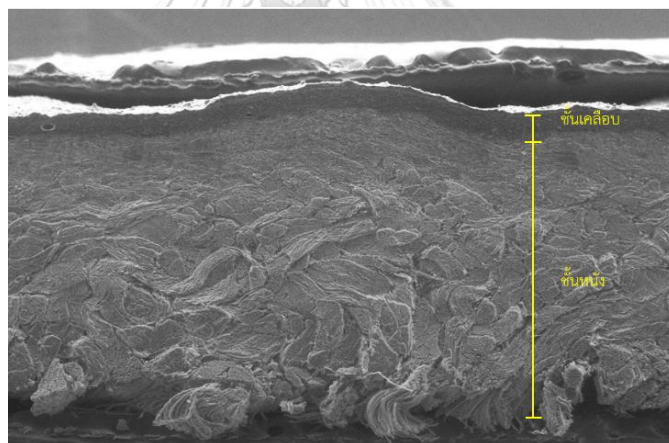
(Nibou et al., 2009)

จากสมบัติที่โดดเด่นของทั้งอนุภาคโลหะเงินและทองแดง และซีโอไลต์ที่กล่าวมานั้น หากทำให้ไอออนของโลหะเงินอยู่ในโพรงของซีโอไลต์แล้วนำไปผสมในสารเคลือบ สารเคลือบซิลเวอร์ซีโอไลต์จะมีประสิทธิภาพสูงเนื่องจากไอออนของเงิน ( $\text{Ag}^+$ ) จะทำหน้าที่ในการต้านเชื้อโรค และพื้นผิวซีโอไลต์จะเป็นตัวป้องกันการสัมผัสจากร่างกายโดยตรงเพื่อป้องกันการระคายเคืองจากคนที่มีการแพ้โลหะเงิน นอกจากนี้ยังเพิ่มเสถียรภาพของไอออนของเงิน ( $\text{Ag}^+$ ) เพื่อให้สามารถออกฤทธิ์ได้ยาวนาน ทางผู้วิจัยสนใจพัฒนาวิธีการเคลือบสารจากซิลเวอร์ซีโอไลต์เทคโนโลยีลงบนผิวของ

ผลิตภัณฑ์หนังหุ้มในรถยนต์ โดยใช้วิธีการเคลือบร่วมกับพอลิยูเรเทน การกระจายตัวและความเสถียรของไอออนของเงิน( $Ag^+$ )ในซีโพลิต์จะถูกทดสอบด้วยเทคนิคทางสเปกโทรสโกปีร่วมกับเทคนิคFTIR และตรวจสอบลักษณะทางกายภาพด้วยSEM-EDX การออกฤทธิ์เพื่อยับยั้งเชื้อโรคจะถูกทดสอบกับแบคทีเรียตามหลัก ASTM E2149-10 และการต้านไวรัส SAR-CoV2 ตามมาตรฐาน ISO21702

### 2.1.3 โครงสร้างของวัสดุหนังหุ้มแท้

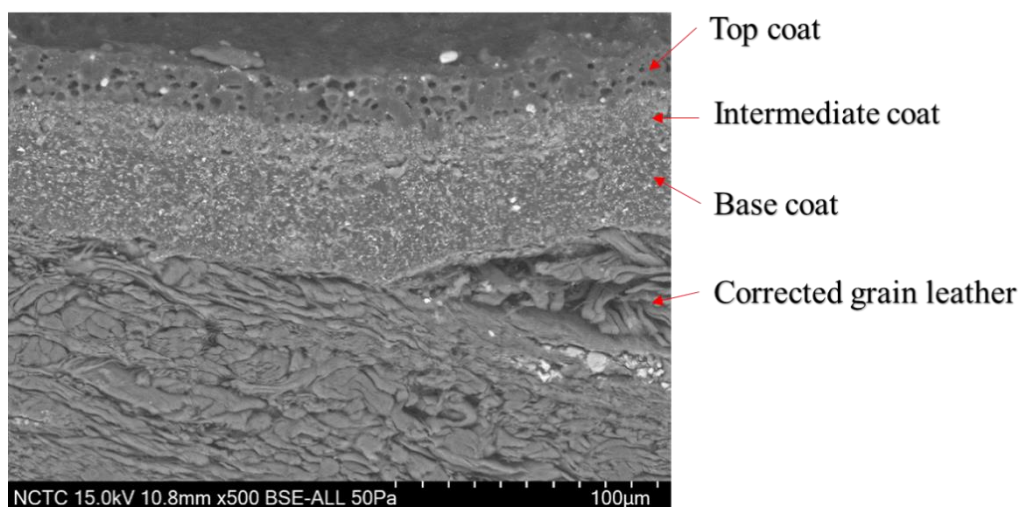
วัสดุหนังวัวฟอกด้วยสารโครเมียม เกรดอุตสาหกรรมรถยนต์ เลือกหนัง Full grain ที่เป็นหนังชั้นแรกที่มีลวดลายของหนังสัตว์ธรรมชาติอยู่ ทำการฟอกด้วยโครเมียม หลังจากผ่านกระบวนการฟอกหนังแล้วจะนำมาทำการเตรียมหนังพื้น (crust process) ตามสเปกที่ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุหนังทำเบาะรถยนต์โดยมีการควบคุมคุณภาพความหนาของตัววัสดุ 1.01-1.05 มิลลิเมตร หลังจากนั้นตกแต่งผิวโดยการฟ่งเงาเน้นลวดลายของตัวหนังขึ้นมาเองเก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิ 20-25 องศา ความชื้นไม่เกิน 55% เป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์หลังผลิต และมีคุณสมบัติอื่นๆตามมาตรฐาน ISO/TS16949:2009 ลักษณะโครงสร้างของหนังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์มีดังรูปที่2-3



**รูปที่ 2-3** ลักษณะโครงสร้างของหนังเกรดที่ใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์

ชั้นเคลือบทั่วไปของวัสดุหนัง จะทำมาจาก พอลิยูเรเทนเป็นหลักโดยมีไอโซไซยาเนตหรือคาร์โบดิเอไมด์เป็นตัวประสานเข้ากันแต่ละชั้น ซึ่งมีการเรียงชั้นเคลือบบนวัสดุหนังดังนี้





**รูปที่ 2-4** ชั้นของสารเคลือบบนวัสดุหนังแท้

ชั้นเคลือบที่อยู่ติดกับชั้นหนังแท้จะเรียกว่า Base coat เป็นชั้นที่มีหน้าที่ผสานชั้นหนังให้เข้ากับชั้นสีเคลือบ ชั้นถัดมาเรียกว่า color coat มีหน้าที่ให้สีผิวของหนังเนื่องจากการใส่เม็ดสีลงในชั้นนี้จำนวนมาก ให้คุณสมบัติความแข็งแรงของชั้นสี ความนุ่มเมื่อสัมผัส และการยึดติดระหว่างชั้น Base coat โดยมีส่วนประกอบหลักคือ พอลิยูเรเทน ตัวประสาน และเม็ดสีจำนวนมาก พร้อมทั้งสารเติมแต่งต่างๆ เพื่อให้ได้คุณสมบัติด้านการทนความร้อน (heat stabilizer) ทนแสงแดด (UV stabilizer)

ชั้นบนสุดที่มีชื่อว่า Top coat จะมีหน้าที่หลักเป็นคุณสมบัติเสริมต่างๆ เช่น ทนการขีดข่วน ทนการเปื้อน ทำให้มีการใส่สารเคมีที่บางยี่ห้อ ไม่ได้ใส่ แล้วแต่ความโดดเด่นของผลิตภัณฑ์ที่อยากให้มีคุณสมบัติพิเศษ เช่น การใส่สารอะคลิลิกเพื่อให้ทนต่อการขีดข่วน การใส่สารเคลือบที่มีประจุลบเพื่อคุณสมบัติที่ไม่กักเก็บฝุ่น หรือใส่สารเคลือบที่เป็น Hydrophilic เพื่อช่วยทำความสะอาดด้วยน้ำ เนื่องจากชั้นนี้เป็นชั้นบนสุดที่ได้รับการสัมผัสโดยตรงจากผู้ใช้งาน ดังนั้นจึงมีการเคลือบสารด้านเชื้อในชั้นนี้

#### 2.1.4 ชนิดของแบคทีเรีย

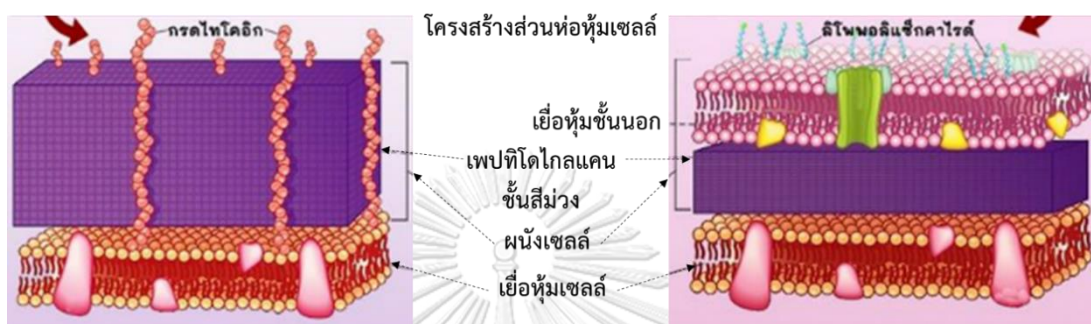
แบคทีเรียเป็นสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียวที่สามารถมีชีวิตอยู่ได้ด้วยตัวมันเอง เพราะสามารถสร้างอาหาร และสลายอาหารเป็นพลังงานเพื่อใช้ในเซลล์ได้ แบคทีเรียขยายพันธุ์ด้วยการแบ่งตัวทวีคูณ จากหนึ่งเซลล์เป็นสองเซลล์ จากสองเป็นสี่ จากสี่เป็นแปด เป็นอย่างนี้ต่อไปเรื่อยๆ โดยไม่จำเป็นต้องมีเพศผู้ เพศเมีย แบคทีเรียเป็นจุลชีพเซลล์เดียวจัดอยู่ในกลุ่มโพรคาริโอต (Prokaryote) ที่มีส่วนประกอบเช่นเดียวกับเซลล์ของสิ่งมีชีวิตอื่นทั่วไปแต่ไม่มีเยื่อหุ้มนิวเคลียส โดยมีส่วนประกอบหลัก

2 ส่วน คือ ส่วนผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ ผนังเซลล์จะเป็นผนังที่อยู่ชั้นนอกสุด มีความแข็งแรง และเปรียบเสมือนโครงกระดูกของแบคทีเรีย มีหน้าที่รักษาลักษณะและรูปร่างของแบคทีเรียเอาไว้ให้คงที่ ซึ่งโครงสร้างของผนังเซลล์นั้นจะแตกต่างกันไปในแต่ละสปีชีส์ของแบคทีเรีย ถัดจากผนังเซลล์เข้าไปจะเป็นเยื่อหุ้มบางๆ เรียกว่า เยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่ควบคุมการแลกเปลี่ยนสารอาหารต่างๆ และน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ และภายนอกเซลล์ของแบคทีเรียให้เหมาะสมในการดำรงชีวิต

ส่วนไซโทพลาซึม เป็นส่วนที่อยู่ถัดจากเยื่อหุ้มเซลล์เข้าไป ภายในไซโทพลาซึม ประกอบไปด้วยโปรตีน สารอาหารต่างๆ เช่น แป้ง ไขมัน และเอนไซม์ต่างๆ ที่ใช้ในการดำรงชีวิต นอกจากนี้ยังมีกรดนิวคลีอิก หรือดีเอ็นเอ ซึ่งบรรจุรหัสพันธุกรรมสำหรับควบคุมการดำรงชีวิต และการสืบพันธุ์ของแบคทีเรียแต่ละสายพันธุ์ไว้ด้วย แบคทีเรียบางสายพันธุ์มีความสามารถในการสร้างผนังเซลล์ที่มีความหนากว่าปกติล้อมรอบตัว เรียกผนังที่หนาเป็นพิเศษนี้ว่า สปอร์ หรือแคปซูล ซึ่งสปอร์จะทนความร้อน ความเย็น ความชื้น และมีชีวิตอยู่ได้นานหลายปี แม้ว่าจะไม่มีอาหารเลยก็ตาม แบคทีเรียขยายพันธุ์โดยไม่ต้องมีเพศผู้เพศเมีย เมื่อมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม มีอาหารสมบูรณ์ ก็จะสร้างส่วนต่างๆ ที่ใช้ในการดำรงชีวิตขึ้นมาอีกชุดหนึ่ง หลังจากนั้นก็จะสร้างผนังเซลล์ขึ้นมาล้อมรอบส่วนประกอบต่างๆ แต่ละชุด กลายเป็นสองเซลล์ จากสองเซลล์เป็นสี่เซลล์ จากสี่เซลล์เป็นแปดเซลล์ ไปเรื่อยๆ แบคทีเรียจะสังเคราะห์สารสำคัญไว้ในเซลล์ และแบ่งเป็นสองส่วนที่เหมือนกัน จากนั้นแต่ละส่วนจะถูกแยกออกจากกัน และมีผนังเซลล์มาห่อหุ้มไว้ในแต่ละส่วน จนกลายเป็นสองเซลล์ ซึ่งอาจจะแยกจากกันโดยเด็ดขาด หรือยังคงเชื่อมอยู่ด้วยกันก็ได้ เซลล์ที่แบ่งตัวแล้วจะมีลักษณะการจัดเรียงของโครงสร้างสารต่างๆ เหมือนกันทั้งสองเซลล์ กล่าวกันว่า ในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมของแบคทีเรียแต่ละชนิด สามารถแบ่งตัวทุกๆ 20-30 นาที ในขณะที่บางชนิดใช้เวลา 12-16 ชั่วโมงในการแบ่งตัวแต่ละครั้ง

อย่างไรก็ตาม อัตราการแบ่งตัว อาจถูกยับยั้งหรือช้าลง หากอยู่ในสภาพขาดสารอาหาร มีสารพิษ ของเสียที่เป็นอันตรายต่อแบคทีเรีย หรืออยู่ในอุณหภูมิที่ไม่เหมาะสม เช่น ไม่มีอากาศ หรือมีอากาศที่ไม่เหมาะสม และถ้ายังคงอยู่ในสภาพดังกล่าวเป็นเวลานาน แบคทีเรียจะหยุดเจริญเติบโต หยุดแบ่งตัว และตายในที่สุด ซึ่งหากแบ่งประเภทตามการย้อมติดสี นิยมใช้การย้อมติดสีแบบแกรม (Gram staining) เป็นการแบ่งแบคทีเรียออกเป็นแกรมบวก (Gram positive) และแกรมลบ (Gram negative) มาจากน้ำสีแกรมซึ่งเป็นสีน้ำชนิดหนึ่งหยดลงไปบนแบคทีเรีย จะทำให้ผนังเซลล์ของแบคทีเรียมีสีแตกต่างกัน ดังนี้

- แบคทีเรียที่ผนังเซลล์ติดสีแดง จัดเป็นแบคทีเรียประเภทแกรมลบ เช่น เชื้ออีโคไล
  - แบคทีเรียที่ผนังเซลล์ติดสีน้ำเงิน จัดเป็นแบคทีเรียประเภทแกรมบวก เช่น เชื้อแลคโตบาซิลลัส
- นอกจากสีแกรม ยังมีการใช้สีทกรด (Acid fast staining หรือ Ziehl-Neelsen staining) ในการแบ่งชนิด ซึ่งในทางการแพทย์ แบคทีเรียที่นิยมใช้การย้อมสีทกรดคือ *Mycobacterium tuberculosis* หรือ เชื้อวัณโรค นั่นเอง



**รูปที่ 2-5** ความแตกต่างของแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ

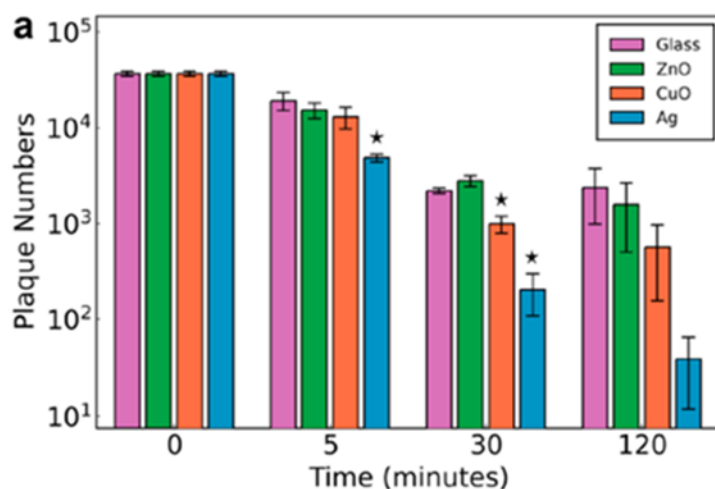
จากโครงสร้างของแบคทีเรียดังรูปที่ 2-5 พบว่าแบคทีเรียแกรมลบมีความซับซ้อนของผนังเซลล์มากกว่าทำให้มีการเข้าถึงภายในเซลล์ได้ยากกว่าแกรมบวก ดังนั้นจึงนิยมนำแบคทีเรียแกรมลบเป็นตัวอย่างที่ใช้ทดสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อของสารต่างๆที่สังเคราะห์ขึ้นมา

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.2.1 การประยุกต์ใช้ไอออนโลหะกับการต้านไวรัส

จากการศึกษาที่ตีพิมพ์ในช่วงห้าปีที่ผ่านมาและให้ตัวอย่างที่สำคัญคัดเลือกอนุภาคโลหะที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัสโดยมีตัวอย่างพอสังเขปดังนี้

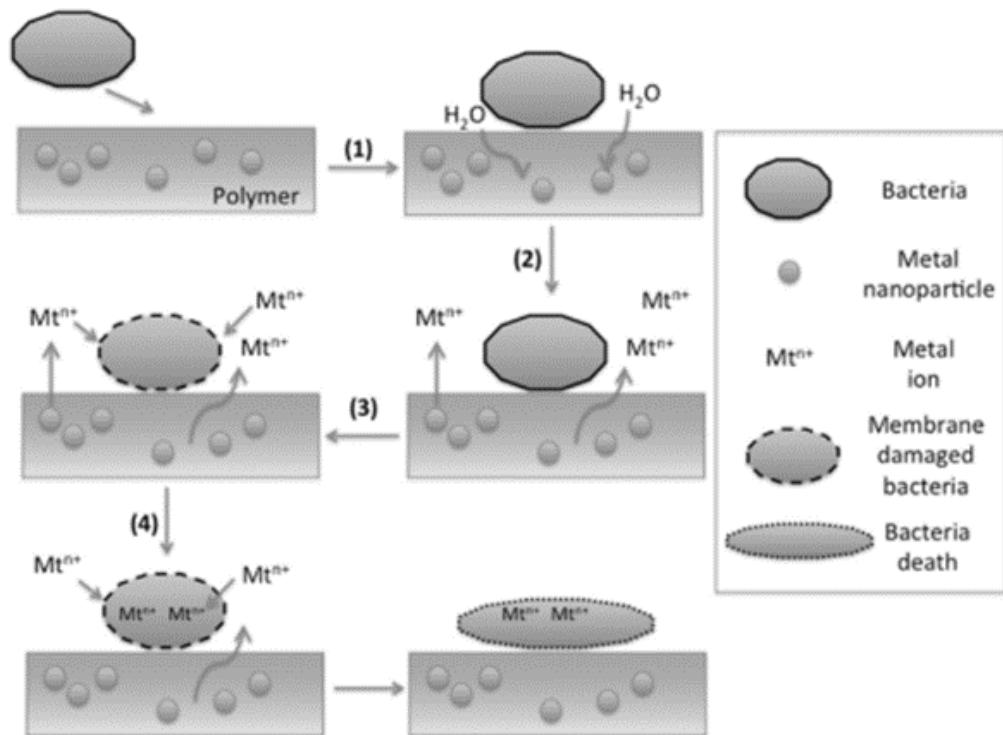
ในปี 2021 Padryk Merkl (Merkl et al., 2021) และคณะวิจัยทำการทดสอบประสิทธิภาพของอนุภาคโลหะ ที่มีผลต่อการต้านเชื้อแบคทีเรียและเชื้อไวรัส โดยใช้อนุภาคอนุภาคโลหะ 3 ชนิดคือ อนุภาคคอปเปอร์ออกไซด์ อนุภาคเงิน อนุภาคซิงค์ออกไซด์ ผลที่ได้พบว่า อนุภาคเงินมีประสิทธิภาพสูงสุดในการต้านแบคทีเรียและไวรัส รองมาคือ อนุภาคทองแดง ดังรูปที่ 2-6



**รูปที่ 2-6** ผลการมีอยู่ของเชื้อแบคทีเรียบนผิววัสดุแก้วที่ถูกเคลือบด้วยอนุภาคโลหะชนิดต่างๆ

จากงานวิจัยดังกล่าว ทางทีมวิจัยมุ่งเน้นในการใช้อนุภาคเงิน และอนุภาคทองแดง มาประยุกต์ใช้ในสารเคลือบพอลิยูเรเทนบนวัสดุหนึ่ง ซึ่งข้อจำกัดของไอออนโลหะซิลเวอร์นั้น คือการที่ไม่สามารถละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ไม่ดีบนสารเคลือบตัวทำละลายอินทรีย์เช่นสารพวกพอลิยูเรเทน จึงมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงวิธีการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโนให้สามารถละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ง่ายขึ้นเพื่อการกระจายตัวที่สม่ำเสมอจนได้ผลลัพธ์ที่ดี มีประสิทธิภาพในทุกพื้นที่ผิวหน้าของวัสดุ

ในปี2014 Humberto Palza (Palza, 2015) ได้ทำการศึกษาหลักการทำงานของสารเคลือบต้านเชื้อที่มาจากคอมโพสิตโพลีเมอร์ / โลหะที่ออกแบบมาให้มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อโดยมุ่งเน้นเป็นพิเศษกับอนุภาคนาโนทองแดงและโลหะเงิน ซึ่งทำการสรุปตามรูปที่2-7 ดังนี้



**รูปที่ 2-7** กลไกสำหรับพฤติกรรมการณ์ด้านจุลชีพของโพลิเมอร์ / โลหะนาโนคอมโพสิตตามเมทริกซ์เทอร์โมพลาสติก

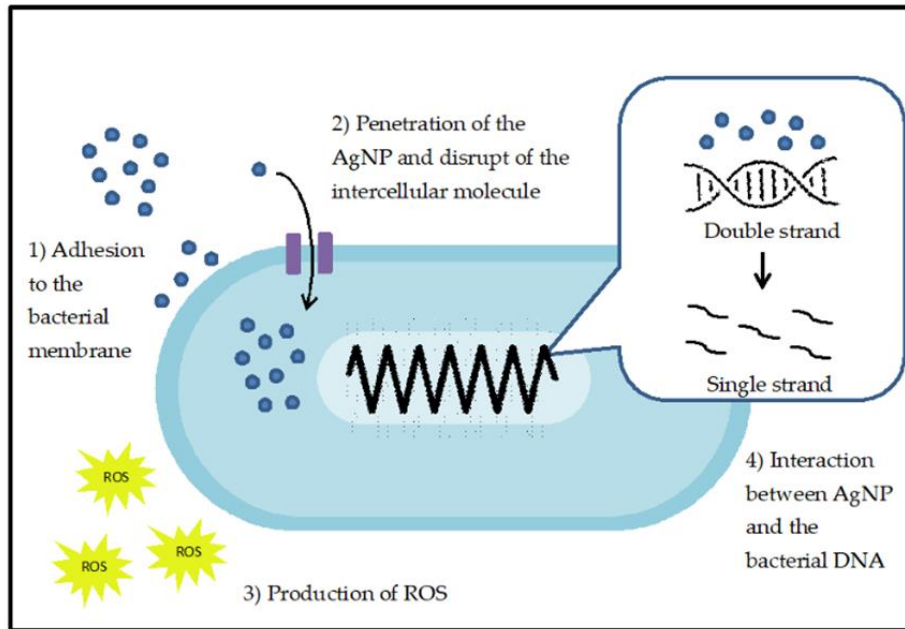
จากรูปที่ 2-7 สามารถอธิบายหลักการได้ดังต่อไปนี้

- (1) การดูดซับแบคทีเรียบนพื้นผิวโพลิเมอร์ที่ถูกกระตุ้นด้วยการแพร่กระจายของน้ำผ่านเมทริกซ์โพลิเมอร์
- (2) ออกซิเจนจากน้ำทำปฏิกิริยากับอนุภาคนาโนของโลหะทำให้ไอออนหลุดออกมา
- (3) ไอออนโลหะออกมาถึงพื้นผิวคอมโพสิตแล้วเกาะที่เยื่อหุ้มแบคทีเรีย
- (4) หลังจากนั้นไอออนโลหะสามารถกระจายเข้าไปในแบคทีเรียได้

รายละเอียดของกลไกเฉพาะอธิบายไว้ในรูปที่ 2-7 แม้ว่าตัวเลขนี้แสดงถึงโพลิเมอร์นาโนคอมโพสิต แต่ก็สามารถอนุมานกับวัสดุโพลิเมอร์ / โลหะใด ๆ ที่มีสารไปไอโซต์ฝังอยู่ในเมทริกซ์ได้เช่นกัน

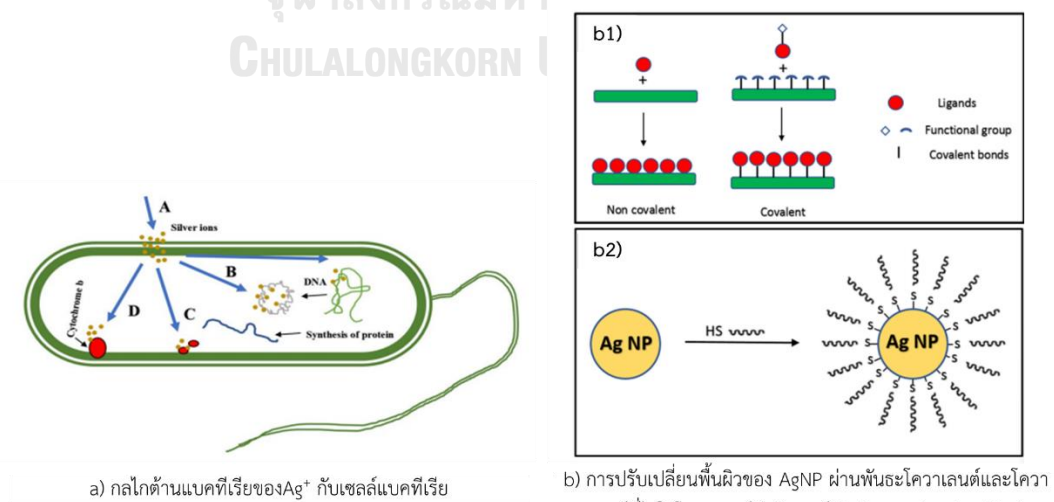
ในปี 2020 Atiqah Salleh (Salleh et al., 2020) และทีมงานได้ทำการทบทวนวรรณกรรมนี้เพื่ออธิบายกลไกพื้นฐานของ AgNPs ที่มีคุณสมบัติต้านไวรัสและกิจกรรมต้านเชื้อแบคทีเรียที่มีต่อจุลินทรีย์ AgNPs สามารถสังเคราะห์ได้ผ่านวิธีการที่แตกต่างกันสามวิธี ได้แก่ การสังเคราะห์ทางกายภาพเคมีและชีวภาพตามที่ระบุไว้ในบททบทวนวรรณกรรมนี้แอปพลิเคชันและข้อจำกัด ของ AgNPs เช่นความเป็นพิษต่อเซลล์ต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมจะกล่าวถึง จากการค้นหาวรรณกรรมที่ได้รับคุณสมบัติของ AgNPs ตรวจสอบฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรียหรือไวรัสแสดงปฏิสัมพันธ์ที่แตกต่างกัน

ต่อแบคทีเรียซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการสังเคราะห์ตามด้วยโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของ AgNPs ซึ่งโดยหลักการทำงานทั่วไปของ AgNP มีดังรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 แผนภาพแสดงหลักการทำงานต้านเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน

ในปี 2020 Abubaker Hamad (Hamad et al., 2020) และทีมงาน ได้ทำการเปรียบเทียบอนุภาคซิลเวอร์นาโนและซิลเวอร์ไอออนในด้านต้านเชื้อแบคทีเรียซึ่งพบว่ารูปแบบของซิลเวอร์ไอออนพิสูจน์ว่าสามารถต้านเชื้อแบคทีเรียไวรัสและเชื้อรามากกว่าซิลเวอร์นาโน

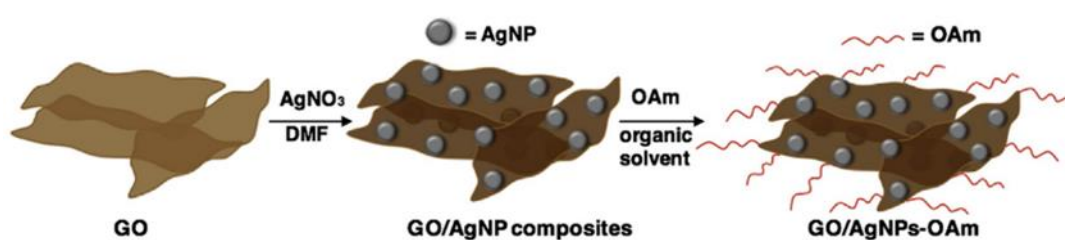


รูปที่ 2-9 แผนภาพเปรียบเทียบหลักการทำงานของซิลเวอร์ไอออนและซิลเวอร์นาโน

จากงานวิจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าส่วนใหญ่ซิลเวอร์ไอออนจะมีความสามารถในการติดเชื้อมากกว่าซิลเวอร์นาโน ทำให้สามารถฆ่าเชื้อได้มากกว่า เนื่องจากซิลเวอร์นาโน จะมีความเสถียรภาพมากกว่ารูปไอออน ดังนั้นจึงมีการศึกษาวิธีที่ทำการดัดแปลงซิลเวอร์นาโน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรีย เช่น การปรับ ขนาด รูปร่างและความเข้มข้นของซิลเวอร์นาโน

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการละลายอนุภาคโลหะในตัวทำละลายอินทรีย์ ได้ศึกษางานวิจัยเพิ่มเติมที่นำเสนอการสังเคราะห์หรือโครงสร้างที่ให้ซิลเวอร์นาโน สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายอินทรีย์ ซึ่งสรุปได้พอสังเขปดังนี้

ในปี 2017 นางสาวรพร วงษ์อุระ (Wong-u-ra et al., 2017) ได้ทำการพัฒนากระบวนการถ่ายโอน AgNPs ไปยังตัวทำละลายอินทรีย์โดยใช้ GO (Graphene Oxide) เป็นวัสดุตัวพา กระบวนการนี้มีเพียงสองขั้นตอนคือ การก่อกำตัวของ AgNPs บนพื้นผิว GO ผ่านปฏิกิริยาทางเคมีโดยใช้ DMF เป็นสารลดจากนั้นคอมโพสิต GO / AgNP ได้รับการแก้ไขพื้นผิวด้วย oleylamine (OAm) เพื่อเพิ่มความไม่ชอบน้ำของคอมโพสิต อนุภาค AgNP เหล่านี้บนแผ่น GO ไม่สามารถแยกออกได้โดยอัลตราโซนิค GO/ AgNP ที่ตกแต่งแล้วพร้อมโอเลลามีนเพื่อสร้าง GO / AgNPs-OAm จะกระจายตัวสูงในตัวทำละลายอินทรีย์เป็นเวลาอย่างน้อย 6 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามตะกอนของ GO / AgNPs-OAm สามารถกระจายตัวอีกครั้งโดยใช้อัลตราโซนิคโดยไม่มีการเบี่ยงเบนของ AgNPs วิธีการถ่ายโอนเฟสที่พัฒนาขึ้นนี้เปิดทางเลือกในการถ่ายโอน AgNPs ไปยังตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีความเรียบง่ายและมีประสิทธิภาพสูงนอกจากนี้ยังเหมาะสมที่จะปรับขนาดสำหรับการใช้งานในอุตสาหกรรม โดยมีโปรโตคอลโดยรวมในการถ่ายโอนดังนี้



**รูปที่ 2-10** การถ่ายโอน AgNPs ไปยังตัวทำละลายอินทรีย์โดยใช้ GO เป็นตัวพา

ในปี 2015 Isabel Maestre-Lopez (Lopez M, 2015) และคณะวิจัยอธิบายถึงการประเมินผลการต้านจุลชีพของหนังที่ใช้สำหรับการผลิตรองเท้าซึ่งได้มาจากเทคนิคการฟอกหนังที่แตกต่างกันและได้รับการรักษาด้วยอิมัลชันซิลเวอร์นาโน ที่สังเคราะห์จากรeducing agent ที่แตกต่างกัน (โซเดียมโบโรไฮไดรด์เจลาติน / กลูโคสและสารสกัดจากว่านหางจระเข้) รวมถึงการ

ประเมินซิลิกานานาโนคอมโพสิตที่ได้จากซิลเวอร์นาโน ดังกล่าว หลังจากลักษณะของซิลเวอร์นาโน และนาโนคอมโพสิตอิมัลชันถูกนำไปใช้กับตัวอย่างหนังที่แตกต่างกัน กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน สแกนถูกนำมาใช้เพื่อตรวจสอบว่าซิลเวอร์นาโน ที่อยู่บนพื้นผิวเส้นใยคอลลาเจนและภายในเมทริกซ์ คอลลาเจนของหนัง ผลด้านเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโน ที่แตกต่างกันและนาโนคอมโพสิตเงิน ได้รับการประเมินด้วยแบคทีเรียแกรมบวกและแบคทีเรียแกรมลบ ผลที่ได้พิสูจน์ให้เห็นถึงฤทธิ์ต้าน เชื้อแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพต่อสายพันธุ์แบคทีเรียทั้งหมดที่ผ่านการทดสอบของซิลเวอร์นาโน และซิลิกานานาโนคอมโพสิต สิ่งนี้ช่วยให้เราสามารถพิจารณาการรวมนาโนคอมโพสิตเหล่านี้เข้ากับ เครื่องหนังเป็นทางเลือกสำหรับผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์เพื่อให้ได้หนังที่มี คุณสมบัติต้านเชื้อซึ่งให้ฟังก์ชันการทำงานที่ดีขึ้นและเพิ่มมูลค่า กล่าวถึงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ เพื่อยับยั้งการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย อีกทั้งการใช้ซิลเวอร์นาโน คอมโพสิตจะไม่ส่งผลกระทบต่อ คุณสมบัติของหนัง เช่น แรงดึงและการฉีกขาด เมื่อเทียบกับการใช้อิมัลชันซิลเวอร์นาโน ที่ทำให้เกิด การเสื่อมสภาพที่เร็วกว่าอีกด้วย

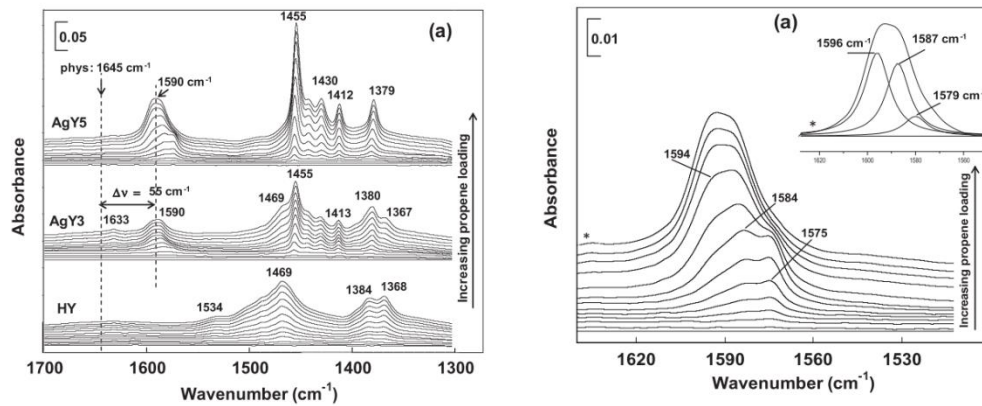
### 2.2.2 การประยุกต์ใช้โครงสร้างซีโอไลต์กับไอออนโลหะเพื่อการต้านไวรัส

เนื่องจากการใช้งานของผลิตภัณฑ์หนังหุ้มนี้เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานต้องสัมผัสอยู่บ่อยครั้ง จึงมี การศึกษางานวิจัยเพิ่มที่ประยุกต์ใช้โลหะไอออนกับซีโอไลต์ โดยเฉพาะอนุภาคซิลเวอร์เพื่อการใช้ งานด้านการต้านจุลชีพบนผิววัสดุรูปแบบต่าง ๆ เช่น ซิลเวอร์ซีโอไลต์ธรรมชาติ, ซิลเวอร์ซีโอไลต์ สังเคราะห์ ซึ่งสามารถสรุปได้พอสังเขปดังนี้

ในปี 2011 Benaliouche (Benaliouche et al., 2012) ได้ทำการศึกษาผลของการ ตรวจสอบทั้งองค์ประกอบและโครงสร้างของซีโอไลต์ที่แลกเปลี่ยนนั้นดำเนินการโดยการวิเคราะห์ ธาตุการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์แบบผง (XRD) และการดูดซับไนโตรเจน porosimetry การ ตรวจสอบความเป็นกรดจะดำเนินการโดยใช้ฟูรีเยร์แปลงอินฟราเรดสเปกโทรสโกปี (FTIR) ของการ ดูดซับไพรีดีน การดูดซับ Propene เหนือซีโอไลต์ที่แลกเปลี่ยนไอออนของ Ag และ Cu ได้ ทำการศึกษาที่อุณหภูมิห้องโดยใช้สเปกโทรสโกปี FTIR ในแหล่งกำเนิด การวิเคราะห์ XRD แสดงให้ เห็นถึงการคงสภาพโครงสร้าง zeolitic ที่ดีหลังจากการแลกเปลี่ยนไอออนิกแม้ในระดับการ แลกเปลี่ยนสูง การวัดรูพรุนจะบ่งชี้ถึงการเพิ่มขึ้นขององศาการแลกเปลี่ยนไอออน Ag และ Cu นำไปสู่การลดลงของปริมาตรรูพรุนและพื้นที่ผิวที่เฉพาะเจาะจง การประเมินความเป็นกรดสำหรับ โลหะที่แลกเปลี่ยนทั้งสองชนิดแสดงให้เห็นถึงความเป็นกรดของ Brønsted ที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ



และความเป็นกรดของลูอิสที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยซึ่งเห็นได้ โมเลกุลของโพรพีนมีปฏิสัมพันธ์อย่างรุนแรงกับ  $\text{Cu}^{2+}$  มากกว่า  $\text{Ag}^+$  รูปร่างของแถบยืด  $\text{C}=\text{C}$  ของสเปกตรัม FTIR เกี่ยวข้องกับแถบที่ทับซ้อนกันอย่างน้อยสองแถบซึ่งบ่งชี้ว่าพันธะ  $\text{C}=\text{C}$  ของโพรพีนอาจได้ตอบกับไซต์  $\text{Ag}^+$  กับพันธะโพรพีนต่างๆ ดังรูปที่ 2-11



**รูปที่ 2-11** สเปกตรัม IR ในบริเวณโหนดการตัด CH ที่บันทึกไว้หลังจากการดูดซับของปริมาณโพรพีนที่เพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิห้อง ซีโอไลต์ Y ที่แลกเปลี่ยน  $\text{Ag}^+$

ในปี 2012 Surachai (Limpakdee, 2012) ได้ทำการศึกษาผลของการแลกเปลี่ยนประจุของคอปเปอร์กับประจุของโซเดียมในซีโอไลต์และมีการปรับสัดส่วนเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย วัตถุประสงค์ที่มีการใช้คอปเปอร์ร่วมกับซิลเวอร์เพื่อขจัดปัญหาเรื่องสีที่ไม่คงตัวเมื่อใช้ซิลเวอร์ซีโอไลต์ จากการทดลองพบว่าซิลเวอร์มีการแลกเปลี่ยนไอออนที่ดีกว่าคอปเปอร์ และสัดส่วนที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรียคือ  $\text{Ag}:\text{Cu}$  เป็น 2:1 ซึ่งเป็นสัดส่วนเดียวที่มีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อแบคทีเรีย

ในปี 2013 Selami Demirci (Demirci et al., 2014) และคณะวิจัยทำการศึกษาซีโอไลต์เป็นอะลูมินาซิลิเกตที่มีรูพรุนระดับนาโนเมตรซึ่งประกอบด้วยซิลิกอน อลูมิเนียม และออกซิเจนในโครงสร้างที่มีน้ำภายในรูพรุน ปริมาณไอออนบวกเหล่านี้สามารถแลกเปลี่ยนกับไอออนโมโนวาเลนต์หรือไดวาเลนต์ได้ ในการศึกษาครั้งนี้ คุณสมบัติของสารต้านจุลชีพ (ต้านแบคทีเรีย ยาด้านเชื้อรา และเชื้อรา) ของซีโอไลต์ชนิด X และ A ที่มีอัตราส่วน  $\text{Al}/\text{Si}$  ต่างกัน ที่มีการแลกเปลี่ยนกับไอออน  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  และ  $\text{Cu}^{2+}$  ถูกตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์เรย์ เพื่อดูความสามารถในการและเปลี่ยนไอออนของซีโอไลต์และเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพในการต้านจุลชีพของจุลินทรีย์ (รวมทั้งแบคทีเรีย ยีสต์ และเชื้อรา) พบว่าซีโอไลต์ที่มีการแลกเปลี่ยน

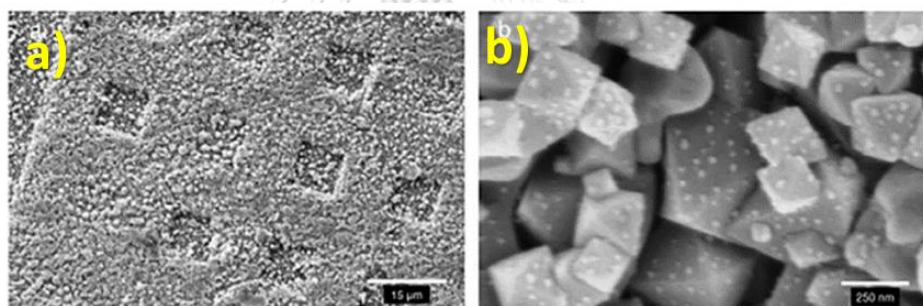
ด้วยซิลเวอร์ไอออน แสดงฤทธิ์ต้านแบคทีเรียมากกว่าเมื่อเทียบกับตัวอย่างซีโอไลต์ที่แลกเปลี่ยนด้วยไอออนโลหะอื่น ๆ ผลการวิจัยนี้สนับสนุนว่าซีโอไลต์ที่มีการแลกเปลี่ยนไอออนกับไอออน  $Ag^+$ ,  $Zn^{2+}$  และ  $Cu^{2+}$  เพื่อให้ได้คุณสมบัติต้านจุลชีพหรือลักษณะการปลดปล่อยไอออนเพื่อให้ออกฤทธิ์ยาวนานขึ้นหรือแข็งแรงขึ้น การศึกษาในปัจจุบันชี้ให้เห็นว่าสูตรซีโอไลต์สามารถใช้ร่วมกับวัสดุต่างๆ ที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ทางการแพทย์ พื้นผิว สิ่งทอ หรือของใช้ในครัวเรือนที่ต้องการคุณสมบัติต้านจุลชีพ

ในปี 2014 Duangkamon Jiraroj (Jiraroj et al., 2014) และคณะวิจัยทำการศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียระหว่างซิลเวอร์ไอออนในโพรงซีโอไลต์ เปรียบเทียบกับ ซิลเวอร์อนุภาคนาโนในโพรงซีโอไลต์ ผลการศึกษาพบว่า การพัฒนาซีโอไลต์ โดยการชุบที่มีความเข้มข้นที่แตกต่างกันของซิลเวอร์ไอออน เมื่อเทียบกับซิลเวอร์นาโน โดยการแลกเปลี่ยนไอออนกับความเข้มข้นที่แตกต่างกันของสารละลายไนเตรตเงิน (25-200 มก./ลิตร) ในขณะที่ AgNPs ถูกเตรียมไว้ในภายหลังโดยการลด  $Ag^+$  ชุบด้วยโซเดียมโบโรไฮไดรด์ การเพิ่ม  $Ag^+$  และ AgNPs ไม่มีผลกระทบที่เห็นได้ชัดต่อโครงสร้าง NaA และยังพบอีกว่า AgNP-NaA แสดงจุดสูงสุดในการดูดซับกว้างทั่วไปที่ 394 นาโนเมตรที่ขาดหายไปในการคอมโพสิต  $Ag^+$ -NaA นอกจากนี้คอมโพสิต  $Ag^+$ -NaA มีประสิทธิภาพต้านเชื้อแบคทีเรียที่สูงขึ้นอย่างมากต่อ *E. coli* มากกว่าคอมโพสิต AgNP-NaA ในขณะที่ความเข้มข้นสูงสุดที่ 3 ชั่วโมง

ในปี 2017 Siti Aishah (Hanim et al., 2017) และคณะวิจัยทำการศึกษา Ag-zeolite NaY ผลการศึกษาพบว่าการทำงานที่ของ Ag-zeoliteNaY ช่วยปรับปรุงฤทธิ์ต้านแบคทีเรีย (*Escherichia coli* ATCC11229 และ *Staphylococcus aureus* ATCC6538) โดยเฉพาะในสารละลายที่มีอิเล็กโทรไลต์ (น้ำเกลือ) แม้ว่าจะมีพื้นที่ผิวที่ต่ำกว่าปริมาณของรูพรุน การทำงานของซีโอไลต์นี้จะทำงานผ่านอะมิโนไซเลนที่มีการปรับปรุงหมู่ฟังก์ชันเอมีนบนโครงสร้างซีโอไลต์ หมู่เอมีนสามารถถูกโปรตอน ซึ่งเปลี่ยนประจุที่พื้นผิวของซีโอไลต์จากลบเป็นบวก การทำงานนี้ยังส่งเสริมการยึดเกาะและการมีปฏิสัมพันธ์กับแบคทีเรียที่มีประจุลบและด้วยเหตุนี้จึงสามารถปรับปรุงฤทธิ์การฆ่าเชื้อแบคทีเรียได้ จากการศึกษาในปัจจุบันพบว่า พื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุน และปริมาณการปล่อยเงินของซีโอไลต์ที่ทำหน้าที่ได้ไม่ส่งผลต่อฤทธิ์ต้านแบคทีเรียของวัสดุ.

ในปี 2019 Prabir Dutta (Dutta & Wang, 2019) และคณะวิจัยทำการศึกษาการใช้งานที่แตกต่างกันของอนุภาคเงินในรูปแบบต่าง ๆ และกลไกการปล่อยอนุภาคเงินออกมาจากผลิตภัณฑ์ที่ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม จากโครงสร้างอลูมิโนซิลิเกตของซีโอไลต์มีประจุลบ ดังนั้นประจุซิลเวอร์

ไอออน สามารถรวมเข้าด้วยกันได้อย่างง่ายโดยการแลกเปลี่ยนไอออนระหว่างซิลเวอร์นาโน ที่ยึดกับซีโอไลต์ งานวิจัยนี้เป็นการเน้นการปรับปรุงสัดส่วนซิลเวอร์ไอออนในโครงสร้างซีโอไลต์ที่แตกต่างกัน และการประยุกต์ใช้ซิลเวอร์ซีโอไลต์ในผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น พอลิเมอร์ สิ่งทอ สารเคลือบโลหะ การวิจัยเกี่ยวกับวัสดุทางทันตกรรม/การแพทย์ ตลอดจนผลิตภัณฑ์เพื่อสิ่งแวดล้อม ข้อสรุปของการประยุกต์ใช้ซีโอไลต์กับพอลิเมอร์คอมโพสิต พบว่าคุณสมบัติของพอลิเมอร์ดีขึ้นเมื่อรวมตัวซีโอไลต์ โดย Kaali และคณะ ได้ทดลองนำ  $Ag^+$ -ซีโอไลต์ A (ซีโอไมก) ไว้ในโพลียูรีเทน พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณ  $Ag^+$ -ซีโอไลต์ (1-5 wt%) ส่งผลให้ปรับปรุงฤทธิ์ต้านจุลชีพที่ดีขึ้น นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการแลกเปลี่ยนไอออน  $Ag^+$ ,  $Zn^{2+}$  และ  $Cu^{2+}$ -กับซีโอไลต์ (ไอออนเดี่ยว เลขฐานสอง และไอออนไตรภาค) ในโพลียูรีเทน พบว่าตัวอย่างที่มี การแลกเปลี่ยนกับ  $Ag^+$  แสดงการยับยั้งที่จุลชีพที่ดีที่สุด นอกจากนั้น การรวมตัวของซีโอไลต์จะไปเปลี่ยนการดูดซึมน้ำของยูรีเทนเนื่องจากลักษณะที่ชอบน้ำของซีโอไลต์ ทำให้ซีโอไลต์ที่ย้ายไปยังพื้นผิวของพอลิเมอร์ดีขึ้น โดยวัดจากมุมสัมผัสของพอลิเมอร์ลดลงตาม ฟังก์ชันของเวลาเมื่อสัมผัสกับของเหลว



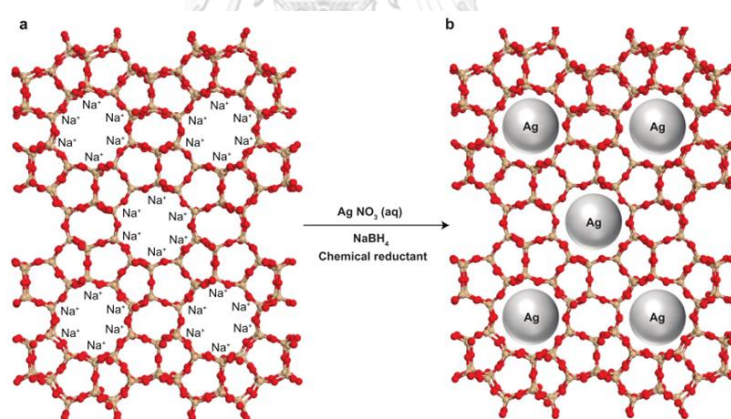
**รูปที่ 2-12** Micrograph SEM ของ (a) ฟิล์์มซีโอไลต์หลังจากการเจริญเติบโตของอนุภาคเงินและ (b) ภาพขยายของพื้นผิวแสดง AgNP

ในปี 2021 Melissa S. Blevens (Blevens et al., 2021) และคณะวิจัยทำการศึกษา มี หน้ากาก 21 ยี่ห้อที่อ้างว่าใส่สารเคลือบอนุภาคเงินและมีหลักฐานยืนยัน งานวิจัยมีการสัมภาษณ์ การยืนยันสองยี่ห้อ (A และ B) ถูกตรวจสอบเพื่อระบุการมีอยู่ของอนุภาคเงิน การยืนยัน Mask A ใช้ ซิลเวอร์ไอออนและคอปเปอร์ไอออนที่ติดกับอนุภาคซีโอไลต์ อนุภาคซีโอไลต์ที่ค้นพบผ่าน SEM คือ เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 90-200 นาโนเมตรแต่ไม่พบอนุภาคเงินทั้งๆที่ ผู้ผลิตหน้ากากนี้ใช้ เทคโนโลยีชื่อ AgION ในสารละลายเพื่อเคลือบหน้ากาก อ้างว่าเป็นซิลเวอร์ไอออนและคอปเปอร์ ไอออนติดอยู่กับซีโอไลต์ เนื่องจากตรวจไม่พบเงินในหน้ากาก A ผ่านการวิเคราะห์ SEM EDS จึงใช้

การวิเคราะห์ TEM กับตัวอย่างของมาสก์หน้า ซึ่งได้รับการเผาไหม้ TGA TEM ของเก่า TGA ยังไม่สามารถยืนยันการมีอยู่ของเงินได้ แต่ในหน้ากาก B พบอนุภาคของเงินและไททาเนียมที่ขนาด 250 นาโนเมตร

### 2.2.3 การพัฒนาวัสดุหนังที่มีการเคลือบสารต้านเชื้อ

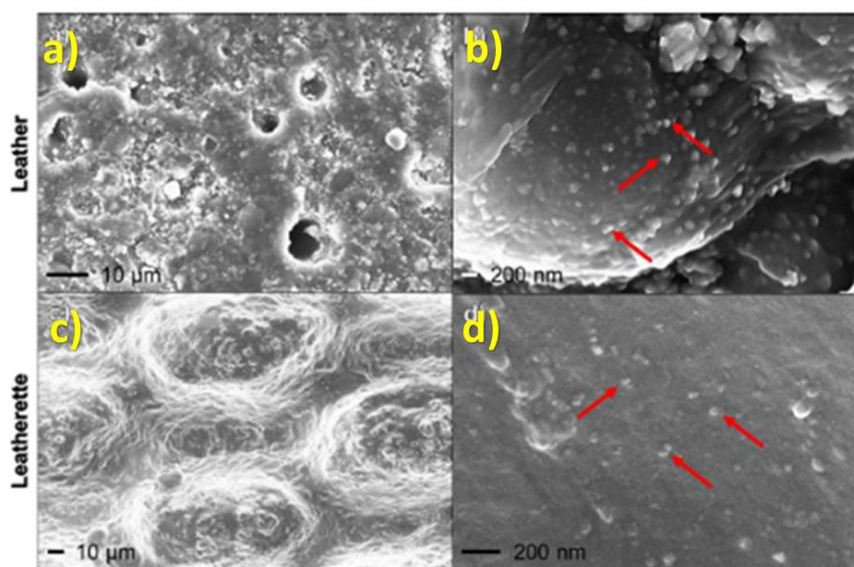
ในปี 2011 Kamyar Shamel (Shameli et al., 2011) และคณะวิจัยใช้วิธีการลดอนุภาคซิลเวอร์สังเคราะห์ลงในกรอบซีโอไลต์ ซิลเวอร์ไอออนจากซิลเวอร์ไนเตรต และโซเดียมโบโรไฮไดรด์ถูกนำมาใช้เป็นสารตั้งต้นเพื่อรีดิวซ์ไอออนเพื่อนำเข้าสู่ซีโอไลต์ที่มีรูพรุน ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ซิลเวอร์เปลี่ยนจากไอออนเป็นอนุภาคนาโนซึ่งมีรูปร่างทรงกลมที่มีความเป็นเนื้อเดียวกันในขนาดอนุภาค ส่วนประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของซิลเวอร์นาโนในซีโอไลต์ถูกตรวจสอบกับแบคทีเรียแกรมลบ (*Escherichia coli* และ *Shigella dysenteriae*) และแบคทีเรียแกรมบวก (*Staphylococcus* และ *Staphylococcus aureus*) พบว่ามีฤทธิ์ต้านเชื้อแบคทีเรีย ผลลัพธ์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่า Ag NPs ในกรอบซีโอไลต์มีประโยชน์ในการวิจัยทางชีวภาพที่แตกต่างกันและการประยุกต์ใช้ชีวการแพทย์



**รูปที่ 2-13** ภาพประกอบแผนผังของการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน ลงในกรอบซีโอไลต์โดย *reducing* ด้วย  $\text{NaBH}_4$

ในปี 2013 Kyung Wha Oh (Oh & Lim, 2013) หนังวัวเคลือบด้วยฟิล์มโพลียูรีเทนที่มีสารไวแสงอินทรีย์ต่างๆได้รับการตรวจสอบเพื่อแสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต้านเชื้อ ตัวอย่างหนังที่ผ่านการบำบัดแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียที่ดีภายใต้แสง UVA ผลต้านเชื้อสำหรับ *Staphylococcus aureus* ดีกว่า *Escherichia coli*. นอกจากนี้การตกแต่งด้วยยูรีเทนยังแสดงให้เห็นถึงความทนทานต่อการขัดถูที่มีประสิทธิภาพ ผลโดยรวมระบุว่า DHBP เป็นสารเติมแต่งเคลือบ PU ที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้คุณสมบัติด้านจุลชีพแก่หนังรวมถึงสีและพื้นผิวมากกว่า MK, MB และ BP

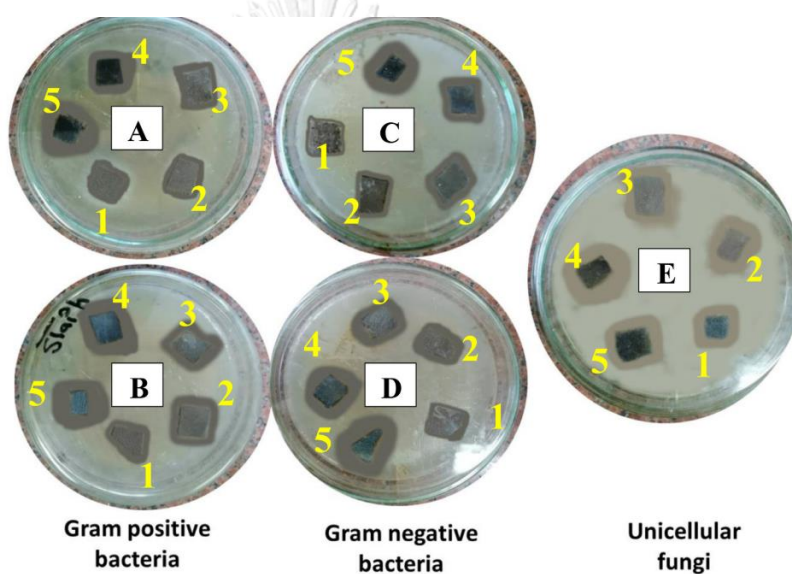
ในปี 2017 Maria Chiara Sportelli (Sportelli et al., 2017) ทำการพัฒนาสารเคลือบต้านเชื้อแบคทีเรียบนหนังฟอกและหนังเทียมยูรีเทนซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์และรองเท้าด้วยซิลเวอร์นาโน ด้านเชื้อแบคทีเรีย (AgNPs) องค์ประกอบทางเคมีพื้นผิววัสดุได้รับการตรวจสอบในรายละเอียดโดยสเปกโตรสโคปีเอกซเรย์โฟโตอิเล็กตรอน (XPS) ความสามารถในการต้านเชื้อแบคทีเรียของวัสดุได้รับการตรวจสอบกับ *Escherichia coli* และ *Staphylococcus aureus* การวิเคราะห์ SEM และ XPS แสดงให้เห็นว่ากระบวนการมีประสิทธิภาพสำหรับการสะสม AgNPs ลงบนพื้นผิวทั้งสองโดยไม่เปลี่ยนองค์ประกอบทางเคมีพื้นผิวอย่างมีนัยสำคัญ ความปลอดภัยของวัสดุได้รับการประเมินผ่านการทดสอบความเข้ากันได้ทางชีวภาพซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ที่เกี่ยวข้องกับการปล่อยเงินจากการเคลือบผิว



**รูปที่ 2-14** การสแกนกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของผิวหนังแท้ดัดแปลง Ag ((a, b) กำลังขยายที่แตกต่างกัน) และแผงหนังเทียม ((c,d) กำลังขยายที่แตกต่างกัน) ลูกศรเน้นกระจุกอนุภาคนาโนที่บนพื้นผิวตัวอย่าง

ต่อมาปี 2021 Hamed Elsayed (Elsayed et al., 2021) และทีมงาน พัฒนาพื้นผิวหนังมัลติฟังก์ชันของหนังได้มาจากการสะสมของอนุภาคนาโนเงิน (Ag NPs) บนพื้นผิวหนังโดยใช้ไตรโซเดียมซัลไฟด์ (TSC) โดย TSC ทำหน้าที่เป็นทั้งตัว reducing agent และรักษาเสถียรภาพ ตัวอย่างหนังที่ผ่านการบำบัด (Leather / Ag NPs) ได้รับการประเมินโดยเครื่องมือต่าง ๆ รวมถึง SEM, EDX, ATR-FTIR, XRD, TGA ผลกระทบของ Ag NPs ต่อสีการป้องกันรังสียูวีและคุณสมบัติต้านจุลินทรีย์ของพื้นผิวหนังได้รับการประเมิน ผลการวิจัยเปิดเผยว่าอนุภาคนาโนส่วนใหญ่เป็นรูปทรงกลมกระจายอย่างสม่ำเสมอและยึดติดกับพื้นผิวหนังอย่างใกล้ชิด การกระจายขนาดอนุภาคนาโนของอนุภาคนาโน

บนพื้นผิวหนังอยู่ในช่วง  $55 \pm 17$  และ  $130 \pm 16$  นาโนเมตรสำหรับหนังที่มี Ag NPs (300 ppm) และหนังที่มี Ag NPs (1000ppm) ตามลำดับ ตัวอย่างหนัง / Ag NPs ได้รับการเปิดเผยคุณสมบัติสีที่ดีในแง่ของความเป็นเนื้อเดียวกันของสีความแข็งแรงและคุณสมบัติความคงทนที่ดีเยี่ยม ตัวอย่างหนังที่มี Ag NPs ถูกจัดแสดงเป็นสีเหลืองน้ำตาล ตัวอย่างหนัง / Ag NP มีปริมาณซิลเวอร์สูงสุด ( $1849 \pm 3$  มก. / กก.) และค่า UPF สูงกว่ามาก ( $478 \pm 3$ ) มากกว่าตัวอย่างอื่น ๆ นอกจากนี้ตัวอย่างหนังที่มี Ag NPs ยังแสดงให้เห็นประสิทธิภาพการต้านจุลชีพในวงกว้างกับจุลินทรีย์ที่แตกต่างกัน ตัวอย่างหนังที่มี Ag NPs (1000 ppm) แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต้านจุลชีพที่ยอดเยี่ยมพร้อมประสิทธิภาพในการลดแบคทีเรีย 100% ต่อแบคทีเรียแกรมบวกและแกรมลบและประสิทธิภาพการลดเชื้อรามากกว่า 93%



**รูปที่ 2-15** สารต้านเชื้อผ่านวิธีการแพร่กระจายบนแผ่นกับเชื้อ *Bacillus subtilis* (A); *Staphylococcus aureus* (B); *เอสเชอริเชียโคไล* (C); *Pseudomonas aeruginosa* (D) และ *Candida albicans* (E) หนังเปล่า (1); หนังอ้างอิง (2); หนัง / Ag NPs 300 ppm (3); หนัง/Ag NPs 500 ppm (4) และหนัง/Ag NPs 1000 ppm (5)

#### 2.2.4 การคัดเลือกเทคโนโลยีจากงานวิจัย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสารเคลือบวัสดุที่มีฤทธิ์ต้านเชื้อ ซึ่งเป็นต้นเหตุของการระบาดเชื้อไวรัสแบคทีเรีย และโรคติดต่อต่างๆ มีภายใน 2 ปีนี้ ถือว่ามีงานวิจัยที่หลากหลายเกี่ยวกับสารต้านเชื้อ งานวิจัยที่กล่าวมา แสดงให้เห็นว่ามีนักวิจัยจำนวนมากไม่น้อยที่สนใจทดลองเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีซีโอไลต์กับโลหะไอออน สามารถสรุปโดยรวมได้ว่า ซิลเวอร์ซีโอไลต์ให้ประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงสุด เมื่อเทียบกับโลหะไอออนตัวอื่น แต่ยังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่พูดถึงการยับยั้งแบคทีเรียและเชื้อไวรัสบนสารเคลือบพอลิยูเรเทนเพื่อวัสดุหนังเนื่องจากความยุ่งยากของกระบวนการเคลือบ

เนื่องจากไอออนโลหะมีการรวมตัวกันเป็นกลุ่มก้อนและไม่สามารถละลายในสารอินทรีย์ ทำให้เกิดการกระจายตัวได้น้อยในสารเคลือบ เพื่อการศึกษาในครั้งนี้ จึงมีการพิจารณาการเลือกใช้เทคโนโลยีที่นำมาศึกษาต่อตามหลักเกณฑ์ต่างๆดังตารางต่อไปนี้

**ตารางที่ 1** ตารางแสดงการคัดเลือกเทคโนโลยีสารเคลือบต้านไวรัสตามเกณฑ์ต่างๆ

เป้าหมายและเกณฑ์การคัดเลือก		เทคโนโลยีจากงานวิจัย					
		ไอออนโลหะ				อนุภาคโลหะ ขนาดนาโนAgNP	ประยุกต์ใช้ โลหะกับ โพรงซี โอไลต์
		Zn+	Cu+	Au+	Ag+		
A	ประสิทธิภาพในการต้านเชื้อ (5= มีประสิทธิภาพสูง)	3	4	5	5	5	5
B	รักษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อได้แม้ผ่านการใช้ งานในสภาวะต่างๆ (5= มีประสิทธิภาพสูง)	1	1	1	1	5	N/A
C	ไม่ระคายเคืองต่อผิว (5= มีประสิทธิภาพสูงปลอดภัยต่อผิวสัมผัสมนุษย์)	5	3	4	4	4	5
D	ยากต่อการเลียนแบบ (5= ยากมาก)	3	3	3	3	4	5
E	ความโดดเด่นของเทคโนโลยี (5= มีความโดดเด่น)	3	3	3	3	4	5
F	มีความเข้ากันกับวัสดุหนึ่ง กระจายตัวได้ง่าย (5= มีความเข้ากันกับสารเคลือบ)	1	1	1	1	3	5
G	คู่แข่งในอุตสาหกรรมเอเชีย (5= คู่แข่งน้อย)	3	3	4	4	4	4
H	สินค้าทดแทน (5= มีสินค้าทดแทนง่าย)	3	3	3	3	3	3
I	การใช้เงินลงทุนต่ำ (5= ลงทุนต่ำ)	4	4	3	3	4	5
J	การผ่านมาตรฐานรองรับ (FDA, BPR, EPA)	N/A (ยังไม่มีกรอ้างอิงในงานวิจัย จึงไม่สามารถให้คะแนนได้)					
<b>คะแนนรวมเพื่อการประเมิน</b>		<b>26</b>	<b>25</b>	<b>27</b>	<b>27</b>	<b>36</b>	<b>37</b>

จากผลคะแนนการประเมินพบว่า เทคโนโลยีที่มีใช้โลหะไอออนหรืออนุภาคโลหะประยุกต์ใช้กับโพรงซีโอไลต์มีความน่าสนใจสูงมาก เนื่องจากลดการระคายเคืองต่อผิวและป้องกันการรวมตัวของโลหะไอออนด้วยโครงสร้างซีโอไลต์ทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีในสารละลายอินทรีย์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ของสารเคลือบบนวัสดุหนึ่งโดยใช้ไอออนของโลหะและอนุภาคของโลหะที่ประยุกต์ใช้กับโพรงซีโอไลต์

## บทที่ 3

### การทดลอง

#### 3.1 วัสดุหนังที่ใช้เคลือบ สารเคมี และเครื่องมือที่ใช้

##### 3.1.1 วัสดุหนังที่ใช้เคลือบ

วัสดุหนังวัวพอกด้วยสารโครเมียม เกรดอุตสาหกรรมรถยนต์ เลือกหนัง Full grain ที่เป็นหนังชั้นแรกที่มีลวดลายของหนังสัตว์ธรรมชาติอยู่ ทำการพอกด้วยโครเมียม หลังจากผ่านกระบวนการพอกหนังแล้วจะนำมาทำการเตรียมหนังพื้น (crust process) ตามสเปคที่ใช้ในอุตสาหกรรมวัสดุหนัง ทำเบาะรถยนต์โดยมีการควบคุมคุณภาพความหนาของตัววัสดุ 1.01-1.05 มิลลิเมตร หลังจากนั้น ตกแต่งผิวโดยการพ่นเงาเน้นลวดลายของตัวหนังขึ้นมาเองเก็บไว้ภายใต้อุณหภูมิ 20-25 องศา ความชื้นไม่เกิน 55% เป็นเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์หลังผลิต และมีคุณสมบัติอื่นๆตามมาตรฐาน ISO/TS16949:2009

##### 3.1.2 สารเคลือบที่ใช้บนวัสดุหนัง

สารพอลิยูเรเทนที่มีการผสมด้วยไอโซไซยาเนต และสารเคลือบฟิวซี โดยมีการควบคุมการใช้สารแต่งสีด้วยเม็ดสี และสารเติมแต่ง ชนิดเดียวกันปริมาณเท่ากัน และมีการควบคุมความหนาของชั้นเคลือบชั้นบนสุด (TOP Coat) ประมาณ 20 ถึง 30 ไมโครเมตร รายละเอียดของชนิดส่วนผสม ชื่อ ปริมาณ ถูกระบุดังตารางที่ 2 ดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 2** ส่วนประกอบของสารเคลือบที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดของส่วนผสม ในสารเคลือบ	Type	Components (wt%)	
		พอลิยูเรเทน	สีส่วนผสม
ตัวผสม	เรซิน Curing agent	Polyurethane Isocyanate	97-98%
สารตัวเติม	Flow agent	Fat liquoring	
เม็ดสี	Acrylic Dye	Carbonblack	
สารต้านเชื้อ	สารละลายซิลเวอร์ คอปเปอร์ ซีโอไลต์ ความเข้มข้น 20%	(ตามตารางที่ 2)	2-3%

อนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ ซีโอไลต์ขนาด 2-5 Micron จากบริษัทต่างชาติ ที่ทำมาจากส่วนผสมตารางที่ 3 ดังต่อไปนี้



**ตารางที่ 3** ส่วนประกอบของอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์ที่ใช้ในการทดลอง

Chemical Name	Classification	Concentration (%)
Silver Copper	Acute oral toxicity	20-30
Zeolite	Acute aquatic tox Chronic aquatic tox	

### 3.1.3 สารต้านไวรัสตั้งต้นและสารเคมีที่ใช้ทำปฏิกิริยาเพื่อเปลี่ยนขนาดอนุภาคโลหะ สารเคมี

1. ซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์  $Ag^+Cu^+Zeolite$  ตามตารางที่2
2. โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ( $NaBH_4$ )
3. แอสคอบิก แอซิด (Ascorbic acid)
4. Artificial alkaline Perspiration solution ละลายสารเคมีด้านล่างในน้ำ1L  
10g sodium chloride  
4g ammonium carbonate  
2.65g disodium hydrogenphosphate 12-water

#### อุปกรณ์

1. เครื่อง UV-Vis Spectroscopy
2. เครื่อง SEM-EDX
3. เครื่อง FTIR
4. เครื่องกวนสารละลาย (Magnetic Stirrer)

## 3.2 การศึกษาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในสารเคลือบหนัง

### 3.2.1 การศึกษาอัตราส่วนสารรีดิวซ์ที่เพียงพอต่อการเปลี่ยนอนุภาคเป็นขนาดใหญ่ขึ้นใน โพรงซีโอไลต์

ปิเปตสารละลายซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์เข้มข้น 20%weight (20g in water 100mL) ปริมาตร 0.25mL และReducing agent 2 ชนิดเข้มข้น 2%weight (0.2g in water 10mL) ปริมาตร0.25mL ลงไปในน้ำกลั่นปริมาตร0.75mL ของแต่ละชนิดReducing agent จากนั้นทำการเพิ่มปริมาณ Reducing agent ในการวัดค่าต่างๆแต่ละครั้งให้มีสัดส่วนโมลต่อซิลเวอร์คอปเปอร์ไอออนซีโอไลต์ดัง ตารางที่4

**ตารางที่ 4** แสดงการเตรียมสารและสัดส่วนโมลของReducing agentที่ใช้ในระบบ

Exp no.	Reducing agent		Ratio Ag <sup>+</sup> CuZeolite : Reducing agent	Mixing ratio		
				Ag <sup>+</sup> CuZe olite (mL)	Reduce agent (mL)	Water (mL)
1	Ascorbic acid	Mild type	1:1	0.25	0.25	0.75
2			1:2	0.25	0.5	0.5
3			1:3	0.25	0.75	0.25
4			1:4	0.25	1	0
5	NaBH <sub>4</sub>	Strong type	1:1	0.25	0.25	0.75
6			1:2	0.25	0.5	0.5
7			1:3	0.25	0.75	0.25
8			1:4	0.25	1	0

ผสมสารดังกล่าวลงในหลอดเก็บสารเพื่อใช้เก็บตัวอย่างสารที่ถูกสังเคราะห์สำหรับนำไปวัดค่าSEM-EDX และ FTIR หลังจากนั้น ทิ้งไว้ให้แห้งเป็นเวลา1อาทิตย์แล้วนำตะกอนที่ได้มาตรวจสอบด้วยส่ายตา ตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงอนุภาคด้วยSEM วัดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณซิลเวอร์ด้วยEDX และ FTIR ดังรูปที่3-1

เตรียมสารตามตารางที่4 อีกรอบโดยเก็บตัวอย่างลงหลอดควมเวตที่ใช้สำหรับวัดด้วยเครื่องยูวีสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ นำไปคนให้เข้ากันเป็นเวลา1นาที่ วัดการดูดกลืนแสงของสารละลายด้วยเครื่อง UV-Vis Spectroscopy บันทึกค่าการดูดกลืนแสง



**รูปที่ 3-1** การหาสถานะที่เหมาะสมของปริมาณReducing agentในการสังเคราะห์ซิลเวอร์นาโน

### 3.2.2 ศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านเชื้อระหว่าง $Ag^+CuZeolite$ และ $AgNP-CuZeolite$ ตามมาตรฐาน ASTM E2149-10 พร้อมอัตราส่วนของสารต้านเชื้อที่เหมาะสมต่อการเคลือบพอลิยูเรเทนบนวัสดุหนัง

นำสารที่เตรียมไว้จากขั้นตอน 3.2.1 มาทดสอบประสิทธิภาพการต้านไวรัสของผิวชั้นบนโดยเทียบความสามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐาน Modify ASTM E2149-10 โดยมีเชื้อ *Escherichia coli* ซึ่งมีการเตรียมชิ้นงานตัวอย่างเพื่อทดสอบประสิทธิภาพดังต่อไปนี้

**ตารางที่ 5** ตัวอย่างชิ้นงานที่ใช้ในการตรวจสอบค่าการต้านแบคทีเรีย

	ตัวอย่างชิ้นงาน	ปริมาณสารเคลือบPU	ปริมาณ $Ag^+CuZeolite$
1	สารเคลือบที่มีสารซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์	10mL	1mL
2	สารเคลือบที่มีซิลเวอร์คอปเปอร์นาโนซีโอไลต์จากสูตรที่มีการเปลี่ยนรูปเป็น AgNP ด้วย Ascorbic acid	10mL	1mL
3	สารเคลือบที่มีซิลเวอร์คอปเปอร์นาโนซีโอไลต์จากสูตรที่มีการเปลี่ยนรูปเป็น AgNP ด้วย $NaBH_4$	10mL	1mL

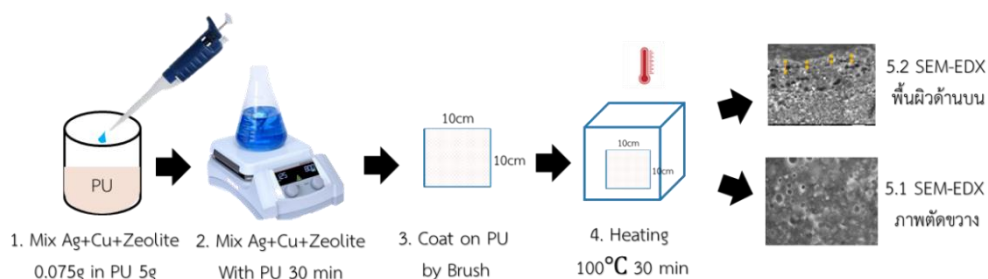
จากนั้นเตรียมอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์ 0.1mL และ 0.15 mL ผสมกับสารเคลือบพอลิยูเรเทนเบส 5mL คนให้เข้ากันเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้น ชั่งสารที่ถูกต้องผสมเข้ากันดีแล้วจำนวน 1mL มาเคลือบบนหนังแท่งขนาดกว้าง 10 ซม ยาว 10 ซม หน้า 0.1 ซม จำนวน 1 รอบ อบด้วยความร้อน 100 องศาเป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 1 อาทิตย์ จากนั้นทำการเพิ่มจำนวนรอบของการเคลือบเป็น ดังตารางที่ 6

**ตารางที่ 6** การเตรียมชิ้นงานตามปริมาณ  $Ag^+Cu^+Zeolite$  ต่อสารเคลือบในสัดส่วนที่แตกต่างกัน

ความเข้มข้น $Ag^+Cu^+zeolite$ ในสารเคลือบ	คิดเป็นปริมาณกรัม ในสารเคลือบ	ปริมาณสารเคลือบพอลิยูเรเทน	ขนาดชิ้นงานหนังแท่ง (Crust)
2%	0.1g	5g	10x10cm
3%	0.15g	5g	10x10cm

นำชิ้นงานที่ได้ ตัดขวางขนาด 2cm x 2cm แล้วนำไปส่อง SEM-EDX วัดปริมาณการกระจายตัวของอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์ตามพื้นผิวของชิ้นงาน และตรวจสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อไวรัส ISO21702 (Sars CoV2) แล้ววิเคราะห์ผลว่า มีการกระจายตัวของอนุภาคซิลเวอร์บนตัวทำละลายอินทรีย์พอลิยูเรเทนหรือไม่ และหาความเข้มข้นที่น้อยที่สุดของสารละลาย  $Ag^+CuZeolite$  ใน

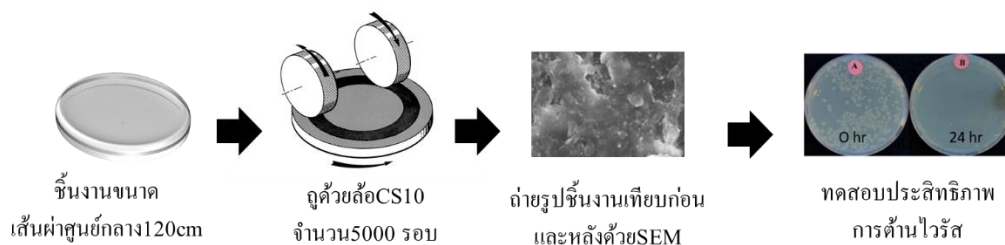
สารเคลือบพอลิยูเรเทนที่สามารถทำให้ผลต่อประสิทธิภาพการต้านเชื้อผ่านมาตรฐานISO21702ดังรูปที่3-2



**รูปที่ 3-2** แสดงการหาการกระจายตัวของอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไลต์บนสารเคลือบพอลิยูเรเทนของวัสดุหนังหุ้ม

3.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการต้านเชื้อก่อนใช้งานและหลังใช้งานโดยจำลองสภาวะหลังการ ั้ ด ฤ และสภาวะหลังโดนสารเคมีจำพวกเหงื่อจำลอง (Alkaline perspiration) และทดสอบประสิทธิภาพในการต้านเชื้อไวรัส Sars CoV2 ตามมาตรฐาน ISO21702

เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของสารต้านเชื้อในสารเคลือบพอลิยูเรเทนเมื่อผ่านการใช้งาน จึงมีการจำลองสภาพการใช้งานที่ผ่านการขัดถูและผ่านการจับบ่อยๆด้วยเครื่องมือมนุษย์ ดังต่อไปนี้ เตรียมชิ้นงานที่ถูกทดสอบด้วยการขัดถู Taber abrasion เป็นจำนวน5000รอบ ด้วยวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ISO5470 โดยชิ้นงานหนึ่งเตรียม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง120cm เก็บชิ้นงานไว้ในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา7วัน แล้วนำเข้าสู่เครื่องทดสอบ Taber abrasion machine ประกอบล้อหินขัดรุ่น CS10 วางล้อหินขัดบนชิ้นงาน จากนั้นทำการขัดถูและตรวจสอบสภาพชิ้นงานด้วยสายตาหลังจากขัดถูครบ5000 รอบ โดยมีการใช้แปรงปัดฝุ่นออกเพื่อทำความสะอาดผิวชิ้นงานทุกๆ1000รอบพร้อมถ่ายรูปด้วยSEMเทียบระหว่างก่อนขัดถูและหลังขัดถู หลังจากนั้นนำไปตรวจสอบประสิทธิภาพการต้านไวรัสตามมาตรฐาน ISO21702



**รูปที่ 3-3** แผนภาพแสดงวิธีการทดสอบการขัดถูชิ้นงานด้วยวิธีการ Taber abrasion

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพการต้านไวรัสหลังการใช้งานในด้าน การสัมผัสสารเคมี ทางที่มิวิจัย ใช้สารละลายอัลคาไลน์ เพื่อเป็นตัวแทนเหงื่อของมนุษย์ สารละลายอัลคาไลน์จำลองเหงื่อมนุษย์ตามมาตรฐาน ISO 105-E04 (Alkaline perspiration solution) โดยหยดสารละลาย 0.5ml บนหนัง ขนาด 5cmx5cm อบที่อุณหภูมิ 80 องศาเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำมาตรวจสอบลักษณะผิวของ ชิ้นงานและประสิทธิภาพการต้านเชื้อไวรัส ISO 21702 (Sars CoV2)



รูปที่ 3-4 แผนภาพแสดงวิธีการทดสอบความต้านทานสาร Alkaline perspiration

### 3.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. สกัดส่วนและชนิดของ Reducing agent ที่เหมาะสมและเพียงพอที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไซด์
2. ชนิดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของสารต้านเชื้อที่เพียงพอเพื่อใช้ในการผลิตวัสดุหนังหุ้มแท่งจากสารเคลือบพอลิยูเรเทนที่มีประสิทธิภาพในการต้านเชื้อ
3. การประยุกต์ใช้สารเคลือบต้านเชื้อจากอนุภาคซิลเวอร์คอปเปอร์ซีโอไซด์บนวัสดุด้วยหนัง





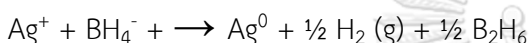
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

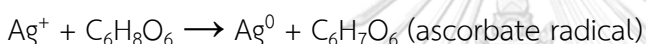
#### 4.1 สถานะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนในโพรงซีโอไลต์

การสังเคราะห์อนุภาคโลหะระดับนาโนในปัจจุบันมีหลากหลายรูปแบบโดยเฉพาะวิธีการสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรโดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมี โดยวิธีการอย่างง่ายที่ใช้โดยทั่วไปคือปฏิกิริยารีดักชันของไอออนโลหะเงินโดยมีตัวรีดิวซ์ (ตัวให้อิเล็กตรอน) ในที่นี้คือโซเดียมโบโรไฮไดรด์ หรือ กรดแอสคอร์บิก โดยปฏิกิริยารีดักชันของโลหะเงินจากตัวรีดิวซ์ทั้งสองชนิดเป็นดังนี้

ปฏิกิริยารีดักชันระหว่างไอออนของโลหะเงินและโซเดียมโบโรไฮไดรด์



ปฏิกิริยารีดักชันระหว่างไอออนของโลหะเงินและกรดแอสคอร์บิก



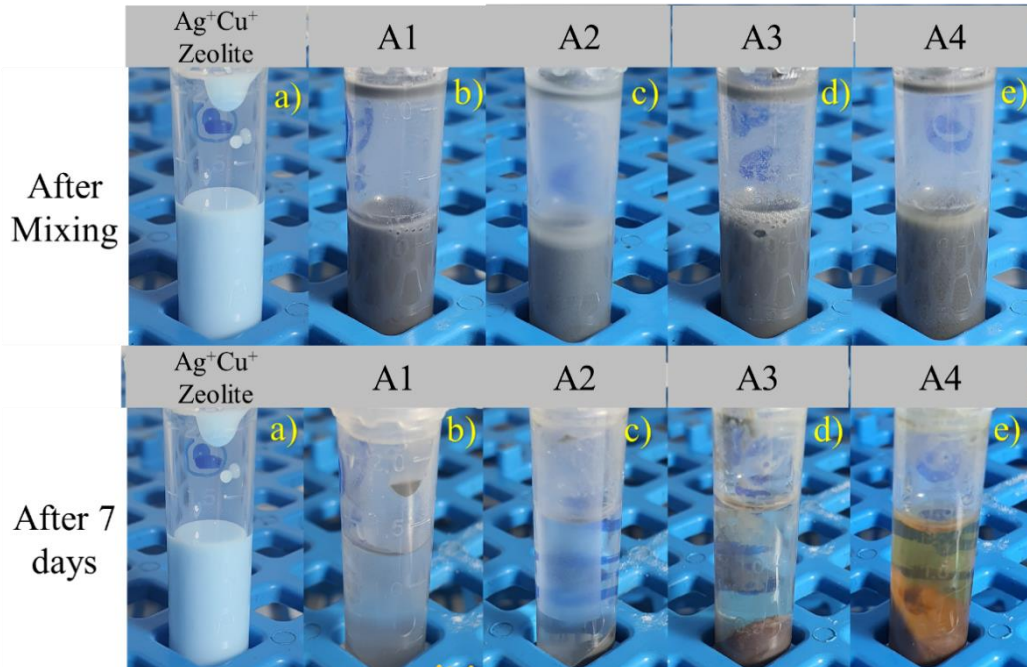
ในการสังเคราะห์อนุภาคโลหะเงินระดับนาโนเมตรในซีโอไลต์  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาสัดส่วนของปริมาณตัวรีดิวซ์ต่อสาร  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  เพื่อหาสถานะที่เหมาะสม โดยผู้วิจัยมีเงื่อนไขในการเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมดังนี้คือปริมาณตัวรีดิวซ์จะต้องเพียงพอต่อการเปลี่ยนไอออนโลหะเงินใน  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  ให้เป็นอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร โครงสร้างหลักของซีโอไลต์จะต้องไม่ถูกทำลายและต้องระยะเวลาในการปลดปล่อยอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่ยาวนาน โดยในการศึกษาเพื่อหาปริมาณตัวรีดิวซ์ที่เหมาะสมจะกำหนดปริมาณ  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  ต่อตัวรีดิวซ์เป็น 1:1 ถึง 1:4 เท่า โดยการเปลี่ยนแปลงจากโลหะเงินเป็นอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร จะถูกติดตามด้วยการเปลี่ยนสีของสารตั้งต้น  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  การตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงทางเคมีโดยการวัดการดูดกลืนแสงด้วยหลักการ FTIR และ UV พร้อมวัดปริมาณโลหะไอออนที่เปลี่ยนไปจากการส่องอนุภาคด้วยกล้อง SEM-EDX ได้ผลการทดลองดังนี้

##### 4.1.1 การเปลี่ยนแปลงสาร $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$ จากปฏิกิริยารีดักชัน

หลังจากผสมกรดแอสคอร์บิกแอซิดลงในสารละลายที่มีสาร  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  พบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของสาร  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  ทันทีโดยเปลี่ยนจากสีฟ้ากลายเป็นสีดำ และการเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นในทุกอัตราส่วนดังรูปที่ 4-1 A1-A4 อย่างไรก็ตามเมื่อทิ้งสารจากปฏิกิริยาไว้ในอุณหภูมิห้อง (25-30°C) โดยไม่มีการรบกวนเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าจะเกิดการแยกชั้นชั้นชัดเจน โดยชั้นของตะกอนจะเป็นของแข็งสีดำเข้มข้นตลอด ในขณะที่สารละลายจะมีลักษณะใส ยกเว้นที่อัตราส่วนสาร  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  ต่อกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด (1:4) จะพบว่าสารละลายเป็นสีเหลืองดังรูปที่ 4-1 A4 ซึ่งสารละลายสีเหลืองที่ได้นั้นอาจเกิดจากอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่หลุดจากโพรงซี

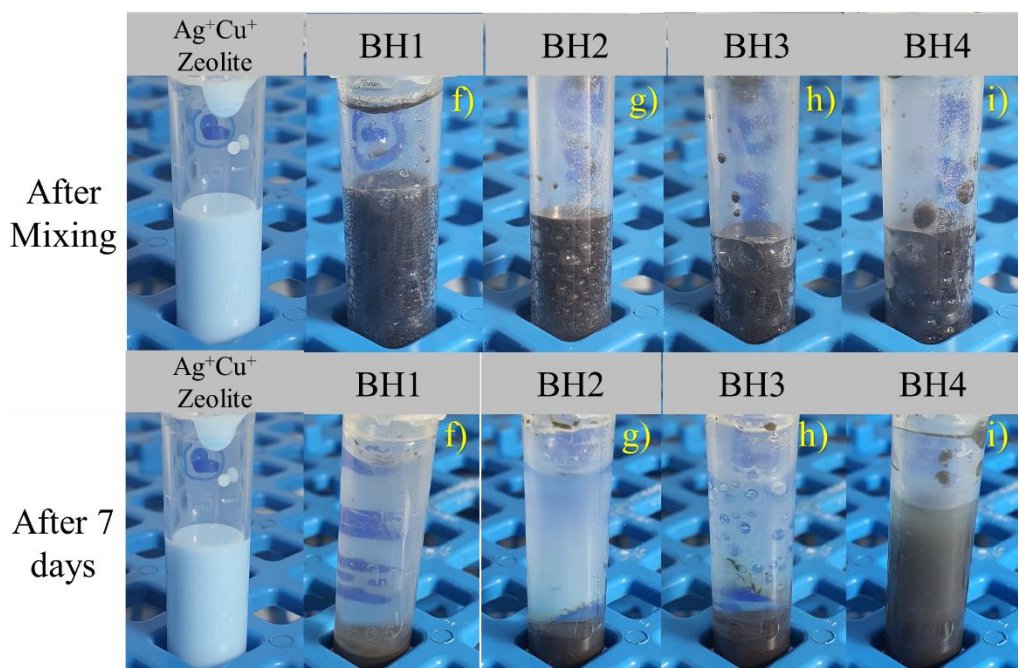


โพลีเมอร์ ซึ่งเป็นไปได้ว่าโครงสร้างหลักของซีโอไลต์อาจเกิดการถูกทำลายจากปฏิกิริยารีดิวซ์ที่มากเกินไป  
พอ



**รูปที่ 4-1** ปฏิกิริยารีดักชันระหว่างสาร  $Ag^+CuZeolite$  กับกรดแอสคอร์บิกในอัตราส่วนสาร  $Ag^+CuZeolite$  ต่อกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด A1 = 1:1 A2 = 1:2, A3 = 1:3 และ A4 = 1:4

ในกรณีของการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นตัวรีดิวซ์ พบว่าเมื่อหยดสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ลงในสารละลาย  $Ag^+CuZeolite$  พบว่ามีสารละลายมีการเปลี่ยนสีจากสีฟ้ากลายเป็นสีดำทันที ในทุกอัตราส่วนดังรูปที่ 4-2 BH1 – BH4 แต่จะปรากฏฟองแก๊ส ( $H_2$ ) จำนวนมากที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยารีดักชันที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เมื่อทิ้งสารจากปฏิกิริยาไว้ในอุณหภูมิห้อง ( $25-30^{\circ}C$ ) โดยไม่มีการรบกวนเป็นระยะเวลา 7 วัน พบว่าจะเกิดการแยกชั้นขึ้นชัดเจนโดยชั้นของตะกอนจะเป็นของแข็งสีดำเข้มก้นหลอด ในขณะที่สารละลายจะมีลักษณะใสในทุกอัตราส่วน



**รูปที่ 4-2** ปฏิกริยารีดักชันระหว่างสาร  $Ag^+CuZeolite$  กับโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในอัตราส่วนสาร  $Ag^+CuZeolite$  ต่อกรดแอสคอร์บิกสูงที่สุด BH1 = 1:1 BH2 = 1:2, BH3 = 1:3 และ BH4 = 1:4

#### 4.1.2 การตรวจวัดอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรด้วย UV-Vis Spectroscopy

การตรวจสอบด้วยเทคนิค UV-Vis Spectroscopy เป็นเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง Ultraviolet (UV) จนถึงช่วง Visible light หรือแสงขาว โดยเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคนี้ คือ เครื่อง UV-Vis spectrophotometer ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณของแสงและค่า intensity หรือความเข้มแสงในช่วงรังสียูวีจนถึงช่วงแสงขาวที่เกิดจากการทะลุผ่าน การส่องผ่าน และการสะท้อนของวัสดุตัวอย่างที่ถูกวางไว้ในตัวเครื่องมือ โดยที่แต่ละความยาวคลื่นตลอดช่วงการวัดจะมีความสัมพันธ์กับทั้งในเชิงปริมาณ และชนิดของสารที่อยู่ในตัวอย่าง โดยหลักการทั่วไปของการฉายแสงในช่วงความยาวคลื่นดังกล่าวที่มีพลังงานที่เหมาะสมนั้นไปที่วัสดุตัวอย่างจะทำให้เกิดการย้ายระดับพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมของสารนั้นๆ ที่เกิดจากการดูดกลืนแสงดังกล่าว ทำให้อิเล็กตรอนเหล่านั้นไปอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่สูงกว่า แล้วเกิดการคายพลังงานออกมาอยู่ในระดับชั้นพลังงานที่เหมาะสมในรูปของความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งตัวเครื่องจะทำการตรวจสอบช่วงของพลังงานเหล่านั้น เพื่อทำการวัดปริมาณของแสงที่ผ่านการสะท้อน และการส่องผ่านจากวัสดุตัวอย่าง แล้วนำมาทำการเทียบกับแสงจากแหล่งกำเนิดที่มีความยาวคลื่นค่าต่างๆ ตามกฎของ Beer-Lambert โดยค่าการดูดกลืนแสงหรือ ค่า absorbance ของสารนั้นๆ จะแปรผันตรงกับจำนวนโมเลกุลที่มีการดูดกลืนแสง ดังนั้น เราจึงสามารถนำเทคนิคนี้มาใช้สำหรับการระบุทั้งชนิด และปริมาณของสารต่างๆ ที่มีอยู่ในวัสดุตัวอย่างได้ จากหลักการดังกล่าวของเครื่อง UV-Vis

spectroscopy จึงได้นำตัวอย่างก่อนและหลังรีดิวซ์มาตรวจสอบว่ามีการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคหรือไม่ ด้วยเครื่อง UV-Vis spectroscopy รุ่น GENESYS 10S UV-Visible spectrophotometer ดังรูปที่ 4-3



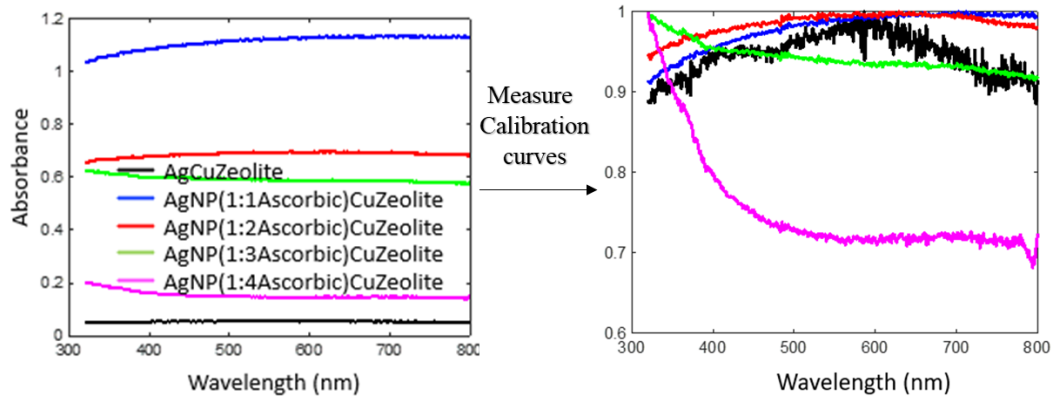
**รูปที่ 4-3** UV-Vis spectroscopy รุ่น GENESYS 10S UV-Visible spectrophotometer

หลังจาก Calibrate เครื่องด้วยตัวอย่างน้ำ DI water สารตัวอย่างก่อนและหลังรีดิวซ์ที่ถูกเตรียมไว้ มีลักษณะตามรูปที่ 4-5



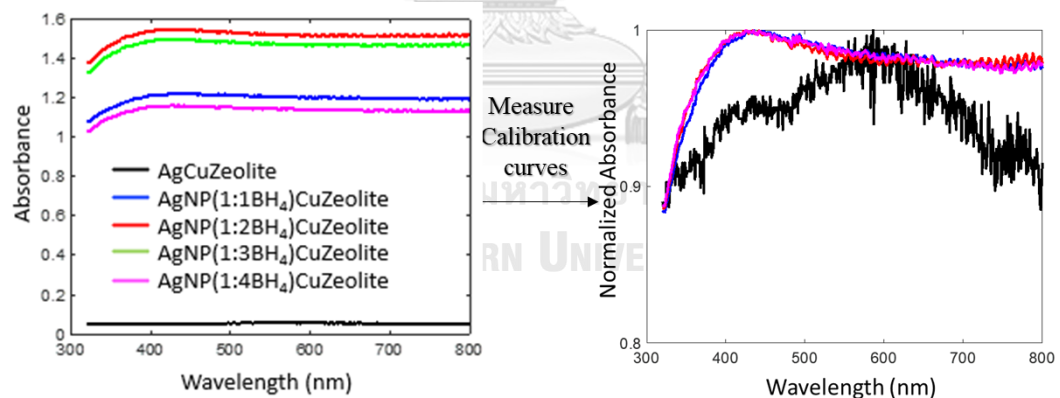
**รูปที่ 4-4** ลักษณะสารตัวอย่างก่อนนำไปตรวจUV-Vis spectroscopy

ซึ่งสารละลายตัวอย่างดังกล่าว ให้ค่าการดูดกลืนแสงของสารก่อนและหลังรีดิวซ์ ตามรูปที่ 4-5 และ 4-6



รูปที่ 4-5 กราฟแสดงผลการดูดกลืนแสงของ  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  หลังถูกรีดิวซ์ด้วย Ascorbic acid

จากรูปที่ 4-5 พบว่าการรีดิวซ์ด้วยกรดแอสคอร์บิกนั้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างสาร  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  กับกรดแอสคอร์บิก ในอัตราส่วน 1:1 และ 1:2 นั้นพบว่าพบการดูดกลืนแสงในช่วง 600 nm ซึ่งยังไม่ใช่ลักษณะการดูดกลืนแสงเฉพาะของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร แต่อาจจะเป็นการดูดกลืนของการรวมตัวกันของอนุภาคเงิน (aggregated particle) ในขณะที่ถ้าอัตราส่วนเพิ่มขึ้นเป็น 1:3 และ 1:4 จะพบค่าการดูดกลืนแสงในช่วงที่ต่ำกว่า 400 nm ซึ่งถือเป็นช่วงยูวี อาจเกิดจากอนุภาคเงินที่รวมตัวกันเป็นคลัสเตอร์ ไม่ใช่อนุภาคเงินระดับนาโนเมตร



รูปที่ 4-6 กราฟแสดงผลการดูดกลืนแสงของ  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  หลังถูกรีดิวซ์ด้วย  $\text{NaBH}_4$

จากรูปที่ 4-6 พบว่าการรีดิวซ์ด้วย  $\text{NaBH}_4$  นั้นให้ค่าการดูดกลืนแสงที่ 420 nm ในทุกอัตราส่วนระหว่างสาร  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  กับ  $\text{NaBH}_4$  ซึ่งการดูดกลืนแสงที่ 420 nm นี้เป็นการดูดกลืนแสงเฉพาะ (Plasmon absorption) ของอนุภาคเงินระดับนาโนเมตร และลักษณะของการดูดกลืนแสงนั้นเหมือนกันในทุกอัตราส่วนแสดงถึงความเสถียรในการสังเคราะห์เพื่อให้ได้อนุภาคเงินระดับนาโนเมตรที่มีขนาดเดียวกันของการใช้ตัวรีดิวซ์ที่มีสมบัติในการให้อิเล็กตรอนที่สูง (strong reducing agent)

จากข้อมูลเชิงแสงสรุปได้ว่าการที่จะทำให้ไอออนเงินในโครงสร้างซีโอไลต์กลายเป็นอนุภาคเงินระดับนาโนเมตรจำเป็นจะต้องใช้ตัวรีดิวซ์ประสิทธิภาพสูง

#### 4.1.3 การตรวจสอบพันธะเคมีในโครงสร้างซีโอไลต์ด้วย FTIR

เทคนิคอินฟราเรดสเปกโตรสโกปี (Infrared spectroscopy) สเปกโตรสโกปี (spectroscopy) หมายถึงเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับแสงหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีลักษณะเป็นแถบพลังงาน (spectrum) โดยมีความยาวคลื่นตั้งแต่ในช่วงของคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ คลื่นอินฟราเรด คลื่นในช่วงที่ตามองเห็น (visible) ไปจนถึงคลื่นอัลตราไวโอเล็ตสำหรับคลื่นมาเหล็กไฟฟ้า ในช่วงอินฟราเรด จะมีเลขคลื่นในช่วง  $650 - 4000 \text{ cm}^{-1}$  หรือมีความยาวคลื่นในช่วง  $15.4 - 2.5 \text{ nm}$  ซึ่งเมื่อแสงอินฟราเรดตกกระทบโมเลกุลสารพอลิเมอร์จะเกิดแรงกระทำ (interaction) ระหว่างแสงกับโมเลกุลสาร โดยที่แสงอินฟราเรดในช่วงที่ซึ่งมีความถี่ตรงกันกับความถี่ของการสั่นของพันธะในโมเลกุลพอลิเมอร์จะถูกดูดกลืนไป (เรียกว่าเกิดเรโซแนนซ์ [resonance]) ดังนั้นความเข้มของแสงอินฟราเรดที่ทะลุผ่านสารตัวอย่าง (transmitted Infrared) จึงมีความเข้มแสงลดลงในช่วงของความถี่ทั้งหมดของอินฟราเรด

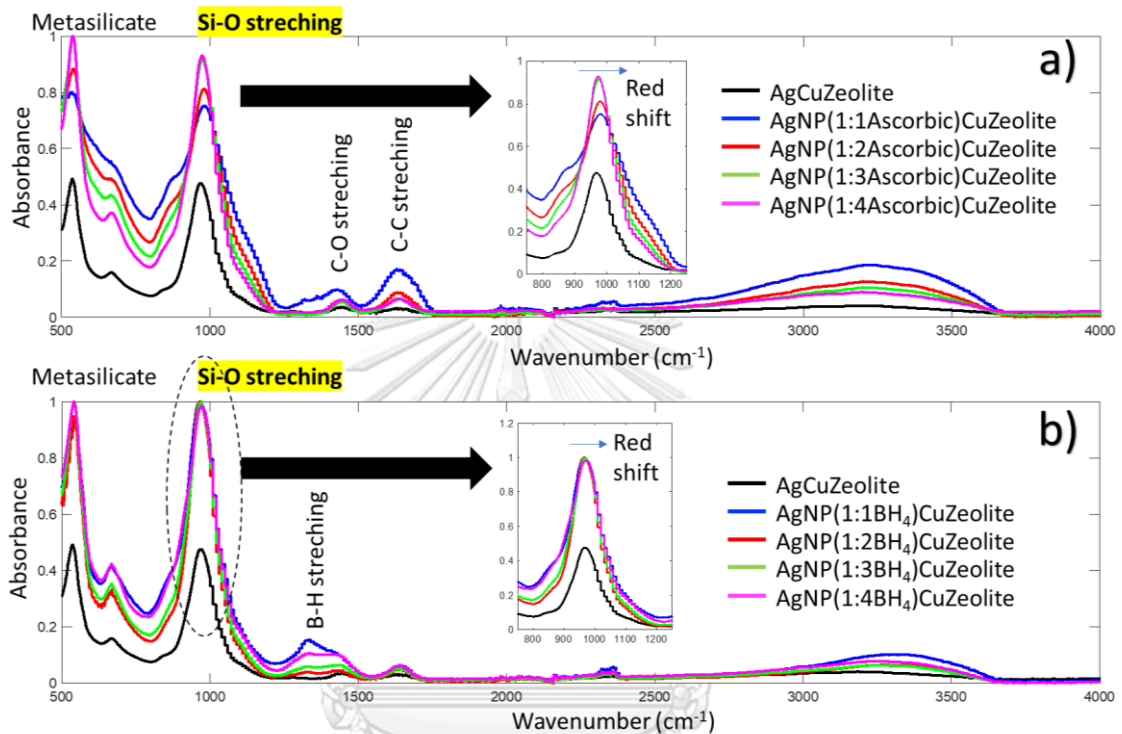
จากหลักการดังกล่าวของเครื่อง FTIR จึงได้นำตัวอย่างก่อนและหลังรีดิวซ์มาตรวจสอบว่ามี การเปลี่ยนแปลงของอนุภาคหรือไม่ ด้วยเครื่อง FTIR รุ่น iD7 ATR NICOLET iS5 FTIR- Fourier Transform Infrared spectroscopy ดังรูปที่ 4-7 ดังนี้



**รูปที่ 4-7** เครื่อง FTIR รุ่น iD7 ATR NICOLET iS5 เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของสารตัวอย่างเทียบก่อนและหลังรีดิวซ์

นอกจากนี้ ปฏิสัมพันธ์ระหว่างพันธะเคมีในโครงสร้างซีโอไลต์กับ AgNP ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถตรวจสอบได้โดยใช้สเปกโทรสโกปี FT-IR สเปกตรัม ซึ่ง FT-IR ของ  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  และคอมโพสิตซีโอไลต์ AgNP ที่ถูกลดด้วยกรดแอสคอร์บิกและ  $\text{NaBH}_4$  นั้น แสดงค่าตำแหน่งแถบอินฟราเรดที่เปลี่ยนไป จากสเปกตรัม FT-IR รูปที่ 4-8 พบว่าตำแหน่งแถบอินฟราเรดของสารรีดิวซ์ที่ตกค้างจากกรดแอสคอร์บิก มีการแสดงแถบการยืดของ C-O และ C-C และสารรีดิวซ์ดังรูป 4-8 a) และสารที่ตกค้างจาก  $\text{NaBH}_4$  มีการแสดงแถบการยืด  $\text{BH}_3$  ดังรูป 4-8 b) เพื่อตรวจสอบการเกิด AgNP ภายในซี

โพลีต์ โดยตรวจสอบจากการเปลี่ยนแปลงของพันธะเคมีนั้น จะสังเกตได้อย่างชัดเจนว่าแถบการสั่นสะเทือนของซิลิเกตที่  $965\text{ cm}^{-1}$  เกิดจากการสั่นสะเทือนที่ยืดของ Si-O และแถบที่  $548\text{--}459\text{ cm}^{-1}$  สำหรับการสั่นสะเทือนของ Si-O-Si ซึ่งถูกตรวจสอบพบว่าการยืด Si-O มีการเลื่อนยอดกราฟไปทางด้านความยาวคลื่นที่สูงขึ้น (red shifted) ในทุกๆอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารรีดิวซ์ ของทั้งสารรีดิวซ์ Ascorbic acid และ  $\text{NaBH}_4$



รูปที่ 4-8 FTIR ของสารที่ถูกรีดิวซ์ด้วย Ascorbic acid และ  $\text{NaBH}_4$  reducing agent

a)  $\text{AgNP(AA)-CuZeolite}$ , b)  $\text{AgNP(BH)-CuZeolite}$

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ามีระดับการสั่นที่ช้าลงเพราะ Si-O มีการยืดยาวขึ้นอาจมาจากการเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในแรงอันตรกิริยา (bond interaction) ของพันธะ Si-O ที่มีต่อไอออนของเงิน  $\text{Ag}^+$  ในโครงสร้าง  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  กลายเป็นแรงอันตรกิริยากับ  $\text{AgNP}$  แทน ซึ่งผลการทดลองนี้เกิดขึ้นในทุกกรณีดังรูปที่ 4-8

#### 4.1.4 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM-EDX

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope / SEM) เป็นกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดหนึ่งถ่ายภาพชิ้นงานโดยอาศัยหลักการกราดไปบนพื้นผิวตัวอย่าง SEM-EDX ด้วยลำอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงที่ถูกปล่อยจากแหล่งกำเนิด (Electron gun) เมื่ออิเล็กตรอนดังกล่าวกระทบกับผิวชิ้นงานที่ประกอบไปด้วยอะตอมต่างๆ จะเกิดการสะท้อนสัญญาณที่สามารถนำไปประมวลผลและให้ข้อมูลเป็นภาพพื้นผิวของวัตถุ, องค์ประกอบของพื้นผิว และ

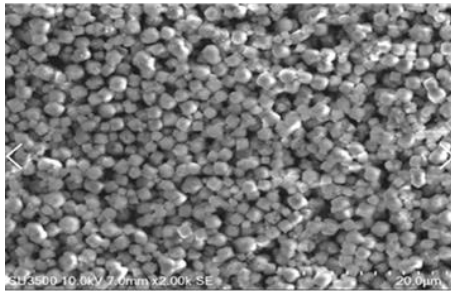
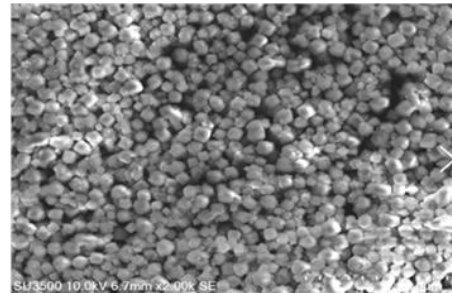
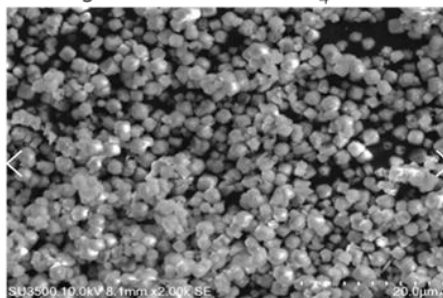
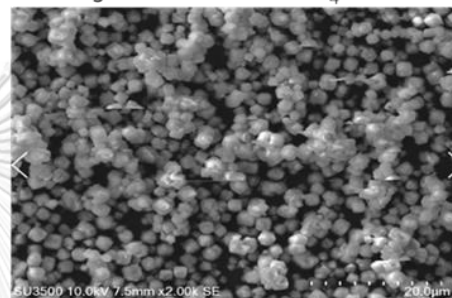
คุณสมบัติอื่นๆ เช่น คุณสมบัติการนำไฟฟ้า เป็นต้น จากคุณสมบัติดังกล่าวจึงได้นำ SEM มาใช้ร่วมกับกับเทคนิคการวัดการกระจายพลังงานของ รังสีเอกซ์ (Energy Dispersive X-ray Spectroscopy/EDX) โดยมีหลักการทำงานอยู่ที่ การกระตุ้นวัตถุตัวอย่างโดยอนุภาคพลังงานสูง อันได้แก่อนุภาคอิเล็กตรอน ซึ่งจะถูกละเอียดออกมาจากหลอดกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-ray tube) อนุภาคจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่มาอย่างรวดเร็วมีพลังงานจลน์สูง เมื่ออนุภาคนี้อันผ่านเข้ามาในอะตอมของวัตถุตัวอย่างบางส่วนก็จะมีโอกาสที่จะชนกับ อิเล็กตรอนที่อยู่ในอะตอม ในการชนนี้ก็จะถ่ายทอดพลังงานให้แก่อิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนมี พลังงานสูงขึ้นและโดยทั่วไปมักจะสูงมากพอที่จะหลุดออกไปจากอะตอม เป็นอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้เกิดที่ว่างขึ้นซึ่งอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นสูงกว่าก็จะตกลงมาอยู่แทนที่ ในการตกลงมาอยู่ชั้นต่ำกว่านี้อิเล็กตรอนก็ต้องปล่อยหรือคายพลังงานที่มีอยู่มากเกินระดับที่ต้องการออกไป พลังงานที่คาย ออกมาจะอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์เฉพาะ (characteristic x-ray) ซึ่งจะบอกได้ว่าวัตถุตัวอย่างมี องค์ประกอบของธาตุใดบ้าง เนื่องจากแต่ละธาตุมีรังสีเอกซ์เฉพาะที่ไม่เหมือนกัน โดยการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ เราจะได้สเปกตรัมของธาตุแต่ละชนิดที่ทำการวิเคราะห์ อิเล็กตรอนในวงถัดมาจะเข้ามาแทนที่ที่เกิดการคายพลังงานส่วนเกินออกมาในลักษณะของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์มีค่าพลังงานเป็นค่าเฉพาะตัวของธาตุนั้นๆ เป็นพื้นฐานของการวิเคราะห์เชิงคุณภาพ ส่วนความเข้มข้นของเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนส์ที่เกิดขึ้นจะเป็นพื้นฐานการวิเคราะห์เชิงปริมาณ

จากหลักการของเครื่องSEM-EDX จึงถูกนำมาตรวจสอบลักษณะของอนุภาคของสารที่เกาะอยู่บนโพรงซีโอไลต์ เครื่องที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ คือ SEM-EDX รุ่น Hitachi S-4800, 20 kV ดังรูปที่ 4-9 ด้วยกำลังขยาย 2000เท่า 4000เท่า และ 10000เท่า ตามลำดับ

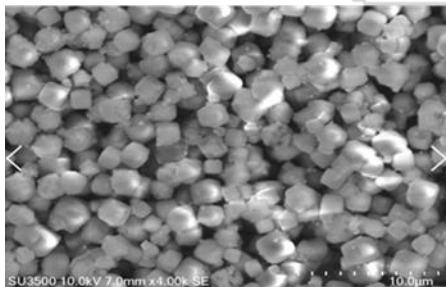
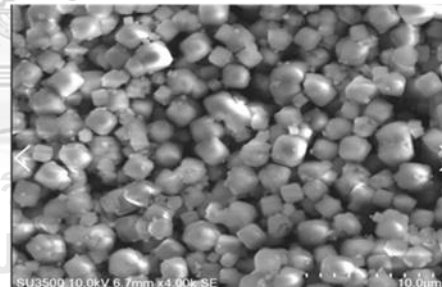
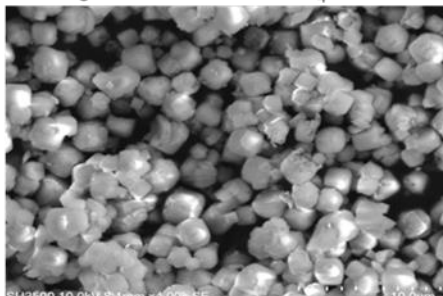
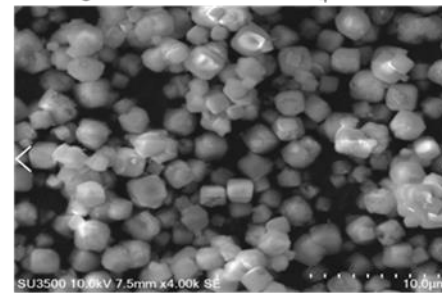


**รูปที่ 4-9** เครื่องSEM-EDX รุ่น Hitachi S-4800, 20 kV

สัณฐานวิทยาพร้อมด้วยการวิเคราะห์ธาตุของสารประกอบ  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  ก่อนและหลังจากปฏิกิริยารีดักชันด้วยตัวรีดิวซ์กรดแอสคอบิกและ  $\text{NaBH}_4$  จากรูป SEM ร่วมกับการวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิค EDX ได้ผลดังแสดงในรูปต่อไปนี้

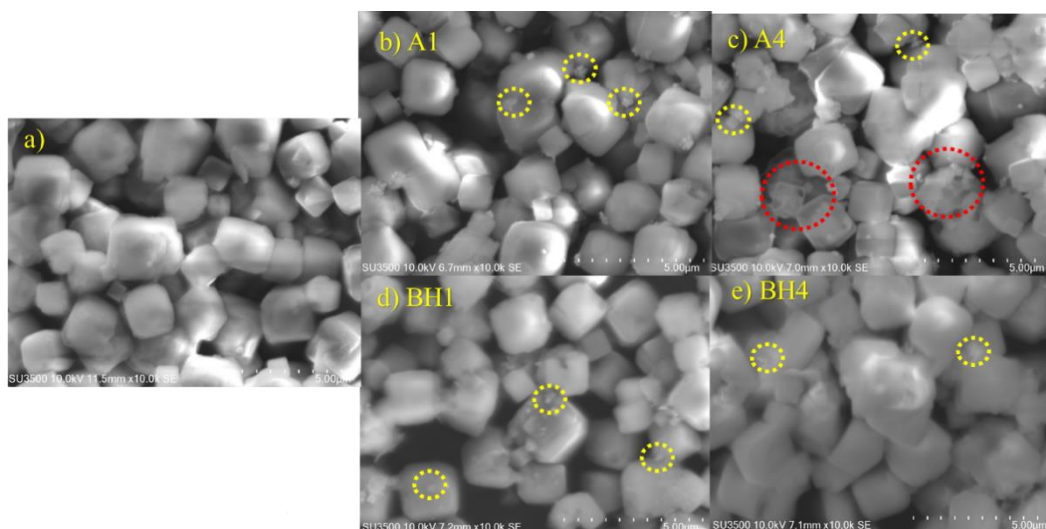
Ag<sup>+</sup>CuZeolite: Ascorbic 1:1Ag<sup>+</sup>CuZeolite: Ascorbic 1:4Ag<sup>+</sup>CuZeolite: NaBH<sub>4</sub> 1:1Ag<sup>+</sup>CuZeolite: NaBH<sub>4</sub> 1:4

**รูปที่ 4-10** รูปSEM แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงสร้างซีโอไลต์หลังจากปฏิกิริยารีดิวซ์ที่อัตราส่วนของสารรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน ด้วยกำลังขยาย 2,000เท่า

Ag<sup>+</sup>CuZeolite: Ascorbic 1:1Ag<sup>+</sup>CuZeolite: Ascorbic 1:4Ag<sup>+</sup>CuZeolite: NaBH<sub>4</sub> 1:1Ag<sup>+</sup>CuZeolite: NaBH<sub>4</sub> 1:4

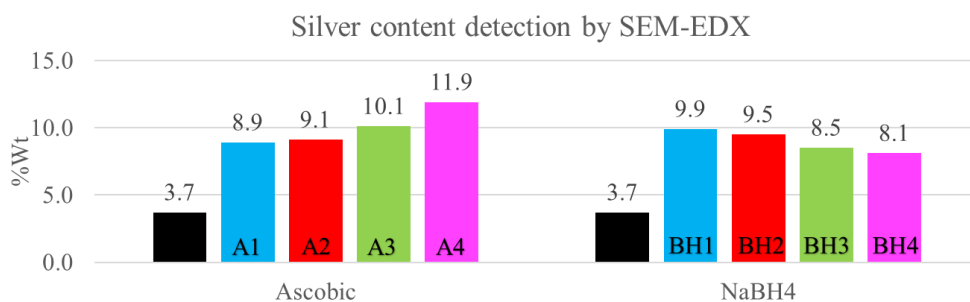
**รูปที่ 4-11** รูปSEM แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงสร้างซีโอไลต์หลังจากปฏิกิริยารีดิวซ์ที่อัตราส่วนของสารรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน ด้วยกำลังขยาย 4,000เท่า





**รูปที่ 4-12** รูปSEM แสดงลักษณะโครงสร้างของโครงสร้างซีโอไลต์หลังจากปฏิกิริยารีดิวซ์ที่อัตราส่วนของสารรีดิวซ์ที่แตกต่างกัน ด้วยกำลังขยาย 10,000เท่า a)  $Ag^+CuZeolite$ , (b-c)  $AgNP-CuZeolite$  ที่รีดิวซ์ด้วยกรดแอสคอร์บิกที่อัตราส่วน 1:1และ 1:4, (d-e)  $AgNP-CuZeolite$  ที่รีดิวซ์ด้วย $NaBH_4$  ที่อัตราส่วน 1: 1 และ 1: 4

จากโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาของ  $Ag^+CuZeolite$  (รูปที่ 4-12 a) และคอมโพสิต  $AgNP-CuZeolite$  (รูปที่ 4-12 b,c,d,e) ได้รับการวิเคราะห์โดยการสแกนโครงสร้างจุลภาคของอิเล็กตรอน (SEM) รวมถึงการวิเคราะห์ธาตุ (ซึ่งเน้นที่ธาตุโลหะเงิน) โดย EDX พบว่าสัณฐานวิทยาของซีโอไลต์ดั้งเดิมอยู่ในรูปของลูกบาศก์สี่เหลี่ยมพื้นผิวเรียบตามรูปที่ 4-12 a) แต่หลังจากการรีดิวซ์ โครงสร้างหลักของซีโอไลต์ส่วนใหญ่จะไม่เกิดเปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนจาก  $Ag^+$  เป็น  $AgNP$  ด้วยปฏิกิริยารีดักชันนั้นไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างซีโอไลต์ จากรูป SEM หลังจากปฏิกิริยารีดักชันจะพบอนุภาคขนาดเล็กที่กระจายอยู่ทั่วซีโอไลต์ (วงกลมสีแดงในรูปที่ 4-12) อย่างไรก็ตามโครงสร้างซีโอไลต์บางส่วนถูกทำลายลง ณ สภาวะที่ใช้อัตราส่วนที่สูงเมื่อใช้กรดแอสคอร์บิกเป็นตัวรีดิวซ์ (รูปที่ 4-12c วงกลมสีแดง) ผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการสังเกตเห็นสารละลายที่มีการเปลี่ยนเป็นสีเหลืองหลังถูกรีดิวซ์ด้วยกรดแอสคอร์บิกแล้วทิ้งไว้ 1 อาทิตย์ (ตามผลการทดลองที่ 4.1.1 ในรูปที่ 4-1e)



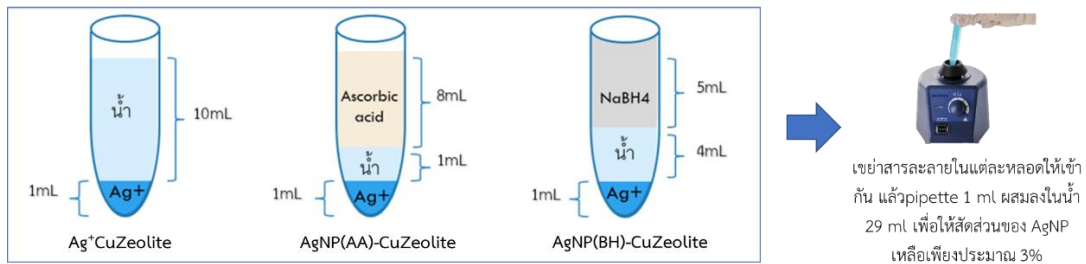
**รูปที่ 4-13** กราฟแสดงปริมาณซิลเวอร์หลังจากปฏิกิริยารีดิวซ์ที่อัตราส่วนของสารรีดิวซ์ที่ต่างกัน

จากรูปที่4-13 แสดงถึงปริมาณซิลเวอร์ทั้งก่อนและหลังการรีดิวซ์ได้รับการตรวจสอบโดย Energy Dispersive X-Ray พบว่าหากเป็นสารละลายมาตรฐาน  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  จะมีปริมาณตั้งต้นของ ซิลเวอร์ประมาณ 3% wt (แถบสีดำในรูปที่4-13) ซึ่งหลังจากกระบวนการรีดิวซ์พบว่าปริมาณซิลเวอร์เพิ่มขึ้นเป็น ~ 10% โดยใช้ ascorbic acid หรือ  $\text{NaBH}_4$  เป็นสารรีดิวซ์ ปริมาณซิลเวอร์ที่วัดได้จาก EDX ไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นซิลเวอร์ไอออนหรือซิลเวอร์นาโน แต่สามารถปรากฏเป็นกราฟที่แสดงว่ามีส่วนประกอบของซิลเวอร์ได้เท่านั้น อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ว่าอนุภาคเงินจะแสดงผลการตรวจวัดในปริมาณเชิงน้ำหนักที่มากกว่าไอออน เนื่องจากเกิดจากการรวมตัวกันของอะตอมซึ่งส่งผลให้มีปริมาณของซิลเวอร์ที่มากขึ้นหลังจากทำการรีดิวซ์ด้วยสารรีดิวซ์ทั้งสองชนิด

#### 4.2 ศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านเชื้อระหว่าง $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$ และ $\text{AgNP-CuZeolite}$ พร้อมอัตราส่วนของสารต้านเชื้อที่เหมาะสมต่อการเคลือบในโพลียูเรเทนบนวัสดุหนึ่ง

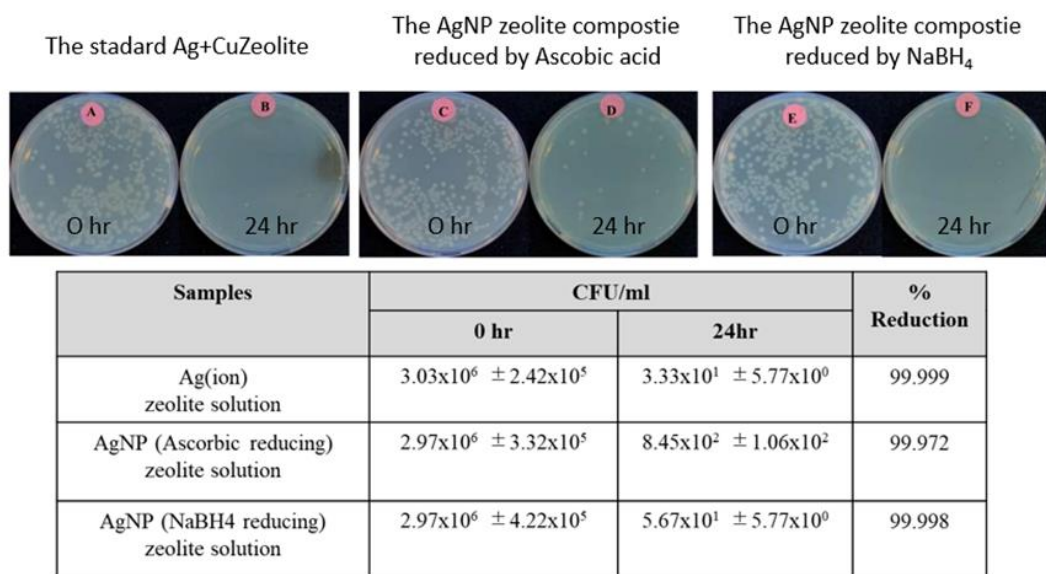
##### 4.2.1 ศึกษาประสิทธิภาพของสารต้านเชื้อแบคทีเรียของสารประกอบ $\text{AgNP-CuZeolite}$

จากผลการทดลองขั้นตอนที่3.2.2 พบว่าการรีดิวซ์ด้วย Ascorbic acid จะเห็นการเปลี่ยนของกราฟUV-vis spectroscopy เมื่ออัตราส่วนมากถึง3-4เท่า แต่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของสีได้ชัดที่อัตราส่วน4เท่าของสารรีดิวซ์Ascorbic acidที่มีการเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ส่วนการรีดิวซ์ด้วย $\text{NaBH}_4$  พบว่าเพียงแค่อัตราส่วน1เท่าก็สามารถทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกราฟUV-vis spectroscopyได้แล้ว ดังนั้นส่วนผสมที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนอนุภาคไอออนเป็นนาโนพาร์ทิเคิลได้แก่ Ascorbic 4เท่า และ  $\text{NaBH}_4$  เพียง1เท่า ตามสัดส่วนดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-14 สารผสมตัวอย่าง 3 ชนิด เพื่อทดสอบการต้านเชื้อ

นำสารตัวอย่างที่ผสมแล้วตามรูปที่ 4-14 มาทดสอบประสิทธิภาพการต้านแบคทีเรียโดยเทียบความสามารถลดจำนวนเชื้อแบคทีเรียตามมาตรฐาน Modify ASTM E2149-10 โดยมีเชื้อ Escherichia coli จากบริการห้องปฏิบัติการ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



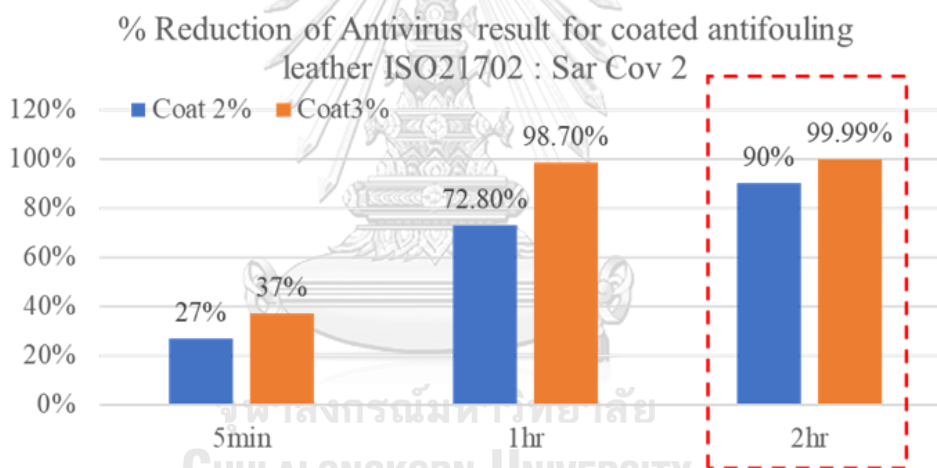
รูปที่ 4-15 ประสิทธิภาพการต้านเชื้อแบคทีเรียของ (A-B) Ag<sup>+</sup>CuZeolite, (C-D) AgNP(AA)-CuZeolite และ (E-F) AgNP(BH)-CuZeolite ตามมาตรฐาน ASTM E2149-10 ด้วยเชื้อแบคทีเรียกับ E.Coli เป็นเวลา 24 ชั่วโมงนับโดย CFU / ml

จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพของสารต้านแบคทีเรียเป็นไปตามมาตรฐานสำหรับสารเคลือบทั้งสามชนิด อย่างไรก็ตาม Ag<sup>+</sup>CuZeolite แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ดังนั้น Ag<sup>+</sup>CuZeolite จึงได้รับเลือกให้ทดสอบกับกิจกรรมต้านไวรัส เพื่อจำลองสถานการณ์จริง ดังนั้น

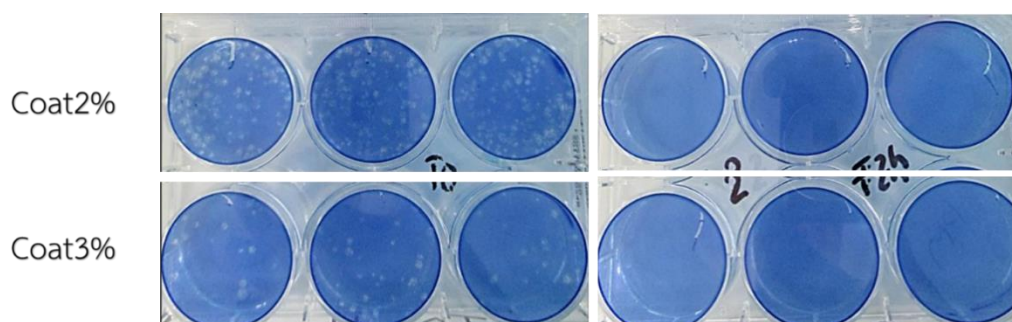
Ag<sup>+</sup>CuZeolite จะถูกผสมในการเคลือบโพลียูรีเทนบนวัสดุหนังโดยใช้ปริมาณเพียง 2% และ 3% ในการศึกษาขั้นตอนต่อไป

#### 4.2.2 ศึกษาอัตราส่วนของสารต้านเชื้อที่เหมาะสมระหว่าง 2% และ 3% ต่อการเคลือบในโพลียูรีเทนบนวัสดุหนัง

การสังเคราะห์อนุภาคเงินระดับนาโนผ่านปฏิกิริยารีดักชันของไอออนโลหะเงินที่ใช้ตัวรีดิวซ์ Ascorbic acid และ NaBH<sub>4</sub> พบว่าประสิทธิภาพในการต้านเชื้อยังไม่ผ่านมาตรฐาน ดังนั้นสารตัวอย่างที่เลือกใช้ในการต้านเชื้อที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพสูงสุดจากการทดลองคือ Ag<sup>+</sup>CuZeolite มาผสมในสารเคลือบโพลียูรีเทนบนวัสดุหนัง โดยทำการศึกษาปริมาณความเข้มข้นของ Ag<sup>+</sup>CuZeolite solution โดยใช้ปริมาณเพียง 2% และ 3% ต่อสัดส่วนของสารเคลือบทั้งหมด แล้วนำไปทดสอบการต้านไวรัสตามมาตรฐานตามมาตรฐาน ISO21702 ด้วยเชื้อ Sar CoV2 แล้วตรวจสอบการต้านไวรัสหลังจากปล่อยเชื้อเป็นเวลา 5 นาที 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้



รูปที่ 4-16 กราฟแสดงการต้านเชื้อของหนังที่มีสารAg(ion)Zeolite solution ในปริมาณ 2% และ 3%

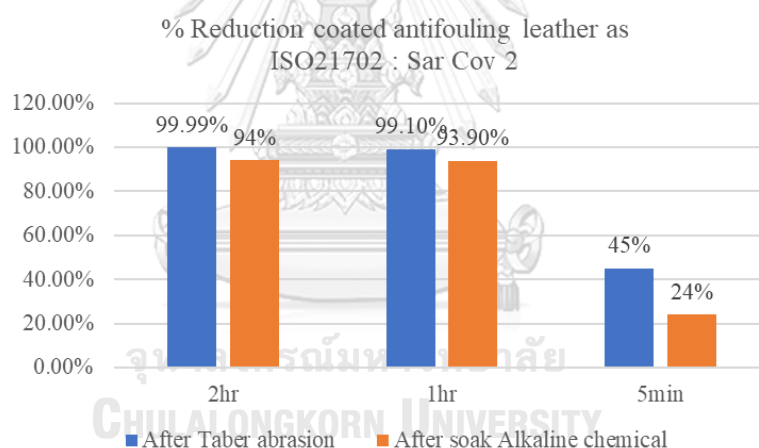


รูปที่ 4-17 แสดงการต้านเชื้อ SAR COV2 ของหนังที่ได้รับการเคลือบด้วยสารเคลือบพอลิยูรีเทนผสม Ag<sup>+</sup>Zeolite 2% และ 3% หลังจาก 0 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง

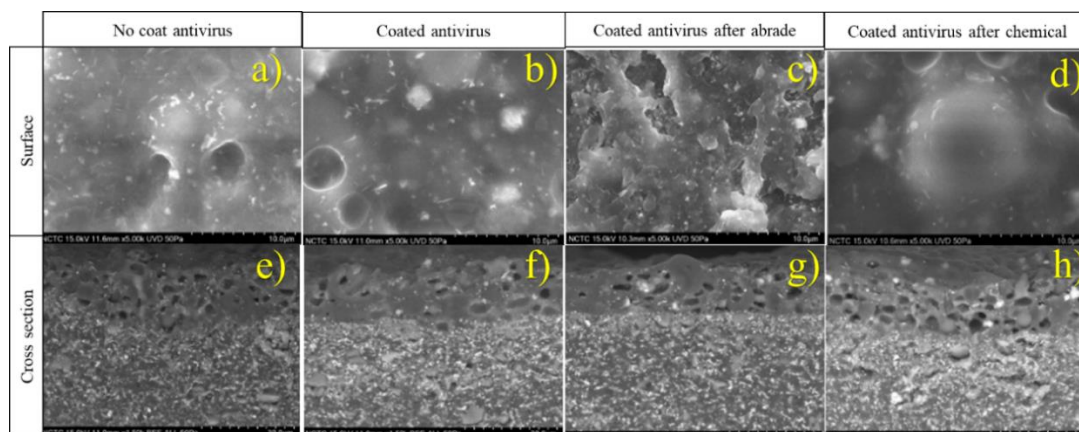
จากผลการทดลองพบว่า สารเคลือบที่มีส่วนผสมAg(ion)Zeolite solution 3% มีค่าการต้านเชื้อที่มากกว่า 99.99% หลังจากเวลาผ่านไป2ชม ในขณะที่ ปริมาณผสมAg(ion)Zeolite solution เพียง 2% ไม่ผ่านค่ามาตรฐาน

#### 4.3 ประสิทธิภาพการต้านเชื้อของวัสดุหนังหุ้มเมื่อผ่านการใช้งานในสภาวะต่างๆ

เนื่องจากการใช้งานวัสดุหนังหุ้มเพื่อขึ้นส่วนในอุตสาหกรรมรถยนต์นั้น การใช้งานหลักคือการขัดถู (Abrasion resistance) และโดนเหงื่อจากการสัมผัส (Alkaline chemical) ดังนั้นจึงทำการทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุหนังที่เคลือบด้วยสารเคลือบพอลิยูเรเทนที่มีส่วนผสมของAg(ion)zeolite solution ปริมาณ3% โดยนำชิ้นงานไปผ่านการขัดถูด้วยวิธีการ Taber Abrasion ตามมาตรฐานISO-5470 ด้วยจำนวนรอบ 5000รอบ และอีกหนึ่งตัวอย่าง นำไปหยดสารละลายAlkaline ที่ได้จากการเตรียมตามขั้นตอน3.1.3 หยด0.5mlบนหนังขนาด5cmx5cm อบที่อุณหภูมิ80องศาเป็นเวลา24ชั่วโมง จากนั้นนำมาตรวจสอบประสิทธิภาพการต้านเชื้อไวรัสISO21702 (Sars CoV2) ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้



**รูปที่ 4-18** กราฟแท่งแสดงถึงประสิทธิภาพการต้านไวรัสของ  $Ag^+CuZeolite$  ที่เคลือบภายใต้การขัดถู Taber (กราฟสีน้ำเงิน) และภายใต้สภาวะอัลคาไลน์ (กราฟสีส้ม) ที่ 5 นาที 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมงตามลำดับ



**รูปที่ 4-19** ลักษณะพื้นผิว (a-d) และหน้าตัด (e-h) ของแต่ละตัวอย่างที่ทดสอบโดยการตรวจสอบ SEM ที่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวของ (a) ไม่มี  $Ag^+CuZeolite$ , (b) เคลือบด้วย  $Ag^+CuZeolite$ , (c) หลังจากขัด  $Ag^+CuZeolite$  เคลือบ (d) หลังจากหยุดสารอัลคาไลน์ของ  $Ag^+CuZeolite$  เคลือบ และส่วนตัดขวางที่สอดคล้องกัน (e-h)

จากผลการทดลองพบว่า พื้นผิวของ  $Ag^+CuZeolite$  ที่เคลือบแล้วจะสังเกตเห็นอนุภาคสีเหลี่ยมเล็ก ๆ (รูปที่ 4-19 b) เมื่อขัดเงาแล้วจะพบว่ายังคงมีอนุภาคสีเหลี่ยมเล็ก ๆ อยู่ในชั้นเคลือบถัดไป (รูปที่ 4-19 c) เนื่องจากมีการเคลือบป้องกันไวรัสสามชั้นเพื่อวัตถุประสงค์ในการต่อต้านไวรัส หลังจากใช้งานเป็นเวลานาน ในทางตรงกันข้ามตัวอย่างที่ทดสอบหลังจากหยุดสารละลายอัลคาไลน์เพื่อจำลองเหงื่อแสดงให้เห็นว่าชั้นเคลือบจะบวมขึ้นโดยไม่มีอนุภาคสีเหลี่ยมจัตุรัสขนาดเล็ก (รูปที่ 4-19 d)

สำหรับประสิทธิภาพการต้านไวรัสภายใต้การจำลองสภาพการใช้งานจริงของตัวอย่างหนึ่งทีเคลือบด้วย  $Ag^+CuZeolite$  ได้รับการตรวจสอบเป็น ISO21702 (Sars CoV2) ที่ 5 นาที 1 ชม. และ 2 ชม. ตามลำดับ ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าหลังจาก 2 ชั่วโมงมีเพียงตัวอย่างที่ผ่านการใช้งานด้านการขัดถูเท่านั้นที่รักษาประสิทธิภาพของไวรัสด้วยการยับยั้งมากกว่า 99% แต่ชิ้นงานที่หยุดโดยสารละลายAlkaline จะมีประสิทธิภาพการต้านเชื้อที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัดและไม่ผ่านมาตรฐาน (มีค่าต่ำกว่า99.99% หลังผ่านไป2ชั่วโมง)

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

การศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงปฏิกิริยาการรีดิวซ์ของ  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  โดยใช้กรดแอสคอร์บิกและโซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็นสารรีดิวซ์ เพื่อให้เปลี่ยนรูปเป็น  $\text{AgNP-CuZeolite}$  เพื่อเพิ่มความเสถียรภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่ามีการรีดิวซ์เกิดขึ้นหลังจากเพิ่มสารรีดิวซ์ลงในสารละลาย  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  โดยการสังเกตเห็นสีที่เปลี่ยนจากสีฟ้าเป็นสีดำ/น้ำตาล อย่างไรก็ตามอัตราส่วนสารรีดิวซ์ที่ใช้ในปริมาณมากอาจถูกเหนี่ยวนำให้เกิดโครงสร้างซีโอไลต์ที่บิดเบี้ยวซึ่งนำไปสู่การปลดปล่อย  $\text{AgNP}$  ออกจากโครงสร้างซีโอไลต์ได้ การมีอยู่ของ  $\text{AgNP}$  บนโครงสร้างซีโอไลต์หลังจากการรีดิวซ์ ได้รับการยืนยันโดยแถบพลาสมอนจากสเปกตรัม UV-vis และการเปลี่ยนแปลงของกราฟ FT-IR ที่ตรงกับความยาวคลื่นของ Si-O ที่พิสูจน์แล้วว่าการเลื่อนตัวของยอดกราฟไปที่ความยาวคลื่นสูงขึ้น แสดงว่ามีระดับการสั่นที่ช้าลงซึ่งอาจมาจากการเกิดจากการเปลี่ยนแปลงจาก  $\text{Ag}^+$  กลายเป็น  $\text{AgNP}$  ในโครงสร้างซีโอไลต์ อีกทั้งยังมีการตรวจพบอนุภาคขนาดเล็กที่มีปริมาณซิลเวอร์เพิ่มขึ้นจาก SEM-EDX อีกด้วย นอกจากนี้  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$ ,  $\text{AgNP(AA)-CuZeolite}$  และ  $\text{AgNP(BH)-CuZeolite}$  แสดงการต้านแบคทีเรียที่มีประสิทธิภาพต่อเชื้อ E.coli ด้วย 99.99% และ  $\text{Ag}^+\text{CuZeolite}$  ที่มี 3% wt ในสารเคลือบโพลียูรีเทนสำหรับหนังยังให้ประสิทธิภาพการต้านไวรัส > 99.99% (ทดสอบโดย ISO21702 ของ Sars-CoV2) ความทนทานของประสิทธิภาพในการป้องกันไวรัสถูกตรวจสอบภายใต้การขจัด Taber (ISO-5470) และภายใต้สภาวะอัลคาไลน์ มันแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการป้องกันไวรัสลดลงอย่างมากภายใต้การแช่ในเหงื่ออัลคาไลน์ ดังนั้นการพัฒนาสาร  $\text{AgNP-CuZeolite}$  ยังคงเป็นสิ่งจำเป็นในการศึกษาในอนาคตเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการต้านไวรัสที่มีความเสถียรภาพต่อการใช้งานในสภาวะต่างๆ

## บทที่ 6

### การใช้ประโยชน์เชิงพาณิชย์

คำนิยามของ TIM และ Output/ Outcome/ Impact

#### 6.1 TIM

TECHNOLOGY : Silver Copper ion technology and Zeolite technology

INNOVATION : Silver Copper ion in Zeolite framework with Polyurethane coating for Antiviral product

MANAGEMENT :

Perception:

1. Purification package set image (Antiviral product looks) ex. Always keep Cleanness / Elegance / Purity looks
2. Promote Ag<sup>+</sup>CuZeolite icon model such as Ag<sup>+</sup>CuZeolite Key rings, Sticker Ag<sup>+</sup>CuZeolite

Innovation:

Patent for Silver Copper + Zeolite in Organic material

#### 6.2 Output/ Outcome/ Impact

Output:

สารเคลือบที่สามารถต้านไวรัสได้

Outcome :

- นำมาเคลือบบนวัสดุอินทรีย์ ทำให้ต้านเชื้อได้นานขึ้นไม่ต้องสเปรย์ซ้ำ เช่น กระจาหน้าห้อง เบาะหนัง เครื่องหุ้มหนัง
- สามารถแปรรูปสารเคลือบเอามาขายได้ เช่น นำมาเคลือบง่ายแคสเปอร์รี่ หรือ เคลือบทาบน ผิวผลิตภัณฑ์หนังแล้วทิ้งให้แห้ง

Impact:

- ลดการติดเชื้อเมื่อสัมผัส
- สามารถยืดอายุการใช้งานผลิตภัณฑ์หนังได้นานขึ้นจากการลดการใช้เจลก่อนสัมผัส
- เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์หนัง โดยการเพิ่มฟังก์ชัน Purification package



## บทที่ 7

### การศึกษาความเป็นไปได้ทางการตลาด

#### 7.1 การวิเคราะห์คู่แข่งในอุตสาหกรรม

##### 7.1.1 คู่แข่งขันทางตรง (Direct competitors)

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ วัสดุหนังหุ้มที่มีการเคลือบสารต้านเชื้อ มี คู่แข่งในเอเชียแปซิฟิกคู่ตามหลัก4P ดังนี้

**ตารางที่ 7** ตารางแสดงคู่แข่งทางตรงผู้ผลิตหนังในเอเชีย

Material	Supplier	Product (✓ = apply, X = Not apply)				
		Anti staining	Anti abrasion	Anti chemical	Anti viral	Anti bacteria
Leahter	I*	✓	✓	✓	×	✓
Leather	E*	✓	✓	×	×	×
Leather	M*	✓	✓	✓	×	✓
Leather	C*	×	✓	×	×	×

Note\*: Some confidential information of own technology

##### 7.1.2 คู่แข่งทางอ้อม

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ สารเคลือบเพื่อใส่ในวัสดุหนังหุ้ม พบว่าในเอเชียแปซิฟิก บริษัทที่มีการผลิตสารต้านเชื้อเพื่อสารเคลือบ โดยพิจารณาคู่แข่งตามหลัก4Pมีดังนี้

**ตารางที่ 8** ตารางแสดงคู่แข่งทางอ้อม

Maker	Country	Type		Product information			
		Coat	Spray	Antibacteria	Antivirus	Technology	Prices (THB/Litre)
Kanger+SSB	Malaysia	✓		99.99%	N/A	ZnO	N/A
Germagic	Hongkong	✓	✓	99.99%	N/A	Map-1	17000
Microban	Hongkong	✓	✓	99.99%	N/A	Ag <sup>+</sup> Zn <sup>+</sup>	N/A
Life technology	Thailand	✓		99.99%	N/A	Ag <sup>+</sup> CuZeolite	15000

#### 7.2 การวิเคราะห์ด้วยSWOT ANALYSIS

##### S Strenght จุดแข็ง

- เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้การสังเคราะห์ซับซ้อนที่ลดการสะสมเชื้อ COVID19 ณ ปัจจุบันได้
- ไม่ต้องมีการดูแลรักษาผลิตภัณฑ์วัสดุหนังมาก เช่นไม่ต้องทำความสะอาดบ่อยๆ
- ไม่ต้องใช้เจลหรือแอลกอฮอล์เมื่อขึ้นรถหรือเบาะนั่ง สามารถสัมผัสวัสดุหนังได้เลย
- เมื่อผ่านกระบวนการเคลือบแล้ว สารAgNPจะอยู่ได้นานขึ้น ทนต่อสภาพแวดล้อมได้ดีกว่าAg<sup>+</sup>

- มีการกระจายตัวได้ดีกว่า  $Ag^+$

### W\_Weak จุดอ่อน

- ใช้เงินลงทุนวิจัยค่อนข้างสูง เนื่องจากวัสดุAgNPมีราคาสูง
- ไวรัสหรือแบคทีเรียมีการเปลี่ยนแปลงจีโนมที่รวดเร็วมก สารที่วิจัยออกมานั้น อาจต้องมีการอัปเดตอยู่เรื่อยๆ

### O\_Oppotunity โอกาส

- แนวโน้มการใช้เทคโนโลยีเพื่อป้องกันการสะสมเชื้อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี
- ยังไม่มีบริษัทหนึ่งในเอเชียเจ้าไหนที่สามารถผลิตสารเคลือบเองได้

### T\_Threat อุปสรรค

- ผู้ผลิตต่างประเทศที่สามารถทำเทคโนโลยีเองได้ จะทำตลาดในไทยเรื่อยๆจนมีปริมาณมาก ทำให้ราคาสารเคลือบต้านเชื้อถูกลง
- ผู้บริโภคมีทางเลือกกับสินค้าทดแทนได้ เช่น ใช้ เจลแอลกอฮอล์หรือฟอสเฟอไรต์ฆ่าเชื้อ

## 7.3 การวิเคราะห์ Six force model

7.3.1 การแข่งขันภายในอุตสาหกรรม: สถานะการแข่งขันในตลาดหนังหุ้มเคลือบสารต้านเชื้อ มีน้อย

7.3.2 อำนาจการต่อรองลูกค้า: ลูกค้าต่อรองต่ำเนื่องจากมีตลาดหนังหุ้มที่เคลือบสารต้านยังมีน้อย สารเคลือบส่วนใหญ่จะนำเข้าทำให้มีราคาแพง

7.3.3 อำนาจการต่อรองของผู้จัดจำหน่ายสูง เนื่องจากต้องใช้เทคนิคการสังเคราะห์สาร กระบวนการผสมสารที่ต้องมีความรู้เฉพาะทาง

7.3.4 ภัยคุกคามจากสินค้าทดแทน: สินค้าทดแทนที่มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากันนั้นถือว่ายังมีภัยคุกคามต่ำ เช่นสารต้านไวรัสตัวอื่นที่มีความสามารถใกล้เคียงกับ $Ag^+CuZeolite$  ต้องใช้เทคนิคเฉพาะทางแต่หากกล่าวถึงเจลแอลกอฮอล์หรือสเปรย์แอลกอฮอล์ ก็สามารถทดแทนได้ แต่จะมีข้อเสียด้านอื่นๆเช่นผลข้างเคียงต่อการถลอกของหนังหุ้ม

7.3.5 ภัยคุกคามจากคู่แข่งหน้าใหม่: เป็นไปได้ยากในเอเชียเนื่องจากต้องใช้เงินทุนสูงในการวิจัย

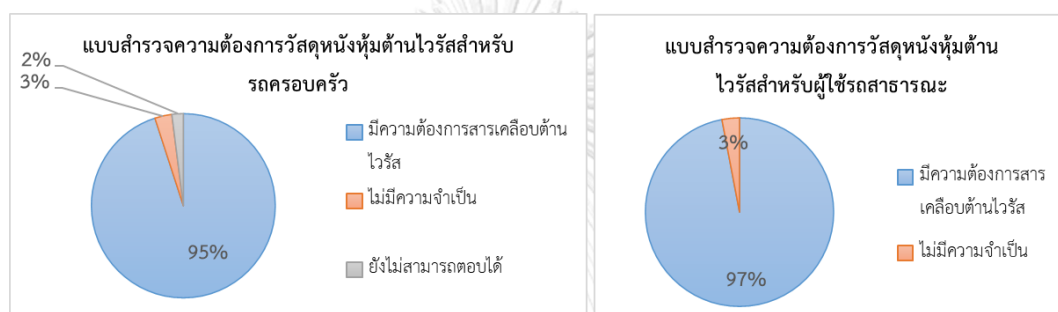
7.3.6 สินค้าที่ใช้ร่วมกัน: สเปรย์ฆ่าเชื้อ ทิชชูเปียก เจลแอลกอฮอล์

จากการวิเคราะห์สถานการณ์ด้วยSIX FORCE MODEL สามารถอธิบายช่องทางการจำหน่ายได้ ดังนี้

- จำหน่ายให้บริษัทเอกชนที่ทำหนังหุ้มผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น พวงมาลัยรถยนต์ เบาะนั่ง โซฟา
- จำหน่ายสารเคลือบต้านเชื้อให้กับบริษัทสารเคลือบ

#### 7.4 แบบทดสอบแสดงความต้องการวัสดุหนังหุ้มด้านไวรัส

ทีมงานวิจัย ทำการสำรวจความต้องการวัสดุหนังหุ้มเคลือบสารต้านไวรัส ตามแหล่งชุมชนที่มีการใช้รถสาธารณะร่วม และบุคคลที่มีรถส่วนตัวเพื่อใช้งานร่วมกันในครอบครัวเป็นจำนวน30ตัวอย่าง พบว่ามีความต้องการวัสดุหนังหุ้มด้านไวรัสมากกว่า95%ทั้งรถครอบครัวที่มีโอกาสใช้ร่วมกันและรถร่วมสาธารณะ สามารถสรุปได้ว่ามีความต้องการทางตลาดสูงมาก ซึ่งผู้ที่ตอบว่าไม่มีความจำเป็นนั้น เป็นเพราะมีการใช้สเปรย์แอลกอฮอล์อยู่เป็นประจำและมีความมั่นใจในการใช้งานมากกว่าเนื่องจากมองเห็นได้ว่าการใช้งานเกิดขึ้นขณะพ่นสเปรย์หรือทาเจลแต่สารเคลือบนั้น ยังมีความกังวลในประสิทธิภาพ เพราะไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาหรือการสัมผัส ซึ่งเป็นข้อคิดที่ทางทีมวิจัยควรพิจารณาเพื่อสร้างความมั่นใจในผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นต่อไป



รูปที่ 7-1 แบบสำรวจความต้องการวัสดุหนังหุ้มด้านไวรัสสำหรับรถครอบครัวและรถสาธารณะ

## บทที่ 8

### การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการดำเนินงานและการจัดการ

#### 8.1 เป้าหมายของผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์วัสดุหนังหุ้มเคือบสารต้านไวรัส สามารถช่วยลดการติดเชื้อเมื่อใช้ผลิตภัณฑ์สาธารณะร่วมกันเช่น รถยนต์ที่มีเบาะนั่งทำจากวัสดุหนัง พวงมาลัยหนังหุ้ม และช่วยยืดอายุวัสดุหนังที่ผิวลอกง่ายจากการใช้เจลแอลกอฮอล์ และสเปรย์แอลกอฮอล์ขณะมือเปียก

#### 8.2 มูลค่า

มูลค่าของเทคโนโลยีแบ่งได้เป็น 2 กรณี ดังนี้

- ผู้บริโภคทางตรง: บริษัทผลิตพวงมาลัยหรือเบาะที่ต้องการหนังหุ้มต้านไวรัส
- ผู้บริโภคทางอ้อม: ลูกค้าที่ต้องการเปลี่ยนหนังหุ้มโดยซื้อหนังหุ้มต้านไวรัสไปเปลี่ยนเอง หรือบริษัทอาจแตกไลน์ผลิตแทนที่จะขายหนังหุ้มอย่างเดียว แต่อาจขายพอลิยูเรเทนที่มีสารต้านไวรัสอยู่แล้ว

#### 8.3 ห่วงโซ่คุณค่าและตำแหน่งห่วงโซ่



รูปที่ 8-1 ห่วงโซ่ผู้เกี่ยวข้อง

#### 8.3.1 กิจกรรมหลัก

- 1) Inbound logistic: การเลือกใช้วัตถุดิบในการผลิตที่มีคุณภาพ
- 2) Operation:
  - ใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย ทันต่อการต้านไวรัสในปัจจุบัน
  - มีการทดสอบสินค้าผ่านตามมาตรฐานที่กำหนด
  - มีการพัฒนาและปรับปรุงสินค้าให้ตอบโจทย์ความต้องการลูกค้าสูงสุด
- 3) Outbound logistic: ขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าอย่างมีประสิทธิภาพ มีการควบคุมคุณภาพขณะขนส่ง เช่น ควบคุมความชื้นกันชื้นงานขยายตัว จัดเก็บสินค้าให้มีสภาพดีที่สุดก่อนส่ง

## 4) Marketing and Sales:

- เลือกการโปรโมทสินค้าที่จับคู่กับหนังสือเป็น Purification package
- กำหนดราคาสินค้าตาม Specification ที่เพิ่มขึ้นอย่างเหมาะสม

## 5) Service

- มีการรับประกันสินค้า
- มีการรับวิเคราะห์ปัญหา หาสาเหตุ พร้อมวิธีแก้หากลูกค้ามีการเคลมสินค้า

## 8.3.2 กิจกรรมสนับสนุน

Firm infrastructure	Human resource	Technology Development	Procurement
แบ่งหน่วยงานวิจัย ทดสอบชัดเจน สามารถตรวจสอบได้	คัดเลือกบุคลากรที่ตรงตามสายงาน	พัฒนาต่อยอดตามเทรนด์ ตามสิ่งที่ลูกค้าต้องการตลอดเวลา	จัดหาวัตถุดิบที่มีราคาเหมาะสม

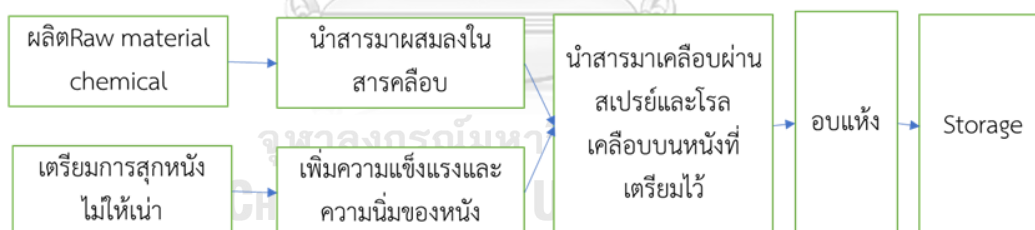
## 8.4 มูลค่าเพิ่มที่ได้รับ

ผู้วิจัยเทคโนโลยี: มีสิทธิบัตรของตนเองจากงานวิจัย

ผู้ซื้อเทคโนโลยี: เพิ่มมูลค่าผลิตภัณฑ์หนึ่ง

ผู้ใช้เทคโนโลยี: ลดความเสี่ยงการสะสมเชื้อ

## 8.5 ขั้นตอนการทำงาน



รูปที่ 8-2 ขั้นตอนการผลิตวัสดุหนังสือด้านไวรัส

## 8.6 การประเมินความเสี่ยงธุรกิจ

ความเสี่ยงจากภายนอก เนื่องจากเชื้อไวรัสมีการกลายพันธุ์ทำให้ต้องมีการอัปเดตสารเคมีที่ใช้ เพื่อให้มีประสิทธิภาพต่อเชื้อที่กลายพันธุ์แล้วตลอดเวลา และมีผลิตภัณฑ์ทดแทนที่หาซื้อได้ง่ายเช่น สเปรย์หรือเจลแอลกอฮอล์ที่มีความคุ้นชินและมีเชื่อมั่นต่อการใช้งานอยู่แล้วเนื่องจากสัมผัสได้ว่าได้รับการใช้งานแล้วตอนมือเปียก

ความเสี่ยงจากภายใน สารตั้งต้น  $Ag^+CuZeolite$  ต้องนำเข้าหาซื้อได้ยาก ดังนั้นการสังเคราะห์  $Ag^+CuZeolite$  เอง มีความยากเพราะต้องใช้ความระมัดระวังและความรู้เฉพาะทาง ที่งานวิจัยอาจมีความรู้ไม่เพียงพอ

## บทที่ 9

### การศึกษาความเป็นไปได้ด้านการเงิน

#### 9.1 สมมติฐานทางการเงิน

จากข้อมูลตลาดพบว่า ขนาดตลาดของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการหนึ่งหุ้มในประเทศไทยมีมูลค่ากว่า 1 แสนล้านบาท ซึ่งเป้าหมายในการจำหน่ายสินค้าคือ สามารถอยู่ในส่วนแบ่งของตลาดที่ 0.1% หรือมีมูลค่าการขายประมาณ 100,000,000 บาท

#### 9.2 งบประมาณเพื่อผลิตต้นแบบ

งบประมาณเพื่อดำเนินการประเมินการผลิตต้นแบบ มีดังนี้

**ตารางที่ 9** ตารางแสดงงบประมาณเพื่อดำเนินการประเมินการผลิตต้นแบบ

รายการที่ใช้สำหรับงานวิจัย	รวม (บาท)
1. ค่าวัสดุดิบ/ค่าอุปกรณ์	ผลิตได้50ชิ้น
1.1 ค่าสารเคลือบAg+CuZeolite 1kg	2000
1.2 ค่าสารเคมี สารต่างๆที่ใช้ในสารเคลือบ 1kg	5000
1.3 ค่าวัสดุหนัง	200000
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	
2.1 ค่ากระบวนการเคลือบหนัง	50000
2.2 ค่าเตรียมชิ้นงานหนังหลังเคลือบ	30000
2.3 ค่าทำPrototype part เย็บ ขึ้นรูป	120000
2.4 ค่าทำใบโปรซัวร์	2000
3. ค่าวิเคราะห์ทดสอบ	
3.1 ค่าวิเคราะห์ทดสอบการต้านแบคทีเรีย	15000
3.2 ค่าวิเคราะห์ทดสอบการต้านเชื้อไวรัส	500000
3.3 ค่าวิเคราะห์ทดสอบความทนทานผิวเคลือบ	50000
3.4 ค่าวิเคราะห์UV-Xray	30000
3.5 ค่าวิเคราะห์FTIR	80000
3.6 ค่าวิเคราะห์SEM-EDX	80000
4. ค่าตอบแทน	
4.1 ค่าตอบแทนและค่าจ้างนักวิจัย	10000
<b>รวม</b>	<b>1174000</b>

#### 9.3 ประมาณการในการขายสินค้าและรายได้รายปี

ทีมวิจัยทำการประเมินยอดผู้ซื้อผลิตภัณฑ์และรายได้ที่จะเกิดขึ้นในแต่ละปีว่าเป็นมูลค่าเท่าใด มีดังนี้

**ตารางที่ 10** ตารางแสดงประมาณการในการขายสินค้าและรายได้รายปี

รายการ	ประมาณการรายได้				
	ปีที่1	ปีที่2	ปีที่3	ปีที่4	ปีที่5
ขายสารเคลือบให้บริษัทผลิตวัสดุหนัง					
จำนวนลูกค้าประมาณการ	10	10	15	15	20
จำนวนซื้อต่อลูกค้า (กิโลกรัม)	120	120	120	120	120
ราคาสินค้า (บาทต่อกิโล)	฿4,000	฿4,000	฿4,000	฿4,000	฿4,000
รายได้จากลูกค้า	฿4,800,000	฿4,800,000	฿7,200,000	฿7,200,000	฿9,600,000
ขายหนังให้บริษัทผลิตชิ้นงานที่ใช้หนังหุ้ม					
จำนวนลูกค้าประมาณการ	10	10	15	15	20
จำนวนซื้อต่อลูกค้า (ผืน2ตรม)	120	120	120	120	120
ราคาสินค้า (บาทต่อผืน2ตรม)	฿6,500	฿6,500	฿6,500	฿6,500	฿6,500
รายได้จากลูกค้า (บาท)	฿7,800,000	฿7,800,000	฿11,700,000	฿11,700,000	฿15,600,000
<b>รวมรายได้</b>	<b>฿12,600,000</b>	<b>฿12,600,000</b>	<b>฿18,900,000</b>	<b>฿18,900,000</b>	<b>฿25,200,000</b>

**9.4 งบกำไรขาดทุน**

เป็นการแสดงการประมาณการผลการดำเนินงานของกิจการในรอบระยะเวลา5ปี มีรายละเอียดดังนี้

**ตารางที่ 11** ตารางแสดงงบกำไรขาดทุนในระยะเวลาร้อยปี

รายการ	ปีที่1	ปีที่2	ปีที่3	ปีที่4	ปีที่5
<b>รายได้</b>	฿12,600,000	฿12,600,000	฿18,900,000	฿18,900,000	฿25,200,000
<b>ค่าใช้จ่าย</b>					
ต้นทุนผลิต	฿8,368,000	฿7,368,000	฿11,052,000	฿11,052,000	฿14,736,000
เงินเดือนพนักงานฝ่ายผลิต	200000	200000	200000	200000	200000
<b>รวมค่าใช้จ่ายการผลิต</b>	<b>฿8,568,000</b>	<b>฿7,568,000</b>	<b>฿11,252,000</b>	<b>฿11,252,000</b>	<b>฿14,936,000</b>
<b>กำไรขั้นต้น</b>	<b>฿4,032,000</b>	<b>฿5,032,000</b>	<b>฿7,648,000</b>	<b>฿7,648,000</b>	<b>฿10,264,000</b>
ค่าใช้จ่ายการขาย การตลาด	600000	480000	360000	360000	360000
ค่าใช้จ่ายในการบริหาร	500000	500000	500000	500000	500000
<b>รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน</b>	<b>1100000</b>	<b>980000</b>	<b>860000</b>	<b>860000</b>	<b>860000</b>
<b>กำไรจากการดำเนินงาน</b>	<b>฿2,932,000</b>	<b>฿4,052,000</b>	<b>฿6,788,000</b>	<b>฿6,788,000</b>	<b>฿9,404,000</b>
ชำระเงินกู้ ดอกเบี้ย MLR 6.5%	-	-	-	-	-
กำไรก่อนหักภาษี	฿2,932,000	฿4,052,000	฿6,788,000	฿6,788,000	฿9,404,000
ภาษี (25%)	฿733,000	฿1,013,000	฿1,697,000	฿1,697,000	฿2,351,000
<b>กำไรสุทธิ</b>	<b>฿2,199,000</b>	<b>฿3,039,000</b>	<b>฿5,091,000</b>	<b>฿5,091,000</b>	<b>฿7,053,000</b>

**9.5 งบกระแสเงินสด**

เป็นการแสดงการประมาณการผลการดำเนินงานของกิจการในรอบระยะเวลา5ปี โดยได้ดำเนินการประมาณการงบกำไรขาดทุน มาเป็นระยะเวลา5ปี ดังนี้

**ตารางที่ 12** ตารางแสดงงบกระแสเงินสดรอบระยะเวลา5ปี

รายการ	ปีที่0	ปีที่1	ปีที่2	ปีที่3	ปีที่4	ปีที่5
เงินสดรับ						
รายได้		฿12,600,000	฿12,600,000	฿18,900,000	฿18,900,000	฿25,200,000
เงินกู้						
เงินสดจ่าย						
เงินลงทุนเริ่มต้นโครงการ	฿1,174,000					
ต้นทุนผลิต	฿270,000	฿8,368,000	฿7,368,000	฿11,052,000	฿11,052,000	฿14,736,000
เงินเดือนพนักงานฝ่ายผลิต	฿200,000	฿200,000	฿200,000	฿200,000	฿200,000	฿200,000
รวมค่าใช้จ่ายการผลิต	฿1,644,000	฿8,568,000	฿7,568,000	฿11,252,000	฿11,252,000	฿14,936,000
กำไรขั้นต้น	-฿1,644,000	฿4,032,000	฿5,032,000	฿7,648,000	฿7,648,000	฿10,264,000
ค่าใช้จ่ายการขาย การตลาด	-	฿600,000	฿480,000	฿360,000	฿360,000	฿360,000
ค่าใช้จ่ายในการบริหาร	฿500,000	฿500,000	฿500,000	฿500,000	฿500,000	฿500,000
รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	฿500,000	฿1,100,000	฿980,000	฿860,000	฿860,000	฿860,000
กำไรจากการดำเนินงาน	-฿2,144,000	฿2,932,000	฿4,052,000	฿6,788,000	฿6,788,000	฿9,404,000
ชำระเงินกู้ ดอกเบี้ย MLR 6.5%	-	-	-	-	-	-
กำไรก่อนหักภาษี	-฿2,144,000	฿2,932,000	฿4,052,000	฿6,788,000	฿6,788,000	฿9,404,000
ภาษี (25%)	-	฿733,000	฿1,013,000	฿1,697,000	฿1,697,000	฿2,351,000
กำไรสุทธิ	-฿2,144,000	฿2,199,000	฿3,039,000	฿5,091,000	฿5,091,000	฿7,053,000
รายการกระแสเงินสด						
เงินสดต้นงวด	-	-฿2,144,000	฿55,000	฿3,094,000	฿8,185,000	฿13,276,000
เงินสดรับ	-	฿12,600,000	฿12,600,000	฿18,900,000	฿18,900,000	฿25,200,000
เงินสดจ่าย	-฿2,144,000	-฿10,401,000	-฿9,561,000	-฿13,809,000	-฿13,809,000	-฿18,147,000
เงินสดปลายงวด	-฿2,144,000	฿55,000	฿3,094,000	฿8,185,000	฿13,276,000	฿20,329,000

## 9.6 บทสรุปทางการเงิน

ตัวชี้วัดทางการเงิน แสดงให้เห็นว่ามูลค่าปัจจุบันของแผนงานมีค่าเป็นบวก ซึ่งเป็นเงิน 28,302,933 บาท แสดงถึงความน่าลงทุนในธุรกิจนี้ อัตราผลตอบแทนภายในกิจการอยู่ในระดับตามคาดการณ์ของทีมคือ 128% ทำให้บริษัทลงทุนได้ ส่วนระยะเวลาคืนทุนอยู่ที่ 11เดือน ซึ่งถือว่าเป็นระยะเวลาที่น่าสนใจในการลงทุน

### ตารางที่ 13 ตารางแสดงการวิเคราะห์ทางการเงินภายในระยะเวลา5ปี

การวิเคราะห์ทางการเงิน			
ปีที่0	-฿2,144,000	IRR	128%
ปีที่1	฿2,029,000	Payback (month)	12 month
ปีที่2	฿5,392,000	Rate MLR	6.5%
ปีที่3	฿5,704,000	NPV	฿28,302,933
ปีที่4	฿5,926,000		
ปีที่5	฿6,148,000		



## บรรณานุกรม

- Benaliouche, F., Boucheffa, Y., & Thibault-Starzyk, F. (2012). In situ FTIR studies of propene adsorption over Ag- and Cu-exchanged Y zeolites. *Microporous and Mesoporous Materials*, 147(1), 10-16.  
<https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2011.04.040>
- Blevens, M. S., Pastrana, H. F., Mazzotta, H. C., & Tsai, C. S.-J. (2021). Cloth Face Masks Containing Silver: Evaluating the Status. *ACS Chemical Health & Safety*, 28(3), 171-182. <https://doi.org/10.1021/acs.chas.1c00005>
- Demirci, S., Ustaoglu, Z., Yilmazer, G. A., Sahin, F., & Bac, N. (2014). Antimicrobial properties of zeolite-X and zeolite-A ion-exchanged with silver, copper, and zinc against a broad range of microorganisms. *Appl Biochem Biotechnol*, 172(3), 1652-1662. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0647-7>
- Dutta, P., & Wang, B. (2019). Zeolite-supported silver as antimicrobial agents. *Coordination Chemistry Reviews*, 383, 1-29.  
<https://doi.org/10.1016/j.ccr.2018.12.014>
- Hamad, A., Khashan, K. S., & Hadi, A. (2020). Silver Nanoparticles and Silver Ions as Potential Antibacterial Agents. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(12), 4811-4828. <https://doi.org/10.1007/s10904-020-01744-x>
- Hanim, S. A. M., Malek, N. A. N. N., & Ibrahim, Z. (2017). Analyses of surface area, porosity, silver release and antibacterial activity of amine-functionalized, silver-exchanged zeolite NaY. *Vacuum*, 143, 344-347.  
<https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2017.06.038>
- Jiraroj, D., Tungasmita, S., & Tungasmita, D. N. (2014). Silver ions and silver nanoparticles in zeolite A composites for antibacterial activity. *Powder Technology*, 264, 418-422. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.05.049>
- Limpakdee, S. (2012). *Production of Low density polyethylene (LDPE) antibacterial master batch using Ag<sup>+</sup>/Cu<sup>+</sup> Loaded zeolite* Chulalongkorn, Michigan, Oklahoma, Case western reserve university].

- Lopez M, I. M. (2015). Antimicrobial Effect of Coated Leather Based on Silver Nanoparticles and Nanocomposites: Synthesis, Characterisation and Microbiological Evaluation. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, 05(01). <https://doi.org/10.4172/2155-952x.1000171>
- Nibou, D., Amokrane, S., Mekatel, H., & Lebaili, N. (2009). Elaboration and characterization of solid materials of types zeolite NaA and faujasite NaY exchanged by zinc metallic ions Zn<sup>2+</sup>. *Physics Procedia*, 2(3), 1433-1440. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2009.11.113>
- Oh, K. W., & Lim, K. S. (2013). Effect of Organic Photosensitizers on the Antimicrobial Property of Polyurethane coated Leather. *Fashion & Textile Research Journal*, 15(4), 630-634. <https://doi.org/10.5805/sfti.2013.15.4.630>
- Palza, H. (2015). Antimicrobial polymers with metal nanoparticles. *Int J Mol Sci*, 16(1), 2099-2116. <https://doi.org/10.3390/ijms16012099>
- Salleh, A., Naomi, R., Utami, N. D., Mohammad, A. W., Mahmoudi, E., Mustafa, N., & Fauzi, M. B. (2020). The Potential of Silver Nanoparticles for Antiviral and Antibacterial Applications: A Mechanism of Action. *Nanomaterials (Basel)*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/nano10081566>
- Shameli, K., Ahmad, M. B., Zargar, M., Yunus, W. M., & Ibrahim, N. A. (2011). Fabrication of silver nanoparticles doped in the zeolite framework and antibacterial activity. *Int J Nanomedicine*, 6, 331-341. <https://doi.org/10.2147/IJN.S16964>
- Sportelli, M. C., Picca, R. A., Paladini, F., Mangone, A., Giannossa, L. C., Franco, C. D., Gallo, A. L., Valentini, A., Sannino, A., Pollini, M., & Cioffi, N. (2017). Spectroscopic Characterization and Nanosafety of Ag-Modified Antibacterial Leather and Leatherette. *Nanomaterials (Basel)*, 7(8). <https://doi.org/10.3390/nano7080203>
- Wong-u-ra, O., Ekgasit, S., & Wongravee, K. (2017). Phase transferring of silver nanoparticles to organic solvents using modified graphene oxide as carrier. *Materials Chemistry and Physics*, 199, 348-355. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2017.07.014>



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
**CHULALONGKORN UNIVERSITY**

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	Jittamas Treeruttanaporn
วัน เดือน ปี เกิด	12 Apr 1986
สถานที่เกิด	Bangkok Thailand
วุฒิการศึกษา	Bachelor degree : Prince of Songkla University Master degree : Chulalongkorn university
ที่อยู่ปัจจุบัน	181/114 Mantana OnNut - Wongwan 5, Kanchanaphisek Road, Dokmai, Prawet, Bangkok 10250



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
CHULALONGKORN UNIVERSITY